

**Instituto Tecnológico de Costa Rica
Escuela de Ingeniería en Electrónica**



Control y monitoreo de una Estación de Distribución MPS®

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

Harold Villalobos Arias

Cartago, Agosto del 2008

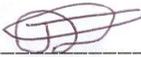
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
PROYECTO DE GRADUACIÓN
TRIBUNAL EVALUADOR

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.

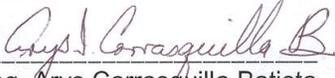
Miembros del Tribunal



Ing. Marvin Hernández Cisneros
Profesor lector



Ing. José David Gómez Tamez
Profesor lector



Ing. Arys 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, Agosto del 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, Agosto del 2008

A handwritten signature in blue ink that reads "Harold Villalobos Arias". The signature is written in a cursive style and is positioned above a horizontal line.

Harold Villalobos Arias
Céd: 6-0339-0065

Resumen

La planta (Estación de Distribución FESTO), adquirida por el laboratorio LIRA, carecía de un sistema de control y monitoreo que permitiera su utilización en la enseñanza de técnicas basadas en mecatrónica. Surgió entonces, la necesidad de desarrollar una herramienta con fines didácticos, por medio de la cual se controlara los dispositivos de la Estación de Distribución y permitiera el acceso remoto a la misma. El sistema adquirido se compone de actuadores neumáticos, controlados por un PLC (Controlador de lógica programable, por sus siglas en inglés). El sistema neumático es alimentado a través de un compresor a una presión de 8 bares.

Como solución al problema mencionado, se diseñó una interfaz usuario-máquina que permite el acceso a los módulos de la planta. Además, se implementó un sistema SCADA (Control de supervisión y adquisición de datos, por sus siglas en inglés), el mismo permite al usuario interactuar con los actuadores y sensores del sistema físico. La herramienta diseñada cuenta con la modalidad de control manual/automático; en el modo automático, la secuencia de proceso se repite hasta que no hayan piezas que distribuir y en manual, la secuencia de proceso se activa solo una vez. El sistema puede ser controlado de tres formas: mediante el sistema SCADA, a través de un panel de control localizado en la planta y por medio de un navegador web que permite el acceso remoto a la estación.

En el presente documento se muestra la descripción detallada del diseño del proyecto.

Palabras claves: *FESTO, Estación de Distribución MPS®, PLC, RTU, WinCC, SCADA, HMI.*

Summary

The system (FESTO Distributing Station), which was bought by the LIRA laboratory, lacked of a control and monitoring system to be used in teaching techniques based on mechatronics. Emerged then, the need to develop a tool for teaching purposes, through which, the Station can be controlled and accessed remotely. The developed system consists of pneumatic actuators, controlled by a PLC (programmable logic controller); the pneumatic system works with a compressor at a pressure of 8 bars.

As a solution to the problem mentioned, it was designed an user-machine interface that allows access to the modules of the Station. In addition, a SCADA (supervisory control and data acquisition), was implemented, it allows the user to interact with the sensors and actuators of the physical system. The tool designed has two working modes (automatic/manual), in the automatic mode, the sequence process is repeated until there weren't pieces in the container and in manual mode, the sequence is activated only once. The system can be controlled in three ways: through the SCADA, through a control panel located on the Station and through a web browser that allows remote access to the Station.

The present document shows a detailed description of the designed project.

Keywords: *FESTO, Distributing Station MPS®, PLC, RTU, WinCC, SCADA, HMI.*

Dedicatoria

A Dios, que ha sido mi fortaleza y si algo tengo en la vida y si algo soy se lo debo a El.

A mis padres, quienes han sido mi ejemplo y siempre me han apoyado en cada cosa que he emprendido.

Agradecimiento

Agradezco a mis abuelos, quienes me brindaron su abrigo durante mi formación académica

Agradezco a cada profesor de la escuela de Ingeniería Electrónica del que fui alumno, gracias por formar nuestro carácter.

ÍNDICE GENERAL

Capítulo 1: Introducción	11
1.1 Proyección de la estación de distribución en el LIRA.....	12
1.2 Herramienta didáctica de control y monitoreo	12
Capítulo 2: Meta y objetivos.....	14
2.1 Meta	14
2.2 Objetivo.....	14
2.3 Objetivos específicos	14
Capítulo 3: Marco teórico	15
3.1 Descripción de la Estación de distribución Festo	15
3.2 Generalidades de la programación en Step7	15
3.3 Generalidades de la programación en WinCC	21
3.4 Aspectos que se mejoraron con el proyecto diseñado.....	24
Capítulo 4: Procedimiento Metodológico.....	26
4.1 Reconocimiento del problema.....	26
4.2 Enfoque de la investigación bibliográfica	26
4.3 Evaluación y determinación de la propuesta de diseño.	26
Capítulo 5: Implementación de la herramienta didáctica.....	28
5.1 Descripción del hardware.....	28
Capítulo 6: Análisis de Resultados.....	32
6.1 Descripción del software desarrollado en Step 7.	32
6.1.1 Módulo de Reset	34
6.1.2 Módulo de Stop	34
6.1.3 Módulo del Brazo giratorio.....	35
6.1.4 Módulo del cilindro expulsor	36
6.1.5 Módulo de succión y expulsión.....	37
6.1.6 Módulo de secuencia completa de proceso	38
6.2 Descripción del software desarrollado en WinCC	40
6.3 Análisis de la implementación de la herramienta	42
Capítulo 7: Conclusiones y recomendaciones	46
7.1 Conclusiones.	46
7.2 Recomendaciones	47
Bibliografía	48
Apéndices	50
A.1 Glosario, abreviaturas y simbología	50
A.2 Manual de usuario.....	51
A.3 Programas de control diseñados en Step7.	54
A.3 Programas de control diseñados en Step7.	54
Anexos	64
Anexo B.1 Regulador de entrada neumática	64
Anexo B.2 Terminal de válvulas	66
Anexo B.3 Cilindro expulsor.	72
Anexo B.4 HOJA DE INFORMACIÓN DEL PROYECTO	74
Anexo B.5 CARTA DE ENTENDIMIENTO	75

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Estación de Distribución FESTO.....	11
Figura 1.2. Diagrama general de la solución.....	12
Figura 3.1. Tareas básicas que se deben realizar en la mayoría de los proyectos desarrollados en Step 7	16
Figura 3.2. Herramientas incluidas en el Step 7.....	17
Figura 3.3. Administrador SIMATIC	18
Figura 3.4. Explorador de WinCC	22
Figura 5.1. Terminal de válvulas electro-neumáticas y sensor de posición	29
Figura 5.2. Depósito y cilindro expulsor.	29
Figura 5.3. Succionador y brazo giratorio	30
Figura 5.4. Panel de control manual	31
Figura 5.5. PLC y conexiones a la planta y al panel de control.....	31
Figura 6.1. Diagrama de flujo del módulo de movilización del brazo.	35
Figura 6.2. Diagrama de flujo del módulo de movilización del cilindro expulsor.	36
Figura 6.3. Diagrama del módulo de expulsión y succión.....	37
Figura 6.4. Diagrama de flujo del módulo de secuencia completa.	39
Figura 6.5. Sistema SCADA en WinCC.	40
Figura 6.6. Sistema SCADA en WebNavigator de WinCC.....	41
Figura 6.7. Principales módulos controlados por el RTU.	43
Figura A.1. Sistema de control de la planta.	51
Figura A.2. Diagrama del módulo de reset.....	54
Figura A.3. Diagrama del módulo de parada de emergencia.....	55
Figura A.4. Diagrama del módulo de movilización del brazo.	57
Figura A.5. Diagrama del módulo de movilización del cilindro expulsor.....	59
Figura A.6. Diagrama del módulo de expulsión y succión.....	61
Figura A.7. Diagrama del módulo de secuencia completa.	63

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 6.1. Variables utilizadas en los módulos desarrollados en Step 7.....	33
---	----

Capítulo 1: Introducción

El laboratorio LIRA adquirió una estación MPS® Festo, la misma es parte de un proceso que involucra varias estaciones, ésta se encarga de distribuir hacia la siguiente estación, fichas almacenadas en un depósito. El sistema se compone de actuadores neumáticos y sensores para monitorizar los procesos que se llevan a cabo.

Con el fin de utilizar el equipo adquirido en la enseñanza, se desarrolló una herramienta didáctica de control y monitoreo. El proyecto fue enfocado en darle al usuario (profesor y estudiante), la posibilidad de manipular y monitorizar cada subsistema de la planta para así probar y demostrar aplicaciones de la mecatrónica en sistemas de control. En la Figura 1.1 se muestra una fotografía de la planta.

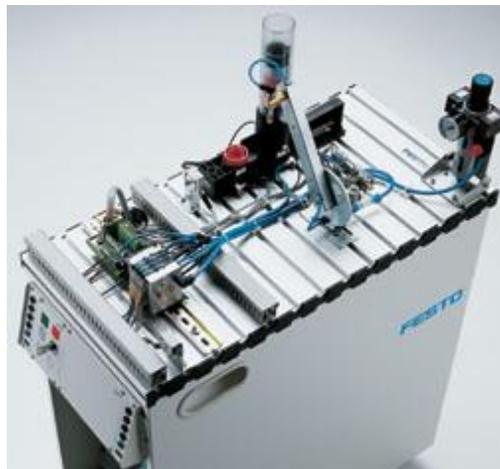


Figura 1.1. Estación de Distribución FESTO [2].

1.1 Proyección de la estación de distribución en el LIRA.

La Estación de Distribución MPS® fue adquirida con la finalidad de utilizarla en la enseñanza de técnicas basadas en mecatrónica, pero se necesita de un programa que facilite al profesor y estudiante el control y manipulación de la misma. Aunque dicha estación es solo parte de todo un proceso que involucra varias estaciones, ejemplifica el uso de la electrónica en controles neumáticos y mecánicos.

Surge la necesidad de desarrollar una herramienta con fines didácticos, la cual permita controlar los dispositivos de la Estación de distribución FESTO y además el acceso remoto a la misma.

1.2 Herramienta didáctica de control y monitoreo

La solución concentra distintas disciplinas, dado que el sistema es electro-neumático y además la herramienta se enfoca al área didáctica.

En la Figura 1.2 se muestra el diagrama general del enfoque de la solución.

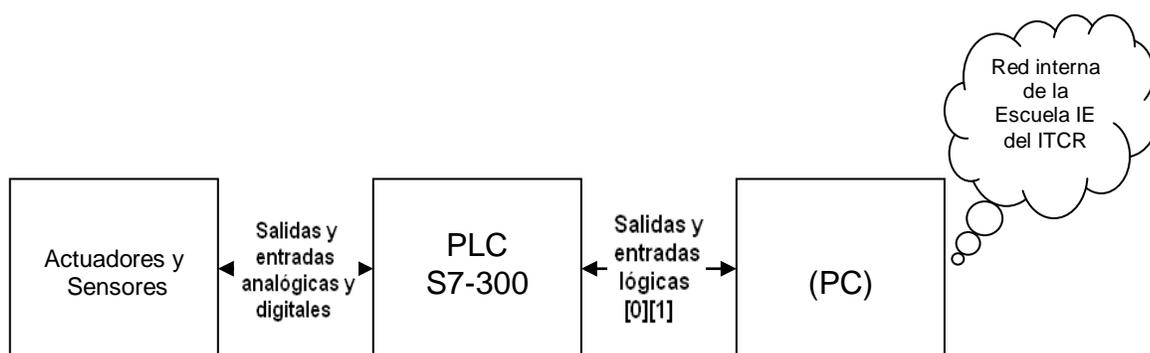


Figura 1.2. Diagrama general de la solución.

Las variables del sistema: actuadores y sensores, se controlaron por medio de un PLC S7-300, el cual a su vez envía señales de los sensores y recibe señales de control del programa en WinCC (instalado en la PC), este programa sirve de interfaz entre el usuario y el sistema; en esta herramienta gráfica se presentan las señales monitorizadas del sistema y permite al usuario generar ordenes de control que se ejecutan en la estación. La misma interfaz en WinCC y sus funcionalidades se presentan en una página Web, esto para el acceso remoto a la herramienta.

Los actuadores son de tipo neumático, entre estos se encuentra: el brazo giratorio, el cilindro expulsor y el sistema de succión; los mismos son controlados por medio de un sistema de válvulas.

El estado de los actuadores se monitoriza a través de sensores. La posición del brazo se determina por sensores tipo interruptor ubicados en la base del mismo, la posición del cilindro expulsor se mide por medio de un sensor de posición sensible a un magneto permanente montado en el cilindro y la existencia de piezas en el depósito se determina por medio de sensores de fibra óptica.

En los siguientes capítulos se describe las etapas de desarrollo. El Capítulo 2 cita la meta y los objetivos que se quieren alcanzar con este proyecto, en el Capítulo 3 se presenta el proceso de investigación teórica llevada a cabo para el desarrollo del sistema, el Capítulo 4 cita las etapas realizadas para el diseño de la herramienta, en el Capítulo 5 se describirán los sistemas físicos de la planta y la descripción del software y el análisis del proyecto, se expone en el Capítulo 6.

Capítulo 2: Meta y objetivos

2.1 Meta

Utilización por parte del profesor, de la herramienta didáctica desarrollada en la enseñanza de mecatrónica.

2.2 Objetivo

Diseñar una herramienta didáctica enfocada en el área de la mecatrónica, que permita controlar y monitorizar la Estación de Distribución (MPS®), en forma remota 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 y el monitoreo de los sensores de la planta en forma individual.

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.

Capítulo 3: Marco teórico

3.1 Descripción de la Estación de distribución Festo

La planta MPS® (Sistema de Producción Modular, por sus siglas en inglés), es parte de un sistema didáctico creado por FESTO. Este sistema está constituido por partes eléctricas neumáticas y mecánicas, todos los subsistemas se gobiernan a través de un PLC S7-300, incluido en la MPS®.

La función del sistema es dispensar y distribuir unos objetos tipo fichas hacia la siguiente planta MPS®. El proceso comienza en un depósito, donde se almacenan hasta ocho piezas, luego un cilindro las expulsa una por una para posteriormente ser transportadas a la siguiente estación por medio de un actuador giratorio. El actuador giratorio, puede ser posicionado en un rango de 0 a π radianes [1]. La planta cuenta con un sensor óptico para determinar la existencia de fichas en el depósito.

La entrada neumática (La información correspondiente a este módulo se presenta en el Anexo B.1), se alimenta por medio de un compresor de aire el cual, a su vez es alimentado con una tensión de 220V y genera una presión limitada por una válvula a 8 bares (600 kPa). La planta funciona con una presión de 600 kPa, una alimentación de 24 V, cuenta con 7 entradas y 5 salidas digitales [1].

3.2 Generalidades de la programación en Step7

De manera estándar, la aplicación utilizada para programar y configurar los sistemas SIMATIC de Siemens es el Step 7, este es un sistema robusto que implementa todas las herramientas necesarias para el desarrollo de sistemas de automatización con los PLC de Siemens. En esta sección se da una breve

reseña del sistema Step 7. La información presentada fue retribuida del documento señalado como [9] en la bibliografía.

En la elaboración de proyectos con Step 7, se tiene como buena práctica, seguir los pasos citados en la Figura 3.1.

