

Instituto Tecnológico de Costa Rica

Escuela de Ingeniería Electrónica



**Diseño, automatización e implementación de la línea de producción
para productos tipo snacks**

**Informe de Proyecto de Graduación para optar por el título de Ingeniero en
Electrónica con el grado académico de Licenciatura**

Manuel Rojas Solano

Cartago, Junio de 2012

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
PROYECTO DE GRADUACIÓN
TRIBUNAL EVALUADOR

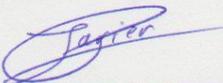
Proyecto de Graduación defendido ante el presente Tribunal Evaluador como requisito para optar por el título de Ingeniero en Electrónica con el grado académico de Licenciatura, del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Miembros del Tribunal



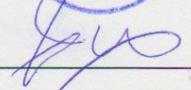
Ing. Anibal Coto Cortes

Profesor lector



Ing. Javier Pérez Rodríguez

Profesor lector



Ing. Juan C. Jiménez Robles

Profesor asesor

Los miembros de este Tribunal dan fe de que el presente trabajo de graduación ha sido aprobado y cumple con las normas establecidas por la Escuela de Ingeniería Electrónica

Cartago, Junio 2012

DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD

Declaro que el presente Proyecto de Graduación ha sido realizado enteramente por mi persona, utilizando y aplicando literatura referente al tema e introduciendo conocimientos propios.

En los casos en que he utilizado bibliografía, he procedido a indicar las fuentes mediante las respectivas citas bibliográficas.

En consecuencia, asumo la responsabilidad total por el trabajo de graduación realizado y por el contenido del correspondiente informe final.

Cartago, Junio 2011



Manuel Rojas Solano

Céd. 3-0405-0529

RESUMEN

El avance de la tecnología ha influido cada vez más en distintos campos, en los cuales la industria de alimentos no fue la excepción. Es por ello que cada día se buscan procesos más eficientes en donde se logren beneficios en la producción. La empresa DEMASA ha visto en este desarrollo tecnológico una oportunidad para lograr productos de primera calidad para ser comercializados en mercados nacionales e internacionales.

Al desarrollar este proyecto en la planta DEMASA lo que se busca es mejorar el proceso de producción de una de las líneas que conforman la marca TOSTY, específicamente la que produce papas tostadas (comercializadas bajo el nombre PAPITOSTY y PAPIOLAS). Ya que en la actualidad no se tiene control sobre las variables que influyen en la fabricación de estos productos como lo son nivel de la tolva de papa, cantidad de materia prima que ingresa al proceso, agua, aire, temperaturas del freidor, velocidades de las bandas de transporte y control de motores.

Estas variables si no se aplican correctamente pueden constituir diversos problemas los cuales pueden ser: detener el proceso de fabricación del producto, desperdicio de aire y agua, motores encendidos innecesariamente, temperatura del aceite para freír diferente a la necesaria y algo más grave como puede ser la baja calidad del producto obtenido.

Al analizar los problemas se llega a la conclusión de que éstos se producen por faltas de control en las variables que lo conforman. Para esta situación es necesario realizar un sistema centralizado en donde se pueda tener control y monitorización de las variables que se necesitan en el proceso de fabricación.

Palabras clave: Control automático, Ethernet, lógica en escalera, motores, pantalla táctil, PLC, válvula solenoide, variador de frecuencia.

ABSTRACT

The advance of technology has increasingly influenced many different fields, in which food industry was no exception. That is the reason everyday people look for more efficient processes to get benefits during the production process. DEMASA Company has seen this technological raise as a chance to get first class products to be marketed in national and international marketplaces.

What DEMASA expects by developing this project is to improve the production process of the lines that complement TOSTY Brand, especially potato chips such as: "PAPITOSTY" and "PAPIOLAS." This because currently there are not controls over the variables that influence products fabrication regarding the potato hopper, quantity of raw material in the process, water, air, fryer temperature, conveyor belt speed, and engine control.

If these variables are not rightly manipulated, there can appear several problems which can be: stop on the production waste of air and water, turn engines on unnecessarily, inappropriate fry temperature, or something even more serious such as the drop down of the products final quality or problems with product's quantity which may produces economical loss to the company.

By analyzing the situation, it can be concluded that those problems can be avoided and they are a consequence of the lack of control variables during the process. The solution to the problems is to perform a centralized system where people can have control and monitor the production process variables.

Key words: Automatic control, Ethernet ladder logic, monitor tactile screens, solenoid valve, and frequency inverter.

DEDICATORIA

Quiero dedicarle este trabajo,

A Dios y a la Virgen de Los Ángeles que me han dado la vida y la fortaleza para
terminar este proyecto de graduación,

A mi abuelito Olman Solano, por incentivarme siempre a ser crítico y minucioso
en lo que iba a hacer,

A mi abuelita Clemencia, por siempre con sus palabras darme paz y fortaleza
para seguir adelante,

A mis Padres: Bertha y Zacarías, hermanas Marilyn y Margarita por estar allí
siempre, por su apoyo, por su ayuda y cooperación,

A mis tíos Jorge, Olman, Marco, Bernal, mi tía Zulay y todos mis primos por estar
siempre con uno incentivándolo a seguir adelante,

A mis cuñados José y Alejandro, así como a mis amigos Pablo, Cesar, Gabriel,
Daniel, José Pablo, Roxy, Marianne, Jasón y Andrés por su apoyo y

A mi novia Erika, por apoyarme y ayudarme incondicionalmente.

AGRADECIMIENTOS

Al Ing. Alex Gamboa por su ayuda y permitirme realizar este proyecto de graduación en la empresa DEMASA.

Al Ing. Luis Solórzano por su asesoría, apoyo, ayuda y amistad durante la realización de este proyecto.

A todo el personal de la empresa DEMASA por brindarme su apoyo y amistad durante la estadía en dicha empresa.

Al personal de mantenimiento de las plantas Tortillas y Tosty de DEMASA, por su apoyo, ayuda y amistad.

Al personal de planta de Tortillas y Tosty de DEMASA por su amistad y apoyo durante la realización de este proyecto.

A los profesores Juan Carlos Jiménez, Aníbal Coto Cortés, Johan Carvajal Godínez, Javier Pérez Rodríguez, Arys Carrasquilla Batista, Carlos Badilla Corrales y Leonardo Rivas Arce, por su apoyo, ayuda y consejos durante la carrera universitaria y durante la realización del presente proyecto de graduación.

A mis compañeros Andrea Astua, Dennis Arroba y Jhonny Cubero por sus consejos, por su ayuda y por su apoyo incondicional.

Muchas gracias a todas esas personas que manera desinteresada me ayudaron a que este proyecto de graduación fuera una realidad.

INDICE GENERAL

Capítulo 1 : Introducción.....	1
1.1. Problema existente e importancia de la solución.	1
1.2. Solución seleccionada.....	7
Capítulo 2 : Meta y Objetivos.	9
2.1. Meta.	9
2.2. Objetivo general.	9
2.3. Objetivos específicos.	9
2.3.1. Objetivos de hardware.....	9
2.3.2. Objetivos de software.	10
2.3.3. Objetivos de documentación.....	11
Capítulo 3 : Marco teórico.	12
3.1. Descripción del sistema o proceso a mejorar.....	12
3.2. Antecedentes bibliográficos.....	16
3.2.1. Descripción PLC (Controlador Lógico Programable).....	16
Procesador CompactLogix (Número de catálogo 1769-L32E).....	18
3.3. Descripción de los principales principios físicos y/o electrónicos relacionados con la solución del problema.	19
4.3.1. Señal 4-20mA.....	19
4.3.2. Protocolo de comunicación: HART.....	20
4.3.3. Protocolo de comunicación: RS-232.....	22
4.3.4. Protocolo de comunicación: Ethernet.	24
4.3.5. Variador de frecuencia.....	26
4.3.6. Motor de Corriente Directa.....	28
4.3.7. Motor de Corriente Alterna.....	29
4.3.8. Contactor.	30
4.3.9. Guarda motor.....	30

4.3.10.	Electroválvula.....	30
4.3.11.	Sensor de nivel.....	31
4.3.12.	Sistema de control automático.....	31
4.3.13.	Respuesta al escalón.....	32
4.3.14.	Sobreimpulso.....	32
4.3.15.	Error de estado estacionario.....	32
4.3.16.	Tiempo de subida t_r	32
4.3.17.	Tiempo de estabilización t_s	33
4.3.18.	Tiempo de muestreo.....	33
4.3.19.	Discretización.....	33
4.3.20.	El regulador PID.....	34
4.3.21.	Compensador de adelanto.....	35
4.3.22.	Lugar de las raíces.....	35
Capítulo 4 : Procedimiento metodológico.....		37
4.1.	Reconocimiento y definición del problema.....	37
4.2.	Obtención y análisis de la información.....	39
4.3.	Evaluación de las alternativas y síntesis de la solución.....	40
4.4.	Implementación de la solución.....	41
Capítulo 5 : Descripción detallada de la solución.....		47
5.1.	Propuesta para la colocación física de los equipos.....	48
5.2.	Descripción del software que se utilizó.....	54
	• RSLogix 5000.....	54
	• RSlinx Classic.....	56
	• FactoryTalk View Machine Edition (Me).....	57
	• Boot/DHCP Server 2.3.....	58
	• MATLAB Version 7.10.0.....	59
5.3.	Solución final.....	60
	• Control vía Ethernet de motores con Variador de Frecuencia.....	64
	• Control de velocidad para motores CD.....	71

• Encendido de Válvulas solenoides.....	77
• Secuencia automática.....	80
• Monitorización del proceso.....	84
• Seguridad.....	93
• Pasos para realizar la implementación final.	94
Capítulo 6 : Análisis de Resultados.....	96
6.1. Resultados.....	96
6.2. Análisis.....	104
6.3. Control automático.....	107
Capítulo 7 : Conclusiones y recomendaciones.....	116
7.1. Conclusiones.....	116
7.2. Recomendaciones.....	118
Bibliografía.....	119
Apéndices.....	125
A1. Abreviaturas.....	125
A2. Glosario.....	125
A3. Manual de usuario.....	126
A4. Planos de los módulos del PLC.....	133
Anexos.....	94

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Diagrama general del sistema a mejorar.....	1
Figura 1.2 Primera etapa del proceso de producción.....	2
Figura 1.3 Segunda etapa del proceso.....	3
Figura 1.4 Tercera etapa del proceso la de secado	4
Figura 1.5 Freidor y banda final de la línea de producción.....	5
Figura 1.6 Diagrama de bloques del hardware del proyecto	8
Figura 3.1 Línea del proceso a mejorar.....	15
Figura 3.2 Representación de una señal de 4 a 20mA.....	19
Figura 3.3 Comunicación digital HART superpuesta en la señal analógica 4-20mA.....	21
Figura 3.4 Conector hembra RS 232.....	23
Figura 3.5 Red creada para el proceso.....	25
Figura 3.6 Etapas de un variador de frecuencia.....	27
Figura 3.7 Motor de corriente directa.....	29
Figura 3.8 Motor de inducción de corriente alterna.....	30
Figura 3.9 Diagrama de un sistema de lazo cerrado con realimentación unitaria.....	32
Figura 3.10 Especificaciones en el dominio del tiempo para un sistema ante entrada de escalón unitario.....	33
Figura 3.11 Regulador PID.....	34
Figura 3.12 Lugar de las raíces en tiempo discreto.....	36
Figura 5.1 Diagrama general del proyecto.....	47
Figura 5.2 Armario de control y armario de potencia.....	49
Figura 5.3 Distribución propuesta para el gabinete de control	50
Figura 5.4 Switch ICP DAS NS-205.....	52
Figura 5.5 Variador de frecuencia utilizado en el proyecto, con su adaptador para Ethernet.....	53
Figura 5.6 Interfaz del software RSLogix 5000.....	55
Figura 5.7 Interfaz para el usuario del RSlinx Classic.....	56
Figura 5.8 Interfaz del software FactoryTalk View Studio ME.....	57
Figura 5.9 Variadores de frecuencia a) Power Flex 4 b) Altivor 31 y c) interfaz BOP.	65
Figura 5.10 Configuración para los variadores de frecuencia en el RSLogix 5000.....	66
Figura 5.11 Parámetros que se pueden obtener con el VDF en Modo en línea en el PLC	67
Figura 5.12 Control de los primeros 3 VDF.....	69
Figura 5.13 Control de los 3 VDF del freidor.....	69

Figura 5.14 Teclado para ingresar el valor deseado frecuencia.....	70
Figura 5.15 Líneas de programación que indican el estado del VDF.....	71
Figura 5.16 Pantalla que se creo para Control de Motores CD.....	72
Figura 5.17 Conexión del Contactor y guarda motor para el encendido y apagado de los motores.	74
Figura 5.18 Pantalla para el arranque de los motores del proceso.	75
Figura 5.19 Pantalla para el arranque de los motores del proceso.	76
Figura 5.20 Válvula solenoide similar a las utilizadas en la automatización de la línea.	77
Figura 5.21 Pantalla creada para la apertura y cierre de las válvulas.....	79
Figura 5.22 Rutina de apertura y cierre de las válvulas solenoides.	79
Figura 5.23 Control primera etapa en modo automático.	81
Figura 5.24 Código en RSLogix 5000 que elige el arranque según el modo seleccionado.	82
Figura 5.25 Software creado en RSLogix 5000 para la función de Piloto Automático....	83
Figura 5.26 Vista para la primera etapa del proceso.....	86
Figura 5.27 Vista para la segunda etapa del proceso.	87
Figura 5.28 Vista para la tercera etapa del proceso.....	88
Figura 5.29 Vista para la cuarta etapa del proceso.	89
Figura 5.30 Pantalla para mostrar las temperaturas de la línea.....	90
Figura 5.31 Pantalla para mostrar las temperaturas de la línea.....	91
Figura 5.32 Pantalla de alarmas.....	92
Figura 5.33 Botón de paro de emergencia.	93
Figura 5.34 Paro de emergencia en el software.....	94
Figura 6.1 Captura de pantalla de la primera etapa del proceso.....	99
Figura 6.2 Captura de pantalla con el proceso en modo automático.	100
Figura 6.3 Primera etapa del proceso funcionando.....	102
Figura 6.4 Segunda etapa del proceso funcionando.	102
Figura 6.5 Tercera etapa del proceso funcionando.....	103
Figura 6.6 Página de inicio de sesión una vez iniciada exitosamente.....	103
Figura 6.7 Respuesta de la planta ante una entrada escalón de 120W.....	107
Figura 6.8 Diagrama de bloques del sistema.	109
Figura 6.9 Lugar de las raíces.....	110
Figura 6.10 Diagrama de bloques del sistema con el compensador.....	112
Figura 6.11 Respuesta al escalón de la planta con el compensador.	113
Figura 6.12 Respuesta del sistema con el compensador.....	113
Figura 6.13 Respuesta del sistema ante perturbaciones.	114
Figura A.1 Herramientas del FactoryTalk View Studio.	126
Figura A.2 Ventana para descargar el programa a la pantalla.	127

Figura A.3 Primer paso para cargar el programa a la pantalla	128
Figura A.4 Botón de Run Application.	128
Figura A.5 Botón de arranque en modo manual.....	129
Figura A.6 Pantalla para modo automático.	130
Figura A.7 Descripción de la pantalla para el control de variadores.....	131
Figura A.8 Temperaturas de la línea 6.	132
Figura A.9 Plano del primer del módulo 1769 IA16.....	133
Figura A.10 Plano del segundo módulo 1769 IA16.	1
Figura A.11 Plano del tercer módulo 1769 IA16.....	87
Figura A.12 Plano del cuarto módulo 1769 IA16.....	88
Figura A.23 Plano del quinto módulo 1769 OW16.	89
Figura A.34 Plano del sexto módulo 1769 OW16.....	90
Figura A.44 Plano del séptimo módulo 1769 IF4.....	91
Figura A.55 Plano del octavo módulo 1769 OF4.....	92
Figura A.66 Plano del noveno módulo 1769 IT6	93

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Módulos que conforman el PLC.	17
Tabla 2 Propuesta de la ubicación de los módulos del PLC por ranuras (2 racks de 13 ranuras).....	51
Tabla 3 Direcciones IP para los dispositivos de automatización dentro de la red.	58
Tabla 4 Direcciones IP asignadas para los 6 variadores de frecuencia de la línea.....	59
Tabla 5 Etapas del proceso para la programación.	61
Tabla 6 Motores del proceso.	63
Tabla 7 Variadores de frecuencia y su función dentro del proceso.	64
Tabla 8 Valores de la variable PV_STS y el estado que simbolizan.	85
Tabla 9 Valores de SP y VP de motores controlados.....	97
Tabla 10 Valores de SP y VP de motores controlados.....	97
Tabla 11 Valores PV para los dos motores CD.	98

Capítulo 1 : Introducción.

En este capítulo se describe el proceso de producción de la línea de “snacks” en la empresa Derivados de Maíz Alimenticio S.A. (DEMASA), así como el procedimiento escogido para dar solución al problema.

1.1. Problema existente e importancia de la solución.

La empresa Derivados del Maíz Alimenticios desde hace unos años inició con el desarrollo de la automatización de la producción en sus 3 fábricas, por lo tanto se ha dado a la tarea de investigar sobre el tipo de nuevas tecnologías existen en el mercado y así llevar a cabo esta tarea. Hoy en día se han interesado en automatizar la fabricación de papas fritas, específicamente la que se comercializa bajo la marca Tosty. Se desea unificar el control para la línea, ya que actualmente cada parte de ésta se encuentra gobernada por un control distinto según el dispositivo que la conforma.

La siguiente figura muestra el diagrama general de bloques del sistema a mejorar.

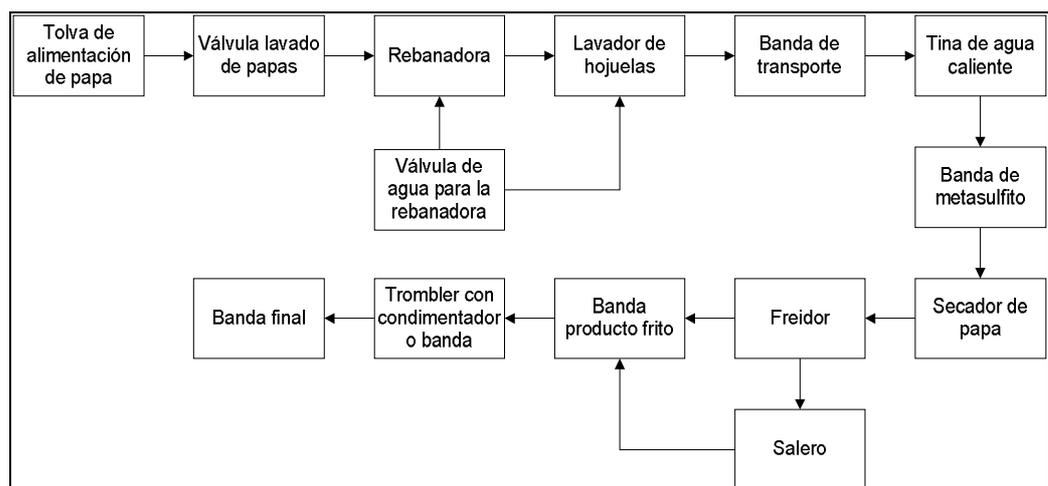


Figura 1.1 Diagrama general del sistema a mejorar.

El procedimiento comienza cuando las papas son depositadas en las tolvas, pasando a una banda de alimentación en donde son rociadas con agua, luego son rebanadas. Cuando se han obtenido las hojuelas éstas se lavan en un cilindro que gira constantemente a una velocidad establecida para pasar a la siguiente etapa. La primera etapa del proceso se muestra en la Figura 1.2



Figura 1.2 Primera etapa del proceso de producción.

Las hojuelas son trasladadas a una tina que contiene agua caliente con meta bisulfito a una temperatura entre los 65 y 90 grados centígrados que sirve para eliminar el azúcar que poseen las papas. Ver figura 1.3.

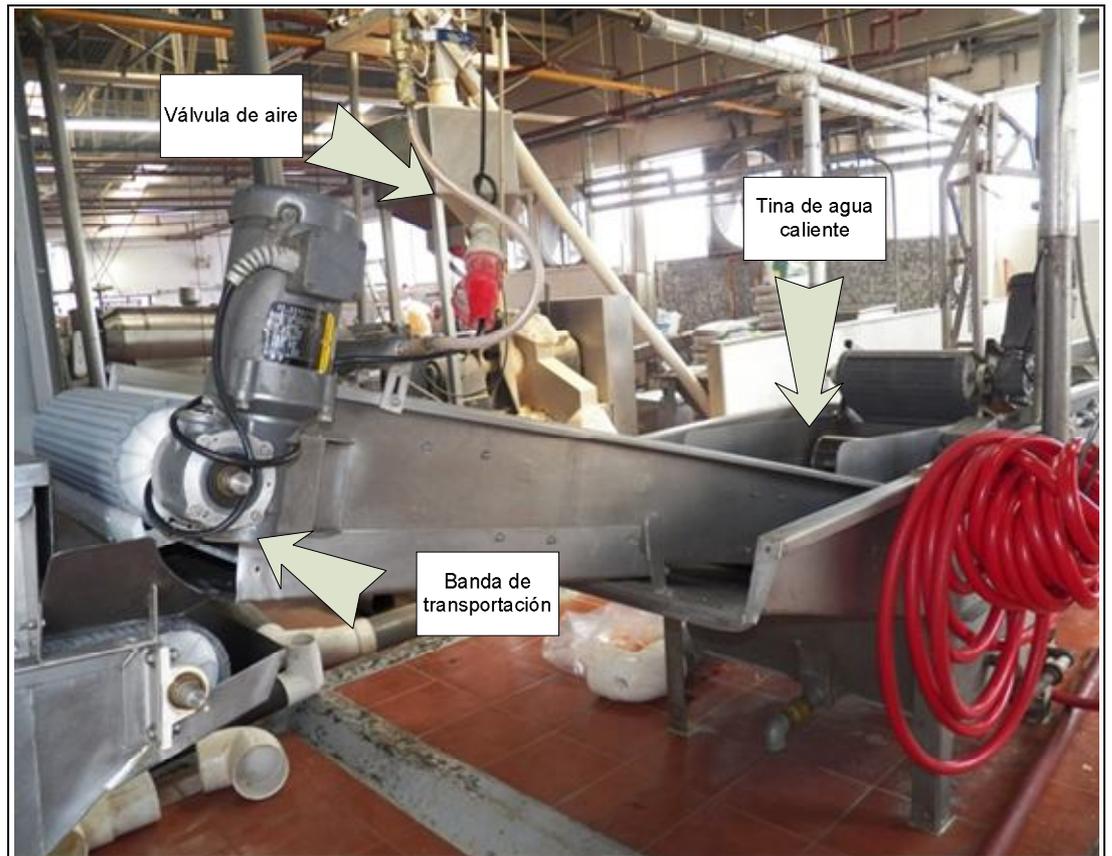


Figura 1.3 Segunda etapa del proceso.

La siguiente fase del proceso (ver figura 1.4) es la del secado de la papa en donde simultáneamente entra y sale una corriente de aire. Este paso es de suma importancia porque si ingresa mucha cantidad de agua al freidor su temperatura tiene variantes que afectan la calidad del producto generando pérdidas económicas a la empresa.



Figura 1.4 Tercera etapa del proceso la de secado

En el freidor las papas caen en una tina con aceite vegetal a una temperatura determinada de 195°C aproximadamente. Tardan 3 minutos atravesando todo el freidor hasta salir a la banda que las trasladarán al lugar donde se les rocía con sal en caso de que el producto fabricado sea Papitosty, sino continúan por la banda hasta la siguiente fase. Ver figura 1.5.



Figura 1.5 Freidor y banda final de la línea de producción.

Por último las papas fritas son trasladadas por medio de una banda al departamento de empaque de la empresa donde salen al mercado nacional e internacional para su venta. Esta banda se muestra en la figura 1.5.

DEMASA no solo pretende implementar el control centralizado de la fabricación de papas fritas, sino también obtener la monitorización de las variables: adquisición de datos por medio de sensores.

A la vez busca mejorar los problemas de producción que se han presentado con el método de fabricación descrito anteriormente como los siguientes:

- Desperdicios de materia prima.
- Garantizar tiempos de cocción correctos y a las temperaturas que se necesitan según las recetas.
- Disminuir la manipulación de los alimentos.
- Evitar los riesgos y accidentes laborales.
- Mantener el proceso lo más higiénico posible.

Por lo que con la automatización desean evitarlos y que la calidad del producto sea óptimo.

1.2. Solución seleccionada.

El proyecto seleccionado se basa en crear un sistema de control basado en automatización para el proceso que se describió anteriormente, donde se pueda monitorizar cada una de las variables. Para ello por requerimiento de la empresa se utilizará un Controlador Lógico Programable (PLC¹) el cual es CompactLogix L32E y distintos módulos de la marca Allen Bradley para las entradas y salidas digitales, analógicas, termocuplas y una pantalla táctil Panel View Plus 1000, con la cual se constituye la HMI¹ (por sus siglas en inglés) o interfaz del usuario con la máquina donde por medio de animaciones o gráficos se desplegará en tiempo real como se encuentra el proceso, el estado del mismo y la configuración que se seleccionó, todo según lo requerido por el operario.

Lo que se requiere implementar es que desde la pantalla táctil se pueda realizar el arranque de cada uno de los distintos motores que forman la línea. Así como tener un control de la velocidad de 6 motores por medio de variadores de frecuencia que se escogen según las características y parámetros de funcionamiento de cada motor. Constituyendo elementos vitales en la calidad y fabricación del producto.

En el Controlador Lógico Programable se diseñará un programa que controle cada uno de estos motores (alrededor de 20 motores) que integren la línea de producción en donde no solo se puede controlar el arranque de cada motor en distintas secuencias sino que también a los 6 motores que requieren variadores de frecuencia.

Para monitorizar el nivel de la tolva de alimentación se le instalará una pareja de sensores que sirven para medir el tiempo real, la cantidad y la altura de las papas. Estos sensores deben de soportar las distintas condiciones de

¹ Ver apéndice A.1

humedad, temperatura y golpes que reciben por parte de la papas al ingresar al proceso de producción.

Se creará un programa para las tres electroválvulas de agua y de apertura del aire para secar las hojuelas, en donde la señal de control es conectada del PLC a cada una de ellas.

DEMASA cuenta con un intercambiador de calor el cual se encarga de calentar el aceite a una temperatura determinada, para ello se elaborará un modelo matemático para realizar el control automático del funcionamiento de este.

Para tener una mejor calidad del proceso de producción se realizará un programa para la pantalla Panel View 1000. Este será capaz de mostrar en tiempo real cada estado en el que se encuentra la línea y se pueda obtener un total control de cada uno de los distintos dispositivos que posee.

En la Figura 1.6 se muestra el diagrama de bloques del hardware del proyecto.

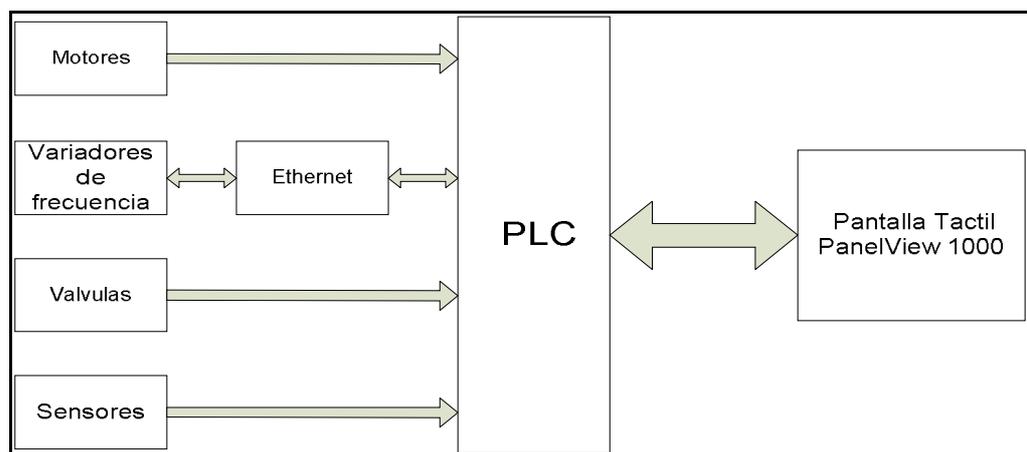


Figura 1.6 Diagrama de bloques del hardware del proyecto

Capítulo 2 : Meta y Objetivos.

En este capítulo se detallan la meta, el objetivo general y específicos planteados al inicio del planeamiento del proyecto

2.1. Meta.

Implementar un nuevo sistema para la fabricación de producto tipo “snacks” de la empresa DEMASA que permita remplazar y mejorar el mecanismo que se utiliza en la actualidad para que la producción sea 100% confiable con el objeto de lograr beneficios de tipo económico y de seguridad laboral.

2.2. Objetivo general.

Diseñar un control electrónico para la línea de producción de alimento tipo “snacks”, que cumpla con los requerimientos de producción de la empresa DEMASA, en cuanto a calidad, seguridad e higiene.

2.3. Objetivos específicos.

2.3.1. Objetivos de hardware.

1. Definir el modelo e instalar el PLC, así como los módulos de entradas y salidas necesarios para la solución del proyecto.
2. Definir e instalar los sensores para determinar el nivel en la tolva de alimentación.

3. Definir el tipo e instalar las termocuplas que se utilizarán para medir la temperatura.
4. Definir las válvulas solenoides para el control del ingreso de agua y aire de forma eléctrica.
5. Definir e instalar la pantalla táctil que se utilizará.

2.3.2. Objetivos de software.

1. Diseñar un programa en donde se controle el encendido, apagado de los motores que conforman el sistema.
2. Diseñar un programa que controle la velocidad de los motores que lo necesiten según el proceso de fabricación.
3. Diseñar un programa para el control de temperatura del freidor de aceite.
4. Diseñar el programa para la pantalla táctil el cual sirve como interfaz entre el usuario y el PLC, con el cual se podrá controlar y monitorizar el proceso de producción.

2.3.3. Objetivos de documentación.

1. Elaborar el plano de la conexión de las señales para el PLC y sus módulos.
2. Elaborar el manual de usuario para la utilización correcta del programa.
3. Elaborar figuras en donde se indique con nombres de que manera se desarrollo el programa de automatización.

Capítulo 3 : Marco teórico.

En esta sección se explican las bases teóricas de los conceptos relevantes y equipos electrónicos que se utilizaron en el desarrollo del proyecto.

3.1. Descripción del sistema o proceso a mejorar.

El proceso que se pretende mejorar consiste en la producción de papas fritas, el cual es bastante largo por lo que para su explicación se decidió dividirlo por etapas. Cabe mencionar que esta línea tiene la capacidad de hacer 2 productos diferentes, así como variar las partes que la forman para producir otro tipo de snacks a base de harina de maíz. El diagrama de bloques general se muestra en la figura 1.1.

El inicio del procedimiento se da cuando los camiones traen las papas a la empresa, éstas son depositadas en una sección que las eleva hasta la tolva de alimentación donde empieza la fabricación del producto. Esta tolva en la actualidad no cuenta con ningún sensor de nivel, por lo que el llenado de la misma se hace prácticamente manual. Lo que se utiliza es un timbre que es accionado por el operador cuando éste ve que necesita más papas.

Una vez que se han depositado las papas a la tolva de alimentación, éstas por medio de una banda son transportadas hacia una caída donde hay una tubería que les rocía agua a cierta presión para que sean lavadas. Luego pasan por la rebanadora que por la fuerza centrífuga del motor son cortadas en hojuelas. Las cuales nuevamente son transportadas por un chorro de agua en donde se dirigirán a un cilindro giratorio que se encuentra dentro de una tina con agua y lavarán las hojuelas eliminándose el almidón que las papas contienen. Por último en esta

etapa del proceso existe una banda que permite transportar las hojuelas hacia el siguiente paso.

La segunda etapa consta de una tina que contiene agua caliente para agregarle meta sulfito, que eliminará los carbohidratos que contienen las papas, la temperatura debe de estar entre 65° a 90° centígrados. Actualmente se regula por termostato el cual deja pasar el agua caliente cuando la temperatura esta por debajo de 65°, en caso contrario la cierra cuando esta por encima de 90°. Cuando las papas caen en esta tina son trasportadas por una banda en donde durante el recorrido se les aplicará una corriente de aire que se activa en forma manual por medio de una llave de paso para empezar a eliminar el agua que tienen las papas.

Una de las etapas siguientes es el freidor, pero este no funcionará correctamente, si no se le quitara la mayor cantidad de agua a la papa, ya que con el aceite no es soluble por su diferencia de densidades y si entra mucha cantidad de agua afectará la temperatura en el freidor (tiende a bajarla). Es por eso que es importante esta etapa del proceso, la cual consiste en el secado de las hojuelas de papas, en donde simultáneamente una corriente de aire ingresa y es extraída a gran velocidad, mientras las papas son transportadas al freidor.

El freidor constituye una de las principales etapas por el papel que tiene dentro de la línea de producción, en éste se encuentra circulando por bombas el aceite caliente a la temperatura determinada, dentro de él se encuentran 3 motores que se conectan: a una banda con paletas, a una malla sumergida y a la banda de salida. Consta también de un motor para bañar con sal las papas en caso de que se fabriquen las tradicionales. Una vez que las papas han ingresado a esta fase tardan aproximadamente 3 minutos dentro del freidor para que salgan listas para el paso siguiente Esta etapa es una de las más críticas porque si falla

el freidor puede generar el desecho de muchos kilos del producto. Dando como resultado pérdidas económicas para la empresa.

La siguiente etapa del proceso es una banda donde se traslada el producto que ha salido del freidor a otra banda en caso de ser papas tradicionales o en caso de ser papas onduladas al condimentador, el cual está constituido por un cilindro giratorio donde se baña el condimento por otro motor que mueve un tornillo sin fin.

Por último una pequeña banda transporta la producción terminada a la siguiente etapa del proceso que ya se encuentra automatizada, y es la de empaque, de esta manera se da por terminado el proceso.

Cabe mencionar que esta línea de fabricación tiene como principales componentes 18 motores de corriente alterna, 2 motores de corriente directa, 6 variadores de frecuencia, 4 termocuplas y válvulas manuales.

A continuación se muestra la figura 3.1, la cual corresponde a todo el proceso de producción.

