

CONFIGURACIÓN, PROGRAMACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE INTERFAZ HUMANO MÁQUINA DEL PROTOTIPO DE
EMPACADORA DE GALLETAS PARA LA OPERACIÓN DENTRO DE LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DEL LABORATORIO
DE AUTOMATIZACIÓN DE LA UPB

CARLOS ALBERTO NEWBALL GONZÁLEZ
ID: 127012



UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
ESCUELA DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
BUCARAMANGA
2013

CONFIGURACIÓN, PROGRAMACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE INTERFAZ HUMANO MÁQUINA DEL PROTOTIPO DE
EMPACADORA DE GALLETAS PARA LA OPERACIÓN DENTRO DE LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DEL LABORATORIO
DE AUTOMATIZACIÓN DE LA UPB

Informe de Trabajo de grado para optar al título de
INGENIERO ELECTRÓNICO

CARLOS ALBERTO NEWBALL GONZALEZ
ID: 127012

Director(a)
ING. LEIDY JOHANNA OLARTE SILVA

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
ESCUELA DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
BUCARAMANGA
2013

Nota de aceptación

Firma del presidente del jurado

Firma de jurado

Firma de jurado

Bucaramanga, Noviembre 7 de 2013

DEDICATORIA

A Dios, por darme la vida y gracias a la fe que le tengo me haya brindado fuerza y ánimo en los momentos de adversidad en el transcurso de mi carrera profesional.

A mi familia por apoyarme incondicionalmente a cada oportunidad.

A los ingenieros Leidy Johana Olarte Silva, Juan Carlos Mantilla Saavedra y Felipe Herrera, porque gracias a ellos ha sido posible la ejecución del trabajo presentado.

Carlos Alberto Newball González

AGRADECIMIENTOS

A mis padres quienes gracias a sus esfuerzos me han permitido estudiar una carrera profesional, además de brindarme apoyo en cada momento, confiar en mis capacidades y a través de sus enseñanzas haber hecho de mí la persona que soy hoy en estos momentos.

Al ingeniero Alex Alberto Monclou Salcedo por abrirme las puertas de la facultad de Ingeniería Electrónica de la Universidad Pontificia Bolivariana seccional Bucaramanga.

A la ingeniera Leidy Johanna Olarte Silva por su colaboración a cada momento, además de conocimientos y valores infundidos para ser un profesional integral.

A mis docentes, compañeros y amigos quienes me acompañaron a lo largo del proceso de formación universitario.

Carlos Alberto Newball González

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN.....	1
1. JUSTIFICACIÓN.....	2
2. OBJETIVOS.....	3
2.1 OBJETIVO GENERAL.....	3
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
3. MARCO TEÓRICO	4
3.1 LABORATORIO DE AUTOMATIZACIÓN.....	4
3.2 LÍNEA DE PRODUCCIÓN.....	5
3.3 GABINETES DE CONTROL DEL PROTOTIPO.....	9
3.3.1 GABINETE DE CONTROL CENTRAL.....	9
3.3.2 GABINETE EMPACADORA 1.....	10
3.3.3 GABINETE EMPACADORA 2.....	11
3.4 SOFTWARE	13
3.4.1 STEP7.....	13
3.4.2 WINCC FLEXIBLE	17
3.5 COMUNICACIONES.....	19
3.5.1 PROFINET	19
3.5.2 PROFIBUS.....	19
3.6 NORMAS TECNICAS.....	20
3.7 ESTADO DEL ARTE.....	20
4. PROTOCOLO DE MONTAJE.....	22
4.1. GABINETES DE CONTROL.....	22
4.2. INSTALACIÓN DE SISTEMA DE BANDAS.....	23
4.3. INSTALACIÓN DE DISPOSITIVOS DE CONTROL E INSTRUMENTACION	23
4.3.1 RESISTORES DE TEMPERATURA	24
4.3.2 ENCODER	25
4.3.3 MODULO ENCODER FM 350-1	25
4.3.4 SENSOR COLOR	27
4.3.5 VARIADOR DE FRECUENCIA	27
4.3.6 SENSORES FOTOELÉCTRICO TIPO BARRERA	29
4.4. PROTECCIONES, SISTEMA DE ACONDICIONAMIENTO Y CABLEADO.....	29
4.5. PRUEBAS.....	31
4.6. NORMATIVA APLICADA.....	32

4.6.1	NTC 2050.....	32
4.6.2	RETIE.....	32
4.6.3	ANSI/ISA.....	32
5.	HARDWARE Y GABINETES	33
5.1	ESTRUCTURA MECÁNICA	33
5.2	INSTRUMENTACIÓN.....	33
5.2.1	RESISTORES DE TEMPERATURA	33
5.2.2	ENCODER	33
5.2.3	SENSOR COLOR	34
5.2.4	SENSOR FOTOELÉCTRICO TIPO BARRERA	34
5.2.5	SENSOR MAGNETICO Y CILINDROS.....	34
5.2.6	VARIADOR DE FRECUENCIA	35
5.2.7	MODULO ENCODER FM 350-1	35
5.3	DISPOSITIVOS ACONDICIONAMIENTO Y PROTECCIÓN	36
5.4	COMUNICACIONES.....	37
5.5	DISPOSITIVOS DE CONTROL	37
5.5.1	MODULO ENTRADAS ANALÓGICAS 6ES7331-7KF02-0AB0.....	38
5.5.2	MÓDULO CONTEO RÁPIDO 6ES7 350-1AH03-0AE0.....	39
6.	PROGRAMACIÓN Y APLICACIÓN HMI.....	40
6.1	EXPLICACIÓN DE LA APLICACION.....	40
6.2	COMUNICACIÓN LINEA PRODUCCIÓN.....	40
6.3	PROGRAMACIÓN STEP7.....	42
6.3.1	COMUNICACIÓN PROTOTIPOS	44
6.3.2	CONTROL TEMPERATURA.....	45
6.3.3	LECTURA DE COLOR.....	45
6.3.4	CLASIFICACION Y REGISTROS DE COLOR.....	46
6.3.5	EMPACADO DE PIEZAS	50
6.3.6	CONTROL VELOCIDAD	52
6.3.7	AJUSTES MANUALES	56
6.3.8	RECHAZOS DE PIEZAS.....	57
6.3.9	REINICIO	57
6.4	HMI Y WINCC FLEXIBLE	57
6.4.1	TPI 77B/PC	57
6.4.2	HMI.....	58
6.5	PRUEBAS PARA ESTABLECIMIENTO DE PARAMETROS	64
6.5.1	COLOR	64
6.5.2	TEMPERATURA	65
6.5.3	VELOCIDAD.....	68
6.5.4	ANALISIS DE ENERGIA.....	68

CONCLUSIONES 69

RECOMENDACIONES 70

BIBLIOGRAFIA 71

ANEXOSCD-ROOM

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Pirámide de Automatización.	4
Figura 2. Línea producción	5
Figura 3. Empacadora en su fase 1	6
Figura 4. Empacadora en su fase 2	6
Figura 5. Empacadora en su fase 3	7
Figura 6. Sistema de empaado	8
Figura 7. Gabinete Control Central	10
Figura 8. Gabinete Empacadora 1	11
Figura 9. Gabinete Empacadora 2	12
Figura 10. Ejemplo programación AWL	13
Figura 11. Ejemplo programación KOP	14
Figura 12. Ejemplo programación FUP.....	15
Figura 13. Bloques de datos y manera de realizar su llamado	16
Figura 14. Wincc Flexible	18
Figura 15. Wincc Flexible Runtime	18
Figura 16. Topología Profinet manejada por Siemens	19
Figura 17. Topología Profibus Industrial	20
Figura 18. Contraste Gabinete Control Central. Antes a la izquierda, ahora a la derecha	22
Figura 19. Acople plano cartesiano y Empacadora	23
Figura 20. Distribución calorífica en las resistencias	24
Figura 21. Instalación de sensores de temperatura en el prototipo	24
Figura 22. Encoder incremental Autonics acoplado al eje de rotación de la banda	25
Figura 23. Ajuste conector codificador del FM 350-1.....	26
Figura 24. Instalación del FM 350-1	26
Figura 25. Instalación sensor de color	27
Figura 26. Accesorios del variador de frecuencia FC 300	28
Figura 27. Instalación tarjeta Profibus en variador de frecuencia FC 300.....	28
Figura 28. Acople físico Profibus s7-300 y variador Danfoss.....	29
Figura 29. Cableado entre gabinete de control central (izq) y empacadora 2 (der)	31
Figura 30. Estructura mecánica para enlace Empacadora y Sistema Cartesiano	33
Figura 31. Sistema de control de lazo cerrado.....	34
Figura 32. Etapa de control de piezas	35
Figura 33. Guarda motor	36
Figura 34. Interruptor Termo magnético tripolar	36
Figura 35. Módulo entradas analógicas	38
Figura 36. Diagrama de bloques del proceso	41
Figura 37. Hardware de comunicación Empacadora, Sistema Cartesiano y Calle de Selección	42
Figura 38. Ciclo de bloques utilizados en el proceso	43

Figura 39.	Control PWM Temperatura.	45
Figura 40.	Lectura Color	46
Figura 41.	Llamado de registros de color	47
Figura 42.	Decremento de paquetes.....	48
Figura 43.	Decremento de piezas de un color.	48
Figura 44.	Salvado de estado de piezas	49
Figura 45.	Conteo de piezas extra por color.	49
Figura 46.	Condicional para empacar piezas.....	51
Figura 47.	Conversión para obtener velocidad en RPM.	53
Figura 48.	Parámetros lectura y escritura del variador mediante PROFIBUS.	54
Figura 49.	Activación del control de velocidad en lazo abierto.	55
Figura 50.	Llamado de ajustes manuales al inicio del proceso.....	56
Figura 51.	Borrado General de la aplicación	57
Figura 52.	Diagrama de bloques de las ventanas de la interfaz.	58
Figura 53.	Plantilla de la HMI.	59
Figura 54.	Ventana inicio de la HMI.	60
Figura 55.	Ventana de ajuste de papel y rangos de color de la HMI	61
Figura 56.	Ventana de proceso de la HMI.	62
Figura 57.	Ventana de supervisión de la HMI.	63
Figura 58.	Ventana de Almacenamiento de datos de la HMI	64
Figura 59.	Comportamiento en lazo abierto de la temperatura.....	66
Figura 60.	Comando MATLAB para diseñar controlador a partir de la función de transferencia	67
Figura 61.	Medidor para lectura de energía consumida.....	68

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Señales del Gabinete Control Central.....	9
Tabla 2. Señales Gabinete Empacadora 1	11
Tabla 3. Señales Gabinete Empacadora 2	12
Tabla 4. Posición del conector codificador según tipo de encoder.	25
Tabla 5. Cable adecuado para cada tipo de señal.....	30
Tabla 6. Direcciones IP para comunicación de HMI	58
Tabla 7. Ingreso de datos a la aplicación.	62
Tabla 8. Rangos de color después de 10 muestras.....	65
Tabla 9. Datos modelo orden 2 con retardo	68

LISTA DE ANEXOS

- ANEXO A. PLANO ELECTRICO SIEMENS EMPACADORA.
- ANEXO B. CONFIGURACIÓN SIEMENS S7-300.
- ANEXO C. MANUAL OPERACION S7-300 EMPACADORA.
- ANEXO D. P&ID SIEMENS EMPACADORA
- ANEXO E. ANALISIS TERMOGRAFICO
- ANEXO F. MEDIDOR DE ENERGIA
- ANEXO G. MODULO SIEMENS PARA LECTURA RAPIDA
- ANEXO H. MODULO SIEMENS DE ENTRADAS ANALOGICAS
- ANEXO I. MOTOR
- ANEXO J. PANTALLA TOUCH PANEL SIEMENS
- ANEXO K. CONTROLADOR S7-300
- ANEXO L. SENSOR DE COLOR
- ANEXO M. SENSOR FOTOELECTRICO TIPO BARRERA
- ANEXO N. VARIADOR DANFOSS FC300
- ANEXO O. ELECTROVALVULA
- ANEXO P. ENCODER

GLOSARIO

LINEA PRODUCCION: Integración de los prototipos calle de selección, sistema cartesiano y empacadora de galletas.

S7-300: Controlador lógico programable modular de gama alta de la compañía Siemens. Permite la integración de módulos tanto por rack como por comunicaciones PROFINET y PROFIBUS.

PROFINET: Protocolo de comunicación que mediante ETHERNET permite la programación y supervisión del controlador S7-300.

ETHERNET: Plataforma física que permite el enlace de dispositivos Siemens para llevar a cabo el protocolo PROFINET.

PROFIBUS: Estándar de comunicaciones para buses de campo. Permite mayores velocidades que PROFINET.

HMI: Interfaz humano máquina para el desarrollo y supervisión de aplicaciones automatizadas.

RGB: Modelo de color aditivo en el cual se irradia luz roja, verde y azul en diferentes direcciones para producir una amplia gama de colores.

RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

TITULO: CONFIGURACIÓN, PROGRAMACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE INTERFAZ HUMANO MÁQUINA DEL PROTOTIPO DE EMPACADORA DE GALLETAS PARA LA OPERACIÓN DENTRO DE LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DEL LABORATORIO DE AUTOMATIZACIÓN DE LA UPB

AUTOR(ES): Carlos Alberto Newball González

FACULTAD: Facultad de Ingeniería Electrónica

DIRECTOR(A): Leidy Johana Olarte Silva

RESUMEN

En el desarrollo del proyecto se optimizó el prototipo de empacadora de galletas del Laboratorio de Automatización de Procesos de Industriales de la Universidad Pontificia Bolivariana, a partir de la instalación de instrumentación y módulos de ampliación al sistema de control, constituido por módulos de entradas analógicas y lectura de velocidad, sensor de temperatura (RTD-PT100), sensor color (RGB), variador de velocidad, motor trifásico, sensor de velocidad (ENCODER), electroválvulas, cilindros e interruptores neumáticos. A su vez, se realizó la configuración (comunicaciones Profinet y Profibus DP) y programación del hardware de control y software de HMI, permitiendo en el proceso: clasificación de piezas por color, rechazos, el control de temperatura, posición y velocidad. Finalmente, se diseñó una interfaz humano máquina (HMI) la cual permite: establecer condiciones iniciales al proceso (posición del plástico y colores a utilizar), parámetros de operación (velocidad, número de piezas y colores deseados), y supervisión del control de piezas (rechazo por solicitud cumplida, rechazo por color no aceptable o aceptación de la pieza). Esta aplicación está integrada a la línea de producción del laboratorio.

PALABRAS CLAVES: Empacadora de Galletas, Producción, Siemens, HMI, Profinet, Profibus.

V° B° DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

GENERAL SUMMARY OF GRADE WORK

TITLE: CONFIGURATION, PROGRAMMING AND IMPLEMENTATION OF A HUMAN MACHINE INTERFACE OF COOKIES PACKING PROTOTYPE TO OPERATE WITHIN PRODUCTION LINE OF UPB AUTOMATION LABORATORY

AUTHOR(S): Carlos Alberto Newball González

FACULTY: Electronic Engineering faculty

DIRECTOR: Leidy Johana Olarte Silva

ABSTRACT

In the project development, cookies packing prototype of UPB automation production processes laboratory was optimized through electronic instrumentation and expansion modules of the control system, it consists by analog input and speed reader modules, temperature sensor (RTD-PT100), color sensor (RGB), speed variable drive, three phase motor, speed sensor (ENCODER), electric valves, cylinders and pneumatic switches. In turn, configuration (PROFINET and PROFIBUS DP communications) and programming of hardware and software control HMI were implemented to the process enabling: color pieces classification, rejections, temperature, position and speed control. Finally, Human machine interface (HMI) was designed and it allows: Set process initial conditions (plastic position and colors to use) and operation parameters (speed, number of pieces and colors wanted), monitoring pieces control (request fulfilled rejection, color unacceptable rejection or acceptable piece). Was possible to integrate this degree work to the laboratory production line.

KEYWORDS: Cookies packing, Production, Siemens, HMI, Profinet, Profibus.

V° B° DIRECTOR OF GRADUATE WORK

INTRODUCCIÓN

La automatización industrial consiste en el uso de sistemas computarizados y electromecánicos para ejercer control sobre maquinaria y/o procesos industriales sustituyendo los operadores humanos. Comprende la instrumentación industrial que incluye sensores, transmisores de campo, supervisión, sistemas de transmisión y recolección de datos además de las aplicaciones de software en tiempo real que permitan una mayor productividad.

Como herramienta universal para la automatización de procesos industriales a pequeña y gran escala hoy en día el controlador lógico programable (PLC) resulta ser la herramienta más robusta, ya que reproduce programas informáticos, que permiten controlar procesos. Estos equipos pueden contar tanto con salidas como entradas del tipo analógico y/o digital, siendo una evolución a los sistemas de control basado en circuitos eléctricos con relés, interruptor y lógica combi nacional.

La optimización del prototipo de empacadora integrado al plano cartesiano se desarrolló a partir del gabinete de control central de Siemens donde se encuentra el PLC S7-300 y módulos anexos que permiten el uso de entradas y salidas tanto analógicas como digitales, las cuales son base para ejecutar el proceso de empaclado.

En el desarrollo del proyecto se realizó el control de la temperatura de las resistencias encargadas del calentamiento y sellado del empaque con el fin de mejorar el sellado del empaque, simultáneamente el control de la velocidad del sistema de bandas que permite el avance de las piezas desde el robot cartesiano hacia la empacadora utilizando como realimentación la señal de un encoder incremental mediante comunicación Profibus. A su vez se adicionó la posibilidad de clasificar el color, número de piezas y paquetes del proceso mediante la integración con el sistema cartesiano optimizando la línea de producción la cual mediante la calle de selección selecciona el material de las piezas las cuales son clasificadas según dimensión y material para el posterior transporte hacia la empacadora a través del sistema cartesiano.

Dentro de los alcances implicados en la elaboración del proyecto se encuentra el contar con la asociación de varios procesos industriales los cuales permitan conformar una línea de producción a pequeña escala para brindar la oportunidad a los estudiantes de los programas de ingeniería de programar e interactuar con las variables asociadas a un proceso de producción en masa.

1. JUSTIFICACIÓN

La automatización, instrumentación y control de los procesos están entre los principales objetivos de las empresas en la búsqueda de la competitividad y su permanencia en el mercado. Una problemática de los profesionales en la industria nacional es la falta de conocimiento sobre cómo llevar a cabo la automatización de sus procesos, manejar sus sistemas de control y lograr el aseguramiento metrológico de sus instrumentos.

Se desea promover la iniciativa en los estudiantes de las facultades de ingeniería electrónica, industrial y mecánica hacia el conocimiento de los procesos de automatización como una herramienta que podrá ser implementada en su vida profesional en el campo de la industria tanto en normatividad como el uso y manejo software y hardware estandarizado.

A su vez es imperativa la utilización del prototipo de empacadora de galletas del laboratorio de automatización como instrumento de promoción de las facultades de ingenierías de la Universidad Pontificia Bolivariana seccional Bucaramanga.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Configurar, programar e implementar un interfaz humano máquina del prototipo de empacadora de galletas para la operación dentro de la línea de producción del laboratorio de automatización de la UPB.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar el estudio de los antecedentes, especificaciones técnicas y manuales de operación de los dispositivos de control e instrumentos a utilizar en la empacadora de galletas.
- Configurar y programar el hardware y software para la comunicación del variador de frecuencia y el encoder con el controlador Siemens del prototipo de empacadora de galletas.
- Configurar la comunicación Profibus entre el PLC SIEMENS S7-300 y el variador de frecuencia.
- Programar el prototipo de la empacadora de galletas con las aplicaciones de movimiento, color y evaluación de energía para la línea de producción.
- Diseñar, configurar y programar una interfaz humano maquina (HMI) de acuerdo a los estándares y normatividad internacional.
- Realizar pruebas de operación de la aplicación y de la HMI.
- Documentar el proyecto mediante un documento final con sus respectivos manuales de usuario.

3. MARCO TEÓRICO

3.1 LABORATORIO AUTOMATIZACIÓN

El laboratorio de automatización de procesos de producción de la Universidad Pontificia Bolivariana seccional Bucaramanga se encuentra ubicado en el segundo piso del edificio K, oficina 214.

El objetivo principal del laboratorio es brindar las herramientas necesarias para garantizar el control de un conjunto de procesos evidenciando la aplicación de tecnologías de gama alta, media y baja lo cual requiere la implementación de cada uno de los niveles de la pirámide de automatización la cual se basa en la norma ISA 95 (ver figura 1).

Presta sus servicios a estudiantes tanto de pregrado como postgrado asociados a las facultades de ingeniería industrial, electrónica, mecánica e informática.



Figura 1: Pirámide de Automatización. ¹

¹ Imagen tomada de: http://www.upb.edu.co/portal/page?_pageid=1134%2C32665677&_dad=portal

3.2 LÍNEA DE PRODUCCIÓN

El laboratorio de automatización de procesos de producción de la Universidad Pontificia Bolivariana consta de distintos prototipos utilizados para mostrar las diferentes etapas necesarias para la conformación de un proceso industrial.

Dentro del laboratorio se cuenta con varios prototipos para la muestra de procesos, algunos procesos asociados conforman la línea de producción.

Dentro de la línea de producción se encuentran los siguientes prototipos.

- Extrusora.
- Calle de selección.
- Sistema cartesiano.
- Empacadora.

El proyecto de la línea de producción enmarca el uso de los anteriores prototipos con el objeto de realizar el seguimiento de un producto desde su ingreso hasta el empaque evaluando los parámetros de operación para cada etapa del proceso.

Con referencia en la figura 2, se puede evidenciar que al inicio de la línea de producción (izquierda a derecha) la extrusora a pesar de no estar integrada a la línea de producción (se proyecta integrarla a futuro) se encarga de la selección de la materia prima para la elaboración de los cilindros los cuales son cortados para generar piezas cilíndricas. Una vez cortada la materia prima y formada las piezas cilíndricas estas son clasificadas según su altura y tipo de material por la calle de selección para finalmente ser transportadas a la empacadora a través del sistema cartesiano.

