



**ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO**

**CARRERA DE INGENIERIA ELECTRÓNICA E  
INSTRUMENTACION**

**PROYECTO DE GRADO PARA LA OBTENCION DEL  
TITULO DE INGENIERO ELECTRONICO EN  
INSTRUMENTACION**

**“Automatización e Implementación de un Sistema  
HMI/SCADA para el ENCLAVAMIENTO Y SEGURIDADES  
DEL MOLINO DE PAPEL 5 de la Planta de Productos  
Familia Sancela del Ecuador S.A.”**

**Kattia Inés Navas Padilla  
Rosaura Margarita Reyes Casillas**

## *Agradecimientos*

Deseamos reconocer nuestro agradecimiento a nuestro compañero de estudio durante el desarrollo de esta tesis, Edwin Hidalgo Osorio con quien elaboramos este proyecto final de carrera, agradecemos las numerosas sugerencias y apoyo constante a lo largo de nuestro trabajo en equipo.

En especial, queremos agradecer a nuestro Director y Codirector de Tesis Marco Singaña y Franklin Silva, por la confianza que depositaron en nosotras, su constante colaboración, sus indicaciones y orientadas indispensables en el desarrollo de este trabajo. Queremos destacar la seriedad profesional que les caracteriza.

En especial un cariñoso reconocimiento a todas las personas que nos han demostrado su apoyo y brindados sus ánimos y consejos durante estas últimas semanas: Nancy Guerrón, María Navas.

A nuestros amig@s, a nuestros, a nuestros herm@nas, a nuestros padres, a nuestra familia, que están con nosotras siempre dándonos fuerzas para continuar. Ahora que acabamos las tesis, no sabemos qué excusa podremos decir para no acceder a todos los planes que tenemos que hacer juntos

Kattia y Rosaura

## *Dedicatorias*

A mis padres María Alegría y Jaime Cesar por su inmenso amor, comprensión, apoyo y por creer en mí.

A mis hermanas María, Amparito por su cariño incondicional.  
A mis sobrin@s María Inés, Jaime y Daniela por todas las alegrías vividas y las por vivir.

A mi pequeño hijo Esteban Andrés por su amor, apoyo, comprensión, compañía y por todas las alegrías vividas junto.

Kattia

A mi esposo y amigo Gustavo, por estar conmigo en aquellos momentos en que el estudio y el trabajo ocuparon mi estudio y trabajo ocuparon mi tiempo y esfuerzo. Gracias por toda tu ayuda.

A mis padres, Margarita y Víctor, y a mis queridos herman@s, por su apoyo para poder continuar con mis estudios.

A mis sobrin@s, Danny Alexis, Karlita y Gabrielita los pequeños que han alegrado mi corazón.

Rosaura

# CONTENIDO

## CAPITULO I

## FUNDAMENTOS

|            |   |          |
|------------|---|----------|
| <b>1.1</b> | <b>PROCESO DE FABRICACION DEL PAPEL .....</b>                     | <b>1</b> |
| 1.1.1      | Papel tissue ¿qué es el papel tissue? .....                       | 1        |
| 1.1.2      | Breve historia del papel tissue .....                             | 2        |
| <b>1.2</b> | <b>DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DEL PAPEL</b><br>.....                 | <b>3</b> |
| 1.2.1      | Materias primas .....   | 3        |
| 1.2.2      | Pulper .....  | 4        |
| 1.2.3      | Prensado .....  | 4        |
| 1.2.4      | Secado .....  | 4        |
| 1.2.5      | Crepado .....   | 4        |
| 1.2.6      | Línea de conversión .....   | 5        |
| 1.2.7      | Objetivos del proyecto de tesis con respecto a este proceso ..... | 5        |
| <b>1.3</b> | <b>AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL CON PLC's .....</b>                  | <b>7</b> |
| 1.3.1      | Introducción .....  | 7        |
| 1.3.2      | Tipos de Automatización Industrial .....                          | 8        |
| 1.3.3      | Definición de autómata programable .....                          | 9        |
| 1.3.4      | Origen e historia de los Autómatas Programables .....             | 10       |
| 1.3.5      | Necesidad de usar los PLC's .....                                 | 11       |
| 1.3.6      | Campos de aplicación de los PLC's .....                           | 13       |
| 1.3.7      | Ventajas e inconvenientes de los Autómatas Programables .....     | 13       |
| 1.3.8      | Estructura Externa de los PLC's .....                             | 14       |
| 1.3.9      | Arquitectura Básica de los PLC's .....                            | 14       |