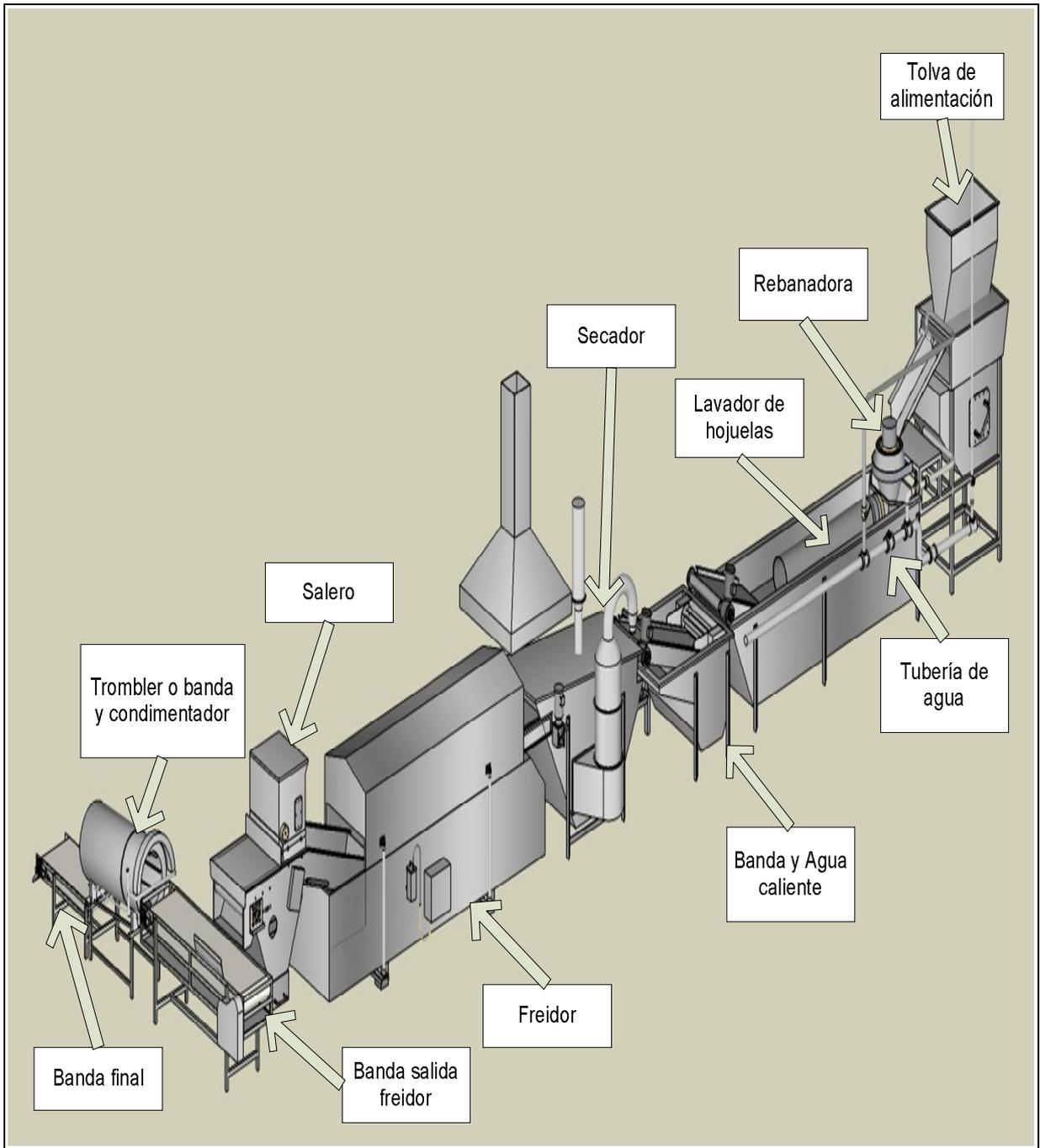


Figura 3.1 Línea del proceso a mejorar.

3.2. Antecedentes bibliográficos.

En esta sección se tratan los principales temas o conceptos relacionados implícita o explícitamente con la solución del problema.

3.2.1. Descripción PLC (Controlador Lógico Programable).

El PLC que se utilizó es el CompactLogix L32E marca Allen Bradley de tipo modular, éste fue definido por la empresa DEMASA. Cuenta solo con la unidad de control, la cantidad de entradas y salidas tanto analógicas como digitales se agregan según sea requerido.

Los módulos empleados para la ejecución del proyecto se muestran en la Tabla 1 con una descripción de su función y el número de catálogo de la marca.

Tabla 1 Módulos que conforman el PLC.

Cantidad	Módulo	Número de Catálogo	Descripción.
1	Procesador CompactLogix	1769-L32E	Procesador de puerto Ethernet y RS232, con 750Kbytes de memoria
4	Entradas discretas	1769-IA16	Tarjeta con 16 entradas
2	Salidas discretas	1769-OW16	Tarjeta con 16 salidas
1	Entradas analógicas	1769-IF4	Tarjeta con 4 entradas analógicas
1	Salidas analógicas	1769-OF4	Tarjeta con 4 salidas analógicas
1	Entrada termocuplas	1769-IT6	Tarjeta con 6 entradas para termocupla
1	Fuente de poder	1769-PA2	Fuente de poder 12V en corriente directa.

Procesador CompactLogix (Número de catálogo 1769-L32E)

- Tamaños de memoria de programación 750Kbytes.
 - Rendimiento de velocidad.
 - Soporta un máximo de 16 módulos.
 - Programación en línea, se incluye edición en tiempo de ejecución.
 - Posee 2 puertos de comunicaciones los cuales son RS232 y RJ45.
 - RS 232 incorporado que acepta full-duplex DF1, maestro/esclavo half-duplex DF1 para comunicación tipo SCADA.
 - Ethernet 10Base-T incorporado el cual permite:
 - ✓ BOOTP para asignación dinámica opcional de direcciones IP
 - ✓ SNMP el cual funciona para administración de redes de tipo Ethernet.
 - ✓ Comunicación con computadoras mediante TCP/IP esto a velocidades muy altas.
 - Reloj y calendario en tiempo real el cual se encuentra incorporado.
 - Direccionamiento indirecto.
 - Funciones matemáticas avanzadas: PID, exponenciales, punto flotante e instrucciones de cálculo.
 - Interrupción de entrada discreta (DII) de 0.50ms.
 - Memoria tipo RAM con batería para respaldo.
- Interruptor de llave para los modos: RUN, REMote, PROGram. [1]

3.3. Descripción de los principales principios físicos y/o electrónicos relacionados con la solución del problema.

4.3.1. Señal 4-20mA.

Los instrumentos de medición en la industria necesitan transmitir información sobre los parámetros que monitorizan. Para ello se han creado estándares de comunicación como señales de tensión de 0 a 10V o de corriente de 4-20mA, donde una señal de corriente ó tensión es proporcional a los parámetros que se desean medir.

Este lazo de corriente de 4-20mA, tiene la ventaja que no presenta caída de la magnitud según la distancia.

En este tipo de patrón un valor de 4mA de corriente representa un 0% de la señal que se mide. Un valor de 20mA es igual al 100% de la medida en forma lineal como se muestra en la figura 3.2.

Cuando se le agrega al lazo una resistencia en serie se convierte el valor de corriente a tensión y podrá ser medido en cualquier punto del circuito.

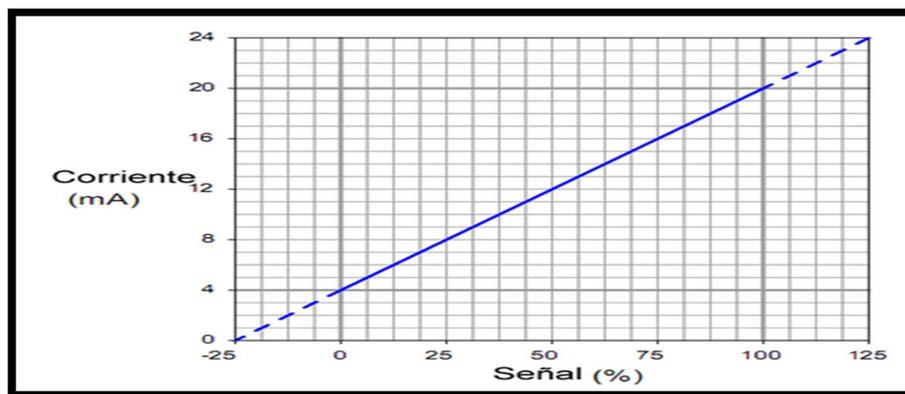


Figura 3.2 Representación de una señal de 4 a 20mA.

Fuente sitio web Instrumentación y control [2].

Por medio de la ecuación de una línea recta:

$$y = mx + b \quad (1)$$

Donde:

- y = salida del instrumento
- x = entrada del instrumento
- m = pendiente de la recta
- b = punto de intersección respecto al eje y .

Con la ecuación 1 se puede obtener cualquier valor de la señal información según el valor medido de corriente. [2]

4.3.2. Protocolo de comunicación: HART.

El transductor remoto direccionable en red (HART por sus siglas en inglés) es utilizado en la industria de automatización a nivel mundial. Este permite enviar y recibir información de tipo digital por medio de cables analógicos entre dispositivos inteligentes y de control o monitoreo. Utilizado por su fácil implementación sobre los sistemas de control que existen.

Específicamente HART comunica en forma digital en dos direcciones con instrumentos inteligentes. No perturba la señal analógica de 4-20mA. Tiene la ventaja de que se puede transmitir simultáneamente sobre el mismo cable la señal de corriente de 4 a 20mA y las señales de comunicación digital HART.

El protocolo está basado en el estándar Bell 202 FSK, que consiste en la codificación por cambio de frecuencia para superponer las señales de comunicación digital (HART) a la analógica 4-20mA. Como se muestra en la figura 3.3.

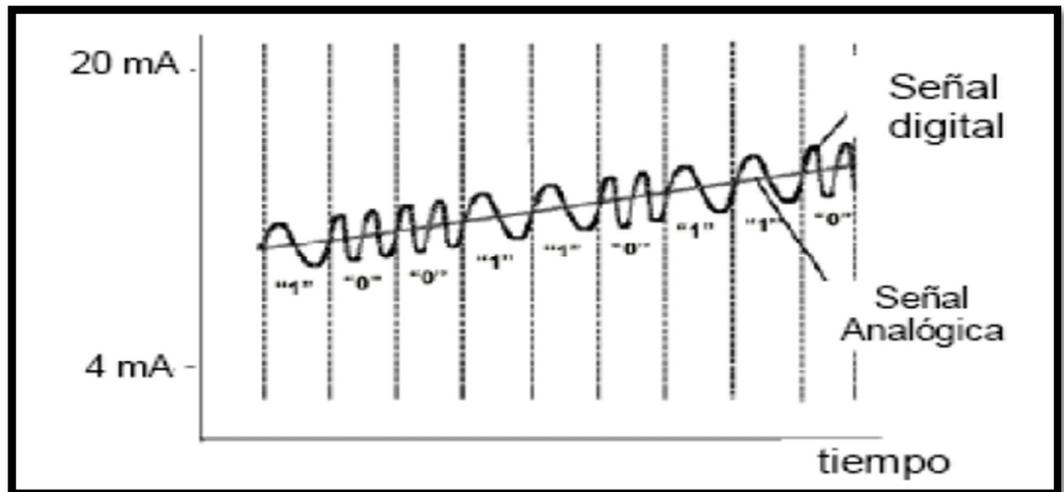


Figura 3.3 Comunicación digital HART superpuesta en la señal analógica 4-20mA.

Fuente sitio web HART [4].

La información de tipo binaria es representada mediante una señal de dos frecuencias diferentes:

- Cero lógico es representado por una frecuencia de 2200Hz
- Uno lógico es representado por una frecuencia 1200Hz.

Estas son señales AC que se superponen a la señal continua. La señal AC tiene valor promedio cero, por lo que la señal continua no se ve afectada. El HART tiene como característica que permite la comunicación digital en ambos sentidos (envía y recibe datos). Por lo tanto se pueden realizar varias acciones simultáneamente, por ejemplo: acceder a parámetros del proceso, configuración de instrumentos, calibración e información de diagnóstico, todo esto por el mismo cable en un protocolo basado en maestro/ esclavo, en donde este último sólo responde si se le pregunta.

Existen tres tipos de comandos para HART cuyo trabajo es proporcionar acceso lectura-escritura con los instrumentos de campo que son compatibles y pueden ser:

1. Comandos universales: estos aseguran la interoperabilidad entre los productos de distintos fabricantes y proporcionan el acceso a la información útil en la operación habitual en la planta. Todos los esclavos compatibles HART deben responder a todos los comandos universales.
 2. Los comandos de práctica común proporcionan: acceso a funciones que son implementadas en muchos dispositivos.
 3. Los comandos específicos del dispositivo ofrecen: la libertad para que cada aparato particular tenga parámetros o funciones exclusivos.
- [3] y [4]**

4.3.3. Protocolo de comunicación: RS-232.

Este tipo de protocolo mundial rige los parámetros de uno de los modos de comunicación serial para el intercambio de datos entre un equipo terminal (DTE) y un equipo de comunicación de datos (DCE).

Se estandarizan: las velocidades de transferencia de datos, forma de control para la transferencia, niveles de voltaje utilizados, tipo de cable permitido, distancias entre equipos y conectores. Además de las líneas de transmisión (Tx) y recepción (Rx). También las comunicaciones seriales poseen otras líneas de control de flujo, su uso es opcional y depende del dispositivo a conectar.

La comunicación se debe dar a través de una conexión de puertos seriales, RS-232 constituye básicamente: la selección de velocidad en baudios (1200,

2400, 4800, entre otros), la verificación de datos o paridad, los bits de parada, y la cantidad de bits por dato (generalmente 7 ó 8).

Este protocolo RS-232 fue creado para conectar un ordenador a un modem. Además transmitirse los datos de una forma serie asíncrona, se necesita una serie de señales adicionales, que se define según la norma.

A continuación en la Figura 3.4 se muestra el conector para la norma RS-232.

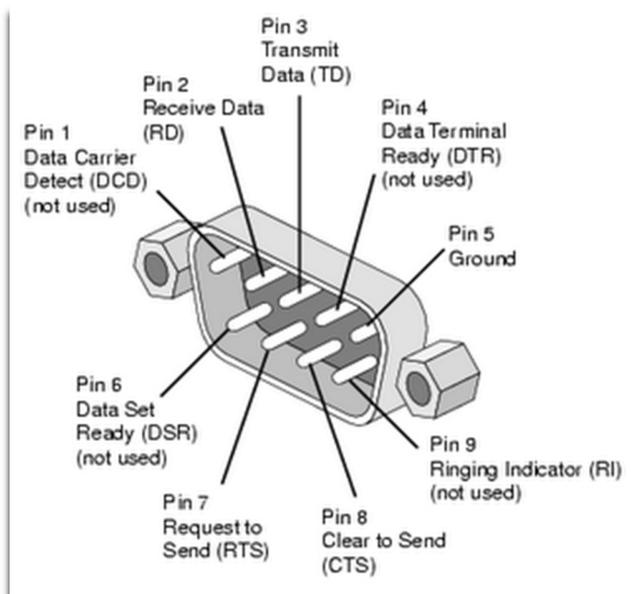


Figura 3.4 Conector hembra RS 232

Fuente sitio El agente 47 [6].

[5] y [6]

4.3.4. Protocolo de comunicación: Ethernet.

Ethernet es un estándar diseñado originalmente por Digital, Intel y Xerox para el manejo de redes de área local, es el tipo más utilizado en la actualidad, la información se transmite por medio del sistema CSMA/CD (Detección de Portadora con Acceso Múltiple y Detección de Colisiones).

El funcionamiento consiste en que una estación para transmitir debe detectar la presencia de una señal de tipo portadora, si ésta existe comienza a transmitir. Si dos estaciones quieren transmitir al mismo tiempo, se produce una colisión y ambas deben repetir la transmisión luego de esperar el tiempo establecido.

En 1983 fue formalizado por el IEEE como estándar Ethernet 802.3, este estándar presenta las siguientes características generales:

- Medio de transmisión más común: cable coaxial.
- Técnica de acceso: Contiene topología de ducto.
- Topología física: Estrella o ducto.
- Velocidades de transmisión: de 10 a 100Mbps.
- Codificación: Código Manchester.

En la figura 3.5 se muestra la red que se creó para el proceso.

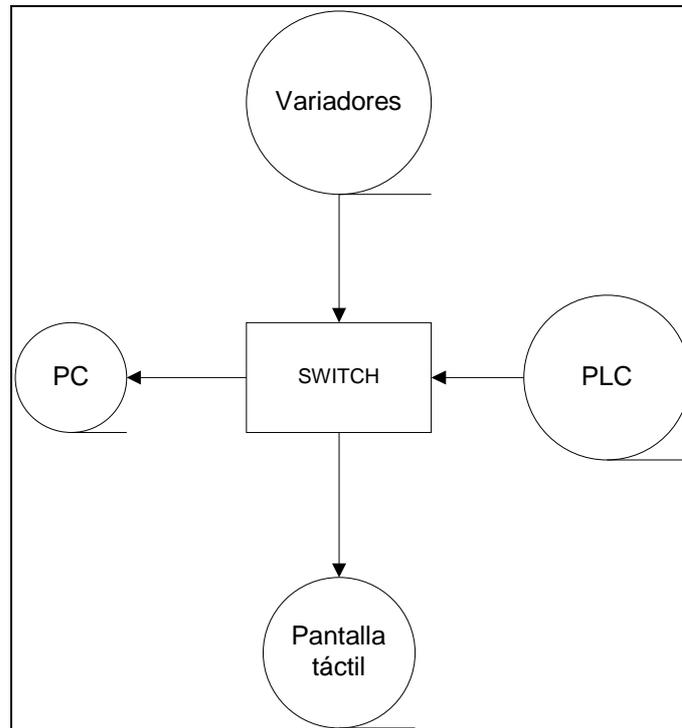


Figura 3.5 Red creada para el proceso.

El Ethernet tiene una característica muy importante por la que se destaca que es su alta velocidad con respecto a otro tipo de configuraciones de comunicación, ya que se pueden lograr velocidades de 10Mbps/s hasta 100Mbps/s en especificaciones Fast Ethernet. Según el tipo de estándar a utilizar es el medio de transmisión de esta manera para:

- 10 Base-T (Utilizada en este proyecto): se utiliza cable par trenzado.
- 10 Base-FL: utiliza fibra óptica.
- 100 Base -X o Fast Ethernet: utiliza también fibra óptica.

[7] y [8]

4.3.5. Variador de frecuencia.

Un variador de frecuencia (VFD por sus siglas en inglés), es un dispositivo para el control de la velocidad rotacional de un motor de corriente alterna que por medio del control de la frecuencia de la alimentación eléctrica que se suministra (60Hz para nuestro país), varía la velocidad del motor. Este tipo de dispositivos no sólo varían la frecuencia al motor sino también su voltaje de entrada.

Los VDF se basan en el funcionamiento de la velocidad de un motor síncrono CA de jaula de ardilla (n) y está determinado por la frecuencia CA que ingresa por medio de la red (f), el número de polos en el estator (p), como se muestra en la siguiente ecuación 2.

$$n = \frac{120 * f}{p} \quad (RPM) \quad (2)$$

Los pasos que se desarrollan dentro del variador de frecuencia para lograr su función son:

- Rectificación de la señal AC de entrada.
- La señal AC que entró se transforma a señal DC por medio de capacitores.
- La señal se convierte en una señal quasi-senoidal de AC al usar un circuito inversor conmutado.

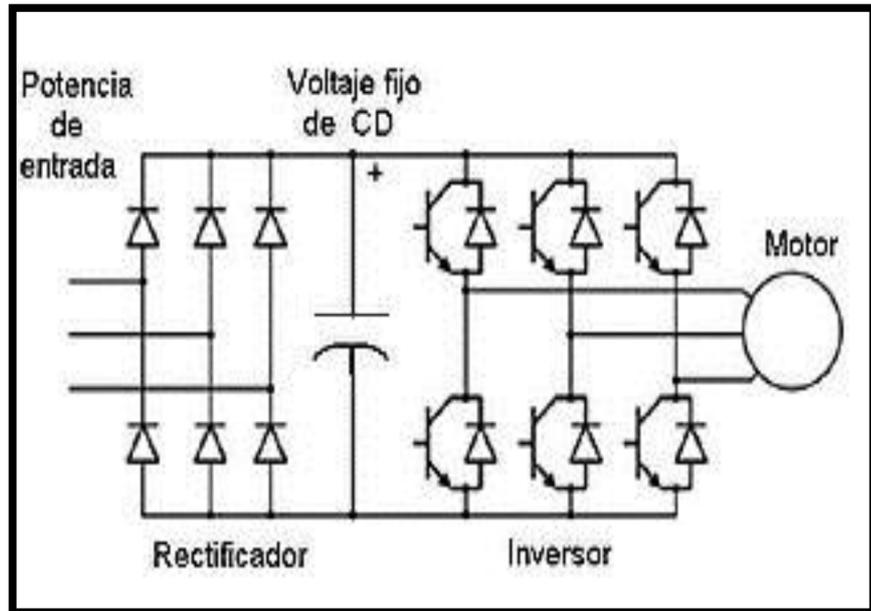


Figura 3.6 Etapas de un variador de frecuencia.

Fuente sitio web Carrier Corporation Syracuse [9]

Características de funcionamiento de los variadores de frecuencia:

- Mantienen la velocidad fija sin importar la carga del sistema.
- Se eliminan los golpes de torque debido a que las rampas de aceleración y desaceleración permiten maniobras de arranque y parada progresiva.
- Permite que el equipo tenga mejor vida útil.
- El arranque se produce progresivamente.
- Permite el ahorro de energía, reducción de ruido y problemas de funcionamiento en la instalación eléctrica.

- Cuenta con dispositivos de protección y vigilancia como lo son sobre corrientes, sobretensiones o caso contrario bajas tensiones, sobre calentamientos.

[9] y [10]

4.3.6. Motor de Corriente Directa.

Tiene la característica de convertir la energía eléctrica continua en mecánica produciendo un movimiento rotatorio.

Su principio de funcionamiento se basa en la repulsión que ejercen los polos magnéticos de un imán, como lo explica la ley de Lorentz, interactúan con los polos magnéticos de un electroimán (rotor) que se encuentra montado en un eje.

Cuando circula una corriente eléctrica por la bobina de este electroimán giratorio se genera un campo electromagnético, que interactúa con el campo magnético del imán permanente, si coinciden los polos de ambos se produce un rechazo y un torque magnético. Dando como consecuencia que el motor rompa la inercia y comience a girar sobre su eje según el sentido que se le de con fuente de alimentación.

A continuación se muestra una imagen de un motor de corriente directa con sus partes.

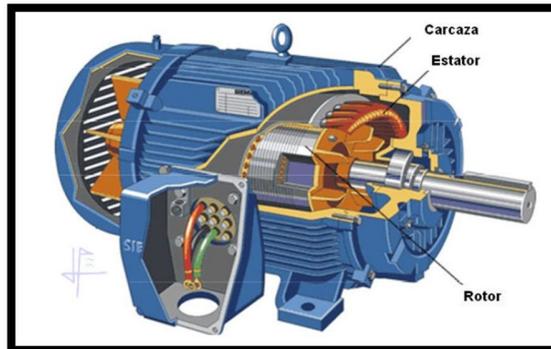


Figura 3.7 Motor de corriente directa.

Fuente sitio web 3.bp [13]

[11], [12] y [13]

4.3.7. Motor de Corriente Alterna.

Este tipo de motor convierte energía eléctrica en mecánica. Para funcionar necesita corriente eléctrica alterna que se convierte en fuerzas de giro por medio de la acción mutua de los campos eléctricos.

Existen 2 tipos de motores en corriente alterna los cuales son: de inducción y síncronos.

En el motor síncrono los imanes del campo se montan sobre un rotor y se excitan mediante corriente continua. Las bobinas de la armadura están divididas en tres partes y alimentadas con corriente alterna trifásica. La variación de las tres ondas de corriente en la armadura provoca una reacción magnética variable con los polos de los imanes del campo y hace que gire a una velocidad constante. Que se determina por la frecuencia de la corriente en la línea de potencia de corriente alterna.

El motor de inducción, la corriente que circula por el devanado del rotor se debe a la fuerza electromotriz inducida en por el campo giratorio. [14] y [15]

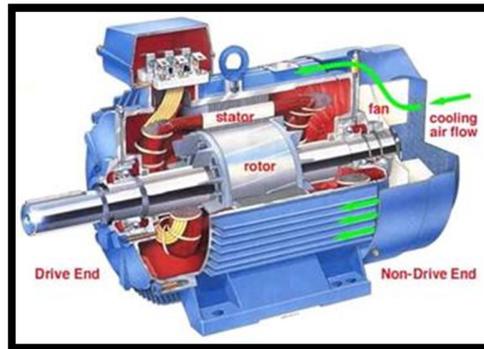


Figura 3.8 Motor de inducción de corriente alterna.

Fuente sitio web Monografías [14]

4.3.8. Contactor.

Es un interruptor magneto-térmico accionado a distancia por un electroimán. Tiene dos posiciones de funcionamiento: estable o reposo cuando no recibe acción por parte del circuito de mando y el otro inestable que es cuando actúa. [16] y [17]

4.3.9. Guarda motor.

Es el encargado de proteger al motor en caso de sobrecalentamiento en los conductores y en el bobinado del motor. Esto como consecuencia de una sobre corriente, causas mecánicas o eléctricas. [18] y [19]

4.3.10. Electroválvula.

Es una válvula de tipo electromecánica que sirve para tener el control de los fluidos de un conducto como lo puede ser una tubería. Funciona cuando se varía la corriente a través de un solenoide (conductor ubicado alrededor de un émbolo, en forma de bobina). Cuando la corriente circula por el solenoide se genera un campo magnético que atrae un émbolo móvil. Al finalizar el efecto del campo magnético, el émbolo vuelve a su posición por efecto de la gravedad, un resorte o por presión del fluido a controlar.

Estas válvulas tienen 2 estados: abiertas y cerradas completamente. Se puede mencionar que existen válvulas que controlan el flujo en forma lineal. [20], [21] y [22]

4.3.11. Sensor de nivel.

Es un dispositivo capaz de generar una señal eléctrica cuando se ha alcanzado el nivel, según la posición donde se colocó.

4.3.12. Sistema de control automático.

Los sistemas de control automático son objetos o sistemas que al recibir una señal de entrada realizan alguna función de forma automática.

Hay dos tipos de control automático el de lazo abierto y lazo cerrado.

El control de lazo cerrado: en él las variables a la salida son retroalimentadas permitiendo un control más exacto e insensible a las perturbaciones externas.

El control de lazo abierto: Sistema en que solo actúa el proceso sobre la señal de entrada y da como resultado una señal de salida independiente a la señal de entrada, pero basada en la primera. Esto significa que no hay retroalimentación hacia el controlador para que éste pueda ajustar la acción de control. Es decir, la señal de salida no se convierte en señal de entrada para el controlador. [23], [24] y [25].

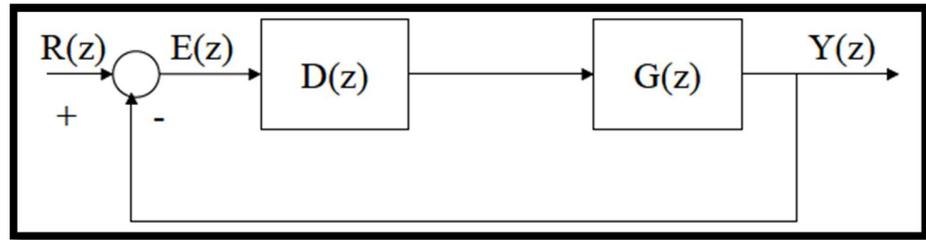


Figura 3.9 Diagrama de un sistema de lazo cerrado con realimentación unitaria.

Fuente sitio web Ing. Eduardo Interiano [15].

4.3.13. Respuesta al escalón.

Es la salida que permite caracterizar un sistema cuando la entrada a éste es una función escalón unitario. La función escalón unitario se caracteriza por tener un valor de uno para un tiempo positivo, mayor a cero y un valor de salida de cero para tiempos negativos menores que cero.

[26], [27] y [28].

4.3.14. Sobreimpulso.

Es el porcentaje extra superior al máximo valor de la respuesta de un sistema en escalón unitario. [26], [27] y [28].

4.3.15. Error de estado estacionario.

Es la diferencia entre la salida y la referencia en estado estable. [26], [27] y [28].

4.3.16. Tiempo de subida t_r .

Tiempo que tarda la respuesta al escalón en pasar de un valor de 10% al 90% del valor final de esta. [26], [27] y [28].

4.3.17. Tiempo de estabilización t_s .

Tiempo requerido para que la respuesta al escalón disminuya y entre a la banda de porcentaje estable cercana al valor final del escalón. [26], [27] y [28].

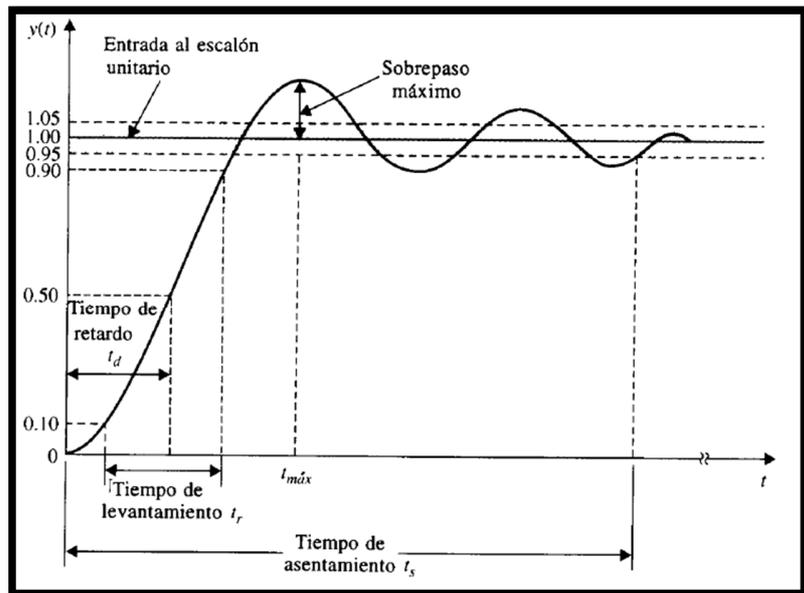


Figura 3.10 Especificaciones en el dominio del tiempo para un sistema ante entrada de escalón unitario.

Fuente Sitio web Ing. Eduardo Interiano [27].

4.3.18. Tiempo de muestreo.

Es el número de muestras por unidad de tiempo que se toman de una señal de tipo continua para producir una señal discreta. Se expresa generalmente en hercios. [29]

4.3.19. Discretización.

Es uno de los pasos que se necesitan para convertir una señal de analógica a digital. Depende del tiempo de muestreo.

Existen varios métodos entre los que destacan el de Tustin, mapeo de polos y retenedor de orden 0

4.3.20. El regulador PID.

Es un mecanismo de control por realimentación en el cual se calcula el error entre el valor medido y el valor que se desea obtener. Con el objeto de realizar una acción correctora para el proceso. El PID contiene 3 parámetros distintos:

1. Proporcional determina la reacción del error actual.
2. Integral genera una corrección proporcional a la integral del error.
3. Derivativo determina la reacción del tiempo en que el error se produce.

Un controlador PID puede ser llamado también: PI, PD, P o I en la ausencia de las acciones de control respectivas.

Los controladores PI son particularmente comunes porque la acción derivativa es muy sensible al ruido y la ausencia del proceso integral puede evitar que se alcance al valor deseado debido a la acción de control. [30] y [31].

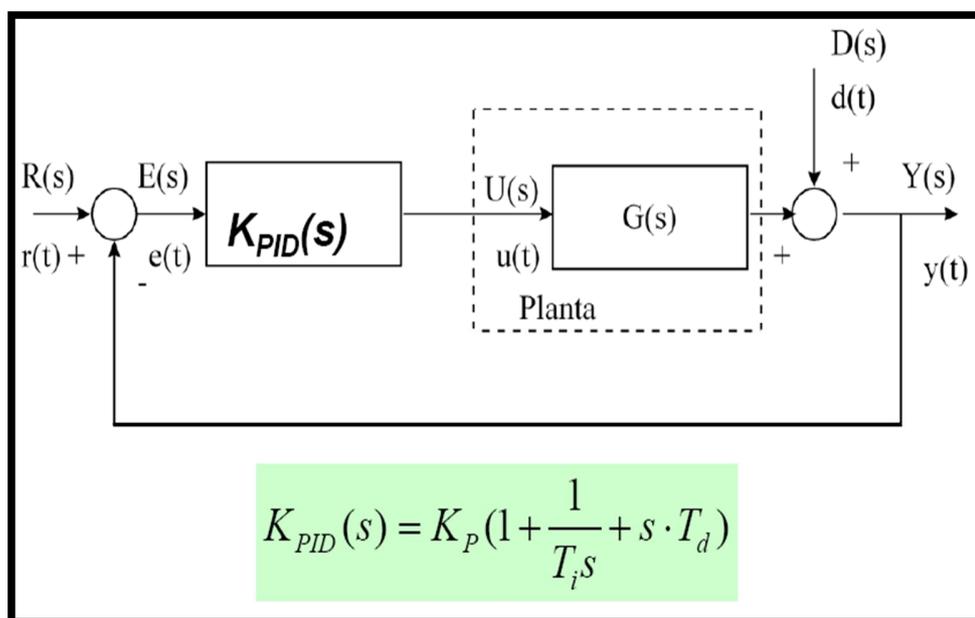


Figura 3.11 Regulador PID.

Fuente sitio web Ing. Eduardo Interiano [30]

4.3.21. Compensador de adelanto.

Técnica utilizada para corregir el funcionamiento de un sistema en lazo cerrado, agregando ceros y polos a la función de transferencia de la planta.

Un compensador de adelanto tiene la forma de:

$$G_c(j\omega) = K_c \alpha \frac{j\omega\tau + 1}{j\omega\alpha\tau + 1} \quad (3)$$

Se encarga de mejorar la respuesta transitoria del sistema.

4.3.22. Lugar de las raíces.

Es la ubicación de los polos y ceros de la función de transferencia de un sistema. Permite realizar el diseño de compensadores mediante la ubicación de polos y ceros en el plano de las raíces.

Esta técnica fue desarrollada por primera vez por Walter R. Evans con las siguientes características:

- Estabilidad del sistema.
- Frecuencia natural (w_n).
- Coeficiente de amortiguamiento (ζ).

En la figura 3.12 se muestra un ejemplo del lugar de las raíces en tiempo discreto.

