

Instituto Tecnológico de Costa Rica
Escuela de Ingeniería en Electrónica



**Sistema de Control y Supervisión de las Estaciones de Distribución y
Clasificación MPS® FESTO**

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

Alexandre Banton Nájera

Cartago, diciembre de 2008

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

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

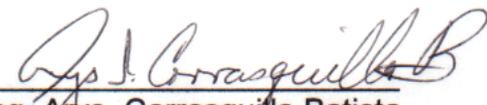
Miembros del Tribunal



Ing. Marvin Hernández Cisneros
Profesor lector



Ing. David Gómez Tames
Profesor lector



Ing. Alys Carrasquilla Batista
Profesora asesora

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

Cartago, diciembre de 2008

Declaratoria de autenticidad

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

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

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

Cartago, diciembre de 2008



Alexandre Banton Nájera

Céd: 1-1375-0759

Resumen

El Laboratorio de Investigación en Robótica y Automatización (LIRA) ubicado dentro de las instalaciones de la Escuela de Ingeniería en Electrónica del ITCR, está equipado con tres estaciones modulares MPS® FESTO, destinados a la enseñanza y aprendizaje de técnicas, basadas en el área de la automatización. Dos de ellos son Sistemas de Producción Modular (MPS) de Distribución y otro de Clasificación, todos utilizan Controladores Lógico Programables (PLC) para su control manual o automático.

Las estaciones de Distribución utilizan un brazo neumático con pinza de succión para transportar objetos tipo fichas hacia el siguiente módulo MPS. La planta de Clasificación se encarga de recibir esas piezas y las ordena por color metálico, rojo o negro. De un trabajo de investigación anterior, se desarrolló un sistema SCADA orientado a controlar solamente al MPS de Distribución con un PLC Siemens S7300. De este modo, su *Interfaz Humano-Maquina* (HMI) sirvió como punto de partida para integrar las otras dos nuevas estaciones con PLC Festo FEC640, sobre las cuales se desarrolla este proyecto. El nuevo sistema de control y monitorización permite activar o desactivar cada uno de los actuadores eléctrico/neumáticos de las tres estaciones MPS® de forma individual, esto puede realizarse dentro del laboratorio e inclusive remotamente desde algún otro punto de la red local.

Para la estación de Distribución, los actuadores gestionados por este nuevo Sistema SCADA controlan un cilindro de doble efecto, un brazo giratorio y un mecanismo de succión, con pulso expulsor generado en la Terminal de válvulas electro-neumáticas de la planta. En el módulo de Clasificación, controlan el motor CD de la banda transportadora y los mecanismos que desviarán la pieza a su sitio correspondiente.

Palabras clave: Estaciones MPS, MPS de Distribución, MPS de Clasificación, FESTO, HMI, SCADA, PLC, Automatización.

Abstract

The LIRA Lab (Laboratorio de Investigación en Robótica y Automatización), located on the ITCR's Electronic Engineering Department facilities, is equipped with three MPS[®] FESTO stations, two of them are Distributing stations and the other one is a Sorting station. These Modular Production Systems (MPS) are looked for improving, either the teaching or learning techniques, based on the automation field by using Programmable Logic Controllers (PLC). This kind of devices manages their manual or automatic output control.

The Distributing stations are made to transport objects to the following MPS by means of its changer module's vacuum griper. The Sorting system collects those workpieces and classifies them by metallic, red or black color onto three different slides. From an earlier investigation work, an existing SCADA system was designed to control just one of the Distributing stations which use a Siemens S7300 PLC. That way, its *Human-Machine Interface* (HMI) worked as a start point to join the other two new MPS in which this project is all about, both working with a Festo FEC640 PLC. The new monitoring control system, allows the individual activation or deactivation of each one of the three MPS stations's pneumatic/electric actuators; it can be done not only inside the lab but also elsewhere on the local area network.

About these actuators to be managed by the new SCADA system, in the Distributing station they control a double-acting cylinder, a swivel arm and the vacuum system generated in the electro-pneumatic valve terminal of the MPS module. In the Sorting station, they control the conveyor's DC motor and the separator modules which move away each workpiece to their matching slices.

Keywords: MPS stations, MPS Distributing station, MPS Sorting station, FESTO, HMI, SCADA, PLC, Automation.

Dedicatoria

Dedico mi obra a dos personas especiales quienes siempre me apoyaron, se preocuparon por mi futuro, estuvieron presentes en los momentos más importantes de mi vida y me formaron con éxito en la persona que soy ahora. A ellos, a quienes les debo todo y como parte del pago por todo el empeño que pusieron en mí, les retribuyo con orgullo, éste el resultado de mi esfuerzo y dedicación...

... A mis padres.

Agradecimiento

Agradezco a mi familia por darme apoyo incondicional, ánimos de superación, comprenderme y estar siempre atentos a mis necesidades, sin ellos no hubiera podido salir adelante.

Agradezco a mi novia Joyce por su fuerte apoyo y comprensión, siempre alentándome a alcanzar con éxito mis metas.

Agradezco también a quienes, más de una vez, me ofrecieron abrigo durante mi periodo universitario, así como a aquellos que me recibieron en los momentos más demandantes de mi carrera.

Finalmente, agradezco a todos aquellos profesores quienes me formaron como profesional y cuyas enseñanzas, me ayudarán a desempeñarme mejor dentro del mundo laboral.

A todos, Muchas Gracias.

ÍNDICE GENERAL

Capítulo 1: Introducción	13
1.1 El problema y entorno del proyecto.....	13
1.2 Enfoque del proyecto.....	14
Capítulo 2: Meta y Objetivos	16
2.1 Meta.....	16
2.2 Objetivo General	16
2.3 Objetivos específicos.....	16
Capítulo 3: Marco Teórico	17
3.1 Estaciones MPS en general	17
3.2 PLC Festo FEC640.....	21
3.3 Estación MPS de Distribución	22
3.4 Estación MPS de Clasificación	23
3.5 Sistema de producción modular integrado	25
3.6 Descripción de los principios de funcionamiento relacionados con la solución del problema	26
Capítulo 4: Procedimiento Metodológico.....	28
4.1 Reconocimiento y definición del problema.....	28
4.2 Obtención y análisis de información	28
4.3 Síntesis de la solución	29
4.4 Reevaluación y rediseño.....	30
Capítulo 5: Sistema de Control y Monitorización.....	31
5.1 Descripción del software	31
5.1.1 Programación del PLC FEC640 en MPS Distribución	31
5.1.2 Programación del PLC FEC640 en MPS Clasificación.....	36
5.1.3 Interfaz HMI	39
5.1.4 Enlace DDE entre WinCC y PLC FESTO.....	40
5.1.5 Sistema de visualización	43
5.2 Acceso desde la red interna local	44
Capítulo 6: Resultados y Análisis de Resultados.....	45
6.1 Programación de los PLC Festo	45
6.2 Sistema SCADA.....	46
Capítulo 7: Conclusiones y Recomendaciones.....	50
7.1 Conclusiones.....	50
7.2 Recomendaciones.....	51
Referencias Bibliográficas	52

Apéndices	54
Apéndice A.1 Glosario, abreviaturas y simbología.....	54
Apéndice A.2 Manuales de usuario.....	57
Apéndice A.2.1 Manual de uso del sistema físico	57
A.2.1.1 Procedimiento para programar los FEC640	57
A.2.1.2 Manipulación de las estaciones MPS	58
Apéndice A.2.2 Manual de uso del sistema SCADA.....	60
A.2.2.1 Preparación del equipo servidor	60
A.2.2.2 Ingreso al sistema desde el servidor o cliente.....	62
A.2.2.3 Manejo del Sistema SCADA	63
Apéndice A.3 Configuraciones de red del servidor.....	68
Apéndice A.5 Rutinas de programación.....	69
Apéndice A.5.1 Modulo MPS de Distribución	69
Apéndice A.5.2 Modulo MPS de Clasificación	70
Apéndice A.5.3 Botones de la Interfaz HMI	72
A.5.3.1. Cilindro.....	72
A.5.3.2. Brazo hacia la izquierda	72
A.5.3.3. Brazo hacia la derecha.....	72
A.5.3.4. Succión de pieza	73
A.5.3.5. Pulso expulsión de pieza.....	73
A.5.3.6. Inicio, MPS Distribución.....	73
A.5.3.7. Stop, MPS Distribución	73
A.5.3.8. Reset, MPS Distribución	74
A.5.3.9. Tope piezas, MPS Clasificación.....	74
A.5.3.10. Separador 1	74
A.5.3.11. Separador 2	74
A.5.3.12. Motor	75
A.5.3.13. Inicio, MPS Clasificación.....	75
A.5.3.14. Stop, MPS Clasificación.....	75
A.5.3.15. Reset, MPS Clasificación	75
A.5.3.16. Inicio captura video	75
Apéndice A.5.4 Stream de la cámara Web	76
Anexos	77
Anexo B.1 Windows DDE para WinCC.....	77
Anexo B.1.1 Configuración driver de comunicación WinCC	77
Anexo B.1.2 Creación de variables.....	78
Anexo B.1.3 Creación de pantallas.....	78
Anexo B.2 Configuración de YAWCAM	80
Anexo B.3 Notación de operandos para las variables en WinCC	81

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Estaciones de Producción Modular MPS® FESTO	13
Figura 1.2 Diagrama general de la solución.....	15
Figura 3.1 PLC FESTO FEC640.	17
Figura 3.2 Montaje de una estación MPS completa.....	18
Figura 3.3 Control y conexión de una estación MPS.....	19
Figura 3.4 Accesorios requeridos.....	19
Figura 3.5 Combinación de dos estaciones MPS.....	20
Figura 3.6 IPC FEC Standard.....	21
Figura 3.7 Esquema del MPS de Distribución	22
Figura 3. 8 Esquema del MPS de Clasificación.....	23
Figura 3. 9 Sensores presentes en la estación MPS de Clasificación.....	24
Figura 3. 10 Combinación MPS, estaciones DDC.....	25
Figura 5. 1 Secuencia principal del MPS Distribución.....	34
Figura 5.2 Secuencia principal del MPS Distribución.....	38
Figura 5.3 Aplicación ejecutada desde WinCC.....	39
Figura 5.4 Configuración del servidor DDE de Festo.....	40
Figura 5.5 Configuración del controlador de red del PLC FEC640 desde FST.....	41
Figura 5.5 Enlace DDE entre WinCC y MPS de Distribución.....	41
Figura 5.6 Diagrama para control del cilindro.....	42
Figura 5.7 Streaming de la camara Web.....	43
Figura 5. 8 Sistema SCADA	44
Figura 6.1 Arquitectura de la red interna de la EIE	47
Figura A.1 Escogencia del tipo de comunicación PC -PLC.....	57
Figura A.2 Partes de la consola de control.....	58
Figura A.3 Enlace DDE por comunicación serial o TCP/IP.....	60
Figura A.4 Detección del IPC FEC640 en la red usando IPC Alive.....	61
Figura A.5 Detección del PLC en la red usando IPC TCP/IP Application.....	61
Figura A.6 Panel de control de Yawcam.....	61
Figura A.7 Solicitud de contraseña	62
Figura A.8 Elementos del Sistema SCADA.....	63
Figura A.9 Pagina HTML para la visualización de imágenes en tiempo real.....	64

Figura A.10 Consola DOS que se ejecuta al seleccionar el icono de cámara Web.....	65
Figura A.11 Icono de acceso directo a Daphne en el Escritorio	65
Figura A.12 Icono de Daphne en la barra de notificaciones	65
Figura A.13 Lista de procesos Windows mostrados por Daphne	66
Figura A.14 Sistema SCADA operacional.....	67
Figura A.15 Configuraciones de Protocolo Internet TCP/IP	68

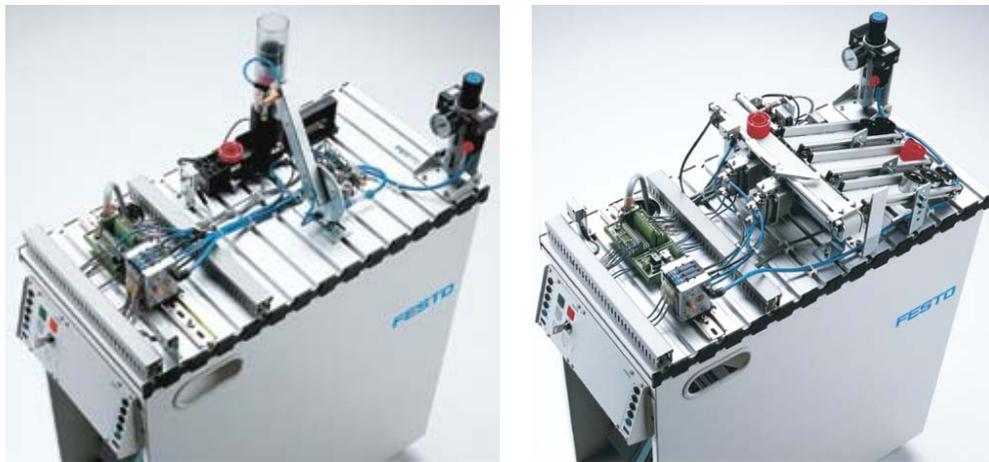
ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 5.1 Entradas del Sistema MPS Distribución	31
Tabla 5.2 Salidas del Sistema MPS Distribución.....	32
Tabla 5.3 Variables en memoria utilizadas como banderas	32
Tabla 5.4 Entradas del Sistema MPS Clasificación	36
Tabla 5.5 Salidas del Sistema MPS Clasificación.....	37
Tabla 5.6 Variables en memoria utilizadas como banderas	37

Capítulo 1: Introducción

1.1 El problema y entorno del proyecto

Las nuevas estaciones MPS FESTO de Distribución y de Clasificación, carecían de una herramienta de control y supervisión, obstaculizando el uso de éstas en la enseñanza de técnicas basadas en la Mecatrónica. El laboratorio LIRA cuenta con dos MPS de Distribución (ver figura 1.1a) y uno de Clasificación (figura 1.1b).



a) Estación de Distribución

b) Estación de Clasificación

Figura 1.1 Estaciones de Producción Modular MPS® FESTO [6]

De ahí la necesidad de desarrollar y ampliar una herramienta didáctica que permita facilitar, tanto al profesor como al estudiante, el control y la manipulación de estas tres plantas. El sistema desarrollado consiste en la programación de las dos nuevas estaciones MPS, en la programación de una interfaz que le permita al usuario acceder a las plantas desde una PC y / o desde una red de área local, en la integración de las tres estaciones de manera que se puedan utilizar como un solo módulo didáctico y por último, en la visualización de los procesos neumáticos a través de una cámara Web.

1.2 Enfoque del proyecto

El sistema SCADA implementado está orientado a fines didácticos. Para su consolidación fue necesario pasar por tres grandes etapas de diseño. En la primera, se analiza los componentes neumáticos y eléctricos que constituyen la estación MPS de Distribución y Clasificación. Es aquí donde se desarrolla y se programa a los nuevos PLC *FEC640* de Festo, una secuencia particular para cada MPS que permita el reconocimiento de sus respectivos sensores, el control sobre los actuadores y la toma de decisiones. Los sensores y actuadores se describen en los capítulos 3 y 5.

La segunda etapa del proyecto es el desarrollo de una aplicación que le permita al usuario interactuar con las plantas dentro del laboratorio, ofreciendo la posibilidad de introducir al PLC mandos de control desde una PC. Esto, sumado a la opción de introducir rutinas de prueba mediante el software distribuido por la casa matriz, facilita la enseñanza de la mecatrónica así como la comprensión del proceso, observando la respuesta del sistema por separado o integrado y manipulando sus componentes en combinación con etapas MPS previas o subsiguientes, es decir, enfrentando dos tipos de comunicaciones: usuario – estación (bidireccional) y estación – estación.

La aplicación permite además, como etapa final, el acceso remoto a las plantas a través de la red interna de la Escuela de Ingeniería en Electrónica (EIE) con el fin de evitar mover el equipo de su lugar y simular condiciones de trabajo reales. Para esto es indispensable la implementación de un sistema de visualización a través de una cámara Web. En la figura 1.2 se muestra el diagrama general del enfoque de la solución.