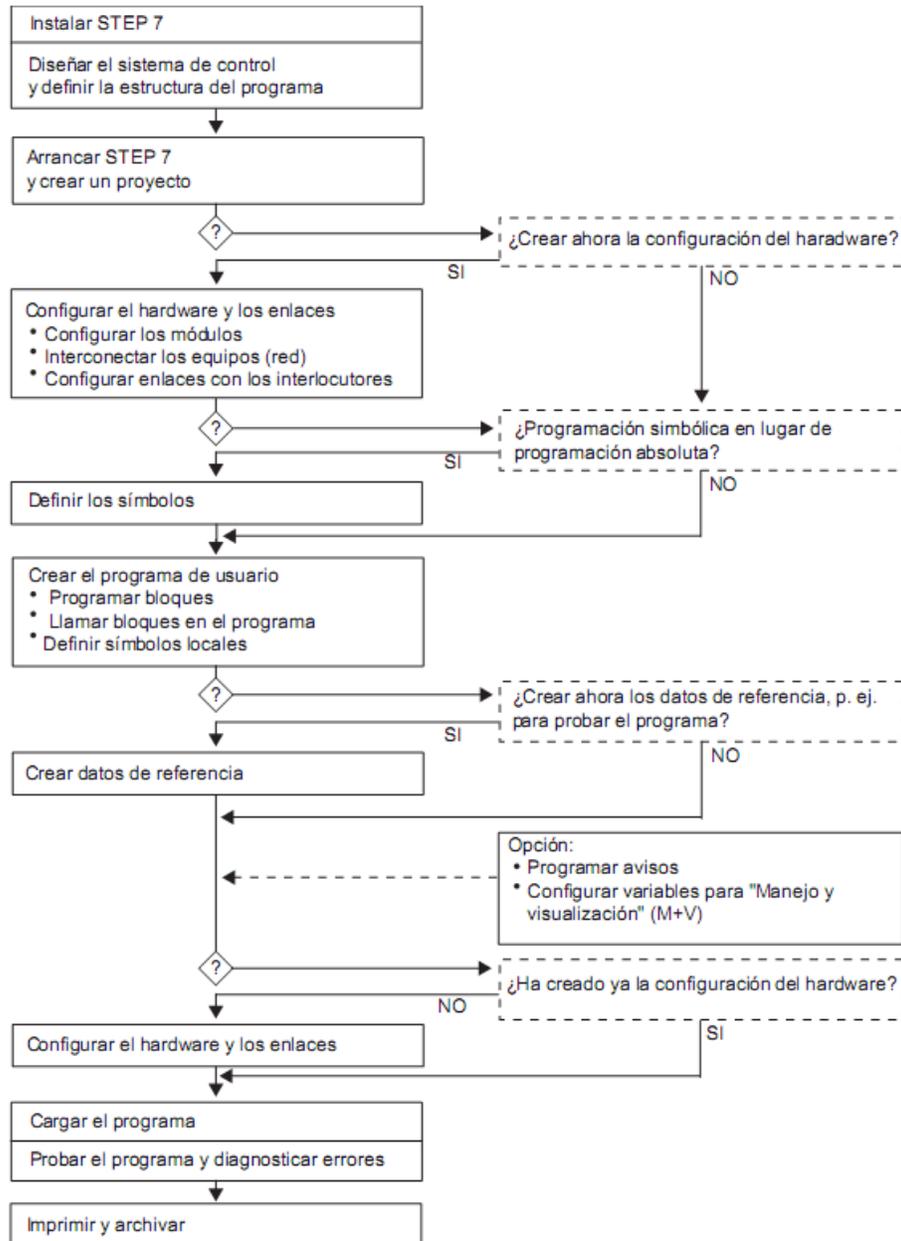


Figura 3.1. Tareas básicas que se deben realizar en la mayoría de los proyectos desarrollados en Step 7 (Tomada de [9]).

La explicación de cada paso que menciona la Figura 3.1 se sale de los alcances deseados de este documento, como referencia, en la documentación citada al inicio de esta sección se puede encontrar una descripción detallada de cada paso.

Los lenguajes de programación SIMATIC integrados en STEP 7 cumplen con la norma DIN EN 6.1131-3. El software estándar se ejecuta bajo los sistemas operativos MS Windows 2000 Professional y XP [9].

El sistema Step 7 cuenta con una serie de herramientas, las cuales se utilizaron a lo largo del desarrollo del proyecto, la Figura 3.2 presenta dichas herramientas.

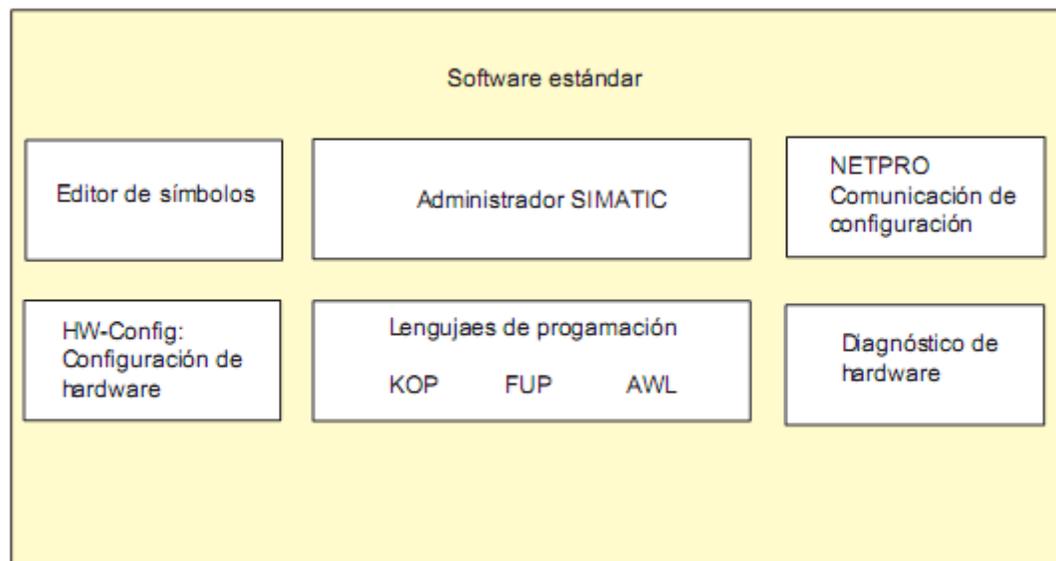


Figura 3.2. Herramientas incluidas en el Step 7 (Tomada de [9]).

A continuación se describen las herramientas que fueron de mayor relevancia para el desarrollo del sistema didáctico:

a. Administrador SIMATIC:

A través de esta herramienta se controlan todos los datos y sistemas que corresponden al proyecto. El Administrador inicializa todas las herramientas necesarias de gestión para tratar dichos datos. En la Figura 3.3 se muestra el Administrador SIMATIC.

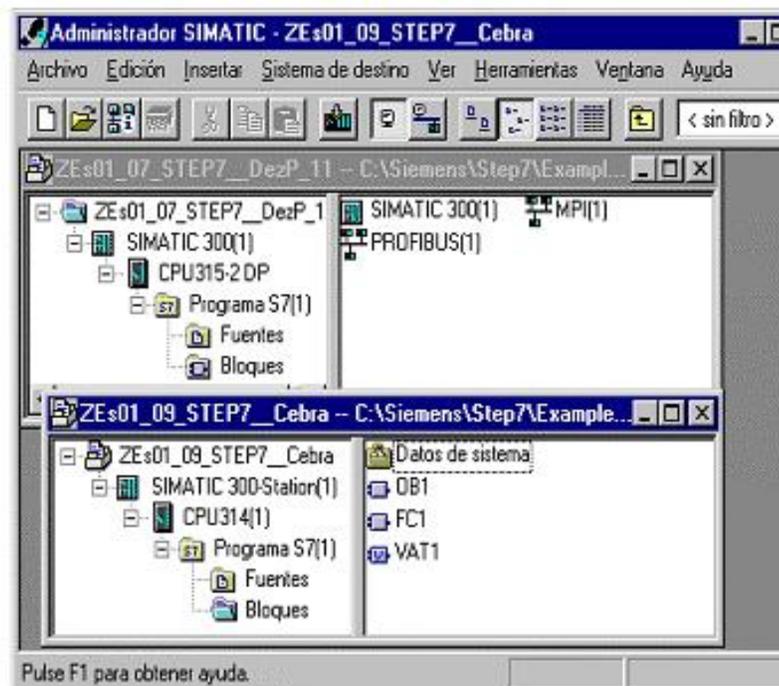


Figura 3.3. Administrador SIMATIC, (Tomada de [9]).

b. Editor de símbolos:

En esta herramienta se crean y gestionan las variables globales del sistema, se dispone de la siguientes funciones [9]:

- Definir nombres simbólicos y comentarios para las señales del proceso (entradas y salidas), las marcas y los bloques.

- Funciones de ordenación.
- Importación/exportación de/hacia otros programas de Windows.

Las variables en la tabla de símbolos pueden ser accedidas por todas las herramientas del Step 7, así que, cada una carga la actualización de los cambios hechos en dicha tabla.

c. Lenguajes de programación:

- KOP (esquema de contactos, por sus siglas en inglés), es un lenguaje de programación gráfico. KOP utiliza elementos similares al esquema de circuitos tales como contactores normalmente abiertos y normalmente cerrados, a la vez estos se agrupan en segmentos. Los segmentos constituyen el área de instrucciones de un bloque lógico en Step 7. KOP fue el lenguaje seleccionado para la implementación del proyecto.
- AWL (lista de instrucciones, por sus siglas en inglés), es un lenguaje de programación textual orientado a la máquina. En un programa creado en AWL, las instrucciones equivalen en gran medida a los pasos con los que la CPU (Unidad central de proceso, por sus siglas en inglés) ejecuta el programa. Para facilitar la programación, AWL se ha ampliado con estructuras de lenguajes de alto nivel (tales como accesos estructurados a datos y parámetros de bloques) [9].
- FUP (diagrama de funciones, por sus siglas en inglés), es un lenguaje de programación gráfico que utiliza los cuadros del álgebra booleana para representar la lógica. Asimismo, permite representar funciones complejas (p.ej. funciones matemáticas) mediante cuadros lógicos [9].

d. HW-Config: Configuración del hardware:

Esta herramienta permite configurar el hardware implementado en el proyecto, tal como el procesador y los módulos involucrados (Entrada, Salida, entre otros). A continuación se describen las funciones con las que cuenta la herramienta de configuración de Hardware [9].

- Para configurar el sistema de automatización, se eligen primero los bastidores (racks) de un catálogo electrónico y luego se asignan los módulos seleccionados a los slots de los bastidores.
- La configuración de la periferia descentralizada se efectúa del mismo modo. También se asiste la periferia canal a canal (granular).
- Al parametrizar la CPU se pueden ajustar mediante menús, propiedades tales como el comportamiento en el arranque y la vigilancia del tiempo de ciclo. Los datos introducidos se depositan en bloques de datos del sistema.
- Al configurar los módulos, todos los datos se pueden ajustar en cuadros de diálogo. No es preciso efectuar ajustes mediante los interruptores DIP. La parametrización de los módulos se efectúa automáticamente durante el arranque de la CPU. Por consiguiente se puede por ejemplo, sustituir un módulo sin necesidad de repetir la parametrización.
- La parametrización de módulos de función (FM) y de procesadores de comunicaciones (CP) se efectúa con la misma herramienta de configuración del hardware de forma idéntica a como se parametrizan los demás módulos. Para los FM y CP se dispone de cuadros de diálogo específicos de los módulos (que forman parte del volumen de suministro del paquete de funciones FM/CP). El sistema impide que se efectúen entradas incorrectas, ya que los cuadros de diálogo sólo ofrecen las entradas admisibles.

e. NetPro:

Esta herramienta posibilita la comunicación entre el PLC y el Step 7, lo cual permite [9]:

- Seleccionar las estaciones que intervienen en la comunicación.
- Introducir la fuente y el destino de los datos en una tabla. La creación de todos los bloques a cargar (SDB) y su transferencia completa a todas las CPUs, se efectúa de forma automática.
- Además, existe la posibilidad de transferir los datos de forma controlada por eventos, pudiéndose:
 - i. Definir los enlaces de comunicación.
 - ii. Seleccionar los bloques de comunicación o de función de la librería de bloques integrada.
 - iii. Parametrizar en el lenguaje de programación habitual y los bloques de comunicación o de función seleccionados.

3.3 Generalidades de la programación en WinCC

WinCC es una herramienta de Siemens para el desarrollo de sistemas SCADA. Un sistema SCADA es un programa que permite la supervisión, adquisición y tratamientos de datos que provienen de un proceso.

Al igual que el Step 7, el WinCC posee un Explorador que representa el acceso a todas las opciones que incorpora como sistema de desarrollo para visualización de procesos, en la Figura 3.4 se muestra el Explorador de WinCC.

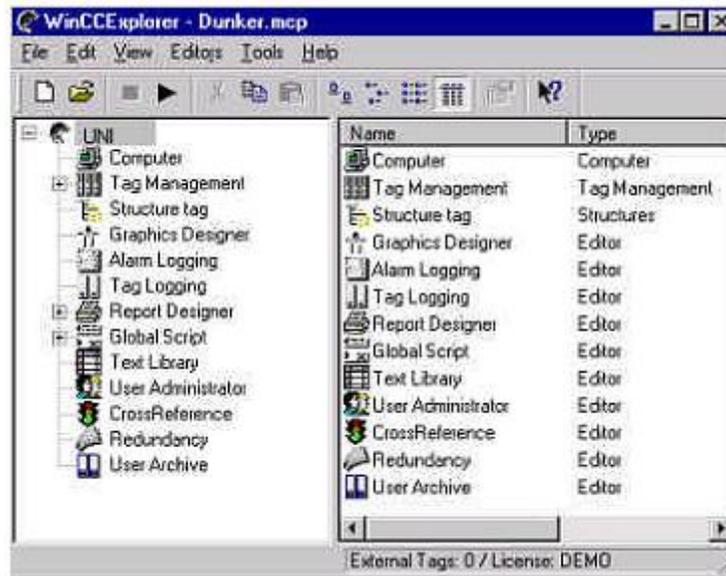


Figura 3.4. Explorador de WinCC, (Tomada de [10]).

A continuación se mencionan las principales características del entorno de desarrollo de WinCC:

- Arquitectura de desarrollo abierta (programación en C).
- Soporte de tecnologías Active X.
- Comunicación sencilla con el Step 7.
- Programación online: no es necesario detener la aplicación en ejecución para poder actualizar las modificaciones en el programa.

Principales herramientas utilizadas:

a. Tags:

Los Tags se refieren a las variables del sistema, dentro de WinCC existen dos tipos de Tags:

- Tags de comunicación: Cuyo valor se obtiene de la comunicación entre el WinCC y el PLC.