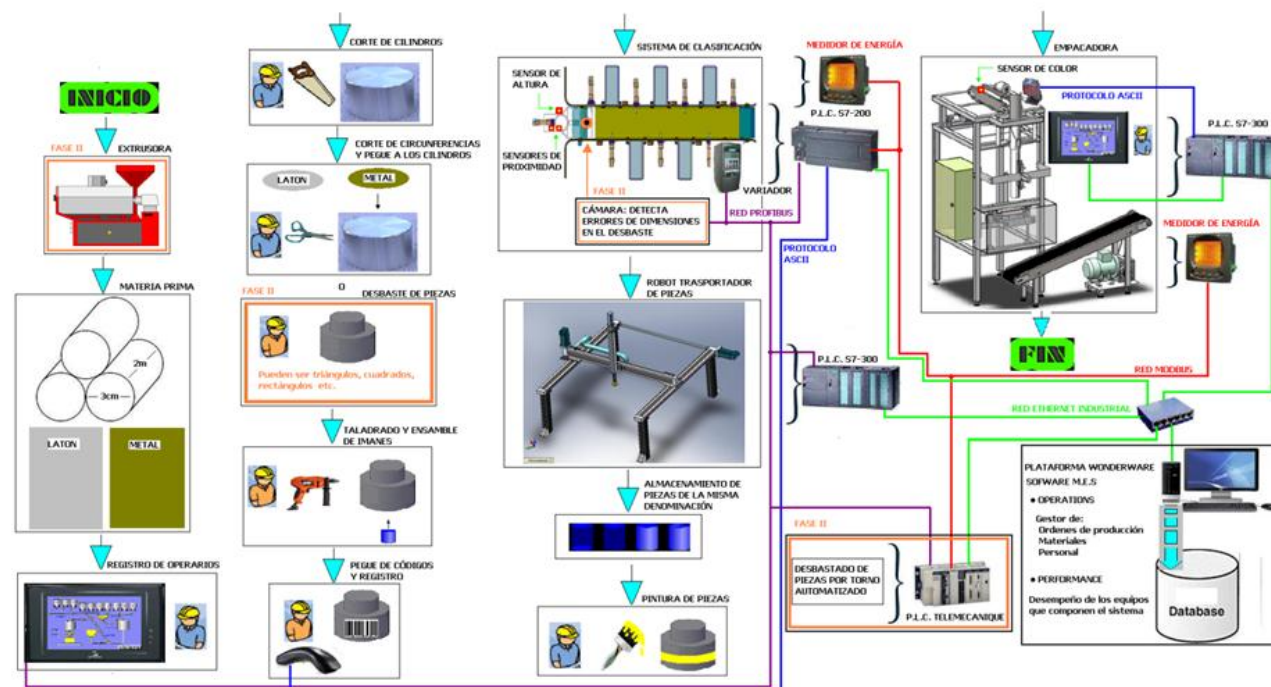


Figura 2: Línea producción²

² Imagen tomada de: Propuesta de línea de producción: Ing. Felipe Herrera

Como base al proyecto realizado, se partió del prototipo de empacadora el cual se encontraba en su fase 2 (figura 4) y en este proyecto se ejecutó su fase 3.

Previamente en la fase 1 se diseñó y construyó una primera versión del prototipo. En la fase 2 se construyó la base del prototipo utilizado para el desarrollo de la fase 3 en donde se agregaron:

- Cambio de motor de corriente continua controlado a través de encendido y apagado por motor trifásico para el movimiento de la banda de ingreso de piezas.
- Comunicación física y de software con el sistema cartesiano a través de un sistema de bandas para recepción de piezas de modo automático.
- Control de velocidad del sistema de bandas utilizando un variador de frecuencia.
- Clasificación de piezas por color y material a través de rechazos.
- Control de temperatura que permite un empacado con mayor limpieza y mejor acabado en el sellado.



Figura 3: Empacadora en su fase 1 ³



Figura 4: Empacadora en su fase 2 ⁴

³ Imagen tomada de: Laboratorio de automatización. Ing. Jessica Aiza

⁴ Imagen tomada de: Laboratorio de automatización. Ing. Leidy Olarte



Figura 5: Empacadora en su fase 3 ⁵

La empacadora es un prototipo que permite el empackado de piezas cilíndricas basado en el sellado de un plástico alrededor de un cilindro mediante dos resistencias de calentamiento las cuales sellan vertical y horizontalmente (ver figura 6).

Cuenta con un sistema de sellado, corte y avance del paquete, realizado mediante tecnología neumática e instrumentación electrónica adecuada. Contiene un rollo de polipropileno para el empackado de las piezas y así protegerlas de factores externos (ver figura 6).

En la figura 6 se observa a detalle como a través de tecnología neumática (electroválvulas) se logra un sistema de empackado mediante un sellado vertical y dos sellados horizontales.

Cabe aclarar que el sistema de empackado corresponde al proyecto de grado de las ingenieras Jessica Ariza y Katherine González.

⁵ Imagen tomada de: Laboratorio de automatización de procesos de producción, UPB

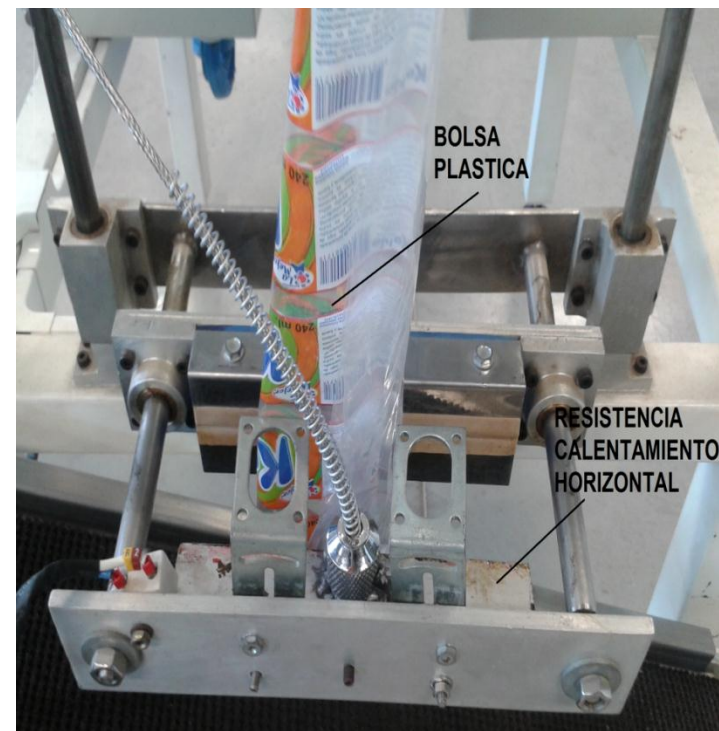
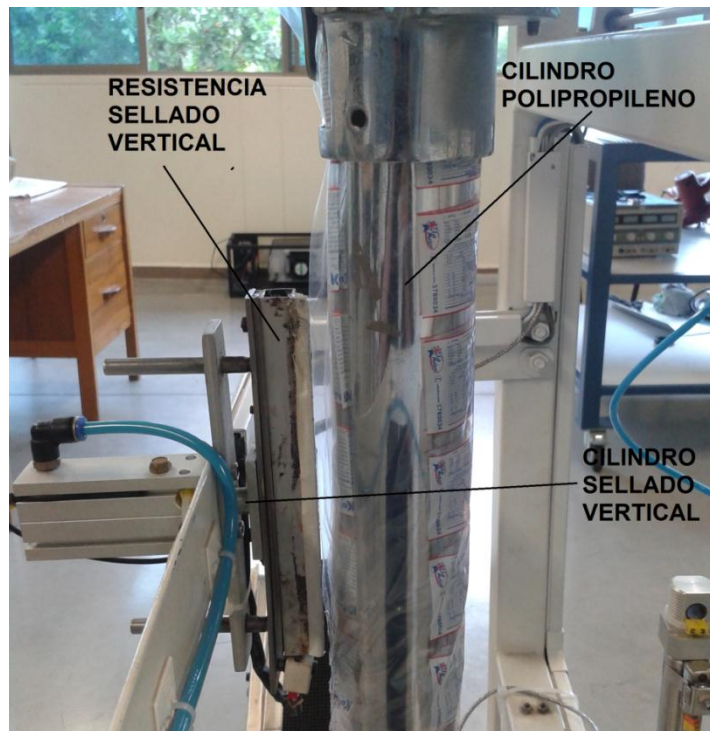


Figura 6: Sistema de empackado ⁶

⁶ Imagen tomada de: Proyecto de grado ingenieras Jessica Ariza y Katherine González

3.3 GABINETES DE CONTROL DEL PROTOTIPO

3.3.1 GABINETE DE CONTROL CENTRAL

Es el gabinete donde residen los elementos de control, protección y acondicionamiento de señal de la aplicación implementada.

En él se encuentra el PLC, los módulos análogos y digitales que mediante entradas y salidas permiten llevar a cabo las etapas de proceso para la selección de color, empackado de piezas, control de temperatura y ajuste de la velocidad del sistema de bandas mediante un variador de frecuencia asociado, entre otros.

Más adelante, en la figura 18 se muestra un contraste donde se evidencian los cambios realizados al gabinete de control central.

Consta de los componentes de la tabla 1 asociados a la figura 7:

ELEMENTO	REFERENCIA	FUNCIÓN
PLC s7-300 (2)	315-2FJ14-0AB0	Unidad central
Fuente 24Vdc (1)	307-1EA01-0AA0	Alimentar PLC
Entradas y salidas digitales (3)	323-1BL00-0AA0	Manejo entradas y salidas del proceso
Entradas y salidas analógicas (3)	334-0CE01-0AA0	
Módulo analógico (3)	331-7KF02-0AB0	Lectura color y temperatura
Módulo encoder (3)	350-1AH03-0AEO	Lectura realimentación de velocidad
Elementos protección (5)	Fusibles	Proteger elementos antes subidas de tensión, temperatura y corriente
	Guarda motores	
	Breakers	
Switch (4)	208-0BA10-2AA3	Permite comunicación Ethernet
Acondicionamiento de señal (6)	Relés electromecánicos	Permiten operación de válvulas y cilindros
Variador frecuencia (7)	Danfoss FC301	Alimenta el motor del sistema de bandas
Etapas potencia (8)	Líneas alta tensión	Alimentan fuentes de 24Vdc, motores y variador

Tabla 1: Señales del Gabinete Control Central ⁷

⁷ Tabla tomada de: Plano eléctrico y cableado realizado

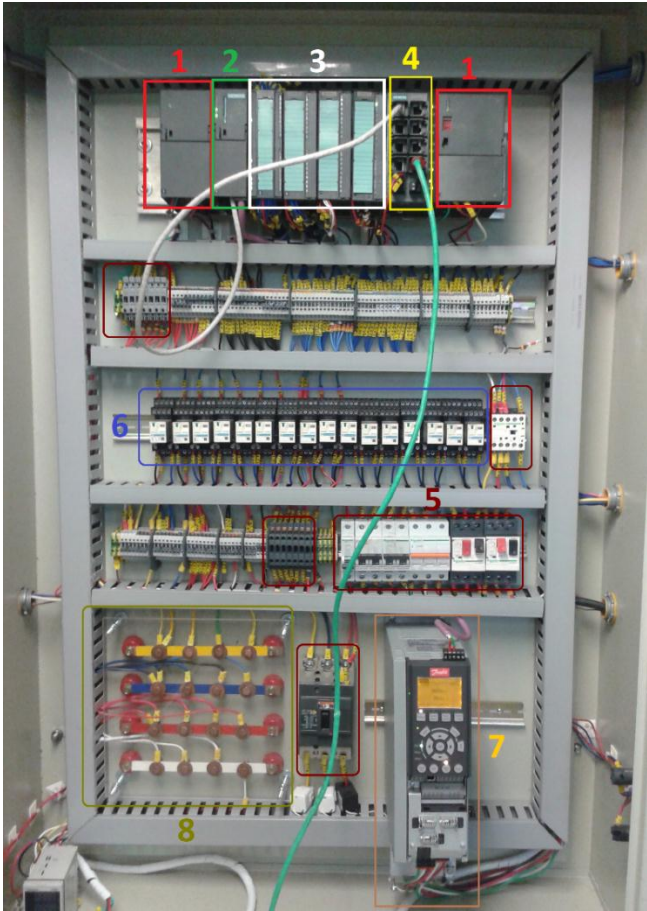


Figura 7: Gabinete Control Central ⁸

3.3.2 GABINETE EMPACADORA 1

Es una extensión del gabinete de control central donde se reciben las señales de control que permiten ejecutar el empaqueo de las piezas por medio de las electroválvulas y sensores magnéticos asociados, resistencias de calentamiento y motor de salida de paquetes.

Se encontraba cableado en su totalidad en la fase 2.

En la figura 6 y figura 32 se asocian al prototipo los elementos mostrados a continuación en la tabla 2:

TIPO SEÑAL	ELEMENTO	NOMENCLATURA	FUNCION
SALIDAS	Resistencia calentamiento 1	R1	Sellado vertical
	Resistencia calentamiento 2	R2	Sellado horizontal
	Electroválvula 1	EV1	Prensado Vertical
	Electroválvula 2	EV2	Prensado Horizontal
	Electroválvula 3	EV3	Cilindro Arriba
	Electroválvula 4	EV4	Cilindro Abajo
	Motor 2	M2	Salida de empaque

⁸ Imagen tomada de: Autor

ENTRADAS	Sensor magnético 1	SM1	Indicar estado de EV1
	Sensor magnético 3	SM3	Indica EV3 arriba
	Sensor magnético 4	SM4	Indica EV3 intermedio
	Sensor magnético 5	SM5	Indica EV3 abajo
	Sensor magnético 6	SM6	Indica EV2 adentro
	Sensor magnético 7	SM7	Indica EV2 afuera
	Sensor magnético 33	SM33	Indica EV22 afuera

Tabla 2: Señales Gabinete Empacadora 1
 ⁹



Figura 8: Gabinete Empacadora 1
 ¹⁰

3.3.3 GABINETE EMPACADORA 2

Es el gabinete utilizado exclusivamente para las mejoras al prototipo, las cuales se dan al asociar el prototipo de Empacadora con el Sistema Cartesiano. Contiene los elementos de conexión para el sensor de color, sensores fotoeléctricos tipo barrera para detección de piezas, señal de encoder como realimentación para la velocidad y motor encargado del movimiento del sistema de bandas.

En la tabla 3 se muestran a detalle las señales adicionadas a la fase 3. En la figura 32 se puede evidenciar el lugar de instalación de los elementos antes mencionados.

⁹ Tabla tomada de: Autor
¹⁰ Imagen tomada de: Autor

ELEMENTO	NOMENCLATURA	FUNCIÓN
Sensor color	SCX	Detección rangos analógicos para cada color de la producción.
	SCY	
	SCZ	
Sensores tipo barrera	SR1	Garantizar lectura de color, conteo y rechazo de piezas.
	SR2	
	SR3	
	SR4	
Encoder	EX	Realimentación para el control de velocidad del sistema de bandas.
	EY	
	EZ	
Electroválvula 11	EV11	Rechazo tipo 1
Electroválvula 22	EV22	Rechazo tipo 2
Electroválvula 33	EV33	Libera pieza
Sensor magnético 11	SM11	Indica EV11 afuera
Sensor magnético 22	SM22	Indica EV33 adentro

Tabla 3: Señales Gabinete Empacadora 2
 ¹¹

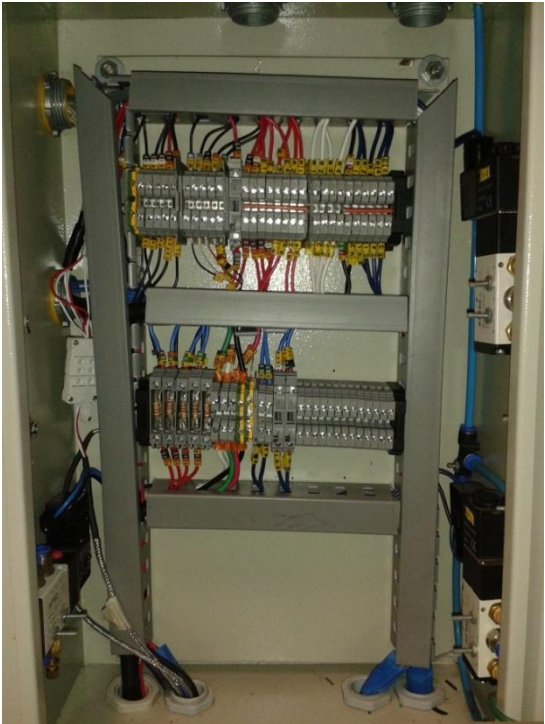


Figura 9: Gabinete Empacadora 2
 ¹²

¹¹ Tabla tomada de: Autor

¹² Imagen tomada de: Autor

3.4 SOFTWARE

Para la implementación de las tareas de automatización mediante el PLC S7-300, la familia Siemens ofrece el software Administrador de SIMATIC STEP7, el cual permite la configuración y programación de la CPU, módulos anexos y pantalla táctil.

3.4.1 STEP7

Es la base para el desarrollo de cualquier aplicación práctica con un PLC Siemens. Dentro de sus principales características se pueden encontrar:

A. HARDWARE DE COMUNICACIÓN

Permite la configuración del hardware mediante comunicaciones Profinet y Profibus para establecer enlace entre los distintos tipos de CPU y módulos compatibles a utilizar en un proceso.

B. LENGUAJES DE PROGRAMACIÓN

Los lenguajes empleados en la programación de los PLC son distintos y variados. La herramienta Step7 permite realizar la programación mediante los lenguajes:

- AWL (Lista de instrucciones)

Permite crear programas de control introduciendo la nemotécnica de las operaciones. Por lo general, el editor AWL se adecua especialmente para los programadores expertos ya familiarizados con los sistemas de automatización y con la programación lógica ya que permite realizar programas únicos en su especie debido a que es el lenguaje nativo de CPU.

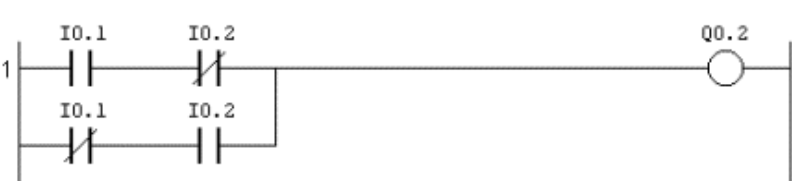
LADDER	AWL
	000: L I0.1 001: AN I0.2 002: LN I0.1 003: A I0.2 004: O 005: = Q0.2
	000: L I0.1 001: XO I0.2 002: = Q0.2

Figura 10: Ejemplo programación AWL ¹³

¹³ Imagen tomada de: <http://www.automare.com/spanish/support/samples/ps3/sample05.htm>

- KOP (Esquema de contactos). Editor LD (Diagrama de escalera)

Permite crear programas con componentes similares a los elementos de un esquema de circuito eléctrico. El principio de funcionamiento se basa en hacer que la CPU emule la circulación de corriente eléctrica desde una fuente de alimentación a través de una serie de condiciones lógicas de entrada que, a su vez, habilitan condiciones lógicas de salida.

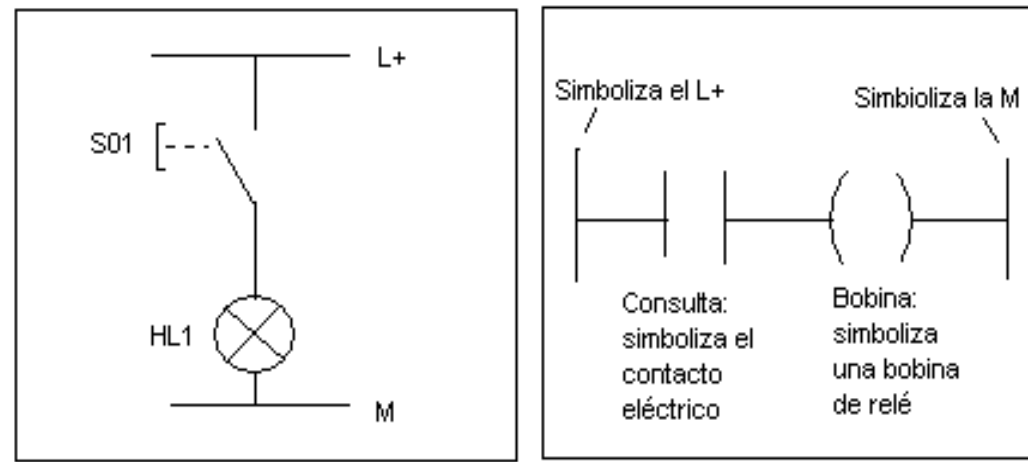


Figura 11: Ejemplo programación KOP ¹⁴

- FUP (Diagrama de funciones). Editor FBD (Diagrama de bloques funcionales)

Permite visualizar las operaciones en forma de cuadros lógicos similares a los circuitos de puertas lógicas. En FUP no existen contactos ni bobinas como en el editor KOP, pero sí hay operaciones equivalentes que se representan en forma de cuadros. La lógica del programa se deriva de las conexiones entre dichas operaciones de cuadro.

¹⁴ Imagen tomada de: <http://www.isa.uniovi.es/~vsuarez/ii/CursoOnline/4aconsultas%20y%20bobinas.htm>

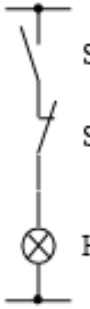
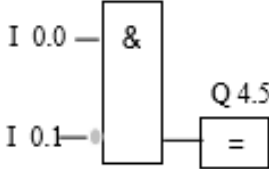
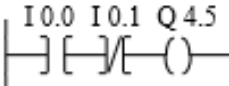
Esquema Eléctrico	STL/AWL	FBD/FUP	LAD/KOP
	<pre> A I 0.0 AN I 0.1 = Q 4.5 </pre>		

Figura 12: Ejemplo programación FUP ¹⁵

C. MANEJO DE VARIABLES EN TIEMPO REAL

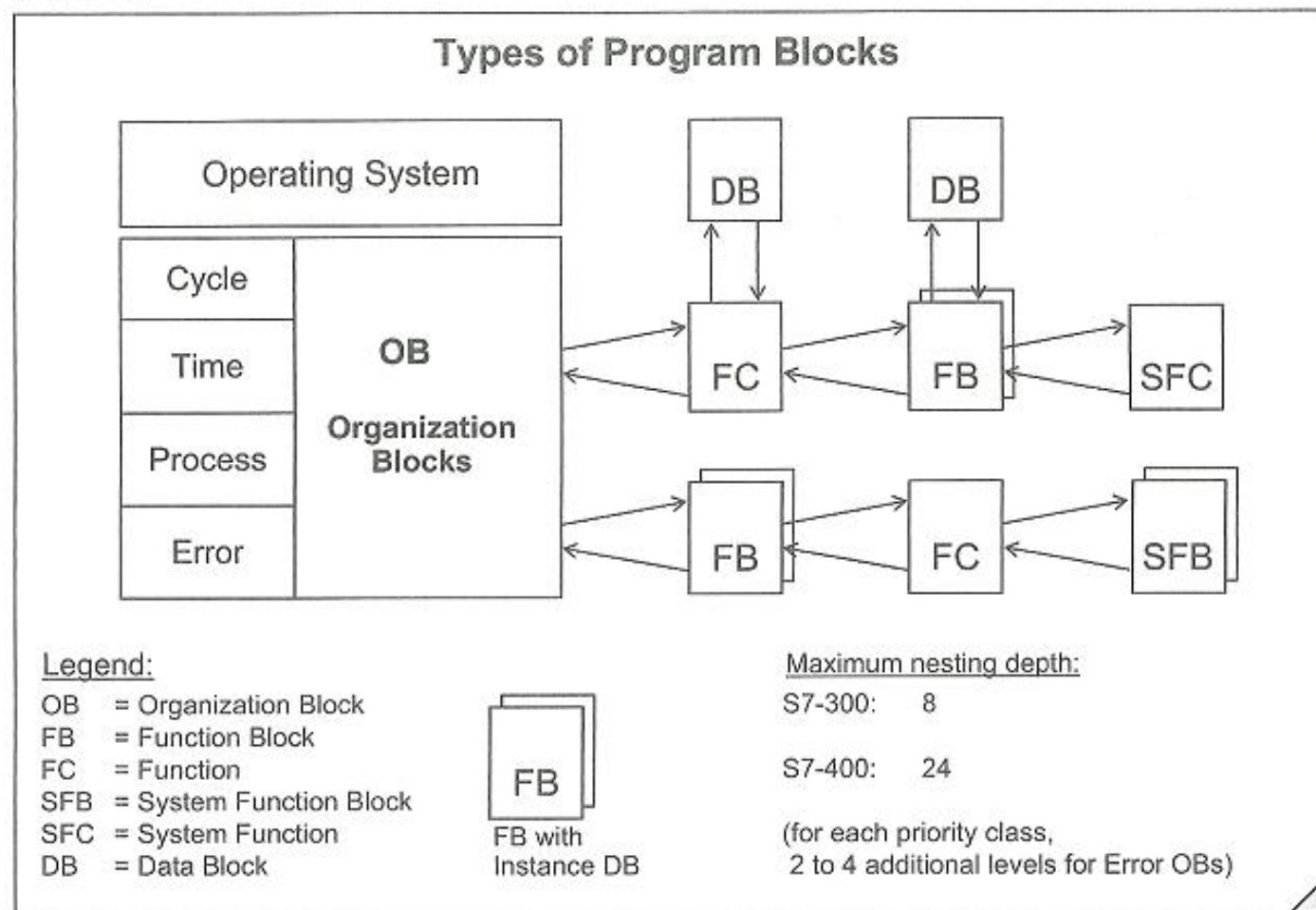
Es posible visualizar en tiempo real el comportamiento de cualquier instrucción dentro del programa utilizado. La supervisión se puede dar ya sea estableciendo conexión online con el autómata, o mediante PLCSIM que permite cargar el programa en una CPU virtual la cual actúa como el PLC.