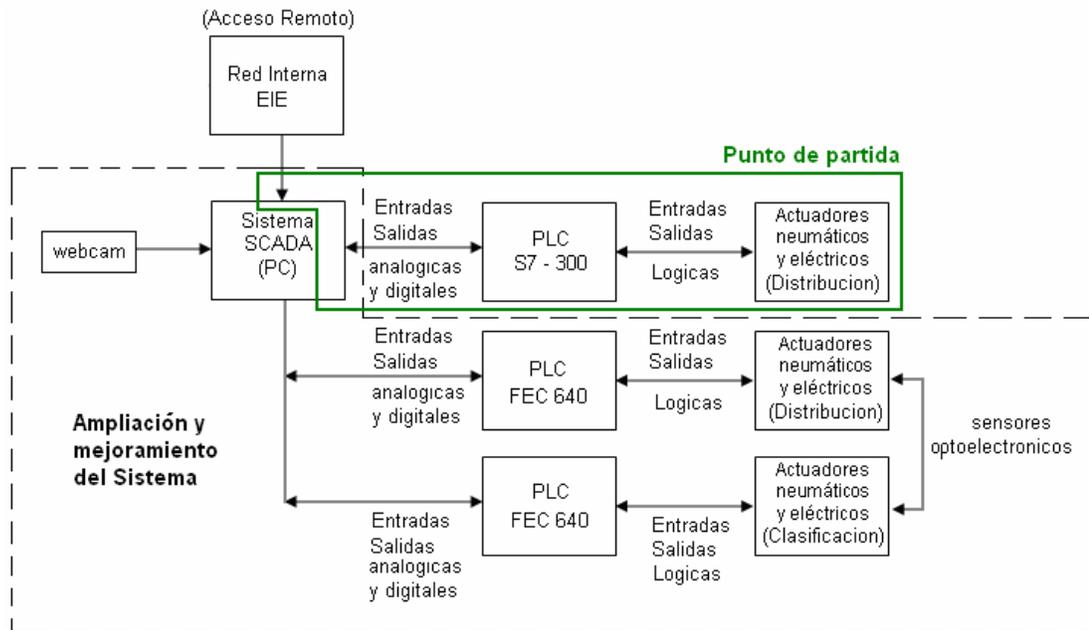


Figura 1.2 Diagrama general de la solución.

Del diagrama general mostrado en la figura anterior, se observa que lo logrado por el proyecto de graduación anterior, sirvió como punto de partida para su posterior ampliación y mejoramiento. Se puede además inferir seis fases particulares que constituyen el nuevo aporte del presente proyecto. Cada una de ellas concebidas para un fin específico, pero al interrelacionarse, conforman todo un sistema de control y supervisión de las estaciones MPS. Estas sub-etapas son:

- 1) Programación modular de los PLC Festo.
- 2) Ampliación en el diseño gráfico de la Interfaz HMI existente.
- 3) Programación de los mandos de control individual, para cada uno de los actuadores neumáticos de las dos nuevas estaciones.
- 4) Integración de cada MPS al sistema SCADA.
- 5) Incorporación del nuevo sistema a la red local, y finalmente,
- 6) Implementación de un sistema de visualización a través de una cámara Web.

Capítulo 2: Meta y Objetivos

2.1 Meta

Desarrollo de una herramienta didáctica que asista la enseñanza de la mecatrónica y facilite su aprendizaje por medio de la manipulación, supervisión y control de las estaciones MPS FESTO dentro y fuera del laboratorio LIRA.

2.2 Objetivo General

Diseñar una herramienta didáctica que permita controlar y supervisar la Estación de Clasificación MPS[®] individual y en combinación con la Estación de Distribución MPS[®], de dos formas: remotamente y en el laboratorio LIRA.

2.3 Objetivos específicos

2.3.1 Diseñar un programa que permita la inserción de mandos de control sobre los actuadores en forma individual así como la monitorización de los sensores de la planta.

2.3.2 Desarrollar un programa que permita implementar rutinas en donde se muestre al estudiante el uso de la mecatrónica en el control de los actuadores de la estación.

2.3.3 Diseñar un programa que permita el acceso a la herramienta didáctica a través de la red interna de la escuela de Ingeniería Electrónica del ITCR.

2.3.4 Desarrollar un sistema de visualización a través de una cámara Web.

Capítulo 3: Marco Teórico

Para comprender mejor los principios físicos en los que se basa el diseño, es primordial conocer los conceptos más importantes relacionados con la solución del problema. Este capítulo hace alusión bibliográfica al PLC y a los módulos MPS utilizados en este proyecto.

3.1 Estaciones MPS en general

Los Sistemas de Producción Modular de FESTO están orientados a la formación académica con fines didácticos, por lo tanto son útiles tanto en la enseñanza de técnicas basadas en mecatrónica y automatización, como en la demostración del uso de la electrónica en controles neumáticos y mecánicos para procesos complejos de producción industrial. Las plantas de Distribución y Clasificación forman parte de todo un sistema modular integrado de arquitectura abierta en hardware y software a posteriores ampliaciones. Cada uno de las salidas mecánicas / eléctricas de estas estaciones son gobernadas a través de un controlador PLC, la figura 3.1 muestra el PLC FESTO FEC640 utilizado en desarrollo de este proyecto. Su principio de funcionamiento se describe en la sección 3.2.



Figura 3.1 PLC FESTO FEC640. [5]

La figura 3.2 muestra el montaje típico de una estación MPS. Cada componente se encuentra montado sobre una placa perfilada universal (1) y esta a su vez, sobre una mesa rodante con sistema de bloqueo en sus ruedas (4). Una consola de control con teclado de membrana (2), permite el manejo sencillo de la planta MPS y su comunicación con la placa para PLC (3) mediante botones de encendido, parada, reset y un interruptor de selección entre operación manual o automático.

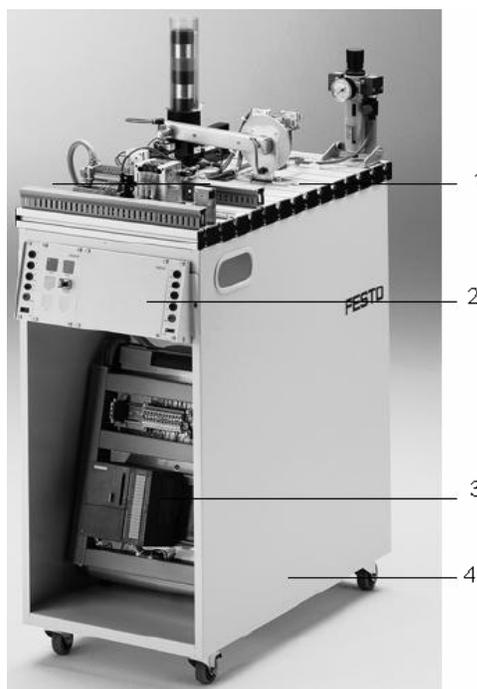


Figura 3.2 Montaje de una estación MPS completa. [6]

Por otra parte, el control de una estación MPS® requiere hasta 8 entradas y 8 salidas digitales. Todas las señales binarias están conectadas a un Terminal de E/S (denotado por “1” en la figura 3.3) con un zócalo SysLink. Por medio de este tipo de interfase se conecta la estación MPS con la placa de PLC y éste a la consola de control (3). La activación/desactivación neumática de los actuadores se realiza a través del Terminal de Válvulas electro-neumáticas (2) quien recibe mandos de control desde el PLC.

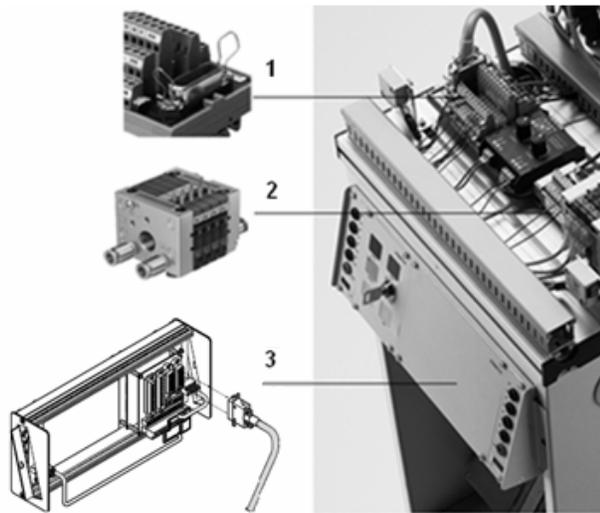


Figura 3.3 Control y conexión de una estación MPS. [6], [3]

Los accesorios mostrados en la figura 3.4 son indispensables para la puesta en marcha del sistema. La alimentación eléctrica-neumática de los módulos se lleva a cabo mediante (a) un filtro y regulador con manómetro para eliminar agua condensada y regular la presión de funcionamiento establecida. (b) un compresor de aire silencioso de 800kPa de presión y 40dB de nivel de ruido. (c) una fuente de alimentación de 230/115 V AC (47 – 63 Hz) de entrada y 24V DC de salida así como el entubado plástico de 6mm de diámetro para el sistema neumático, con sus respectivas clavijas de acoplamiento rápido. Ambas estaciones operan con una presión de funcionamiento de 600 kPa.

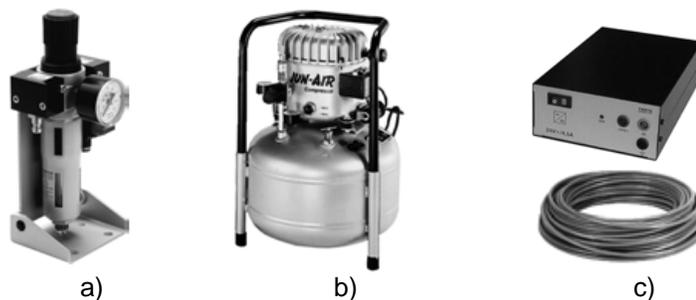


Figura 3.4 Accesorios requeridos. [6]

La figura 3.5 muestra la combinación de las estaciones Distribución- Clasificación, esta es una de las configuraciones más populares. Debido a que el MPS de Clasificación no ofrece continuidad, por ser el último de una línea de nueve MPS distintos, la combinación utilizada para este proyecto es Distribución-Distribución-Clasificación (*DDC*). El proceso de pasar la pieza de una estación a la siguiente depende de la señal de "Preparado", el cual se lee por medio de sensores ópticos facilitando el enlace entre estaciones.

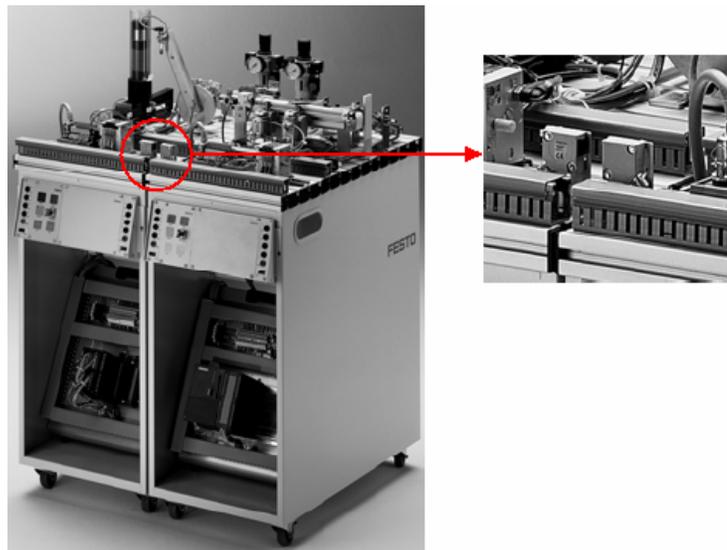


Figura 3.5 Combinación de dos estaciones MPS. [6]

3.2 PLC Festo FEC640

Este proyecto se desarrolló bajo los principios de funcionamiento del IPC FEC Estándar, mostrado en la figura 3.6. Dispone de:

- (1) 4 entradas digitales de 8 bits cada una
- (2) Módulo opcional de 3 entradas / 1 salida, analógicas
- (3) 2 salidas digitales de 8 bits cada una
- (4) Sistema de alimentación 24V DC
- (5) Sistema de conmutación Run/Stop
- (6) 2 Interfases Serie / 1 Interfaz Ethernet

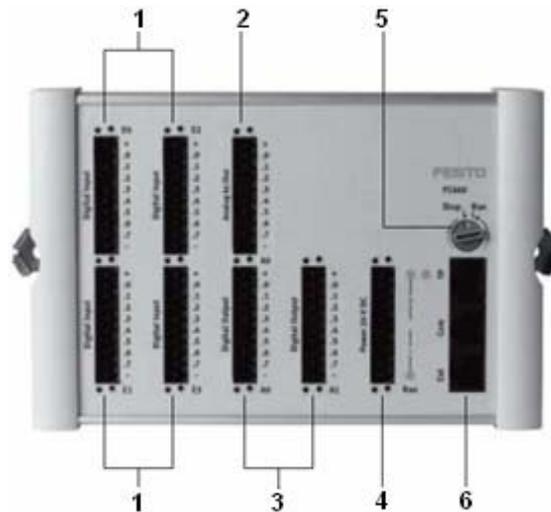


Figura 3.6 IPC FEC Standard. [15]

El sistema de conmutación Run/Stop se utiliza para controlar el modo de operación del dispositivo. Este controlador cuenta con una interfase serie para su comunicación con otros periféricos (**Ext**) y otra para su programación desde un computador (**COM**), posee además una interfase Ethernet (**TP**) para su programación y transmisión de datos desde algún sitio de la red. Con ayuda de un cable de programación y la herramienta FST, incluidos en el kit de desarrollo, se logra cargar la secuencia modular de procesos en la memoria del PLC.

3.3 Estación MPS de Distribución

Se encarga de dispensar y distribuir objetos tipo fichas de 40mm de diámetro hacia la siguiente planta, puede contener hasta ocho piezas apiladas dentro de un modulo de almacén. La figura 3.7 detalla sus elementos neumáticos y mecánicos.

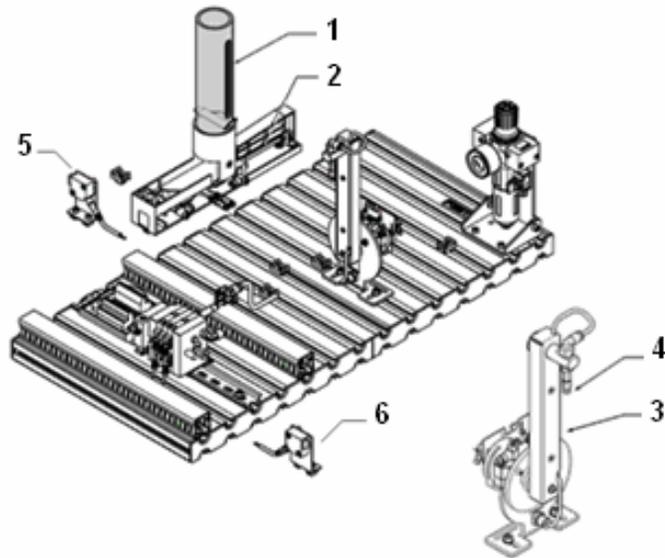


Figura 3.7 Esquema del MPS de Distribución. [3]

El proceso inicia cuando la barrera de luz de fibra óptica es interrumpida, esto es, cuando el sensor de proximidad óptico (5) detecta alguna pieza en la parte inferior del modulo apilador de piezas (1). Un cilindro de doble efecto (2) extrae la pieza inferior del almacén para colocarla en la bandeja de entrada de la estación; su posición es monitorizada por dos sensores inductivos. El módulo cambiador se encarga de sujetar la pieza mediante una ventosa o pinza de aspiración (4) y trasportarla a la siguiente estación por medio de un brazo giratorio neumático (3), utiliza un actuador semi-rotativo donde dos interruptores indican las posiciones finales y su rango de giro es ajustable, puede variar entre 0° y 180°. El vacío del mecanismo de succión con pulso de expulsión se genera en la placa de vacío del Terminal de válvulas electro-neumáticas.

Para el enlace entre estaciones, el MPS de Distribución cuenta con un sensor de proximidad optoelectrónico receptor (6) de 6000mm de alcance, por medio de este dispositivo se evalúa, dentro de la programación de la secuencia, si la siguiente estación está o no lista para recibir alguna otra pieza del modulo de almacén. En la sección 5.1.1 se describe cómo se comunica el PLC con todos estos elementos.

3.4 Estación MPS de Clasificación

Como su nombre lo indica, se encarga de clasificar las piezas dispensadas por la etapa anterior ordenándolas por color. Cuenta con un motor eléctrico que acciona una banda transportadora. Utiliza sensores de proximidad ópticos e inductivos para distinguir las fichas por su material y color, sensores ópticos de retro-reflexión para determinar si existe espacio libre en las rampas antes de dejar pasar una siguiente pieza. Sus actuadores neumáticos son dos palancas de desviación (módulos de derivación) y uno de freno (módulo de tope). Su actuador eléctrico es el motor que maneja la banda transportadora. La figura 3.8 muestra el montaje completo y el sistema de actuadores a controlar identificados por 6,7 y 8.