- Tags Internos: Realizan el manejo de las variables y resultados internos del sistema, su valor no se obtiene de una comunicación directa.
- b. Editor Gráfico:
- El editor gráfico permite crear la planta virtualmente, ésta es la principal herramienta en cuanto al desarrollo y diseño en WinCC, en el editor gráfico se asocian las imágenes con los Tags creados para lograr la dinamización de los procesos, esto es, que al cambiar una variable en el sistema físico, se refleje en la aplicación creada en WinCC, por ejemplo, si se activa una variable, que la figura asociada a ese evento cambie de color.
- c. WebNavigator:
- Herramienta que permite la publicación en forma Web del sistema HMI creado en WinCC. Esta utilidad facilita el acceso al sistema SCADA desde una ubicación remota a través de un navegador Web, para su utilización se debe instalar una aplicación en la estación (PC) cliente de un tamaño aproximado de 9 Mbyte. La licencia del WebNavigator no se incluye en la licencia básica del WinCC.

La aplicación desarrollada en WinCC se comunica con el sistema desarrollado en Step 7; logrando así la comunicación entre variables físicas y lógicas (Tags). Esto permite que el sistema físico pueda ser controlado y monitoreado desde una interfaz gráfica (HMI).

3.4 Aspectos que se mejoraron con el proyecto diseñado.

La estación incluía un sistema de control secuencial pero no modular, esto es, el usuario solo podía accionar y apagar el sistema ([1], pág. 71). Además de esto, los módulos facilitados por FESTO se presentan solamente en idioma Alemán e Inglés. El sistema, originalmente, no contaba con una interfaz gráfica de monitoreo y control, tampoco con la posibilidad de controlarla remotamente.

El proyecto desarrollado permite tener control de cada subsistema que compone la estación, o sea, el usuario tiene control sobre los actuadores individuales de la planta.

La modularización del sistema permite una mayor comprensión de los procesos diseñados, además de esto, cada módulo de software desarrollado posee la respectiva explicación en idioma Español.

Se incorpora el manejo gráfico de la estación. Con el proyecto desarrollado, se puede manipular cada actuador de la planta con solo presionar un botón con el mouse. Además, se muestran señales gráficas que representan el estado de los sensores que conforman cada subsistema de la planta.

El proyecto permite tener control de la planta desde cualquier PC que esté dentro de la red de la escuela de Ingeniería Electrónica del ITCR, todas las funciones que se presentan en la interfaz gráfica local se logran utilizar remotamente desde un navegador web.

En contraste con el sistema original, la herramienta didáctica ofrece tres opciones para controlar la estación: desde el panel de control, desde la interfaz gráfica local y desde un navegador web.

Con el proyecto descrito en este documento se logró incorporar las herramientas necesarias para darle a la planta mayor flexibilidad en cuanto al control y monitoreo.

Capítulo 4: Procedimiento Metodológico

4.1 Reconocimiento del problema

En la identificación del problema se tomó como punto de partida la finalidad que debía tener la estación adquirida, esto se logró consultando a la directora del laboratorio LIRA (Laboratorio de Investigación en Robótica y Automatización), las necesidades que se querían solventar en la planta y los alcances que se querían lograr con la misma. De esta manera, se determinó que era deseable contar con una herramienta didáctica de control y monitoreo para la estación de distribución Festo.

4.2 Enfoque de la investigación bibliográfica

La información bibliográfica tiene un enfoque conciso, ya que se cuenta con la estación y el equipo necesario. La investigación concentra el análisis de las hojas de especificación del equipo y de las posibilidades de desarrollo de herramientas didácticas con el software disponible (WinCC y Step 7).

Los requisitos técnicos de hardware se cumplían perfectamente ya que se contaba con un equipo de fábrica, con los actuadores y sensores debidamente calibrados, así que la investigación se profundizó en el análisis de las herramientas de desarrollo (WinCC y el Step 7).

4.3 Evaluación y determinación de la propuesta de diseño.

Establecida la necesidad de desarrollar una herramienta didáctica para la estación, se procedió a investigar (manuales e internet), la capacidad de la planta, así como las herramientas de desarrollo y su adaptabilidad a un proyecto enfocado al área didáctica, en dicha investigación se logró

comprobar que efectivamente, las herramientas con que contábamos nos permitían desarrollar el proyecto deseado.

Una vez diseñada la solución se procedió a la respectiva prueba de la misma. El sistema está compuesto por un módulo de control elaborado en Step 7 y un sistema de monitoreo y manejo de variables diseñado en WinCC, ambas herramientas de desarrollo cuentan con sistemas de simulación lo cual permitió la verificación de la funcionalidad de los módulos desarrollados. Posteriormente se comprobó el funcionamiento de los módulos por medio de pruebas controladas de laboratorio.

Una vez simulados los módulos, se procedió a la prueba en conjunto de todos. Gracias a las herramientas de prueba y visualización de las secuencias del proceso con las que cuenta Step 7, se logró depurar el programa, esto, sometiendo el sistema a las posibles situaciones que se podían presentar y así comprobar su correcto funcionamiento.

El diseño final se determinó basándose en el hecho de que la herramienta debía ser fácil de utilizar, de alto desempeño, de rápida implementación y amigable con el usuario. El resultado fue una herramienta sencilla de manipular y además que le permite al usuario interactuar fácilmente con cada subsistema de la planta.

Capítulo 5: Implementación de la herramienta didáctica

En primera instancia se pensó en desarrollar un sistema que pudiera implementar la secuencia original para la cual fue diseñada la estación ([1], pág. 71), esta opción se descartó debido a que la herramienta debía ser didáctica, así que se necesitaba tener control sobre cada actuador de la planta (para fines demostrativos). Se desarrolló entonces un sistema que permite accionar cada subsistema de la planta y monitorizar las secuencias que se ejecutan.

5.1 Descripción del hardware

Al inicio del proyecto se contaba con la estación MPS® diseñada y debidamente armada, por lo tanto, la primera etapa del proyecto se basó en el análisis de los componentes de la misma y su funcionamiento, para así adaptar la solución propuesta al sistema. A continuación se presenta la descripción de las partes de la planta.

En la Figura 5.1, denotado como “1”, se muestra el sensor de proximidad que determina la localización del cilindro expulsor, este sensor es sensible a un magneto que se localiza en el cilindro, al contraerse el cilindro, se activa el sensor y al retraerse se desactiva. En la misma figura, señalado como “2”, se muestra el sistema de válvulas que implementa la planta (Ver Anexo B.2, para especificaciones del sistema de válvulas). A este dispositivo se le envían señales del PLC (Controlador lógico programable, por sus siglas en inglés) y se activan o desactivan las válvulas, generando acciones en los actuadores.

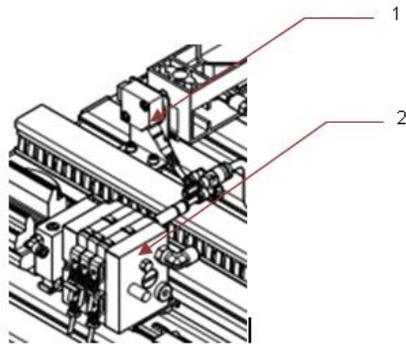


Figura 5.1. Terminal de válvulas electro-neumáticas y sensor de posición (tomada de [1]).

En la Figura 5.2 demarcado como “1”, se muestra el depósito de piezas o fichas, señalado como “2” se presenta el sensor óptico que determina la presencia de fichas en el depósito, este sensor es de fibra óptica con luz visible, al haber piezas la luz se interfiere y se activa el sensor. La parte “3” corresponde al cilindro de expulsión (Ver Anexo B.3, para descripción detallada del cilindro), este cilindro se puede contraer y expandir; su función es empujar las fichas a la posición de carga, en donde posteriormente son tomadas.

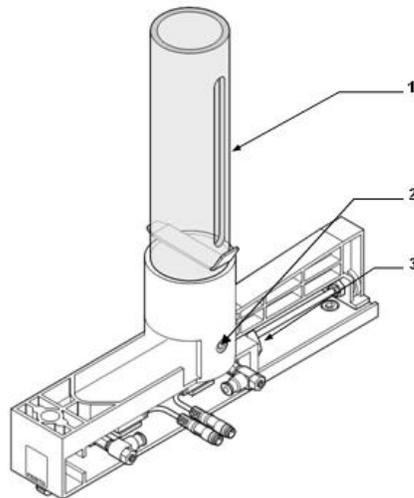


Figura 5.2. Depósito y cilindro expulsor (tomada de [1]).

En la Figura 5.3, la sección señalada con “1” corresponde al dispositivo que succiona las piezas; cuando el brazo (señalado como “2”), está en la posición de carga (Esta posición se refiere a la posición donde se toman las fichas), y hay piezas, se acciona el succionador y toma la pieza, luego el brazo se mueve a la posición de descarga (esta posición se refiere a la posición en que se sueltan las fichas), se apaga el succionador y suelta la pieza. La posición del brazo (carga o descarga), se determina por medio de sensores tipo interruptor que se señalan en la figura 5.3, como “3”.

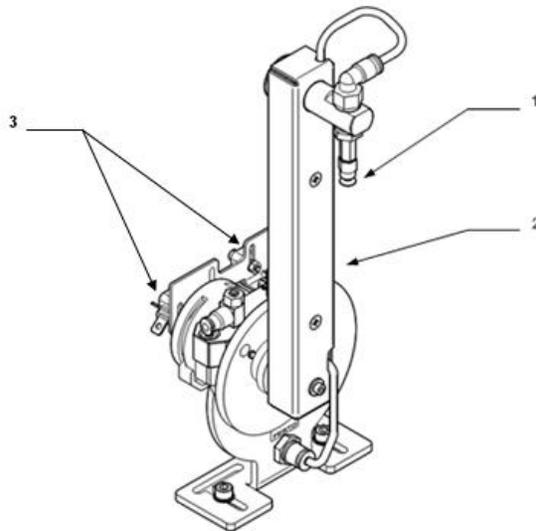


Figura 5.3. Succionador y brazo giratorio (tomada de [1]).

La programación definida por el fabricante, permite controlar la planta solamente por un panel, el cual se muestra en la figura 5.4. En la sección señalada como “1” se localiza el botón de arranque (Start), la “2” corresponde al botón que coloca en posición inicial los actuadores de la planta (Reset), la “3” se refiere al botón que detiene todos los procesos que se estén ejecutando en la planta (Stop) y la parte señalada como “4” corresponde a un interruptor que permite seleccionar si la planta trabaja en modo manual o automático, esto es, si la secuencia del proceso se repite o si hay que activarlo cada vez.

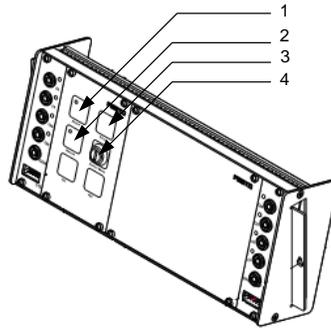


Figura 5.4. Panel de control manual (tomada de [1]).

La planta incorpora un PLC S7-300 con CPU 313C. El PLC se interconecta a los actuadores de la planta por medio del bus demarcado como “1” en la Figura 5.5 y al panel de control a través del bus señalado como “2”. La comunicación entre el PLC y la PC se logra a través de un cable que funciona de MPI (Interfaz de paso de mensajes, por sus siglas en inglés).

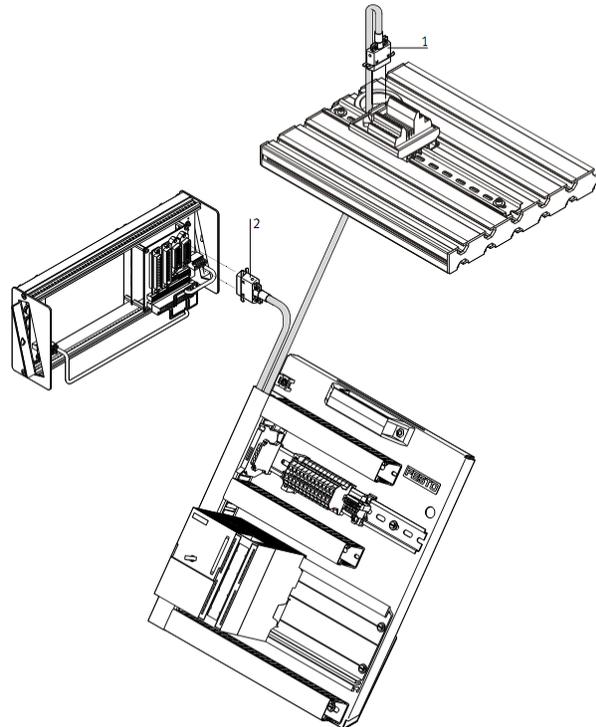


Figura 5.5. PLC y conexiones a la planta y al panel de control (tomada de [1]).

Capítulo 6: Análisis de Resultados

6.1 Descripción del software desarrollado en Step 7.

A continuación se describen los módulos diseñados en el proyecto. Estos módulos conforman la herramienta didáctica y permiten cumplir cada objetivo propuesto.

Los módulos de control se desarrollaron en Step 7 de Siemens, en la Tabla 6.1 se muestra las variables utilizadas en el diseño, se mantienen los nombres originales de las variables, tal y como las nombra Festo, esto para que cualquier persona que esté familiarizada con la manipulación de una planta como ésta pueda entender fácilmente el programa, además la mayoría de las señales tienen el nombre demarcado en la planta.

La columna de “nombre” corresponde al nombre de cada variable, la columna “dirección”, corresponde a la dirección en la que está mapeada la variable, en este caso la convención de las variables es: A = Salida, E = Entrada y M = Memoria; la columna “tipo” se refiere al tipo lógico de variable y en la columna “comentario” se hace una breve descripción del significado de cada variable. En la explicación de los módulos se hará referencia a las variables en esta tabla.

Tabla 6.1. Variables utilizadas en los módulos desarrollados en Step 7.

Nombre	Direccion	Tipo	Comentario
1M1	A 124.0	BOOL	Cilindro de expulsión expulsó la pieza
2M1	A 124.1	BOOL	Vacuum encendido
2M2	A 124.2	BOOL	Impulso de expulsión encendido
3M1	A 124.3	BOOL	Brazo a posición de carga
3M2	A 124.4	BOOL	Brazo a posición de descarga
OBStat	AB 124	BYTE	Byte de la estación
OBPan	AB 125	BYTE	Byte del panel
1B2	E 124.1	BOOL	Cilindro de expulsión extendido
1B1	E 124.2	BOOL	Cilindro de expulsión retraído
2B1	E 124.3	BOOL	La pieza fue tomada
3B1	E 124.4	BOOL	Brazo en posición de carga
3B2	E 124.5	BOOL	Brazo en posición de descarga
B4	E 124.6	BOOL	Deposito vacío
S1	E 125.0	BOOL	Boton de Start
S2	E 125.1	BOOL	Boton de Stop(Normalmente Cerrado)
S3	E 125.2	BOOL	Switch de selección de Automático-manual
S4	E 125.3	BOOL	Boton de Reset
3M1Remoto	M 10.0	BOOL	Mover brazo a posición de Carga Remotamente
3M2Remoto	M 10.1	BOOL	Mover brazo a posición de Descarga Remotamente
Exp_Cil_Remoto	M 10.2	BOOL	Entender cilindro expulsor
Cont_Cil_Remoto	M 10.3	BOOL	Contraer cilindro expulsor
Suc_ON_Remoto	M 10.4	BOOL	Succión de la pieza encendido
Exp_ON_Remoto	M 10.5	BOOL	Impulso Expulsor de la pieza encendido
RC_Start	M 132.0	BOOL	Start Remoto
RC_Reset	M 132.1	BOOL	Reset remoto
RC_Stop	M 132.4	BOOL	Stop Remoto
Mandos_Externos	MB 10	BYTE	Mandos Externos
Var1	MB 14	BYTE	Variables
RCVar	MB 132	BYTE	Variables remotas

6.1.1 Módulo de Reset

Este módulo se activa cuando se acciona la señal de “RC_Reset” o “S4” (que corresponde al botón “Reset” en el panel de control). Al activarse alguna de las dos señales mencionadas, se accionan los mandos necesarios para colocar los actuadores en su posición inicial, esto es, brazo en posición de descarga, cilindro expulsor extendido y succión apagada.