De las dos maneras es posible observar y forzar las variables de entrada, salida y marcas de memoria utilizadas.

D. BLOQUES DE PROGRAMACIÓN

El controlador lógico programable provee varios tipos de bloques en los cuales el programa y datos relacionados pueden ser almacenados. Dependiendo de los requerimientos del proceso, el programa se puede estructurar en diferentes bloques (ver figura 13):

¹⁵ Imagen tomada de: <http://programacionsiemens.com/step-7-awl-fup-kop-cual-elijo/>



SIMATIC S7

Siemens AG 2008. All rights reserved.

Date: 18.09.2009
File: PRO1_08E.3
 SITRAIN Training for
Automation and Industrial Solutions
Figura 13: Bloques de datos y manera de realizar su llamado ¹⁶

- Bloque de organización (OB)

El bloque OB forma la interfaz entre el sistema operativo y el programa de usuario. El programa entero puede ser almacenado en el bloque OB1 (bloque principal) que es llamado ciclicamente por el sistema operativo (programación lineal), o el programa puede ser dividido y almacenado en varios bloques (programación estructurada).

- Funciones (FC, SFC)

Una función FC contiene funcionalidad parcial en el programa. Se utilizan principalmente para ejecutar acciones reiterativas y complejas como cálculos, los cuales deben ser llevados a cabo en instancias específicas dentro del proceso.

¹⁶ Imagen tomada de: SITRAIN, programa de capacitación y formación profesional del sector electro-electrónico.

Las funciones del sistema (SFC) son funciones con parametros asignables integrados al sistema operativo de la CPU. Para ambos, sus numeros, nombres y funcionabilidad estan fijados.

- Bloques de datos (DB)

Los bloques de datos (DB) son areas de datos del programa de usuario en el que los datos del usuario son gestionados en una manera estructurada.

- Bloques de funciones (FB, SFB)

Básicamente, los bloques de funciones (FB) ofrecen lo mismo que los FC, pero adicionan la posibilidad de tener sus propias areas de memoria para almacenamiento en los DB.

Los bloques de funciones de sistema (SFC) son funciones con parámetros asignables integrados al sistema operativo de la CPU.

Para ambos, sus numeros, nombres y funcionabilidad estan fijados.

3.4.2 WINCC FLEXIBLE

WinCC Flexible es el software que permite el desarrollo de la interfaz grafica, la cual se encuentra sincronizada con la programacion desarrollada en el programa de STEP7. Dentro de sus caracteristicas estan la configuración de paneles de operador al contar con librerías que contienen objetos pre programados, bloques gráficos y herramientas inteligentes para la creación de una interfaz humano maquina (HMI) por medio de sinópticos del sistema.

Como forma complementaria para la ejecucion de la aplicación desarrollada se utiliza el software WinCC Flexible Runtime quien se encarga del enlace en tiempo real ejecutando la aplicación mediante comunicación Profinet utilizando un switch que intercomunica a través de las direcciones IP.

En las figuras 14 y 15 se puede evidenciar la diferencia entre el software de desarrollo y ejecución.

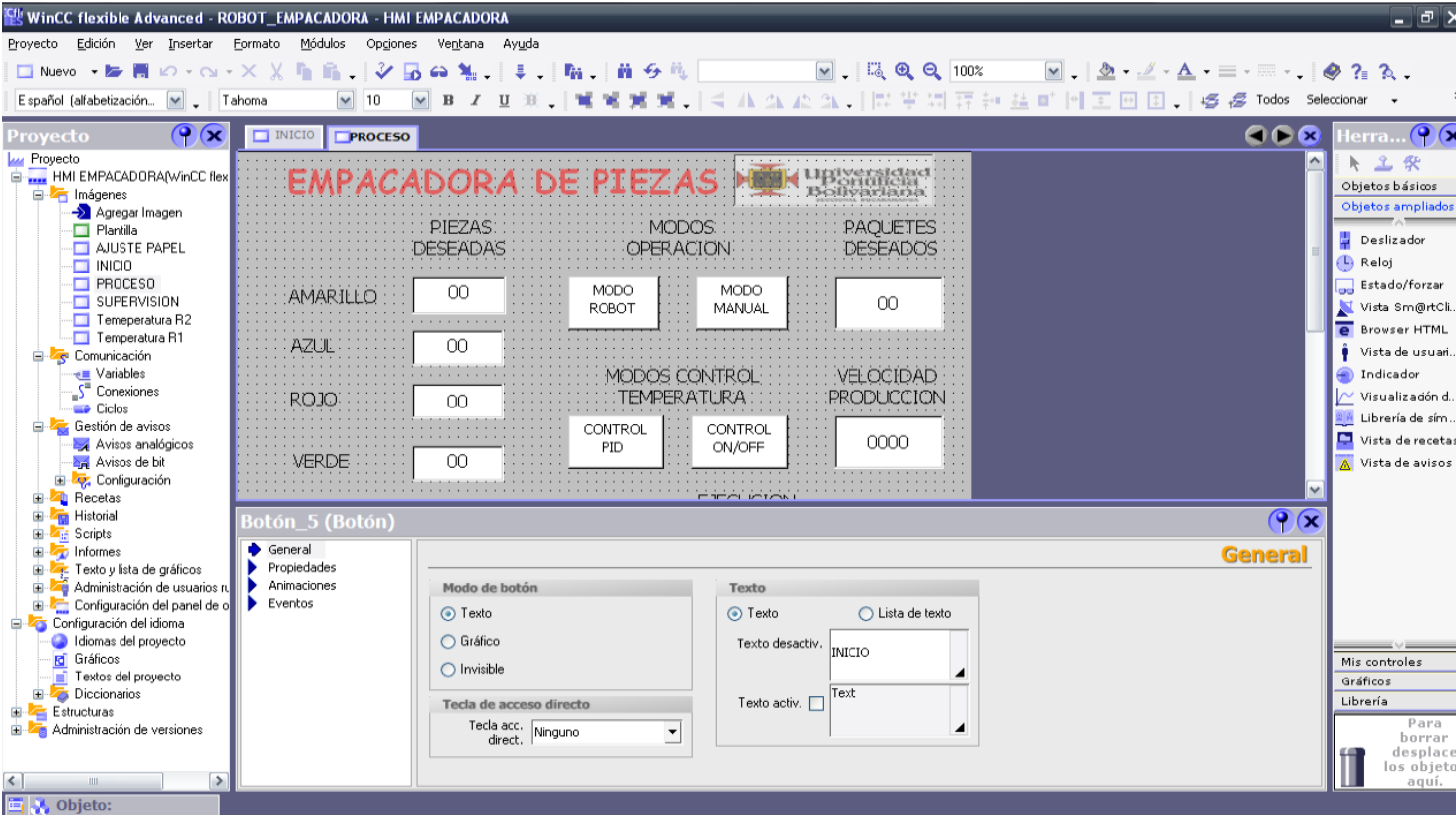


Figura 14: Wincc Flexible ¹⁷



Figura 15: Wincc Flexible Runtime¹⁸

¹⁷ Imagen tomada de: Autor

3.5 COMUNICACIONES

3.5.1 PROFINET

Actualmente los sistemas de control distribuido son implementados en plantas de producción donde se realiza automatización de procesos con un mismo sistema al tiempo, optimizando los recursos y mejorando la calidad de los resultados. Este tipo de sistemas permiten tener la información detallada de cada proceso que se esté desarrollando.

El enlace PROFINET es el estándar Ethernet abierto que cumple la especificación IEC 61158 para la automatización industrial. Permite conectar equipos desde el nivel del campo (PLCs y otros dispositivos) hasta el nivel de gestión (sistemas informáticos e internet).

En la figura 16 se muestran las posibles conexiones para dispositivos Siemens y módulos de otras familias.

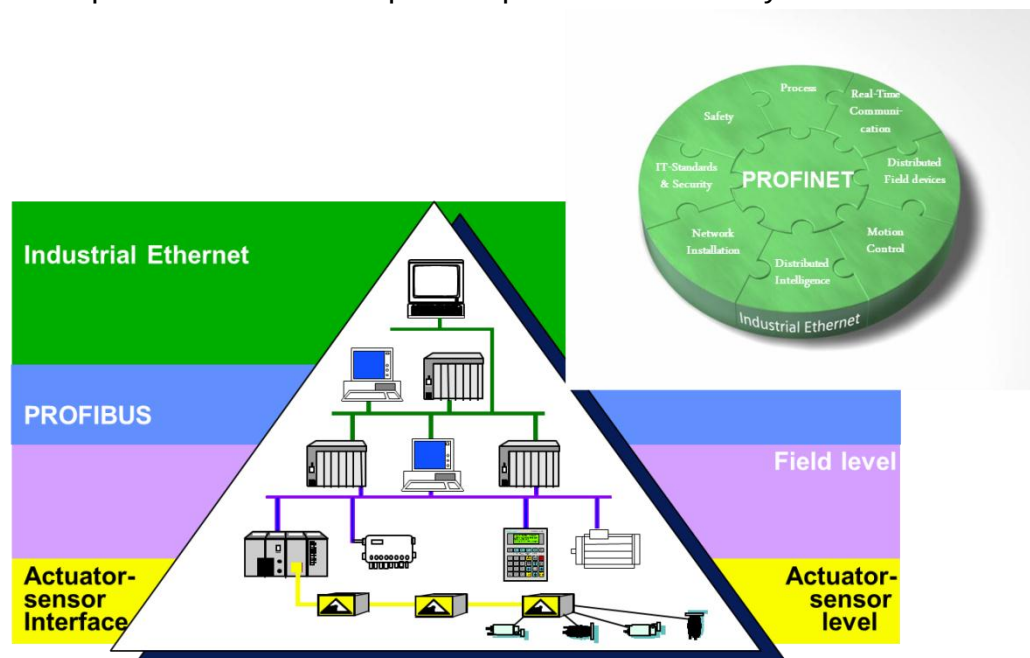


Figura 16: Topología Profinet manejada por Siemens¹⁹

3.5.2 PROFIBUS

El enlace PROFIBUS DP es la solución de alta velocidad de PROFIBUS. Su desarrollo fue perfeccionado principalmente para comunicación entre los sistemas de automatización y los equipos descentralizados. Es aplicable en los sistemas de control, donde se destaca el acceso a los dispositivos distribuidos de I/O.

Es utilizado en sustitución a los sistemas convencionales 4 a 20 mA, HART o en transmisiones de 23 Volts, en medio físico RS-485 o fibra óptica.²⁰

¹⁸ Imagen tomada de: Autor

¹⁹ Imagen tomada de: SITRAIN, programa de capacitación y formación profesional del sector electro-electrónico.

²⁰ Texto tomado de: <http://www.smar.com/espanol/profibus.asp>.

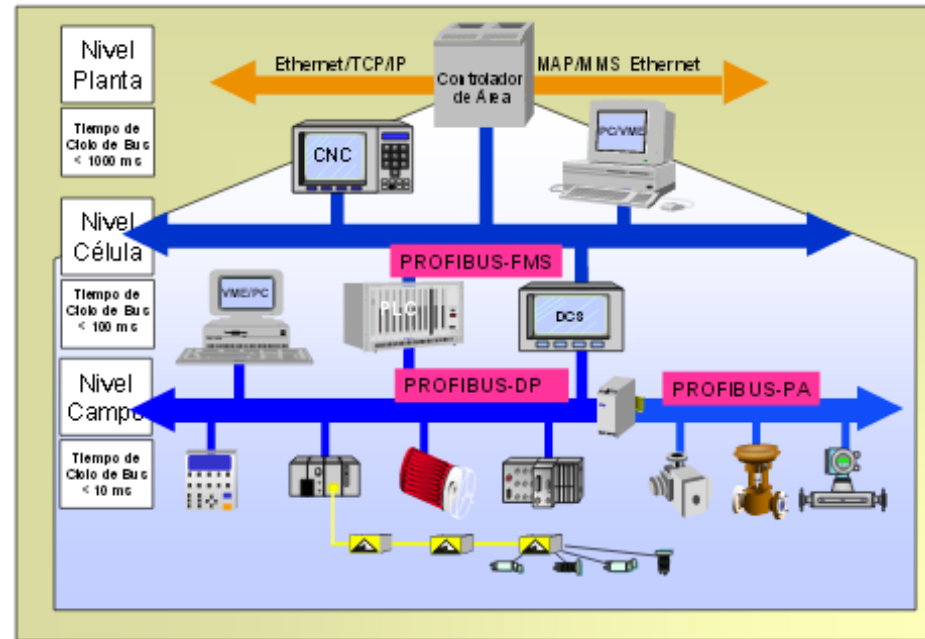


Figura 17: Topología Profibus Industrial ²¹

3.6 NORMAS TÉCNICAS

Una norma técnica es un documento aprobado por un organismo reconocido que establece especificaciones técnicas basadas en los resultados de la experiencia y del desarrollo tecnológico, las cuales se deben aplicar a determinados productos, procesos o servicios. Se identifican por unas siglas, un número y la fecha de publicación.

Para el desarrollo del proyecto se siguieron las siguientes normas técnicas:

- NTC 2050
- RETIE
- ANSI/ISA

3.7 ESTADO DEL ARTE

Como antecedentes al prototipo de empacadora la Universidad Pontificia Bolivariana seccional Bucaramanga ha desarrollado diferentes etapas trabajadas en proyectos de grado con el fin de la obtención del título profesional. Dichas etapas fueron trabajadas por:

- Brayan Elihu Rey
Programación de un robot cartesiano tipo Pórtico

²¹ Imagen tomada de: http://isa.uniovi.es/docencia/ra_marina/cuatrim2/Temas/11%20-%20PROFInet.pdf

Este trabajo de grado fue desarrollado por un estudiante de la facultad de ingeniería mecánica. Su utilidad para el presente proyecto es la posibilidad de desarrollar el modo de operación automático en donde el sistema cartesiano surte de piezas a la empacadora.

- Jessica Ariza – Katherine González
Implementación del sistema de control distribuido de siemens en el laboratorio de automatización de la UPB, con una aplicación de proceso en el controlador central.
Este trabajo de grado fue desarrollado por estudiantes de ingeniería electrónica. Su utilidad para el presente proyecto radica en que diseñaron y cablearon el gabinete de control central junto al sistema de empacado de la bolsa plástica.
- Fabián Maldonado
Prototipo de una máquina empacadora de galletas.
Este trabajo de grado fue desarrollado por un estudiante de la facultad de ingeniería mecánica. Su utilidad para el presente proyecto fue el diseño e implementación de la estructura mecánica utilizada actualmente.

Inicialmente la empacadora se encontraba en la fase 2 la cual le permitía desarrollar el proceso de empacado de un determinado número de piezas el cual era modificable vía software.

En estos momentos después de la culminación de los objetivos de este proyecto es posible permitir al usuario elegir:

- Tipo de control de temperatura: PID u ON-OFF.
- Velocidad de producción variable en un rango.
- Modo operación manual o automático.
- Número de paquetes y colores de piezas por paquete.

A su vez el usuario puede evidenciar:

- Estado del proceso.
- Estado de velocidad
- Control del color de las piezas.

4. PROTOCOLO DE MONTAJE

4.1 GABINETES DE CONTROL

Inicialmente, se realizó una redistribución del gabinete de control central con el objeto de adicionar elementos necesarios a la aplicación. Se adicionaron los siguientes elementos:

- Variador de frecuencia para control de velocidad
- Modulo entradas analógicas para control electroválvulas a través de relés electromecánicos
- Módulo encoder de lectura rápida para tener lectura de velocidad
- Guarda motor para protección del motor que opera el sistema de bandas
- Fusibles para protección de alimentación a cada módulo del gabinete
- Interruptor tripolar para alimentación del variador de frecuencia

Como el gabinete de empacadora 2 no se encontraba en operación fue necesario llevar a cabo el cableado de las señales involucradas en la tabla 3 donde se destacan los sensores magnéticos, fotoeléctricos y señales para poner en operación las electro válvulas que accionan los cilindros que hacen parte del sistema de bandas.

Recordar que en la figura 9 se evidencian los cambios realizados en el gabinete de empacadora 2.

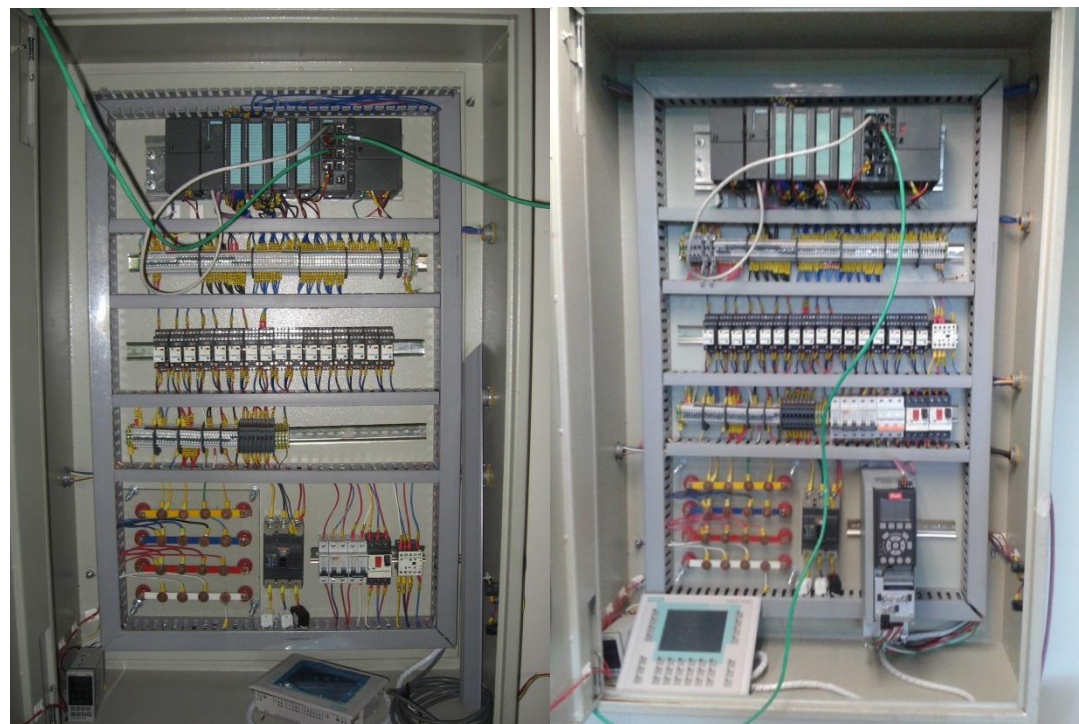


Figura 18: Contraste Gabinete Control Central. Antes a la izquierda, ahora a la derecha ²²

²² Imagen tomada de: Autor

4.2 INSTALACIÓN DE SISTEMA DE BANDAS

El sistema de bandas que interconecta la Empacadora con el Sistema Cartesiano se diseñó y construyó para el proyecto de la línea de producción con el Ing. Felipe Herrera y la empresa Bacorysund.

A su vez, la puesta en marcha de los dispositivos que constituyen este sistema fue realizada como parte de este proyecto.



Figura 19: Acople plano cartesiano y Empacadora ²³

4.3 INSTALACIÓN DE DISPOSITIVOS DE CONTROL E INSTRUMENTACIÓN

Para realizar la instalación de los dispositivos de control e instrumentación fue necesario considerar aspectos mecánicos, eléctricos e instrumentales ya que de no haberlos tenido en cuenta muy probablemente se habrían presentado fallas en la lectura y daño de los dispositivos proveedores de las señales de entrada al PLC. Se instalaron los siguientes elementos:

²³ Imagen tomada de: Autor

4.3.1 RESISTORES DE TEMPERATURA

Los sensores de temperatura instalados a las resistencias de calentamiento de la empacadora para el control del sellado requieren de un cable de instrumentación 22AWG y un conector estándar para Pt100 ya que evitan la aparición de ruido eléctrico que se daría al conectar en las bornes del gabinete.

Para la determinación del lugar idóneo en el cual la temperatura fuera lo más uniforme se contó con la colaboración del Ing Juan C Mantilla quien realizó un análisis termo gráfico de las resistencias.

El análisis termo gráfico confirmó la premisa de instalar los resistores de temperatura en el centro de masa de las láminas de calentamiento ya que se notó un flujo de energía calorífica con mayor concentración en esta zona.

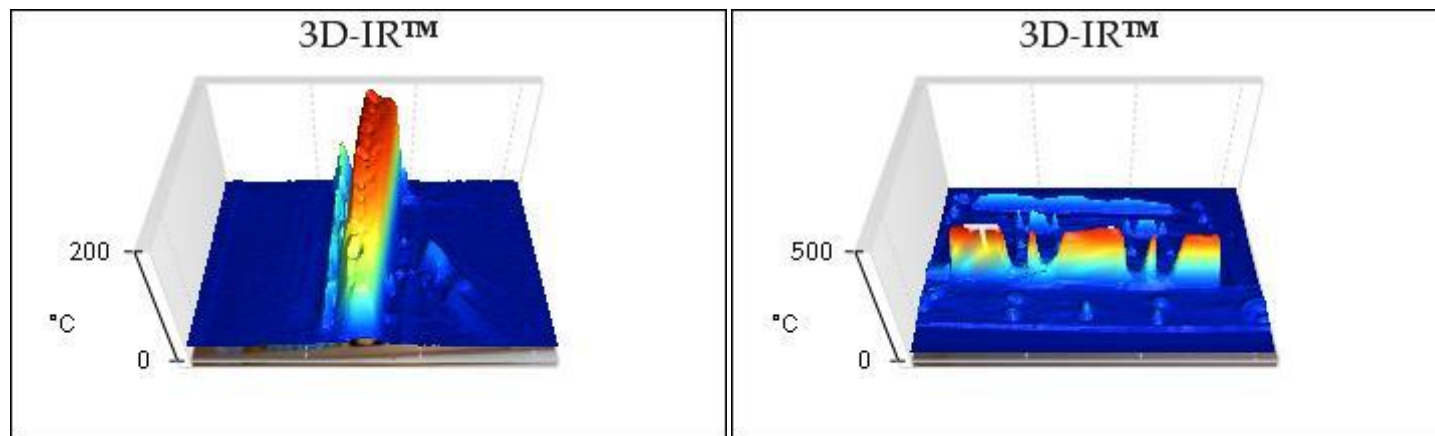


Figura 20: Distribución calorífica en las resistencias ²⁴

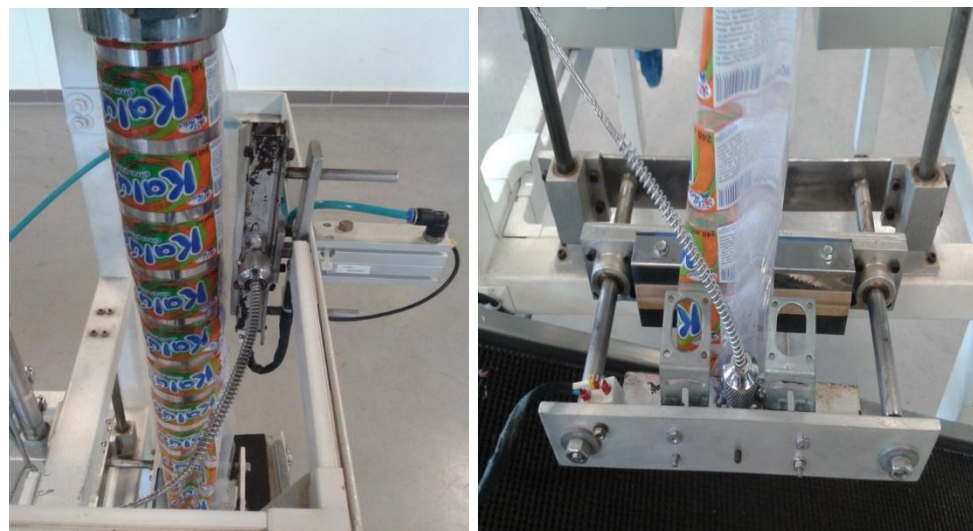


Figura 21: Instalación de sensores de temperatura en el prototipo ²⁵

²⁴ Imagen tomada de: Análisis termo gráfico para laboratorio de automatización. Ing. Juan C Mantilla

²⁵ Imagen tomada de: Autor

4.3.2 ENCODER

El encoder incremental de 24 Vdc fue instalado al sistema de bandas a través de un acople en el eje de rotación que permite eliminar el ruido eléctrico producido por inestabilidad con el medio de medición.
Para realizar el cableado al gabinete de control central se utilizó cable de instrumentación AWG20 con el fin de eliminar ruido eléctrico en las canaletas.