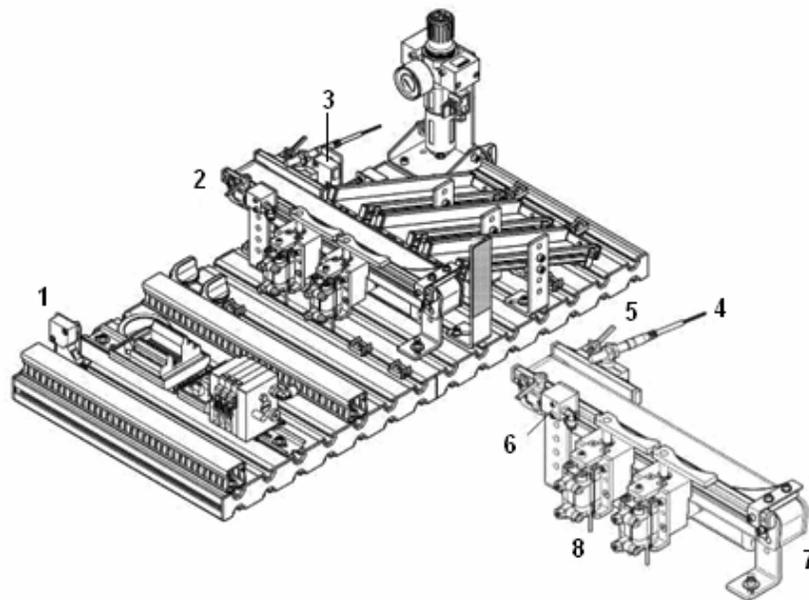


Figura 3. 8 Esquema del MPS de Clasificación. [4]

Antes de dar inicio al proceso de clasificación por color (metálico, rojo o negro), se evalúa primero si la estación puede o no recibir una nueva pieza, ya sea porque existe una ficha a punto de ser procesada, o porque ésta no ha pasado por la rampa luego de ser aceptada. Por tal razón, se usa un sensor óptico en la bandeja de entrada (2) y otro en el módulo de rampa (3). De cumplirse las condiciones de “MPS libre”, un sensor optoelectrónico transmisor (1) envía la señal de “preparado” a la estación anterior.

Mientras el sensor inductivo (4) detecta si la pieza es metálica y el sensor óptico (5) determina si a pieza es “no negra”, se activa el modulo de tope (6) durante un margen de tiempo no menor a 0.98s, recomendable para garantizar una detección segura y en consecuencia una toma de decisión certera. A criterio del usuario, la activación del motor CD que gobierna la banda transportadora (7) puede hacerse antes o después de desactivar el modulo de tope, lo que interesa en realidad es dejar pasar la pieza una vez determinada su color, transportarla y almacenarla habilitando el modulo de derivación (8) correspondiente según sea el caso. Estos módulos desvían la pieza y la conducen a la rampa predestinada culminando, de este modo, el proceso de clasificación. Cada uno de ellos cuenta con dos sensores inductivos para evaluar, dependiendo de la secuencia programada, sus posiciones iniciales y finales. Los identificadores “2” y “5” de la figura 3.9, corresponden al sensor óptico mostrado en la figura 5.8.a. Este sensor posee una distancia nominal de conmutación de 30mm.

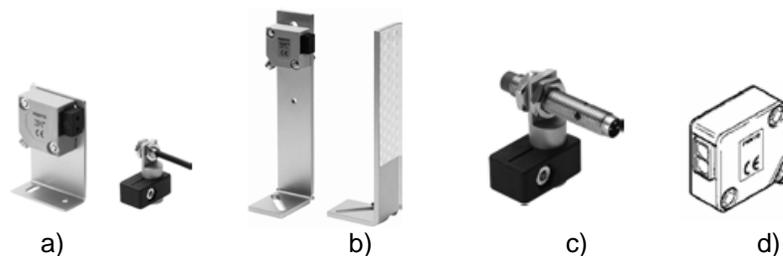


Figura 3. 9 Sensores presentes en la estación MPS de Clasificación. [6], [4]

La imagen 3.9.b muestra el mismo sensor óptico con reflector catadióptrico; combinados forman una barrera de luz de reflexión para detectar, dentro de un rango de 1 a 70cm, cuándo una pieza ha pasado por la rampa. Al igual que el sensor de proximidad óptico, el sensor inductivo (imagen de la figura 3.9c) se puede encontrar también en la estación MPS de Distribución. Tiene una distancia nominal de conmutación de 4mm. Para el MPS de Clasificación, el sensor optoelectrónico transmisor se ilustra en la figura 3.9.d; tiene un alcance de hasta 6000mm.

3.5 Sistema de producción modular integrado

La figura 3.10 muestra la combinación MPS DDC instalada dentro del laboratorio LIRA. Nótese que el proceso inicia una vez detectada la pieza en el primer MPS de Distribución, cuando esto ocurre el cilindro extrae la pieza del modulo apilador hacia la bandeja de entrada del sistema. Seguidamente, el brazo giratorio sujeta, transporta y coloca la ficha dentro del modulo almacén de la siguiente estación de Distribución. Este segundo MPS se encarga de procesar la pieza recibida, repitiendo el proceso descrito anteriormente hasta posicionarla en la banda transportadora de la estación de Clasificación.

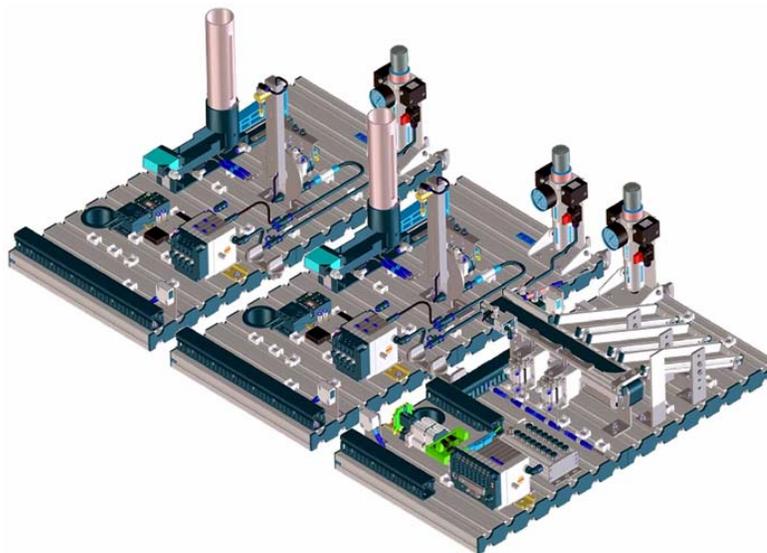


Figura 3. 10 Combinación MPS, estaciones DDC.

La disposición de las tres estaciones mostrada en la figura anterior, se debe a que las plantas de Distribución corresponden al MPS número uno de la línea de producción modular didáctica de FESTO, por lo tanto no fueron concebidas para comunicarse con alguna etapa previa. Similar sucede con la estación de Clasificación, esta planta es la número nueve y final, por lo que no admite una siguiente etapa. Con esta adaptación, se aprovecha al máximo cada recurso del equipo.

3.6 Descripción de los principios de funcionamiento relacionados con la solución del problema

El mecanismo de succión con pulso expulsor de la Terminal de Válvulas electro-neumáticas del MPS de Distribución, se basa en el principio de Venturi. “El efecto Venturi (también conocido tubo de Venturi) consiste en que la corriente de un fluido dentro de un conducto cerrado disminuye la presión del fluido al aumentar la velocidad cuando pasa por una zona de sección menor. Si en este punto del conducto se introduce el extremo de otro conducto, se produce una aspiración del fluido contenido en este segundo conducto. Este efecto, demostrado en 1797, recibe su nombre del físico italiano Giovanni Battista Venturi (1746-1822).” [2]

Respecto a los PLC, FST ofrece dos métodos de programación; en escalera LDR, del inglés *Ladder* y en el lenguaje STL, *Statement List* de sus siglas en inglés. En este proyecto en particular, se programa en STL la secuencia a cargar dentro del PLC FESTO, esa secuencia modular se basa en la técnica de toma de decisiones, es decir, primero se evalúa la información leída por los sensores y luego se decide, dependiendo del caso, qué acción ejecutar.

Para el caso de la interfaz HMI, los eventos se programan en lenguaje C basados en la técnica de causa-efecto, es decir, el sistema responde a las acciones del usuario sin tomar decisiones, para que surtan efecto sobre el sistema físico se establecen intercambios dinámicos de información, DDE por sus siglas en inglés (*Dynamic Data Exchange*). Por último, para el acceso remoto de las estaciones, se utiliza el protocolo de comunicación TCP/IP debido a que los PLC disponen de una Interfase Ethernet. El mismo kit de desarrollo de Festo ofrece herramientas que facilitan la asignación de las direcciones IP privadas disponibles dentro de la red local.

Por otra parte, el envío de imágenes en tiempo real a través del sistema SCADA, se implementa mediante código HTML. Por lo tanto, los datos de video provenientes de la cámara se publican en una página Web ingresada desde la aplicación HMI.

Capítulo 4: Procedimiento Metodológico

En este capítulo se describe los cuatro pasos indispensables para determinar qué opciones representan la mejor resolución del problema, desde su identificación hasta la reevaluación de la solución. Los siguientes apartados detallan cada uno de ellos por separado.

4.1 Reconocimiento y definición del problema

La adquisición de nuevos equipos didácticos y la imposibilidad de utilizarlos debido a la ausencia de recursos actualizados y modulares, motivan la búsqueda de algún medio interactivo que permita aprovecharlos y hacer buen uso de ellos. Surge entonces, la necesidad de desarrollar este proyecto por medio del cual, se implementa un sistema robusto con el que se puede interactuar con las nuevas estaciones, de manera que se propicia un adecuado aprendizaje de las técnicas empleadas dentro del área de la mecatrónica y automatización.

Bajo estos términos, se logra definir claramente cuales son los alcances, metas u objetivos a los que se desea llegar. En síntesis, se necesitaba poder controlar cada uno de los subsistemas individualmente, in situ y/o a través del sistema SCADA, integrando a su vez las tres estaciones MPS FESTO.

4.2 Obtención y análisis de información

La totalidad de la información requerida fue suministrada en su versión impresa y otros en formato digital por medio de catálogos, hojas de datos y manuales de usuario. Todos incluidos en los paquetes didácticos de Festo junto con las estaciones MPS y los kits de desarrollo de FST 4.10 para los PLC FESTO y WinCC para el PLC Siemens.

Dado que toda la información estaba a disposición, el análisis de desempeño se basó en el material proporcionado, salvo por otros detalles adicionales investigados en la Web, como por ejemplo, maneras de ejecutar aplicaciones de Windows desde WinCC, cómo realizar un intercambio dinámico de información DDE entre WinCC y un PLC Festo, búsqueda de alguna alternativa factible para publicar en la red imágenes provenientes de una cámara Web ordinaria, entre otros. Para ésta última, se valoró la opción Symatic WinCC/Guardian, no incluida dentro del kit de desarrollo, la cual se especializa en la captura y publicación de video a través de la red local, pero se descartó debido a su prolongado tiempo de importación

Se hizo también un análisis de costo en cuanto al entubado plástico requerido para alimentar el sistema neumático de los otros dos MPS's, se prefirió invertir en los accesorios hallados dentro del país por su bajo costo y excelente calidad. Asimismo, no se consideró la compra de una cámara IP, con los recursos provistos se satisface igualmente las exigencias del proyecto y a un menor costo.

4.3 Síntesis de la solución

Durante el proceso de diseño, las alternativas de solución fueron planteadas por medio de la investigación bibliográfica de cada uno de los elementos que componen las estaciones MPS bajo estudio, sus mandos de control, manejo de los PLC involucrados, lenguajes de programación a implementar, manipulación de las herramientas FST 4.10 y WinCC 6 así como el aprovechamiento de sus recursos, entre otros. Para cada caso, se evalúa con detenimiento la mejor opción que permita alcanzar eficientemente, los objetivos definidos en una etapa anterior.

Luego de un exhaustivo análisis de diseño, la factibilidad de cada solución se verificó por medio de pruebas realizadas dentro del mismo laboratorio. Se utilizaron criterios de desempeño y costo para la discriminación, modificación y/o depuración de dichas alternativas hasta obtener una síntesis compacta de la solución general. Estos criterios se basaron en aspectos como la capacidad del sistema, consumo de recursos, velocidad de respuesta y exigencias de usuario final.

A lo largo del proyecto, no se suscitaron desviaciones significativas de la propuesta inicial. Es decir, la solución estuvo siempre orientada a la programación modular de las nuevas estaciones MPS, integración de éstas en un solo modulo didáctico, ampliación de la interfaz HMI existente, control individual de los actuadores, incorporación del sistema a la red local e implementación de una cámara Web.

4.4 Reevaluación y rediseño

En caso de adquirir nuevas estaciones MPS, se sugiere desarrollar una interfaz *HMI* por cada combinación de módulos. Esto otorgaría mayor flexibilidad al sistema ofreciendo una mejor experiencia de aprendizaje en el área de la Automatización. Asimismo, se sugiere reevaluar el alcance de esta herramienta didáctica, es decir, no solo habilitarla exclusivamente para la red local interna de la Escuela de Ingeniería en Electrónica sino también, difundirlo a través de la Internet mediante un servidor FTP y una dirección IP publica para que otras Escuelas del ITCR, o incluso Universidades de toda Latino América o de Europa, puedan tener acceso remoto al sistema MPS del laboratorio LIRA.

Capítulo 5: Sistema de Control y Monitorización

En los siguientes apartados, se explica ampliamente cada uno de los detalles, aspectos y conceptos involucrados dentro de la solución desarrollada, su diseño e implementación.

5.1 Descripción del software

5.1.1 Programación del PLC FEC640 en MPS Distribución

Antes de escribir las rutinas de control a cargar en la memoria del PLC, se debe tener bien identificados cada componente eléctrico, mecánico o neumático a gestionar y su función, es decir, tener bien claro cuáles son y qué hacen. Para tales fines, las tablas 5.1 y 5.2 describen las entradas y salidas del sistema. Dado que una sola entrada o salida del PLC tiene 8bits, para la identificación y direccionamiento de cada bit se utiliza la siguiente nomenclatura: se expresa primero su operando, donde **I** = Input, **O** = Output y **F** = Flag seguido por su dirección física. Ejemplo, *I0.01* indica el bit 1 del byte 0 de entrada, o bien, *O1.02* indica bit 2 del byte 1 de salida. En la segunda columna de las tres tablas, se indica el nombre asignado a cada dispositivo de la estación. Estas son a priori las variables que se deben controlar y/o monitorizar, logrando así la comunicación entre planta y PLC.

Tabla 5.1 Entradas del Sistema MPS Distribución

Operando/ Dirección	Símbolo	Tipo	Descripción
I0.01	_1B2	BIT	Sensor inicio carrera cilindro
I0.02	_1B1	BIT	Sensor fin de carrera cilindro
I0.03	_2B1	BIT	Indicador de pieza recogida
I0.04	_3B1	BIT	Sensor de brazo girat. en bandeja
I0.05	_3B2	BIT	Sensor de brazo girat en sig estac.
I0.06	_B4	BIT	Sensor de piezas, almacén
I0.07	IP_F1	BIT	Sensor de sig. estación libre

Continuación de la tabla 5.1

Operando/ Dirección	Símbolo	Tipo	Descripción
I1.00	S1	BIT	Botón de Inicio
I1.01	S2	BIT	Botón de parada (normalmente cerrado)
I1.02	S3	BIT	Interruptor M. automático/manual
I1.03	S4	BIT	Botón de Reset

Tabla 5.2 Salidas del Sistema MPS Distribución

Operando/ Dirección	Símbolo	Tipo	Descripción
O0.00	_1M1	BIT	Mueve cilindro a ini./fin de carrera
O0.01	_2M1	BIT	Succión de pieza
O0.02	_2M2	BIT	Expulsión de pieza
O0.03	_3M1	BIT	Brazo giratorio hacia bandeja
O0.04	_3M2	BIT	Brazo giratorio hacia sig. estación
O1.00	_P1	BIT	LED de botón de Inicio
O1.01	_P2	BIT	LED de botón Reset
O1.02	_P3	BIT	LED de bandeja vacía
O1.03	_P4	BIT	LED Fin de Ciclo

La tabla 5.3 muestra las banderas a manejar dentro de la programación del PLC. Estas son variables de memoria utilizadas para indicar el estado de algún elemento en particular del sistema, en este caso se activan desde la interfaz HMI y son evaluadas dentro del PLC para dar inicio a la secuencia completa ejecutándola en modo automático (*InicioM1*), para la puesta en cero del sistema (*ResetM1*), o bien, para detenerlo (*StopM1*)

Tabla 5.3 Variables en memoria utilizadas como banderas

Operando/ Dirección	Símbolo	Tipo	Descripción
F1.00	InicioM1	BIT	Inicio programa TCP/IP
F1.01	ResetM1	BIT	Reset programa TCP/IP
F1.02	StopM1	BIT	Stop programa TCP/IP

Respecto a las rutinas de control, se implementaron en lenguaje *STL* usando la herramienta *FST 4.10*. Es muy sencillo y permite programar tal como se piensa:

“IF... THEN... OTHERWISE”

Para controlar por separado los actuadores desde la interfaz *HMI*, se crea un módulo de programa (*CMP*) por cada acción a ejecutar, es decir, hacer girar el brazo de un lado a otro, expandir o retraer el cilindro, activar o desactivar la aspiradora y por último, manejar el pulso de expulsión. Estos subprogramas, por sus siglas en inglés “*Call Module Program*”, son invocados desde el programa principal y ofrecen la ventaja de admitir subrutinas específicas. En este caso particular, se crea ocho *CMP*'s sencillos no secuenciales debido a que cada salida se maneja mediante una señal binaria, es decir, su activación o desactivación dependerá de su estado lógico, un “1” enciende mecanismo succión, expande cilindro, mueve el brazo hacia un lado, etc. y un “0” lo contrario. Por ejemplo, el *CMP1* consiste en hacer girar el brazo a la derecha y *CMP2* hacia la izquierda:

CMP 1 (V1)-Movimiento hacia la derecha del brazo giratorio

```
SET      _3M2      'Brazo giratorio hacia la siguiente estación
RESET   _3M1      'Brazo giratorio hacia la bandeja
```

CMP 2 (V1)-Movimiento hacia la izquierda del brazo giratorio

```
SET      _3M1      'Brazo giratorio hacia la bandeja
RESET   _3M2      'Brazo giratorio hacia la siguiente estación
```

Del mismo modo, se programa cada salida activando o desactivando sus respectivos mecanismos neumáticos de control (*_1M1*, *_2M1*, etc.), según sea el caso. La figura 5.1 muestra el diagrama de flujo de la secuencia completa.