6.1.2 Módulo de Stop

El módulo de Stop se encarga de detener cualquier proceso que se esté ejecutando en la estación. El mismo se acciona cuando se activa la señal “RC_Stop” o la señal “S2” (corresponde al botón de “Stop” en el panel de control), para detener los procesos, este módulo asigna un cero a todas las variables de salida del sistema.

6.1.3 Módulo del Brazo giratorio

El módulo del Brazo giratorio se describe en el diagrama de la Figura 6.1, esta secuencia se encarga de colocar el brazo en posición de carga o de descarga.

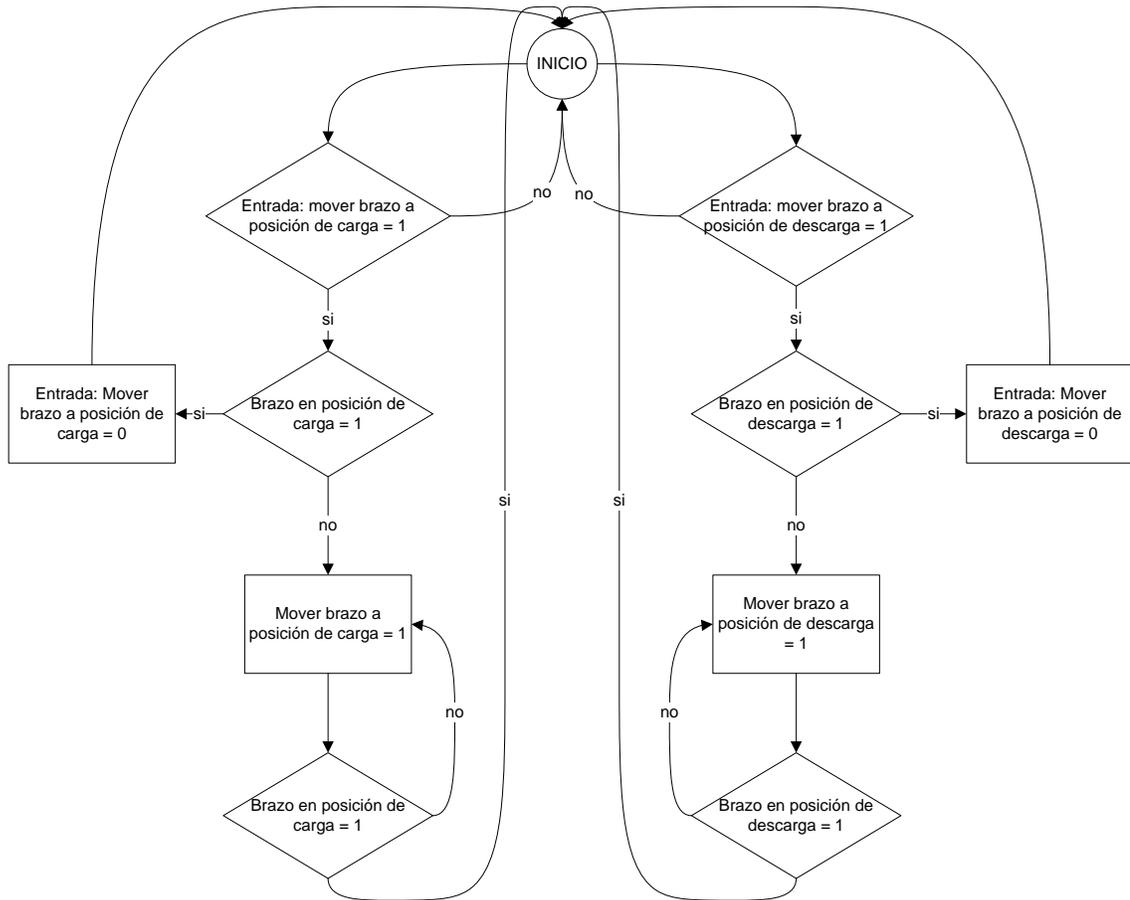


Figura 6.1. Diagrama de flujo del módulo de movilización del brazo.

Luego del inicio, el programa revisa si se ha activado la señal de mover el brazo hacia alguna posición, de no ser así el programa sigue preguntando sin avanzar. Cuando se da la señal de mover el brazo, en seguida el programa pregunta si el brazo ya se encuentra en esa posición, de ser así, se apaga la señal de mover el brazo y el programa regresa al inicio. Si el brazo no se encuentra en la posición deseada, se activa la señal de mover el brazo, aquí,

el programa chequea que el brazo haya sido colocado en la posición deseada, cuando esto ocurre, el programa retorna al inicio.

6.1.4 Módulo del cilindro expulsor

El cilindro expulsor se encarga de colocar la pieza en la posición de carga para que posteriormente sea tomada. En la figura 6.2 se muestra el diagrama de flujo que describe este módulo.

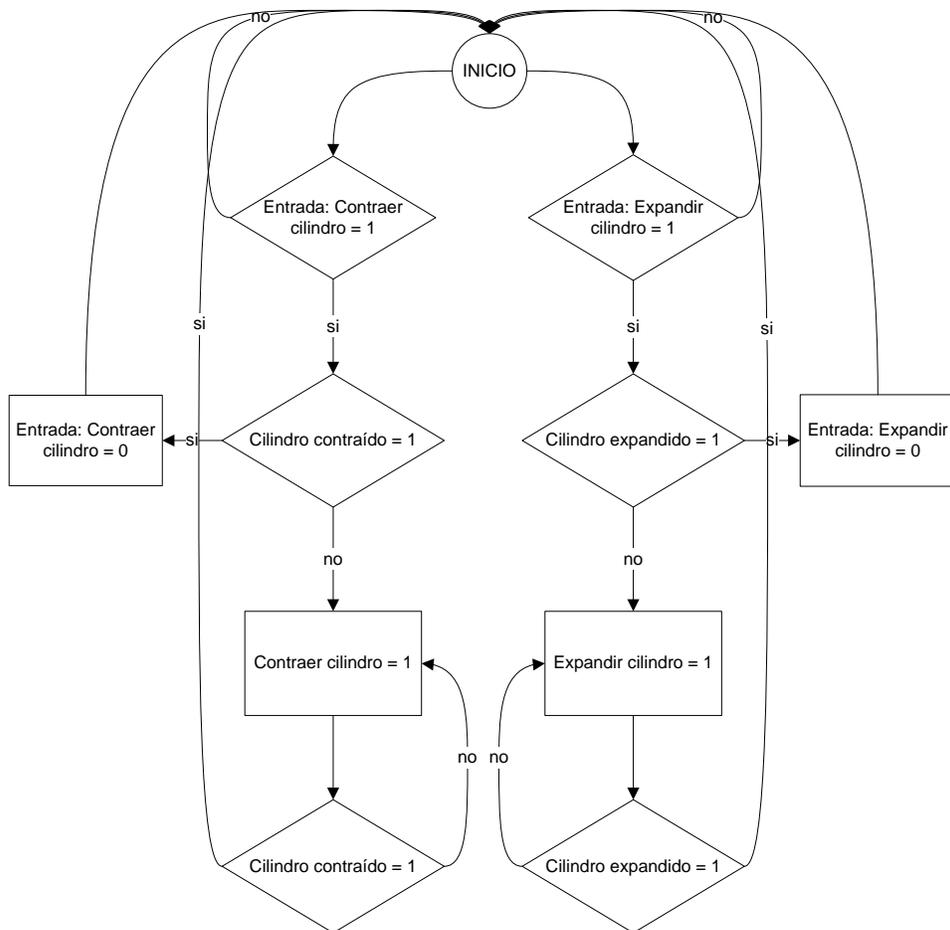


Figura 6.2. Diagrama de flujo del módulo de movilización del cilindro expulsor.

Primeramente, el programa revisa si se ha activado la señal de mover el cilindro hacia alguna posición, de no ser así el programa sigue preguntando

sin avanzar. Cuando se da la señal de mover el cilindro, en seguida el programa pregunta si el cilindro ya se encuentra en esa posición, de ser así, se apaga la señal que generó la orden y el programa regresa al inicio. Si el cilindro no se encuentra en la posición deseada, se activa la señal de mover el cilindro, aquí, el programa chequea que el cilindro haya sido colocado en la posición deseada, cuando esto ocurre, el programa retorna al inicio.

6.1.5 Módulo de succión y expulsión

Para ser transportada por el brazo, la pieza se sujeta utilizando un módulo que succiona la misma. En la Figura 6.3 se muestra el diagrama de flujo correspondiente a dicho módulo.

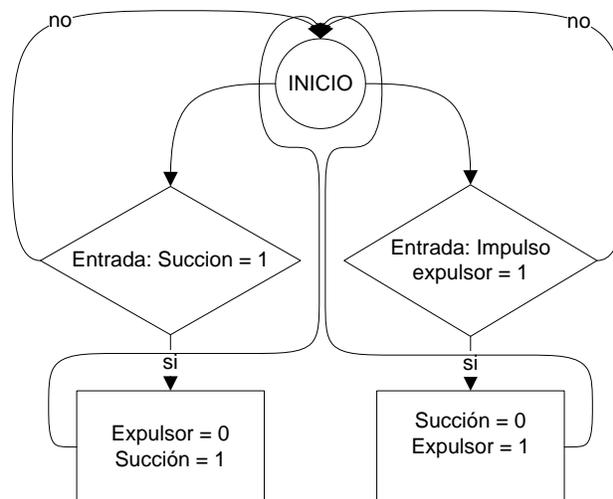


Figura 6.3. Diagrama del módulo de expulsión y succión.

En el inicio, la secuencia espera a que la señal de succionar o expulsar sea activada, cuando alguna de las dos se activa, se da la orden al sistema de realizar la acción, ambas señales no pueden estar encendidas al mismo tiempo, así que, cuando se activa una, se da la orden de desactivar la otra.

6.1.6 Módulo de secuencia completa de proceso

En el diagrama de la Figura 6.4 se utilizan los módulos anteriores para formar una secuencia completa de proceso. La ejecución de cada segmento de la secuencia se comprueba monitorizando el estado de los respectivos sensores.

La secuencia inicia cuando se activa la señal de “start” que se encuentra en el panel de control y en la página web. Luego se hace una llamada al módulo “reset” para colocar los actuadores en la posición inicial, posteriormente se activa la señal de contraer el cilindro para colocar la ficha en la posición de carga, una vez que la ficha está en esa posición, se activa la señal de mover el brazo a la posición de carga; para tomar la ficha, se activa la señal de succión, una vez que la ficha ha sido sujeta, se activa la orden de mover el brazo a la posición de descarga, luego, en esta posición se activa la señal para encender el impulso expulsor y así termina una secuencia, finalmente se chequea si el sistema está trabajando en modo manual o automático, si está en modo manual, la secuencia termina, de no ser así, se continúa repitiendo hasta que no hayan fichas o se detenga manualmente.

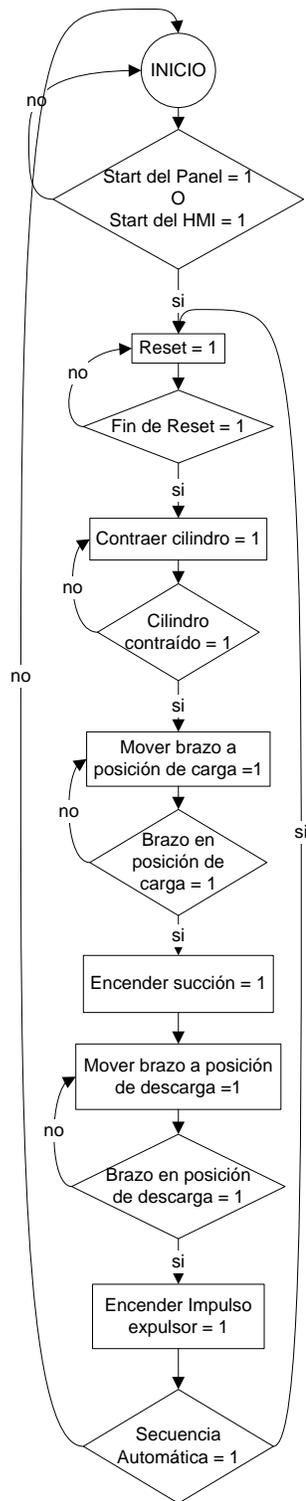


Figura 6.4. Diagrama de flujo del módulo de secuencia completa.

6.2 Descripción del software desarrollado en WinCC

En la Figura 6.5, se muestra la interfaz desarrollada en WinCC, esta interfaz permite al usuario activar cualquiera de los módulos descritos en la sección anterior y monitorizar el estado de los actuadores y sensores de la planta. En la parte superior se observan los botones de control básico: Start (Arranque), Stop (Parada) y Reset (volver a estado de inicio), las acciones se activan presionando con el mouse sobre los botones. Las flechas que se observan en la parte inferior del brazo indican la posición actual del mismo (verde), presionando con el mouse sobre alguna de las flechas, hará que el sistema coloque el brazo en la posición a la que apunta la flecha, similar sucede con las flechas que se encuentran cerca del cilindro expulsor y el módulo de succión. El círculo en la parte inferior del depósito indica si hay piezas en el depósito (círculo en verde) o no (círculo vacío).

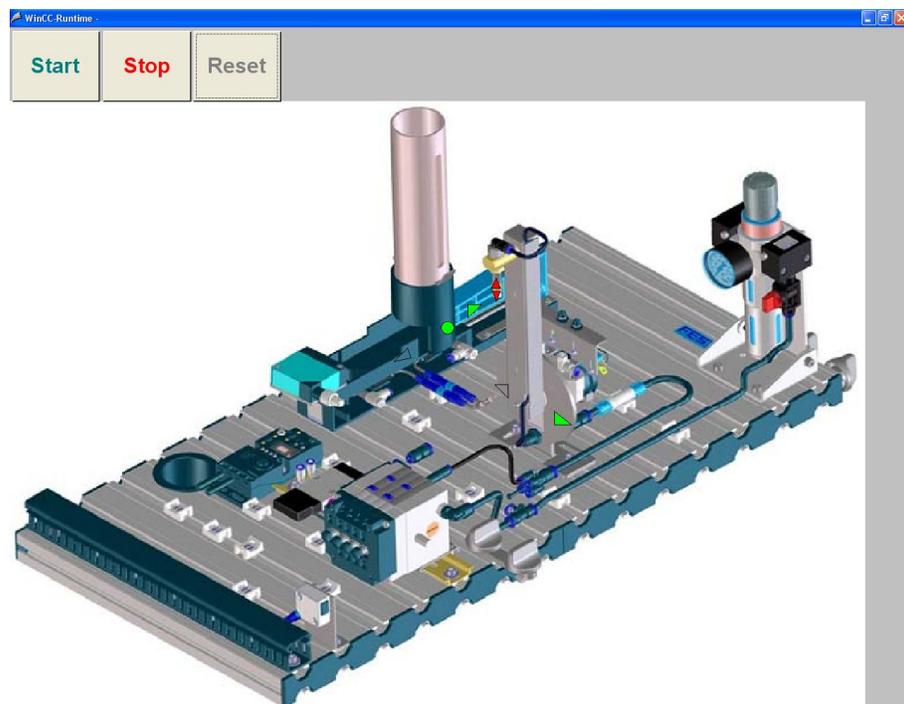


Figura 6.5. Sistema SCADA en WinCC.