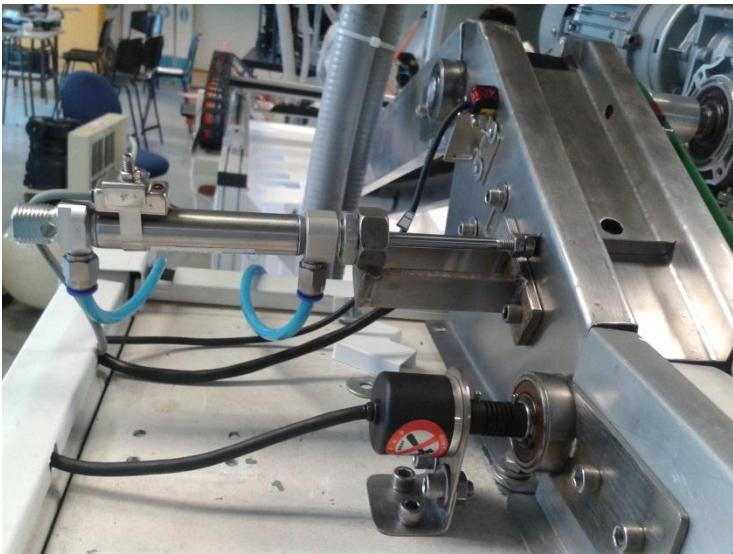


Figura 22: Encoder incremental Autonics acoplado al eje de rotación de la banda ²⁶

4.3.3 MÓDULO ENCODER FM 350-1

Como primera medida se debe tener en cuenta la posición del conector codificador el cual determina qué tipo de encoder se utilizará. En este caso como realimentación se contó con un encoder que maneja señales de 24V, razón por la cual se seleccionó la posición D. La posición seleccionada debe coincidir con el relieve del módulo como se observa en la figura 23.

Una vez seleccionado el tipo de señal se procede a ajustar la pestaña de fábrica que lo conecta con el modulo continuo del slot izquierdo para finalmente insertar el modulo en el rack (canal de apoyo).

POSICION CONECTOR CODIFICADOR	TIPO SEÑAL DE ENCODER
A	Señal diferencial 5 VDC
D	Señal 24 VDC

Tabla 4: Posición del conector codificador según tipo de encoder ²⁷

²⁶ Imagen tomada de: Autor

²⁷ Tabla tomada de: Autor

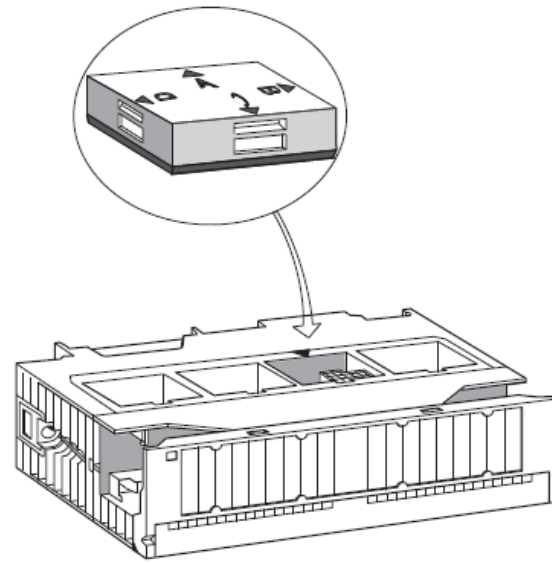


Figura 23: Ajuste conector codificador del FM 350-1 ²⁸



Figura 24: Instalación del FM 350-1 ²⁹

²⁸ Imagen tomada de: Manual Siemens

²⁹ Imagen tomada de: <http://preciod.com/mx/plc-siemens-s7-300-cpu-315-2dp-con-modulos-de-i-o-T2HDR.html>

4.3.4 SENSOR COLOR

El sensor de color fue instalado en el sistema de bandas de manera oculta (agujero) ya que para obtener lecturas constantes debe estar a una distancia fija (5mm) de la superficie del resbaladero de piezas y estar lo más inmune a los cambios lumínicos de la condición diaria.

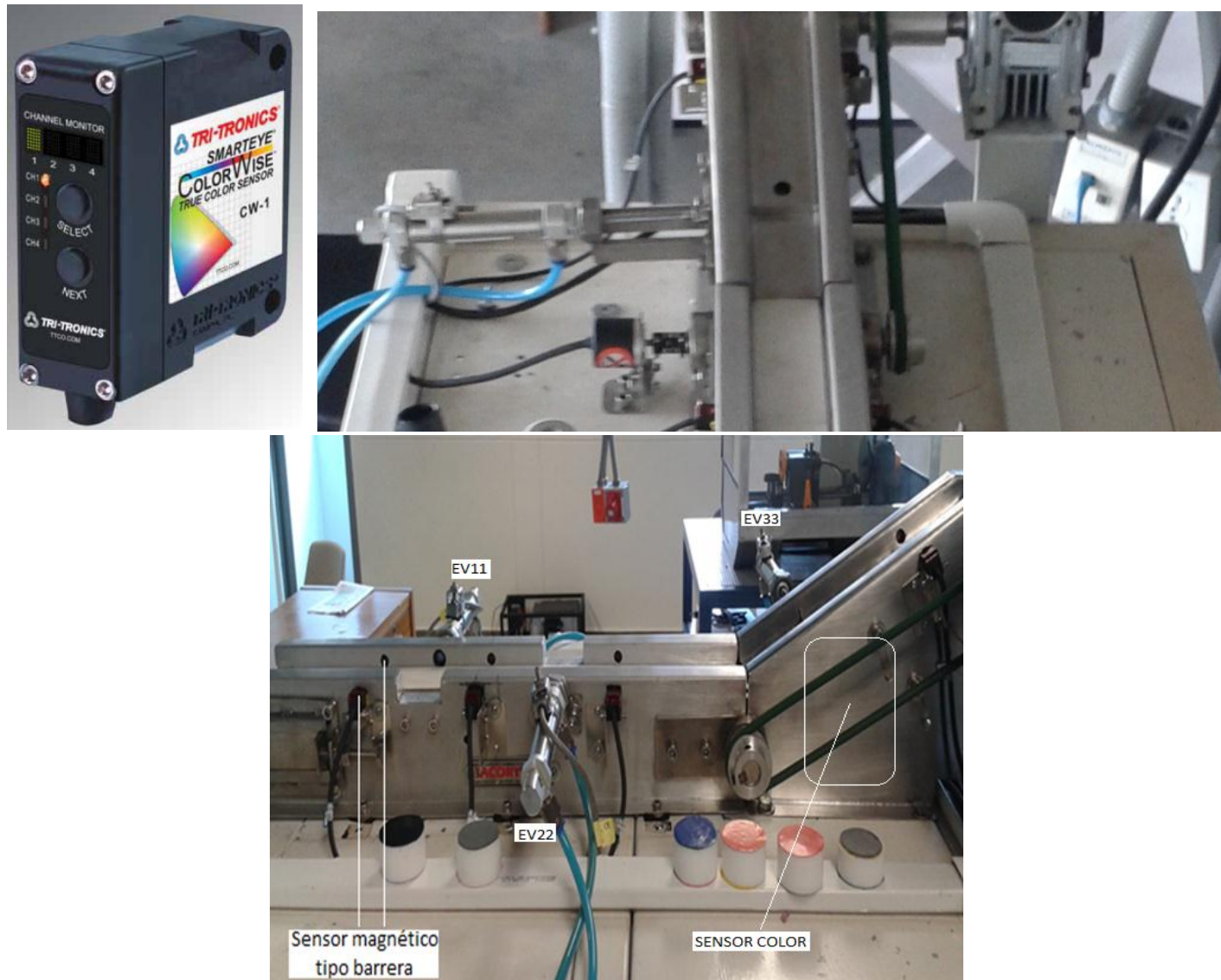


Figura 25: Instalación sensor de color ³⁰

4.3.5 VARIADOR DE FRECUENCIA

Se instaló el variador de frecuencia al gabinete de control central mediante 2 tornillos los cuales permiten el montaje y desmontaje gracias a las pestañas superiores mostradas en la figura 26.

³⁰ Imagen tomada de: Manual TRI-TRONICS, Autor

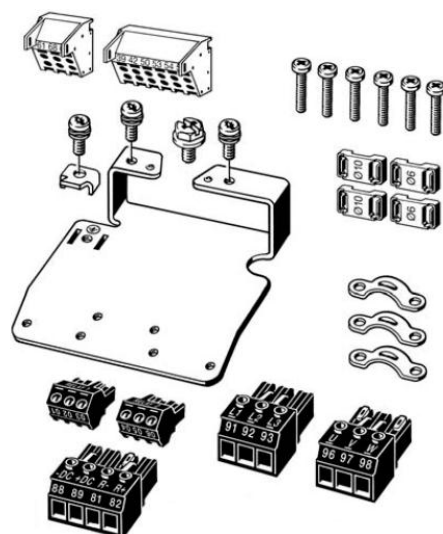


Figura 26: Accesorios del variador de frecuencia FC 300 ³¹

Antes de fijar por completo el variador fue necesaria la instalación de la tarjeta Profibus, la cual se realiza siguiendo el patrón de la figura 27.

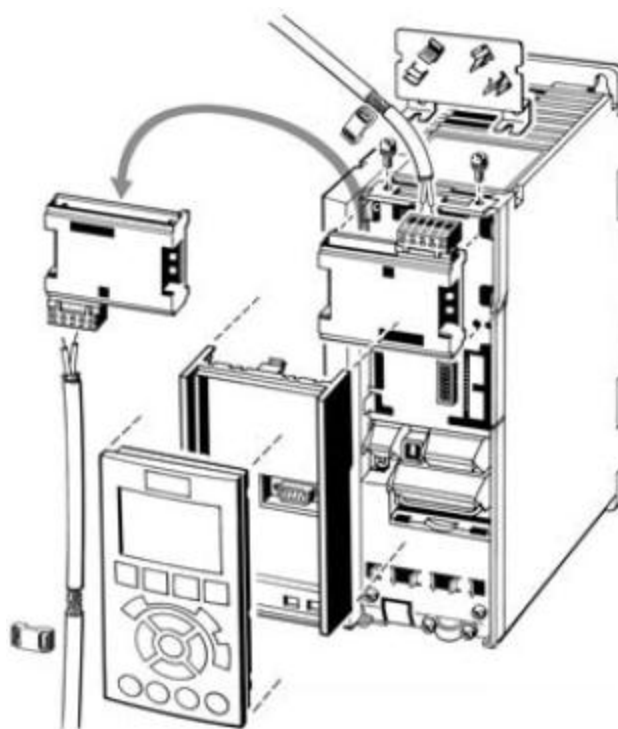


Figura 27: Instalación tarjeta Profibus en variador de frecuencia FC 300 ³²

Para establecer el enlace Profibus entre el PLC y el variador de frecuencia se utilizó cable Profibus de dos hilos utilizando para el PLC un conector y para el variador ajustándolos mediante bornes como se muestra en la figura 28.

³¹ Imagen tomada de: Manual Danfoss

³² Imagen tomada de: Manual Danfoss

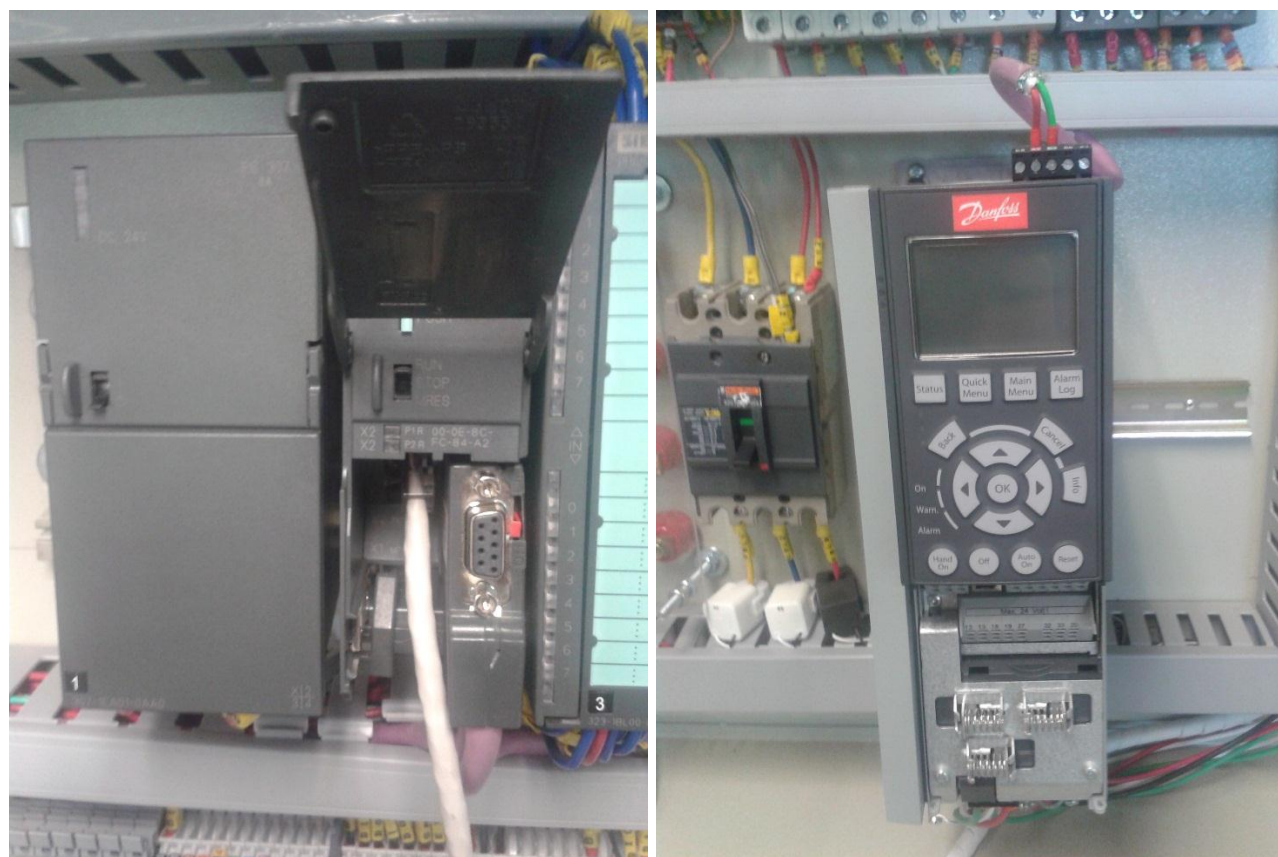


Figura 28: Acople físico Profibus s7-300 y Variador Danfoss ³³

4.3.6 SENSORES FOTOELÉCTRICO TIPO BARRERA

La instalación mecánica al sistema de bandas corrió por cuenta de la empresa mencionada con anterioridad. Para la instalación mecánica fue necesario alinear el transmisor con el receptor.

En la figura 25 se muestra la ubicación de los sensores magnéticos en el sistema de bandas.

4.4 PROTECCIONES, SISTEMA DE ACONDICIONAMIENTO Y CABLEADO

En el proceso de desarrollo de los objetivos planteados inicialmente se vio la necesidad de realizar la adición de nuevos dispositivos a la línea de producción, tales como:

- Variador de frecuencia aplicado a un motor trifásico.
- Módulo de lectura de encoder adaptado al eje de rotación del motor trifásico.
- Sensores fotoeléctricos tipo barrera para detección de piezas sobre la banda transportadora y sensor de color para confirmación de requisitos de empaque (número de piezas por color).

³³ Imagen tomada de: Imágenes google, en la red

- Detectores resistivos de temperatura aplicados a las resistencias encargadas tanto del sellado horizontal como el vertical.
- Electroválvulas rechaza piezas según color (EV11, EV22)

Se realizó el cableado del variador de frecuencia, motor trifásico, módulo encoder, encoder, sensor color, sensores fotoeléctricos y electroválvulas rechaza piezas teniendo en cuenta las siguientes consideraciones de ingeniería:

- Uso de bandeja superior para señales de potencia (corriente alterna) y señales de voltaje comprendido entre 0 y 24 voltios DC.
- Uso de bandeja inferior para señales de control sensibles a ruidos producidos por las ondas sinusoidales.
- Reorganización de cableado previo para una mejor distribución tanto del gabinete principal como de los gabinetes del prototipo de empacadora.
- Cable óptimo para cada tipo de señal: detallado en la tabla 5

ELEMENTO	CABLE
Rtd Pt 100	Cable instrumentación 22AWG ref 810700 3 109
Encoder	Cable instrumentación 20AWG ref 8lfp10 8 109
Motor Trifásico	Cable 12AWG aislamiento caucho
Variador de frecuencia	Cable 12AWG aislamiento caucho
Sensor de color	Cable instrumentación 20AWG ref 8lfp10 4 109
Sensores fotoeléctricos	Cable 16AWG
Electro-válvulas rechaza piezas	Cable 16AWG

Tabla 5: Cable adecuado para cada tipo de señal ³⁴

Además de los dispositivos mencionados anteriormente se cumplieron las normas de seguridad del laboratorio utilizando conectores a cada cable conectado en las bornes, canaletas, tuberías de 1 pulgada de diámetro con respectivos codos sujetos a bases hechas a la medida para lo cual fue necesario perforar los gabinetes involucrados. En la figura 9 se muestran las consideraciones antes descritas.

³⁴ Tabla tomada de: Autor



Figura 29: Cableado entre gabinete de control central (izq) y empacadora 2 (der) ³⁵

Para la protección y adaptación de señales involucradas en la mejora del prototipo de empacadora se utilizaron los siguientes componentes:

- Guarda motor.
- Contactor.
- Interruptor termo magnético tripolar.
- Fusibles.
- Modulo Conteo rápido FM 350-1.

El guarda motor, interruptor termo magnético, bornes porta fusibles y módulo de conteo rápido fueron instalados en el riel de conexión a tierra del gabinete de control central.

4.5 PRUEBAS

Una vez la empresa encargada de instalar las bandas y acoplarle el encoder, sensor de color, sensores magnéticos, fotoeléctricos y cilindros se realizó una prueba de los dispositivos antes mencionados mediante la lectura y activación según correspondía. Para la prueba de la banda se dejó encendida por un periodo de 48 horas tiempo en el cual se presentó un problema de alineación el cual se solucionó tiempo después.

³⁵ Imagen tomada de: Autor

4.6 NORMATIVA APLICADA

4.6.1 NTC 2050

Se utilizó la norma técnica colombiana del código eléctrico para la instalación de las señales involucradas entre el gabinete de control central y el gabinete de empacadora 2. Se siguieron requerimientos de seguridad, manejo de señales de tierra y protección de equipos.

4.6.2 RETIE

Se utilizó el reglamento técnico de instalaciones eléctricas, siguiendo los requerimientos generales para el diseño y productos utilizados en la instalación de nuevas señales al prototipo.

4.6.3 ANSI/ISA

- ANSI/ISA-S5.1-1984 (R1992) (Identificación y símbolos de instrumentación)
- ANSI/ISA-S5.2-1976 (R1992) (Diagramas lógicos binarios para operaciones de procesos)
- ISA-S5.3-1983 (Símbolos gráficos para control distribuido, sistemas lógicos y computarizados)
- ANSI/ISA-S5.4-1991 (Diagramas de lazo de instrumentación)
- ANSI/ISA-S5.5-1985 (Símbolos gráficos para visualización de procesos)

5. HARDWARE Y GABINETES

5.1 ESTRUCTURA MECÁNICA

El sistema de bandas permite la comunicación entre los prototipos Empacadora y Sistema Cartesiano lo cual surge de la necesidad de tener un proceso automático en el cual el sistema cartesiano surta de piezas a la empacadora y puedan estar en comunicación a través de un enlace Ethernet.

La banda es accionada por un motor trifásico de $\frac{1}{2}$ caballo de fuerza con relación reductora $i=20$. El motor es alimentado por un variador de frecuencia Danfoss el cual es controlado a través de la interfaz de usuario (HMI) gracias a la comunicación Profibus.



Figura 30: Estructura mecánica para enlace Empacadora y Sistema Cartesiano ³⁶

5.2 INSTRUMENTACIÓN

5.2.1 RESISTORES DE TEMPERATURA

Permiten la lectura de la RTD PT100. Obtiene una señal en ohmios la cual es leída por el módulo SM H331-7KF02-0AB0 y mediante programación es convertida en temperatura (Señal leída/10 = Temperatura en grados Celsius). Esta señal analógica se utiliza para realizar un control de temperatura de las resistencias de calentamiento.

5.2.2 ENCODER

La señal entregada por el encoder sirve como realimentación (Medidor) en el lazo cerrado de control de velocidad. Una vez el controlador obtiene la señal del encoder actúa para corregir el error de velocidad (variable a controlar).