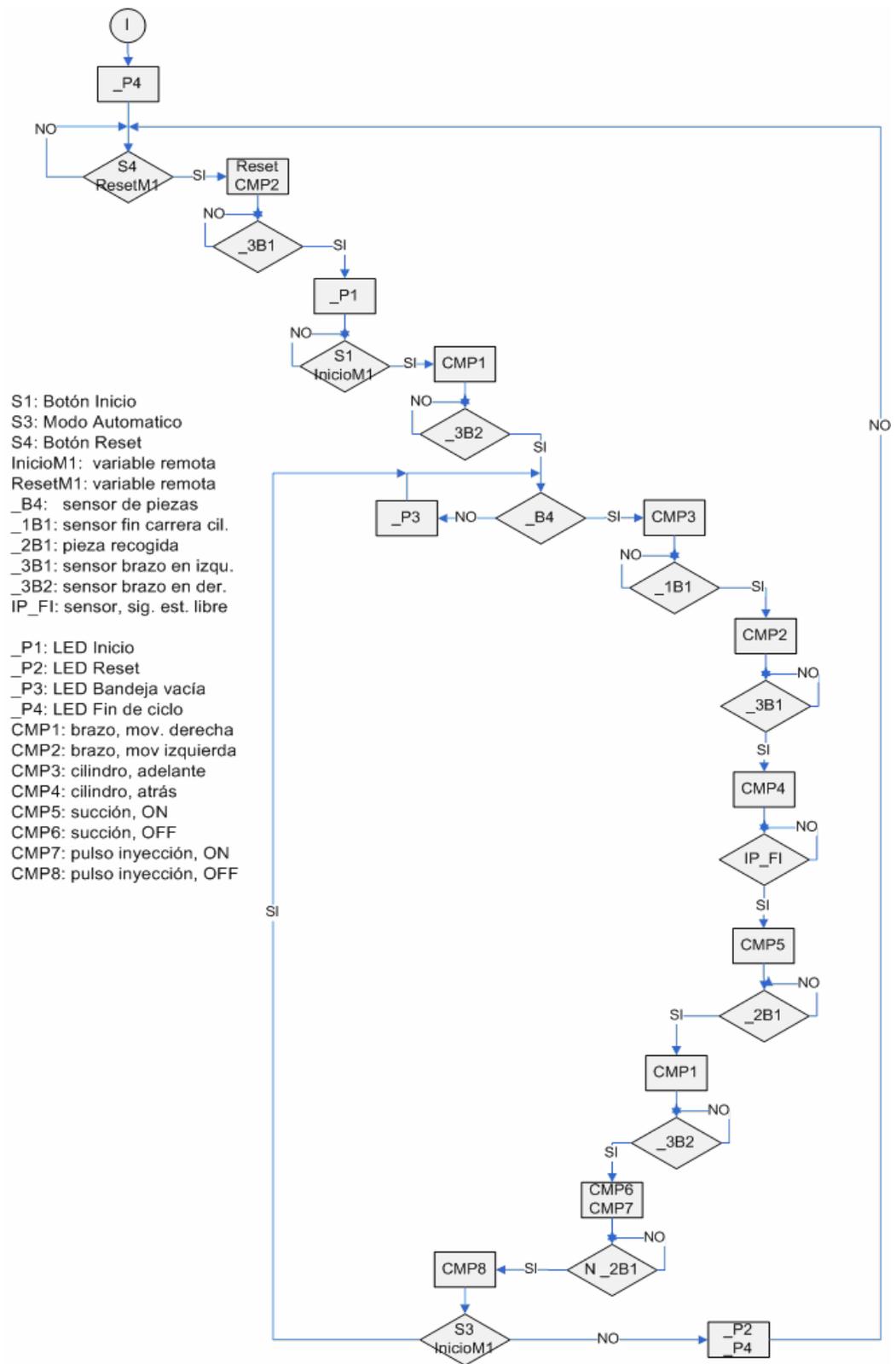


Figura 5. 1 Secuencia principal del MPS Distribución.

Para procesos industriales grandes de diversas aplicaciones que requieran ser manejadas por uno o varios operarios, como medida de seguridad es recomendable la puesta en cero del sistema antes de su manipulación, de este modo se puede prevenir un eventual mal funcionamiento o activación imprevista de los actuadores involucrados. Simulando lo anterior, al encender la planta un pequeño LED indicará que ésta debe ser reseteada. Podría darse el caso de que el brazo giratorio se encuentre en algún ángulo de inclinación diferente a su posición inicial, el cual es en la bandeja de entrada de la estación.

Una vez puesto en cero todas las variables de entrada y salida del sistema, la estación se encontrará lista para ejecutar la secuencia encargada de procesar las piezas del modulo almacén. Al seleccionar el botón Start (S1) se desplaza el brazo a la derecha (CMP1) para dejar libre la bandeja de entrada. Por medio del sensor _3B2 se interroga si el brazo ha llegado a su posición final, cuando esto ocurra, se evalúa si existe o no alguna pieza a desplazar (sensor _B4), de ser así, se expande el cilindro (CMP3) hasta llegar a su final de carrera (sensor_1B1). La pieza se encuentra ahora lista para su transporte, por lo que se coloca el brazo de nuevo en su posición inicial (CMP2), luego se retrae el cilindro (CMP4) hasta su inicio de carrera no sin antes corroborar (con _3B1) que el brazo efectivamente se encuentra en su posición de carga. Antes de activar el mecanismo de aspiración se indaga si la siguiente etapa MPS está disponible (sensor IP_FI). De cumplirse la condición, se succiona la pieza (CMP5) y el sensor _2B1 determina si la pieza ha sido recogida, en ese caso se mueve el brazo hacia la siguiente estación (CMP1). Cuando el modulo cambiador alcanza su posición de descarga, se desactiva la aspiración (CMP6) y se activa el pulso eyector (CMP7), este se apaga (CMP8) cuando el sensor _2B1 detecte que la pieza ha sido liberada de la pinza de succión.

Finalmente, si la señal proveniente del interruptor S3 o de la variable remota “InicioM1” se encuentra activa, el proceso entra en modo automático, repitiendo la secuencia una y otra vez dependiendo de la lectura del sensor _B4. De lo contrario, al finalizar el sistema solicita un reset con el fin de prepararlo para el siguiente ciclo de ejecución.

Para detener los procesos en cualquier momento, se crea un módulo aparte en el que se evalúan el botón Stop (S2) y la variable remota *StopM1*. Si alguna de estas dos señales ocurre (*IF S2 OR StopM1*), el programa asigna ceros a las salidas del sistema. El mismo razonamiento se utiliza en las otras dos estaciones.

5.1.2 Programación del PLC FEC640 en MPS Clasificación

Las tablas 5.4, 5.5 y 5.6 muestran las entradas, salidas y variables de memoria comprendidas dentro de la programación de esta estación. Nótese la introducción de un nuevo operando en la tabla 5.6, se trata de un temporizador utilizado para brindar un margen seguro de tiempo en la detección de las piezas.

Tabla 5.4 Entradas del Sistema MPS Clasificación

Operando/ Dirección	Símbolo	Tipo	Descripción
I0.00	Part_AV	BIT	Sensor opt Estac. Disponible
I0.01	B2	BIT	Sensor Induc. Pieza metálica
I0.02	B3	BIT	Sensor óptico hay pieza/ pieza no negra
I0.03	B4	BIT	Sensor optc Rampa llena
I0.04	_1B1	BIT	Sensor pos Inc. Clasificador1
I0.05	_1B2	BIT	Sensor pos final Clasificador1
I0.06	_2B1	BIT	Sensor pos Inc. Clasificador2
I0.07	_2B2	BIT	Sensor pos final Clasificador2
I1.00	S1	BIT	Botón Inicio
I1.01	S2	BIT	Botón Stop (Normal. cerrado)
I1.02	S3	BIT	Interruptor Automático/Manual
I1.03	S4	BIT	Botón Reset

Tabla 5.5 Salidas del Sistema MPS Clasificación

Operando/ Dirección	Símbolo	Tipo	Descripción
O0.00	_K1	BIT	Motor ON
O0.01	_1M1	BIT	Clasificador 1
O0.02	_2M1	BIT	Clasificador 2
O0.03	_3M1	BIT	Bloqueo piezas
O0.07	IP_N_FO	BIT	Sensor opt. Tx Estac ocupada
O1.00	_P1	BIT	LED Inicio
O1.01	_P2	BIT	LED Reset
O1.02	_P3	BIT	LED no pieza en entrada
O1.03	_P4	BIT	LED fin de ciclo

Tabla 5.6 Variables en memoria utilizadas como banderas

Operando/ Dirección	Símbolo	Tipo	Descripción
F0.03	Inicio	BIT	variable inicio TCP/IP
F0.04	Parada	BIT	Variable stop TCP/IP
F0.05	ResetT	BIT	Variable Reset TCP/IP
F74.02	Reset_OK	BIT	Reset completado
T0	Timer1	BIT	Temporizador

Con base a la información descrita en las tablas anteriores, se desarrolla la secuencia de la figura 5.2. Al detectar una pieza (sensor B3 o Part_AV) se activa un temporizador de 0.98s, tiempo suficiente para no hacer colapsar el sistema al sincronizarlo con la estación de Distribución. Cuando el conteo decrece a cero, el sensor B2 examina si la pieza es de color metal, si no lo es se lee el valor de B3 para discriminar entre rojo o negro. Para el caso metal, primero se activa el separador 1 (CMP4), cuando alcanza su posición final se deja pasar la pieza retirando el bloqueo (CMP3) y se vuelve a colocar (CMP2) ya sea cuando el sensor B4 detecta que la pieza pasó por la rampa o bien cuando en la entrada exista nueva pieza. El proceso es similar para el caso de las piezas color rojo salvo que se monitorizan los sensores correspondientes al separador 2, mientras que para las de color negro basta con retirar el bloqueo y dirigir las hasta la última rampa. De este modo quedarán ordenadas, de izquierda a derecha, las de color metal en la primera rampa, rojo en el medio y por último las de negro.

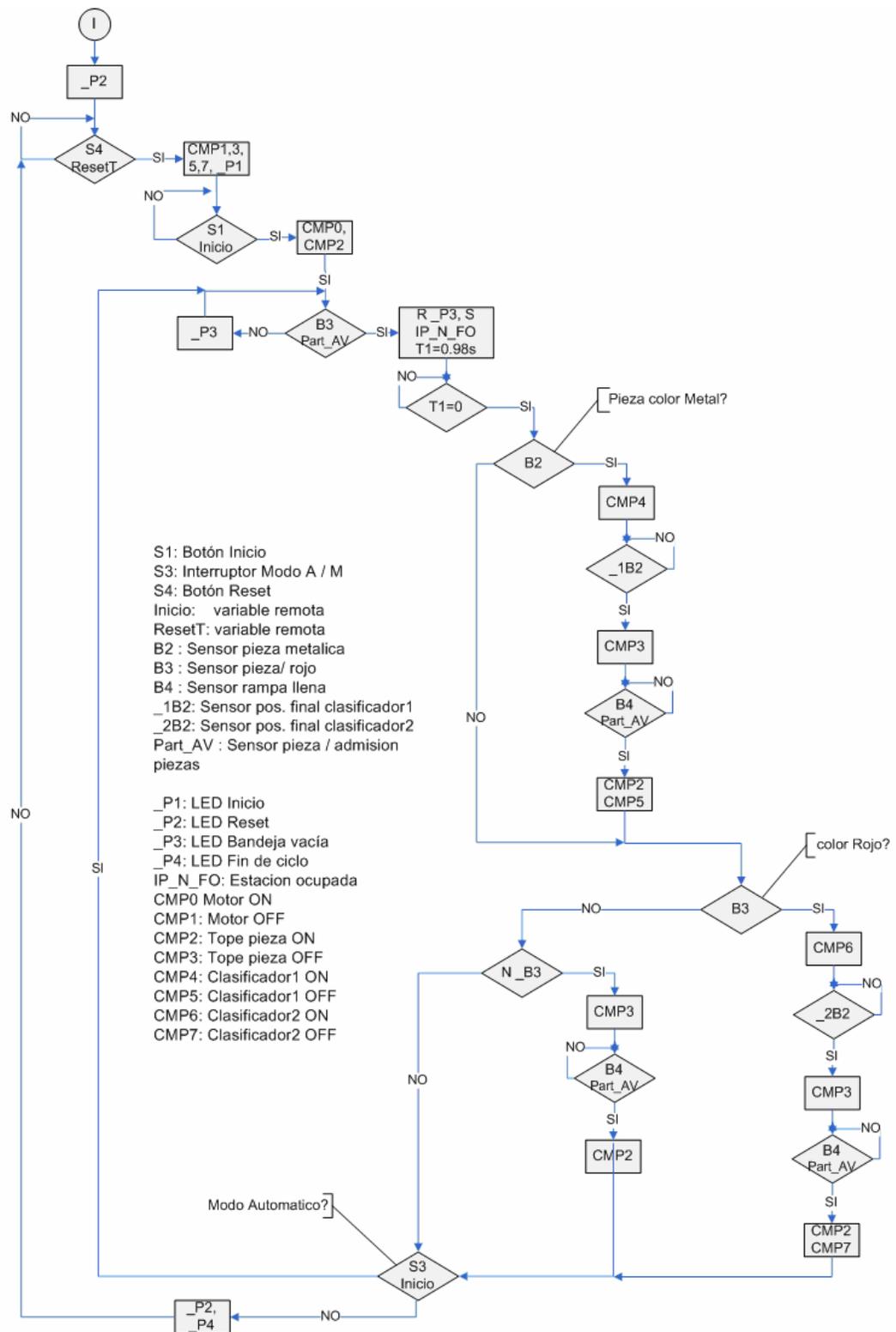


Figura 5.2 Secuencia principal del MPS Distribución.

5.1.3 Interfaz HMI

La comunicación hombre - máquina se realiza por medio de la interfaz mostrada en la figura 5.3. Esta herramienta integra las tres estaciones en un solo bloque modular MPS, permite la manipulación individual de cada actuador sin un orden particular y ejecutar paso a paso la secuencia general del sistema completo. Además, el usuario estará en la posibilidad de observar la ejecución automática de procesos. La descripción de cada uno de sus elementos se encuentra en el manual de usuario del Apéndice A.2.2

La interacción con las plantas físicas se lleva a cabo mediante una serie de botones que, al ser seleccionados envían mandos de control al PLC a través de enlaces DDE para dos tipos de comunicación, Serial o TCP/IP. Esto, al igual que la programación de las señales a enviar, se describe en la siguiente sección.



Figura 5.3 Aplicación ejecutada desde WinCC.

5.1.4 Enlace DDE entre WinCC y PLC FESTO

Cada PLC en el mercado está asociado a un kit de desarrollo determinado. Festo en particular, incluye el software FST dentro de su paquete de enseñanza para el manejo de sus controladores.

La Interfaz HMI descrita en la sección anterior, fue diseñada a partir de las opciones de WinCC, la cual se orienta a PLC Siemens. Por tal razón, antes de programar los mandos de control, es necesario establecer algún tipo de enlace de comunicación serial y red entre la aplicación y el hardware a controlar, en este caso los FEC640.

Para lograr esto, se utiliza la herramienta *IPC Data Server* a partir del cual se configura el servidor DDE de Festo. La figura 5.4 muestra como hacerlo para la comunicación TCP/IP. Obsérvese que la dirección IP corresponde al PLC a conectar en la red.