La Figura 6.6 presenta las mismas opciones descritas para la Figura 6.5 pero vista desde un Web Browser, esto permite que la herramienta pueda ser controlada remotamente dentro de la red LAN (red de área local, por sus siglas en inglés), de la Escuela de Ingeniería Electrónica del ITCR.

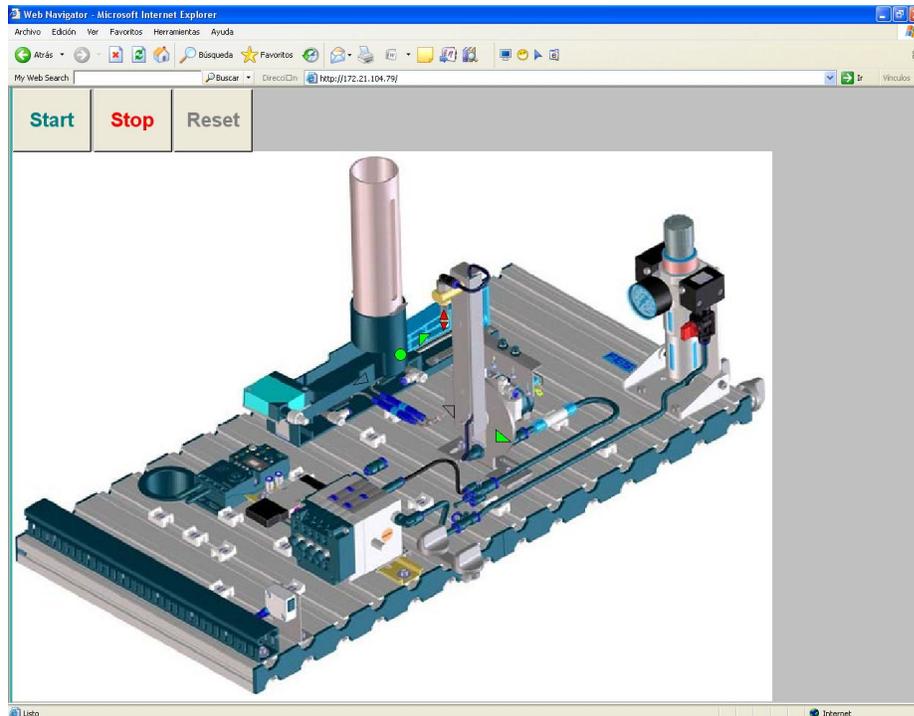


Figura 6.6. Sistema SCADA en WebNavigator de WinCC.

La herramienta se diseñó utilizando el sistema WebNavigator de Siemens, la cual permite publicar de manera web los sistemas HMI diseñados en el WinCC.

Simplemente con publicar el servicio en la PC que aloja el sistema HMI, escribir la dirección IP de esa PC en un web browser desde otra máquina en el mismo entorno de red e instalando una pequeña aplicación cliente; se puede tener acceso total a las funcionalidades de la HMI publicada.

6.3 Análisis de la implementación de la herramienta

Como se mencionó al principio del documento, el proyecto vino a solventar la necesidad de tener una herramienta didáctica para poder utilizar la estación de distribución en la enseñanza de la mecatrónica. Al inicio del proyecto, se contaba con la planta, un sistema RTU (Unidad terminal remota, por sus siglas en inglés), una herramienta para crear una HMI (Interfaz usuario-máquina, por sus siglas en inglés) y la posibilidad de intercomunicar todo. Las herramientas citadas anteriormente conforman los componentes principales para diseñar un sistema SCADA (Control de supervisión y adquisición de datos, por sus siglas en inglés) [3].

El diseño tuvo su mayor enfoque en la RTU (en este caso, el PLC), en donde se desarrollaron distintos módulos que le dan al proyecto una gran flexibilidad en cuanto a la manipulación de los actuadores de la planta. En principio, la estación implementaba una secuencia similar a la que se especifica en la Figura 6.4, en donde el usuario solo tiene la posibilidad de iniciar y detener la secuencia. En el proyecto creado se implementan secuencias separadas para cada actuador; esto permite que el usuario no solo pueda generar una secuencia de proceso completa, sino que también puede manipular los actuadores individualmente. Recordemos que el proyecto debía ser enfocado al área didáctica, así que, se debía implementar un sistema que permitiera aprovechar cada módulo de la planta para mostrar la aplicación de la mecatrónica, esto se logra a través de las rutinas específicas de control de cada subsistema. Los tres principales sistemas que controla el RTU se muestran en la Figura 6.7.

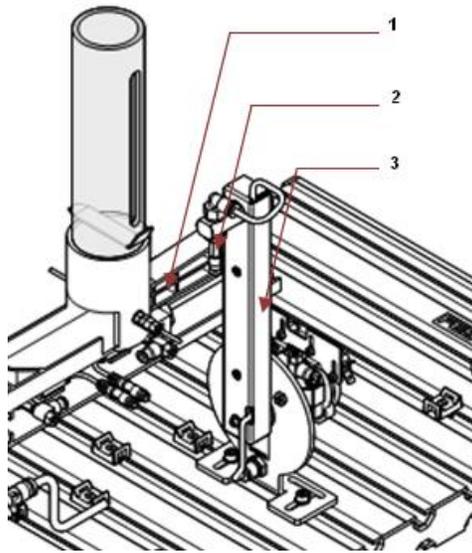


Figura 6.7. Principales módulos controlados por el RTU.

- a. El cilindro Expulsor (Figura 6.7, “1”)
La secuencia de control para este sistema se muestra en la Figura 6.2, este modulo permite mover las piezas del depósito a la posición de carga.

- b. El módulo de succión (Figura 6.7, “2”)
Este módulo permite sujetar las piezas para ser tomadas en la posición de carga y posteriormente expulsarlas en la posición de descarga. Se puede observar la secuencia de control de este módulo en la Figura 6.3.

- c. El brazo giratorio (Figura 6.7, “3”)
El brazo giratorio permite movilizar el módulo de succión a la posición de carga para tomar la pieza y a la posición de descarga para expulsarla. La secuencia de control del brazo giratorio se presenta en la Figura 6.1.

Todas las secuencias de control se activan a través de la HMI, solo los módulos de “Stop”, “Reset” y “Secuencia completa” presentan la posibilidad de ser activados manualmente y/o a través de la HMI.

La interfaz usuario-máquina fue desarrollada en WinCC, la misma se muestra en la Figura 6.5. La interfaz mencionada permite monitorizar los actuadores y los sensores de la planta, por ejemplo, desde esta se puede observar la posición actual del brazo giratorio, la del cilindro expulsor y si el depósito de piezas está vacío o no. Además de esto, en esta interfaz se ingresan mandos de control que se ejecutan en el PLC, por ejemplo, si se desea colocar el brazo en alguna posición, simplemente se presiona con el mouse sobre la flecha que apunta a la posición deseada y el brazo se mueve, similarmente con los otros actuadores de la planta. Este módulo es de suma importancia en la utilización didáctica de la herramienta, ya que implementa todo el control y monitoreo en un sistema gráfico que permite al usuario (profesor o estudiante), interactuar con los sistemas de la planta de una manera práctica y amigable.

Para hacer más accesible la estación como herramienta didáctica, se implementó una utilidad llamada WebNavigator sobre el programa creado en WinCC, con el fin de poder manipular la planta vía web, el resultado de la aplicación de la utilidad se muestra en la Figura 6.6, con esto, ya no solo se puede acceder a la estación por medio de una interfaz instalada en una PC (conectada directamente a la planta), sino también, se puede controlar la estación desde cualquier máquina que pueda alcanzar la red a la que pertenece la PC que alberga el programa en WinCC.

Para el acceso vía web, el usuario necesita instalar una aplicación cliente (sin costo y de aproximadamente 9 Mbyte), que permite establecer la comunicación entre el web Browser y el programa en WinCC, este programa debe estar activo (Runtime) y con comunicación al PLC. Si se cumplen los anteriores requerimientos, simplemente se hace la solicitud a través del web browser, colocando la dirección IP de la maquina en la que se encuentra instalada la interfaz, en el espacio de la dirección web.

En conjunto todo lo mencionado anteriormente forma el sistema didáctico SCADA, que permite controlar y monitorizar la estación de distribución MPS®, ya sea desde el laboratorio LIRA o en forma remota a través de un navegador web, dentro de la red de la Escuela de Ingeniería Electrónica del ITCR.

Capítulo 7: Conclusiones y recomendaciones

7.1 Conclusiones.

- Debido a que la herramienta diseñada permite monitorizar y controlar la estación de forma local y remota, el proyecto diseñado solventó la necesidad de tener una herramienta didáctica para poder utilizar la estación de distribución adquirida por el laboratorio LIRA en la enseñanza de la mecatrónica.
- Al diseñar las secuencias por módulos, el usuario tiene una mayor flexibilidad en cuanto a la manipulación de los actuadores de la planta.
- El sistema HMI diseñado permite al usuario (profesor o estudiante), interactuar con los sistemas de la planta de una manera práctica y amigable.
- La utilidad WebNavigator permite el acceso a la HMI vía Web dentro de la red de la Escuela de Ingeniería Electrónica del ITCR.

7.2 Recomendaciones

- En futuros proyectos, sería un buen complemento para la enseñanza de la mecatrónica el tener más plantas MPS® comunicándose entre si y generando procesos más complejos.
- De igual manera que se hizo en este proyecto, para futuras implementaciones de plantas MPS®, es recomendable que el control se haga de forma modular para lograr una mayor interacción del usuario con el proceso y así maximizar el aprendizaje.
- Para mejorar la interfaz usuario-máquina (HMI), es una buena alternativa, el optimizar las representaciones gráficas de los procesos, por ejemplo, en lugar de señalar el sentido del brazo con una flecha, hacer que el brazo cambie de posición en la figura.
- Una opción para hacer la herramienta más accesible es instalar la aplicación HMI con el WebNavigator en un servidor, publicar la IP del mismo y así tener acceso la herramienta a través de internet y no solo en la red de la Escuela de Ingeniería Electrónica del ITCR.
- El WINCC es una herramienta robusta para la creación de sistemas SCADA, por esto, en futuras mejoras al proyecto se podrían agregar funciones como la generación de reportes, alarmas y en general, utilidades con las que dispone el programa de diseño.
- Para la comprobación de la funcionalidad remota del sistema es recomendable instalar una cámara web donde se visualicen los procesos ejecutados en tiempo real.

Bibliografía

- [1] Frank Ebel & Marcus Pany. **Distributing Station Manual.**
Retribuido de la página de Festo Didactics en Enero del 2008.
www.festo-didactic.com
- [2] Festo. **MPS® Stations.**
Retribuido de la página de Festo Didactics en Enero del 2008.
www.festo-didactic.com
- [3] Wikipedia. **SCADA.**
Retribuido de la página de la enciclopedia gratis Wikipedia en Enero del 2008.
<http://en.wikipedia.org/wiki/SCADA>
- [4] Festo. **Service Unit with On/Off Valve.**
Retribuido de la página de Festo Didactics en Enero del 2008.
www.festo-didactic.com
- [5] Festo. **CPV Valve Terminal.**
Retribuido de la página de Festo Didactics en Enero del 2008.
www.festo-didactic.com
- [6] Festo. **Pneumatic Cylinder.**
Retribuido de la página de Festo Didactics en Enero del 2008.
www.festo-didactic.com
- [7] Siemens. **S7-GRAPH para S7-300/400, Programación de controles secuenciales.**
Retribuido de la documentación incluida en el Step 7, Enero del 2008.

- [8] Siemens. **Esquema de contactos (KOP) para S7-300 y S7-400.**
Retribuido de la documentación incluida en el Step 7, Enero del 2008.
- [9] Siemens. **Programar con STEP 7.**
Retribuido de la documentación incluida en el Step 7, Enero del 2008.
- [10] Siemens. **WinCC V6.2, Getting started.**
Retribuido de la documentación incluida en el WinCC, Enero del 2008.
- [11] Siemens. **Communication.**
Retribuido de la documentación incluida en el WinCC, Enero del 2008.
- [12] Siemens. **WinCC V6.2, Dinamizar imágenes de proceso.**
Retribuido de la documentación incluida en el WinCC, Enero del 2008.
- [13] Siemens. **WinCC V6.2, Trabajar con variables.**
Retribuido de la documentación incluida en el WinCC, Enero del 2008.

Apéndices

A.1 Glosario, abreviaturas y simbología

- **LIRA**: Laboratorio de Investigación en Robótica y Automatización.
- **MPS®** (pos sus siglas en inglés): Sistema de proceso modular, nombre establecido por Festo para las estaciones de proceso.
- **PLC** (pos sus siglas en inglés): Controlador lógico programable.
- **RTU** (pos sus siglas en inglés): Unidad terminal remota.
- **MPI** (pos sus siglas en inglés): Interfaz de paso de mensajes.
- **HMI** (pos sus siglas en inglés): Interfaz Humano-Máquina.
- **SCADA** (pos sus siglas en inglés): Control de supervisión y adquisición de datos.

A.2 Manual de usuario

En esta sección se presenta un manual detallado del sistema de control de la planta, el mismo se muestra en la Figura A.1.