³⁶ Imagen tomada de: Autor

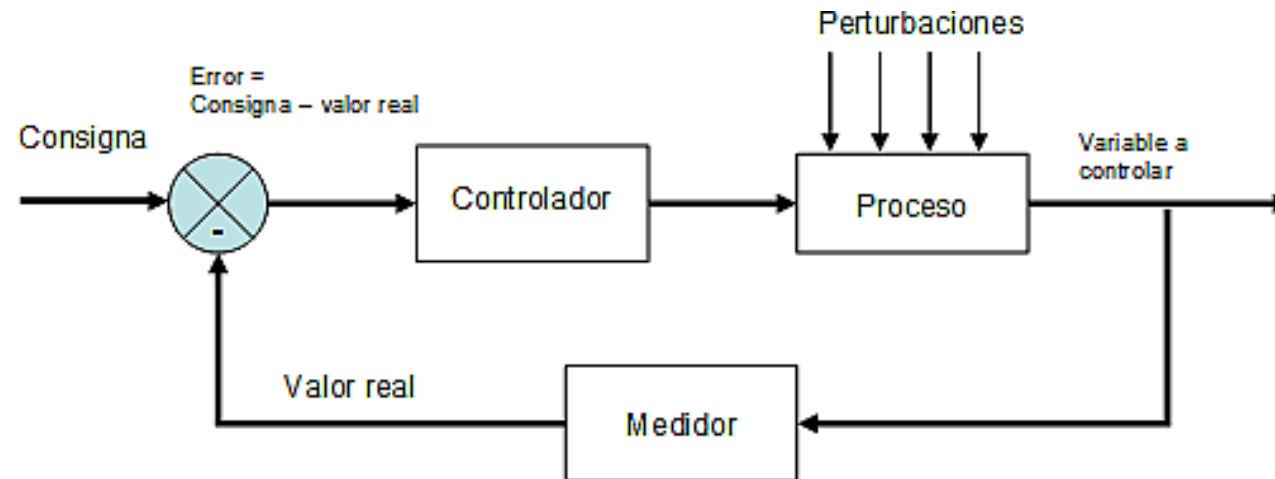


Figura 31: Sistema de control de lazo cerrado ³⁷

5.2.3 SENSOR COLOR

Maneja tres señales analógicas de 0-10Vdc las cuales son leídas por el módulo 331-7KF02-0AB0. Cada color es parametrizado según el rango que maneje en cada una de las tres señales. Maneja el principio de transmisión RGB.

5.2.4 SENSOR FOTOELÉCTRICO TIPO BARRERA

Su función es detectar la pieza para posterior lectura de color. Una vez leído el color funcionan como condicionales para los dos tipos de rechazo (tipo 1 y tipo 2) y conteo de piezas para el control del empaclado.

5.2.5 SENSOR MAGNETICO Y CILINDROS

El sensor magnético es el encargado de indicar la posición actual del cilindro, el cual es controlado por la electroválvula quien recibe una señal de control de 24Vdc por parte del PLC.

Dos cilindros se encargan de rechazar piezas no acordes a los requerimientos de color, el restante permite detener la pieza para realizar la lectura del color.

³⁷ Imagen tomada de: Imágenes de google (en la red)

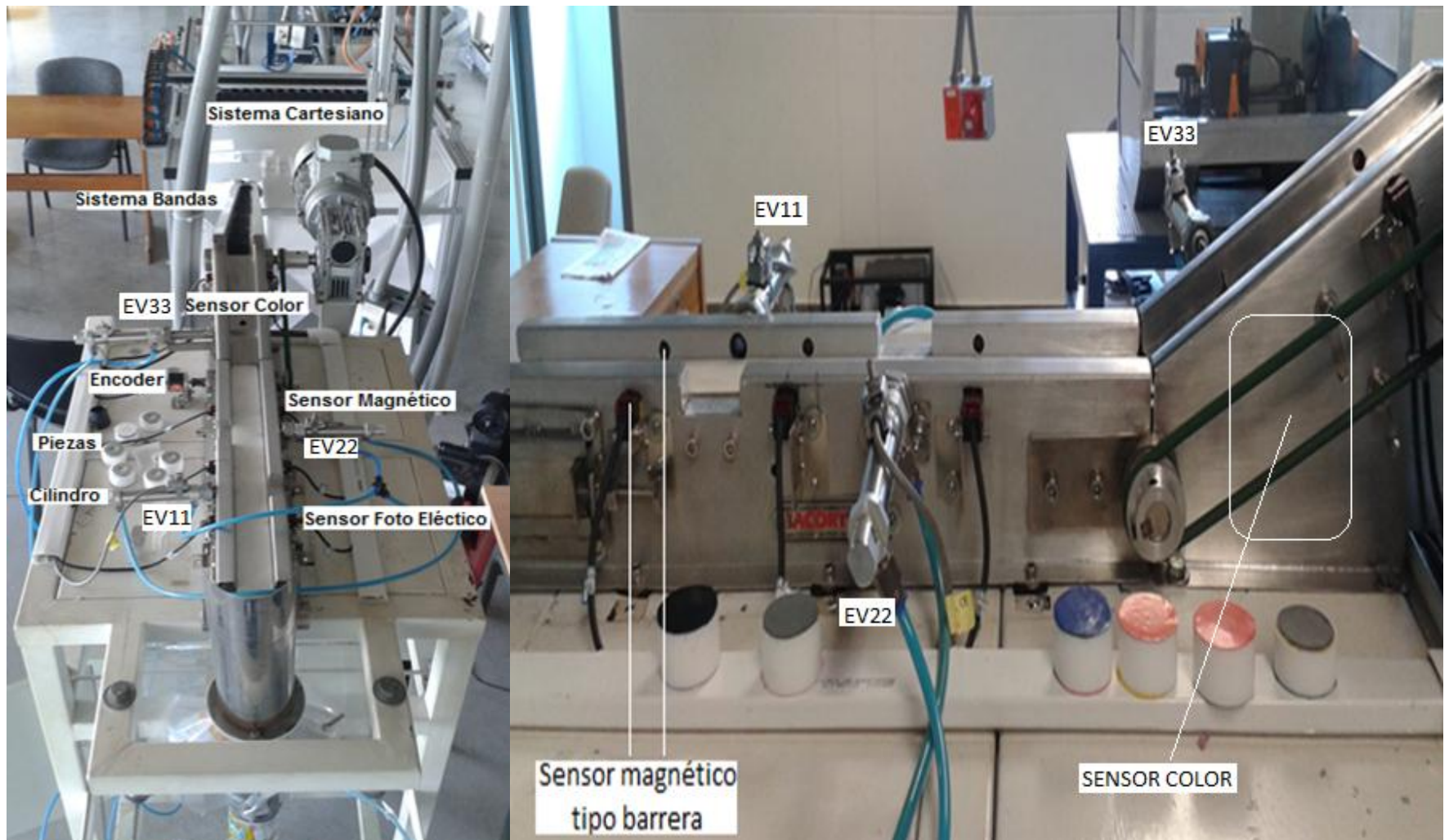


Figura 32: Etapa de control de piezas ³⁸

5.2.6 VARIADOR DE FRECUENCIA

El variador de frecuencia se encarga de recibir del PLC mediante comunicación Profibus el dato de la velocidad una vez que este ha sido procesado por el controlador PID de velocidad que trabaja con la señal del encoder y setpoint introducido por el usuario.

5.2.7 MÓDULO ENCODER FM 350-1

El módulo de encoder de lectura rápida permite obtener una señal de pulsos que mediante conversión (revisar capítulo 6) refleja la velocidad real del sistema de bandas, actuando como lazo de realimentación en el sistema de control de la figura 31.

La señal de realimentación provista por el encoder junto a la señal de velocidad deseada por el usuario son utilizadas por el control PID de velocidad el cual ajusta el parámetro del variador de frecuencia para que este entregue una velocidad constante y uniforme.

³⁸ Imagen tomada de: Autor

5.3 DISPOSITIVOS ACONDICIONAMIENTO Y PROTECCIÓN

Para la protección y adaptación de señales involucradas en la mejora del prototipo de empacadora se utilizaron los siguientes componentes:

- GUARDA MOTOR GV2ME07

Se utiliza para proteger el motor en el caso que se le exijan corrientes mayores al rango 1.6-2.5 amperios.



Figura 33: Guarda motor ³⁹

- INTERRUPTOR TERMO MAGNÉTICO TRIPOLAR DOMAE 17079

Se utiliza para proteger la entrada de alimentación del variador de frecuencia.



Figura 34: Interruptor Termo magnético tripolar ⁴⁰

³⁹ Imagen tomada de: Autor

⁴⁰ Imagen tomada de: Autor

- FUSIBLES

Se utilizan para proteger la alimentación de las fuentes, PLC, módulos anexos y electroválvulas ante tensiones fuera de rangos que generen corrientes muy elevadas hacia los elementos.

5.4 COMUNICACIONES

Para establecer una comunicación entre los prototipos de empacadora, sistema cartesiano y calle de selección con el fin de conformar la línea de producción es necesario establecer las siguientes comunicaciones:

- PROFIBUS

Establece el enlace entre el variador de frecuencia Danfoss y el PLC s7-300. Además es utilizado para permitir manipular las tarjetas de movimiento de los motores del sistema cartesiano, lo cual fue desarrollado por Brayan Elihu Rey en la programación de un robot cartesiano tipo Pórtico.

- PROFINET

Establece el enlace entre los PLC s7-300 de la empacadora y sistema cartesiano.

5.5 DISPOSITIVOS DE CONTROL

Siemens cuenta con la familia de controladores SIMATIC que propone numerosas funciones integradas, tales como potencia escalable para desarrollar cualquier requisito de aplicación. La gama comprende desde autómatas programables (PLCs), equipos completos compuestos de PLC y panel de operador, controladores basados en computadores (PC), hasta inteligencia distribuida.

La automatización del prototipo que se presenta en este proyecto, se realizó mediante un PLC de la familia SIMATIC S7, la cual se encarga mediante la adecuada programación, de manipular las señales análogas y digitales de entrada y salida para obtener una administración del proceso de empacado de galletas redondas, en dos presentaciones de tamaño.

Para el desarrollo del automatismo se utilizó:

- Módulo entradas y salidas digitales.
- Módulo entradas y salidas analógicas.
- Módulo entradas analógicas.
- Módulo conteo rápido

5.5.1 MÓDULO ENTRADAS ANALÓGICAS 6ES7331-7KF02-0AB0

Es un módulo ajustable al PLC S7-300 que permite recibir 4 tipos de señales independientes de acuerdo a la posición seleccionada, las cuales pueden ser:

- A: Señales menores a 1V DC, Resistores de temperatura.
- B: Tensión entre 2.5 y 10V DC.
- C: Corriente de 4 hilos.
- D: Corriente de 2 hilos.

La función del módulo dentro del proyecto es recibir las señales del sensor de color (Posición B utilizando canales 0,1 y 2,3) y las Pt 100 adaptadas a las resistencias de calentamiento (Posición A utilizando canales 4,5 y 6,7).

Para recibir tensión el módulo permite 2 entradas por cada par de canales.

Para recibir ohmios el modulo permite 1 entrada por cada par de canales.

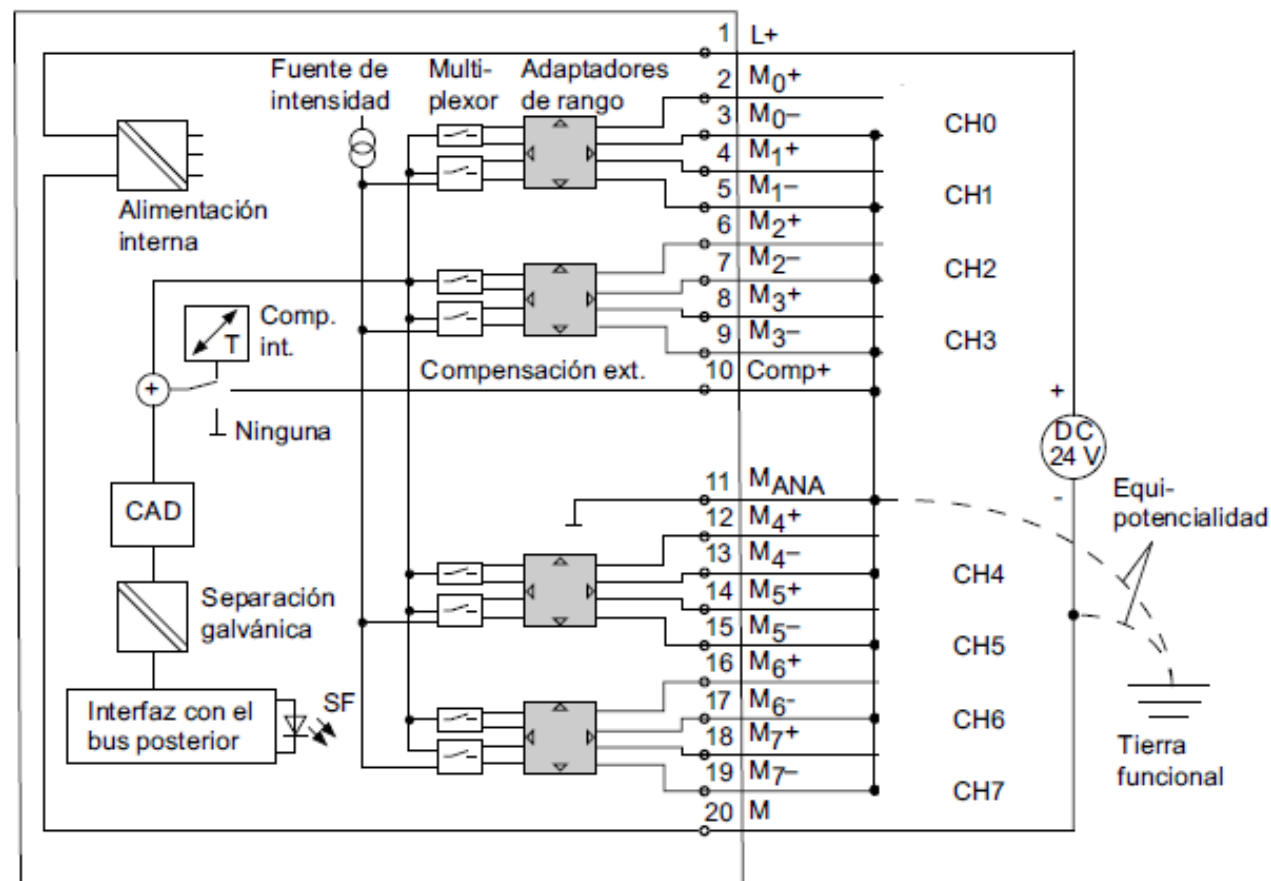


Figura 35: Módulo entradas analógicas ⁴¹

⁴¹ Imagen tomada de: support.automation.siemens.com/Búsqueda del modulo

5.5.2 MÓDULO CONTEO RÁPIDO 6ES7 350-1AH03-0AE0

El módulo de función FM 350-1 es un módulo de conteo rápido que se utiliza en el sistema de automatización S7-300. El módulo incorpora un contador que puede funcionar alternativamente en los siguientes rangos:

- 0 a +32 bits: 0 a 4 294 967 295 (0 a $2^{32} - 1$)
- -31 a +31 bits: -2 147 483 648 a + 2 147 483 647 (-2^{31} a $2^{31} - 1$)

La frecuencia máxima de entrada de las señales del contador es de hasta 500 kHz, en función de la señal de encoder.

El FM 350-1 se puede utilizar para las siguientes tareas:

- Contaje continuo
- Contaje único
- Contaje periódico
- Medición de frecuencia
- Medición de velocidad
- Medición del período

El conteo se puede iniciar y detener bien a través del programa de usuario (puerta software) o bien mediante señales externas (puerta hardware).

La función del módulo dentro del proyecto es leer la señal del encoder (realimentación) incremental para efectuar un control interno en el PLC, el cual variara los parámetros del variador de frecuencia para controlar la velocidad de la banda de ingreso de piezas al prototipo de empacadora de galletas.

6. PROGRAMACIÓN Y APLICACIÓN HMI

6.1 EXPLICACIÓN DE LA APLICACIÓN

La aplicación implementada permite ejecutar el empaqueo de piezas cilíndricas previamente clasificadas por color y material. El prototipo de empacadora realiza el empaqueo de acuerdo al parámetro de color, la calle de selección clasifica el material de las piezas, y el sistema cartesiano transporta las piezas de la calle de selección a la empacadora.

En caso de no cumplirse con los parámetros de color se tiene la posibilidad de efectuar rechazos de las piezas mediante cilindros accionados por electro válvulas. Dichos rechazos se dan tanto en modo manual como modo automático, se pueden clasificar según:

- **RECHAZO TIPO 1.**

Se da cuando el sensor de color identifica un color o intensidad de color no admitido en el proceso de calibración. El color es más opaco u oscuro al establecido en el proceso. Para efecto del proceso las piezas son separadas de la línea de producción.

- **RECHAZO TIPO 2.**

Se da al identificar una pieza si color (blanco) o en caso de recibir una pieza con color correcto pero sin cabida en el empaque debido a que se ha cumplido el número de piezas de ese color. Para efecto del proceso estas piezas serán reutilizadas al estar en buen estado.

En la figura 36 se muestra el diagrama de bloques del proceso explicando a partir de las condiciones que acciones se deben ejecutar.

6.2 COMUNICACIÓN LINEA DE PRODUCCIÓN

Para el ensamble de los prototipos de empacadora y sistema cartesiano se utilizaron comunicaciones Profibus y Profinet.

El sistema cartesiano opera como maestro, maneja la red Profibus(1) dentro de la cual se encuentran las tarjetas Festo que permiten el movimiento de los motores del sistema cartesiano y el módulo EM277 con el cual se comunica con el PLC s7-200 que opera el prototipo de la Calle de Selección.

La empacadora se encuentra comunicada con el maestro mediante Profinet actuando como esclavo, pero actúa como maestro en la comunicación Profibus(2) que establece con el variador de frecuencia.

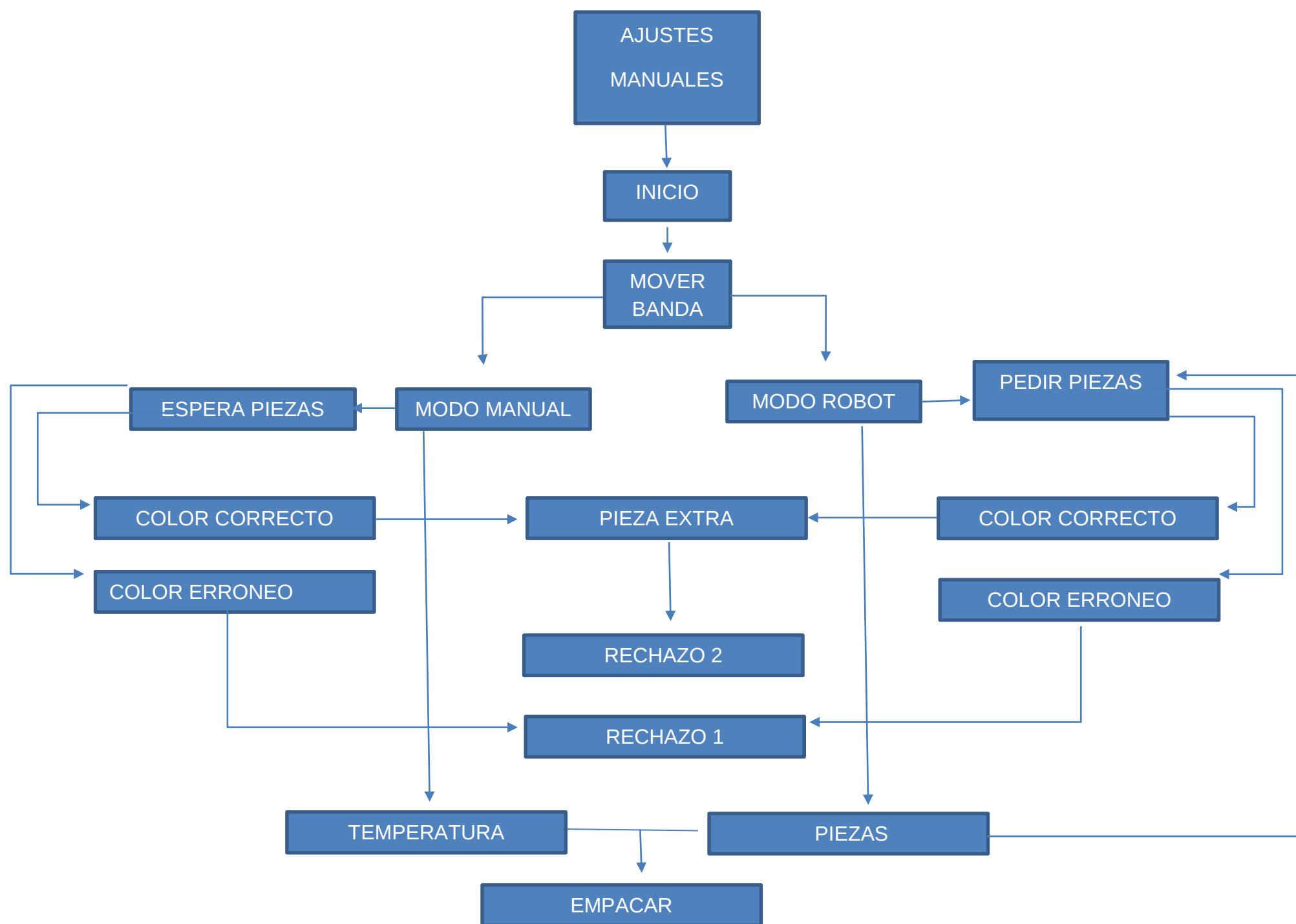


Figura 36: Diagrama de bloques del proceso ⁴²

⁴² Imagen tomada de: Fuente Autor

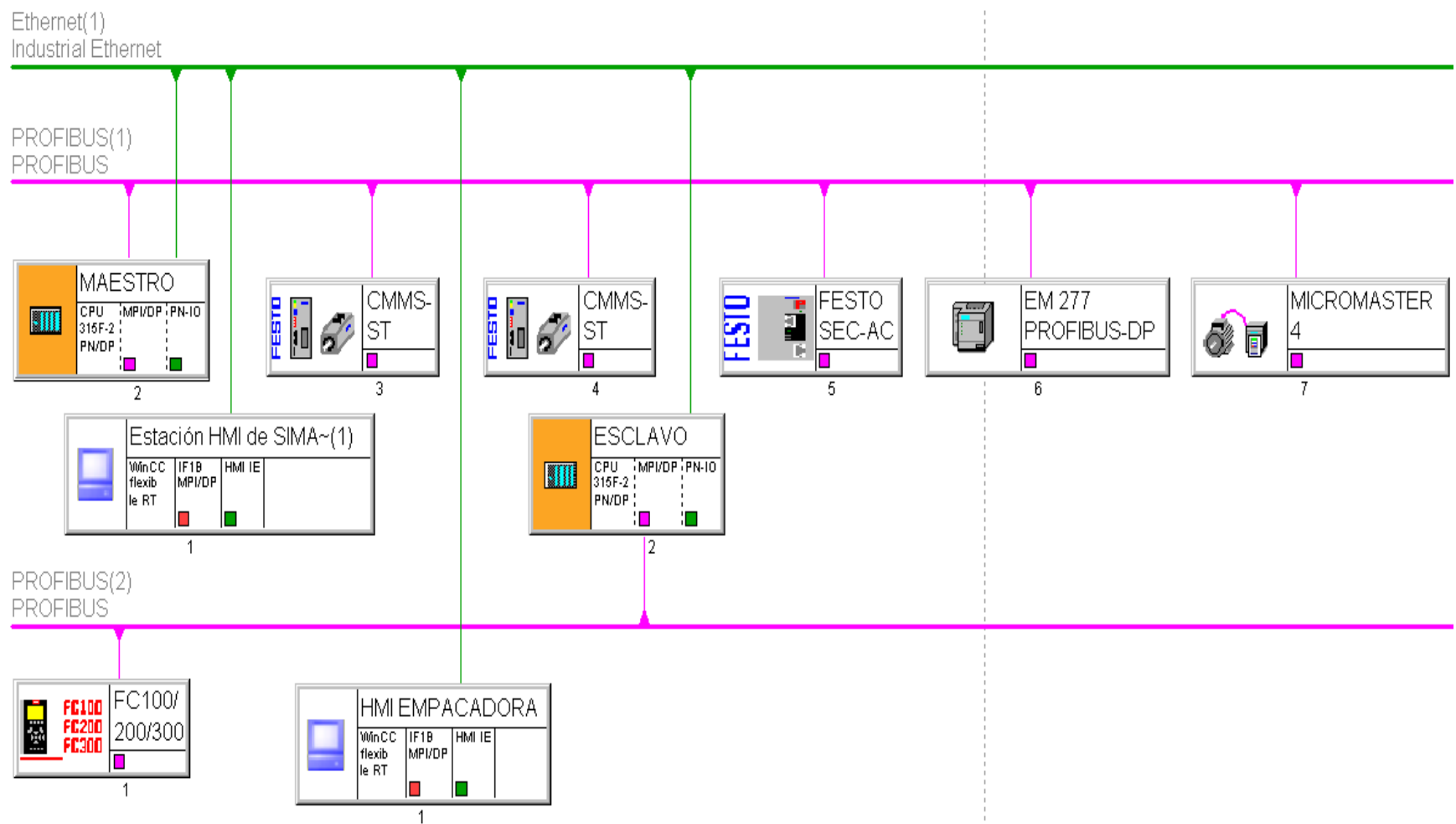


Figura 37: Hardware de comunicación Empacadora, Sistema Cartesiano y Calle de Selección ⁴³

La metodología para establecer la comunicación se encuentra detallada en el anexo B: Configuración siemens s7-300, archivo de Microsoft Word.