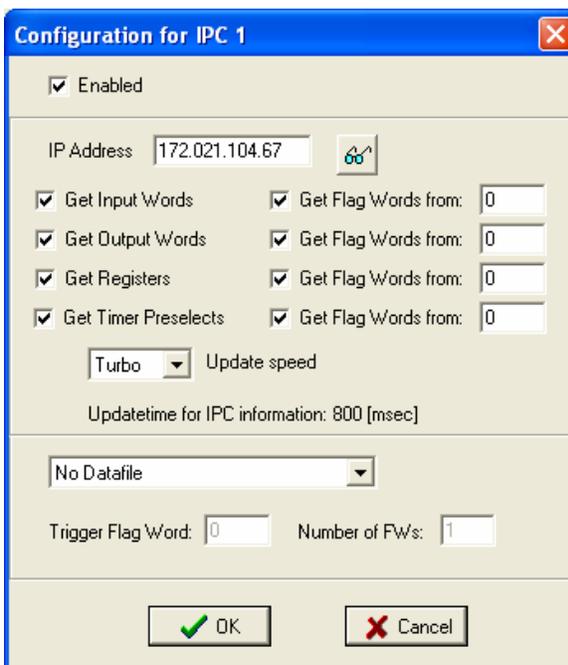


Figura 5.4 Configuración del servidor DDE de Festo.

Previamente a esto, el PLC debe tener debidamente cargado y configurado su controlador de red, de lo contrario no podrá comunicarse a través de su interfase Ethernet. La figura 5.5 ilustra lo anteriormente dicho. Para determinar su dirección IP se utiliza la utilidad *TCP/IP Application* de Festo, obtiene información sobre los dispositivos conectados en la red.

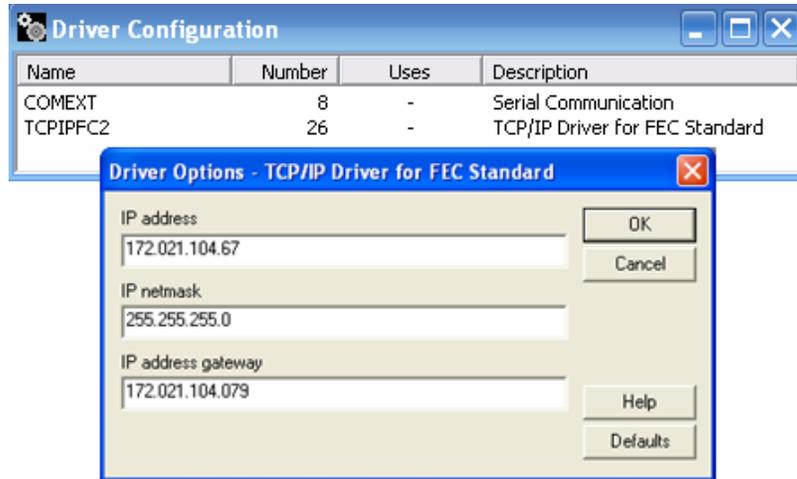


Figura 5.5 Configuración del controlador de red del PLC FEC640 desde FST.

Finalmente, se debe agregar y configurar el driver de comunicación DDE de WinCC, ver Anexo B.1 La figura 5.6 muestra la interconexión de las variables de WinCC con los actuadores de la planta de Distribución mediante su enlace DDE.

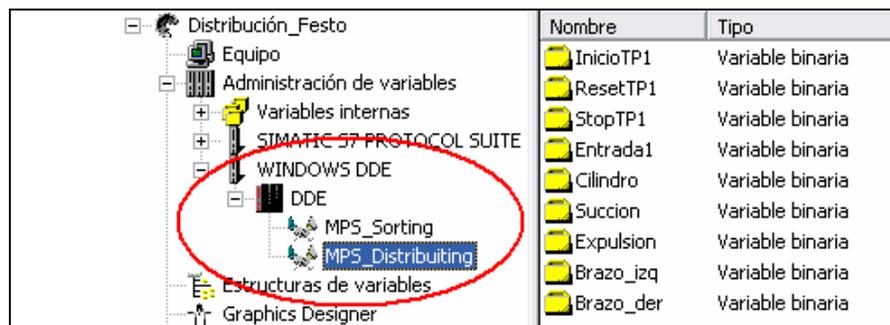


Figura 5.5 Enlace DDE entre WinCC y MPS de Distribución.

La asignación y direccionamiento de los operandos debe hacerse con las abreviaciones mostradas en Anexo B3 tomando en cuenta la configuración de idioma de *Simatic Administrator*, es decir, si está en inglés se usa la notación IEC, o bien, la notación SIMATIC para el idioma alemán. Por ejemplo, de la tabla 5.2 de las salidas del MPS de Distribución, se tiene que la activación/desactivación del cilindro corresponde al bit 0 del byte 0 de salida (operando 00.00). Por lo tanto la variable binaria “cilindro” creada en WinCC se designa como A0.0, donde A = Output, perteneciente al enlace “MPS_Distributing” del IPC_1.

Teniendo esto, se puede ahora programar las funciones de cada botón. La figura 5.6 ejemplifica la programación del mando de expulsión del cilindro. Todos los demás botones del modo de operación manual responden al mismo comportamiento, es decir, se consulta el estado de la salida y de ser necesario se cambia. Para el modo de operación automático, como se mencionó al explicar la tabla 5.3 de la sección 5.1.1, basta con levantar una bandera, por ejemplo, si el usuario del sistema SCADA oprimió “Inicio” de la segunda estación de Distribución, el botón asigna un “1” a la variable InicioTP1, la cual está enlazada a InicioM1 del PLC. Su puesta a cero se realiza desde la secuencia programada dentro del controlador, no desde la interfaz HMI.

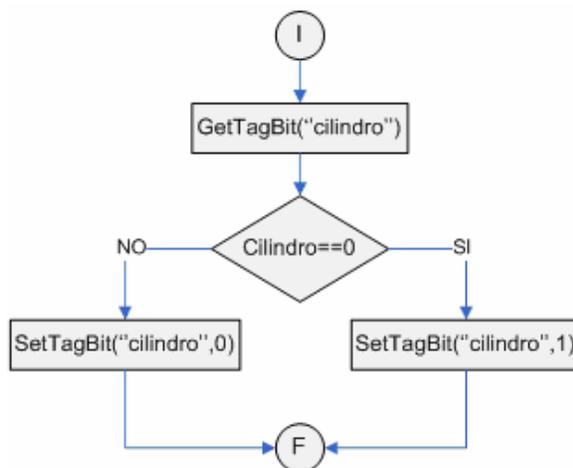


Figura 5.6 Diagrama para control del cilindro.

5.1.5 Sistema de visualización

El envío en tiempo real de imágenes a través de la red interna, se realizó mediante Yawcam, un software sin licencia capaz de realizar el stream de datos provenientes de la cámara Web del laboratorio, al habilitar el puerto de red 8081. Los creadores de este programa facilitan códigos HTML de libre uso para diferentes aplicaciones como streaming, FTP, HTTP, entre otros. La figura 5.7 muestra la página html cargada desde el sistema SCADA para desplegar en la red imágenes de video, con un máximo de 30 cuadros por segundo. Cuando se ejecuta, una notificación indica que la cámara Web se ha conectado al servidor. La configuración de Yawcam se muestra en el Anexo B2



Figura 5.7 Streaming de la cámara Web.

5.2 Acceso desde la red interna local

La figura 5.8 muestra el sistema completo de control y monitorización de las estaciones MPS (SCADA) vista desde un explorador de páginas Web. Para ser acceda desde la red interna de la Escuela de Ingeniería en Electrónica, se debe digitar la dirección IP del servidor, en este caso <http://172.21.104.79>.

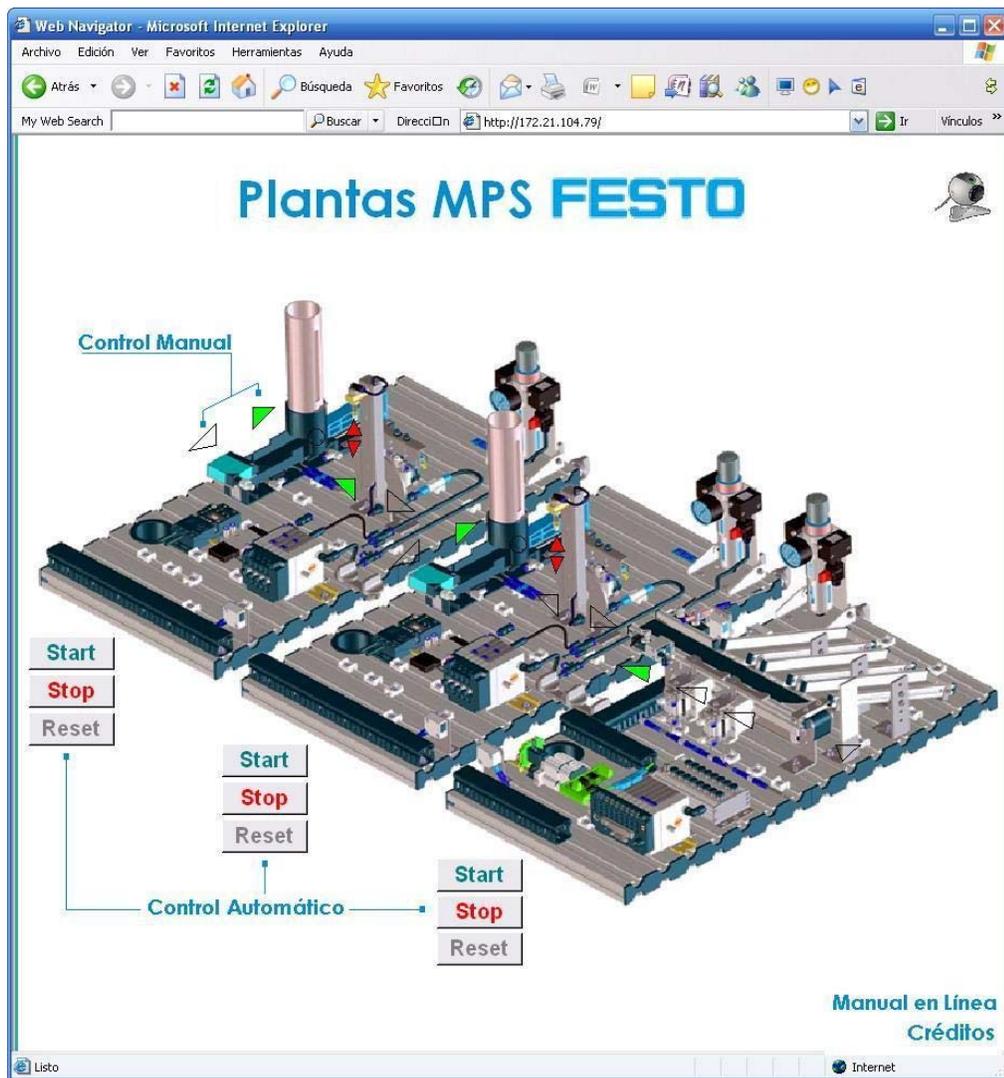


Figura 5. 8 Sistema SCADA

Capítulo 6: Resultados y Análisis de Resultados

6.1 Programación de los PLC Festo

La secuencia programada por defecto dentro de los PLC FEC640 no permitía el control individual de cada uno de los actuadores de la respectiva planta. Para esto se desarrolla en FST (Festo Software Tool) un diseño modular de dicha secuencia. En esta primera etapa del proyecto, la estructura de programación se basó en la información contenida dentro de las tablas 5.1 a 5.6, necesaria para establecer la comunicación entre los PLC y el sistema I/O de las estaciones MPS.

Durante las pruebas de funcionamiento, se encontró que los tiempos de respuesta del brazo giratorio, el cilindro y demás componentes neumáticos pueden manipularse, subiendo o bajando la presión de aire que alimenta el sistema neumático. Para la estación de Clasificación en particular, el sensor óptico identificado como “2” en la figura 3.8, debe tener un ángulo de inclinación de 45°, de lo contrario, genera valores erróneos de lectura al posicionarse de frente al sensor identificado como “5” de la misma figura, creando un eventual colapso del sistema o bien, la activación o desactivación no deseada de los actuadores.

Por la humedad dentro del laboratorio, suele suceder que alguna ficha no resbale libremente a través de las rampas, obstruyendo la barrera de luz entre el sensor óptico identificado como “3” en la figura 3.8 y su reflector catadióptrico, esto hace que el sistema no admita más piezas, debido a que dentro de la programación, una lectura prolongada de este sensor se interpreta como si una de las rampas estuviese llena. El proceso completo, desde extraer una pieza del modulo de almacén del primer MPS y transportarla hasta la ultima estación se demora en promedio 10s.

6.2 Sistema SCADA

Al inicio, las nuevas estaciones MPS se encontraban aisladas, sin comunicación alguna entre ellas o con el mundo exterior. Ahora, junto con la interfaz HMI actualizada y la primera planta de Distribución, se combinan para formar un sistema de producción modular completo.

La interfase predecesora estaba acondicionada para una sola estación MPS. Mediante el diseñador gráfico de WinCC, se incluyeron las otras dos plantas, disponiéndolas de la misma forma en como se encuentran ubicadas dentro del laboratorio LIRA. Una vez agregadas las dos nuevas plantas en la interfaz HMI, se programó una serie de botones destinados a la activación/desactivación de las salidas y se les asignó la dirección a un actuador en particular.

Lo anterior, sumado a la secuencia modular programada en los PLC de cada MPS, facilita la simulación paso a paso de los procesos neumáticos/mecánicos propios de las estaciones de Distribución y Clasificación. La comunicación entre los botones HMI y los PLC Festo fue posible realizando un enlace DDE entre ellos. Es decir, el usuario está ahora en la capacidad de manejar un actuador a la vez, sin un orden en particular, enviando mandos específicos de control al PLC a través del sistema SCADA. Esto significa que no solo se pueden manipular individualmente sino también como un todo, dando una mejor visión de los procesos neumáticos encontrados en la industria.

Teniendo el sistema de control funcionando, se procede a realizar su difusión a través de la red interna de la EIE. La publicación en Internet de la herramienta se logra por medio de la opción *Web Navigator* de *WinccExplorer*, no sin antes realizar las configuraciones de direcciones IP del servidor (Apéndice A.3) necesarias para la comunicación exitosa entre algún otro computador tipo PC de la red con los PLC.

Se necesita además instalar una aplicación cliente sin costo alguno de 9MB en cada equipo de la red. Basta con digitar la dirección IP del servidor (<http://172.21.104.79>) en la barra de direcciones del explorador de páginas Web y seguir las indicaciones. Para esto debe usarse Internet Explorer v6 o superior puesto que Firefox no soporta la aplicación WinCC Web Navigator.

La figura 6.1 muestra la ruta de acceso remoto a la aplicación desarrollada. El sistema SCADA, ubicado en el servidor, es visitado por los dispositivos cliente utilizando el protocolo de comunicación TCP/IP, a través de la red interna local.

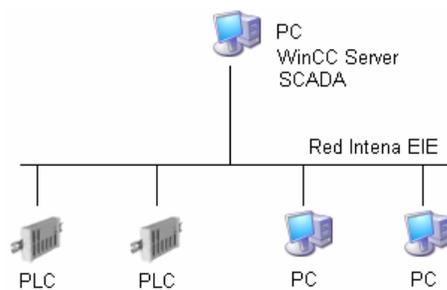


Figura 6.1 Arquitectura de la red interna de la EIE

Una vez la herramienta publicada en la red local, se desarrolla el sistema de supervisión mediante una herramienta visor de procesos. Esta se compone de una cámara Web y la aplicación yawcam encargada de realizar el stream de la información a través del puerto 8081. Con esto, se logra complementar el bloque de elementos que conforman el sistema SCADA del laboratorio LIRA.

Para el manejo de la cámara Web, no se logró incorporar a yawcam directamente desde la interfaz HMI, pues generaba un mensaje de error. Por esta razón, se ejecuta una aplicación externa a WinCC para lograr efectivamente el envío de imágenes en tiempo real, esto se realiza mediante una pagina HTML.

En cuanto a la comunicación TCP/IP, se realizaron pruebas de ingreso desde otras computadoras, el sistema puede ser usado por más de un usuario al mismo tiempo. Sin embargo, se experimentó problemas en el streaming de la cámara Web desde la red de profesores. La red de estudiantes posee una topología Ethernet tipo estrella 100Base-T, esto quiere decir que su ancho de banda es de 100Mbps (Mega bits por segundo). A partir de esta red se construye la de profesores usando swiches de capa 3, por lo que su ancho de banda, dado los problemas experimentados en la transmisión de video por IP, es menor.