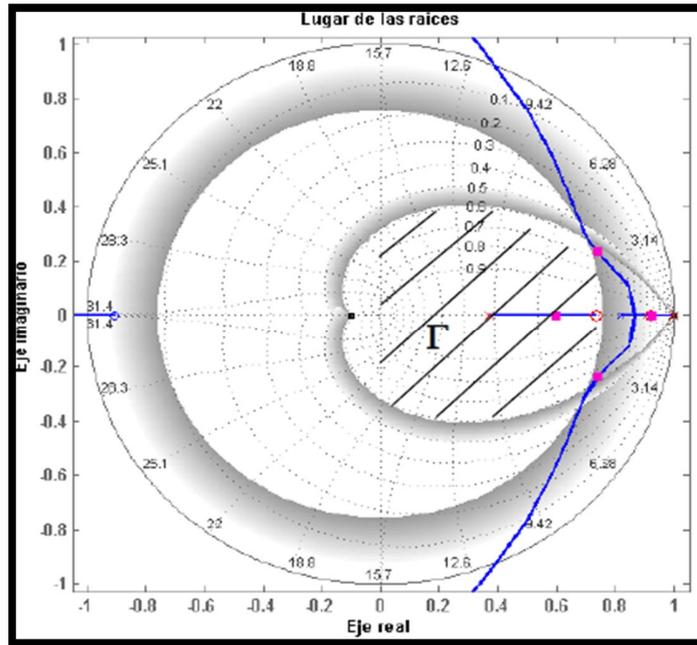


Figura 3.12 Lugar de las raíces en tiempo discreto.

Fuente sitio web Ing. Eduardo Interiano [30]

Capítulo 4 : Procedimiento metodológico.

El presente capítulo sirve de guía al lector para conocer cual fue el procedimiento que se utilizó para llegar a la solución final del proyecto. Se describirán las diferentes etapas seguidas para alcanzar la misma esto basando en el método de diseño de ingeniería

4.1. Reconocimiento y definición del problema.

El primer paso para el reconocimiento del problema fue establecido por el jefe de mantenimiento de Tosty el Señor Manuel Monge, ante las constantes llamadas de los operarios para solicitar el mantenimiento de la línea 6, que estaba presentando constantes problemas durante la producción. Estos fueron atribuidos a la descentralización y falta de control de todas las variables que conforman el proceso en general, provocando problemas en los tiempos y calidad del producto final.

Para darle una mejor solución al problema, el Señor Manuel Monge, contactó al Ing. Luis Solórzano del Departamento de Automatización de DEMASA, para explicarle los problemas que se han mencionado. La solución que se propuso es automatizar el proceso mediante el uso de un controlador lógico programable para el control y monitorización de las diversas variables.

El PLC que se utilizará fue definido con antelación por DEMASA, esto por su compatibilidad con los equipos que existen tanto en la empresa como en la línea que se desea automatizar.

En cuanto a los equipos que se deban comprar el encargado de mantenimiento manifestó que éstos debían ser de buena calidad, garantizados y que contaran con el respaldo de empresas reconocidas con soporte en Costa Rica.

Posteriormente lo que se hizo fue ir a ver el proceso que se pretendía mejorar en compañía del Ing. Luis Solórzano Vázquez, el Señor Manuel Monge, así como con el Señor Juan León, uno de los técnicos que tienen mayor conocimiento de esta línea de producción. La visita se realizó con el objetivo de ver el funcionamiento y analizar la problemática que presentaba para atacarlo con una solución más acorde a lo que DEMASA quería según sus normas de calidad, orden, higiene, seguridad y producción.

Por último se efectuó una reunión con los operarios y los técnicos de mantenimiento de TOSTY, quienes velan por el buen funcionamiento de la producción con el fin de entrevistarlos y recibir información para definir cuales serían los alcances, prioridades y correcciones que se le debían hacer a este proyecto que se va a desarrollar.

Con todo el panorama establecido, se elaboró un nuevo cronograma de actividades, en donde se mostraban los puntos de importancia que debían seguirse en la ruta crítica del proyecto y los que podían esperar, esto para atacar y corregir los problemas de mayor importancia en un tiempo más corto según las prioridades del proceso y de la empresa.

4.2. Obtención y análisis de la información.

Antes de empezar con alguna solución posible para abordar los problemas que se presentan en la producción de la línea 6 de TOSTY, se siguieron los siguientes pasos: analizar, estudiar e investigar la fabricación de los snacks que se hacen haciendo énfasis en los procesos que mejorarán con la solución del proyecto.

Cuando se realizaron las entrevistas se procedió a buscar información en la web, libros y consultar a proveedores de la empresa para ayudar a definir los equipos que se iban a utilizar para la implementación del hardware, entre estos equipos se pueden mencionar los siguientes:

- Sensores de nivel
- Sensores de agua
- Sensores de aire
- Fuente de poder
- Pantalla táctil.
- Módulos de entrada para el PLC
- Módulos de salida para el PLC.
- Variadores de frecuencia
- Tarjetas de Ethernet para los variadores de frecuencia.
- Motores
- Válvulas solenoides
- Switch Ethernet

Por otro lado también se recopiló información sobre el programador lógico programable que se va a utilizar. Es importante conocer sus características de funcionamiento, software de programación y estudiar los manuales para sacar un

máximo provecho del dispositivo a la hora de programar sus rutinas con las diferentes instrucciones que se puede contar.

Según los requerimientos y objetivos que presenta el problema se hizo un análisis de los costos, ya que el proyecto tiene un presupuesto definido por parte de la empresa. Los materiales y equipos necesarios que se debían comprar se dividieron en grupos según su tipo y se pidieron cotizaciones a proveedores reconocidos en el país, con el fin de encontrar cual daba la mejor respuesta para el desarrollo del proyecto.

La solución escogida para enfrentar el problema fue la que se ajustó lo más posible a los requerimientos, objetivos y presupuesto que se plantearon.

4.3. Evaluación de las alternativas y síntesis de la solución.

Las posibles soluciones a los problemas encontrados en la línea 6 de Tosty fueron evaluadas para determinar su validez, en primera instancia, ésta se dio con los conocimientos y experiencia previos que se adquirieron durante el período universitario. También como segundo punto de referencia, por medio de la recopilación de bibliografía e investigación que se había realizado de esta manera las soluciones se fueron descartando para llegar a escoger una sola, la cual será la que se presentará.

Se procedió a plantear diversas soluciones para el proceso para exponerlas a la empresa y determinar en conjunto si se estaba dando una solución certera de acuerdo con las características que ellos deseaban.

Como parte fundamental del proyecto se tendría como unidad central el PLC de la marca Allen Bradley específicamente el 1769-L32E, por sus características se mostraron en la sección 3.2.1 y se llegó a la conclusión que

éste cumplía con las especificaciones necesarias para realizar el proyecto. Por ser de tipo modular en el cual se puede agregar diversos módulos de entradas y salidas según los requerimientos del proceso. El PLC tiene la ventaja de que para futuras aplicaciones se pueden agregar más módulos para completar las funciones que se requieran.

El desarrollo del modelo matemático del calentador de aceite y control del mismo fue realizado con la ayuda del software MATLAB®, por medio de simulaciones se llegó a comprobar su funcionamiento. El Control automático del freidor la empresa decidió no implementarlo por ahora, por que el presupuesto se les salía de lo estipulado.

Para el diseño del control, también se tomaron ejemplos de casos similares que se han realizado en diversas aplicaciones obtenidos mediante bibliografía de libros, foros y clases de control automático en la universidad, esto para conocer el comportamiento característico del freidor entre todos. Se debió de escoger con base en esto y la conducta mostrada de la planta los compensadores adecuados y así obtener el funcionamiento que se desea.

4.4. Implementación de la solución.

Cuando se obtuvo la información necesaria se inició con el diseño de las distintas partes que en conjunto conforman el proyecto. Por lo que se procedió a dividir el proyecto en etapas para tener un mejor orden y desarrollarlo de un modo óptimo. Algunas de estas etapas se mencionarán a continuación, y se ampliarán en el capítulo 5.

➤ **Determinación de las variables, elementos y equipos que conforman el proceso.**

En un inicio se visitó la línea a realizar una lista de las variables, elementos y equipos que se encuentran en el proceso que se va a automatizar. Entre estos se pueden citar: encendido y apagado de motores, control de motores por variadores de frecuencia, sensores de nivel, válvulas solenoides, señales analógicas, señales discretas y señales de termocupla.

Con la lista que se hizo se investigó y buscó información en la bibliografía de la empresa y por internet de los elementos a utilizar, para tener más conocimientos de los mismos. Es importante obtener las hojas de datos de la mayoría de los dispositivos para lograr un mejor funcionamiento de los mismos dentro del proceso automatizado.

La lista también sirvió para definir el estado de los equipos que conforman el proceso, ya que en caso de que alguno estuviera dañado o no se adaptará a las nuevas condiciones de fabricación realizar las compras necesarias de nuevos equipos para lograr la implementación.

➤ **Estudiar los manuales de programación para el software utilizado y características del PLC.**

Al definir el PLC que se iba a utilizar para desarrollar el proyecto, el cual es PLC Allen Bradley de la familia CompactLogix específicamente el 1769-L32E, lo primero que se hizo fue revisar los manuales de éste para conocer sus características e identificar con ello sus debilidades y fortalezas en las aplicaciones del proyecto. Entre estos manuales que se estudiaron destaca el llamado "1769 CompactLogix Controllers User Manual" [32], en donde se pueden encontrar todo lo referente a este PLC.

Otro método utilizado para adquirir conocimiento sobre el PLC fue consultar distintos foros de automatización en línea donde se mencionan las principales funciones, problemas comunes así como soluciones en caso de presentarse algún imprevisto.

Debido a la poca experiencia que se tenía con el software de programación llamado RSLogix 5000, éste se estudió ampliamente gracias a toda la información en línea y manuales [33], que tiene su casa fabricante Rockwell Automation.

➤ **Estudiar los manuales de los módulos que se utilizaran para la aplicación con el PLC.**

Para los módulos utilizados en el desarrollo del proyecto entre los que destacan: entradas y salidas discretas, entradas y salidas analógicas, entradas de termocupla de igual manera debido a el poco conocimiento que se tenía con ellos se estudiaron los manuales para lograr un buen funcionamiento de los mismos a la hora de la programación, conexión e implementación.

➤ **Estudio de manuales de programación y características de la pantalla táctil a utilizar.**

Con la ayuda de los manuales de usuario [34] y de funcionamiento de la pantalla táctil que se va a utilizar, la cual es la Panel View Plus 1000 de la misma marca Allen Bradley (igual al PLC) se identificaron las características de esta, así como la interfaz de usuario por utilizar.

Por otro lado en cuanto a la programación de la pantalla, así como la conexión y configuración con el PLC se estudió el manual FactoryTalk View Machine Edition [35] se logró la familiarización con este dispositivo, el cual constituye el elemento de enlace entre el usuario y el proceso.

➤ **Creación de programas.**

La creación de los programas se inició cuando se comprendió la utilización del software que se iban a utilizar, posteriormente se procedió a diseñar los diagramas de flujo del proceso para facilitar la programación y a partir de éstos se programaron las diferentes subrutinas del programa del PLC y de la pantalla táctil.

➤ **Simulación de programas.**

Como retroalimentación, cuando se iba programando se utilizó el software RSLogix Emulate 5000, en este se iban probando las subrutinas conforme se iban realizando, porque el software mencionado permite simular la conexión de la computadora al PLC a pesar de que este no estuviera físicamente.

También mediante el RSLogix Emulate 5000 y el software RSlinx Classic (este establece las conexiones entre el PLC, PC, Pantalla táctil y demás dispositivos que se conectan al PLC) se pudo simular las pantallas que se crearon para pantalla táctil porque con la ayuda de ambos software se puede establecer un enlace entre los dos programas (PLC y la pantalla táctil).

➤ **Instalación de dispositivos electrónicos para la automatización.**

Cuando se tuvieron definidos los componentes eléctricos y electrónicos que se iban a utilizar se procedió a cotizarlos para que la empresa los adquiriera cuando tuvieran el presupuesto.

La instalación de estos equipos estará a cargo de mi persona pero es colocado en su totalidad por los técnicos electricistas de DEMASA,

específicamente mantenimiento de TOSTY. La ayuda de ellos es de vital importancia porque se necesita entubar y cablear señales de distintos puntos de la planta y llevarlos hasta el PLC. Entre estos dispositivos a instalar se encuentran: sensores, válvulas solenoides, motores, contactores y guarda motores.

➤ **Conexión de señales de control al PLC.**

Las señales de los variadores de frecuencia, contactores, guarda motores, válvulas solenoides, termocuplas, sensores y motores se conectaran con borneras ó regletas de conexión en donde llegan los cables de control de estos dispositivos y de allí al PLC. Para tener orden a la hora de realizar el cableado, conexión y puesta en marcha de la línea automatizada cada señal fue numerada, esta se puede observar en los planos que se encuentran en el Apéndice A.4.

➤ **Prueba del programa diseñado.**

Como seguridad y verificación antes de poner en marcha el proyecto, el programa fue descargado en el PLC y en la pantalla táctil para someterlo a pruebas. De esta manera se verificó mediante dispositivos que simulaban las distintas entradas del proceso a los módulos, en donde se comprobó el correcto funcionamiento de la lógica de programación.

Conforme se fueron realizando las pruebas del programa se vio la necesidad de realizar ajustes a algunas variables comúnmente en línea, es decir con el PLC conectado, esto con el objeto de volver a comprobar el correcto funcionamiento del programa desarrollado.

Se debe de mencionar que la fase de prueba constituye una parte vital del proyecto porque al comprobar el funcionamiento se podrá minimizar errores de producción o inclusive accidentes que se podrían ocasionar si se montará el proyecto sin ninguna prueba.

➤ **Implementación del proyecto.**

Una vez concluida la fase de pruebas y se tenga la versión final del programa, se procede a la implementación final. La misma se debe realizar en días en que la planta no esté funcionando ya que de nuevo será necesario realizar pruebas en los programas con los equipos. En caso de tener algún error corregirlo debidamente para garantizar una puesta en marcha del proceso óptimo.

➤ **Capacitación para el uso del proceso.**

Debido a que el sistema sufrió modificaciones y tendrá nuevos equipos se procedió reunirse con los operarios y técnicos eléctricos de la empresa para que comprendieran el nuevo método de control y monitoreo del proceso, también se les explicó como usar la pantalla táctil.

Por otro lado a los técnicos de la empresa se les brindó una charla sobre los cuidados, uso y mantenimiento del PLC, con el fin de que en caso de falla puedan identificarlo.

Como complemento a las charlas se les facilitó manuales de usuario ilustrados en donde se explica como se utiliza el programa de la pantalla, así como manuales técnicos sobre las conexiones del PLC y detalles sobre el programa.

Capítulo 5 : Descripción detallada de la solución.

En esta sección se brindará y describirá detalladamente, la distribución de los equipos que se propuso para los gabinetes donde irá el PLC y algunos de sus componentes; luego los software que se utilizaron para la programación del PLC, la pantalla táctil, variadores y sensores.

También se detallará la solución que se seleccionó tanto para los equipos como para los programas en cada una de las etapas en que se dividió el proyecto, que en conjunto da como resultado la solución final, y que está conforme con los objetivos planteados al inicio de este documento.

A continuación se muestra el diagrama de bloques general del proyecto

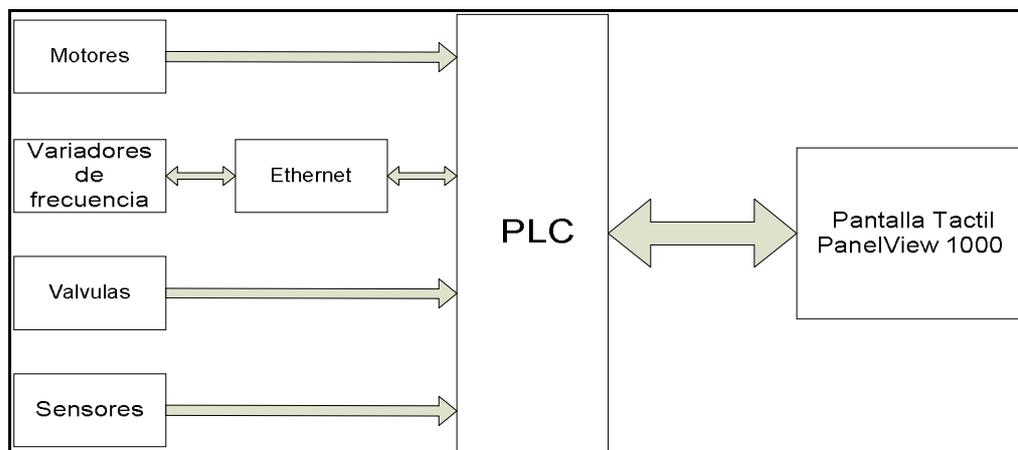


Figura 5.1 Diagrama general del proyecto.

A continuación se explica de manera general y resumida el funcionamiento del sistema, esto en base a la figura 5.1, tenemos:

1. Se energiza el PLC y todos sus componentes.
2. En la pantalla táctil se muestra el “*display*” de bienvenidos.
3. Sale luego la pantalla de menú principal.
4. Se debe de elegir que se quiere arrancar en el proceso, esto en la parte de “Arranques”. En esta sección el arranque puede hacerse en modo manual o automático.
5. Elegir en la parte de “Velocidades” las mismas para los motores que cuentan con variador de frecuencia, esta información viaja vía Ethernet.
6. La información viaja del PLC a los distintos componentes electrónicos y mecánicos del proceso.
7. Los componentes electrónicos, así como la inclusión de sensores envía retroalimentación para el monitoreo del proceso por medio de la pantalla táctil.

5.1. Propuesta para la colocación física de los equipos.

Constituye una parte importante para el proyecto, pues será donde se colocará no solo el PLC sino la mayoría de los componentes que hacen que la línea automatizada funcione, es por eso, que una colocación acertada ayudará a tener un mejor orden a la hora que se encuentre en funcionamiento la línea, cuando se encuentre en mantenimiento o cuando haya que realizarle alguna mejora en el futuro.

Se propuso a la empresa DEMASA la colocación de gabinetes o armarios, estos divididos en dos partes:

- La parte de control.
- La parte de potencia.

El armario descrito se muestra en la figura 5.2, en donde el sector izquierdo corresponde donde irá ubicada la parte de control y la parte derecha irá ubicada la parte de potencia. Esta última parte debido a la gran cantidad de componentes que se necesitan para integrar todo en un solo gabinete deberá de ser ampliado.



Figura 5.2 Armario de control y armario de potencia.

La propuesta que se da a la empresa es la instalación del PLC en el gabinete con sus respectivos módulos que lo conforman, en la misma parte de control se colocará la fuente de alimentación de 24V (el PLC funciona con este

valor de tensión), las borneras donde se encuentran las señales y el Switch de Ethernet (ICP DAS NS-205).

La solución que se propone es similar a la mostrada en la figura 5.3 y en la tabla 2 se muestra la distribución que se le recomendó a la empresa DEMASA, en esta tabla se muestra la distribución de los dos rack de 13 ranuras cada uno, cabe mencionar que los planos de conexión se encuentran en el apéndice A.4 del presente documento.

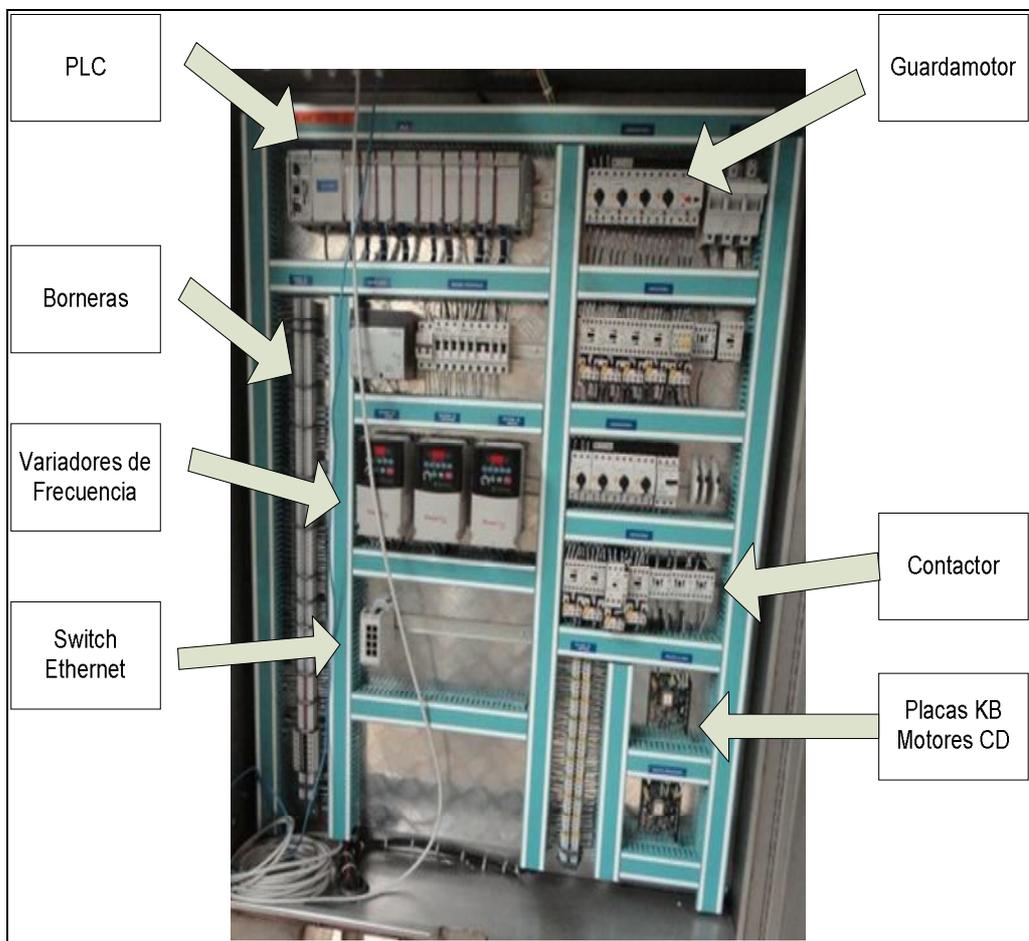


Figura 5.3 Distribución propuesta para el gabinete de control

Tabla 2 Propuesta de la ubicación de los módulos del PLC por ranuras (2 racks de 13 ranuras)

Ranura	Módulo	Número de Catálogo	Descripción.
0	Procesador CompactLogix	1769-L32E	Procesador de puerto Ethernet y RS232, con 750Kbytes de memoria
1,2,3,4	Entradas discretas	1769-IA16	Tarjeta con 16 entradas
5,6	Salidas discretas	1769-OW16	Tarjeta con 16 salidas
7	Entradas analógicas	1769-IF4	Tarjeta con 4 entradas analógicas
8	Salidas analógicas	1769-OF4	Tarjeta con 4 salidas analógicas
9	Entrada termocuplas	1769-IT6	Tarjeta con 6 entradas para termocupla

Como se mencionó anteriormente se utilizó el Switch (figura 5.4) para conexión Ethernet ICP DAS NS-205, este se coloca en el mismo gabinete con el PLC, permitiendo la conexión y se configurará una red de los distintos dispositivos electrónicos que conforman el proyecto.

La red que se obtiene con el proyecto está compuesta por los siguientes componentes:

- PLC.
- Pantalla Táctil
- Computadora (PC)
- Variadores de frecuencia.



Figura 5.4 Switch ICP DAS NS-205.

La empresa DEMASA entre sus prioridades para ésta y futuras aplicaciones puso como requerimiento al proyecto la utilización de variadores de frecuencia controlados por medio de Ethernet, su funcionamiento y aplicaciones serán explicadas más adelante en este documento. Se planteó a la empresa colocarlos en el mismo gabinete en la parte de potencia para evitar que se dañen al estar en un ambiente húmedo y de altas temperaturas. Los variadores utilizados son de la marca Allen Bradley específicamente el modelo Power Flex 40, a los cuales se les agregó la tarjeta para adaptarle el puerto Ethernet llamada 22-COMM-E, estos se muestran en la figura 5.5.



Figura 5.5 Variador de frecuencia utilizado en el proyecto, con su adaptador para Ethernet

También en el mismo gabinete de potencia, se deben de incluir las líneas para cada fase que alimentan los variadores de frecuencia 220V en tensión trifásica, los “*breaker*” de los componentes, así como los contactores y guarda motores para el control y retroalimentación de los motores de toda la línea de tensión.

5.2. Descripción del software que se utilizó.

En esta sección se detallará el software utilizado para la programación del PLC, pantalla táctil para el desarrollo del proyecto y la manera en que se configuró los variadores de frecuencia para lograr su funcionamiento vía Ethernet. También se explicará el programa utilizado para desarrollar el control automático del intercambiador del freidor.

- **RSLogix 5000.**

El programa RSLogix 5000, fue utilizado para la programación del PLC, en este software se puede programar en líneas de código, lógica de escalera y en bloques. Para la solución de este proyecto en específico se utilizó la lógica de escalera y los bloques interconectados.

A diferencia de su antecesor RSLogix 500, el 5000 posee una gran gama de instrucciones que ayudan a facilitar la programación, según la aplicación que se requiera. Algunas de las instrucciones con las que cuenta son de comparación numérica, operaciones matemáticas, manejo de datos, flujo de programa, banderas, comunicación, conteo, temporización y escalamientos. [36] y [37]

Tiene la ventaja que se pueden crear “tags” o etiquetas para facilitar la programación del PLC.

En la Figura 5.6, se muestra la interfaz de este software de programación del PLC.

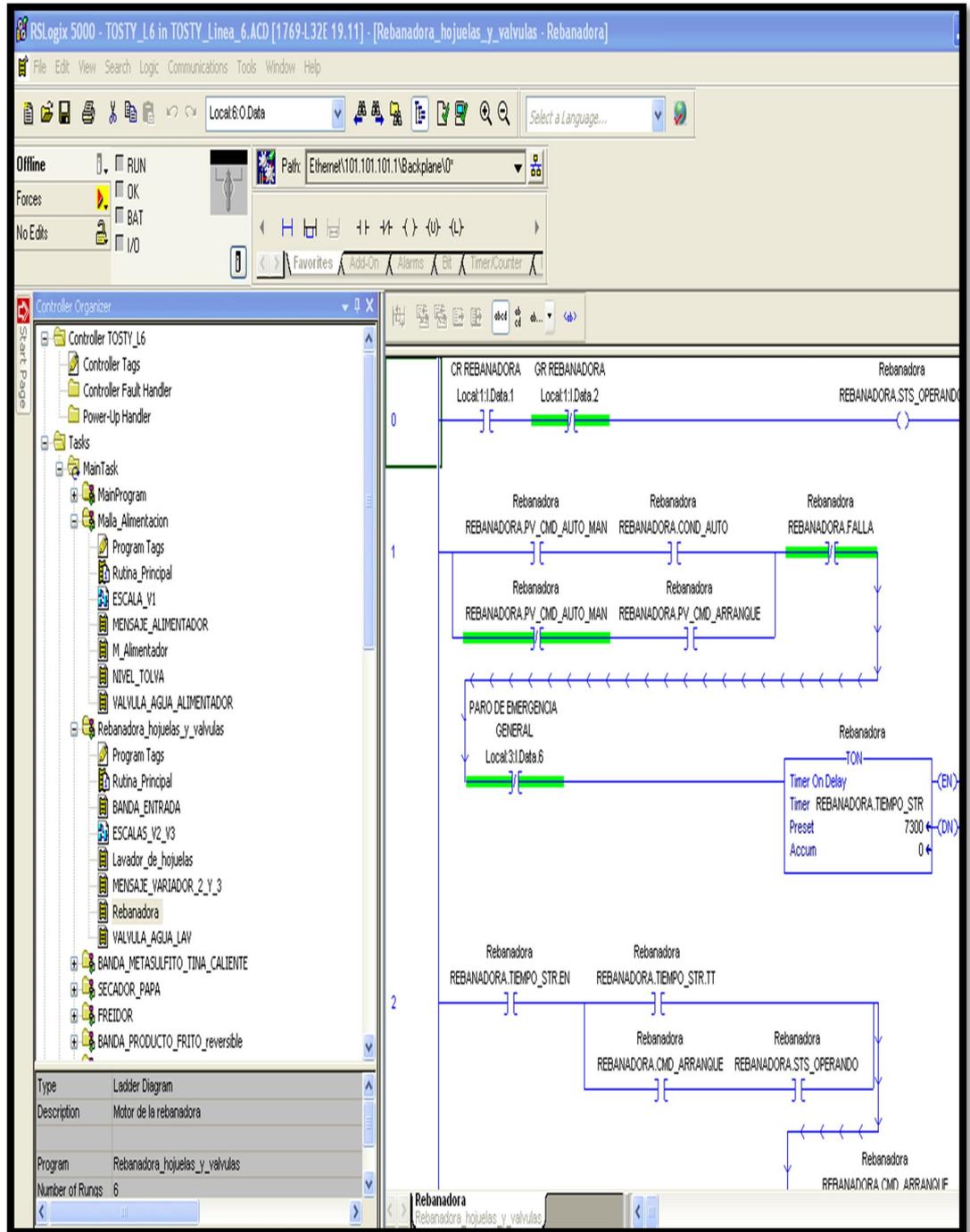


Figura 5.6 Interfaz del software RSLogix 5000.

- **RSlinx Classic.**

Permite la interconexión de los dispositivos, no de la programación. La función principal es hacer el enlace de comunicación del PLC, Panel View (pantalla táctil) y la computadora, es decir una red.

Admite además, que el PLC Allen Bradley acceda a una amplia variedad de aplicaciones de Rockwell Software y Allen Bradley, entre las que se pueden destacar: configuración, programación, interfaz operador-máquina, hasta aplicaciones de adquisición de datos con el uso de Microsoft Office o inclusive páginas web.

A continuación se muestra la interfaz del RSlinx Classic, en la Figura 5.7.

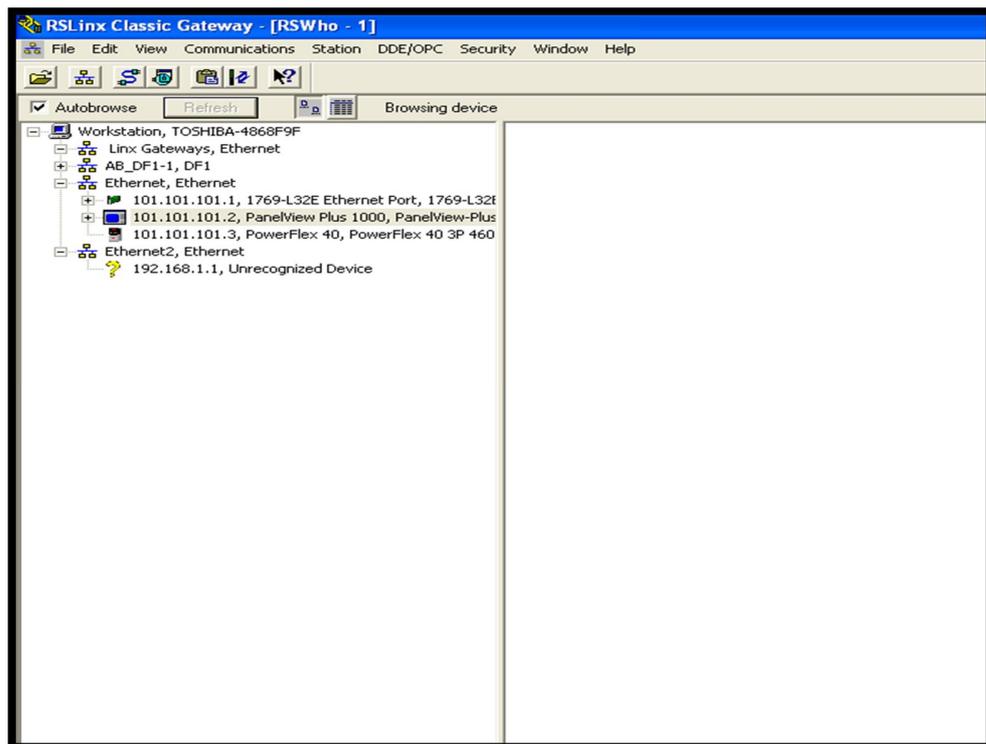


Figura 5.7 Interfaz para el usuario del RSlinx Classic.

- **FactoryTalk View Machine Edition (Me).**

Programa de Rockwell Software permite la creación de la interfaz hombre máquina ó HMI ² por sus siglas en inglés. Pensado para instalarse en el control de una máquina o proceso, presenta lo necesario en una unidad de software compacta. Ver figura 5.8.

En el caso específico del proyecto se utilizó para el control y monitorización de las distintas etapas que comprenden el proceso de fabricación en la línea a automatizar.

La empresa adquirió para aplicación la pantalla táctil Panel View Plus 1000.

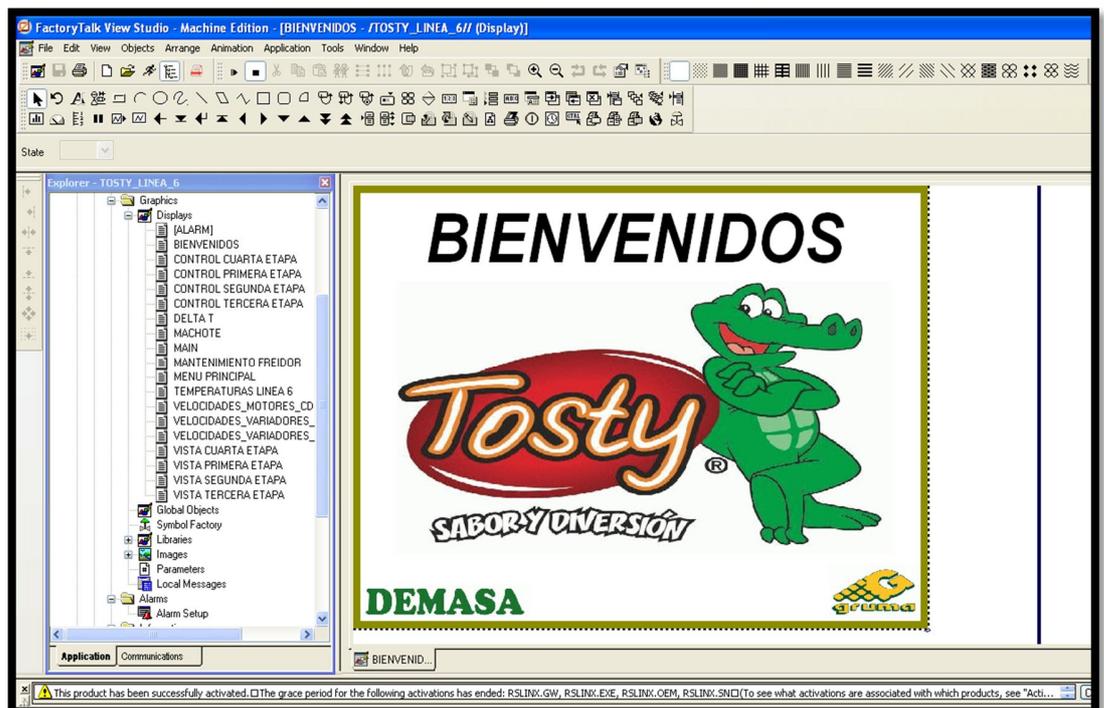


Figura 5.8 Interfaz del software FactoryTalk View Studio ME.