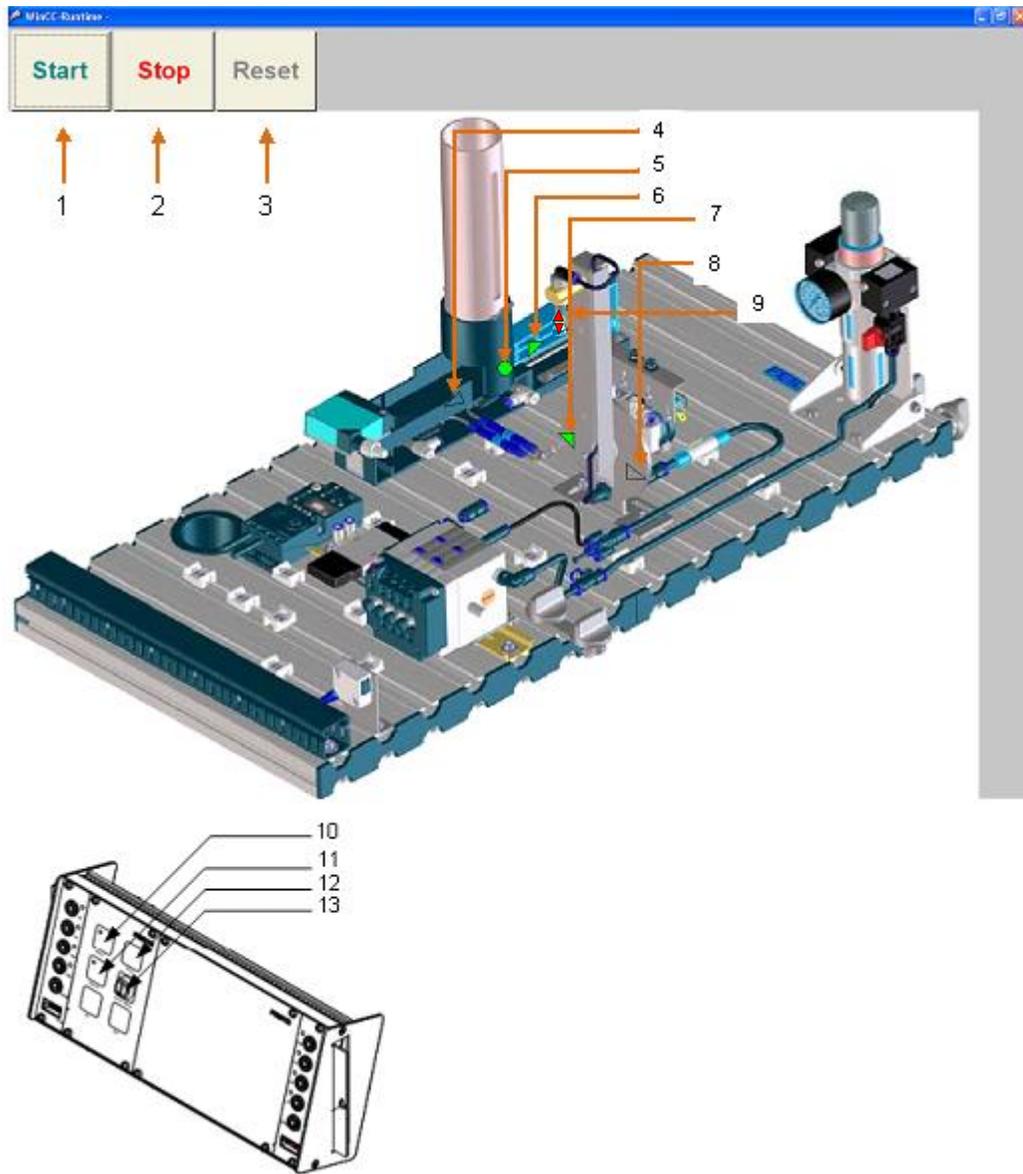


Figura A.1. Sistema de control de la planta.

Antes de utilizar las interfaces de control asegúrese de lo siguiente:

1. Que la planta esté debidamente conectada y encendida.
2. Que al PLC se le haya cargado el programa y se encuentre en modo "run".
3. Que el PLC esté conectado a la PC por medio de un cable MPI y que exista comunicación entre ambos.

Si se cumplen los requisitos anteriores, se puede proceder a correr el programa en WinCC y manipular la estación. A continuación se describen los controles por su respectivo número (ver Figura A.1) y sus acciones.

Control "1". Presionando este botón, se acciona la secuencia completa del sistema.

Control "2". Al presionar este botón, se detienen todos los procesos que se estén ejecutando en la planta.

Control "3". Al oprimir este botón, se colocan todos los actuadores en su posición inicial.

Control "4". Esta flecha cambia su color a verde cuando el cilindro de expulsión está contraído, si se presiona con el mouse la flecha, el cilindro se mueve a la posición señalada por la misma.

Control "5". Este indicador se torna color verde cuando hay piezas en el depósito, de lo contrario se vuelve transparente.

Control "6". Esta flecha cambia su color a verde cuando el cilindro de expulsión está extendido, si se presiona con el mouse esta flecha, el cilindro se mueve a la posición indicada por la flecha.

Control "7". Esta flecha cambia su color a verde cuando el brazo giratorio está en posición de carga, al presionar con el mouse esta flecha, el brazo se mueve a esta posición.

Control "8". Esta flecha cambia su color a verde cuando el brazo giratorio está en posición de descarga, al presionar con el mouse esta flecha, el brazo se mueve a la posición que señala la flecha.

Control "9". Al presionar con el mouse la flecha que apunta hacia arriba, se enciende la succión y al presionar la flecha que apunta hacia abajo se encenderá el impulso expulsor.

Control "10". Mismo que "Control "1"".

Control "11". Mismo que "Control "3"".

Control "12". Mismo que "Control "2"".

Control "13". Este interruptor permite cambiar la secuencia de la planta de manual a automático y viceversa.

Para ejecutar la aplicación desde otra PC, se debe instalar el WinCC, el WebNavigator y sus respectivas licencias, posteriormente, simplemente se carga el proyecto dentro de WinCC, se publica con el WebNavigator y se ejecuta.

A.3 Programas de control diseñados en Step7.

En la Figura A.2 se muestra el módulo "Reset", este módulo se activa cuando se acciona la señal de "RC_Reset" o "S4" (que corresponde al botón "Reset" en el panel de control). Al activarse alguna de las dos señales mencionadas, se accionan los mandos necesarios para colocar los actuadores en su posición inicial, esto es, brazo en posición de descarga, cilindro expulsor extendido y succión apagada.

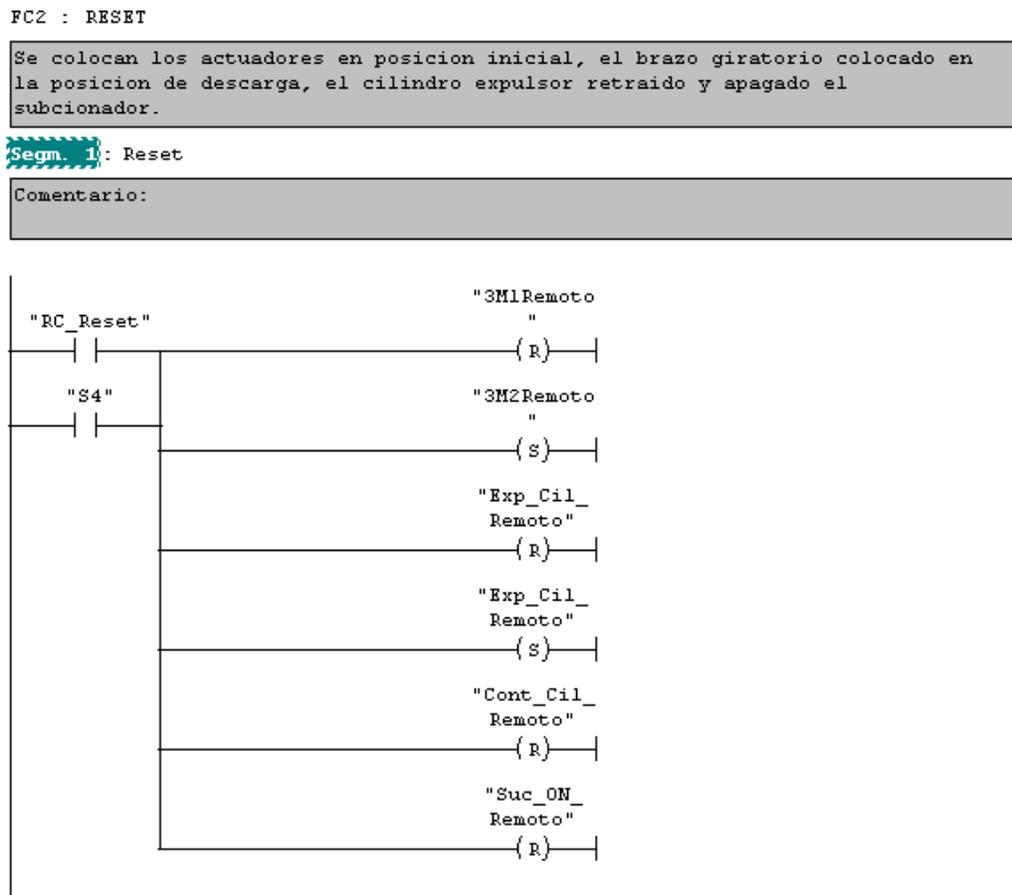


Figura A.2. Diagrama del módulo de reset.

El módulo mostrado en la Figura A.3, se encarga de detener cualquier proceso que se esté ejecutando en la estación. El módulo se acciona cuando se activa

la señal "RC_Stop" o la señal "S2" (corresponde al botón de "Stop" en el panel de control), para detener los procesos, este módulo asigna un cero a todas las variables de salida del sistema.

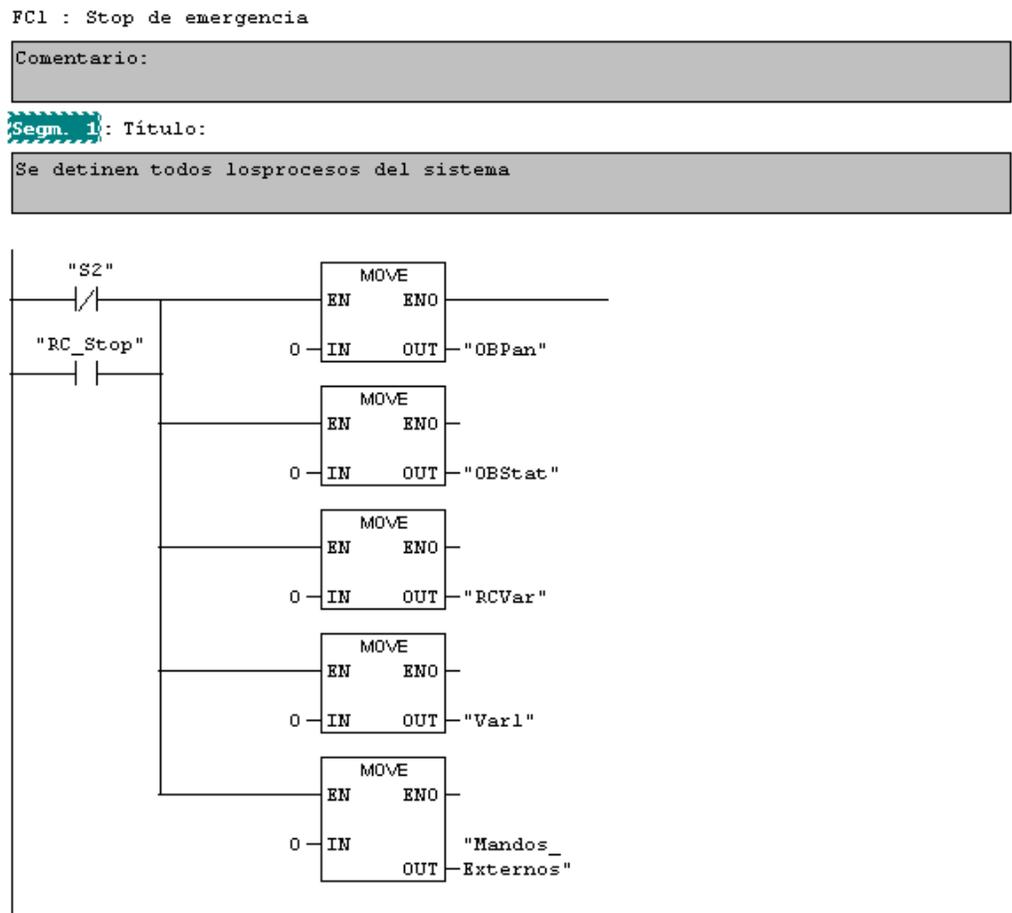


Figura A.3. Diagrama del módulo de parada de emergencia.

En la Figura A.4 se observa el diagrama secuencial del módulo de movilización del brazo, el brazo puede tomar dos posiciones, posición de carga y posición de descarga. Para colocar el brazo en posición de carga, se activa la señal "3M1Remoto" con esto se activa la secuencia, el siguiente paso es preguntar si el brazo ya se encuentra en esa posición (3B1 activo), de ser

así, simplemente se desactiva la señal “3M1Remoto”, de lo contrario, se desactiva la señal de movilizar el brazo a la posición de descarga (3M2) y se activa la señal de movilizar el brazo a la posición de carga (3M1), por último se verifica que el brazo se encuentre en la posición de carga (3B1 activo). Similarmente, para colocar el brazo en posición de descarga, se activa la señal “3M2Remoto” con esto se activa la secuencia, el siguiente paso es preguntar si el brazo ya se encuentra en esa posición (3B2 activo), de ser así, simplemente se desactiva la señal “3M2Remoto”, de lo contrario, se desactiva la señal de movilizar el brazo a la posición de carga (3M1) y se activa la señal de movilizar el brazo a la posición de descarga (3M2) y finalmente se verifica que el brazo esté en la posición de descarga (3B2 activo).

Secuencia de Movilización del Brazo

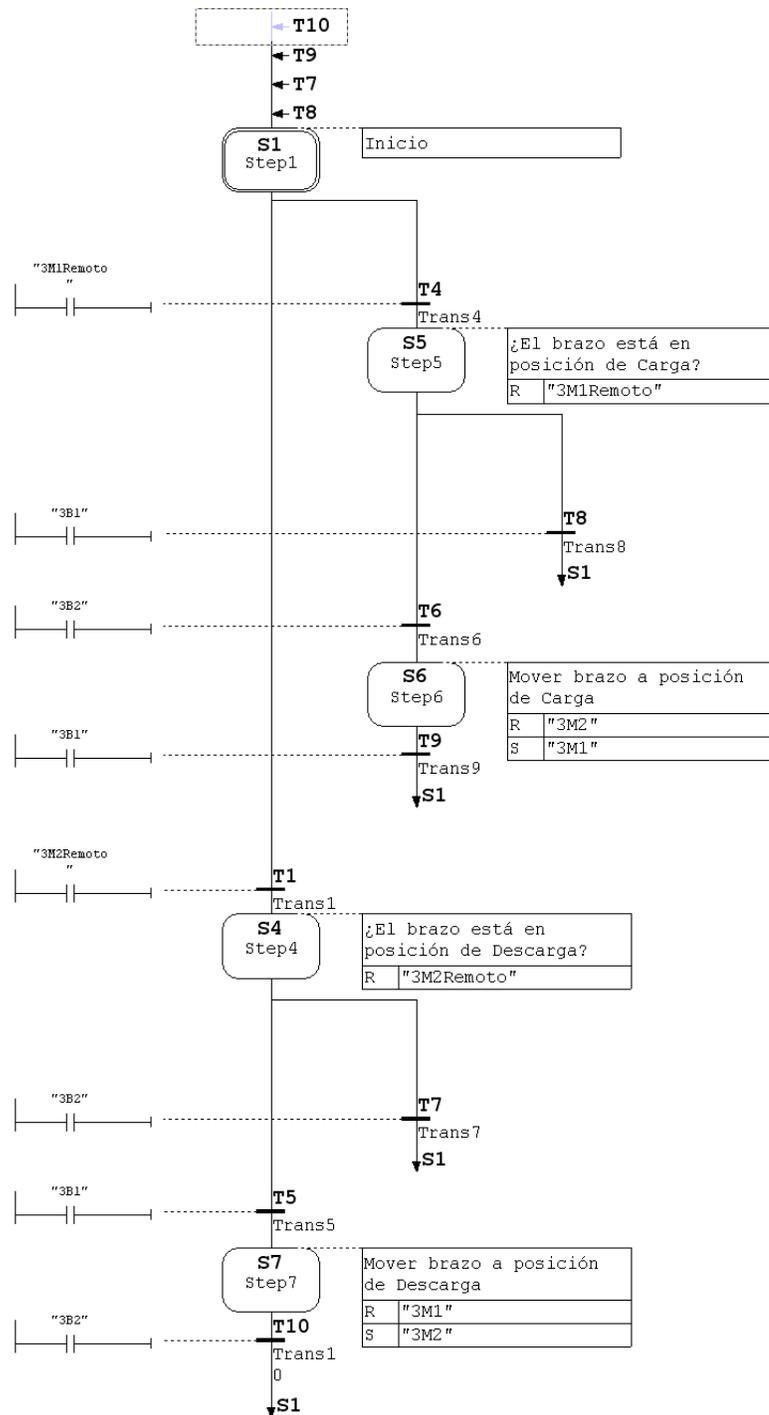


Figura A.4. Diagrama del módulo de movilización del brazo.