Para una buena transmisión de video por IP, una cámara Web debería consumir entre 100kbps y 2Mbps, los cuales son tasas de bits muy altas comparadas al de audio, el cual típicamente consume solo 80kbps. El ancho de banda que se necesita para transmitir sin problemas dependerá del tamaño de la imagen, la cantidad de cuadros por segundo de refrescamiento y la calidad de compresión de video. Así surge la siguiente relación:

$$AB_{CAMARA} = \text{tamaño imagen [kB]} \cdot \text{fps} \cdot 8\text{bits} \quad (1)$$

Para este caso en particular la cámara utiliza el chip SN9C102 de Sonix, el cual realiza una compresión por M-JPEG. En la figura 5.7 se observa los menús de **Fps** (frames per seconds) y **Quality** habilitadas por la aplicación yawcam; las opciones ofrecen de 1 a 30 cuadros por segundo y una calidad de compresión máxima de 75%. Para determinar el tamaño de la imagen en el peor de los casos, se captura en pantalla y por medio de un editor de imágenes, como por ejemplo ACDSsee, se guarda en formato JPEG con un 75% de calidad.

Si el tamaño de la imagen de video transmitida por la red es de 321x241 pixeles comprimido en JPEG con un 75% de calidad, su tamaño será de 15,8kB. Por lo tanto, en el peor de los casos, el ancho de banda consumida por la cámara es de:

$$AB_{CAMARA} = 15,8[\text{kB}] \cdot 30[\text{fps}] \cdot 8[\text{bits}] \cong 3,8[\text{Mbps}] \quad (2)$$

Al existir también otros equipos conectados en la red de profesores, el ancho de banda disponible para la transmisión de video se reduce, es por esta razón que se perdía la conexión con el servidor, cosa que no ocurre desde la red de estudiantes. Para corregir el problema se reduce el número de cuadros por segundo o bien, la calidad de compresión de la imagen, hasta encontrar el mejor ajuste.

En general, el sistema SCADA desarrollado es completo al estar constituido de hardware de señales de I/O como lo son las estaciones MPS; de controladores como los PLC y de una Interfaz Hombre-Maquina. Involucra además redes, comunicaciones (DDE, TCP/IP, Serial) y software. Es flexible al ser de arquitectura abierta y su diseño modular permite mayor control del sistema.

Capítulo 7: Conclusiones y Recomendaciones

7.1 Conclusiones.

1. El sistema SCADA desarrollado permite manipular, individualmente, cada uno de los actuadores eléctrico/neumáticos de las tres estaciones MPS[®] sin un orden en particular.
2. Se logró la monitorización por medio de los sensores ópticos e inductivos de las plantas.
3. El uso de la cámara Web mejora la experiencia del usuario, realiza la monitorización del sistema y permite ver los efectos de los mandos de control desde cualquier punto de la red local.
4. Entre mayor sean la imagen de video, su refrescamiento en n cuadros por segundo y su calidad de compresión, mayor será el ancho de banda necesaria para su transmisión por IP.
5. Si el ancho de banda utilizada por la cámara Web sobrepasa el ancho de banda de la red, mayores serán las probabilidades de experimentar pérdida de imágenes, baja resolución y congelamiento de video.

7.2 Recomendaciones

1. Utilizar una IP pública para que otras Escuelas del ITCR o Universidades puedan ingresar al sistema
2. Contar con más de una cámara Web a disposición para tener mayor amplitud de visión y control sobre los actuadores.
3. Realizar una conexión maestro esclavo entre el PLC Siemens y Festo de los MPS de Distribución para lograr una comunicación más directa entre estas dos estaciones.
4. Eliminar la humedad sobre las rampas del MPS de Clasificación, aplicando aire caliente por medio de un ventilador, para el libre desplazamiento de las piezas a través de ellas.

Referencias Bibliográficas

- [1] Biblioteca José Figueres Ferrer, ITCR. "Tutoriales en Línea" [en línea] <http://www.tec.cr/sitios/Vicerrectoria/viesa/biblioteca/Paginas/tutoriales_linea.aspx> [Consulta: 5 dic. 2008]
- [2] Delgado M., Elizabeth. "Switching" [en línea] <<http://neutron.ing.ucv.ve/revista-e/No4/articulo.htm>> [Consulta 28 nov. 2008]
- [3] Ebel, Frank.; Pany, Marcus. "Distributing Station Manual" [en línea] <www.festo-didactic.com> [Consulta: 22 jul. 2008]
- [4] Ebel, Frank.; Pany, Marcus. "Sorting Station Manual" [en línea] <www.festo-didactic.com> [Consulta: 22 jul. 2008]
- [5] El FEC640. [en línea] <www.festo.com/NetDomino/files_01/Polaris_2.pdf> [Consulta: 4 ago. 2008]
- [6] Festo Didactic GmbH & Co. KG. "Festo Didactic 2008 catalogue" [en línea] <www.festo-didactic.com> [Consulta: 19 jul. 2008]
- [7] Foros de Electrónica "*Ejecución de aplicaciones externas desde WinCC*" [en línea] <<http://www.forosdeelectronica.com/about15292.html>> [Consulta: 23 sept. 2008]
- [8] Guillén R., Gabriel. "Monitoreo y control remoto del brazo robótico Staubli RX-90" [cd-rom] Biblioteca José Figueres Ferrer, ITCR. Septiembre, 2006

- [9] Hernández, Ibraim “*Comunicación TCP/IP PLC Festo*” [en línea] Blog Cosas de Mecatrónica *Marzo 27, 2008* <<http://pwp.etb.net.co/iyhernandezo/files/FESTOComm.pdf>> [Consulta: 11 sept. 2008]
- [10] Hernández, Ibraim “*Enlace DDE WinCC*” [en línea] Blog Cosas de Mecatrónica; *Agosto 18, 2007* <mecatronica.wordpress.com/2007/08/18/wincc-y-plc-festo-fec/> [Consulta: 13 oct. 2008]
- [11] The Festo AG & Co. KG Manual. “Programming in STL and LDR, Volumen 1” Software package FST – Version 4.1, 2004
- [12] The Festo AG & Co. KG Manual. “Drivers and modules, Volumen 2” Software package FST – Version 4.1, 2004
- [13] The Festo AG & Co. KG Text Book. “Festo Software Tools” Software package FST – Version 4.1, 2004
- [14] Villalobos A, Harold. “Sistema de control y monitorización de una estación de distribución MPS” [cd-rom] Biblioteca José Figueres Ferrer, ITCR. Julio, 2008
- [15] Wikipedia, la enciclopedia libre [en línea] <<http://es.wikipedia.org>> [Consulta: 28 nov. 2008]

Apéndices

Apéndice A.1 Glosario, abreviaturas y simbología

- **Actuadores:** son dispositivos capaces de generar una fuerza a partir de líquidos, de energía eléctrica y gaseosa. El actuador recibe la orden de un regulador o controlador y da una salida necesaria para activar a un elemento final de control como lo son las válvulas. [15]
- **Cliente:** computadora que acceda a un servidor por medio de una red [8]
- **DDE:** Tecnología de comunicación entre varias aplicaciones, permite que una aplicación abra una sesión con otra, enviar comandos al servidor de aplicaciones y recibir respuestas [15]
- **Decibeles (dB):** expresar la relación entre dos magnitudes, acústicas o eléctricas, o entre la magnitud que se estudia y una magnitud de referencia. [15]
- **Dirección IP:** es un número que identifica de manera lógica y jerárquicamente a una interfaz de un dispositivo (habitualmente una computadora) dentro de una red que utilice el protocolo IP (Internet Protocol) [8]
- **Ethernet:** es un estándar de redes de computadoras de área local. Define las características de cableado y señalización de nivel físico y los formatos de tramas de datos del nivel de enlace de datos. [15]
- **FTP:** (*File Transfer Protocol*) es un protocolo de red para la transferencia de archivos entre sistemas conectados a una red TCP, basado en la arquitectura cliente-servidor [15]

- **HTML:** acrónimo inglés de **HyperText Markup Language** (lenguaje de marcas hipertextuales), es un lenguaje de marcación diseñado para estructurar textos y presentarlos en forma de hipertexto, que es el formato estándar de las páginas Web. [8]
- **M-JPEG:** Motion-JPEG, formatos multimedia donde cada fotograma o campo entrelazado de una secuencia de vídeo digital es comprimida por separado como una imagen JPEG. [15]
- **PascaleS (Pa):** es la unidad de presión del Sistema Internacional de Unidades [15]
- **PLC:** equipo electrónico, programable en lenguaje no informático, diseñado para controlar en tiempo real y en ambiente de tipo industrial, procesos secuenciales. [15]
- **Protocolo:** conjunto de reglas que controlan la secuencia de mensajes que ocurren durante una comunicación entre entidades que forman una red. En este contexto, las entidades de las cuales se habla son programas de computadora o automatismos de otro tipo, tales y como dispositivos electrónicos capaces de interactuar en una red. [8]
- **Reflector Catadióptrico:** diseñados con una combinación de lentes y espejos curvos que permiten grandes distancias focales en un objetivo pequeño. [15]
- **SCADA:** acrónimo de Supervisory Control and Data Acquisition (en español, Control supervisor y adquisición de datos). Es una aplicación software especialmente diseñada para funcionar sobre ordenadores en el control de producción, proporcionando comunicación con los dispositivos de campo (controladores autónomos, etc.) y controlando el proceso de forma automática desde la pantalla de un computador. [15]

- **Servidor:** computadora o dispositivo en red que puede ser accedido por cualquier otra computadora autorizada en una red, esta procesa datos y envía la información solicitada. [8]
- **Stream:** es un término que describe una estrategia sobre demanda para la distribución de contenido multimedia a través del Internet. [8]
- **Switch de capa 3:** Este tipo de *switches* integran *routing* y *switching* para producir altas velocidades (medidas en millones de paquetes por segundo). Este nuevo tipo de dispositivos es el resultado de un proceso de evolución natural de las redes de área local, ya que, combinan las funciones de los *switches* capa 2 con las capacidades de los routers. [2]
- **TCP/IP:** Protocolo de Control de Transmisión (TCP) y Protocolo de Internet (IP). s un conjunto de protocolos de red en la que se basa Internet y que permiten la transmisión de datos entre redes de computadoras [15]

Apéndice A.2 Manuales de usuario

Apéndice A.2.1 Manual de uso del sistema físico

A.2.1.1 Procedimiento para programar los FEC640

Los PLC ya tienen cargados las secuencias dentro su memoria, pero si se desea volver a programarlos seguir siguientes los pasos:

1. Ejecute el programa FST4.10
2. Abra el proyecto Modulo1 para MPS de Distribución o bien Modulo9 para MPS de Clasificación. Estos proyectos se encuentran en la carpeta E :\FESTO\ProyectosMPS\
3. Establezca que tipo de comunicación se usará. Las preferencias de FST mostradas en la figura A1 se obtienen en el menú “Extras” de FST

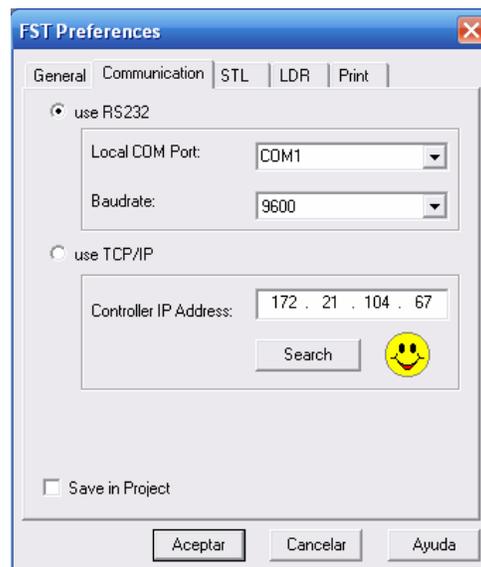


Figura A.1 Escogencia del tipo de comunicación PC -PLC.

4. Encienda las estaciones MPS.

5. Alimente el sistema neumático con una presión de 8bar

6. Si la comunicación será serial, coloque el conector RJ45 del cable de programación en la interfase serial COM del PLC y el otro extremo del cable en el puerto serie de la PC. Si se desea hacerlo por TCP/IP, conectar el cable de red cruzado a la interfase Ethernet TP del PLC.

7. Descargue el proyecto al PLC seleccionando la opción Download Project del menú Online.

NOTA: si desea programar el PLC Siemens, ejecute la aplicación Simatic Manager y abrir el proyecto ubicado en:

C:\Documents and Settings\Festo\Escritorio\Harold\Fuentes_Proyecto\Proyect_1
y seleccionar la opción “Cargar en PG” del menú “Sistema de destino”

A.2.1.2 Manipulación de las estaciones MPS

La figura A.2 muestra el panel de control de las plantas MPS.

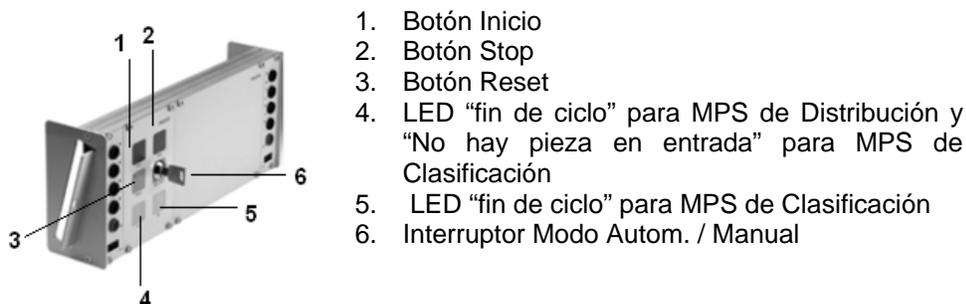


Figura A.2 Partes de la consola de control.

8. Después de encender el sistema o descargar la secuencia al PLC Festo, una pequeña luz verde se encenderá en el extremo superior izquierdo del botón Reset. Presione el Botón Reset.

9. Ahora la pequeña luz verde del botón Inicio indica que el sistema esta listo para ejecutar la secuencia programada. Presione el Botón Start.

10. Si está en modo manual, se volverá a encender la luz de Reset una vez completada la secuencia, de lo contrario, detenga el proceso con el Botón Stop.

Apéndice A.2.2 Manual de uso del sistema SCADA

1. Alimente el sistema eléctrico y neumático de las estaciones MPS.

A.2.2.1 Preparación del equipo servidor

2. Ejecute Simatic WinCC Explorer. Los pasos 1 al 5 deben hacerse antes de acceder al sistema SCADA desde algún equipo cliente de la red local.

3. Abra el proyecto ubicado en:

E:\Festo\ProyectosMPS\Ethernet\wincproj\ControlMPS\Distribución_Festo.MCP

4. Para la comunicación DDE con los PLC Festo, ejecute la aplicación IPC Data Server. Aquí se verifica si existe comunicación ya sea serial o TCP/IP con los controladores; en la figura A.3 se observa dos PLC activos en red (IPC's Active = 2) y uno por puerto serie (FPC's Active = 1)

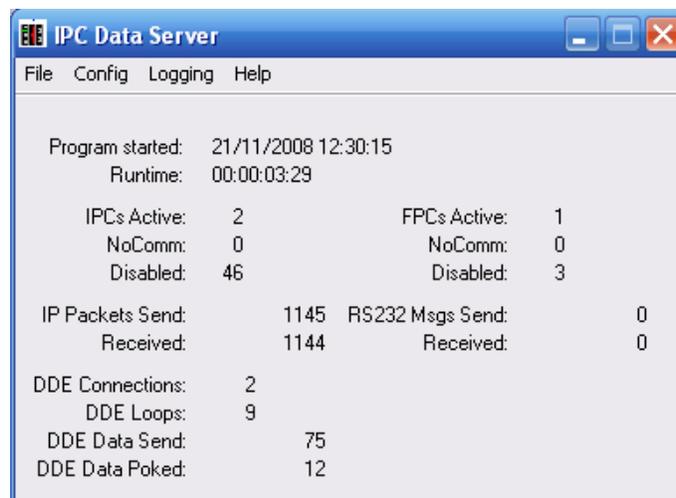


Figura A.3 Enlace DDE por comunicación serial o TCP/IP.

De realizar un enlace por red y los dispositivos no aparecen activos, utilice las aplicaciones **IPC TCP/IP Application** e **IPC Alive** de FST para detectar las direcciones IP de los PLC Festo. La figura A.4 y A.5 muestra estas dos herramientas.



Figura A.4 Detección del IPC FEC640 en la red usando IPC Alive.

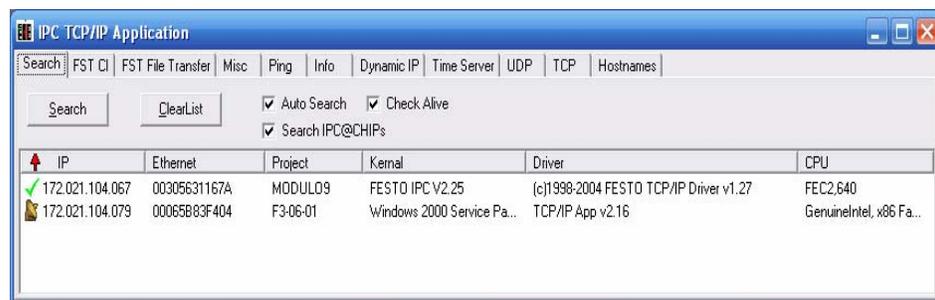


Figura A.5 Detección del PLC en la red usando IPC TCP/IP Application.