6.3 PROGRAMACIÓN STEP7

Dentro de los bloques permitidos en la programación por parte del Administrador de Simatic STEP7 se encuentra el bloque principal OB1 el cual es de ejecución continua y dada su prioridad es utilizado para realizar el llamado de rutinas auxiliares las cuales contienen partes del proceso.

En la figura 38 se puede evidenciar la comunicación de bloques utilizados en la programación que permiten el control del proceso.

⁴³ Imagen tomada de: Configuración del hardware proyecto Administrador Simatic

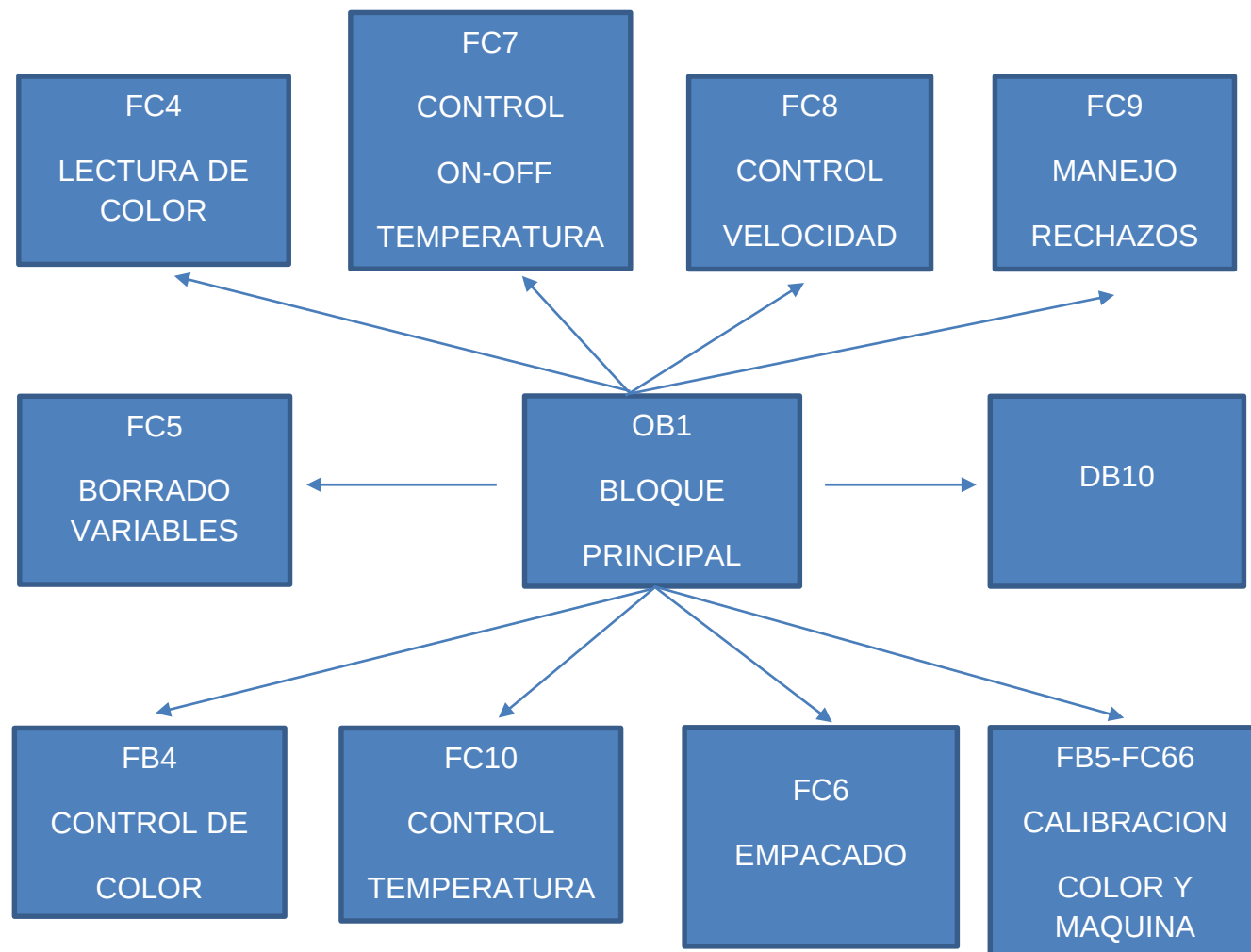


Figura 38: Ciclo de bloques utilizados en el proceso ⁴⁴

Dentro del controlador lógico programable para almacenamiento y ejecución de acciones de control se utilizaron:

- MARCAS DE MEMORIA

Son contactos auxiliares que cuentan con 8 bits los cuales se pueden utilizar para ayudar al ciclo del programa. En la mayoría de los casos se utiliza un bit por contacto utilizado.

Un ejemplo es la marca M0.0 que representa el bit menos significativo, y la marca M0.7 que representa el bit más significativo.

⁴⁴ Imagen tomada de: Configuración del hardware proyecto Administrador Simatic

- **MEMORIAS DEL PLC**

Son localidades de 16 o 32 bits las cuales permiten almacenar distintos formatos de datos.

Un ejemplo es la memoria MW10 la cual puede manejar 16 bits asociando MW11, y manejar 32 bits asociando MW11, MW12 y MW13 llegando a conformar la memoria MD10.

Para dejar más claridad en lo anterior se deberían usar las siguientes secuencias:

MW10, MW12, MW14, etc.

MD10, MD14, MD18, etc.

A continuación se procederá a explicar en detalle la función y modo de ejecución de cada uno de los bloques antes mencionados.

6.3.1 COMUNICACIÓN PROTOTIPOS

Tanto la empacadora como el sistema cartesiano deberán enviar y recibir un dato, siendo dos variables las utilizadas para comunicarse entre sí además de las localidades de memoria compartida que corresponden a las 6 bandas de diferente color que manipula el sistema cartesiano.

La marca de memoria M1012.0 es enviada de la empacadora al sistema cartesiano para indicar petición de piezas previamente clasificadas por color en la HMI de la empacadora. La señal es activada por la empacadora y desactivada por el sistema cartesiano luego de 100ms.

La petición de piezas se puede dar en los siguientes casos en que este activado el MODO ROBOT:

- Botón INICIO al inicio del proceso.
- Realimentación automática por parte de la empacadora en caso de no haber recibido las piezas necesarias para efectuar el empacado.
- Realimentación manual por parte del supervisor mediante el botón REALIMENTAR ROBOT en caso de pérdida de la comunicación entre los prototipos dado por un borrado del sistema cartesiano.

La marca de memoria M1055.1 es enviada del sistema cartesiano a la empacadora para indicar que se ha terminado el envío de piezas. En caso de que la empacadora este conforme la marca permanece activa, mientras si se presenta error de piezas la empacadora envía un nuevo pulso mediante M1012.0 con los datos de piezas restantes provocando la desactivación de la marca de confirmación M1055.1.

6.3.2 CONTROL TEMPERATURA

IP es una memoria que contiene una señal de conteo que cambia entre 0 y 100 cada 5 segundos.

La resistencia permanecerá encendida un porcentaje de tiempo de los 5 segundos. Dicho porcentaje corresponde al tiempo en que el conteo es menor al valor de modulación deseada.

Como ejemplo se supone que la modulación es 20. Esto significa que la resistencia estará encendida un 20% de los 5 segundos (1 segundo).

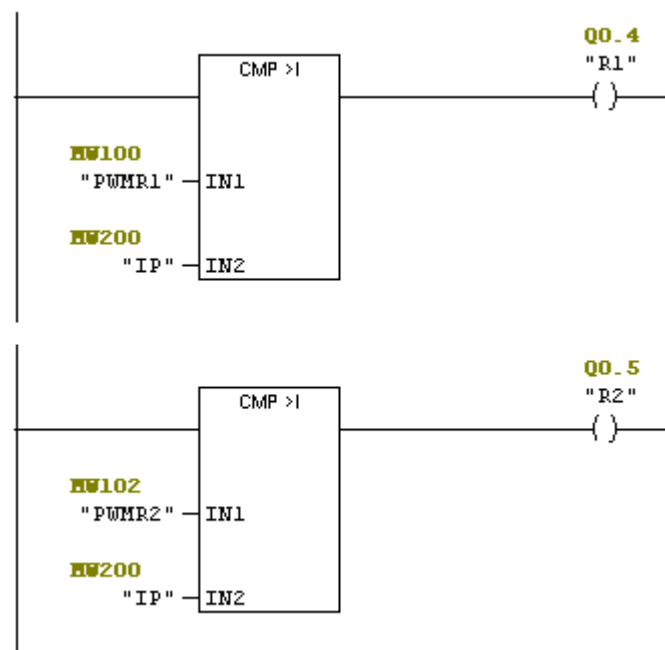


Figura 39: Control PWM Temperatura. ⁴⁵

6.3.3 LECTURA DE COLOR

Se ejecuta en el bloque FC4 el cual es llamado cuando hay un flanco descendente en la señal del sensor SR1 y está activado el modo manual o automático.

Inmediatamente llamado FC4 se activan dos temporizadores:

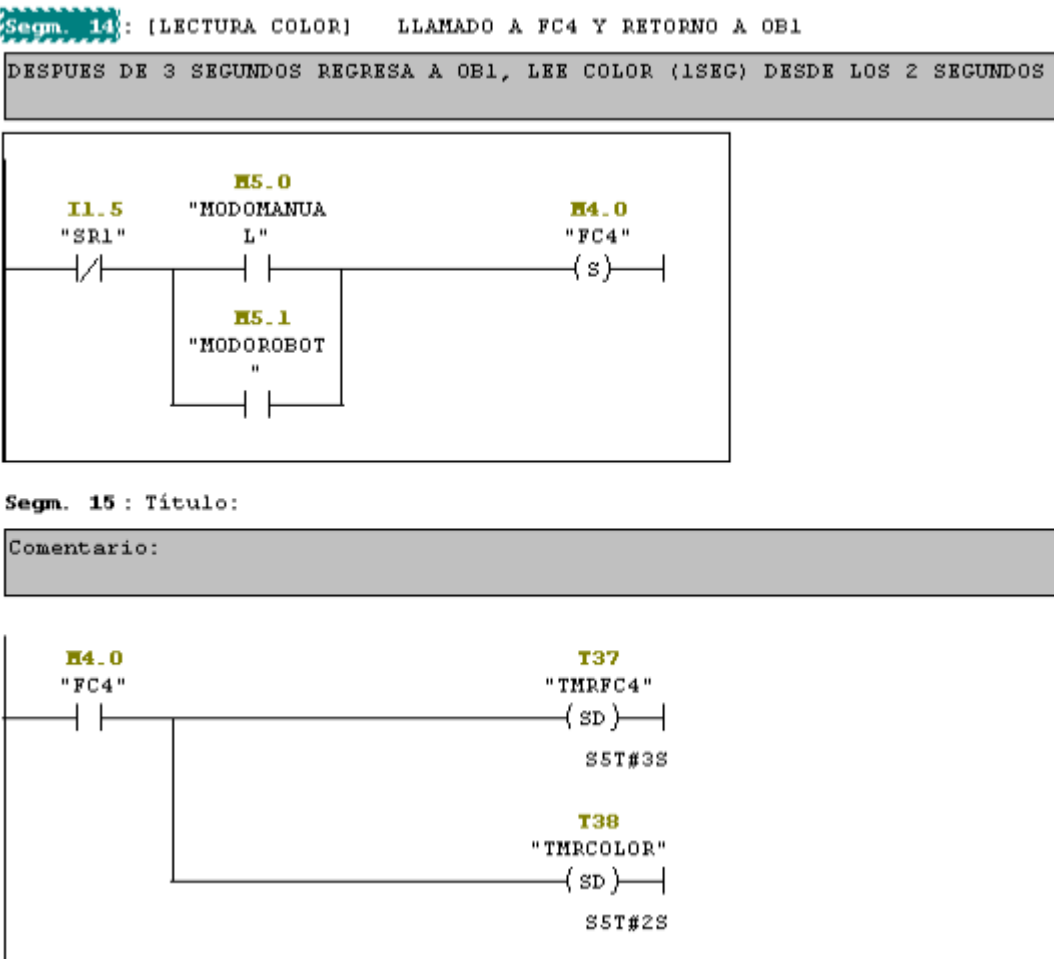
T37 con duración de 3 segundos correspondiente al tiempo que dura activo el bloque FC4.

T38 con duración de 2 segundos correspondiente al tiempo muerto de acomodo de la pieza en el resbaladero de lectura del color. El color es leído una vez se terminan los dos segundos y finaliza al cumplirse los 3 segundos (lectura color por 1 seg) donde se borran los contadores, marcas involucradas y se libera la pieza leída.

Dentro del bloque FC4 se encuentran 8 líneas de comparadores en paralelo. Cada línea corresponde a uno de los seis colores de producción, además del color blanco y aerosol gris.

⁴⁵ Imagen tomada de: Proyecto Administrador Simatic, Autor.

Una vez se cumplen todas las condiciones para un color, se genera un pulso de 1 segundo el cual activa los contadores para el control del proceso.



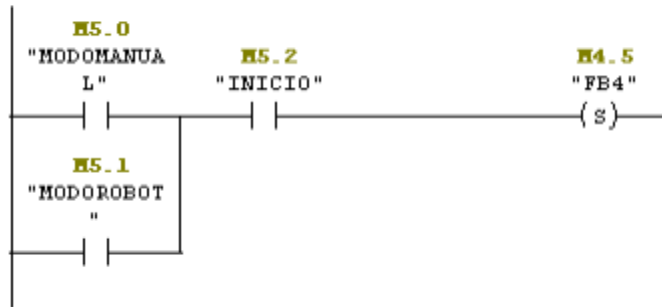
6.3.4 CLASIFICACIÓN Y REGISTROS DE COLOR

Se ejecuta en el bloque FB4 el cual es llamado cuando hay un flanco descendente en la señal de INICIO y está activado el modo manual o automático. Se finaliza su ejecución únicamente con un reinicio general mediante el pulsador 2PB.

⁴⁶ Imagen tomada de: Proyecto Administrador Simatic, Autor.

Segm. 21 : LLAMADO DE FB4 (CONTROL PIEZAS)

Comentario:



Segm. 22 : Título:

Comentario:

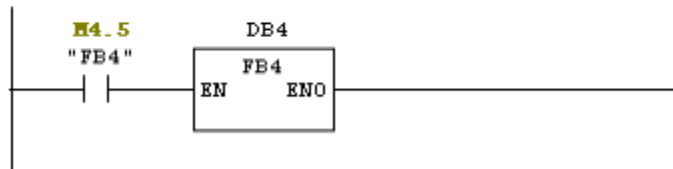


Figura 41: Llamado de registros de color. ⁴⁷

Dentro del bloque FB4 se cuenta con diversos contadores para manejar los registros de paquetes y piezas. Los contadores son cargados con el pulso del pulsador INICIO mediante HMI. El valor de carga corresponde a los deseados en la HMI.

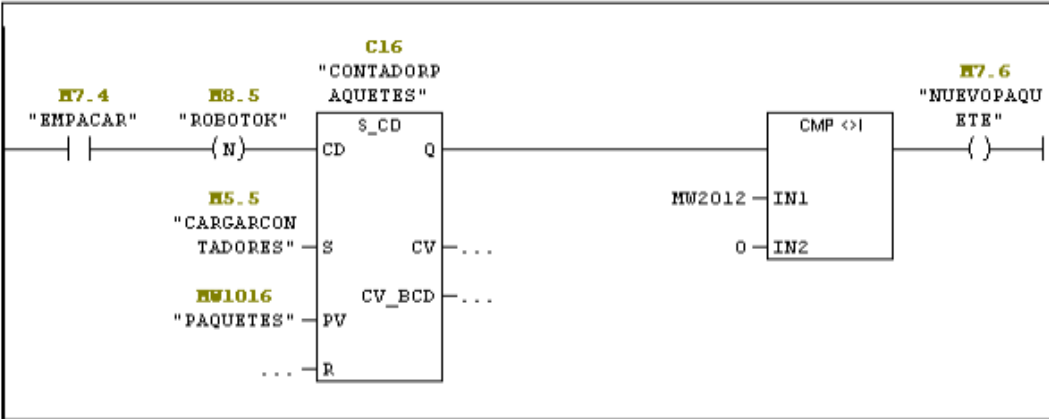
⁴⁷ Imagen tomada de: Proyecto Administrador Simatic, Autor.

FB4 : MANEJO DEL ESTADO DE COLORES

Comentario:

Segm. 1: Título:

CONDICION DECREMENTAL DE PAQUETES



Segm. 2: Título:

Comentario:



Figura 42: Decremento de paquetes. ⁴⁸

Segm. 3: Título:

CONDICION DECREMENTAL DE AMARILLAS

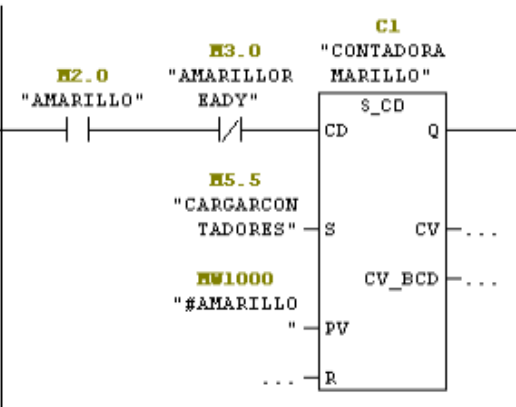


Figura 43: Decremento de piezas de un color. ⁴⁹

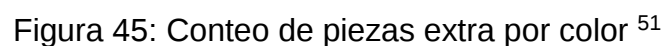
⁴⁸ Imagen tomada de: Proyecto Administrador Simatic, Autor.

```
ARRIBA: CONTADOR=0, PIEZAS COMPLETADAS
ABAJO: LLEVAR DATO DE PIEZAS FALTANTES AL ROBOT DEBIDO A ERROR
```



UNA VEZ CUMPLIDAS LAS AMARILLAS, CUENTA PIEZAS SOBRANTES DE AMARILLO
--

Comentario:



⁵⁰ Imagen tomada de: Proyecto Administrador Simatic, Autor.

6.3.5 EMPACADO DE PIEZAS

La rutina de empackado se encuentra en el bloque FC6. Es llamada por un condicional para la temperatura y estado de conteo de piezas. 5 segundos después de cumplirse las condiciones se procede al empaque de las piezas.

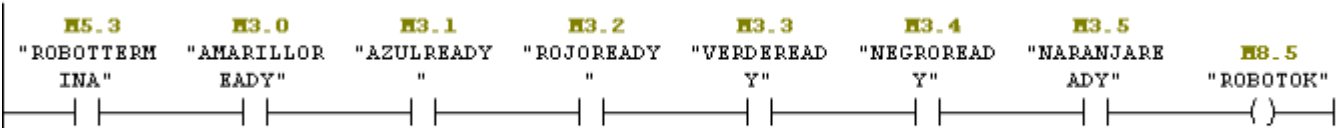
Para realizar el empackado se lleva a cabo la siguiente rutina:

1. Activar sellado horizontal inferior utilizando el cilindro horizontal
2. Subir posición del cilindro horizontal
3. Activar sellado vertical utilizando cilindro vertical
4. Activar cilindro horizontal e inmediatamente bajar la posición del mismo para bajar el papel
5. Esperar desprendimiento del paquete
6. Regresar a 1.

⁵¹ Imagen tomada de: Proyecto Administrador Simatic, Autor.

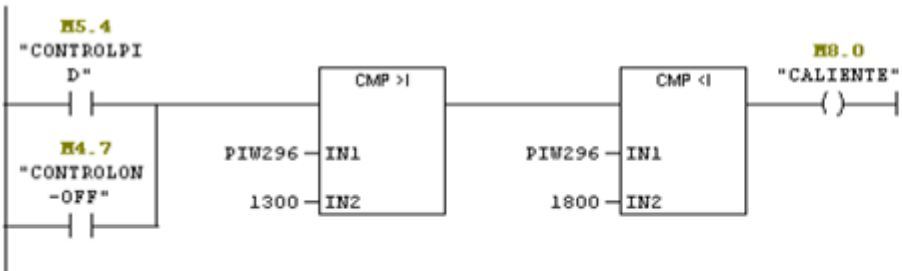
Segm. 12 : Título:

AUTORIZAR EMPACADO MODO ROBOT



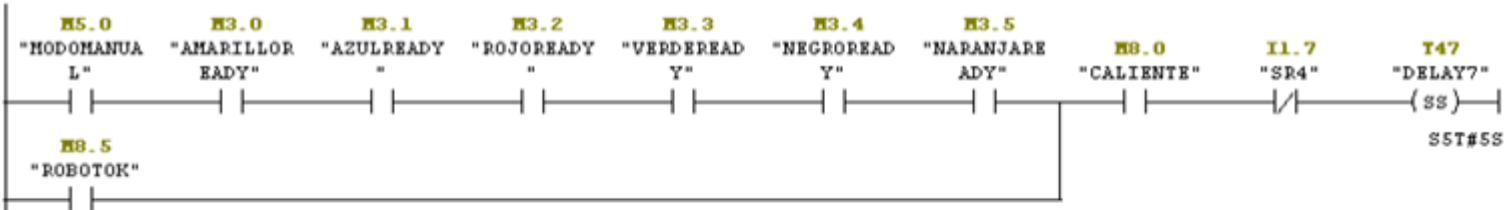
Segm. 23: GARANTIZAR CALENTAMIENTO

Comentario:



Segm. 24 : MANEJO DE EMPACADO

Comentario:



Segm. 25: Título:

Comentario:



Figura 46: Condicional para empacar piezas ⁵²

⁵² Imagen tomada de: Proyecto Administrador Simatic, Autor.

6.3.6 CONTROL VELOCIDAD

El control de velocidad se encuentra en el bloque FC8. Es llamado a cada momento desde el bloque principal OB1. Para establecer un control de velocidad de lazo cerrado es necesario:

- LECTURA REALIMENTACION

El módulo del encoder permite tener una señal de pulsos continua la cual mediante arreglos matemáticos se convierte en velocidad real.