² Ver apéndice A.1

Con la ayuda del software RSlinx Classic se creó una red entre los dispositivos que cuentan con puerto Ethernet como lo es la pantalla Panel View 1000, de esta manera se descarga el programa a la pantalla por medio de la dirección IP que se le dio al dispositivo. Ver apéndice A.3.

A continuación en la siguiente tabla se muestran las direcciones IP de los componentes que utilizaron puerto Ethernet para configurar la red con la ayuda del Switch NS-205, cabe mencionar que faltan los variadores de frecuencia pues se explicarán más adelante.

Tabla 3 Direcciones IP para los dispositivos de automatización dentro de la red.

Dispositivo	Dirección IP asignada
PLC	101.101.101.1
Panel View	101.101.101.2
Computadora	101.101.101.9

- **Boot/DHCP Server 2.3**

Los variadores de frecuencia por defecto al adquirirlos traen una dirección IP asignada por el fabricante, para poder lograr que éstos se integren a la red que se ha configurado es necesario asignar una nueva dirección, que con este servidor se logra.

El protocolo de comunicación tipo Boot permite la configuración de los variadores de frecuencia, ya que sin disco duro poseen capacidades de arranque limitadas, así se le asignaron las siguientes direcciones IP (las cuales se muestran en la Tabla 4), para integrarlos en una red conjunta con los dispositivos de la Tabla 3.

Tabla 4 Direcciones IP asignadas para los 6 variadores de frecuencia de la línea.

Dispositivo	Nombre asignado	Dirección IP asignada
Variador de frecuencia 1	Banda de alimentación	101.101.101.3
Variador de frecuencia 2	Lavador de Hojuelas	101.101.101.4
Variador de frecuencia 3	Banda de Entrada	101.101.101.5
Variador de frecuencia 4	Banda de Paleta	101.101.101.6
Variador de frecuencia 5	Banda Salida de Freidor	101.101.101.7
Variador de frecuencia 6	Malla Sumergida	101.101.101.8

- **MATLAB Version 7.10.0**

Este software es un entorno de programación que se basa en el desarrollo de algoritmos, análisis de datos, visualización y cálculo numérico. Por sus diversas aplicaciones y su sencillo uso, se utilizó para realizar el diseño del control de temperatura del aceite para el freidor de la línea que se va a automatizar.

Con este se obtuvo el modelado matemático de la planta, así como el compensador para luego ser verificados con las herramientas que presenta este mismo software.

5.3. Solución final.

A continuación se le brinda información sobre la solución final que se escogió para enfrentar el problema, por lo largo del proceso y para facilidad en la explicación se dividió en distintas etapas las cuales se detallan, tanto en hardware como en software.

Las etapas son:

- Control y monitorización vía Ethernet de motores con Variador de Frecuencia.
- Control de velocidad para motores CD.
- Arranque de motores.
- Encendido de Válvulas solenoides.
- Secuencia automática.
- Monitorización del proceso.
- Seguridad.

Cabe mencionar que para efectos de la programación en el RSLogix 5000, se decidió también dividir el proceso en 4 etapas principales y una de mantenimiento las cuales según la Figura 3.1 comprenden:

Tabla 5 Etapas del proceso para la programación.

Etapas	Compuesta por:
Primera etapa	<ul style="list-style-type: none"> • Alimentador. • Rebanadora. • Lavador de Hojuelas. • Banda de Entrada. • Válvulas solenoides de agua alimentador y rebanadora.
Segunda etapa	<ul style="list-style-type: none"> • Banda Meta sulfito • Extractor • Inyector • Banda secador • Válvulas solenoides de agua caliente y aire.
Tercera etapa	<ul style="list-style-type: none"> • Filtro • Banda paletas • Malla sumergida • Banda salida freidor • Salero
Cuarta etapa	<ul style="list-style-type: none"> • Banda producto frito • Condimentador • Banda final • Trombler o banda
Mantenimiento	<ul style="list-style-type: none"> • Bomba de transferencia • Elevador

El proceso a mejorar por medio de la automatización consta de distintos componentes entre los que destacan: motores en corriente directa y alterna, sensores de nivel y termocuplas. Se le agregaron otros componentes como válvulas solenoides, más termocuplas, así como sensores para retroalimentar y monitorizar el sistema de fabricación de snacks.

En la Tabla 6 se muestra la lista de los motores que se utilizaron con sus características principales las cuales se tomaron en cuenta a la hora de realizar su automatización, la compra de los contactores y los guardas motores. En esta tabla se indica si el motor posee un VDF³ o se controla con una placa marca KB.

³ Ver apéndice A.1

Tabla 6 Motores del proceso.

	Nombre en el proceso	Marca	Voltaje de funcionamiento (V)	Caballos de fuerza (hp)	Variador de frecuencia	CD
1	Motor de alimentación	Maitec Type NMRV63	220	0.75	X Allen Bradley Power Flex 4	
2	Motor lavado de hojuelas	Motovario Type MMRV075	220V	1.5	X Telemecanique Altivor 31	
3	Rebanadora	Bulds Reliace	220V	2		
4	Motor malla Metal sulfito	Bulds Reliace	220V	0.5	X Telemecanique Altivor 31	
5	Motor banda	Bulds Reliace	220V	0.5		
6	Inyector		440V	3.7		
7	Extractor		440V	0.55		
8	Motor banda	Bulds Reliace	440V	1		
9	Motor banda freidor Paletas		220	0.5	X Allen Bradley CAT 1305 AA02A	
10	Motor elevador		220	3		
11	Motor banda freidor malla sumergible		220	0.5	X Allen Bradley CAT 1305 AA02A	
12	Motor banda freidor salida		220	3/4	X Allen Bradley CAT 1305 AA03A	
13	Motor condimentador (salero)	Placa marca KB control CD	110V entrada a la placa, salida al motor CD 0-90V	¼ a 1.8A		X
14	Motor filtro		220	0.5		
15	Motor banda		220	0.5		
16	Motor condimentador (papiondas)	Placa marca KB control CD	110AC entrada a la placa, salida al motor CD 0-90V	¼ a 1.8A		X
17	Motor trombler	Siemens	220	2		
18	Motor banda de salida	Unimort	220	0.33		
19	Bomba principal		220	15		
20	Bomba de transferencia		220	3		

- **Control vía Ethernet de motores con Variador de Frecuencia.**

La línea cuenta con 6 variadores de frecuencia, los cuales controlan la velocidad de motores en distintas etapas del proceso que son vitales, porque controlan desde la cantidad de papa que ingresa al proceso, hasta el paso de la misma a las siguientes etapas y por último controlan el tiempo que el producto pasa por el freidor para su cocción.

En la Tabla 7 se muestran los 6 variadores de frecuencia con los nombres que se le dieron para la programación, así como una breve descripción de la función que realizan.

Tabla 7 Variadores de frecuencia y su función dentro del proceso.

Nombre asignado	Función
Banda de alimentación	Cantidad de papa que ingresa al proceso
Lavador de Hojuelas	Controla el giro del lavador de hojuelas
Banda de Entrada	Banda que determina el ingreso de producto a la siguiente etapa del proceso
Banda de Paleta	Tiempo de cocción en la primera parte del freidor
Banda Salida de Freidor	Tiempo de cocción a la salida del freidor
Malla Sumergida	Tiempo de cocción en la segunda del freidor

Anteriormente el operador debía controlar manualmente el potenciómetro de cada variador y sincronizarlo conforme a la cantidad de producto que se requería en distintos lados de la línea. Había 3 gabinetes con los VDF en su interior, ahora el podrá hacerlo desde un solo control y saber la velocidad (0 a 60Hz) a la que se encuentran en tiempo real sin movilizarse.

Para lograr el control remoto desde el PLC a los variadores se les debió de hacer cambios en la configuración de los parámetros que presentan. Creando

una rutina de programación de usuario en la que se pueda controlar y monitorizar los mismos.

Hardware.

Los variadores de frecuencia que se encontraban habían de varias marcas: los Telemecanique Altivor 31, Allen Bradley modelo Power Flex 4 y CAT1305. En donde mediante la interfaz de usuario BOP (Basic Operator Panel, Figura 5.9 c) permitía el control de la frecuencia de trabajo (0 a 60Hz) y con ello variar la velocidad del motor. Estos se encontraban colocados a lo largo de la línea de producción y se exponían a diversas condiciones adversas para su funcionamiento por ejemplo: altas temperaturas, humedad, golpes y excesiva manipulación.



Figura 5.9 Variadores de frecuencia a) Power Flex 4 b) Altivor 31 y c) interfaz BOP.

Debido al requisito por parte de la empresa de manejar estos variadores por medio de Ethernet, se investigó y se llegó a la conclusión de estandarizar todos VDF. Así se llegó a la conclusión por sus ventajas, confiabilidad y compatibilidad

con el PLC, de usar el variador de frecuencia Power Flex 40 con el adaptador Ethernet 22-COMM-E.

Una vez que se adquirieron los variadores se procedió a realizar la red con el PLC, la pantalla táctil y la computadora; para ello se utilizó el servidor BOOT/DHCP para darles una dirección IP a cada elemento conforme a la red que se iba a realizar.

A continuación en la Figura 5.10 muestra como se configura en el RSLogix 5000 la dirección IP que se le ha dado con el servidor BOOT/DHCP.

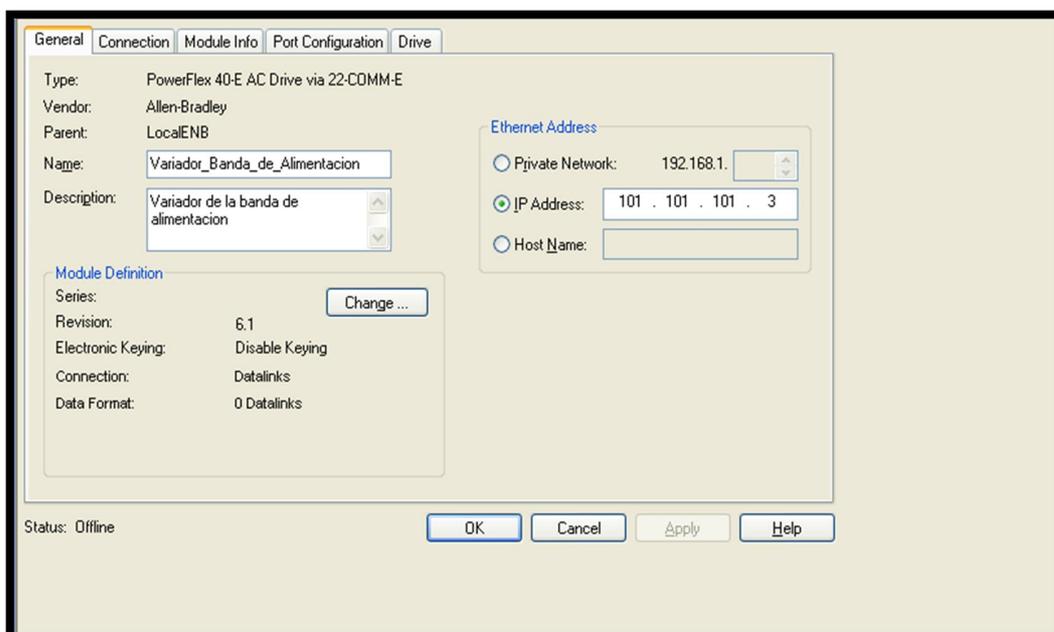


Figura 5.10 Configuración para los variadores de frecuencia en el RSLogix 5000.

La colocación de los VDF con control y monitoreo por medio de red presenta numerosas ventajas, entre las que destaca principalmente la obtención de 167 parámetros de mediciones de tensión, corriente, revoluciones, aceleración, entre otros (Ver Figura 5.11). Datos que se deben de procesar para

ser mostrados en tiempo real tanto en la pantalla Panel View 1000 como en el software RSLogix 5000 en modo en línea. También son de fácil programación pues existen bits de monitoreo y control para la puesta en marcha de los mismos.

Con el uso de los VDF con Ethernet se elimina el uso de entradas y salidas analógicas los cuales tienen un gran valor económico, quitan espacio en el gabinete y se necesita más cantidad de cables para su conexión. También se eliminaron los contactores que antes se utilizaban para energizar los mismos, ya que el encendido y apagado del variador solo dependerá de los bits de control.

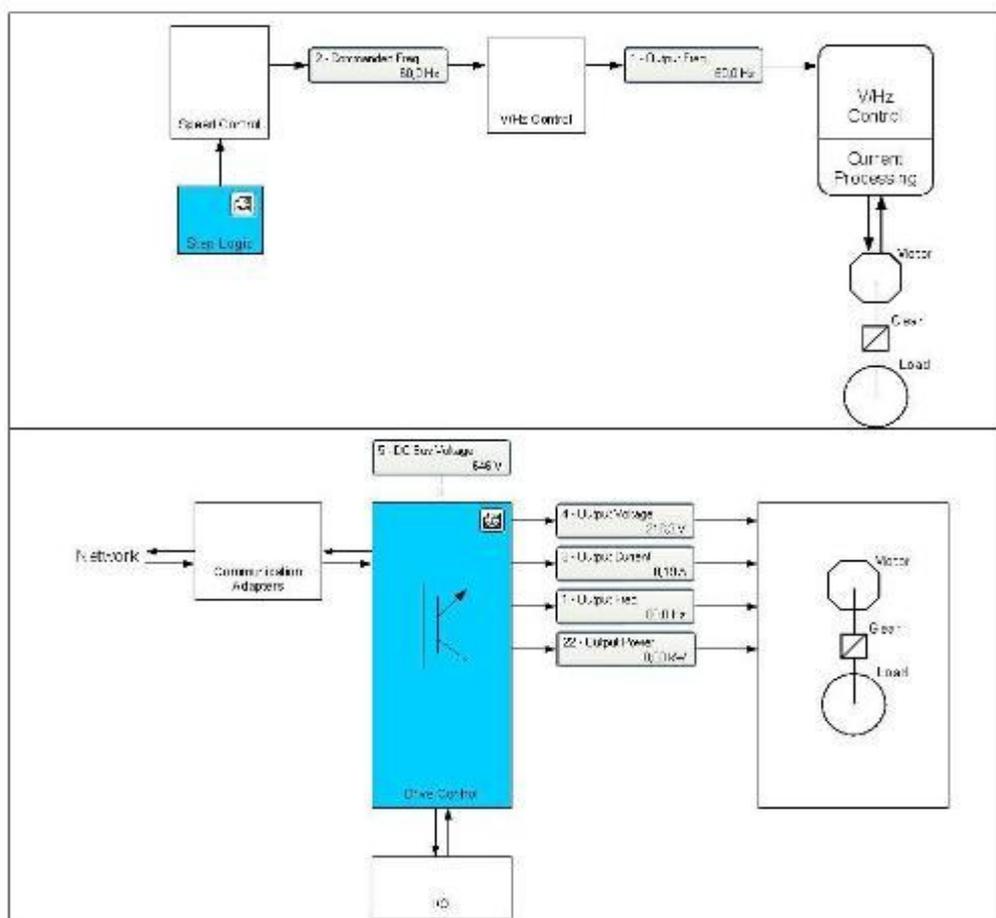


Figura 5.11 Parámetros que se pueden obtener con el VDF en Modo en línea en el PLC

Se recomendó instalar los 6 variadores de frecuencia en el gabinete de potencia como se había mencionado, en donde se les garantiza condiciones de funcionamiento seguras y se alargará su vida útil a éstos.

Para la conexión del variador con el PLC solo se debe de colocar un cable de red entre el Switch y el adaptador 22-COMM-E colocado en cada uno.

A continuación se explicará de manera detallada el software que se diseñó para controlar los variadores desde el PLC, en donde se utiliza la pantalla táctil como interfaz con el usuario.

Software.

Para controlar la velocidad de los motores por medio del ciclo de trabajo, esto variando la frecuencia, se creó un programa tanto en el RSLogix 5000 que se enlaza con la pantalla creada para la interfaz con el Panel View 1000. De esta manera se puede subir o bajar la frecuencia según se necesite en cada uno de los 6 variadores.

En la Figura 5.12 y 5.13 se muestran las pantallas creadas con una breve descripción de la función de sus botones. Cabe mencionar que para ingresar el valor deseado de la frecuencia se debe de presionar el botón de "Set Point" (SP en las Figuras) con el cual sale un teclado el cual se muestra en la Figura 5.14.

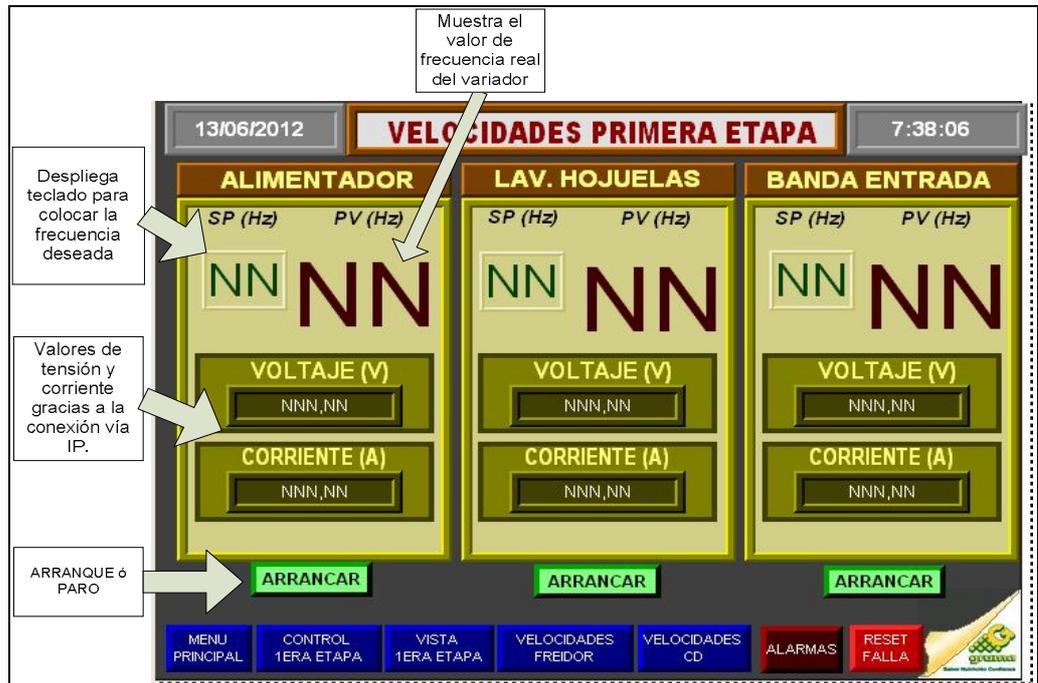


Figura 5.12 Control de los primeros 3 VDF.

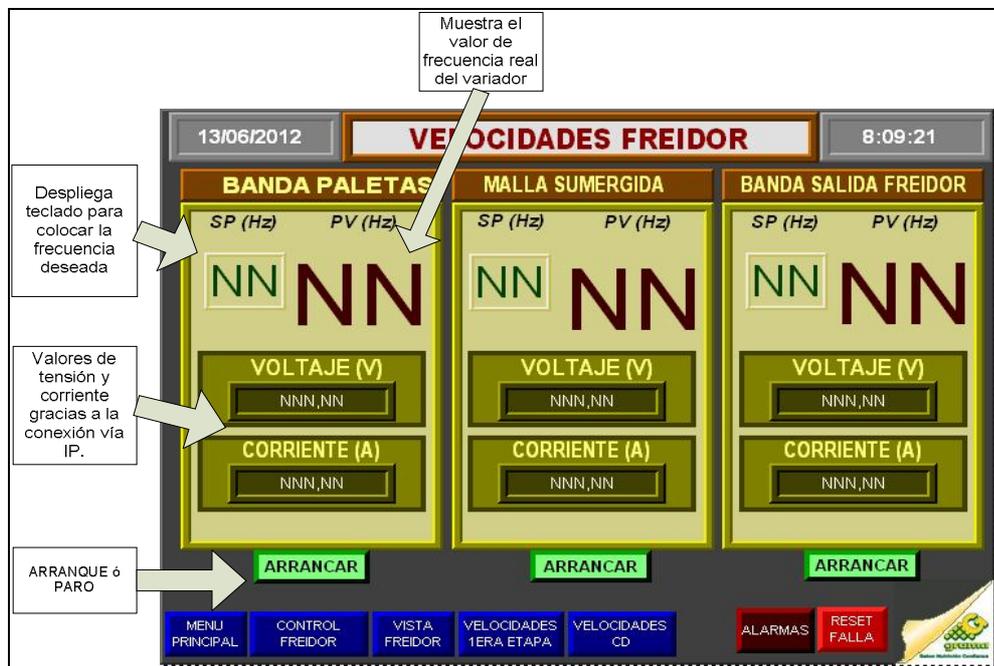


Figura 5.13 Control de los 3 VDF del freidor.



Figura 5.14 Teclado para ingresar el valor deseado frecuencia.

Las pantallas de las Figuras 5.12 y 5.13 se encuentran enlazadas con el programa que se creó en el PLC que permite controlar la frecuencia de trabajo mediante el Set Point (SP). Dentro del programa del PLC se necesita escalar los valores pues el VDF recibe valores de 0 a 600 y se le está ingresando de 0 a 60, esto se hace con la ayuda del bloque SCL y MUL. Estos valores son enviados al variador mediante una etiqueta llamada VDF:O.FreqCommand.

El valor de “Process Value” (PV), es el valor real que se encuentra el variador, esta señal es enviada al PLC por medio de la etiqueta VDF:I.OutputFreq en un valor de 0 a 600 por la cual se debe de procesar de manera inversa a como se mencionó para el SP por medio de los bloques SCL y MUL, de esta manera se despliega en la pantalla un valor de 0 a 60Hz.

Los botones de ARRANCAR y DETENER activan o desactivan el bit de “Star” ó “Stop” para cada VDF seleccionado, este dispositivo envía un bit al PLC de tipo booleano que indican si el variador se encendió, apagó o entró en falla, estos bits son VDF:I.Active y VDF:I.Fault.

El programa diseñado para el arranque y paro del variador del PLC, fue creado de tal manera que éste no solo realice la función que se menciona, sino también este monitoriza mediante retroalimentación de los mismos variadores.

Esto se hace con las siguientes líneas de programación mostradas en la Figura 5.15, según las entradas que se activan el VDF se encuentra Operando, Detenido o en Falla.

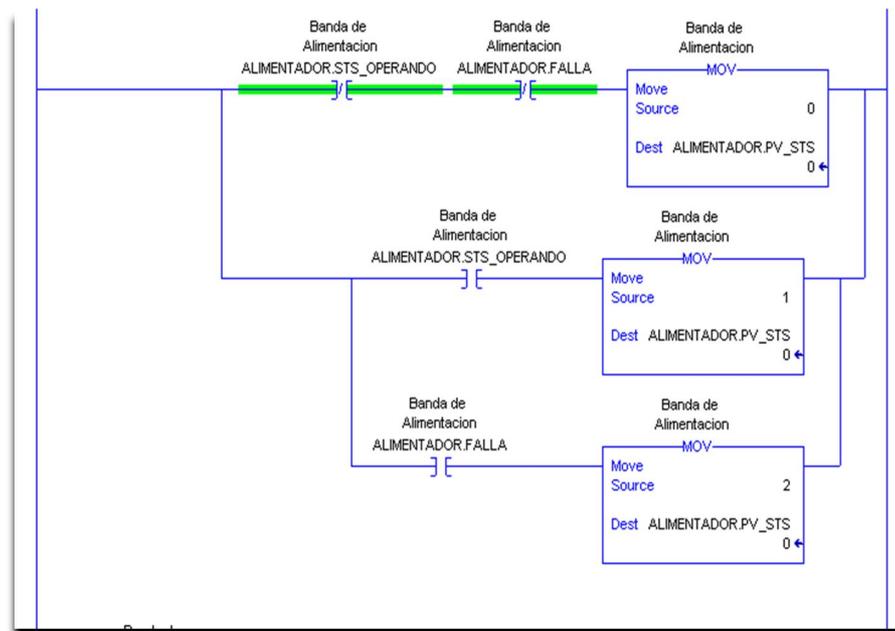


Figura 5.15 Líneas de programación que indican el estado del VDF.

- **Control de velocidad para motores CD.**

La línea tiene 2 motores en corriente directa uno para el salero y otro para el condimentador. Cuentan con una tarjeta marca KB, esta realiza una función similar al variador de frecuencia, pero a diferencia de controlar la frecuencia maneja una señal proporcional de tensión en CD que va hacia el motor.

Las tarjetas no se sustituyeron pues se encuentran en perfecto funcionamiento y se pueden integrar al PLC que se adquirió.

Hardware.

Las tarjetas KB se encuentran actualmente cerca del motor que controlan, por lo que se decidió y recomendó colocarlas en el gabinete de potencia en un espacio asignado para ellas porque donde están no reúnen las condiciones para su buen funcionamiento.

La conexión que se debe realizar es por medio de los módulos de salidas analógicas (1769-OF/4), una salida del mismo para cada motor. Ver apéndice A.4.

Software.

Se creó una pantalla y un programa donde se controla el motor CD que se escoge, de una manera similar a lo diseñado para el variador de frecuencia, el usuario asigna el valor numérico que desea suministrar al motor. En la Figura 5.16 se muestra la pantalla creada para realizar esta función.

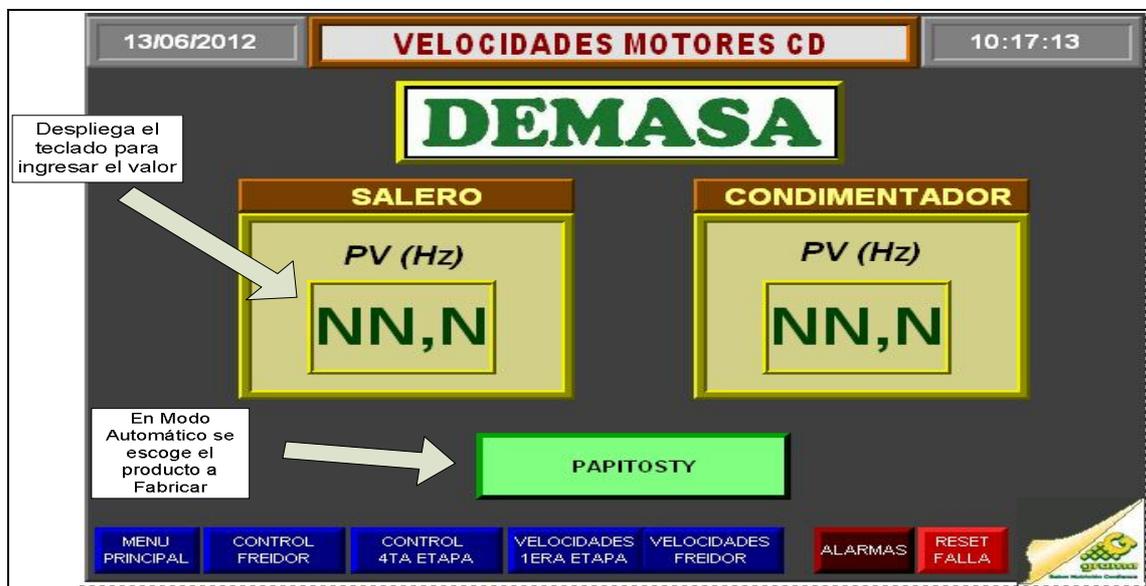


Figura 5.16 Pantalla que se creó para Control de Motores CD.

Al presionar el PV sale un teclado similar al de la Figura 5.14 en donde se ingresa el valor que se desea que trabaje el motor. Este valor que ingresa se guarda en una variable interna la cual es procesada por medio de un bloque SCL (escala) para que el PLC lo “entienda” según números proporcionales.

Al igual que el VDF los dos motores, se les creó una rutina para conocer el estado en que se encuentran, por lo que el usuario podrá conocer en tiempo real la condición del mismo es decir: arrancado, detenido o en falla.

- **Arranque de motores.**

En esta parte se describe la solución tanto en hardware como en software que se implementó para el arranque y control de los motores que se encuentran en la Tabla 6.

Hardware.

En cuanto a los motores se decidió en conjunto con la empresa de mantenerlos en el proceso, porque éstos tienen el correcto mantenimiento desde que se adquirieron. Funcionan perfectamente en el ambiente difícil en que se encuentran y se pueden conectar correctamente pues son compatibles con los módulos de entradas y salidas discretas del PLC.

Para encender y apagar los motores, es necesaria la colocación de un Contactor y guarda motor distinto para cada uno, esto según las características que presentan. Al igual que el resto de componentes de potencia, se decidió y propuso colocarlos en el gabinete de potencia.

En la figura 5.17 se muestra la conexión del Contactor y guarda motor para cada motor. En el Apéndice A.4 se muestran las conexiones por medio de los planos de estos dispositivos, los cuales se deben seguir para la implementación final. También se recomendó la utilización de cable eléctrico apto para este tipo

de dispositivos y ambiente de la planta, así como borneras dentro de los gabinetes para un mayor orden.

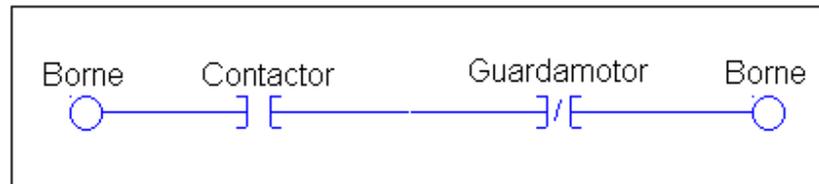


Figura 5.17 Conexión del Contactor y guarda motor para el encendido y apagado de los motores.

Software

Para el control de los motores se crearon programas tanto para el PLC y la pantalla Panel View 1000, los cuales se entrelazan por medio del Switch. En ambos programas crearon etiquetas para realizar una secuencia según lo investigado y visto en clases de la universidad para arranques de motores.

En esta pantalla no solo se puede arrancar el motor, sino que también se puede monitorizar el estado del mismo, ésto se puede observar en la Figura 5.18 con una breve descripción.

En esta imagen se muestran los botones de arranque y paro, en donde se podrá poner en funcionamiento el motor deseado según el nombre que se le dio para el proceso.

La pantalla cuenta para cada motor con un estado que cambia de color según se encuentre: Arrancado, Detenido o Falla. El estado es obtenido por medio de señales que se han agregado, así como por información que el Contactor y guarda motor envían al PLC.



Figura 5.18 Pantalla para el arranque de los motores del proceso.

Se diseñó una rutina de programación en el RSLogix 5000, para el arranque de los motores, contando como extra con estados de retroalimentación de los mismos. Ver figura 5.18.

En la rutina cuando se desea arrancar el dispositivo existe un temporizador que inicia su conteo por un cierto tiempo, mientras se verifica el funcionamiento del sistema. Si no hay problemas o fallas el motor se enclavará y no dependerá más de este tiempo por lo que el motor no arrancará.

Otra fortaleza que tiene el sistema diseñado es que cuando entra en modo de falla, se podrá conocer cual fue la avería para ser reparado, ahorrando tiempo valioso a los técnicos de mantenimiento de la empresa.

También el mismo programa tiene 2 modos de arranque: uno automático en donde se da el arranque en conjunto del sistema y otro manual donde se puede encender de manera independiente cada motor según se desee. Más adelante en esta misma sección se explicará en qué consiste el modo automático y manual implementado para este proyecto.

En la siguiente Figura 5.19 se muestran algunas de las líneas de código que se mencionaron para el control y arranque de los motores. En este caso específico corresponde al motor de la rebanadora, la cual es la encargada de hacer las hojuelas de las papas.

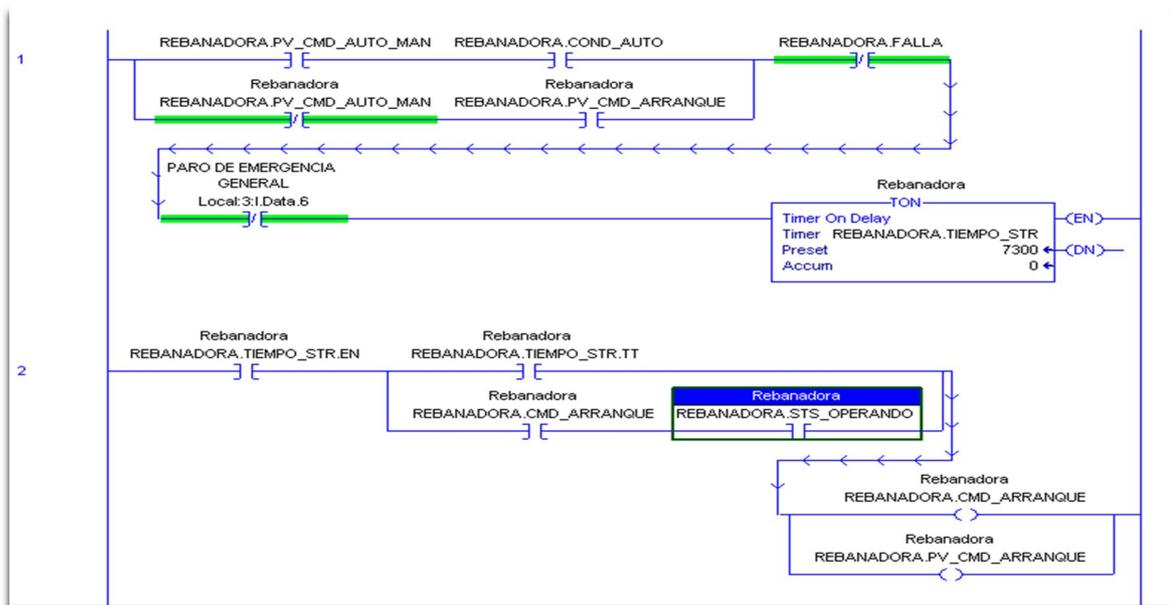


Figura 5.19 Pantalla para el arranque de los motores del proceso.

- **Encendido de Válvulas solenoides.**

La línea 6 de TOSTY cuenta con tuberías de agua y aire en varios sectores por lo que se decidió controlar su apertura por medio de señales del PLC, ésto para evitar desperdicios y gastos innecesarios.

Anteriormente el operador controlaba cuando abrir las válvulas por medio de una llave de paso; esta llave se sustituyó por válvula solenoide la cual estará conectada al PLC. Ver figura 5.20.