5. Ejecute la aplicación de cámara Web Yawcam desde el Escritorio. La figura A.6 muestra las opciones ofrecidas por esta aplicación. Para su configuración ver Anexo B.2.

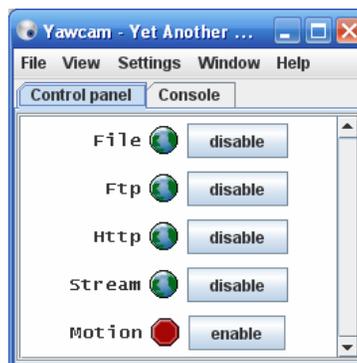


Figura A.6 Panel de control de Yawcam.

El equipo servidor debe tener ahora tres programas ejecutándose:

WinCC Explorer.exe

IPC Data Server.exe

Yawcam.exe

Cada equipo (servidor y clientes) debe tener una carpeta con archivos adicionales requeridos por el sistema SCADA, como por ejemplo el manual en línea o bien la pagina HTML que desplegará imágenes a través de la cámara Web. Deben ubicarse en C:\FESTO

A.2.2.2 Ingreso al sistema desde el servidor o cliente

6. Digite la dirección IP del servidor (<http://172.21.104.79>) en la barra de direcciones de Internet Explorer. WinCC Web Navigator V6.0 no soporta FireFox. Como se muestra en la figura A.7, se le solicitara un modo de pase, suministrado por el administrador o persona encargada del laboratorio.



Figura A.7 Solicitud de contraseña

De tener problemas al conectarse, verificar la configuración de red del servidor, ver Apéndice A.3

A.2.2.3 Manejo del Sistema SCADA

1. Elementos de la Interfaz Hombre - Maquina

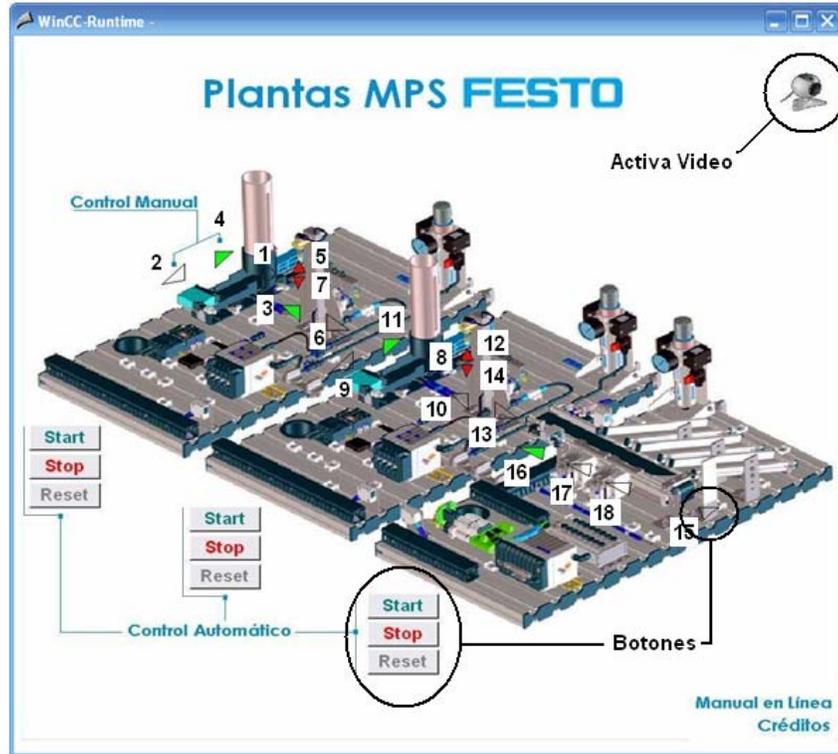


Figura A.8 Elementos del Sistema SCADA

1.1 Control Manual

En la figura anterior se observa la secuencia normal a seguir descrita a continuación:

1	2	3	4	5	6
En amarillo si hay Pieza	Expande cilindro	Mueve el brazo a la izquierda	Retrae cilindro	Succiona pieza	Mueve brazo a la derecha
7	8	9	10	11	12
Suelta pieza	En amarillo cuando pieza	Expande cilindro	Mueve el brazo a la izquierda	Retrae cilindro	Succiona pieza
13	14	15	16	17	18
Mueve brazo a la derecha	Suelta pieza	Activa banda transportadora	Quita freno	Activa separador 1	Activa separador 2

1.2 Control Automático

- a) Para dar inicio a la secuencia completa por modulo pulse **Start**
- b) Cuando desee interrumpirla pulse **Stop** y finalmente **Reset** para restablecer el sistema dejándolo listo para un siguiente ciclo.

2. Pasos para la visualización de procesos en tiempo real

- a) Seleccionar el icono de cámara Web en la parte superior derecha.
- b) Cuando aparezca la página html “Captura de video” en una nueva ventana, restáurela de manera que luzca como la siguiente figura



Figura A.9 Pagina HTML para la visualización de imágenes en tiempo real

NOTA: Si esta página se abre en una nueva pestaña:

1. Cerrar la pestaña
2. Abrir una nueva ventana de su explorador de páginas Web
3. Digitar la siguiente dirección: <http://172.21.104.79:8081/>
4. Restaurar la ventana como en la figura A.9.

c) Cerrar la consola de Comandos DOS, de lo contrario los botones del sistema SCADA no responderán.

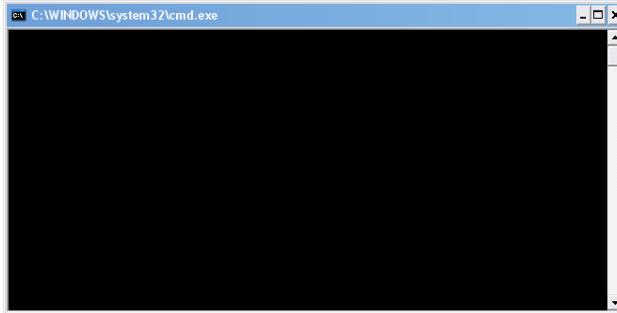


Figura A.10 Consola DOS que se ejecuta al seleccionar el icono de cámara Web

d) Ahora debe tener dos ventanas activas, el sistema SCADA y la captura de video. Para observar el video al mismo tiempo que la interfaz de la figura A.8, seguir las siguientes instrucciones:

1. Ejecute el programa Daphne cuyo icono se muestra en la siguiente figura.



Figura A.11 Icono de acceso directo a Daphne en el Escritorio

NOTA: Al ejecutarlo, aparecerá su símbolo en la barra de notificaciones



Figura A.12 Icono de Daphne en la barra de notificaciones

2. Seleccione la ventana "Captura de Video"

3. De un clic sobre el símbolo de Daphne de la barra de notificaciones, aparecerá una ventana como la de la figura A.13. Si la pagina html del video es vista desde FireFox seleccione en la lista de procesos de Daphne el proceso *firefox.exe*. O bien, *IEXPLORE.EXE* si es visitada desde Internet Explorer.

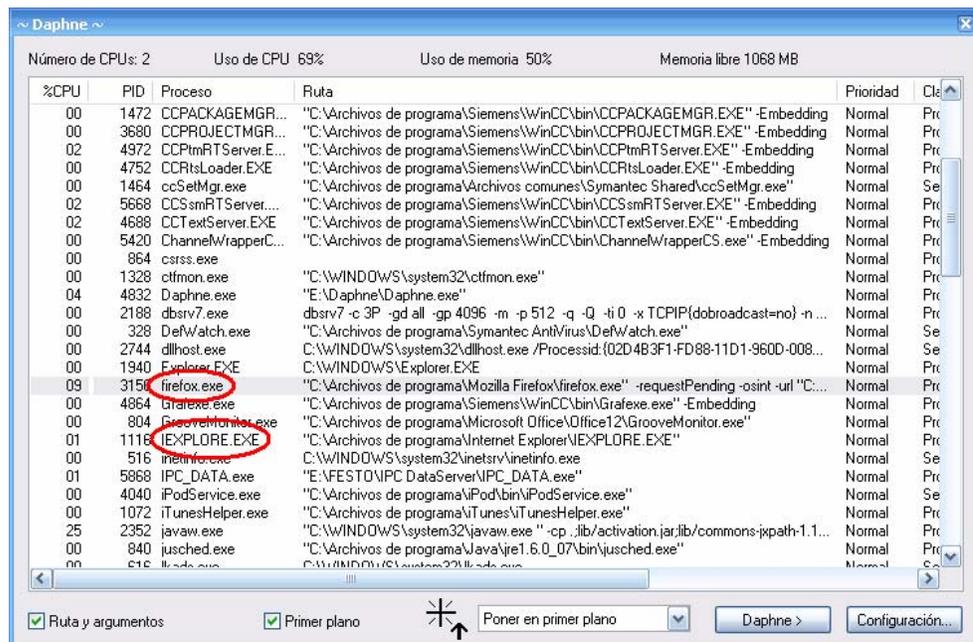


Figura A.13 Lista de procesos Windows mostrados por Daphne

4. Clic derecho sobre la selección y escoger la opción “Poner siempre en primer plano” esto le otorgará a la pagina html características de “always on top”

NOTA: Otra forma de hacer esto es:

- Escoger la opción 
- Arrastrar el símbolo  en la parte superior de la ventana “Captura de Video”

5. Cierre Daphne. Al hacer esto el programa se reduce de nuevo a su icono en la barra de notificaciones

NOTA: Repetir pasos d.1 a d.4 en caso de minimizar la ventana “Captura de Video”

6. Active la ventana donde se encuentra el sistema SACADA. Ahora debe tener en pantalla la siguiente combinación de ventanas.



Figura A.14 Sistema SCADA operacional

Apéndice A.3 Configuraciones de red del servidor

En caso de que la dirección IP de la computadora haya cambiado, configurar el protocolo de Internet (TCP/IP) como se muestra en la figura A.15.

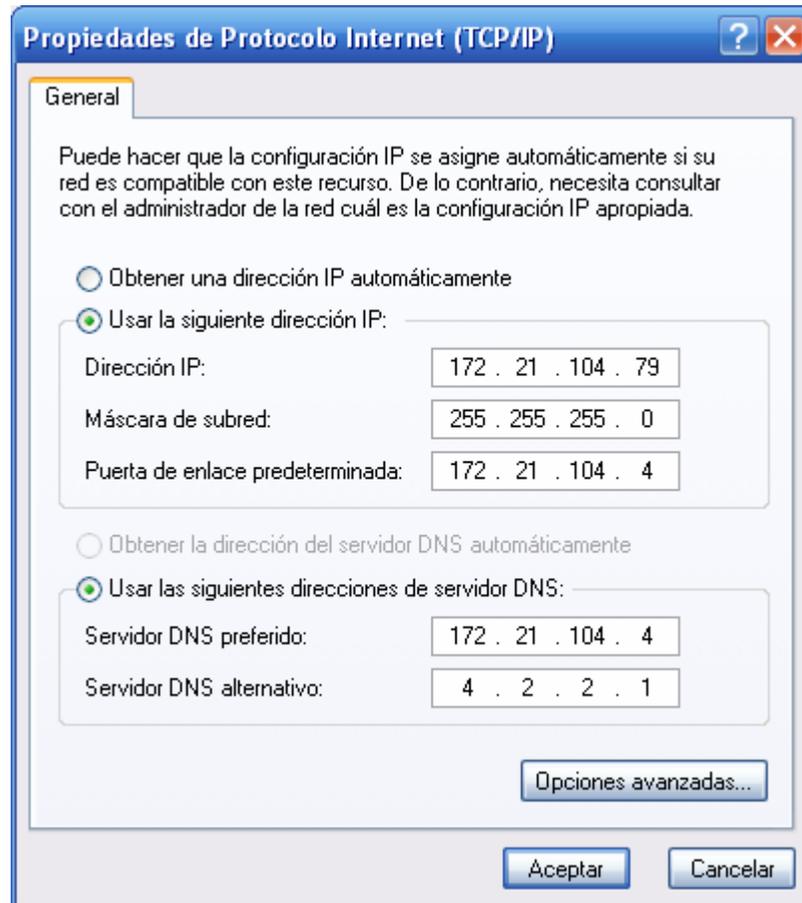


Figura A.15 Configuraciones de Protocolo Internet TCP/IP

Apéndice A.5 Rutinas de programación

Apéndice A.5.1 Modulo MPS de Distribución

```

STEP 1
IF          _3B2          'Sensor de brazo girat en sig estac
OR          _3B1          'Sensor de brazo girat. en bandeja
OR          N    _3B2          'Sensor de brazo girat en sig estac
OR          N    _3B1          'Sensor de brazo girat. en bandeja
THEN SET    _P2          'LED de boton Reset

IF          S4            'Boton de Reset
OR          ResetM1      'Reset prgm TCP/IP

THEN RESET  _P2          'LED de boton Reset
RESET      _P3          'LED de bandeja vacia
RESET      _1M1         'Mueve cilindro ini/fin de carrera
SET        _3M1         'brazo giratorio hacia bandeja
RESET      _3M2         'brazo giratorio hacia sig. estcn
RESET      _2M1         'Succion de pieza
RESET      _2M2         'Expulsion de pieza
RESET      _P4          'Luz Fin de Ciclo
RESET      InicioM1     'Inicio prgm TCP/IP
RESET      ResetM1      'Reset prgm TCP/IP
RESET      StopM1       'Stop prgm TCP/IP

STEP 2
IF          _3B1          'Sensor de brazo girat. en bandeja
THEN SET    _P1          'LED de boton de Inicio
RESET      _P2          'LED de boton Reset
JMP TO 3

STEP 3
IF          S1            'Boton de Inicio
OR          InicioM1     'Inicio prgm TCP/IP

THEN RESET  _P1          'LED de boton de Inicio
CMP 1

IF          _3B2          'Sensor de brazo girat en sig estac
THEN JMP TO 4
OTHRW JMP TO 3

STEP 4
IF          N    _B4          'Sensor de piezas
THEN CMP 3
RESET      _P3          'Retrae cilindro para sacar pieza
RESET      InicioM1     'LED de bandeja vacia
JMP TO 5
OTHRW SET   _P3          'Inicio prgm TCP/IP
JMP TO 4
OTHRW SET   _P3          'LED de bandeja vacia

STEP 5
IF          _1B1          'Sensor fin de carrera cilindro
THEN CMP 2
          'Mov hacia la izq del brazo giratr

STEP 6
IF          _3B1          'Sensor de brazo girat. en bandeja
THEN CMP 4
          'Expande cilindro a su posicion inicial

```

```

STEP 7
IF IP_FI 'Sensor de sig. estacion libre
THEN CMP 5 'Enciende aspiracion de pieza
OTHRW JMP TO 7

IF _2B1 'Indicador de pieza recogida
THEN CMP 1 'Mov hacia la der del brazo gir

STEP 8
IF _3B2 'Sensor de brazo girat en sig estac
THEN CMP 6 'Desconecta aspiracion de pieza
CMP 7 'Enciende impulso para soltar pieza

IF N _2B1 'Indicador de pieza recogida
THEN NOP

STEP 9
IF NOP
THEN CMP 8 'Apaga impulso para soltar pieza

STEP 10
IF N S3 'Interruptor modo automatico/manual
THEN JMP TO 4
OTHRW SET _P4 'Luz Fin de Ciclo
JMP TO 1

```

Apéndice A.5.2 Modulo MPS de Clasificación

```

STEP 2
IF N Reset_OK 'Reset completado
THEN SET _P2 'LED Reset
CMP 1 'Motor OFF

STEP 3
IF S4 'Boton Reset
OR ResetT 'Variable Reset TCP/IP

THEN RESET _P2 'LED Reset
RESET _P3 'LED no pieza
RESET Inicio 'variable inicio TCP/IP
RESET Parada 'Variable stop TCP/IP
RESET ResetT 'Variable Reset TCP/IP
CMP 5 'Clasificador 1 OFF
CMP 7 'Clasificador 2 OFF
CMP 3 'Freno Pieza OFF
SET IP_N_FO 'estacion ocupada

STEP 4
IF _2B1 'Sensor posicion inicial Cla2
AND _1B1 'Sensor posicion inicial Cla1
THEN SET Reset_OK 'Reset completado
SET _P1 'LED Inicio

STEP 5
IF S1 'Boton Inicio
OR Inicio 'variable inicio TCP/IP

THEN RESET _P1 'LED Inicio
RESET Reset_OK 'Reset completado