Una vez tenida la localidad de conteo que es PID308 se debe realizar una lectura cada segundo mediante un temporizador interno del PLC llamado marca de ciclo. Se utilizó la marca M40.5 que corresponde a 1 segundo. Se lee el dato, 1 segundo después se vuelve a leer. Como consigna se desea tomar el dato actual y restarle el anterior para obtener los pulsos por segundo.

Después se realiza la siguiente conversión considerando:

- ✓ PPS = pulsos por segundo
- ✓ PPM = pulsos por minuto
- ✓ PPR = pulsos por revolución
- ✓ 20 = Relación caja reductora del motor
- ✓ RPM = Velocidad en revoluciones por minuto para el variador de frecuencia

$$PPS * 60 = PPM \quad \frac{PPM}{1024} = PPR \quad PPR * 20 = RPM$$

En la figura 48 se observa la lectura de la señal del encoder posteriormente convertida en revoluciones por minuto tanto para el variador de frecuencia como para la interfaz HMI en donde se debe aplicar la reducción producida por la caja reductora del motor (i=20).

FC8 : CONTROL VELOCIDAD

Comentario:

Segm. 1: LECTURA ENCODER

CONVERSION PARA OBTENER RPM EN MD162

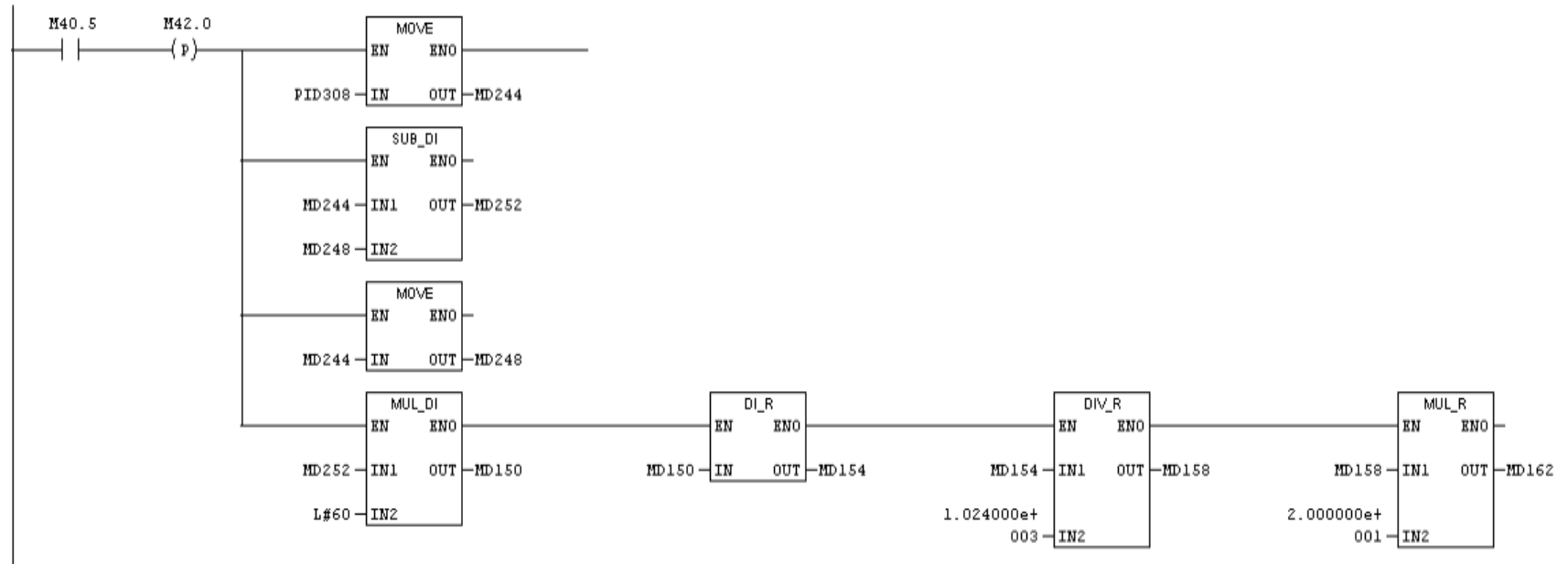


Figura 47: Conversión para obtener velocidad en RPM ⁵³

- LECTURA VARIADOR

El variador de frecuencia permite leer sus parámetros mediante el PLC.

Se debe considerar para la configuración del hardware lo siguiente:

- ✓ Seleccionar módulo PPO TYPE 5 MODULE CONSISTENT PCD
- ✓ Dar doble clic en el variador y en parame trizar seleccionar las variables a leer en los comandos PNU in P916/0 en adelante.

Según el tipo de modulo se asignan las localidades de memoria para lectura. En este caso se puede leer:

- ✓ PIW258: Velocidad RPM
- ✓ PIW260: Frecuencia. Se debe dividir por 10 la lectura para obtener HZ
- ✓ PIW260: Voltaje del motor. Se debe dividir por 10 la lectura para obtener V

⁵³ Imagen tomada de: Proyecto Administrador Simatic, Autor.

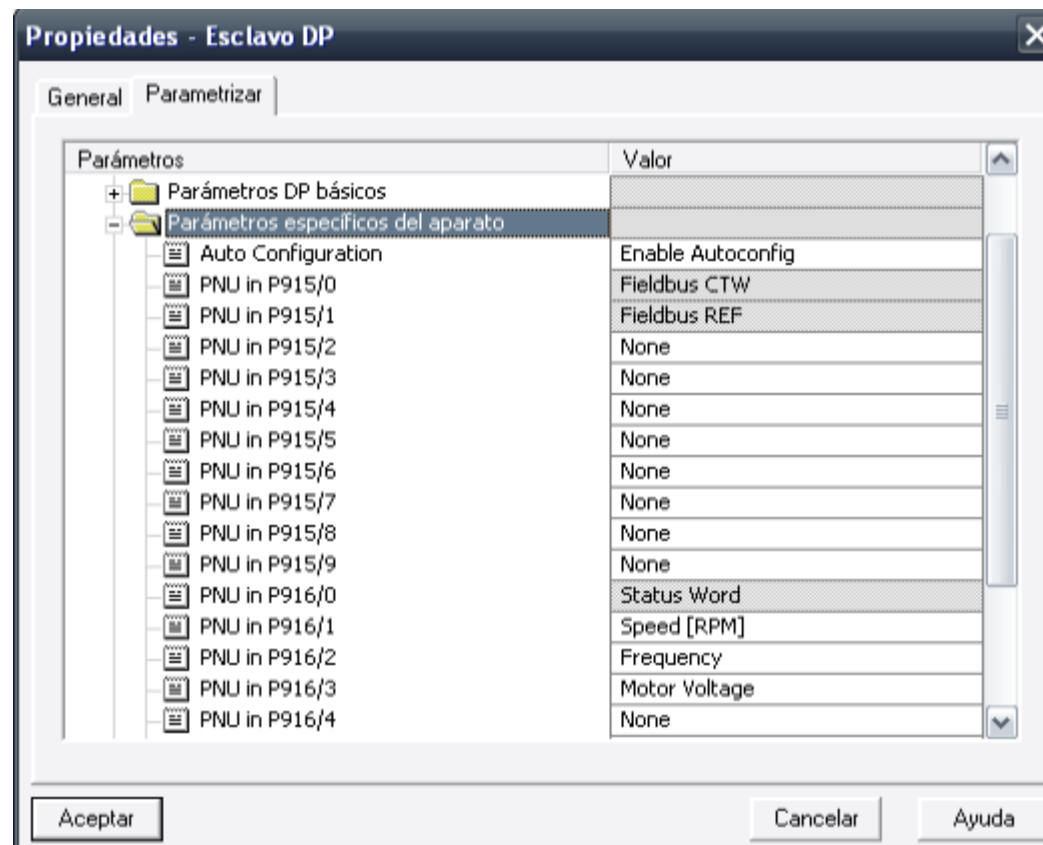


Figura 48: Parámetros lectura y escritura del variador mediante PROFIBUS ⁵⁴

- ESCRITURA AL VARIADOR

El variador de frecuencia permite distintas maneras para ajustar sus parámetros.

La metodología utilizada consiste en:

- ✓ Por defecto el modulo del variador activa un código de control el cual se debe introducir en PNU in P915/0.
- ✓ PNU in P915/1 permite una regulación porcentual entre el mínimo y máximo valor de velocidad del variador. Estos parámetros de velocidad pueden configurarse en el variador ya sea en el menú o por Profibus.

Siguiendo el mismo modulo utilizado para la lectura se introduce lo siguiente:

- ✓ PQW 276: 47C
- ✓ PQW 278: 0 para mínima velocidad, 4000 para máxima velocidad. La regulación de este parámetro depende de la velocidad seleccionada en el proceso
- ✓ PQW 280 en adelante permite escribir parámetros hasta PQW 294.

Los valores introducidos en las memorias de escritura deben estar en formato hexadecimal (W#16#)

⁵⁴ Imagen tomada de: Proyecto Administrador Simatic, Autor.

Para mayor detalle de los tipos de modulo y código de control revisar: Manual Profibus FC301

En la figura 50 se muestra el comando para activar y desactivar el movimiento de la banda transportadora.

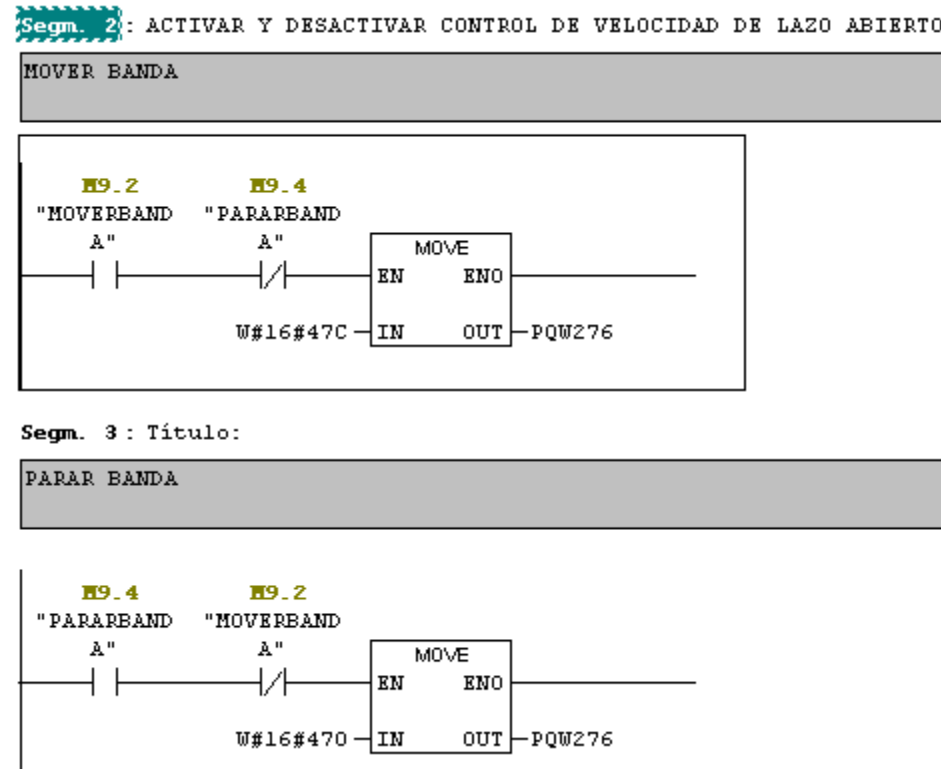


Figura 49: Activación del control de velocidad en lazo abierto⁵⁵

- CONTROLADOR

Una vez se logra escribir la velocidad deseada al variador se tiene un control de velocidad de lazo abierto.

Para lograr un control de velocidad en lazo abierto utilizando el protocolo Profibus programando el variador de frecuencia desde el PLC se requiere de:

En la localidad de memoria PQW 278 escribir un dato con valor entre 0 y 16384, donde 0 equivale al 0% y 16384 al 100% del rango elegido. Para la aplicación se seleccionó un rango de 0 a 2000 RPM para el variador.

Para establecer una relación se debe realizar una conversión de porcentaje a RPM.

$$\frac{16384}{2000} = 1RPM = 8,192 \quad DATO = 8.192 * RPM \quad \text{donde las RPM son introducidas en la HMI.}$$

⁵⁵ Imagen tomada de: Proyecto Administrador Simatic, Autor.

6.3.7 AJUSTES MANUALES

Se debieron realizar dos etapas del proceso de forma manual ya que resulto imposible hacerlas operar de manera automática. Estas dos etapas son:

- AJUSTE DE POSICION INICIAL PARA EL EMPACADO

Por diseño del prototipo hay un espacio presente entre el cilindro horizontal y el cilindro vertical. Se debe garantizar que el espacio antes mencionado este sellado verticalmente y no se presente error en las primeras bolsas. El operario deberá accionar manualmente desde la HMI hasta tener este espacio completamente sellado.

- AJUSTE DE RANGOS DE COLOR

El sensor de color a pesar de estar oculto en el sistema de bandas presenta cambios sensibles en su lectura al operar en condiciones lumínicas diferentes. Para solucionar lo anterior en el bloque FB5 se adecuo una calibración manual de los colores. Lo anterior permitirá que el proceso se lleve a cabo por un tiempo mayor sin presentar alarmas en el proceso.

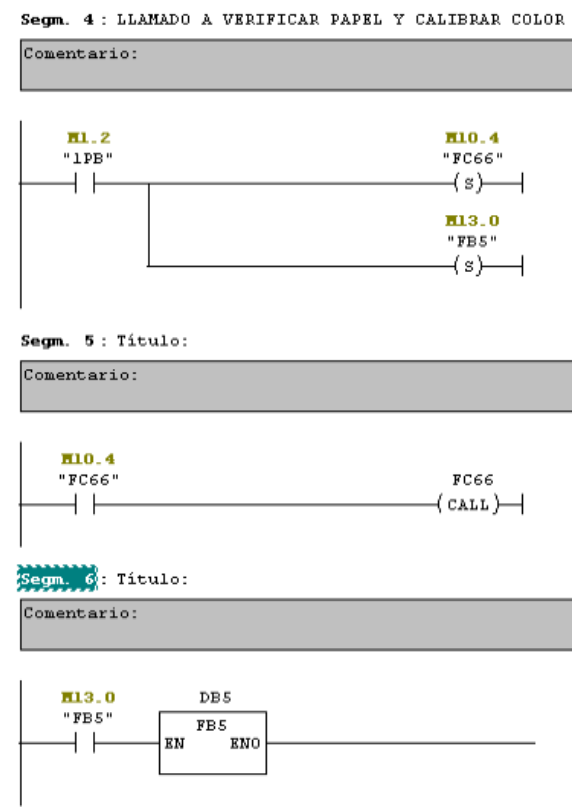


Figura 50: Llamado de ajustes manuales al inicio del proceso⁵⁶

⁵⁶ Imagen tomada de: Proyecto Administrador Simatic, Autor.

6.3.8 RECHAZOS DE PIEZAS

Se ejecutan dos rechazos, los cuales son activados en el momento de iniciar el proceso.
El primero rechazo se da al tener piezas en buen estado pero con color ya cumplido en la petición, mientras el segundo tipo de rechazo se da por piezas con color no aceptado en los rangos calibrados manualmente al inicio del proceso.

Para el establecimiento del tiempo de activación de los cilindros para toda velocidad se estableció la siguiente relación física:

$$v = \frac{x}{t} \quad t = \frac{x}{v} \quad \frac{2\pi * x[\text{metros}] * rpm}{60} = v \left[\frac{m}{s} \right]$$

$$\text{tiempo rechazo 1 [segundos]} = \frac{440}{rpm * 20} \quad 20 \text{ es por la caja reductora del motor}$$

$$\text{tiempo rechazo 2 [segundos]} = \frac{1305}{rpm * 20} \quad 20 \text{ es por la caja reductora del motor}$$

6.3.9 REINICIO

Mediante el pulsador 2PB tanto en HMI como en el gabinete se realiza un borrado general de las localidades, marcas y salidas de la aplicación llamando el bloque FC5.
Al soltar el pulsador del gabinete o botón de la HMI se retorna al OB1 y se cierra el FC5.

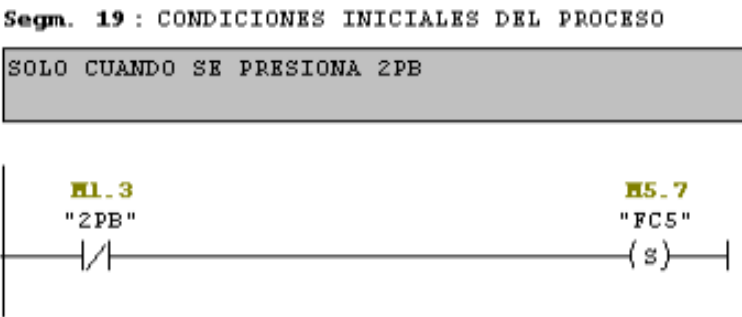


Figura 51: Borrado General de la aplicación⁵⁷

6.4 HMI Y WINCC FLEXIBLE

6.4.1 TPI 77B/PC

La marca Siemens ofrece diferentes pantallas táctiles según las necesidades del usuario.

⁵⁷ Imagen tomada de: Proyecto Administrador Simatic, Autor.

Para la aplicación se utilizó la pantalla OP 177B 6” COLOR PN/DP. La pantalla debe ser alimentada con 24 voltios DC y conectada a tierra, además del cable Ethernet para comunicarse con el PLC a través de la red Profinet del laboratorio de automatización. Para conectarse es necesario establecer el enlace mediante las direcciones IP.

NOMBRE	REFERENCIA	DIRECCION IP
PANTALLA SISTEMA CARTESIANO	OP 177B 6” COLOR PN/DP	10.152.170.14
PLC CARTESIANO	S7-300	10.152.170.13
PANTALLA EMPACADORA	OP 177B 6” COLOR PN/DP	10.152.170.22
PLC EMPACADORA	S7-300	10.152.170.18

Tabla 6: Direcciones IP para comunicación de HMI ⁵⁸

6.4.2 HMI

La HMI fue desarrollada en el software Wincc Flexible siguiendo las normas de interfaz gráficas. En la figura 53 se observa el flujo de las ventanas utilizadas para ejecutar y supervisar el proceso de empacado.

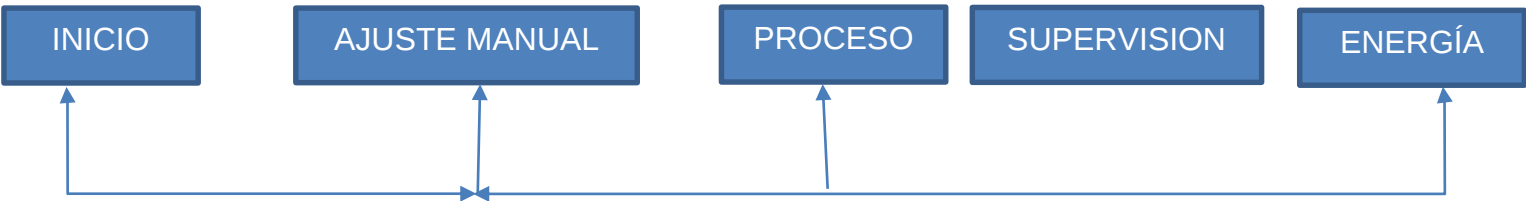


Figura 52: Diagrama de bloques de las ventanas de la interfaz ⁵⁹

Para el desarrollo de la interfaz gráfica esta se dividió en 5 pantallas las cuales serán explicadas a continuación:

- PLANTILLA

Es la pantalla que contiene los elementos a visualizar en todas las ventanas de usuario. Se utiliza para evitar gasto de tiempo y permitir una presentación más uniforme.
Como elementos fundamentales para la navegación en la HMI se encuentran los hipervínculos a las otras ventanas de usuario.

⁵⁸ Tabla tomada de: Autor
⁵⁹ Imagen tomada de: Proyecto Administrador Simatic, Autor.

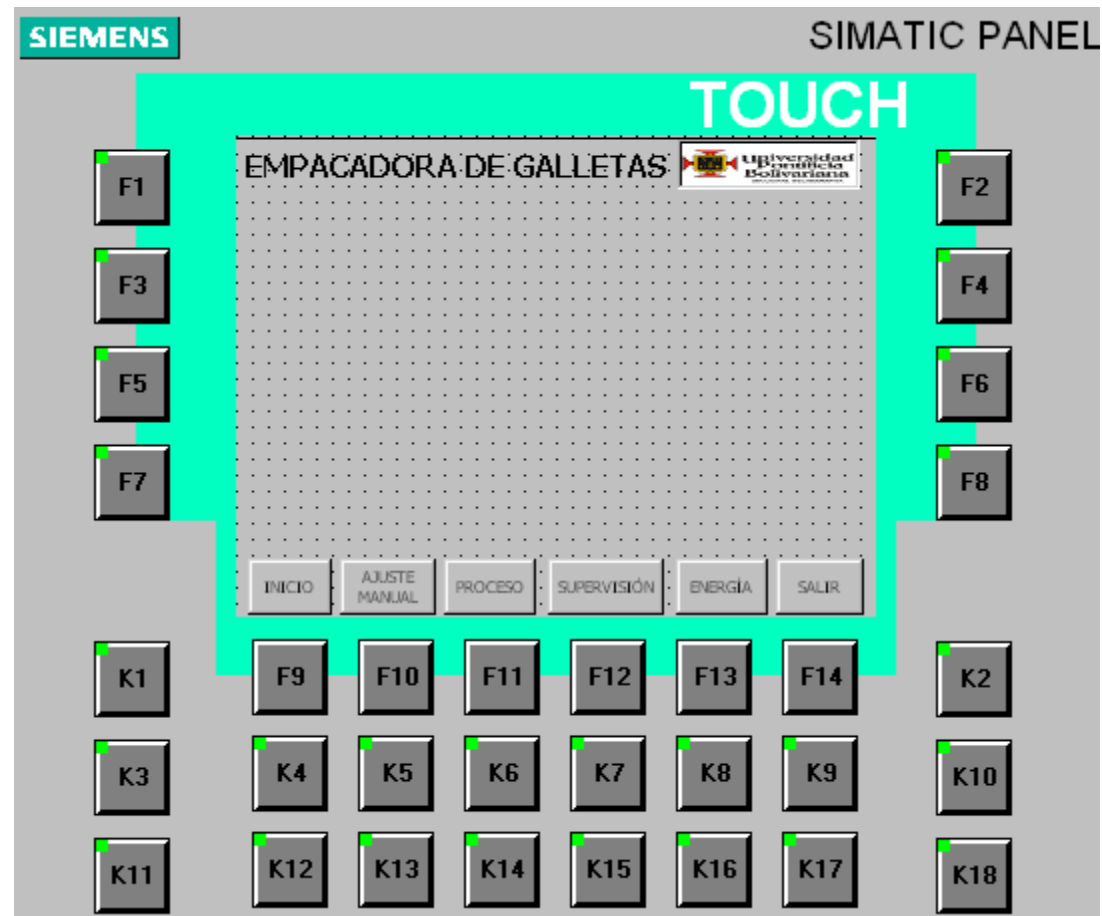


Figura 53: Plantilla de la HMI ⁶⁰

- INICIO

Es la ventana que se visualiza al momento de ejecutar el RUNTIME.

Esta ventana cuenta con una fotografía del prototipo y una breve introducción a la aplicación.

⁶⁰ Imagen tomada de: Proyecto Administrador Simatic, Autor.