Figura 5.20 Válvula solenoide similar a las utilizadas en la automatización de la línea.

En esta sección se describe la solución tanto en hardware como en software que se implementaron para la apertura y cierre de las válvulas solenoides que se agregaron a sistema automatizado.

Hardware.

La línea contaba con 3 llaves de paso, 2 de las cuales son para agua y una para aire, estas llaves se sustituyeron por válvulas solenoides (similares a la Figura 5.20) con las dimensiones adecuadas según las tuberías existentes.

La colocación de estas válvulas se propuso hacerlo en el mismo lugar donde se encontraban las llaves de paso, esto para llenar el vacío que éstas dejan en la tubería y para evitar que los demás componentes instalados tuvieran contacto cercano con agua o aire pues podrían generarse cortos circuitos y daños a los demás equipos eléctricos.

La conexión de las válvulas solenoides es sencilla, basta con conectar la salida discreta de los módulos del PLC asignada en el programa con la válvula que corresponda. Estas señales dentro del gabinete de control se encuentran cableadas con la ayuda de borneras, esto para facilitar el mantenimiento y orden de las mismas.

Además se necesitará conectar sensores de agua y aire a las entradas discretas de los módulos. En el Apéndice A.4 se muestra las conexiones de estos.

Software

Para la apertura y cierre de las válvulas solenoides se crearon programas para la pantalla táctil y una lógica secuencial en el RSLogix 5000.

Para el Panel View 1000 se creó un programa para ABRIR ó CERRAR las mismas, a la vez se podrá conocer su estado, así como el modo en que se están funcionando. Esto se puede observar en la Figura 5.21.

Para mantener la homogeneidad con los motores se trató de configurar la pantalla de la misma manera que ellos para su fácil manipulación por parte de los operadores.

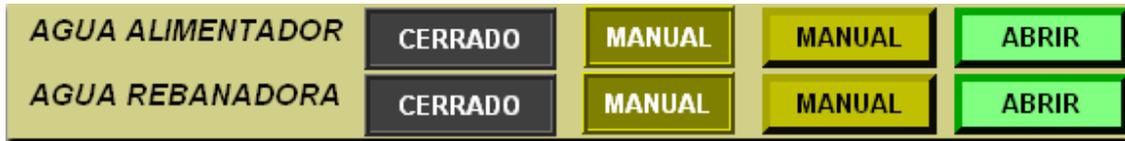


Figura 5.21 Pantalla creada para la apertura y cierre de las válvulas.

En cuanto al programa creado para controlar las válvulas solenoides en el RSLogix 5000, cuenta con sensores de agua y aire, esto para retroalimentar el proceso y verificar que la válvula actuó conforme a lo que se quiere. A continuación en la figura 5.22 muestra una parte de la programación realizada para estos dispositivos. Estas rutinas cuentan con un temporizador, en donde al terminar de contar se da la verificación del sistema para entrar en funcionamiento y no en falla.

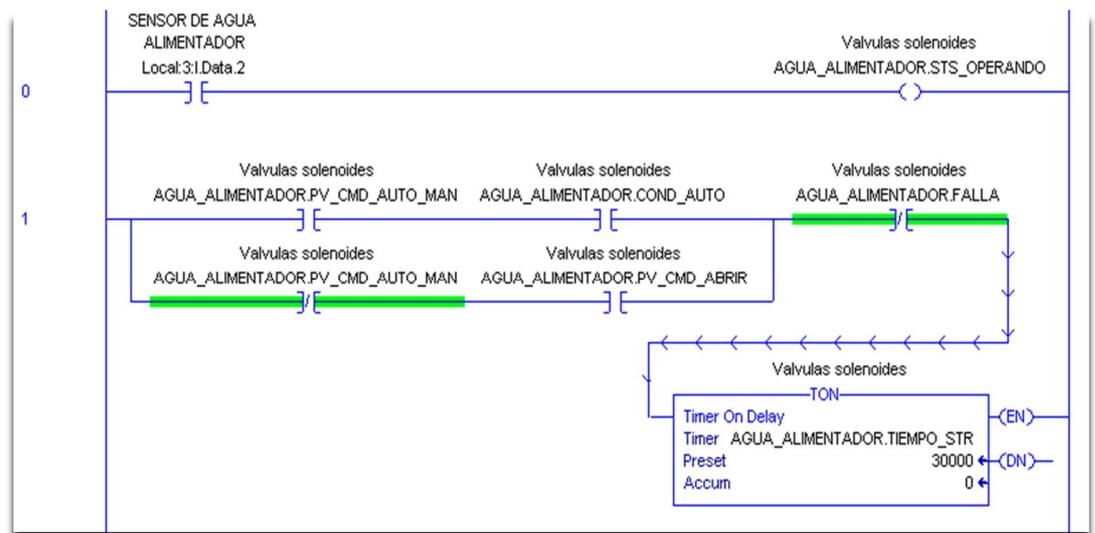


Figura 5.22 Rutina de apertura y cierre de las válvulas solenoides.

- **Secuencia automática.**

La secuencia automática no necesita la implementación de más hardware pero si la creación de más líneas de código para el PLC y la colocación de más botones en las pantallas; esta secuencia automática y arranque automático se diseñó como algo extra al proyecto. La idea de realizar este modo fue brindar facilidad al operador en el arranque.

El modo automático tiene otro agregado más que es la función “Piloto Automático”, cuando este modo se activa la línea entra en dependencia en conjunto porque se enclavan dispositivos en las rutinas. Es decir si algo falla en alguna etapa del proceso, él mismo lo percibe y detiene todo el proceso para atrás de esa falla.

Software

En cada una de las 4 etapas de arranque, se creó el mismo tipo de formato para las pantallas (Ver Figura 5.23), en donde se puede escoger el modo automático o manual. Cuando se elige el automático se desactiva el arranque independiente y se activa el arranque en conjunto. De esta manera para arrancar la línea basta con colocar los motores o válvulas que se desean en este modo y presionar en pantalla según la etapa el botón:

- I. Encender primera etapa
- II. Encender segunda etapa
- III. Encender tercera etapa
- IV. Encender cuarta etapa.

La pantalla permite elegir entre Papiolas o Papitosty, dos de los principales productos que se fabrican en esta línea. Al elegir un producto lo que se realiza en el software es la activación del condimentador o salero según sea el caso.

Lo que se realizó en el RSLogix 5000 fue crear variables para el modo automático y manual, donde se controla el arranque mediante variables de pantalla (manual) o programa (automático).

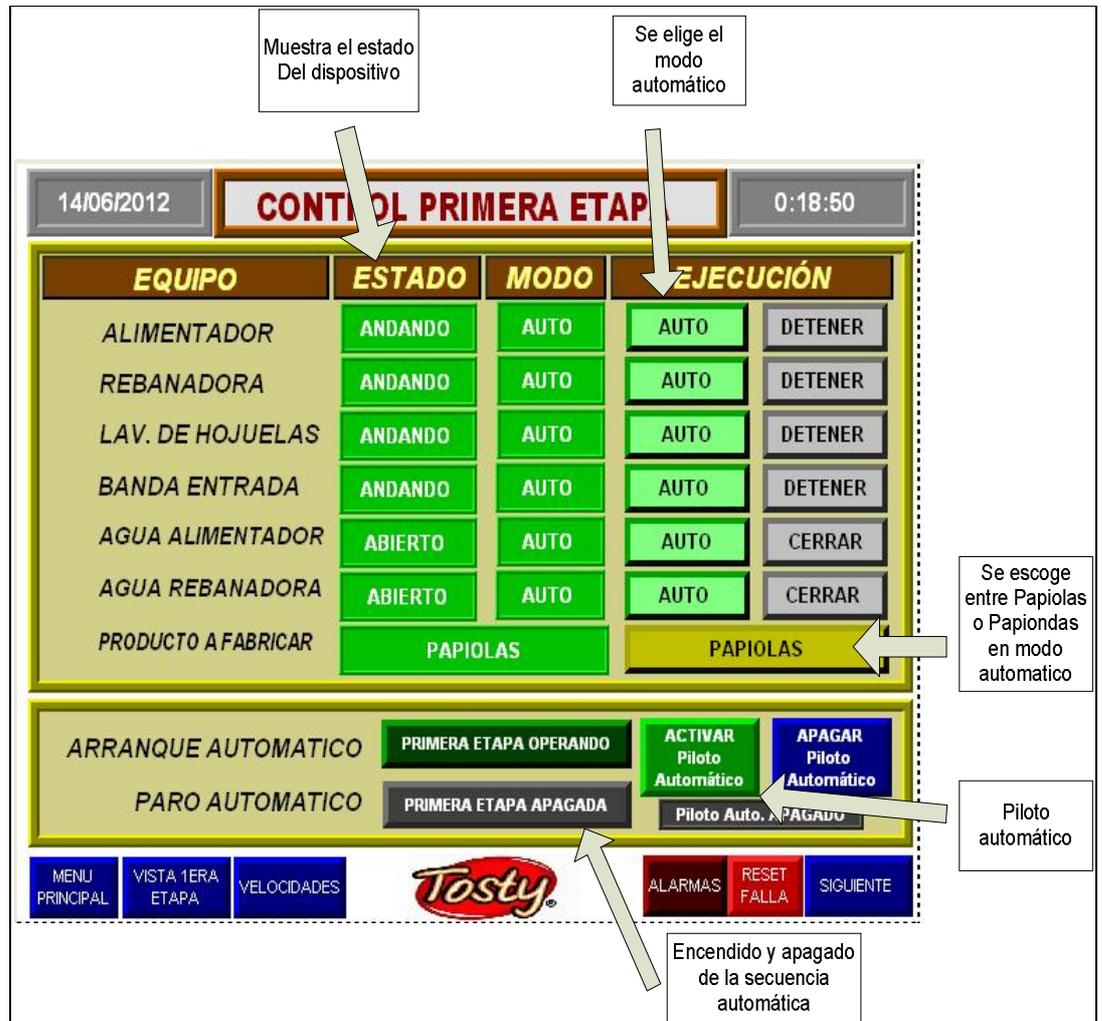


Figura 5.23 Control primera etapa en modo automático.

En la Figura 5.24 se ilustra mediante las líneas de programación lo explicado en el párrafo anterior, en donde la variable `.PV_CMD_AUTO_MAN` corresponde al modo, la variable `.COND_AUTO` corresponde al arranque en modo automático y por ultimo `.PV_CMD_ARRANQUE` corresponde al arranque desde la pantalla en modo manual.

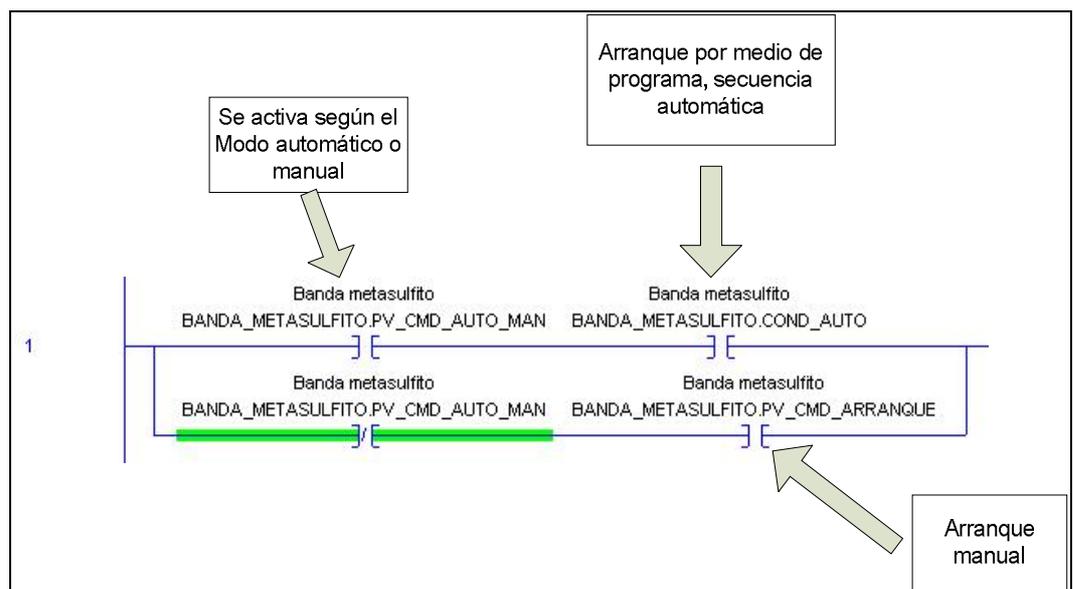


Figura 5.24 Código en RSLogix 5000 que elige el arranque según el modo seleccionado.

El arranque de los distintos elementos en el modo automático se da por la activación de la variable `.COND_AUTO` como salida. Se creó una secuencia de programación cuya función es activar la variable para cada dispositivo.

Para la realización del modo automático se estudió bien la línea, su funcionamiento y la secuencia que sigue el operador al encenderla, para que esto quede plasmado en las rutinas de programación.

Cuando el “Piloto Automático” se activa el sistema activa los enclaves que se han realizado. Así se garantiza que si falla un dispositivo en la línea, apagará los sistemas que están donde ocurrió el fallo hacia atrás, esto con el objetivo de que no siga ingresando producto y no se pierda, evitando el desperdicio. En la Figura 5.25 se muestra el enclave para el Condimentador, como ejemplo a lo que se mencionó anteriormente.

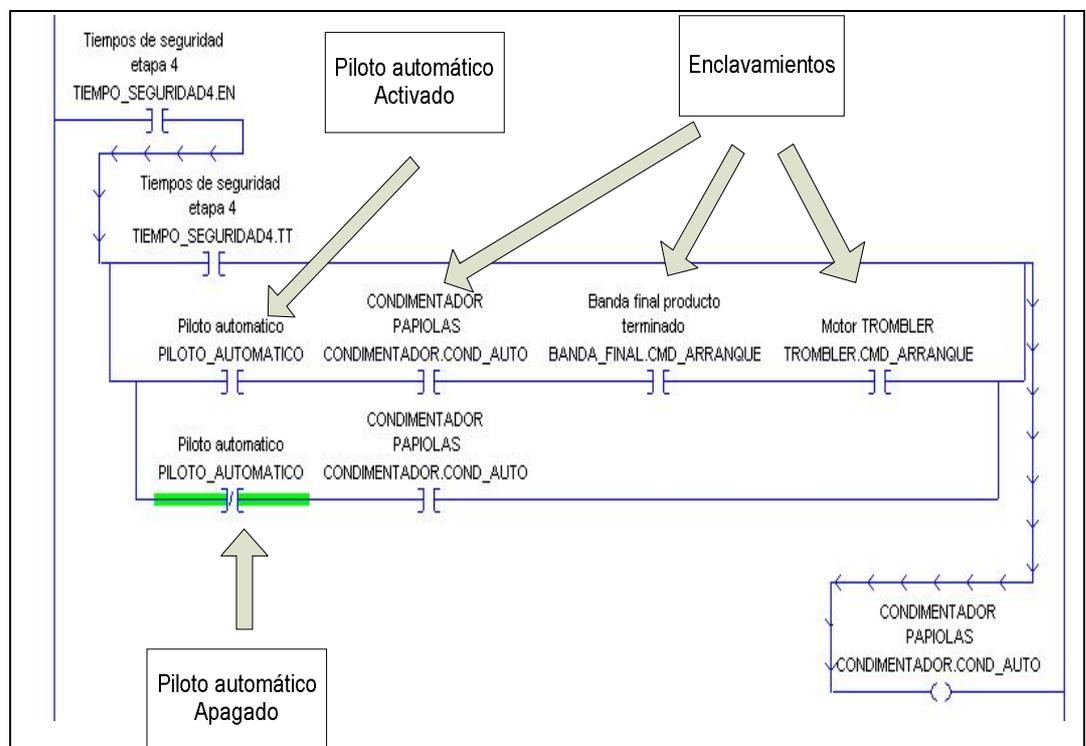


Figura 5.25 Software creado en RSLogix 5000 para la función de Piloto Automático.

- **Monitorización del proceso.**

Es una de las partes más importantes del proyecto, porque los operadores del proceso y los encargados de mantenimiento conocerán en tiempo real como se encuentra funcionando el sistema. Para un entorno más amigable se trató de elaborarlo lo más gráfico posible para que sea mejor comprendido por todos los que manipularán la línea de producción.

La empresa DEMASA cuenta con un dibujo en 3D hecho en el software llamado Google SketchUp y se decidió aprovecharlo e integrarlo al proyecto.

La monitorización del sistema no será únicamente mostrando el estado como se ha visto en las secciones anteriores del arranque de motores y válvulas, sino será más gráfica y animada basándose en las funciones que permite realizar la pantalla Panel View 1000.

El proceso de monitorización se dividió en 4 etapas y también se creó pantallas para mostrar las temperaturas del sistema.

Las alarmas del sistema se realizaron de tal manera que el usuario conocerá cual ha sido la falla pues en el programa realizado para el PLC se creó una lista con 72 alarmas las cuales se enlazaron con un mensaje para mostrar en la pantalla táctil.

Hardware.

Para monitorizar el proceso no se debió incluir más hardware del que se ha mencionado, ya que los componentes que se compraron tienen la opción de enviar una señal de retroalimentación al PLC, según el estado en que se encuentre. Se utilizaron sensores como complemento para las válvulas solenoides.

Software.

Cuando se inició con la programación en el PLC por medio del software RSLogix 5000 se creó la variable .PV_STS donde se almacena un valor real según el estado en que se encuentra el dispositivo eléctrico. Ver tabla 8.

Tabla 8 Valores de la variable PV_STS y el estado que simbolizan.

Valor de la variable PV_STS	Estado
0	Detenido/ Cerrado
1	Arrancado/ Abierto
2	Falla

En la Figura 5.15 se muestra como se logró programar el PLC para que se almacenara la variable PV_STS en el sistema, para realizar las animaciones en la pantalla.

Para efectos de la animación lo que se hizo fue colorear el dispositivo según el estado que se encuentre. Si está detenido se mostrará de color gris, funcionando en verde y rojo si está en error.

A continuación se mostrarán las pantallas que se crearon para monitorizar todo el sistema, divididos por etapas.

1. Primera Etapa.

Está compuesta por los siguientes dispositivos: alimentador, rebanadora, lavador de hojuelas, banda de entrada, agua alimentador y agua de la rebanadora. En la Figura 5.26 se muestra la pantalla para monitorizar la primera etapa, cabe mencionar que también se podrá observar el nivel de la tolva de alimentación, así como las velocidades de los distintos variadores de frecuencia.

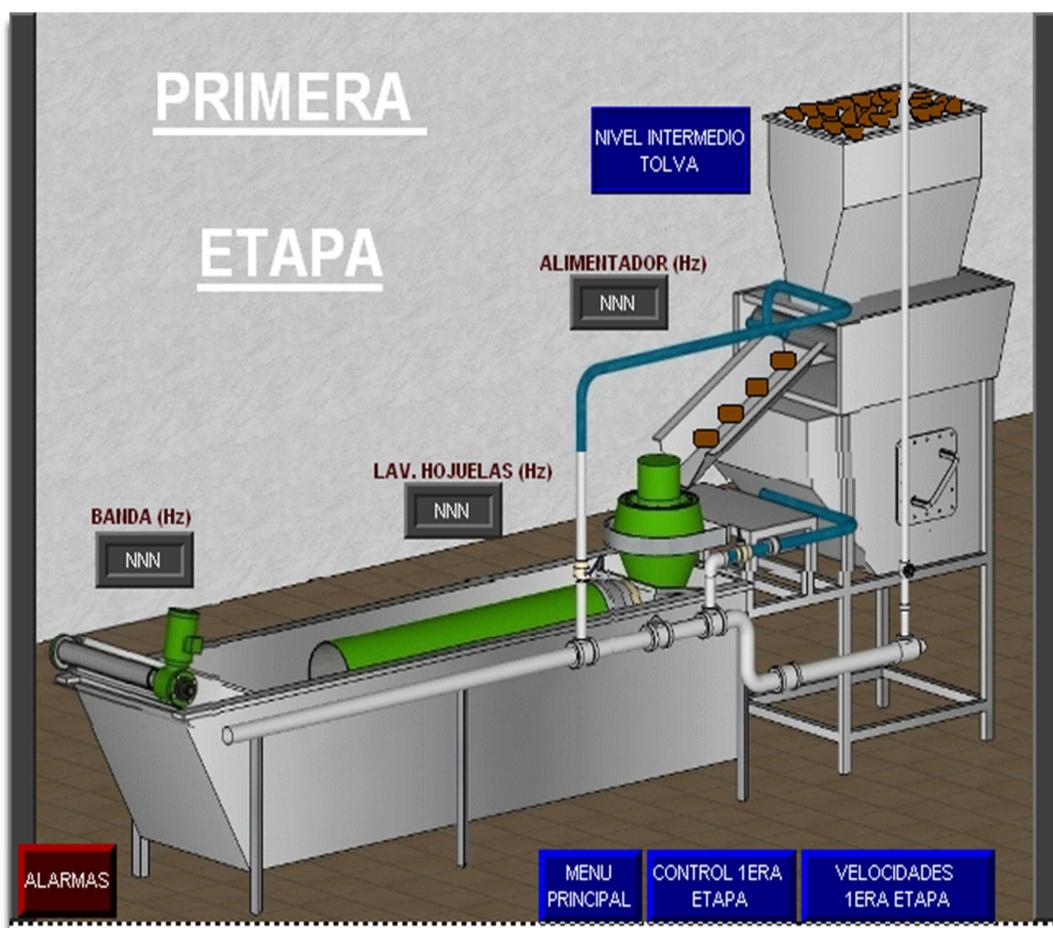


Figura 5.26 Vista para la primera etapa del proceso

2. Segunda Etapa:

Está compuesta por los siguientes dispositivos: banda meta sulfito, válvula de aire, extractor, inyector, banda Secador y agua caliente. En la Figura 5.27 se muestra la pantalla para monitorizar la segunda etapa, también se podrá observar el estado del solenoide que regula el calentamiento del agua.

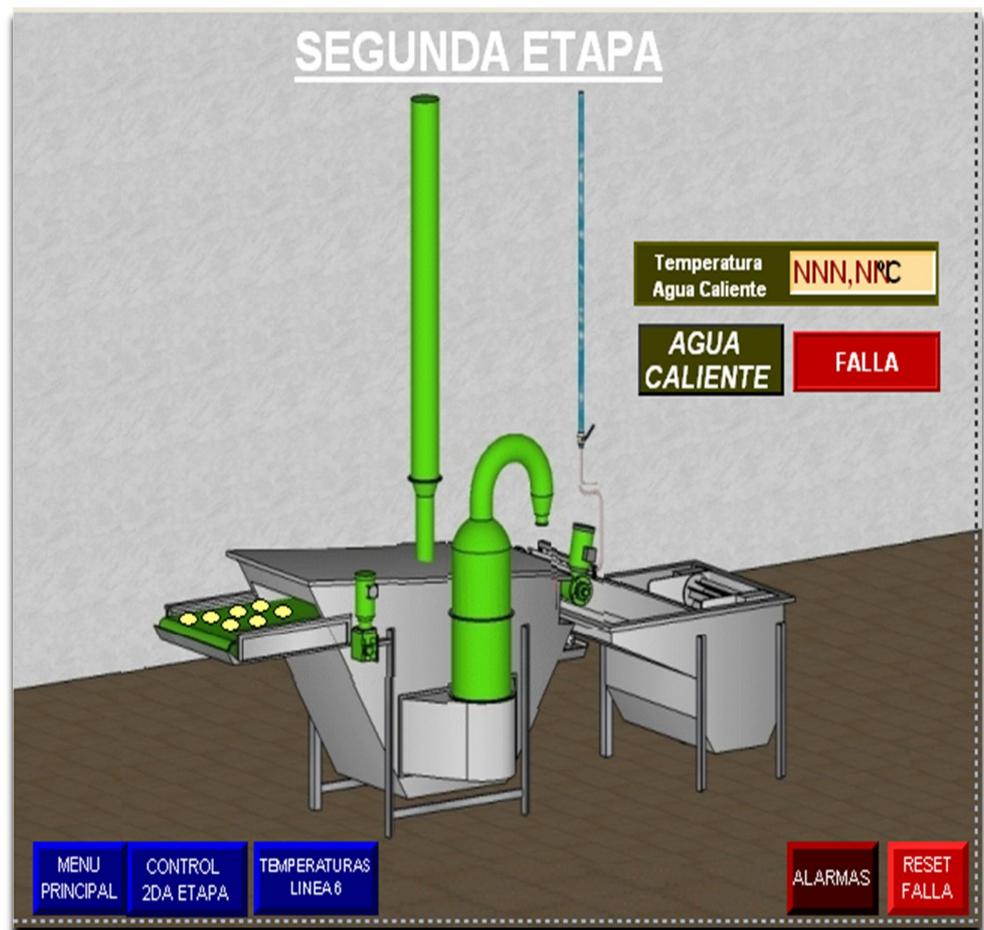


Figura 5.27 Vista para la segunda etapa del proceso.

3. Tercera Etapa:

Está compuesta por los siguientes dispositivos: bomba principal de aceite, caja de filtrado, banda de paletas, banda sumergida, banda de salida del freidor y salero. En la Figura se 5.28 se observa la pantalla que se creó para monitorizar el freidor con todos sus componentes.

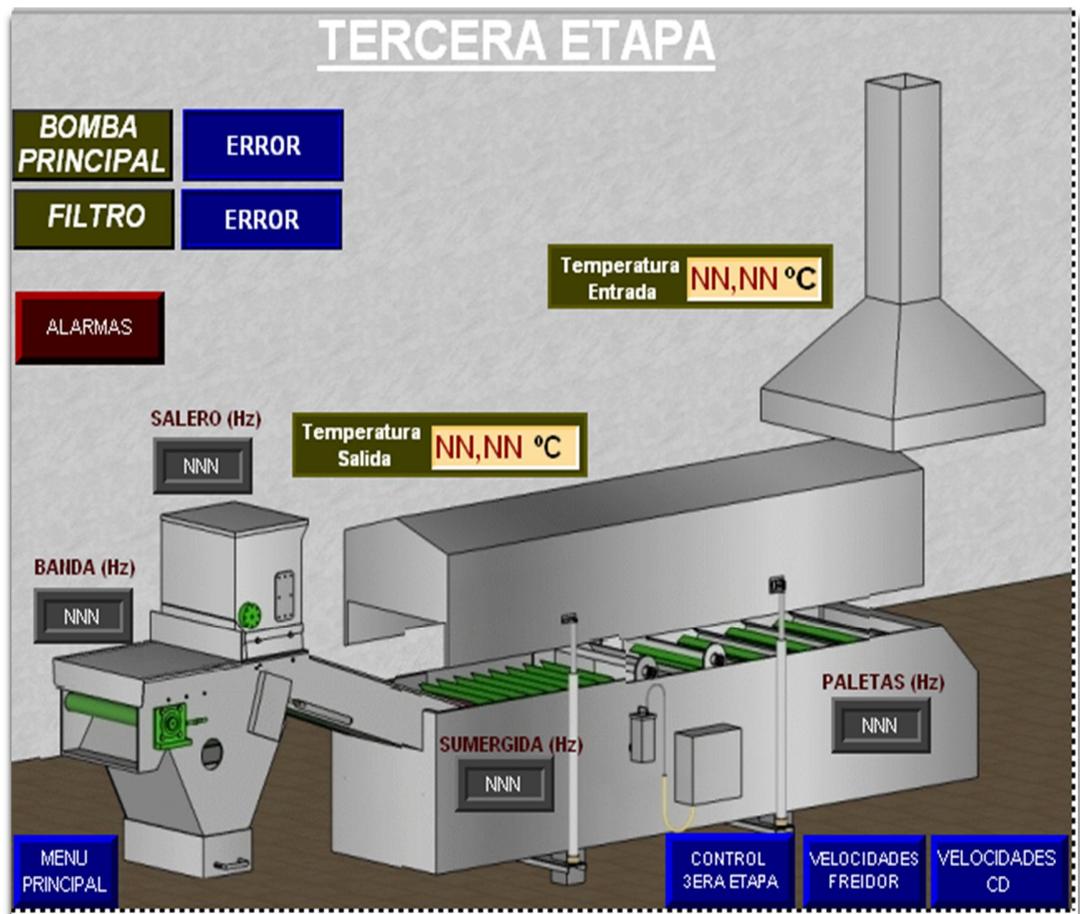


Figura 5.28 Vista para la tercera etapa del proceso.

4. Cuarta Etapa:

Está compuesta por los siguientes dispositivos: Banda de producto frito, Trombler o banda, condimentador y banda final. A continuación se presenta la vista para esta etapa en la Figura 5.29 donde cabe mencionar que las papas mostradas en la figura se mueven (están animadas) cuando el proceso esta funcionando.

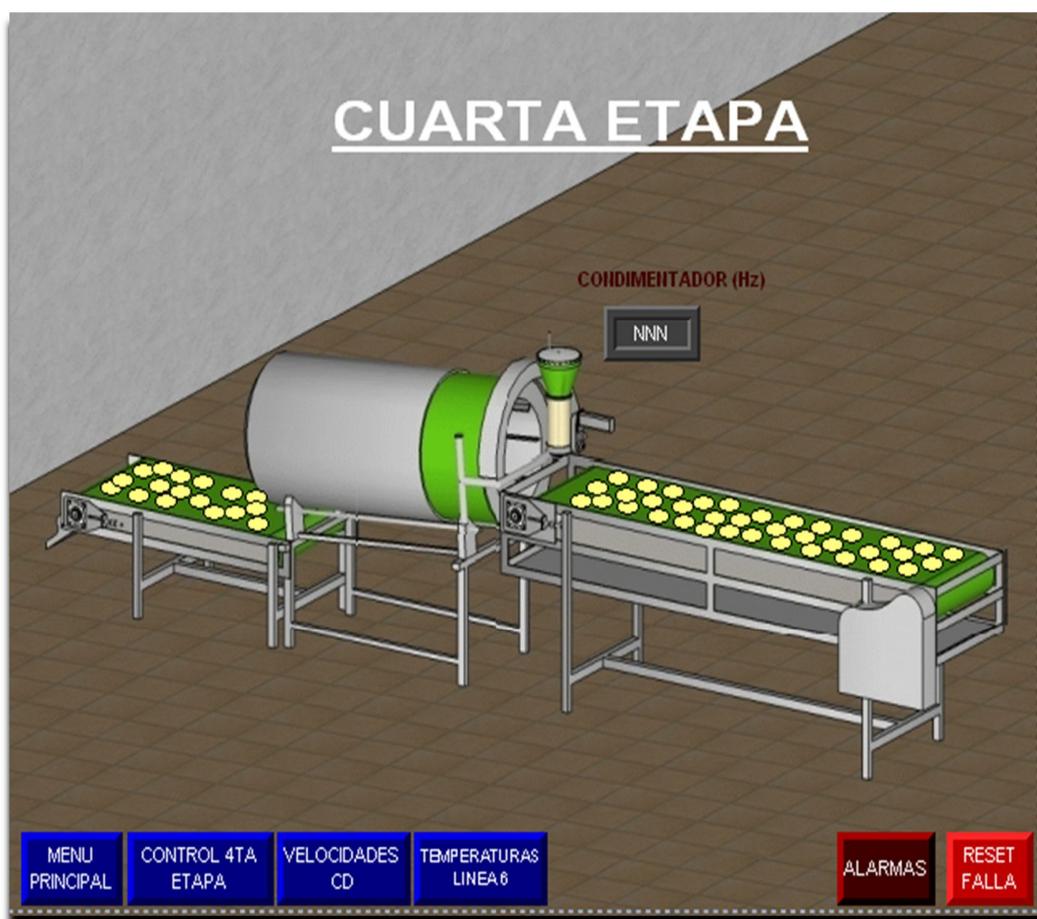


Figura 5.29 Vista para la cuarta etapa del proceso.

También se realizó una pantalla para monitorizar todas las temperaturas del proceso, éstas se muestran en grados centígrados .Ver figura 5.30.



Figura 5.30 Pantalla para mostrar las temperaturas de la línea.

Se elaboró una vista para el mantenimiento del freidor donde se incluye el motor elevador del techo del freidor para que sea limpiado. También se incluye el monitoreo de la bomba de transferencia de aceite, la cual se encarga de vaciar el aceite que se ha usado enviándolo al tanque de la empresa respectivo para tal fin. Ver Figura 5.31.

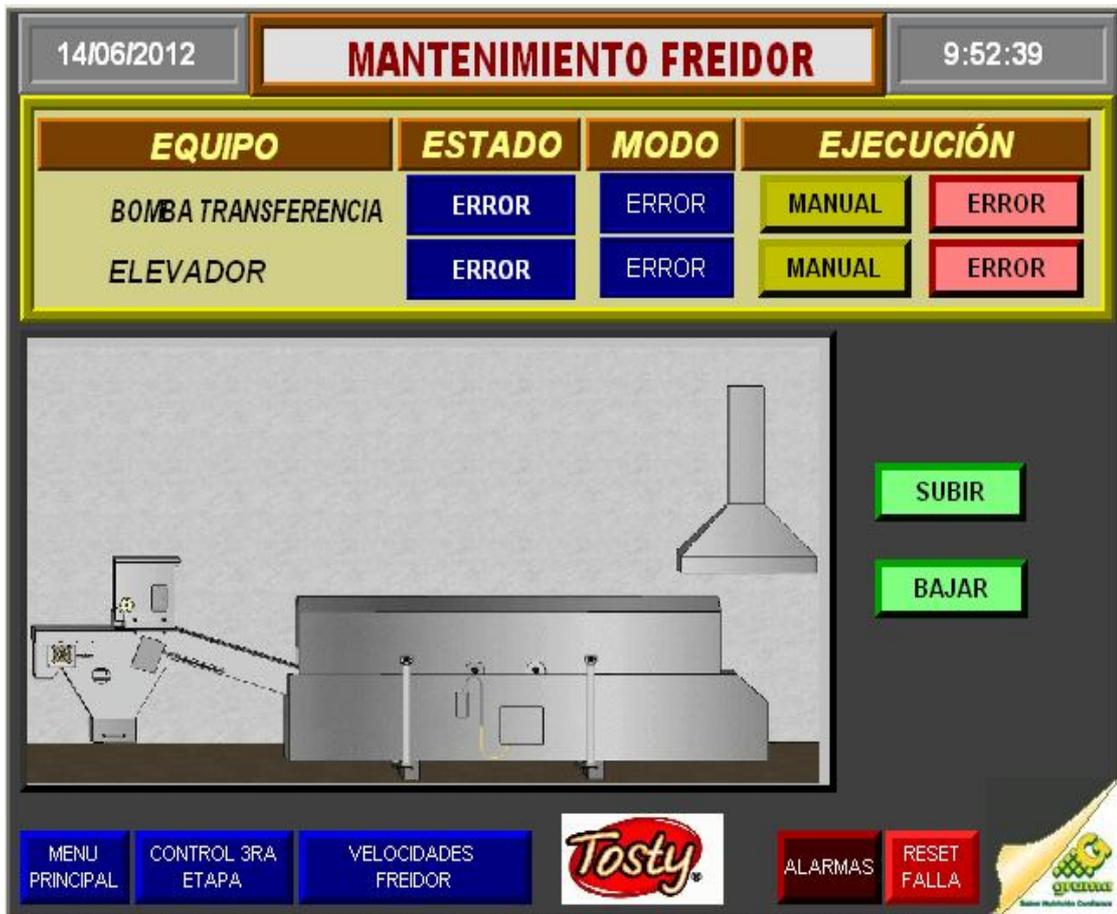


Figura 5.31 Pantalla para mostrar las temperaturas de la línea.