El cilindro expulsor se encarga de colocar la pieza en la posición de carga para que posteriormente sea tomada. En la Figura A.5 se muestra el diagrama que conforma este módulo. La posición inicial del cilindro es extendido, y empuja la pieza a la posición de carga cuando se retrae.

El cilindro puede tomar dos posiciones, retraído y extendido. Para retraer el cilindro, se activa la señal "Cont_Cil_Remoto", primero se pregunta si el cilindro ya se encuentra retraído (1B2 activo), si es así, simplemente se desactiva la señal "Cont_Cil_Remoto" de lo contrario, se apaga la señal de extender el cilindro "1M1" y se verifica que efectivamente el cilindro se haya retraído. Similarmente, Para extender el cilindro, se activa la señal "Exp_Cil_Remoto", primero se pregunta si el cilindro ya se encuentra extendido (1B1 activo), si es así, simplemente se desactiva la señal "Exp_Cil_Remoto" de lo contrario, se activa la señal de extender el cilindro "1M1" y por último se verifica que el cilindro se encuentre extendido (1B1 activo).

Secuencia para movilizar el cilindro expulsor

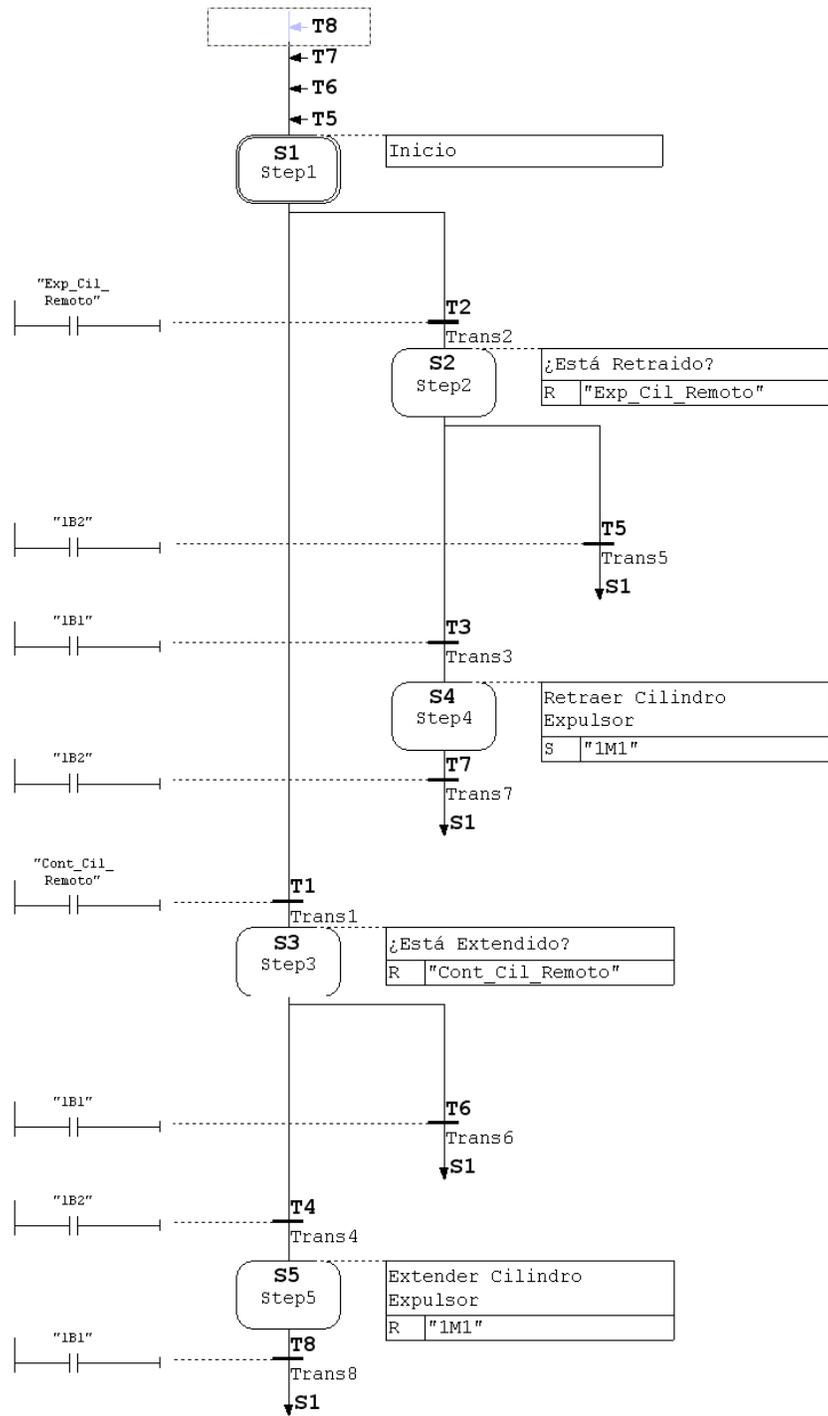


Figura A.5. Diagrama del módulo de movilización del cilindro expulsor.

Para ser transportada por el brazo, la pieza se sujeta utilizando un módulo que succiona la misma. En la Figura A.6 se muestra el diagrama correspondiente a dicho módulo, para succionar las piezas, se activa la señal “Suc_ON_Remoto”, esto activa la señal “2M1” lo cual produce que se encienda el dispositivo de succión y se desactiva la señal “2M2”, que corresponde al impulso de expulsión. Por otra parte, para expulsar las piezas, se activa la señal “Exp_ON_Remoto”, esto activa la señal “2M2” lo cual produce que se encienda el impulso de expulsión y se desactiva la señal “2M1”, que corresponde al dispositivo de succión.

Secuencia de succión y expulsión de las piezas

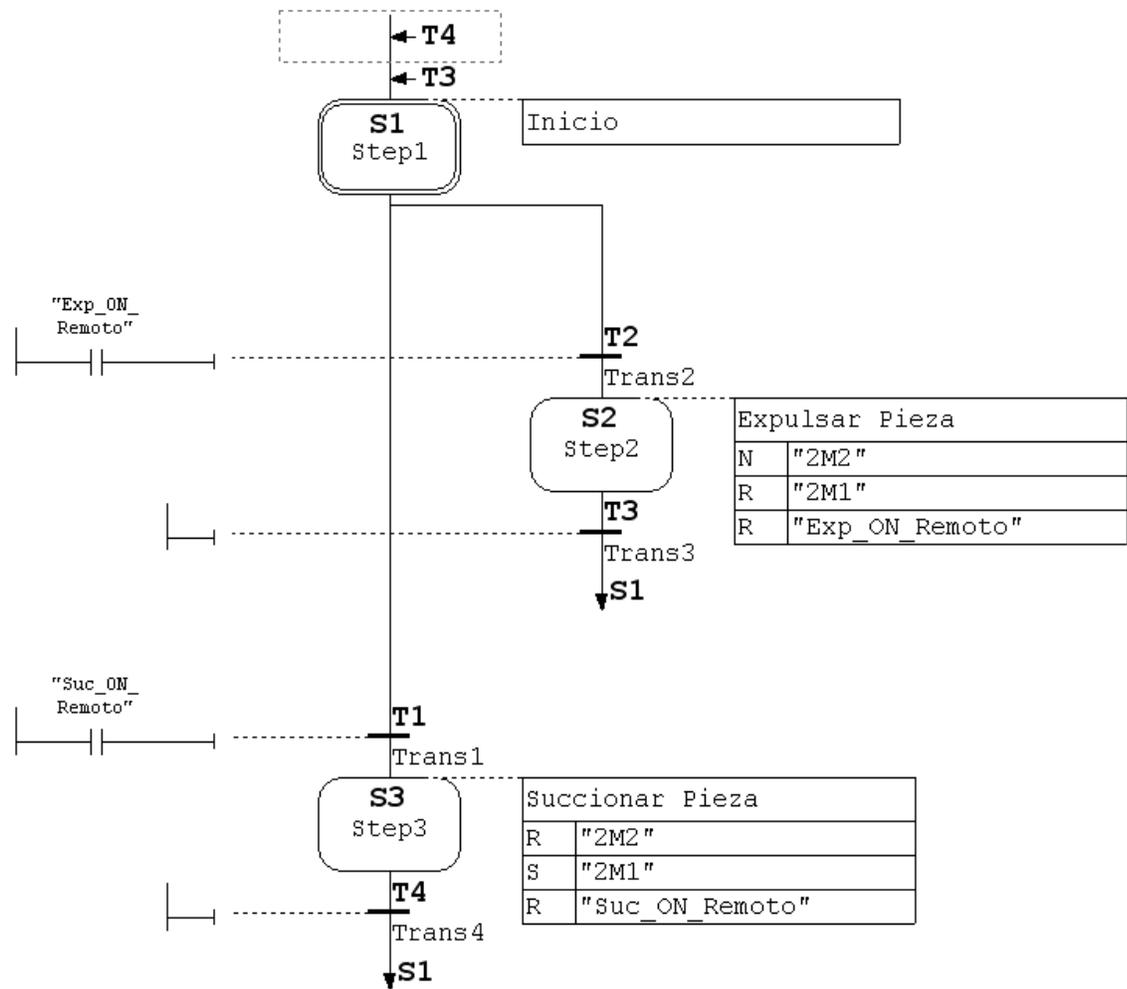


Figura A.6. Diagrama del módulo de expulsión y succión.

En el diagrama de la Figura A.7 se utilizan los módulos anteriores para formar una secuencia completa de proceso.

El proceso se inicia al activar la señal "S1" (botón Start del panel de control), o la señal "RC_Start". Luego de activar alguna de las variables, se inicia el

proceso. Primero se hace una llamada al módulo de Reset para colocar los actuadores en la posición inicial; una vez terminado el reset, si hay piezas en el depósito, se contrae el cilindro expulsor y se coloca la pieza en la posición de carga, seguidamente se mueve el brazo a la posición de carga, una vez ahí, se enciende el dispositivo de succión y se toma la pieza, luego se mueve el brazo a la posición de descarga y se enciende el impulso de expulsión, esto produce que la pieza sea soltada. Si se encuentra activada la señal de “manual” (S3), el sistema se detiene hasta que se vuelva a activar la señal “S1” o “RC_Remoto”, de lo contrario, la secuencia se continúa repitiendo. La ejecución de cada segmento de la secuencia se comprueba monitoreando el estado de los respectivos sensores.

Secuencia Completa

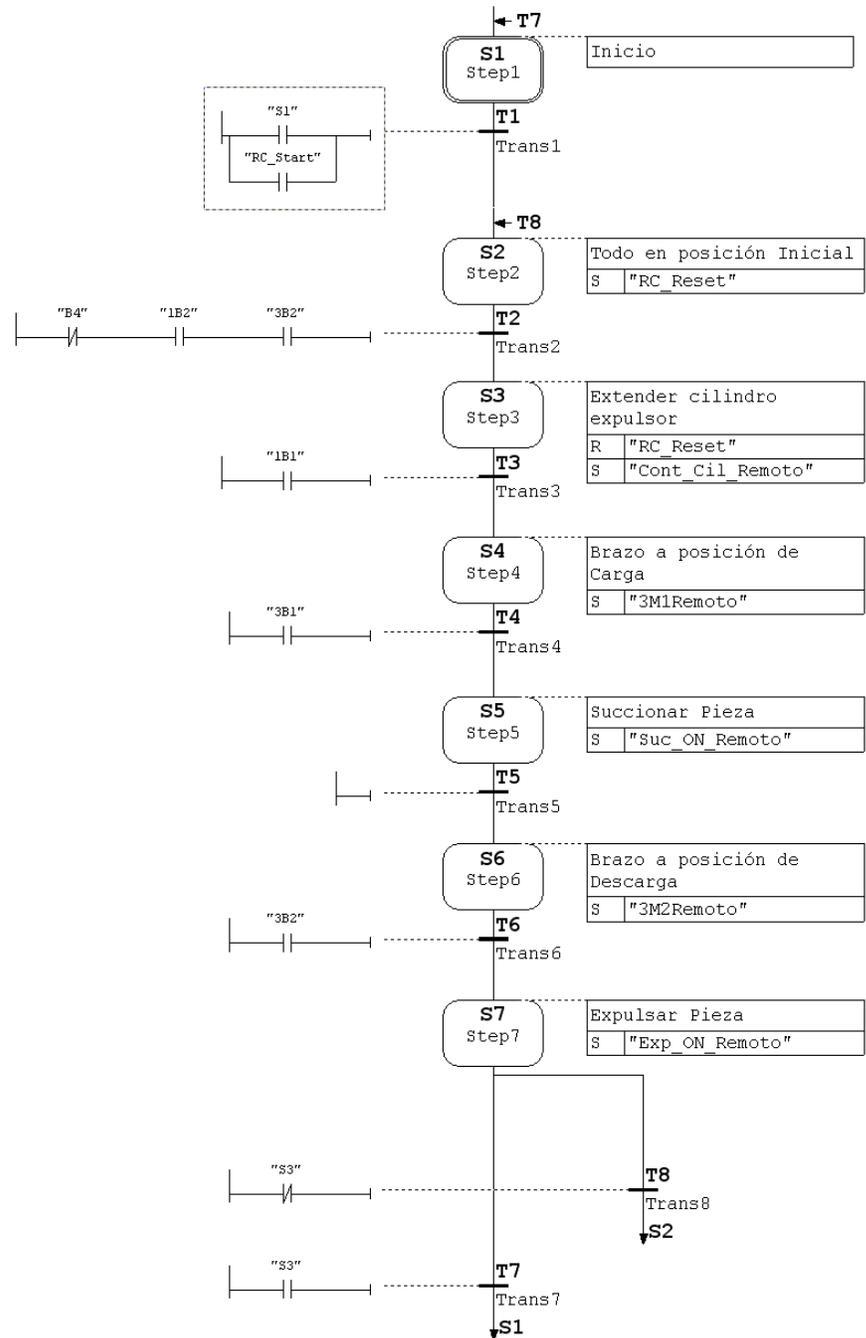


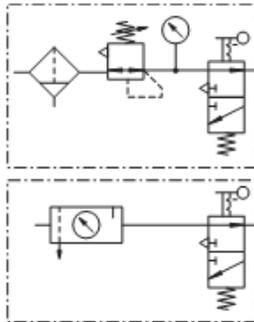
Figura A.7. Diagrama del módulo de secuencia completa.