Figura 54 : Ventana inicio de la HMI ⁶¹

- AJUSTE MANUAL

Es la ventana es utilizada para establecer la condición de inicio a empacar o corregir manualmente un error en el papel, y también para obtener los rangos de color a utilizar en el reconocimiento del sensor de color.

Seleccionando HABILITAR se tiene libertad para accionar libremente los 4 movimientos presentes en el empacado.

Para calibrar un color se debe seleccionar el botón del color y esperar la liberación de la pieza.

⁶¹ Imagen tomada de: Proyecto Administrador Simatic, Autor.



Figura 55: Ventana de ajuste de papel y rangos de color de la HMI ⁶²

- PROCESO

Es la ventana en la cual el usuario introduce los parámetros de producción deseados.

Únicamente presenta entradas al proyecto de STEP7 y está diseñada de una manera cómoda, clara y agradable sin saturar al usuario.

En el modo manual es importante que el operario esté atento a una detención del robot sin que se realice empacado, ya que es indicio de que el robot perdió los datos y es necesario realimentar los datos mediante el pulsador REALIMENTAR ROBOT.

Los parámetros asociados se muestran en la tabla 7.

⁶² Imagen tomada de: Proyecto Administrador Simatic, Autor.

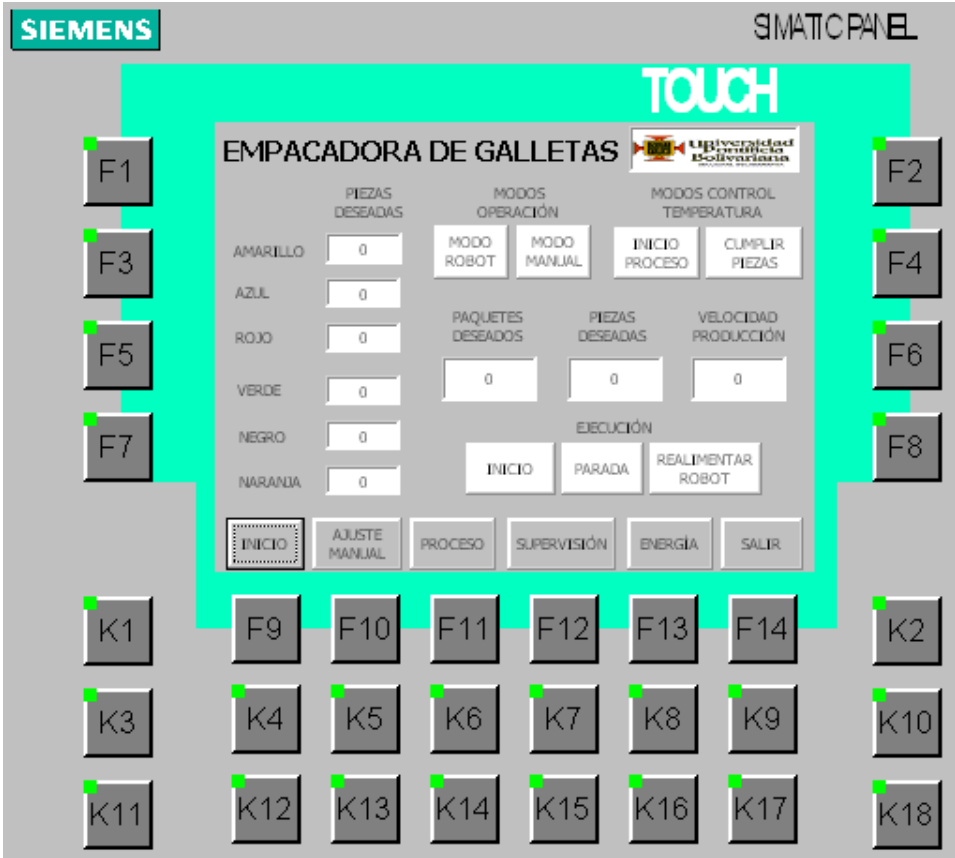


Figura 56: Ventana de proceso de la HMI ⁶³

PARÁMETRO	OPCCIÓN	MODO INGRESO
MODO OPERACION	Manual	Botón
	Automático	
MODO CONTROL TEMPERATURA	Pid	Botón
	On-off	
PIEZAS DESEADAS	Amarillo	Numérico
	Azul	Numérico
	Rojo	Numérico
	Verde	Numérico
	Negro	Numérico
	Naranja	Numérico
VELOCIDAD PRODUCCION		Numérico
PAQUETES DESEADOS		Numérico
INICIO		Pulsador
1PB		Pulsador
2PB		Botón
REALIMENTAR ROBOT		Pulsador

Tabla 7: Ingreso de datos a la aplicación ⁶⁴

⁶³ Imagen tomada de: Proyecto Administrador Simatic, Autor.

- SUPERVISIÓN

Es la ventana en la cual el usuario tanto para modo manual o automático puede evidenciar el estado del flujo del proceso a través de indicadores que establecen una comparación entre el parámetro introducido y el estado actual de las variables.



Figura 57: Ventana de supervisión de la HMI ⁶⁵

- ENERGÍA

Es la ventana en la cual el usuario una vez terminado el proceso introduce el dato dado por el medidor de energía en el gabinete de control central.

Una vez introducido el valor (Kw/h) se presiona GUARDAR DATOS para almacenar las características del proceso llevado a cabo con el fin de establecer mejoras a la aplicación.

⁶⁴ Tabla tomada de: Autor

⁶⁵ Imagen tomada de: Proyecto Administrador Simatic, Autor.



Figura 58: Ventana de Almacenamiento de datos de la HMI. ⁶⁶

6.5 PRUEBAS PARA ESTABLECIMIENTO DE PARÁMETROS

6.5.1 COLOR

Para establecer los márgenes de lectura del sensor de color fue necesaria la toma de muestras a distintas horas del día, ya que los rangos establecidos en un principio resultaron ser poco confiables y no garantizaban el funcionamiento óptimo de la aplicación en todo momento.

En la tabla 7 se muestran los rangos obtenidos después de la toma de 10 datos en 3 condiciones lumínicas diferentes.

⁶⁶ Imagen tomada de: Proyecto Administrador Simatic, Autor.

COLOR	MUESTRA								
	9 AM			1 PM			5 PM		
	CH X	CH Y	CH Z	CH X	CH Y	CH Z	CH X	CH Y	CH Z
AMARILLO	2104-2120	6560-6568	6136-6140	2432-2496	7112-7144	6560-6592	1912-1968	6592-6616	6048-6072
AZUL	520-540	2576-2608	3560-3576	1072-1112	3152-3224	4112-4136	528-536	2608-2688	3584-3616
ROJO	664-667	4880-4896	7048-7097	1256-1296	5496-5560	7504-7648	640-664	4928-4952	6840-6952
VERDE	800-808	6640-6698	4240-4267	1408-1440	7328-7384	4824-4864	800-808	6640-6720	4264-4280
NEGRO	384-392	5216-5296	4744-4817	960-992	5648-5752	5224-5328	416-424	5152-5216	4712-4784
NARANJA	992-1024	5064-5080	6728-6789	1496-1536	5576-5624	7232-7328	960-984	5096-5112	6712-6768

Tabla 8: Rangos de color después de 10 muestras ⁶⁷

Una vez analizados los datos y después de generarse errores en el proceso en reiteradas ocasiones se vio la necesidad de generar una opción de calibración manual al inicio del proceso que permitiera obtener un rango funcional. La calibración consiste en tomar un dato de cada uno de los tres canales analógicos de color y adicionar y restar una constante que permite administrar el error de la lectura.

6.5.2 TEMPERATURA

Para determinar el control a utilizar en primera instancia mediante la herramienta WinCC Flexible se tomaron los datos del comportamiento de la planta (resistencias) en lazo abierto a través de una modulación por ancho de pulso(PWM) con incrementos del 10% de activación en el periodo de 5 segundos. Se debe dividir el dato tomado por el PLC en 10 para convertir la temperatura a grados Celsius.

Se establecieron modulaciones de 20 y 28 % correspondiente a 112 y 143 grados Celsius respectivamente.

⁶⁷ Tabla tomada de: Autor

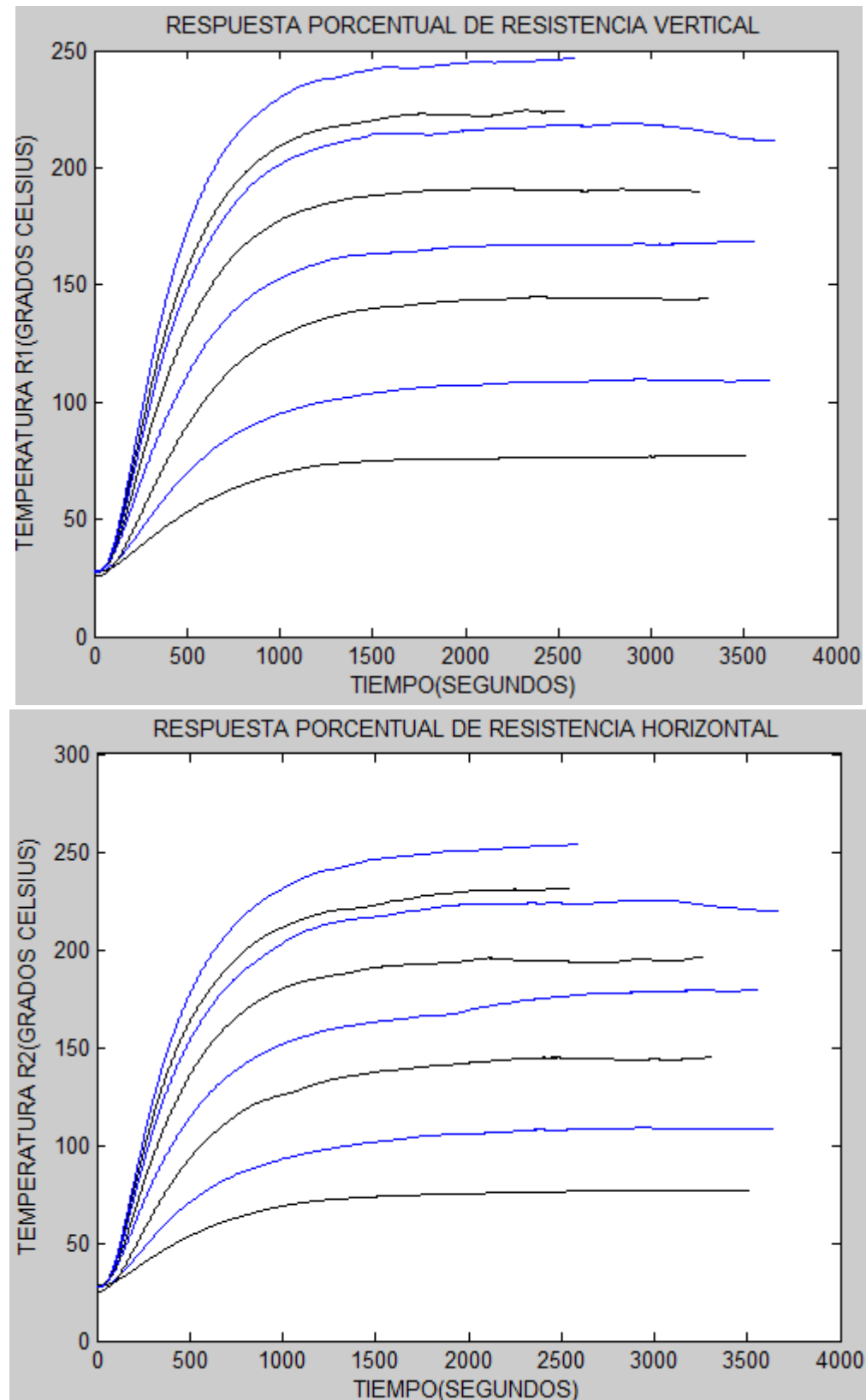


Figura 59: Comportamiento en lazo abierto de la temperatura ⁶⁸

⁶⁸ Imagen tomada de: Proyecto Administrador Simatic, Autor.

Posteriormente se introducen los datos en la herramienta computacional MATLAB para obtener los modelos de la planta mostrados en la tabla 9.

RESISTENCIA VERTICAL									
%	Valor Mínimo	Valor Maximo	ΔTemperatura	63% en grafica	Δ%	L	K	Tiempo 63%	T
10	27,4	76,5	49,1	58,333	10	27	4,91	623	596
20	27,8	108,6	80,8	78,704	20	38	4,04	627	589
30	25,6	144,7	119,1	100,633	30	30	3,97	595	565
40	27,8	166,7	138,9	115,307	40	26	3,4725	529	503
50	27,4	190,3	162,9	130,027	50	26	3,258	494	468
60	27,4	217,9	190,5	147,415	60	22	3,175	495	473
70	27,4	223,9	196,5	151,195	70	26	2,807142857	473	447
80	27,4	245,9	218,5	165,055	80	25	2,73125	467	442

RESISTENCIA HORIZONTAL									
%	Valor Minimo	Valor Maximo	ΔTemperatura	63% en grafica	Δ%	L	K	Tiempo 63%	T
10	28,1	76,2	48,1	58,403	10	29	4,81	621	592
20	27,8	107,6	79,8	78,074	20	39	3,99	614	575
30	25,4	144,7	119,3	100,559	30	30	3,976666667	571	541
40	28,1	176	147,9	121,277	40	24	3,6975	559	535
50	28,3	194	165,7	132,691	50	26	3,314	483	457
60	27,2	223,9	196,7	151,121	60	20	3,278333333	488	468
70	27,6	231	203,4	155,742	70	23	2,905714286	462	439
80	27,4	253,2	225,8	169,654	80	25	2,8225	466	441

Tabla 9: Datos modelo orden 2 con retardo ⁶⁹

Una vez hallada la función de transferencia del modelo aproximado se utiliza el comando PIDTOOL() para diseñar el controlador y hallar los datos a introducir en el bloque PID del controlador s7-300.

```
%Modelo aproximado de la planta sacado del promedio de 20 y 30% de
%modulacion

clc
clear all
close all

H=tf((4*0.036),[577 1])%0.036 es la ganancia de conversion de
                        %grados celsius a %

H.ioDelay=34
pidtool(H)
```

Figura 60: Comando MATLAB para diseñar controlador a partir de la función de transferencia ⁷⁰

⁶⁹ Tabla tomada de: Autor
⁷⁰ Imagen tomada de: MATLAB, Autor.

6.5.3 VELOCIDAD

Tanto para modo manual como modo automático el proceso se puede llevar a cabo sin ningún problema a cualquier velocidad configurada (0-99 RPM ya que los rechazos están sincronizados con la velocidad variable.

Para lo anterior es necesario una rampa de aceleración con gran pendiente.

6.5.4 ANÁLISIS DE ENERGÍA

Como manera de poder obtener un registro de que tanta energía se consume en el proceso al intercambiar modos de operación, modos de control de temperatura y distintas variables como velocidad y paquetes deseados se decidió leer el medidor de energía en introducir el valor de energía consumida al final del proceso con el objeto de establecer comparaciones en un histórico del PLC como lo es el bloque DB.

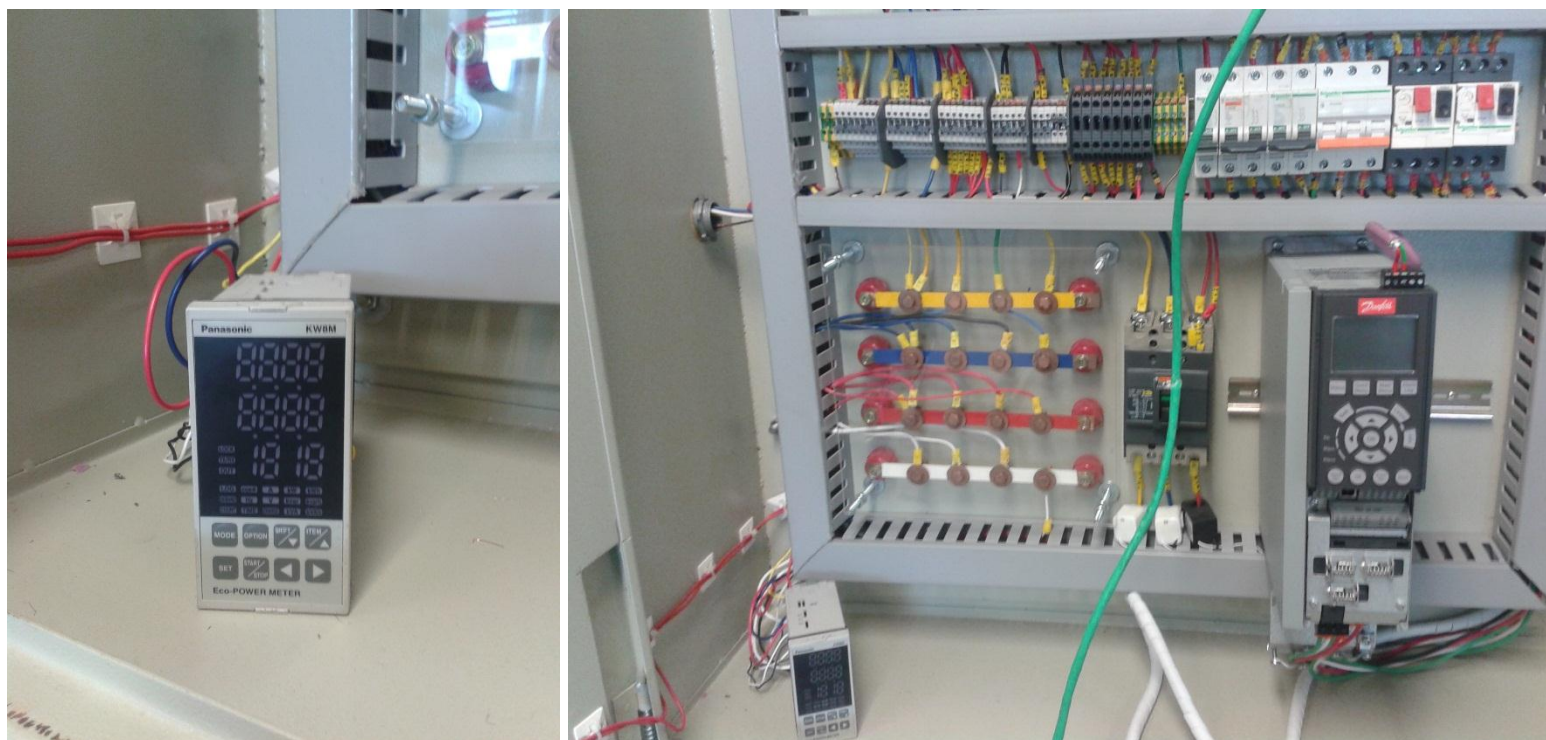


Figura 61: Medidor para lectura de energía consumida ⁷¹

⁷¹ Imagen tomada de: Manual de operación del dispositivo.

CONCLUSIONES

- Se realizó un estudio de los antecedentes del prototipo de Empacadora en donde se encontró un prototipo que permitía el empaque de piezas sin control alguno de temperatura de sellado, clasificación de piezas y control de velocidad de producción.
A partir de las fallas anteriores, y contando con un sensor de color, cilindros eyectores, sensor de temperatura con módulo análogo, motor reductor trifásico, encoder con módulo compatible y variador de velocidad se decide realizar un control de temperatura de sellado, control de velocidad de producción con un nuevo sistema de bandas y clasificación de piezas por color y material.
- Se realizó la instalación del módulo de lectura de encoder y variador de frecuencia en el gabinete de control central teniendo en cuenta las recomendaciones de instalación del fabricante previamente analizadas en los manuales de usuario.
A su vez el cableado de las señales de encoder, motor, sensores tipo barrera y electro válvulas se realizó teniendo en cuenta las recomendaciones del fabricante y la norma RETUIE en aspectos de protección de dispositivos y seguridad en la instalación.
- Basado en la guía de configuración del laboratorio de automatización, se adicionó la configuración del hardware SIEMENS, DANFOSS y FESTO lo cual implicó el manejo de drivers que permitieran desde el STEP7 reconocer cada uno de los dispositivos integrados dentro de la red.
- Los bloques de programación del administrador de SIMATIC y demás herramientas de programación y configuración soportaron la programación y configuración para la operación del prototipo de empackadora con las características de clasificación de color, control de velocidad de la banda transportadora, control de temperatura de las resistencias en coordinación con la línea de producción.
- Utilizando las herramientas WinCC Flexible y WinCC Flexible Runtime se diseñó y configuró una interfaz humano maquina (HMI) la cual permite el control y supervisión del proceso de empackado y clasificación por color. Esta HMI permite la operación manual y automática del proceso, así como supervisión del proceso de clasificación y empackado.

RECOMENDACIONES

- Antes de introducir cualquier parámetro del proceso se debe adecuar la maquina en la condición inicial estando en la posición de abajo. Lo anterior se logra presionando el botón AJUSTE PAPEL donde se despliega la plantilla de condiciones iniciales las cuales se deben ajustar manualmente según la guía de operación.
- Una vez introducido los parámetros numéricos para la selección del número de piezas por color, velocidad y número de paquetes es imperativo llevar a cabo el proceso. En caso de falla en la introducción del número es necesario oprimir 2PB para después cerrar la interfaz mediante PARAR RUNTIME.
- Seleccionar una velocidad de producción menor a 100 RPM ya que esta es la máxima configurada. Si se desea aumentar el rango de velocidad se debe revisar el anexo: Configuración Siemens S7-300, archivo de Microsoft Word.
- No introducir valores negativos a la HMI.
- Utilizar un plástico como mínimo de calibre #2
- Emplear cinta de fibra de vidrio en las láminas encargadas de realizar el sellado para evitar grumos de plástico que impidan el sellado después de varios empaques.
- Supervisar la posición del plástico para garantizar el sellado horizontal.
- En el modo manual se debe tener un operario que coloque las piezas en la banda transportadora de acuerdo a la indicación de la HMI. Dicha indicación esta sincronizada con la velocidad y evita la acumulación de piezas que provocarían error en los empaques deseados.
- Una vez terminada la corrida se desactivan las resistencias de calentamiento. En caso de desear más empaques se debe dejar activado el calentamiento en el modo manual.
- En el modo ROBOT en caso de desear un nuevo proceso se debe informar al robot mediante REALIMENTAR ROBOT en la pantalla de proceso una vez establecidos los parámetros de producción.

BIBLIOGRAFÍA

- INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN, compendio de Normas Técnicas Colombianas sobre Documentación, Tesis y otros trabajos de grado. Santafé de Bogotá: ICONTEC, 2010
- MALDONADO CAMACHO, Fabián Mauricio. “Prototipo de una Máquina Empacadora de Galletas”. Universidad Pontificia Bolivariana. Escuela de Ingeniería Mecánica. Bucaramanga, 2011.
<http://unired.edu.co:8080/cgi-bin/koha/opacdetail.pl?biblionumber=20934>
- RODRIGUEZ, Patricio. Diseño de Interfaz Hombre-Máquina (HMI)
- SIEMENS, Automation Technology: PLC. [Consulta – En línea]
<http://www.automation.siemens.com/mcms/programmable-logic-controller/en/simatic-s7-controller/s7-300/cpu/pages/default.aspx>
- VILLAMIZAR, Juan Carlos. “Autómatas Programables”. Módulo Especialización en Control e Instrumentación Industrial. Universidad Pontificia Bolivariana. Bucaramanga, 2012.
- VILLAMIZAR, Juan Carlos. “Máquina Empacadora de Galletas”. Universidad Pontificia Bolivariana. Escuela de Ingeniería Electrónica. Bucaramanga, 2012.