Se agregó un sistema de alarmas, cuando una de ellas se activa se desplegará inmediatamente una pantalla que cubrirá parte de la pantalla Panel View 1000, donde indicará lo que ocurrió en el sistema. En la figura 5.32 se muestra la pantalla de alarmas.

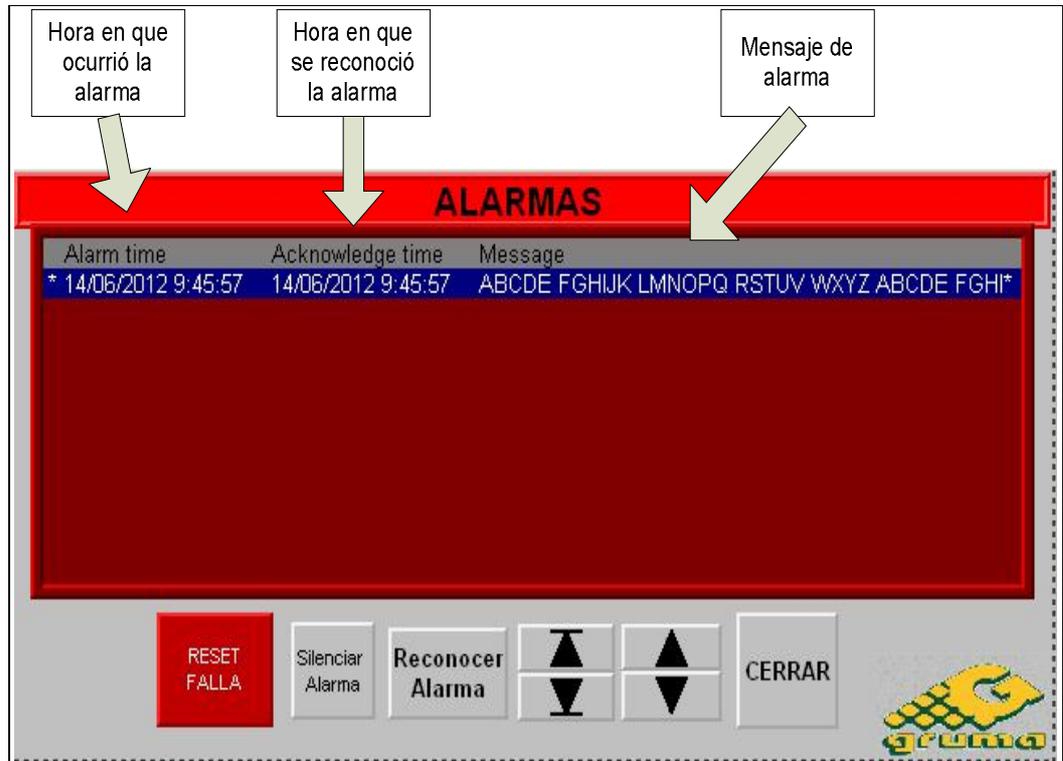


Figura 5.32 Pantalla de alarmas.

Otro problema presente es el descontrol entre la parte que envía las papas a la tolva y el operador de la misma, pues algunas veces mandan tanto que se desborda o en otros casos es tan poco que se debe detener el proceso. Esto se solucionó con la monitorización del nivel de la tolva, para eso se colocaron 2 sensores uno en la parte posterior y otro en la parte inferior, los cuales permiten identificar el nivel alto, nivel bajo y nivel intermedio de la misma, también luces indicadoras de los mismos en ambos niveles de la planta como complemento. En la Figura 5.26 se muestra el mensaje que el operador visualizará en la pantalla. Los sensores implementados son de tipo booleano en donde indican nada más si hay o no hay papas.

- **Seguridad.**

En esta sección se describe la solución tanto en hardware como en software que se implementaron para mejorar las condiciones laborales y de seguridad para los operarios y trabajadores de mantenimiento.

Hardware.

En la parte de Hardware lo que se recomendó fue la colocación de paros de emergencia, los cuales son botones normalmente cerrados que al ser presionados abren e ingresan la señal de entrada al modulo del PLC correspondiente. Se sugirió a DEMASA la instalación de al menos 3 paros a lo largo de la línea, pero cabe destacar que se pueden colocar la cantidad que ellos deseen.

También otra medida de seguridad fue la colocación de un botón independiente al programa realizado para el PLC que en caso de alguna emergencia se desconectará la alimentación de los gabinetes de potencia y control.

En la figura 5.33 se muestra el botón de paro de emergencia.



Figura 5.33 Botón de paro de emergencia.

Software.

En las rutinas lo que se hizo fue agregar un botón general a todos los dispositivos llamado “Paro de Emergencia”, al activarse lo que hace es detener todo el proceso de la línea. En la figura 5.34 se muestra donde se ubicó el botón que al reiniciar el temporizador apaga la salida discreta correspondiente.

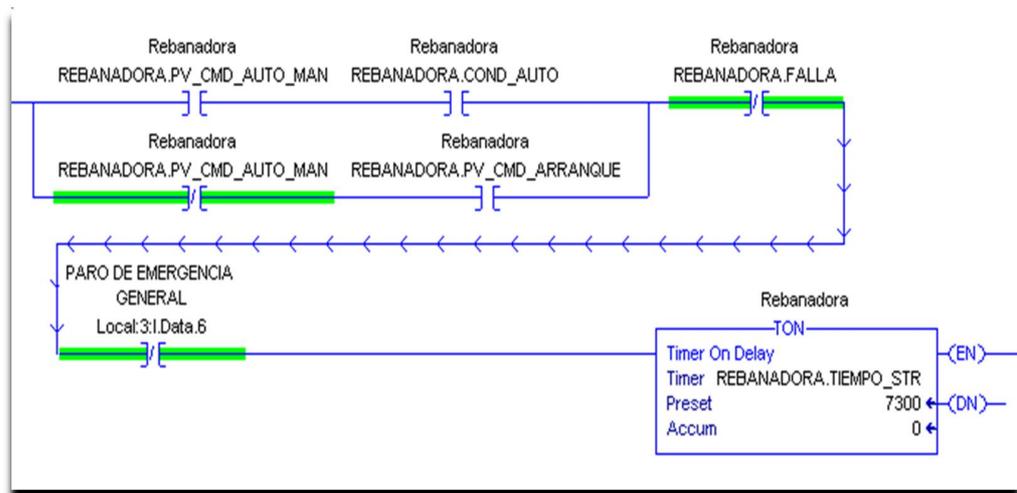


Figura 5.34 Paro de emergencia en el software.

- **Pasos para realizar la implementación final.**

1. Realizar la distribución de los equipos en el gabinete donde se encontrará el PLC.
2. Calibrar los sensores.
3. Definir el lugar de ubicación de la pantalla táctil.
4. Colocar la pantalla táctil en su respectivo gabinete, en un lugar de fácil acceso para el usuario.

5. Configurar los variadores de frecuencia para que estos funcionen por medio de Ethernet.
6. Colocar el cable y entubado eléctrico de las válvulas, sensores, motores, voltajes de alimentación que se encuentran en el proceso para llevar esta señal a el PLC y sus módulos.
7. Probar el funcionamiento del proceso que se diseñó.

Capítulo 6 : Análisis de Resultados.

En el siguiente capítulo se muestran los resultados que se obtuvieron como el análisis de los mismos, de manera que los objetivos que se han planteado al inicio del proyecto puedan ser corroborados a cabalidad.

Primero se expondrán los resultados y posteriormente habrá un análisis de los mismos.

6.1. Resultados.

Tras haber puesto en marcha el control de los variadores de frecuencia desde la pantalla táctil por medio de la conexión con Ethernet, se obtuvieron datos desde “set point” (SP) y del “process value” (PV), ver Tabla 9 y Tabla 10. Con el objetivo de determinar si el control que se programó funciona de la manera correcta, su funcionamiento se ratificará si los valores de SP y PV son similares o iguales.

Estas mediciones se realizaron con la carga en el motor correspondiente. Colocando el valor deseado de SP en el teclado mostrado en la figura 5.13. Y observando el valor que daba el Variador de Frecuencia en el PV.

Tabla 9 Valores de SP y VP de motores controlados.

Alimentador			Lav. de Hojuelas			Banda de Entrada		
SP(Hz)	PV(Hz)	% Error	SP(Hz)	PV(Hz)	% Error	SP(Hz)	PV(Hz)	% Error
20,30	20,30	0	15,00	15,00	0	12,00	12,00	0
21	21	0	21,10	21,10	0	12,60	12,60	0
30,00	30,00	0	25,30	25,30	0	13,20	13,20	0
32,12	32,12	0	30,00	30,00	0	13,80	13,80	0
35,50	35,50	0	32,33	32,33	0	20,15	20,15	0
37,00	37,00	0	44,98	44,98	0	30,65	30,65	0
40,10	40,10	0	50,00	50,00	0	40,41	40,41	0
45,30	45,30	0	55,15	55,15	0	50,52	50,52	0

Tabla 10 Valores de SP y VP de motores controlados.

Banda Paletas			Malla sumergida			Banda Sal. Freidor		
SP(Hz)	PV(Hz)	% Error	SP(Hz)	PV(Hz)	% Error	SP(Hz)	PV(Hz)	% Error
22,15	22,15	0	20,50	20,50	0	20,00	20,00	0
30,20	30,20	0	23,00	23,00	0	22,51	22,51	0
32,67	32,67	0	24,50	24,50	0	29,56	29,56	0
40,32	40,32	0	27,00	27,00	0	31,20	31,20	0
45,45	45,45	0	30,00	30,00	0	33,35	33,35	0
50,32	50,32	0	32,15	32,15	0	40,25	40,25	0
55,15	55,15	0	34,30	34,30	0	43,44	43,44	0

Se colocó los VDF a distintas frecuencias para ver el resultado que mostraban los valores de corriente y tensión enviados por el puerto Ethernet, así se obtuvo que a 60Hz había 217,6V con una corriente de 0,27A, en 30Hz una tensión de 108.8V y una corriente de 0,135 y en 0Hz una tensión de 0V, resultados que se iban corroborando con la e interfaz BOP del variador. Ver figura 5.13.

Con respecto a los motores CD se realizaron mediciones al introducir en el teclado el valor de tensión de 0 a 120V deseado para medir la salida en la tarjeta KB que se conectó al sistema, estos resultados se tabularon en la tabla 11.

Cabe mencionar que el módulo de salidas analógicas del sistema envía una señal de 4 a 20 mA proporcional al valor de tensión deseado por el usuario.

Tabla 11 Valores PV para los dos motores CD.

Valor introducido en el teclado	Salero		Condimentador	
	Medido (V)	% Error	Medido (V)	% de Error
15	14,37	0,42	15,12	0,8
36	35,17	0,23	35,93	0,19
50	49,01	1,98	50,17	0,34
65	64,76	0,37	64,91	0,37
80	79,15	1,06	80,55	0,68
93	92,77	0,247	92,98	0,21
100	99,65	0,35	99,54	0,46
120	119,54	0,38	119,87	0,10

Se verificó el funcionamiento del programa de control de motores y válvulas solenoides, lo que se hizo es probar cada uno de los motores tanto arrancándolos, deteniéndolos y forzando entradas para que entren en fallo. A continuación se muestra una captura de la pantalla en la figura 6.1 cuando se estaba probando el funcionamiento del mismo. Se observa como cambian los estados de los motores y válvulas solenoides. También se comprobó el funcionamiento cuando se encendían o apagaban las luces de indicación en los módulos del PLC.



Figura 6.1 Captura de pantalla de la primera etapa del proceso.

El funcionamiento del modo automático se probó de manera similar el cual fue colocar todo el proceso en modo automático y encenderlo con el botón de arranque correspondiente. Los resultados que se obtuvieron fueron que el proceso se encendió de manera automática y se mantuvo así ininterrumpidamente por lapsos de tiempo bastante grandes, inclusive se dejó encendido el proceso durante varias noches para al día siguiente llegar a ver el estado y se encontraba como se había dejado.

En la Figura 6.2 se muestra una captura de la pantalla de control de la cuarta etapa, en donde se encuentra trabajando en modo automático.



Figura 6.2 Captura de pantalla con el proceso en modo automático.

Al presionar el botón de “Piloto Automático” el proceso entró en modo dependiente, es decir, se encendían los enclaves que se habían creado de manera que si algo fallaba en el proceso, se detenía lo que estaba atrás de éste. Para obtener resultados del funcionamiento se encendió el proceso en modo automático, se activó el “Piloto Automático” y se dejó que el proceso se estabilizara esperando un tiempo de 1 minuto para posteriormente inducir fallas en el sistema. Lo que ocurría es que el proceso se detenía como se había programado. Un ejemplo que se puede mencionar es cuando se indujo una falla al Lavador de Hojuelas, al realizar esto se detuvo el proceso hacia atrás es decir se apagó la rebanadora, las válvulas solenoides del alimentador y de la rebanadora y la malla de alimentación y los dispositivos que se encontraban delante siguieron encendidos.

Para el caso donde el motor debía invertir su giro, este se comprobó que funcionaba al presionar el botón: ya que el motor se detenía y cambiaba el sentido giro como se requería dentro del proceso de producción.

Uno de los aspectos más atractivos para el proyecto fue la implementación de la monitorización por medio de dibujos que ilustran el proceso, como se había explicado anteriormente cuando el dispositivo se encontraba en funcionamiento se coloreaba verde, si estaba detenido en gris y si estaba en modo de falla se pone en color rojo.

Se procedió a iniciar el sistema, se arrancó y observaron las vistas de las etapas para ver las animaciones según los colores que tomaban los dispositivos. Se obtuvieron las siguientes pantallas correspondientes a las figuras 6.3, 6.4, 6.5 y 6.6.

En la pantalla de la figura 6.3 se puso a funcionar y simular los diversos estados del sensor de nivel, en donde según la posición de las papas daba un

nivel bajo, nivel intermedio y nivel alto de papa. Activando las respectivas alarmas.

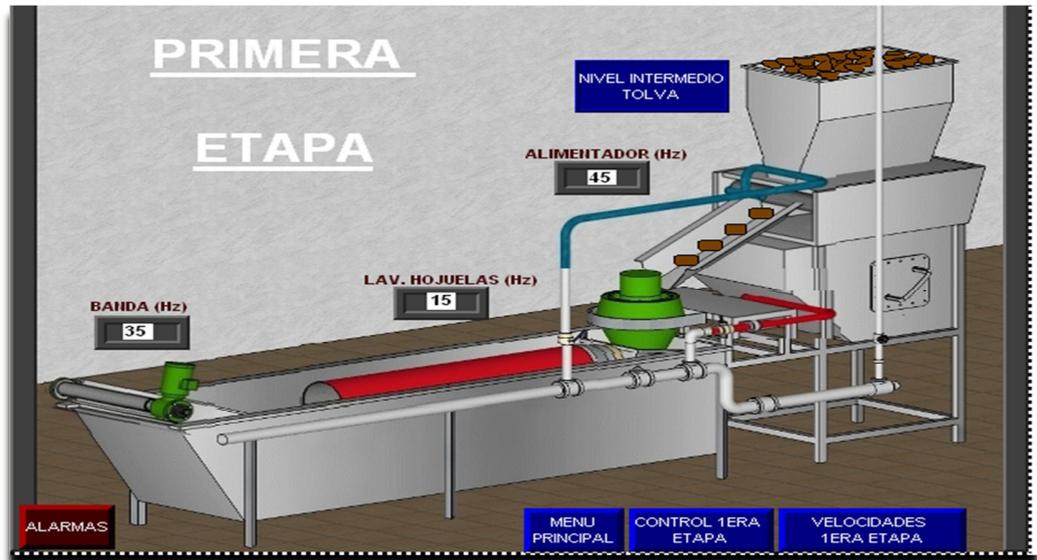


Figura 6.3 Primera etapa del proceso funcionando.

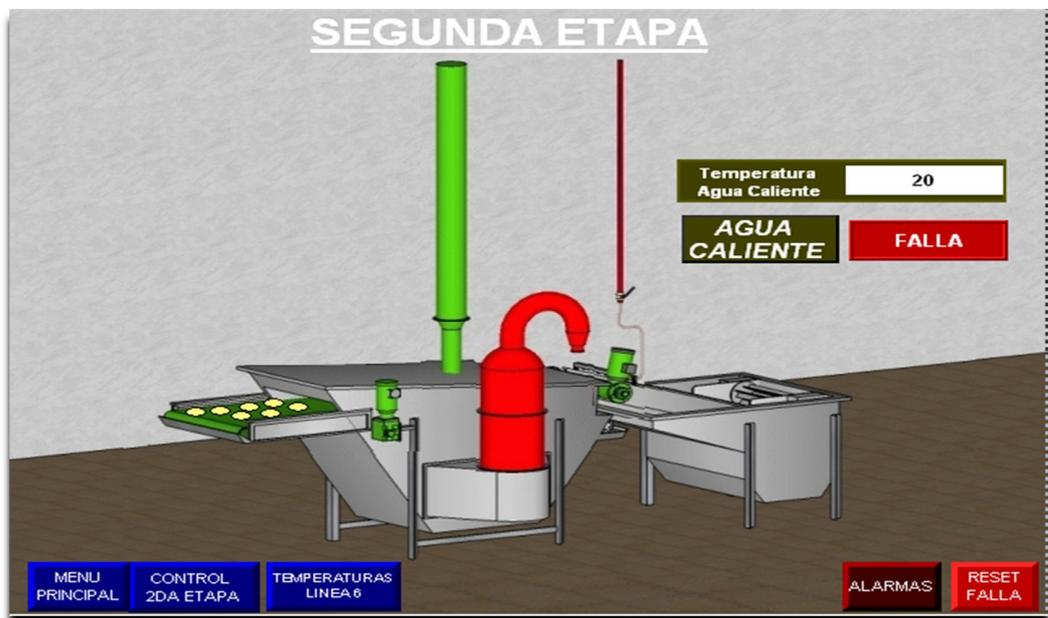


Figura 6.4 Segunda etapa del proceso funcionando.

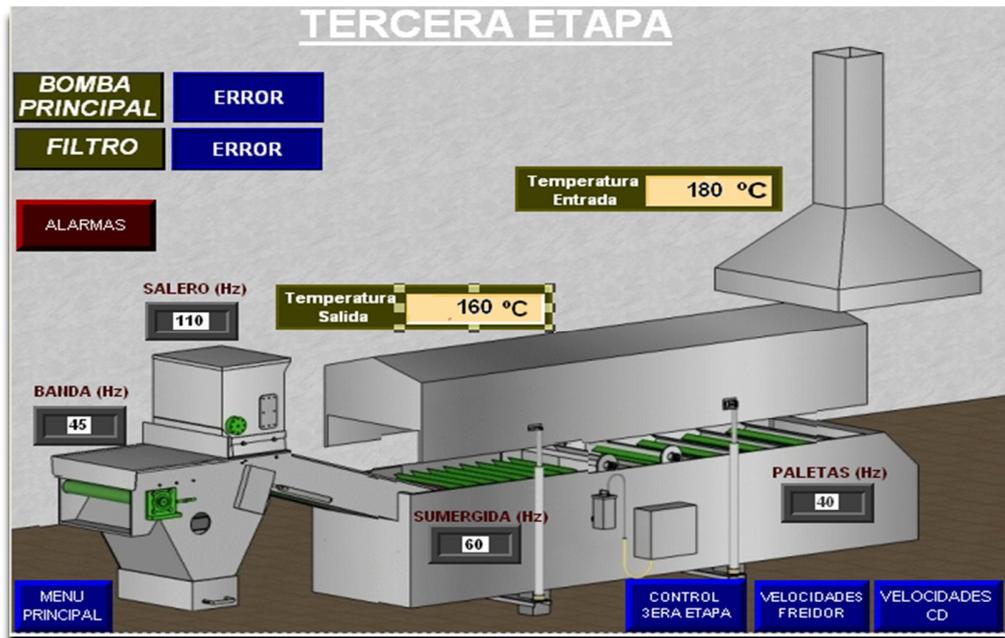


Figura 6.5 Tercera etapa del proceso funcionando.

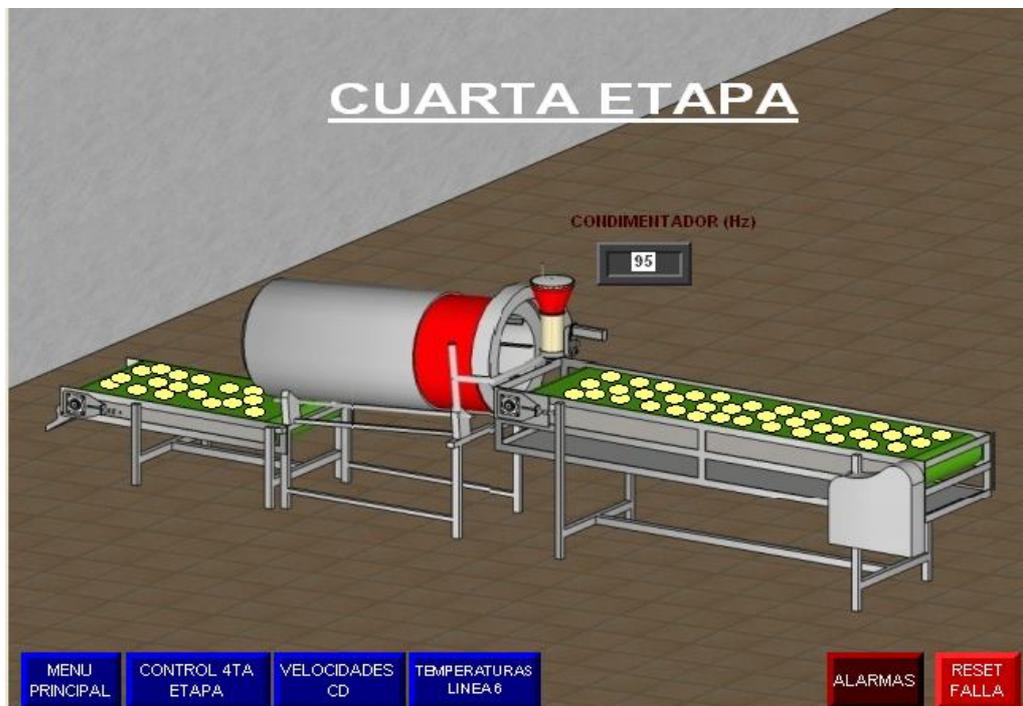


Figura 6.6 Página de inicio de sesión una vez iniciada exitosamente.

También se probaron las pantallas para el mantenimiento del freidor y la pantalla de temperaturas donde se midió con un termómetro de láser la temperatura y se comparó con lo mostrado en la pantalla táctil Panel View 1000 dando como resultado diferencias mínimas entre las mismas.

Se realizaron pruebas simulando paros de emergencia, se conectaron 3 botones al PLC, la prueba fue poner a funcionar el sistema y ver que sucedía cuando se presionaba uno de estos botones. La respuesta del sistema que se obtuvo fue que se interrumpió inmediatamente.

6.2. Análisis.

Al analizar los resultados obtenidos en las tablas 9 y 10, se puede deducir que el funcionamiento de los variadores de frecuencia controlados vía Ethernet desde el PLC es el que se esperaba. Como consecuencia de que no hubo diferencia entre el valor que se quería (SP) con el valor real de salida del variador (PV), produciendo un porcentaje de error de un 0%.

También se comprobó la implementación de las mediciones de corriente y tensión a partir de esta misma conexión Ethernet en los variadores, porque el valor que indicaba el VDF en la pantalla BOP era el mismo que se observaba en la Panel View 1000, que se creó para controlar la velocidad de los mismos.

Es por esta razón que la empresa DEMASA, con la implementación de este proyecto, pretendía corroborar la exactitud y eficacia de manejar los motores con VDF para futuros proyectos por medio de Ethernet. Situación que fue confirmada con la realización de este proyecto para Tosty.

En cuanto a los motores de corriente directa se analizaron los datos obtenidos en la Tabla 11 del presente documento; se puede deducir que el funcionamiento de éstos por medio de las tarjetas marca KB controladas desde

el PLC es el esperado, debido a la pequeña diferencia que se presentó entre el valor que se requería y el obtenido, dando como resultado porcentajes de error menores a un 1%.

Al analizar las pantallas en donde se muestran los estados de los motores y válvulas solenoides, que se controlaban con la implementación de este proyecto de automatización. Luego de las pruebas realizadas se llegó a la conclusión que éstos funcionaban correctamente según lo programado para el proceso de la línea 6 de Tosty. El buen funcionamiento se evidencia cuando al arrancar un motor o al abrir una válvula se enciende la luz en el módulo de salidas discretas, que corresponde al dispositivo que se ha decidido encender.

En Figura 6.2 se muestra una de las pantallas del proceso en modo automático, mediante las pruebas mencionadas se confirmó el funcionamiento de este modo, pues al colocar el “Modo Automático” en la pantalla y presionar el botón de arranque automático correspondiente al sistema, éste procedía a arrancar, igualmente se encendían las salidas de los módulos discretos del PLC según el dispositivo seleccionado. Si se presionaba el botón de paro automático se detenía todo el proceso que se encontraba en este modo.

En cuanto al modo automático con el “Piloto Automático” activado se verificó su funcionamiento tras las pruebas realizadas simulando fallas, por lo que se puede afirmar que cumple la función para la cual fue programado.

Al analizar el funcionamiento del nivel en la tolva, con sus respectivas alarmas, se llegó a determinar que el sistema a implementar será efectivo. Se eliminaron los contratiempos que se sufren en la actualidad por falta de retroalimentación en esta etapa inicial del proceso.

En la monitorización al examinar las pantallas obtenidas en las Figuras 6.4, 6.5, 6.6, 6.7 y mediante la gran cantidad de pruebas que se realizaron en

DEMASA, se logró verificar que el funcionamiento de las mismas es el correcto. Así cuando se coloreaba un dispositivo en rojo correspondía a que hay falla, el color verde representa que el dispositivo esta funcionando y color gris está detenido. La monitorización del sistema ayudará significativamente al usuario a conocer el estado real de la línea.

También se verificó el funcionamiento de las alarmas cuando un dispositivo entraba en falla ya que se obtuvo el resultado esperado, porque se presenta un mensaje en la pantalla Panel View 1000 indicando que fue lo que falló. En caso de que no se atendiera esa falla visual se encenderá una alarma sonora como se había programado.

Al comparar los valores obtenidos mediante mediciones con el termómetro láser que cuenta la empresa y lo representado en la pantalla Panel View 1000 (Figura 6.5 y 5.30), eran relativamente cercanos por lo que se comprobó el funcionamiento de la monitorización de la temperatura por medio de termocuplas. También se garantizó que las conversiones hechas dentro del software del PLC para presentar la escala en grados centígrados fueron las correctas.

Se comprobó el funcionamiento de los paros de emergencia, ya que al activar cualquiera de los botones: el sistema detenía completamente la producción.

Según los datos obtenidos para este análisis se puede confirmar que se han desarrollado los objetivos que se plantearon al inicio del documento por lo tanto se afirma que se logró una buena solución al problema que se debía enfrentar.

6.3. Control automático.

Para no segmentar la solución y análisis del control automático, en donde se obtendrá el modelado de la planta y su respectivo compensador, se decidió presentarlo en esta sección.

Para elaborar el control automático primero se procedió a realizar un análisis de la planta en cuestión, es decir, el calentador del aceite para el freidor. Como primera instancia se buscaron datos relevantes del sistema mediante documentos, manuales, hojas de datos, entre otros que se encontraban disponibles en la empresa.

Posteriormente se hizo una prueba de escalón para obtener mediciones de temperatura con respecto al tiempo. A partir de las mediciones obtenidas a la planta y con la ayuda del software MATLAB se obtuvo la siguiente respuesta del sistema, ver Figura 6.7.

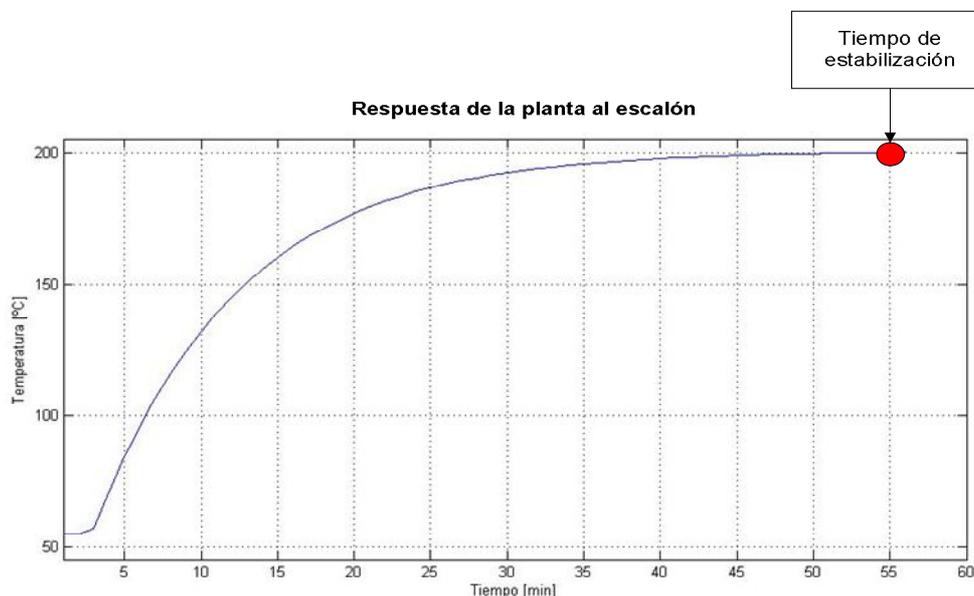


Figura 6.7 Respuesta de la planta ante una entrada escalón de 120W.

Esta planta posee un tiempo de estabilización de 55 minutos aproximadamente.

Con la gráfica y tomando en cuenta bibliografía consultada [39], se obtuvo el modelo matemático de la planta, y de acuerdo al conocimiento previo de los sistemas térmicos, el modelo continuo a usar en un sistema de primer orden con tiempo muerto sería:

$$G(s) = \frac{k \cdot e^{-s \cdot td}}{(s+a)} \quad (4)$$

Donde k corresponde a una ganancia, td es el retardo de la planta y a corresponde a el polo de la planta. Estos parámetros se obtienen con las siguientes ecuaciones.

$$\tau = 2(t_{63\%} - t_{39\%}) \quad (5)$$

$$a = \frac{1}{\tau} \quad (6)$$

$$k = \frac{\lim_{t \rightarrow \infty} y(t) - Ti}{A} * a \quad (7)$$

Donde A corresponde a la potencia del escalón aplicado.

$$td = t_{63\%} - (ti + \tau) \quad (8)$$

Donde ti corresponde al tiempo donde empieza actuar la planta luego de aplicársele el impulso.

En la figura 6.8 se observa un diagrama del sistema con el que se obtuvo el modelo matemático.

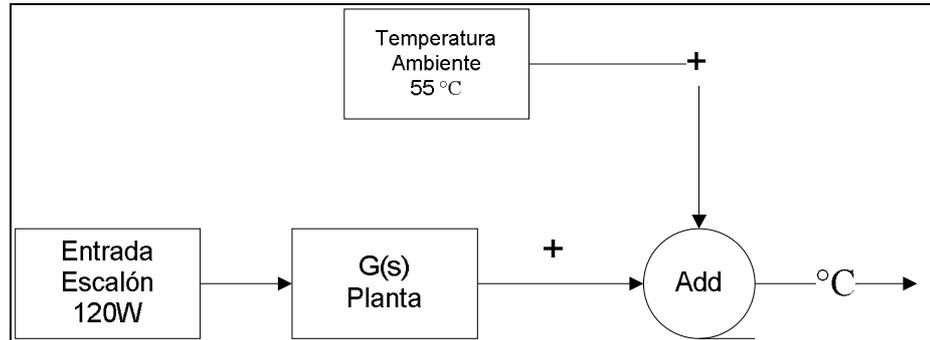


Figura 6.8 Diagrama de bloques del sistema.

Así se obtuvieron los siguientes parámetros para la planta:

$$\tau = 2(21m - 15m) = 10min = 600s$$

$$a = \frac{1}{600} = 1,667 \times 10^{-3} * s^{-1}$$

$$k = \frac{200 - 55}{120} * \frac{1}{600} = 2,014 \times 10^{-3} \frac{K}{s}$$

$$td = 21m - (9m + 10m) = 2min = 120s$$

Al sustituir los resultados obtenidos en la ecuación 4, se obtiene la función de transferencia para la planta, la cual es la siguiente:

$$G(s) = \frac{29}{24} * \frac{e^{-120*s}}{(s+1/600)} \quad (9)$$

A partir de la planta $G(s)$ se puede conocer el lugar de las raíces con la ayuda de la herramienta rlocus en MATLAB que sirve para analizar su estabilidad. En la Figura 6.9 se muestra dicha gráfica; como el sistema posee solo un polo en el eje imaginario se puede afirmar que el sistema es estable.