```

```

        CMP 0          'Motor ON
        CMP 2          'Freno Pieza ON
    OTHRW JMP TO 5

STEP 6
    IF                Part_AV          'No disponible
        OR            B3              'Hay pieza/ rojo

    THEN SET          IP_N_FO          'Estacion ocupada
        RESET        _P3              'LED no pieza
        RESET        Inicio           'variable inicio TCP/IP
        SET          Timer1
            WITH      0.98s
        JMP TO 7

    OTHRW SET        _P3              'LED no pieza
        JMP TO 6

STEP 7
    IF                N              Timer1
    THEN JMP TO 8
    OTHRW JMP TO 7

STEP 8
    IF                B2              'Pieza Metalica
    THEN CMP 4        'Clasificador 1 ON
    OTHRW JMP TO 12

STEP 9
    IF                _1B1           'Sensor posicion inicial Clas1

    THEN CMP 3        'Freno Pieza OFF

STEP 10
    IF                B4              'Pieza final de rampa
        OR            Part_AV        'No disponible
    THEN CMP 2        'Freno Pieza ON

STEP 11
    IF                B4              'Pieza final de rampa
    THEN CMP 5        'Clasificador 1 OFF
        JMP TO 18

STEP 12
    IF                B3              'Hay pieza/ rojo
    THEN CMP 6        'Clasificador 2 ON
    OTHRW JMP TO 16

STEP 13
    IF                _2B1           'Sensor posicion inicial Clasfcd2
    THEN CMP 3        'Freno Pieza OFF

STEP 14
    IF                B4              'Paso pieza por rampa
        OR            Part_AV        'No disponible
    THEN CMP 2        'Freno Pieza ON

STEP 15
    IF                B4              'Pieza final de rampa
    THEN CMP 7        'Clasificador 2 OFF

        JMP TO 18

```

```

STEP 16
  IF          N      B3          'Hay pieza/ rojo
  THEN CMP 3          'Freno Pieza OFF

STEP 17
  IF          B4          'Pieza final de rampa
  OR          Part_AV    'No disponible
  THEN CMP 2          'Freno Pieza ON

STEP 18
  IF          N      S3          'Modo automatico
  THEN JMP TO 6
  OTHRW JMP TO 2

```

Apéndice A.5.3 Botones de la Interfaz HMI

A.5.3.1. Cilindro

```

#include "apdefap.h"
void OnClick(char* lpszPictureName, char* lpszObjectName, char* lpszPropertyName)
{
  if (GetTagBit("Cilindro")==0)
  {
    SetTagBit("Cilindro",1);
  }
}

```

A.5.3.2. Brazo hacia la izquierda

```

#include "apdefap.h"
void OnClick(char* lpszPictureName, char* lpszObjectName, char* lpszPropertyName)
{
  if (GetTagBit("Brazo_izq")==0)
  {
    SetTagBit("Brazo_izq",1);
    SetTagBit("Brazo_der",0);
  }
  else
  {
    SetTagBit("Brazo_izq",0);
  }
}

```

A.5.3.3. Brazo hacia la derecha

```

#include "apdefap.h"
void OnClick(char* lpszPictureName, char* lpszObjectName, char* lpszPropertyName)
{
  if (GetTagBit("Brazo_der")==0)
  {
    SetTagBit("Brazo_der",1);
    SetTagBit("Brazo_izq",0);
  }
  else { SetTagBit("Brazo_der",0);
  }
}

```

A.5.3.4. Succión de pieza

```
#include "apdefap.h"
void OnClick(char* lpszPictureName, char* lpszObjectName, char* lpszPropertyName)
{
    if (GetTagBit("Succion")==0)
    {
        SetTagBit("Succion",1);
    }
}
```

A.5.3.5. Pulso expulsión de pieza

```
#include "apdefap.h"
void OnClick(char* lpszPictureName, char* lpszObjectName, char* lpszPropertyName)
{
    if (GetTagBit("Expulsion")==0)
    {
        SetTagBit("Succion",0);
        SetTagBit("Expulsion",1);
    }
    else
    {
        SetTagBit("Expulsion",0);
    }
}
```

A.5.3.6. Inicio, MPS Distribución

```
#include "apdefap.h"
void OnClick(char* lpszPictureName, char* lpszObjectName, char* lpszPropertyName)
{
    if (GetTagBit("InicioTP1")==0)
    {
        SetTagBit("InicioTP1",1);
    }
}
```

A.5.3.7. Stop, MPS Distribución

```
#include "apdefap.h"
void OnClick(char* lpszPictureName, char* lpszObjectName, char* lpszPropertyName)
{
    if (GetTagBit("StopTP1")==0)
    {
        SetTagBit("StopTP1",1);
    }
}
```

A.5.3.8. Reset, MPS Distribución

```
#include "apdefap.h"
void OnClick(char* lpszPictureName, char* lpszObjectName, char* lpszPropertyName)
{
    if (GetTagBit("ResetTP1")==0)
    {
        SetTagBit("ResetTP1",1);
    }
}
```

A.5.3.9. Tope piezas, MPS Clasificación

```
#include "apdefap.h"
void OnClick(char* lpszPictureName, char* lpszObjectName, char* lpszPropertyName)
{
    if (GetTagBit("Salida3")==0)
    {
        SetTagBit("Salida3",1);
    }
    else
    {
        SetTagBit("Salida3",0);
    }
}
```

A.5.3.10. Separador 1

```
#include "apdefap.h"
void OnClick(char* lpszPictureName, char* lpszObjectName, char* lpszPropertyName)
{
    if (GetTagBit("Salida1")==0)
    {
        SetTagBit("Salida1",1);
    }
    else
    {
        SetTagBit("Salida1",0);
    }
}
```

A.5.3.11. Separador 2

```
#include "apdefap.h"
void OnClick(char* lpszPictureName, char* lpszObjectName, char* lpszPropertyName)
{
    if (GetTagBit("Salida2")==0)
    {
        SetTagBit("Salida2",1);
    }
    else { SetTagBit("Salida2",0);
    } }
}
```

A.5.3.12. Motor

```
#include "apdefap.h"
void OnClick(char* lpszPictureName, char* lpszObjectName, char* lpszPropertyName)
{
    if (GetTagBit("Salida0")==0)
    {
        SetTagBit("Salida0",1);
    }
    else
    {
        SetTagBit("Salida0",0);
    }
}
```

A.5.3.13. Inicio, MPS Clasificación

```
#include "apdefap.h"
void OnClick(char* lpszPictureName, char* lpszObjectName, char* lpszPropertyName)
{
    if (GetTagBit("InicioTP")==0)
    {
        SetTagBit("InicioTP",1);
    }
}
```

A.5.3.14. Stop, MPS Clasificación

```
#include "apdefap.h"
void OnClick(char* lpszPictureName, char* lpszObjectName, char* lpszPropertyName)
{
    if (GetTagBit("StopTP")==0)
    {
        SetTagBit("StopTP",1);
    }
}
```

A.5.3.15. Reset, MPS Clasificación

```
#include "apdefap.h"
void OnClick(char* lpszPictureName, char* lpszObjectName, char* lpszPropertyName)
{
    if (GetTagBit("ResetTP")==0)
    {
        SetTagBit("ResetTP",1);
    }
}
```

A.5.3.16. Inicio captura video

```
#include "apdefap.h"
void OnClick(char* lpszPictureName, char* lpszObjectName, char* lpszPropertyName)
{
    system("C:\\FESTO\\video.html");
}
```

Apéndice A.5.4 Stream de la cámara Web

```
<DOCTYPE>
<html>

<head>
<title>Captura de Video</title>

<style type="text/css">
.heading {color: #0099ff;}
</style>

<meta equiv="Content-Type" content="text/html; charset=iso-8859-1">
</head>

<body>
<div align="center">

<p class="heading"><font size="5" face="Verdana, Arial, Helvetica, sans-
serif"><strong><font size="5" face="Verdana, Arial, Helvetica, sans-serif">Acceso Remoto
MPS FESTO<font color="#2E9AFE"></f></font></strong> </p>

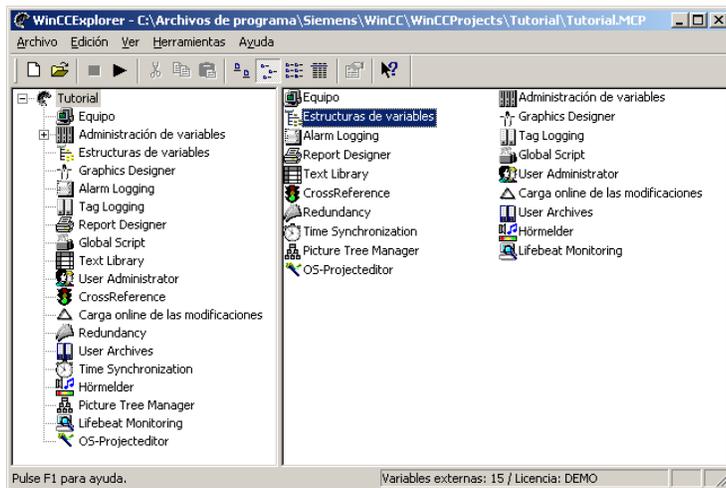
<p><font size="2"><a href="http://172.21.104.79:8081/">Activar Video</a></font></p>
</body>
</html>
```

Anexos

Anexo B.1 Windows DDE para WinCC [10]

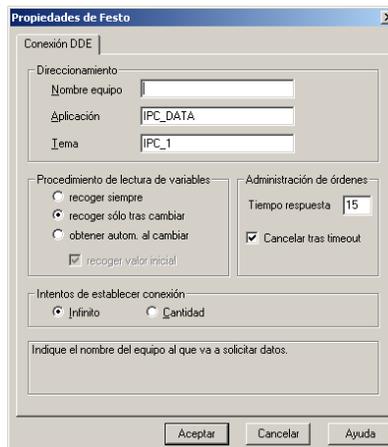
Anexo B.1.1 Configuración driver de comunicación WinCC

1. Abra el Windows Control Center, cree un nuevo proyecto para estación mono puesto.



2. Clic derecho sobre *Administración de variables* y luego *Agregar nuevo driver*, busque el archivo “windows dde.chn” y haga clic en abrir.

3. Ahora haga clic derecho sobre DDE en WINDOWS DDE y seleccione *Nueva conexión*, dele un nombre (Festo) y seleccione *Propiedades*. Llena los siguientes campos como se muestra en la figura.



Recuerde que si esta conectado por medio del puerto serie, debe de escribir FPC en vez de IPC.

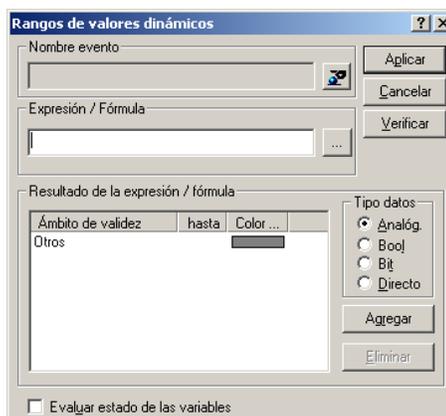
Anexo B.1.2 Creación de variables

4. Luego sobre la conexión (Festo), con clic derecho seleccione (*Variable nueva*). Seleccione un nombre (Ent1), tipo de datos binario y luego haga clic en *seleccionar*, en el nombre de variable escriba “E0.0” y tipo de datos BOOL.

5. Siga el procedimiento anterior para agregar otras entradas que desee. Para agregar salidas, siga el mismo procedimiento pero en el nombre de variable escriba “A” en vez de “E”. También puede agregar la palabra completa de entradas o salidas, escribiendo “EW..”.

Anexo B.1.3 Creación de pantallas.

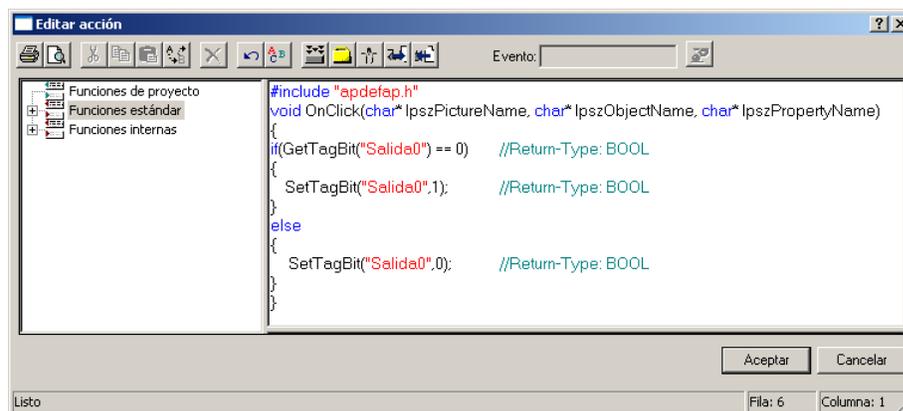
6. En el WinCCExplorer, clic derecho en “*Graphics Designer*”, y seleccione *Nueva Imagen*. Haga doble clic en la nueva imagen, recientemente creada y se abra el editor grafico de winCC. En la barra derecha agregue un circulo, luego clic derecho propiedades y posteriormente seleccione la opcion “Colores”. En color de fondo haga clic derecho, sobre el bombillo y luego “*Cuadro de dialogo dinamico*”. Aparece la siguiente ventana:



7. En los puntos suspensivos haga clic y seleccione *Variable*. Luego busque según la jerarquía la variable que se creo y que llamamos Ent1, seleccione y haga clic en *Aceptar*.

8. En tipo de datos haga clic en *Bool*, y seleccione dos colores para la variable, de modo que uno aparecerá para On y otro para Off. Seleccione Aplicar

9. Ahora arrastre desde objetos de windows un botón. Asígnele un texto y haga clic en *Aceptar*. Luego clic derecho, configuración y luego Evento. En evento Ratón, clic del ratón. Y sobre el bombillo clic derecho y "Acción C". Deje el cuadro de dialogo como el que se muestra a continuación:



10. Ejecute la aplicación y debe de poder monitorear una entrada y escribir una salida.

Anexo B.2 Configuración de YAWCAM [8]

- 1) Instale el Software: Si no dispone del archivo instalador, descárguelo del sitio www.yawcam.com
- 2) Ejecute el programa yawcam.exe y en la pestaña de configuración elija editar configuración. Debe de haber abierto la ventana de “configuración”.
- 3) Para configurar el puerto de red de salida de la webcam, en la categoría *Salida/Stream* Escriba el puerto “8081”
- 4) Para que inicie el stream de la webcam, en la categoría *Inicio* habilite únicamente la opción “Iniciar Stream” y deshabilite la opción de “Comprobar Nuevas versiones”
- 5) Pulse el botón aceptar para cerrar la ventana de configuración
- 6) Para que el programa no se muestre en la barra de programas, en la pestaña de *ver* se debe habilitar la opción de “ocultar al iniciar”
- 7) Para hacer que el programa inicie automáticamente al iniciar Windows copie un acceso directo del archivo yawcam.exe en “C:\Documents and Settings\All Users\Start Menu”

Anexo B.3 Notación de operandos para las variables en WinCC [14]

IEC	SIMATIC	Description	Data Type	Address Range
I	E	Input bit	BOOL	0.0 to 65535.7
IB	EB	Input byte	BYTE, CHAR	0 to 65535
IW	EW	Input word	WORD, INT, S5TIME, DATE	0 to 65534
ID	ED	Input double word	DWORD, DINT, REAL, TOD, TIME	0 to 65532
Q	A	Output bit	BOOL	0.0 to 65535.7
QB	AB	Output byte	BYTE, CHAR	0 to 65535
QW	AW	Output word	WORD, INT, S5TIME, DATE	0 to 65534
QD	AD	Output double word	DWORD, DINT, REAL, TOD, TIME	0 to 65532
M	M	Memory bit	BOOL	0.0 to 65535.7
MB	MB	Memory byte	BYTE, CHAR	0 to 65535
MW	MW	Memory word	WORD, INT, S5TIME, DATE	0 to 65534
MD	MD	Memory double word	DWORD, DINT, REAL, TOD, TIME	0 to 65532
PIB	PEB	Peripheral input byte	BYTE, CHAR	0 to 65535
PQB	PAB	Peripheral output byte	BYTE, CHAR	0 to 65535
PIW	PEW	Peripheral input word	WORD, INT, S5TIME, DATE	0 to 65534
PQW	PAW	Peripheral output word	WORD, INT, S5TIME, DATE	0 to 65534
PID	PED	Peripheral input double word	DWORD, DINT, REAL, TOD, TIME	0 to 65532
PQD	PAD	Peripheral output double word	DWORD, DINT, REAL, TOD, TIME	0 to 65532
T	T	Timer	TIMER	0 to 65535
C	Z	Counter	COUNTER	0 to 65535
FB	FB	Function block	FB	0 to 65535
OB	OB	Organization block	OB	1 to 65535
DB	DB	Data block	DB, FB, SFB, UDT	1 to 65535
FC	FC	Function	FC	0 to 65535
SFB	SFB	System function block	SFB	0 to 65535
SFC	SFC	System function	SFC	0 to 65535
VAT	VAT	Variable table		0 to 65535
UDT	UDT	User-defined data type	UDT	0 to 65535