Anexos

Anexo B.1 Regulador de entrada neumática [4]

152894

Service unit with on/off valve



Design

The filter regulator with pressure gauge, on/off valve, push-in fitting and quick coupling plug is mounted on a swivelling retainer. The filter bowl is fitted with a metal bowl guard. The unit is mounted on the profile plate by means of cheese head screws and T-head nuts (mounting alternative "C"). Attached is a quick coupling socket with threaded bush and connector nut for plastic tubing PUN 6 x 1.

Function

The filter with water separator cleans the compressed air of dirt, pipe scale, rust and condensate.

The pressure regulator adjusts the compressed air supplied to the set operating pressure and compensates for pressure fluctuations. An arrow on the housing indicates the direction of flow. The filter bowl is fitted with a filter drain screw. The pressure gauge shows the preset pressure. The on/off valve exhausts the entire control. The 3/2-way valve is actuated via the blue sliding sleeve.

Note

When constructing a circuit, please ensure that the filter regulator is installed in the vertical position. The pressure regulator is fitted with an adjusting knob, which can be turned to set the required pressure. By sliding the adjusting knob towards the housing, the setting can be locked.

152894

Service unit with on/off valve

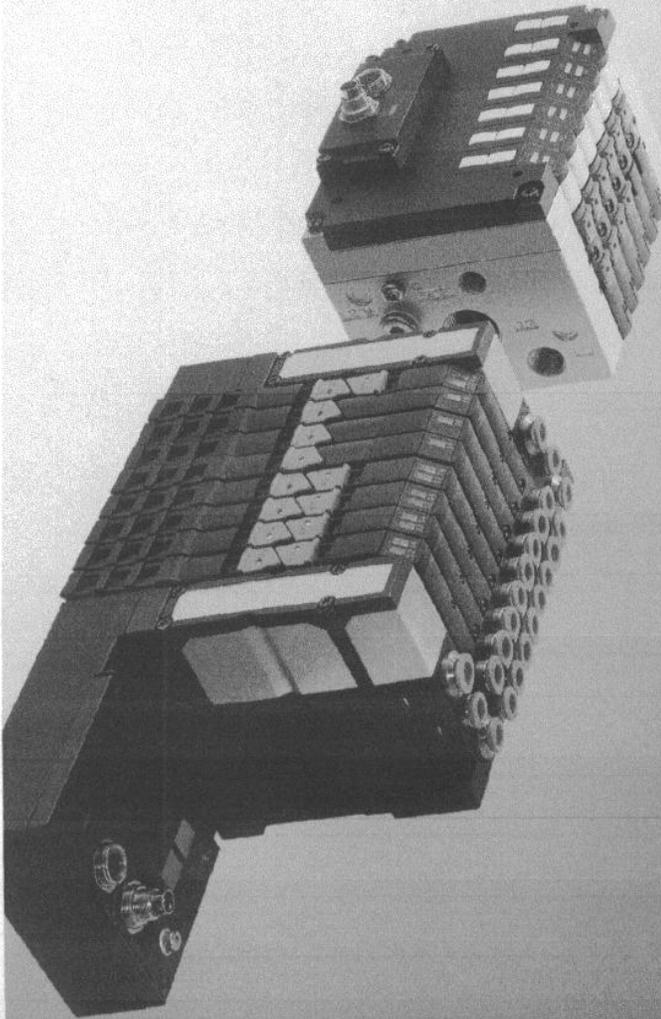
Technical data

Pneumatic	
Medium	Compressed air
Design	Sintered filter with water separator, diaphragm control valve
Assembly position	Vertical $\pm 5^\circ$
Standard nominal flow rate*	750 l/min
Upstream pressure max.	1600 kPa (16 bar)
Operating pressure max.	1200 kPa (12 bar)
Connection	Coupling plug fore coupling socket G 1/8 QS-plug fitting for plastic tubing PUN 6 x 1

* Upstream pressure: 1000 kPa (10 bar), Operating pressure: 600 kPa (6 bar),
Differential pressure: 100 kPa (1 bar).

Anexo B.2 Terminal de válvulas [5].

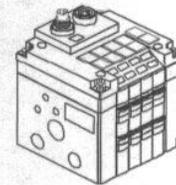
Compact performance



FESTO

**CPV pneumatics
manual**

CPV valve terminal
Type CPV...-VI

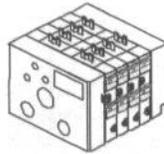


Manual
165 200
en 0204f

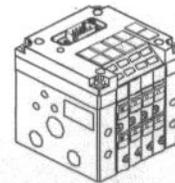
1. System summary

CPV valve terminal variants The CPV valve terminals are available with the following types of electrical connections:

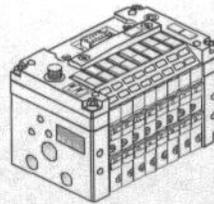
IC connection



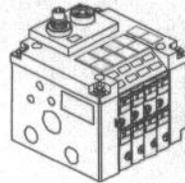
MP connection



CP direct connection



CP connection



AS-Interface connection

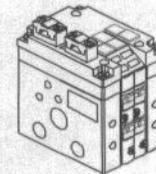


Fig. 1/1: Variants of the CPV valve terminal

CPV valve terminal with IC connection

The CPV valve terminal with IC connection is available with 2 to 8 valve sub-bases (also in odd gradation). The electrical connection is made individually on each valve solenoid coil.

CPV valve terminal with MP connection

This CPV valve terminal is available with 4, 6 or 8 valve sub-bases. The electrical connection of the valve solenoid coils is made centrally via the multipin connection.

CPV valve terminal with CP connection

The CPV valve terminal with CP connection is available with 4, 6 or 8 valve sub-bases. The connection to the higher-order field bus node is made via special ready-to-use CP cables.

1. System summary

CPV valve terminal with DI connection

The CPV valve terminals with direct connection are available for the following field bus systems in the sizes CPV10/14/18:

- CANopen
- DeviceNet
- Honeywell SDS
- Interbus Local bus (only in sizes CPV10/14)
- PROFIBUS DP, Festo field bus, ABB CS 31, Klöckner-Moeller SUCOnet K

These valve terminals can be connected directly to the relevant field bus. These CPV valve terminals are fitted with 4 or 8 valve sub-bases depending on the field bus system.

CPV valve terminal with AS-Interface connection

This CPV valve terminal is connected to the AS-Interface bus via special AS-Interface cables. It is available with 2, 4 or 8 valve sub-bases depending on the variant and with four different kinds of electrical connections:

- with additional supply connection for implementing an emergency stop function,
- with additional supply connection and 4 or 8 inputs (not CPV18),
- without additional supply connection,
- without additional supply connection with 4 or 8 inputs (not CPV18).

1. Systeem summary

The CPV valve terminals with AS-Interface connection can be fitted with max. following valve sub-bases:

Valve sub-base with ...	ASI-2 (...-Z)	ASI-4 (...Z) ...ASI-4E4A (...-Z)	...ASI-8E8A-Z
... two 2/2-way valves (single-solenoid)	1	2	4
... two 3/2-way valves (single-solenoid)	1	2	4
... 5/2-way valve (single-solenoid)	2	4	8
... 5/2-way valve (double-solenoid)	1	2	4
... 5/3-way valve	1	2	-

Tab. 1/1: Maximum number of sub-bases on the CPV valve terminals with AS-Interface connection



The CPV valve terminals with AS-Interface connection and 4 or 8 inputs have 4 or 8 valve sub-bases. These CPV valve terminals also have blanking plates depending on the number of valve sub-bases.

1.2 Description of components

Sizes of the CPV valve terminals

The CPV valve terminals are available in the following sizes:

CPV10	10 mm	Micro valves
CPV14	14 mm	Mini valves
CPV18	18 mm	Midi valves

Tab. 1/2: Sizes of the CPV valve terminals

1. System summary

Identification code

With the identification code (I.C.) you can ascertain the equipment fitted on your CPV valve terminal. The code is printed on the front between manual overrides 12 and 14.

I.C.	Pneumatic components
Valve sub-bases with 2/2-way valves	
D	Two 2/2-way valves, single-solenoid, basic position closed
I	Two 2/2-way valves, basic position control side 14 open, control side 12 closed
Valve sub-bases with 3/2-way valves	
C	Two 3/2-way valves, single-solenoid, basic position closed
H	Two 3/2-way valves, basic position control side 14 open, control side 12 closed
N	Two 3/2-way valves, basic position open
Valve sub-bases with 5/2-way valves	
F	5/2-way valve, single-solenoid, fast-switching
J	5/2-way valve, double-solenoid
M	5/2-way valve, single-solenoid
Valve sub-bases with 5/3-way valves	
G	CPV10/14: Two 3/2-way valves, basic position closed + valve extension 5/3G CPV18: 5/3-way valve, mid-position blocked
Vacuum generator plates	
A	Without reject pulse
I	With 2/2-way valve for reject pulse
Separator plates	
S	Exhaust channel (3/5) and compressed air channels (1.11) blocked
T	Compressed air channels (1, 11) blocked
Blanking plate	
L	Plate without valve function for placing in an unused valve location

1. Ssystem summary

I.C.	Pneumatic components
Relay plate	
R	Plate with two electrically-isolated relays
Valve extensions	
P	One-way flow control valve for restricting the supply air
Q	One-way flow control valve for restricting the exhaust air
V	Flow control valve for setting the reject pulse

Tab. 1/3: Identification codes of the pneumatic components



Further information on the valve sub-bases and vacuum generator plates can be found in Appendix B.

Valve extension 5/3G (only CPV10/14)

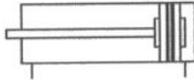
The valve extension 5/3G contains the function of two unlockable non-return valves. A function “5/3-way in mid-position blocked” can be implemented in conjunction with the valve sub-base with Ident code C (two 2/3-way valves in basic position blocked).



Further information on valve extension 5/3G can be found under “Fitting the valve extensions” in chapter 2 and under “General instructions” in chapter 4.

Anexo B.3 Cilindro expulsor [6].

FESTO



Catalogue page

Part no.: 19181

Page:1

Standard cylinder

DSNU-8-80-P-A

Sprinter 2000

Based on DIN ISO 6432, for proximity sensing. Various mounting options, with or without additional mounting components. With elastic cushioning rings in the end positions.

The DSNU standard modular system is an expansion of existing standard cylinders DSN/ESN and DSNU/ESNU. The expansion is

2-dimensional:

- Additional sizes including 32, 40, 50 and 63 mm diameters
- Modular system expansion with 3 additional cap types and innumerable additional variants
- The existing ESNU/DSNU represents the basic cylinder to which the variant characteristics are added. Basic cylinder types

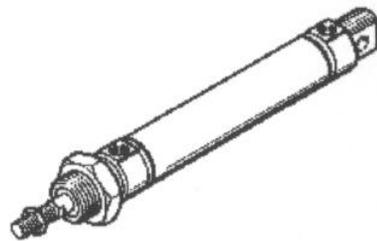
ESNU/DSNU with 8 to 25 mm diameters are in compliance with ISO 6432. Diameters 32 to 63 mm, the cap variants and additional variants are closely comparable to standard cylinders which correspond with the engineering design of the basic cylinder.

Variants and functions:

- 8 to 63 mm diameters for double-acting cylinders
- 8 to 63 mm diameters for single-acting cylinders
- Double-acting P, P-A, PPV, PPV-A
- Single-acting pushing P, P-A
- Standard stroke lengths, double-acting: 10 to 500 mm, X strokes from 10 to 500 mm
- Standard stroke lengths, single-acting: 10 to 50 mm, X strokes from 1 to 50 mm- DSNU-... basic cylinder: bearing cap LD with flange
- thread, end cap AD with threaded pins and swivel bearing
- DSNU-...-MQ LD with flange thread, short AD with air connection at right angle to the cylinder axis
- DSNU-...-MA LD with flange thread, shorter AD with axial air connection along the cylinder axis
- DSNU-...-MH LD in block design for direct mounting, short AD with air connection at right angle to the cylinder axis

Additional variants:

- S2 double-ended piston rod
- S3 stainless steel piston rod
- S10 slow speed
- Q square piston rod
- K2 extra long external thread on the piston rod
- K3 internal piston rod thread
- K5 special piston rod thread
- K6 extra short external thread on the piston rod



DSNU-8-80-P-A
Standard cylinder

Data sheet
Part no.: 19181
Page:1

Feature	Data/description
Mode of operation	Double acting
Shape piston	Round
Shape of piston rod	Round
In accordance with standard ISO	ISO 6432
Sensing type	Magnetic
Type of cushioning	Internal cushioning ring (non-adjustable)
Protection against torsion	None
Piston, nominal size	8
Stroke	80 mm
Piston rod diameter	4 mm
End of piston rod	Male thread
KK Piston rod thread	M 4
Operating pressure min.	1 bar
Operating pressure max.	10 bar
Minimum ambient temperature	-20 °C
Maximum ambient temperature	80 °C
Bearing cap connection type	Female thread
EE Connecting thread for bearing cap	M 5
Material of cap	Wrought aluminium alloy
Material of seals	NBR, TPE-U(PU)
Material of piston rod	Stainless high-alloy steel
Material of barrel/housing	Stainless high-alloy steel
Coating of cover	Neutral anodised
Air connection type cover cap	Female thread
EE Connecting thread for end cap	M 5
Effective force (theor.) at 6 bar, adv.	30 N
Effect. force (theor.) at 6 bar, return	23 N
Air consumption at 6 bar advance /10mm	0,0032 l
Air consumption at 6 bar ret	0,0024 l
Medium	Dried air, lubricated or unlubricated

Anexo B.4 HOJA DE INFORMACIÓN DEL PROYECTO

Información del estudiante:

Nombre: Harold Villalobos Arias

Cédula: 6-0339-0065 **Carné ITCR:** 200236806

Dirección de su residencia en época lectiva: 50 m Norte del antiguo cine reina en Guadalupe, Goicoechea.

Dirección de su residencia en época no lectiva: 300 m sur de la escuela de Finca Guanacaste, Osa, Puntarenas.

Teléfono en época lectiva: 323-1256 **Teléfono época no lectiva:** 323-1256

Email: havillar@gmail.com

Fax: 225-7832

Información del proyecto:

Nombre del Proyecto: Control y monitoreo de una Estación de Distribución MPS®

Área del Proyecto: Automatización

Información de la empresa:

Nombre: Laboratorio LIRA

Zona: Cartago

Dirección: 600 m sur del estadio de Cartago. ITCR, Escuela de Ingeniería Electrónica.

Actividad Principal: Investigación

Información del asesor en la empresa:

Nombre: Arys Carrasquilla Batista

Puesto que ocupa: Directora del LIRA

Profesión: Ingeniera Electrónica

Grado académico: M. Sc.

Teléfono: 550-2118

Email: acarrasquilla@itcr.ac.cr

Anexo B.5 CARTA DE ENTENDIMIENTO

Señores

Instituto Tecnológico de Costa Rica

Biblioteca José Figueres Ferrer

Yo Harold Villalobos Arias carné 200236806, autorizo a la Biblioteca José Figueres del Instituto Tecnológico de Costa Rica disponer del Trabajo Final realizado por mi persona, con el título: “**Control y monitoreo de una Estación de Distribución MPS®**”, para ser ubicado en la Biblioteca Digital y ser accesado a través de la red Internet.

A handwritten signature in blue ink that reads "Harold Villalobos A." with a horizontal line underneath.

Cédula: 603390065