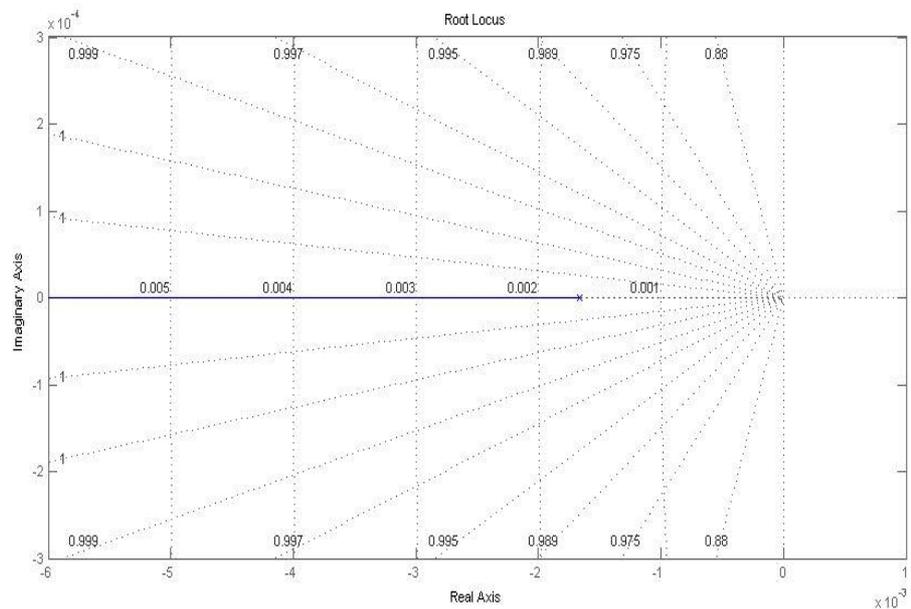


Figura 6.9 Lugar de las raíces.

Cuando se ha obtenido la función de transferencia de la planta se procede a discretizarla, como la planta posee un tiempo muerto de 120s, se utiliza el método llamado retenedor de orden cero (ZOH⁴), este se representa en forma general:

$$Z \left\{ \frac{1-e^{-sT}}{s} * G(s) \right\} = (1 - Z^{-1}) * Z \left\{ \frac{G(s)}{s} \right\} \quad (10)$$

Donde la frecuencia de muestreo T se obtiene por medio de la siguiente ecuación:

$$T \leq \frac{\tau}{10} \quad (11)$$

Se obtiene la planta discretizada por ZOH, estos valores son los que se ingresaran en el software del PLC:

⁴ Ver apéndice A.1

$$G(z) = z^{-1200} * \frac{0,0001319}{z-0,9998}, \quad T = 60s \quad (12)$$

Se presentaron las siguientes características de diseño para el compensador a implementar:

- Tiempo de estabilización menor al 2%.
- Cero error de estado estacionario
- Un sobre impulso menor de 15 °C.

Se debe mencionar que al consultar el manual de la planta se indica que la planta soporta temperaturas máximas de 400 °C, por lo que en caso de sobre impulso ésta lo soportará sin ningún problema.

Para el caso del programa en el PLC en la parte del control automático, solo admite reguladores de tipo PID, en donde se introducen al bloque en el software los valores de las constantes Kp, Ki y Kd.

Para este caso de diseño, solo basta con la implementación de un compensador de adelanto, el cual posea un cero correctamente ubicado para acelerar el sistema. Se aplicará como solución un regulador PI. El cual presenta la siguiente función de transferencia:

$$K_{PI}(s) = \frac{(s+b)}{s} \quad (13)$$

$$b = [0.95 * a, 1.30 * a] \quad (14)$$

Al sustituir en la ecuación 14 se obtienen 2 posibles ceros, los cuales son 0,001583 ó 0,002167, del cual se eligió el último valor porque entre más largo del origen, el sistema se comportara mejor. Así con el valor de 0,002167 se eligió un valor aun más largo del origen para implementar en el regulador, éste fue 0,0025, por lo que el regulador PI para el sistema a controlar fue:

$$K_{PI}(s) = \frac{(s + 0,0025)}{s}$$

Se discretizó por ZOH para obtener la siguiente ecuación:

$$K_{PI}(z) = \frac{(z-0,9989)}{(z-1)}, T = 60s$$

A continuación se presenta el diagrama de bloques del sistema final, en el cual se incluye el compensador, el sensor y las perturbaciones al sistema.

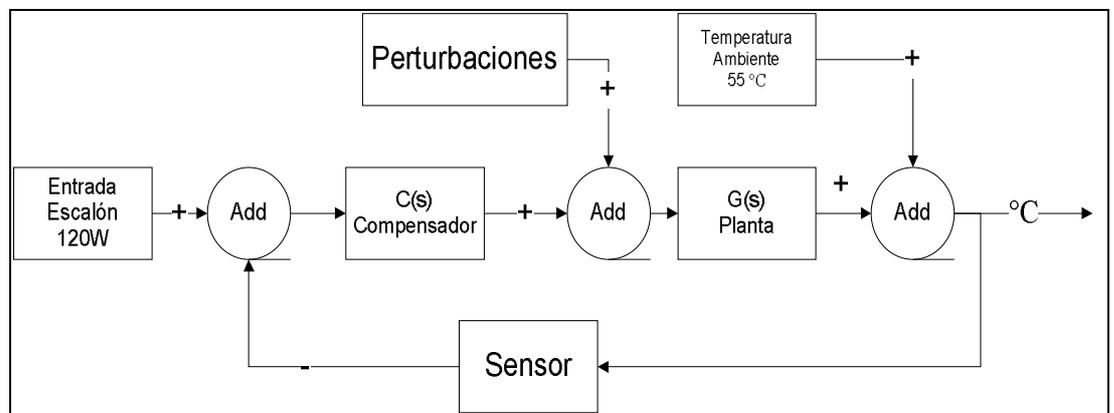


Figura 6.10 Diagrama de bloques del sistema con el compensador.

Con la ayuda de la herramienta Simulink de MATLAB, se obtuvo la respuesta al sistema compensado, para comprobar los objetivos de diseño planteados anteriormente.

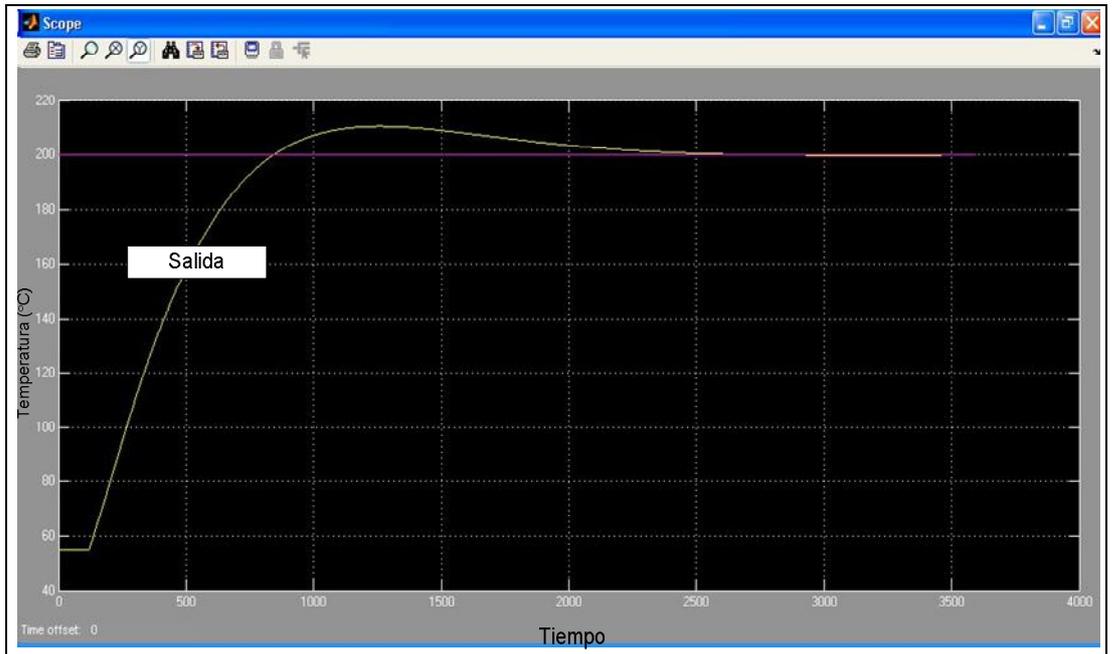


Figura 6.11 Respuesta al escalón de la planta con el compensador.

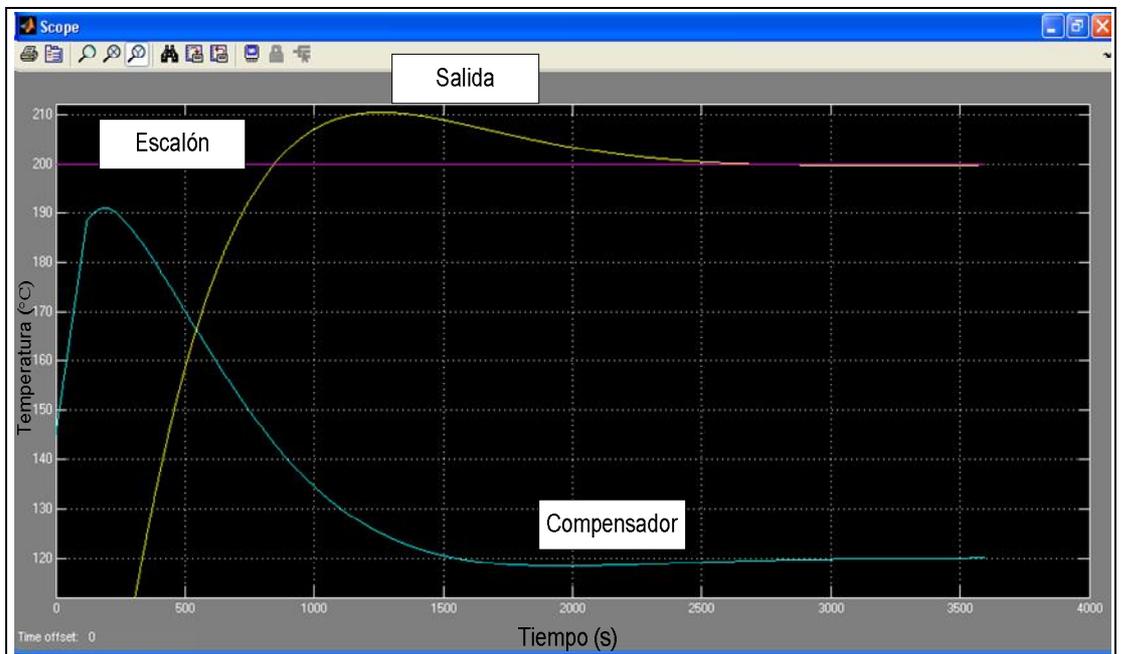


Figura 6.12 Respuesta del sistema con el compensador.

Al analizar la Figura 6.11 y 6.12 se obtuvo como resultado un tiempo de estabilización de 41 minutos (2500 s), también se elimina el error de estado estacionario por completo y presenta un sobre impulso menor de 10 °C. Se puede afirmar que se cumple con los criterios de diseño que se han planteado para este control automático. El sobre impulso que se da no constituye un peligro para la planta, pues soporta temperaturas de hasta 400 °C.

También se le indujeron perturbaciones al sistema para ver como reaccionaba su salida.

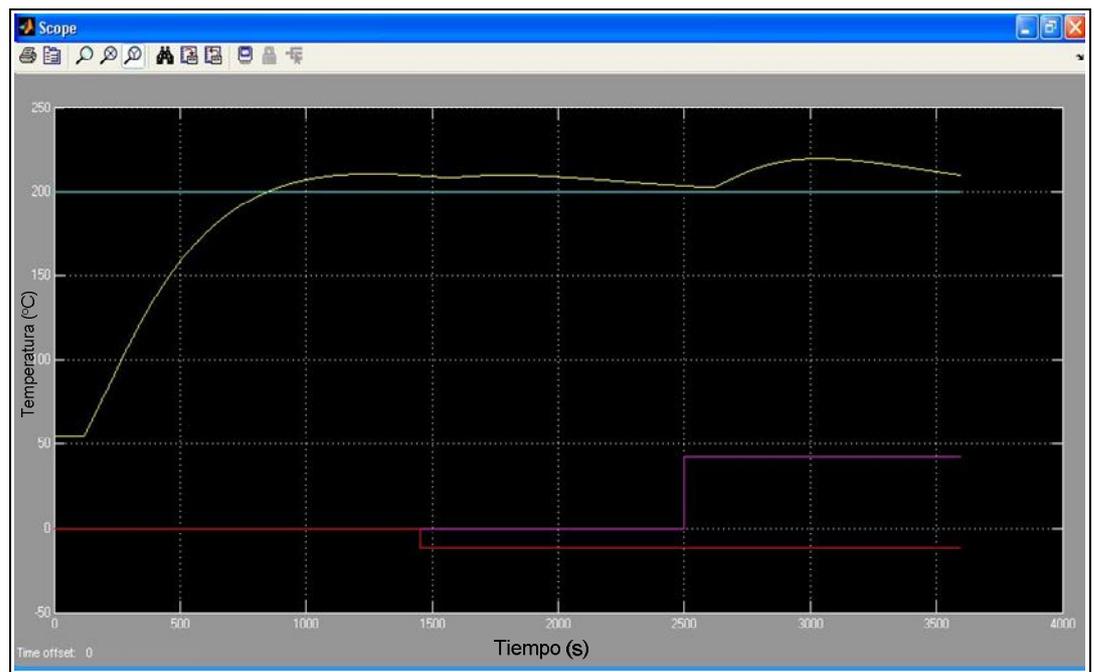


Figura 6.13 Respuesta del sistema ante perturbaciones.

A partir de la figura 6.13 se puede concluir que si al sistema le ingresa una perturbación que baje su temperatura bajara la misma, caso contrario si hay alguna perturbación que provoque un aumento de temperatura el sistema aumentará su temperatura. Estas perturbaciones pueden ser falta o exceso de papa.

De esta manera se diseñó el nuevo sistema de control, permitiendo que se mejorare su tiempo de respuesta, mediante el diseño de un regulador PI que será agregado al programa en el PLC.

Capítulo 7 : Conclusiones y recomendaciones.

En este capítulo final se exponen las conclusiones que se obtuvieron con la solución de este proyecto de graduación y brindar las recomendaciones necesarias a la empresa par la ejecución de trabajos posteriores relacionados con el proyecto.

7.1. Conclusiones

1. Con la centralización y monitoreo del proceso de producción de la línea 6 de Tosty por medio del uso de la pantalla táctil y PLC, se logrará que el proceso sea controlado de una manera más precisa y eficaz.
2. La monitorización gráfica del proceso de producción permite conocer el estado en que se encuentra operando el sistema.
3. La implementación de variadores de frecuencia con comunicación vía Ethernet, permite controlar los motores de una forma precisa, eficaz y segura; así se pueden obtener en tiempo real hasta 167 parámetros sobre el funcionamiento del motor que controla.
4. El sistema de alarmas permite conocer la falla o avería exacta en el proceso, ahorrando tiempos a la hora de encontrarlos.
5. La colocación de paros de emergencia a lo largo de la línea, garantiza condiciones de salud ocupacional más seguras.
6. Con la colocación de los sensores de nivel en la tolva, se brinda información precisa e instantánea del estado de ésta, dando como resultado la minimización de los paros innecesarios por falta o exceso de papa.

7. El encendido automático es un medio para facilitar el arranque del proceso.
8. Con la utilización de un compensador PI se logró reducir el tiempo de estabilización a 40 minutos con un error de estado estacionario de cero para el calentador de aceite.

7.2. Recomendaciones

1. Colocar sensores en la Rebanadora para que cuando se manipule con el proceso funcionando actúen como paros de emergencia.
2. Debido a lo largo de la línea se podrán colocar 2 pantallas táctiles en red, una al inicio y otra al final de la misma.
3. Analizar y definir cuales otras variables del proceso que no fueron tomadas en cuenta para este proyecto, deben incorporarse al mismo, con el objeto de mejorar aun más la calidad y eficiencia del producto final.
4. Instalar aire acondicionado para ventilar los gabinetes de potencia y control, ya que por su ubicación dentro de la planta se encuentran en un lugar cerrado, húmedo, caliente y con poca ventilación.
5. Dar capacitaciones a los técnicos y operarios sobre como funciona un PLC y los cuidados que se les debe tener.

Bibliografía.

- [1] Allen Bradley Company Inc. *1769 CompactLogix Controller User Manual*. [En línea]. Disponible en: <http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/um/1769-um011_en-p.pdf>. [Última consulta 4 de mayo 2012]
- [2] Instrumentación y control, *La señal de 4 a 20mA*. [En línea]. Disponible en: <<http://www.instrumentacionycontrol.net/es/cursos-libres/instrumentacion/curso-practico-de-instrumentacion/345-la-senal-4-20ma-y-su-proporcion-a-variables-fisicas-nunca-esta-de-mas-repararlo.htm>>. [Última consulta 6 de mayo 2012]
- [3] Piñon Pasos, Andrés J., *Tecnologías actuales de comunicación de las variables de campo en la industria de proceso*. [En Línea]. Disponible en: <http://www.cea-ifac.es/actividades/jornadas/XXII/documentos/A_03_IC.pdf>. [Última consulta 7 de mayo 2012]
- [4] HART, *¿Qué es HART?* [En línea]. Disponible en: <http://www.hartcomm.org/LG/SP/protocol/about/aboutprotocol_what.html>. [Última consulta 7 de mayo 2012]
- [5] Montes Diana, Montoya Ana Isabel. *Redes de Datos* [En línea]. Disponible en: <<http://rdedatos.tripod.com/rs232.htm>>. [Última consulta 10 de mayo 2012]
- [6] El agente 47, *Conector puerto RS232*. [En línea]. Disponible en: <<http://elagente47.blogspot.com/2011/02/conector-puerto-rs232-en-placas-asus.html>>. [Última consulta 19 de junio 2012]

[7] 123RF, Ethernet. [En línea]. Disponible en: <
http://es.123rf.com/photo_498695_un-cable-de-red-conectado-a-una-computadora-portatil-del-puerto-de-red.html>. [Última consulta 19 de junio 2012]

[8] Ureña Héctor, Rodríguez Juan. *Montaje y configuración de una LAN*. [En línea]. Disponible en:
<http://www.gobiernodecanarias.org/educacion/conocernos_mejor/>.
[Última consulta 14 de mayo 2012]

[9] Carrier Corporation Syracuse, *Variable Frequency Drive*. [En línea]. Disponible en:
<http://www.xpedio.carrier.com/idc/groups/public/documents/marketing/wp_varfreqdrive.pdf>. [Última consulta 14 de mayo 2012]

[10] Benignofole, *Regulación de velocidad de motores asíncronos trifásicos*. [En línea]. Disponible en: <http://es.wikipedia.org/wiki/Variador_de_frecuencia>.
[Última consulta 14 de mayo 2012]

[11] Así funciona, *Así funciona el motor de corriente directa o continua*. [En línea]. Disponible en: <
http://www.asifunciona.com/electrotecnia/af_motor_cd/af_motor_cd_6.htm>.
[Última consulta 14 de mayo 2012]

[12] Todo Robot, *Motor de corriente continua*. [En línea]. Disponible en: <
<http://www.todorobot.com.ar/documentos/dc-motor.pdf>>. [Última consulta 14 de mayo 2012]

[13] 3.bp, *Motor corriente continúa industrial*. [En línea]. Disponible en: <
http://3.bp.blogspot.com/S_IFA0TxN0A/TMot2YNImII/AAAAAAAAADY/2INTnWBcv0M/s1600/partes.jpg>. [Última consulta 14 de mayo 2012]

[14] Electrónica Unicrom, *Motor de corriente alterna*. [En línea]. Disponible en: < http://www.unicrom.com/Tut_MotorAC.asp>. [Última consulta 19 de junio 2012]

[15] Monografías, *Motores de corriente alterna* [En línea]. Disponible en: <<http://www.monografias.com/trabajos-pdf/motores-corriente-alterna/motores-corriente-alterna.pdf>>. [Última consulta 23 de mayo 2012]

[16] Electrónica Fácil, *Contactador* [En línea]. Disponible en: <<http://www.electronicafacil.net/tutoriales/Contactador.php>>. [Última consulta 23 de mayo 2012]

[17] Upnfm, *Contactador*. [En línea]. Disponible en: < <http://www.upnfm.edu.hn/bibliod/images/stories/tindustrial/libros%20de%20electricidad/Controles%20Electromecanicos/elementos%20electromecanicos.pdf>>. [Última consulta 19 de junio 2012]

[18] Netcom, *Guarda motor*. [En línea]. Disponible en: < http://www.netcom.es/pepeocu/protecciones/6_3%20Guardamotors.htm>. [Última consulta 19 de junio]

[19] Control y Protección, *Guarda motor*. [En línea]. Disponible en: <<http://www.weg.net/cr/Productos-y-Servicios/Control-y-Proteccion/Arrancadores-y-Proteccion-de-Motores/Guardamotor>>. [Última consulta 23 de mayo 2012]

[20] Profesores, *Válvulas de solenoide*. [En línea]. Disponible en: <<http://profesores.elo.utfsm.cl/~jgb/CARVALLOVARGASc.pdf>>. [Última consulta 23 de mayo 2012]

[21] Emerson Climate México, Válvulas de solenoide. [En línea]. Disponible en: <http://www.emersonclimatemexico.com/mt/mt_cap_07.pdf>. [Última consulta 23 de mayo 2012]

[22] Sapiens, *Electroválvula*. [En línea]. Disponible en: <<http://www.sapiens.itgo.com/neumatica/neumatica19.htm>>. [Última consulta 19 de junio 2012]

[23] Sitio web Ing. Eduardo Interiano. *Control automático*. [En línea]. Disponible en: <<http://ie.itcr.ac.cr/einteriano/control/>>. [Última consulta 4 de junio 2012]

[24] Kalipedia. Los sistemas de *control automático*. [En línea]. Disponible en: <http://www.kalipedia.com/informatica/tema/sistemas-control-automatico.html?x=20070821klpinginf_81.Kes>. [Última consulta 4 de junio 2012]

[25] Junta de Andalucía, *Sistema automáticos de control*. [En línea] Disponible en: <http://www.juntadeandalucia.es/averroes/ies_sierra_magina/d_tecnologia/bajables/2%20bachillerato/SISTEMAS%20AUTOMATICOS%20DE%20CONTROL.pdf>. [Última consulta 4 de junio 2012]

[26] Kuo, Benjamín C. **Sistemas de Control Automático**. 7ma edición. Prentice Hall, 1996, México. [Última consulta 4 de junio 2012]

[27] Ogata, Katsuhiko. **Ingeniería de Control Moderna**. 4ta edición. Pearson Education, 2003, Madrid. [Última consulta 4 de junio 2012]

[28] Sitio web Ing. Eduardo Interiano. **Análisis de sistemas**. [En línea]. Disponible en: <<http://ie.itcr.ac.cr/einteriano/analisis/>>. [Última consulta 4 de junio 2012]

[29] Wikipedia, *Frecuencia de muestreo* [En línea] Disponible en: <<http://electronico.wordpress.com/2008/03/26/frecuencia-de-muestreo/>>.

[Última consulta 4 de junio 2012]

[30] Sitio web Ing. Eduardo Interiano. *Regulador PID y ajuste PID*. [En línea]. Disponible en: <<http://www.ie.itcr.ac.cr/einteriano/control/>>. [Última consulta 4 de junio 2012]

[31] Catarina, *Acciones de Control*. [En línea] Disponible en: <http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lep/nunez_e_f/capitulo1.pdf>. [Última consulta 4 de junio 2012]

[32] Rock Well Automation, *1769 CompactLogix Controllers User Manual*. [En línea]. Disponible en: <http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/um/1769-um011_-en-p.pdf>. [Última consulta 8 de junio 2012]

[33] Rock Well Automation, *RSLogix5000*. [En línea]. Disponible en: <<http://www.rockwellautomation.com/rockwellsoftware/design/rslogix5000/>>. [Última consulta 8 de junio 2012]

[34] Rock Well Automation, *PanelView Plus Terminals*. [En línea]. Disponible en: <http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/um/2711p-um001_-en-p.pdf>. [Última consulta 8 de junio 2012]

[35] Rock Well Automation, *FactoryTalk View Machine Edition*. [En línea]. Disponible en: <http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/um/viewme-um005_-en-e.pdf>. [Última consulta 8 de junio 2012]

[36] Allen Bradley Company Inc, **Datos de tags y IO logix 5000.Manual de programación.** (Formato PDF)

[37] Allen Bradley Company Inc, **Procedimientos comunes de los controladores Logix5000. Manual de programación.** (Formato PDF)

[38] Allen Bradley Company Inc, **Factory Talk View Side Edition. User`s Guide.** (Formato PDF)

[39] Sitio web Ing. Eduardo Interiano. *Ejemplo Control de un Sistema Térmico.* [En línea]. Disponible en: <<http://www.ie.itcr.ac.cr/einteriano/control/>>. [Última consulta 4 de junio 2012]

Apéndices.

A1. Abreviaturas.

- PLC: Controlador Lógico Programable.
- HMI: Interfaz Hombre- Máquina
- VDF: Variador de frecuencia.
- DEMASA: Derivados del Maíz Alimenticio S.A.
- ZOH: retenedor de orden cero.

A2. Glosario.

- Bornera: es una regleta de conexión de cables eléctricos.
- Ethernet: estándar de comunicación para la transmisión de datos para redes de área local.
- Relé: Interruptor controlado por circuito eléctrico, en donde por medio de una bobina y un electroimán, se acciona un contacto que permite abrir o cerrar el circuito eléctrico independiente.
- Set Point (SP): valor que introduce el usuario.
- Process Value o Valor del proceso (VP): valor real de una variable en el proceso.

A3. Manual de usuario.

MANUAL DE PANTALLA PANELVIEW 1000

➤ **Cargar programa.**

Lo primero que se debe realizar al tener el programa terminado es en el FactoryTalk View Studio, en la pestaña “Application” crear una “Runtime Application”. Cuando se ha creado el archivo en la ubicación establecida por el usuario, en el mismo FactoryTalk se debe enviar el programa a la pantalla táctil esto se hace con el botón de “Transfer Utility”. Como se muestra en la figura A.1

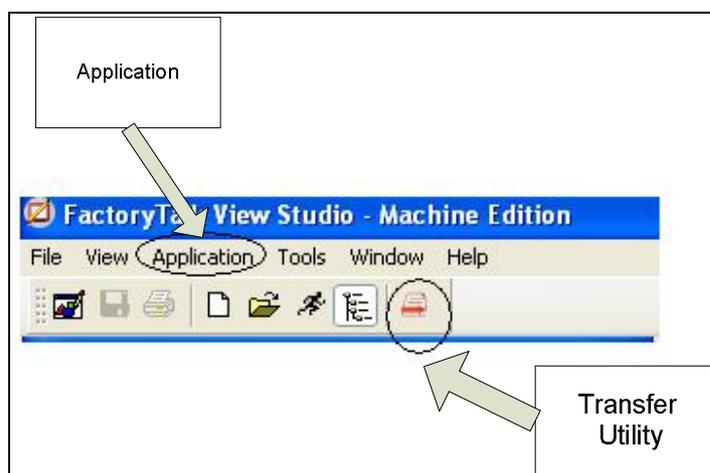


Figura A.1 Herramientas del FactoryTalk View Studio.

Cuando se presiona el botón “Transfer Utility” se despliega una pantalla para descargar el programa a la Panel View, se debe seleccionar la dirección IP que se ha establecido para la misma y presionar “Download” en el botón. Ver Figura A.2.

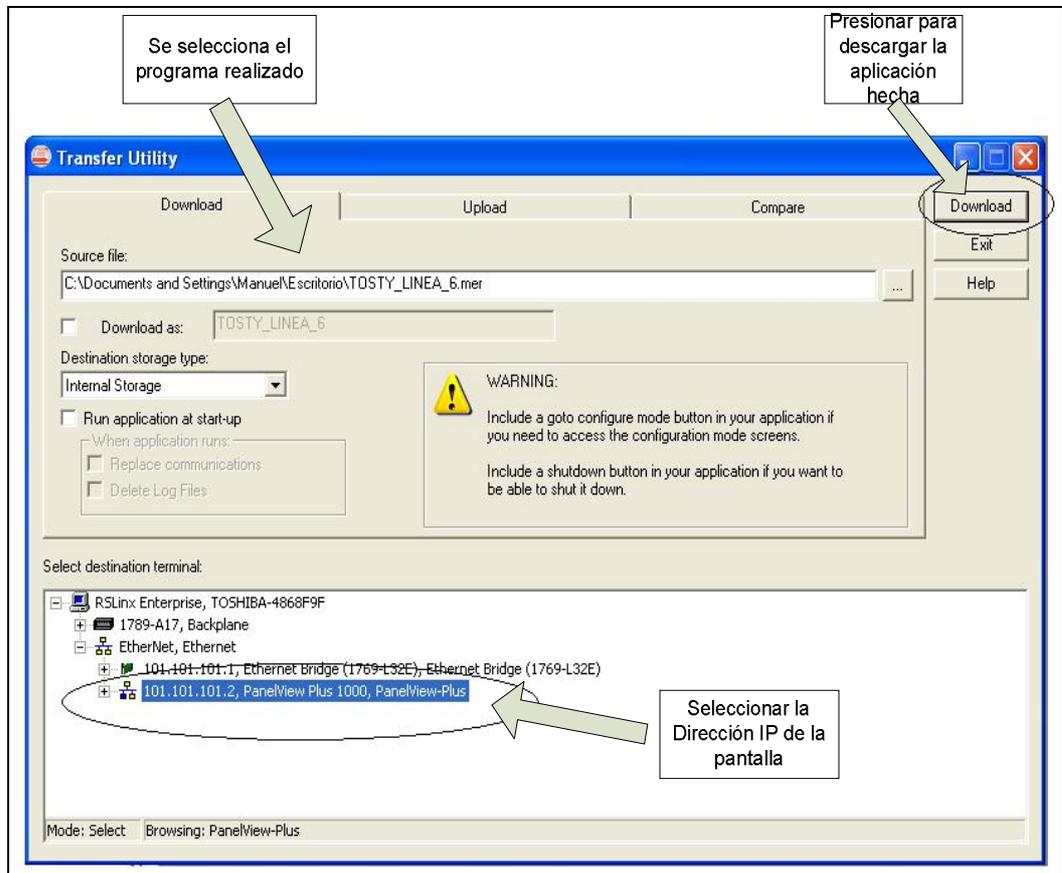


Figura A.2 Ventana para descargar el programa a la pantalla.

Luego se debe cargar el programa que se ha descargado en la pantalla se debe presionar el botón "Load Application" como se muestra en la figura A.3.

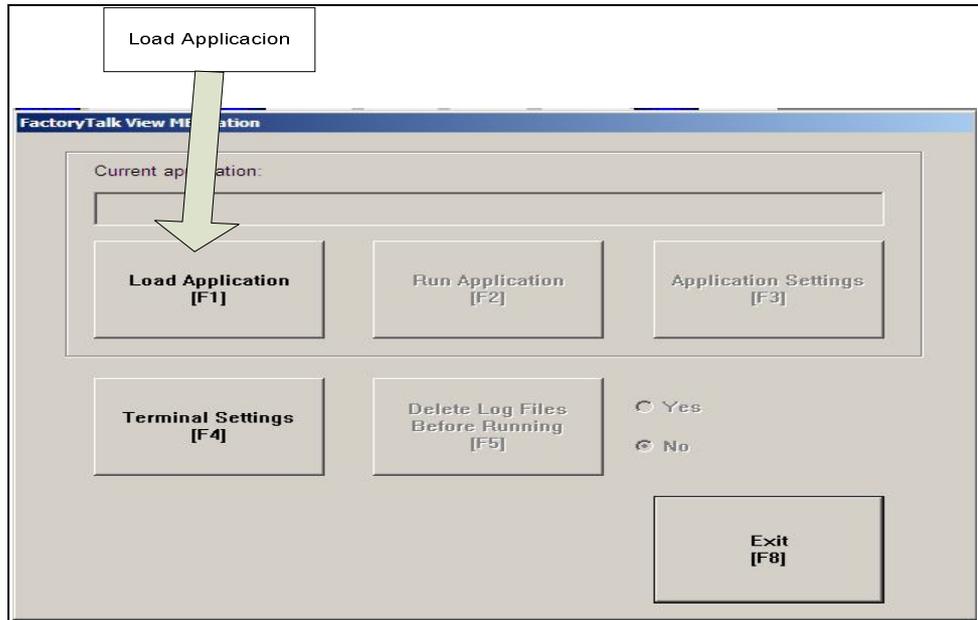


Figura A.3 Primer paso para cargar el programa a la pantalla.

Luego que se ha realizado este paso, poner a correr la aplicación presionando "Run Aplicacion"

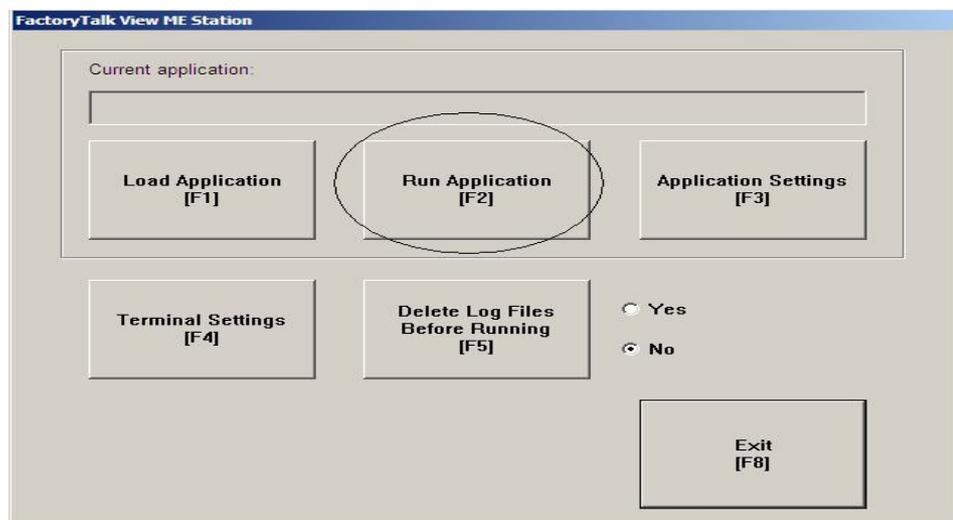


Figura A.4 Botón de Run Application.

➤ **Control del arranque de los motores y apertura de solenoides.**

Modo Manual.

Para proceder a arrancar cualquier motor o abrir una válvula en el modo manual, solo basta ir a la pantalla de control correspondiente según la etapa que el dispositivo se encuentre. Seleccionar el Modo Manual presionando el botón y posteriormente presionar “Arrancar” ó “Abrir” de esta manera el motor arrancará si no presenta fallos. Ver Figura A.5. Para detener el motor en modo manual, sólo basta presionar el botón “Detener”.

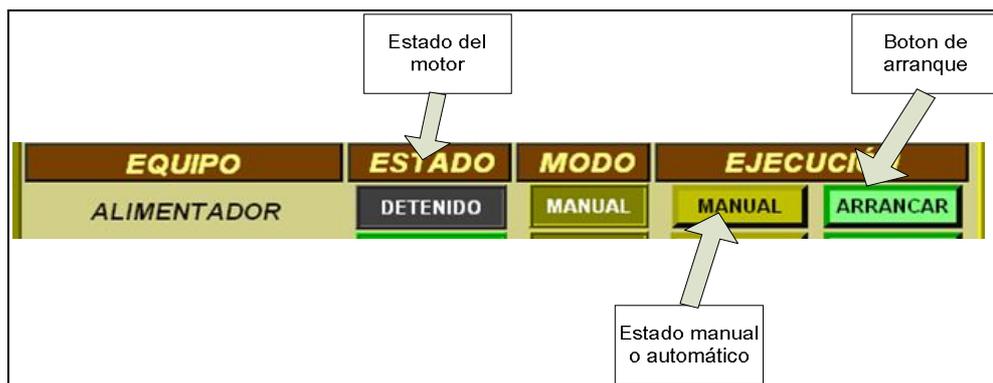


Figura A.5 Botón de arranque en modo manual.

Modo Automático.

Para encender los motores y válvulas, solo basta seleccionar en Modo “Auto” y presionar el botón “Encender Primera Etapa” (esto para la primera etapa). Y para apagar los dispositivos en este modo, se debe presionar “Apagar Primera Etapa” Como se muestra en la figura A.6, de igual manera sucede para las siguientes etapas.

Si se desea poner a operar el sistema en “ENCENDER Piloto Automático” solo basta presionar el botón asignado para esto, el indicador mostrará que se ha activado el “Piloto Automático”. Si se desea apagar el mismo, solo basta presionar “APAGAR Piloto Automático”.



Figura A.6 Pantalla para modo automático.

➤ **Variadores de frecuencia.**

Para controlar el arranque de los motores que tienen variadores de frecuencia con comunicación vía Ethernet, solo basta presionar el botón “Arrancar” y si se quiere apagar se debe presionar “Detener”. En cuanto a la colocación de la velocidad para éstos, se debe de presionar SP en la pantalla. Se

desplegará un teclado numérico con el cual se introduce el valor de la frecuencia deseada por el usuario. La pantalla para el control de los variadores con una breve descripción se muestra a continuación en la figura A.7.

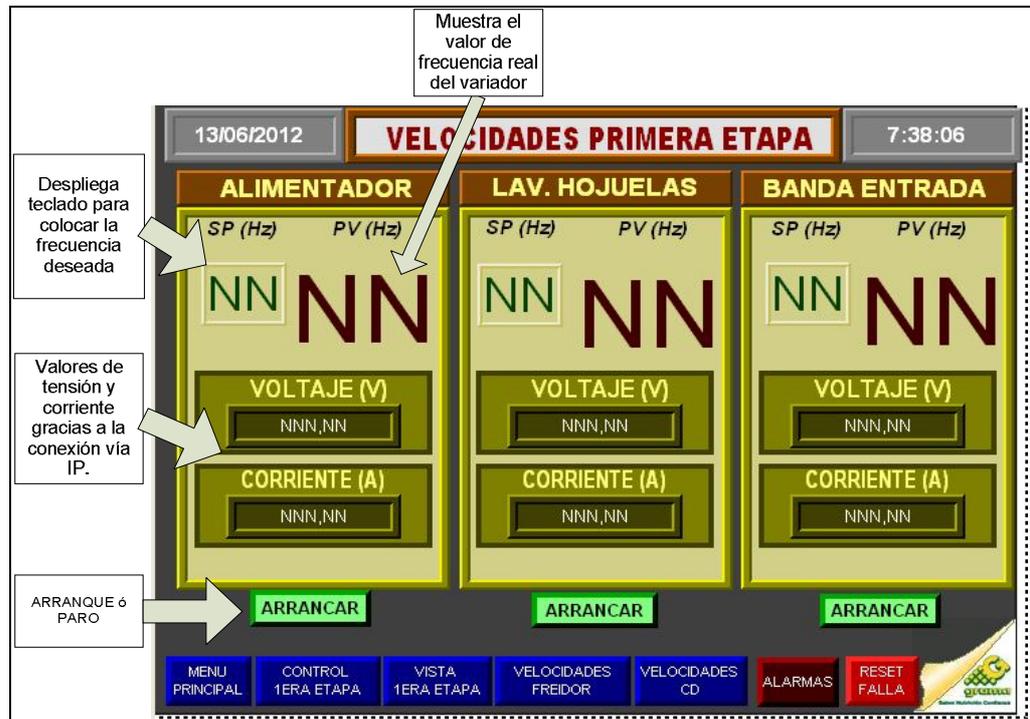


Figura A.7 Descripción de la pantalla para el control de variadores.

En la pantalla de los variadores se muestra el valor de la tensión y corriente que está consumiendo el motor.

➤ **Monitoreo de las temperaturas la línea.**

En la siguiente imagen se muestra y logra el monitoreo de las temperaturas de la línea en grados centígrados (°C).



Figura A.8 Temperaturas de la línea 6.

➤ **Monitorización del proceso.**

Para mostrar las pantallas en donde se puede observar el proceso gráfico, solo basta seleccionar la vista de la etapa que se desea observar.

A4. Planos de los módulos del PLC.

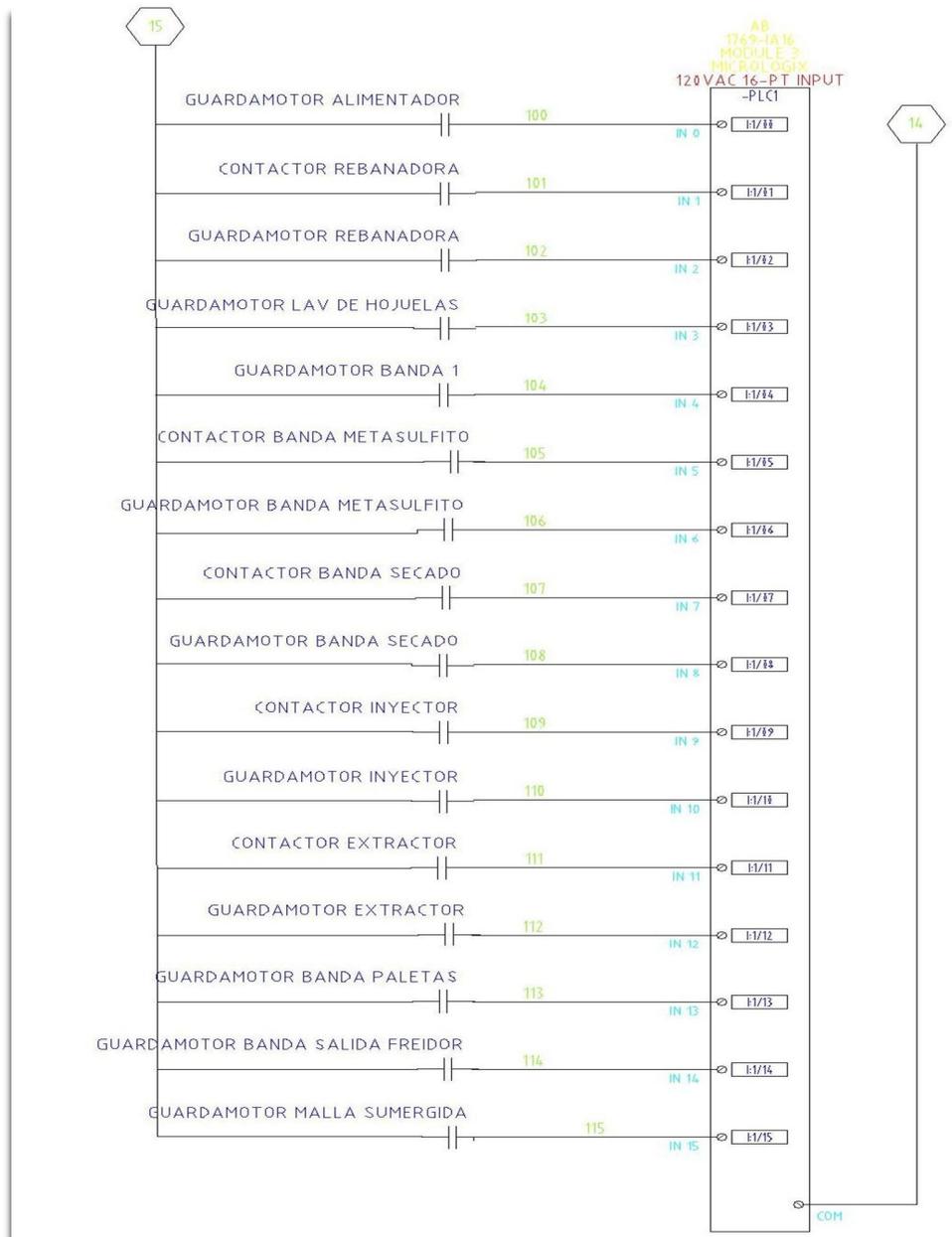


Figura A.9 Plano del primer del módulo 1769 IA16.



Figura A.10 Plano del segundo módulo 1769 IA16.

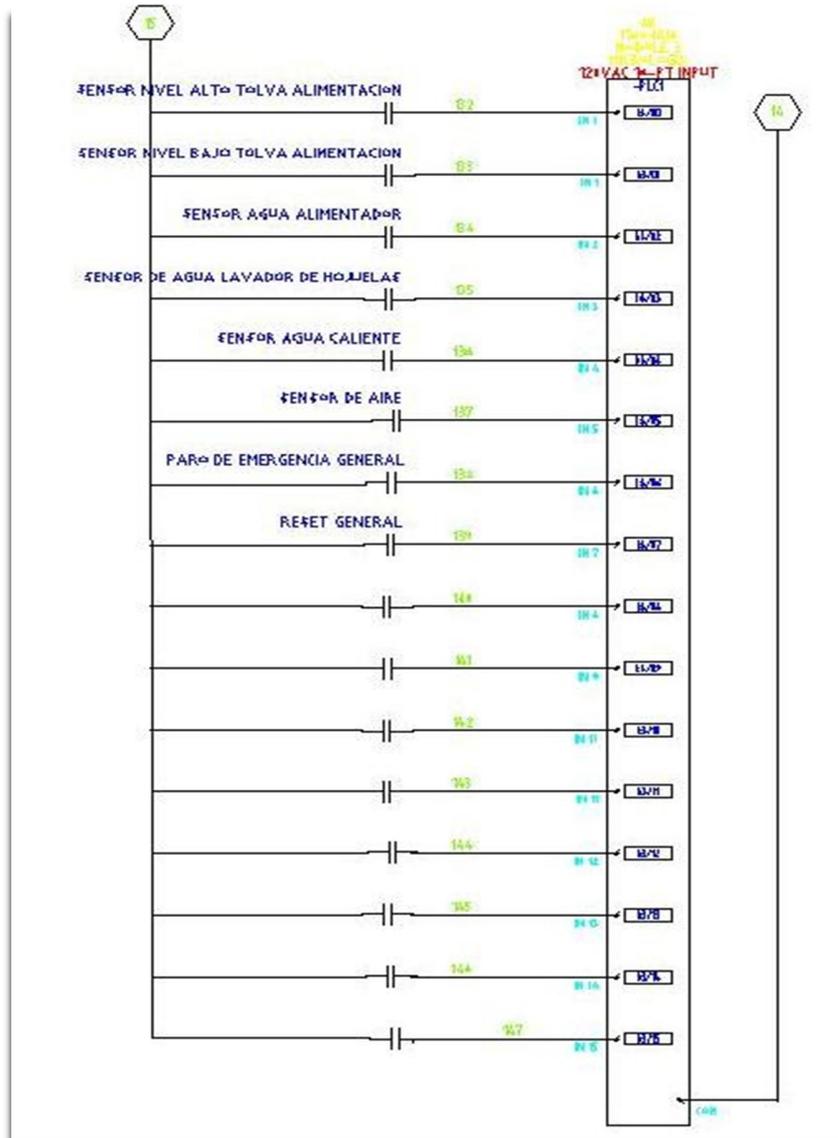


Figura A.11 Plano del tercer módulo 1769 IA16.

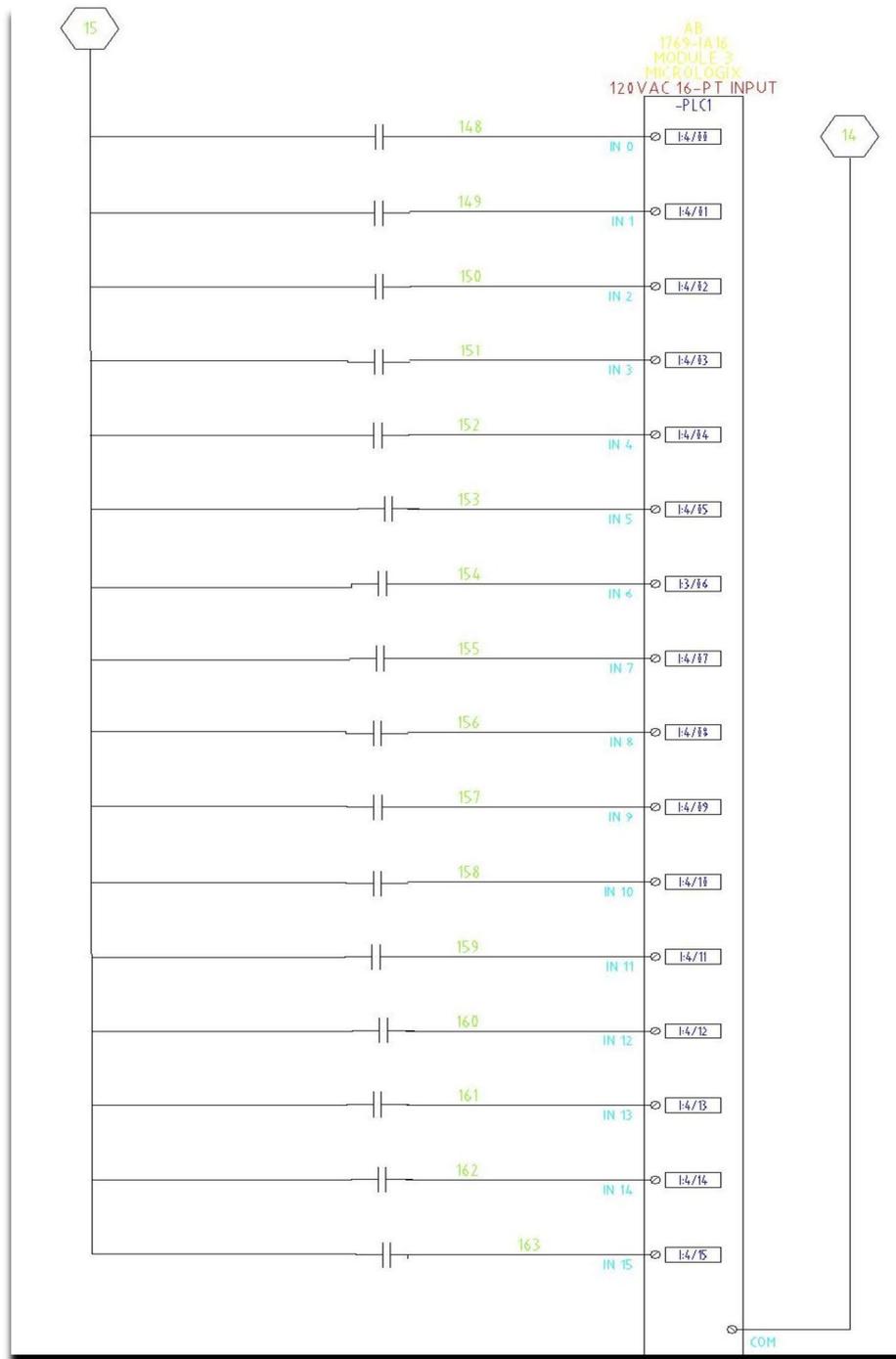


Figura A.12 Plano del cuarto módulo 1769 IA16.

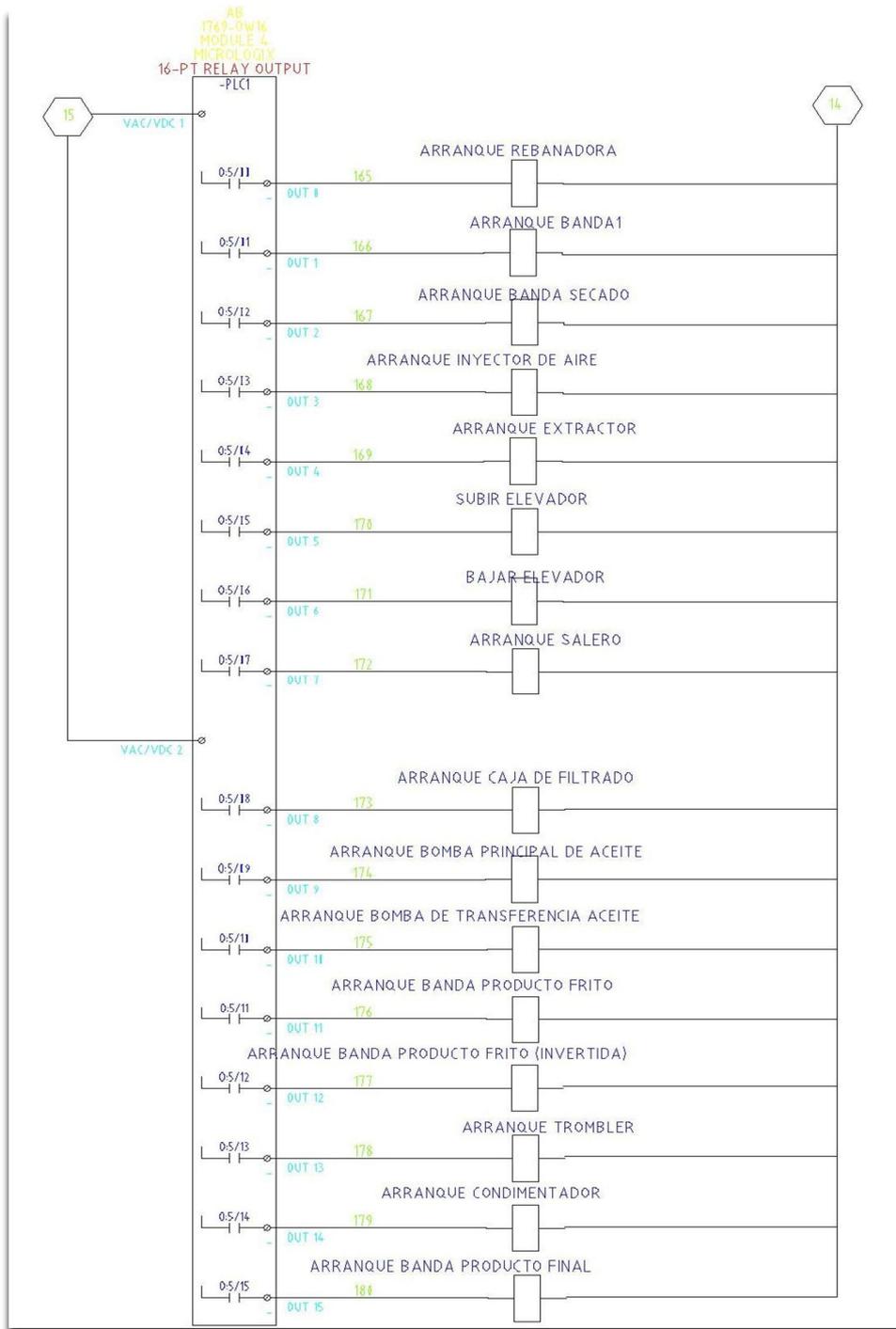


Figura A.23 Plano del quinto módulo 1769 OW16.

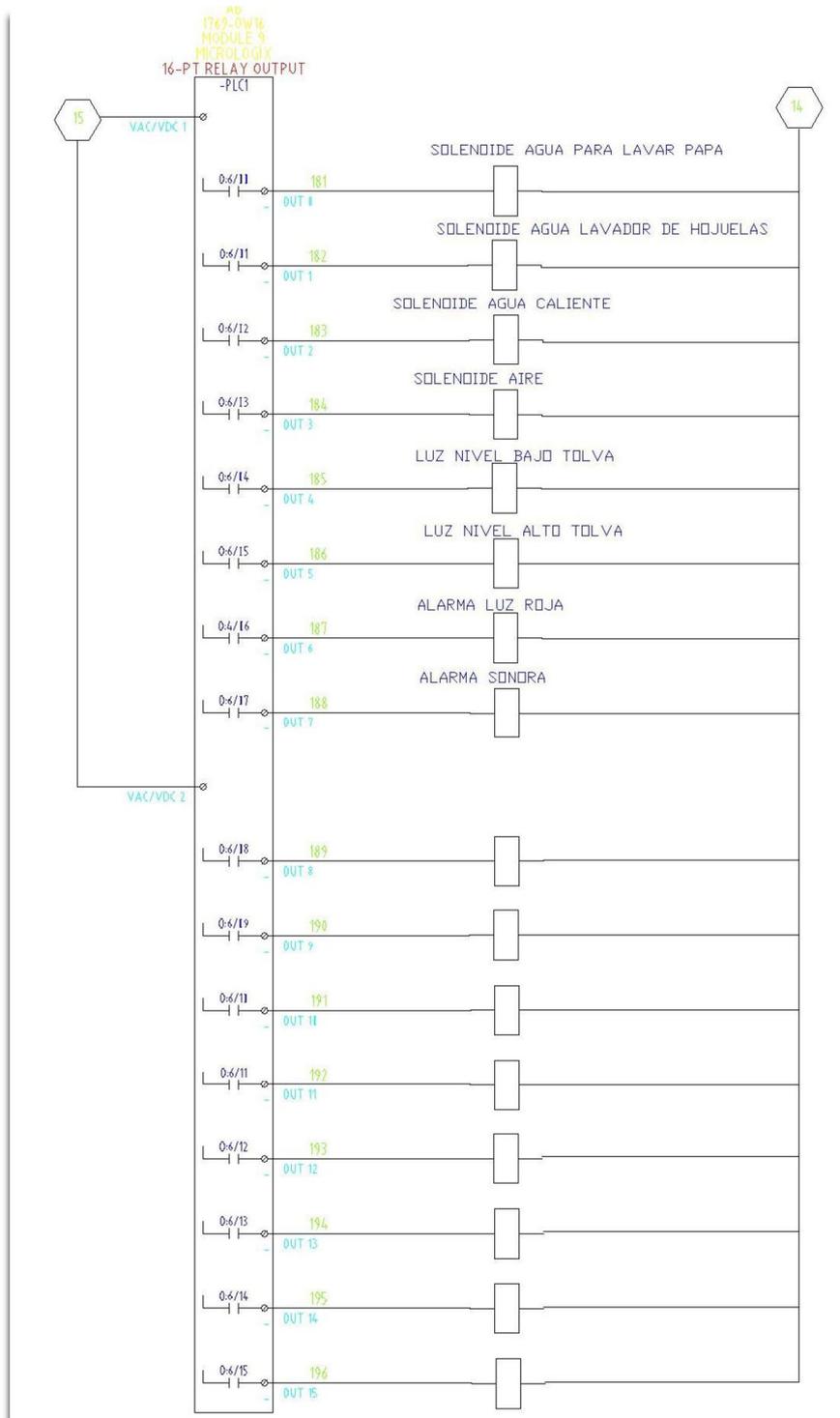


Figura A.34 Plano del sexto módulo 1769 OW16.

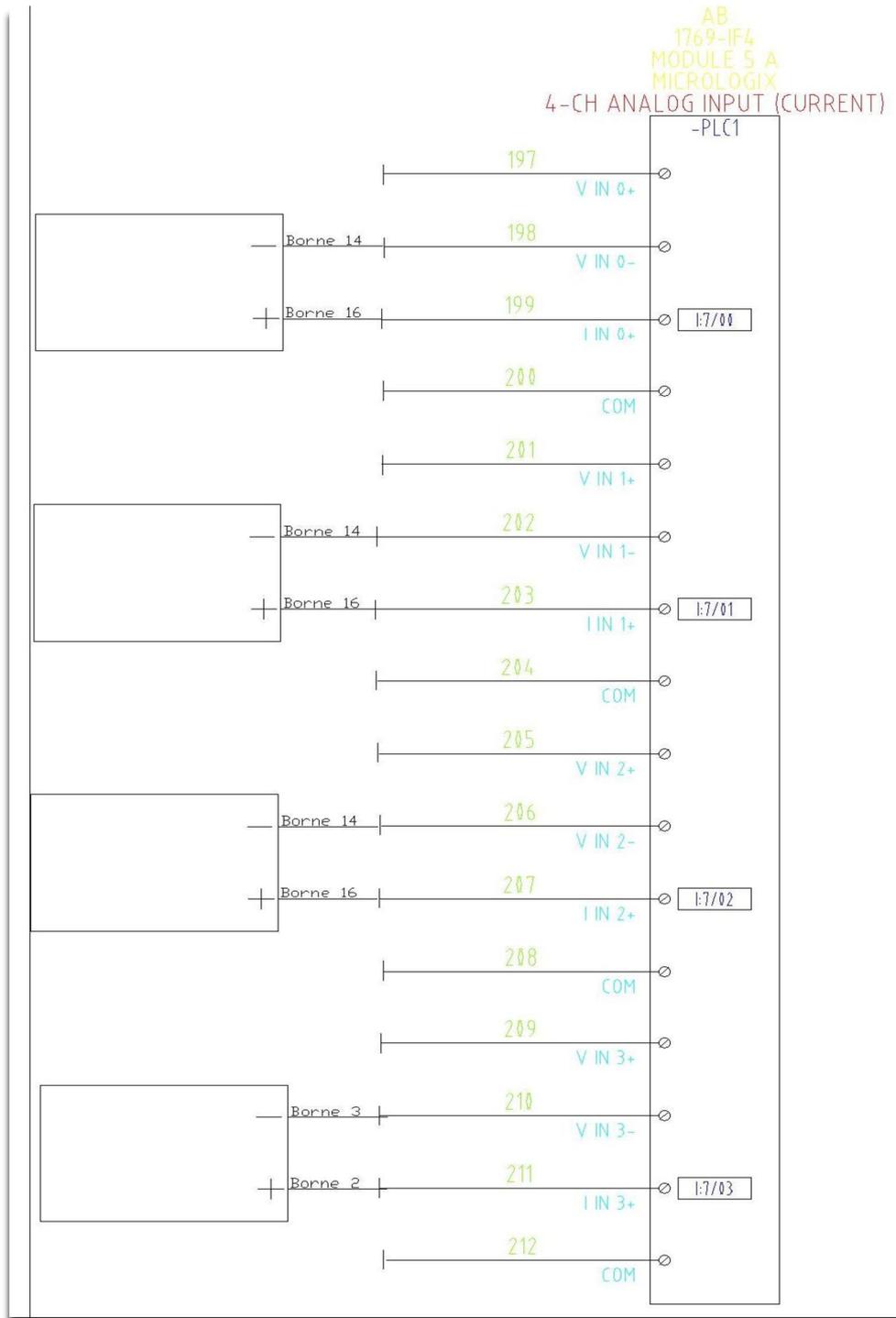


Figura A.44 Plano del sétimo módulo 1769 IF4.

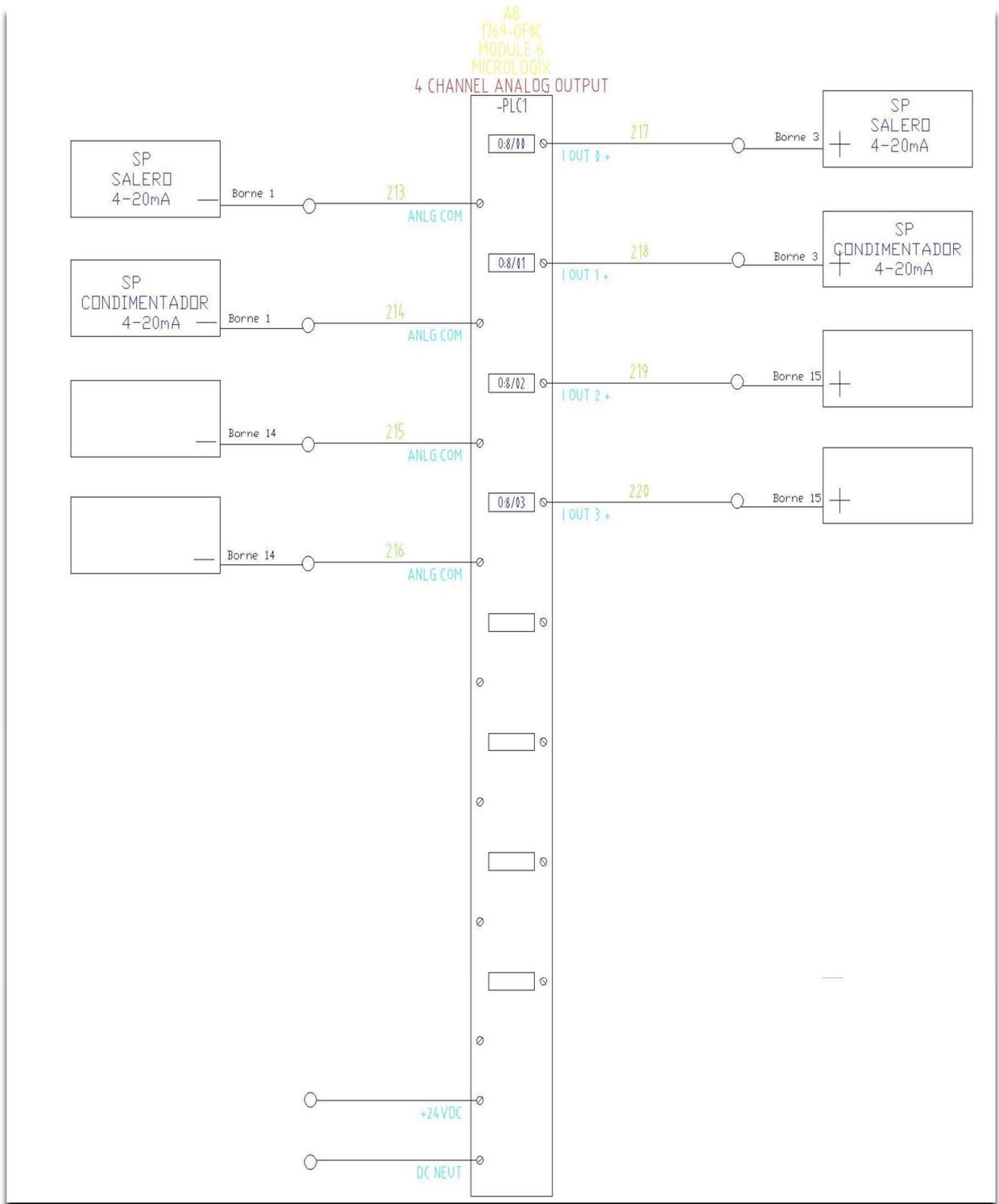


Figura A.55 Plano del octavo módulo 1769 OF4.

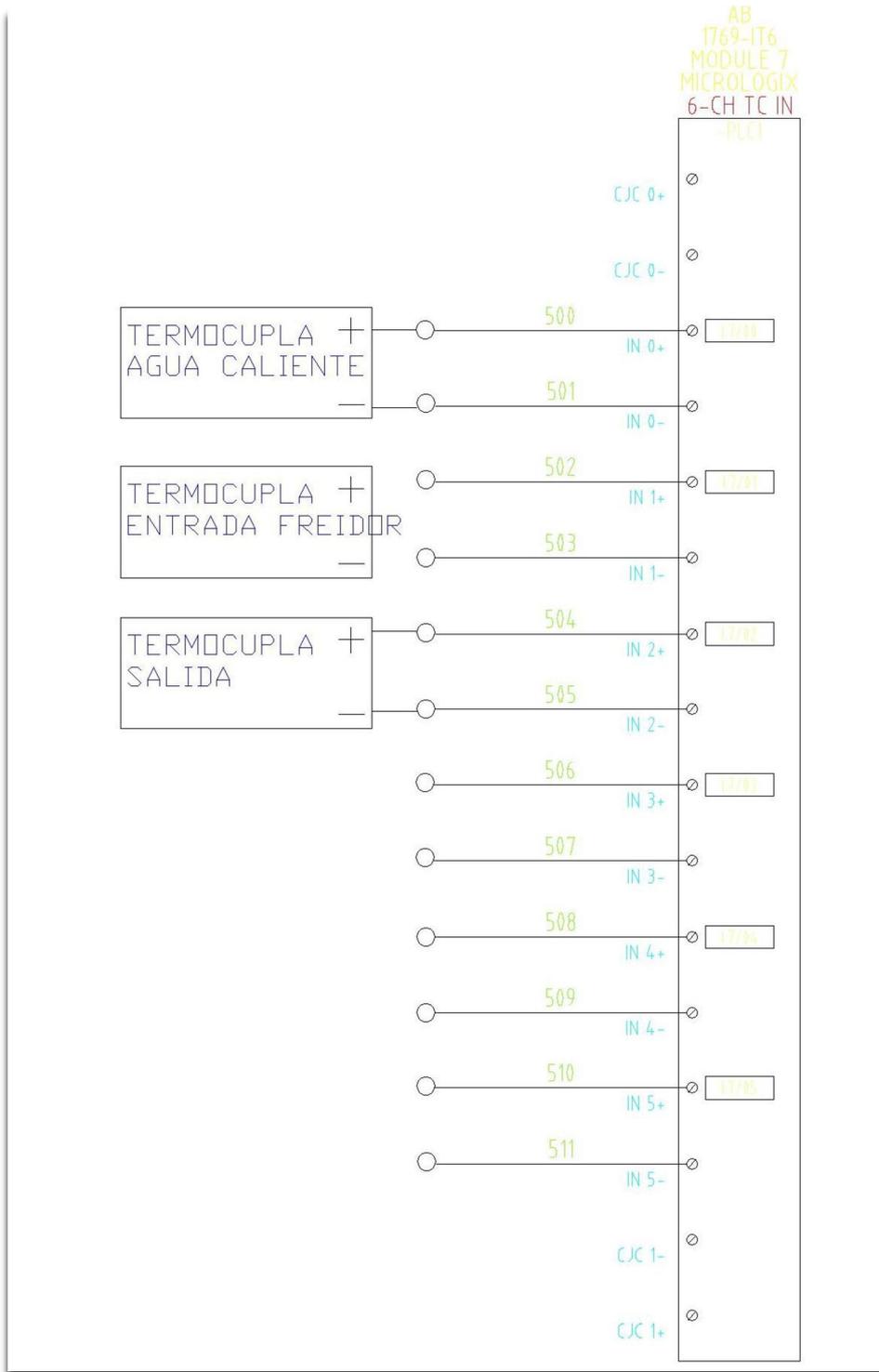


Figura A.66 Plano del noveno módulo 1769 IT6

Anexos.