|            |   |           |
|------------|---|-----------|
| <b>1.4</b> | <b>SENSORES Y TRANSDUCTORES .....</b>                     | <b>19</b> |
| 1.4.1      | Introducción .....  | 19        |
| 1.4.2      | Transmisores .....  | 19        |
| 1.4.3      | Clasificación de los Transmisores .....                   | 20        |
| 1.4.4      | Características de los Sensores .....                     | 20        |
| 1.4.5      | Transductores de Proximidad .....                         | 22        |
| 1.4.6      | Transductores de Proximidad Inductivos .....              | 24        |
| 1.4.7      | Relés .....   | 25        |
| <b>1.5</b> | <b>SISTEMAS HMI/SCADA .....</b>                           | <b>30</b> |
| 1.5.1      | DCS .....   | 30        |
| 1.5.2      | Introducción a los sistemas SCADA .....                   | 31        |
| 1.5.3      | HMI (Interfase Humano Máquina) .....                      | 34        |
| <b>1.6</b> | <b>COMUNICACIONES Y REDES DE CAMPO INDUSTRIALES .....</b> | <b>34</b> |
| 1.6.1      | Introducción .....  | 34        |
| 1.6.2      | Arquitectura de las redes de campo industriales .....     | 35        |
| 1.6.3      | Redes LAN industriales .....                              | 37        |
| 1.6.4      | Buses de Campo .....                                      | 37        |
| 1.6.5      | Buses de Campo importantes .....                          | 39        |
| 1.6.6      | Profibus .....  | 40        |

## CAPITULO II

## ANÁLISIS Y DISEÑO

|            |  |           |
|------------|--|-----------|
| <b>2.1</b> | <b>ANÁLISIS DE RENDIMIENTO DEL SISTEMA .....</b> | <b>44</b> |
| 2.1.1      | Tiempos muertos .....                            | 44        |
| 2.1.2      | Desperdicios .....                               | 45        |
| 2.1.3      | Consumo de energía .....                         | 45        |

|            |  |           |
|------------|--|-----------|
| <b>2.2</b> | <b>ESPECIFICACIONES DE REQUISITOS DEL SISTEMA .....</b>  | <b>45</b> |
| 2.2.1      | Computador Pentium 4 .....   | 46        |
| 2.2.2      | Paquete computacional WinCC V6.0 .....   | 46        |
| 2.2.3      | Modulo de comunicaciones CP5611 (32 bits) .....  | 47        |
| 2.2.4      | Conector de comunicaciones PROFIBUS, tipo 6XV1830-OMH10 .  | 48        |
| 2.2.5      | Plc Simatic S7-300 .....   | 48        |
| 2.2.6      | CPU 315 - 2 DP .....   | 50        |
| 2.2.7      | Fuente de alimentación PS 307; 5 A; (6ES7307-1EAx0-0AA0) ....  | 50        |
| 2.2.8      | Interfaz esclava IM 153-1 como esclavo DP en el sistema de<br>periferia descentralizada ET 200M .....          | 52        |
| 2.2.9      | Módulo de entradas digitales SM 321; DI 16 x DC 24V<br>(6ES7321-1BH02-0AA0) .....                              | 54        |
| 2.2.10     | Conectores de campo PPROFIBUS, tipo<br>6ES7 972-0BB12-0XA0 .....   | 55        |
| 2.2.11     | Pressuretrol® Controllers L604A .....  | 56        |
| 2.2.12     | Relé TELEMECANIQUE Serie RUN21D21 F7 .....   | 57        |
| 2.2.13     | Sensor de Proximidad Inductivo E57 MAL18T111EB1- NO<br>(normalmente cerrado) PNP de 10 – 48 VDC Premium+ ..... | 58        |
| <b>2.3</b> | <b>DIAGRAMA DE BLOQUES DEL SISTEMA .....</b>   | <b>59</b> |
| <b>2.4</b> | <b>SELECCIÓN DE COMPONENTES .....</b>  | <b>61</b> |
| <b>2.5</b> | <b>DISEÑO DE LA VISUALIZACIÓN DEL SISTEMA HMI/SCADA .....</b>  | <b>61</b> |
| 2.5.1      | Implementación de la Red de PLC's .....  | 61        |
| 2.5.2      | Diagrama de la Red de PLC's .....  | 63        |
| 2.5.3      | Requerimientos para Enclavamientos de la Máquina de<br>Papel MP5 .....   | 64        |
| <b>2.6</b> | <b>PROGRAMACIÓN DE PANTALLAS .....</b>   | <b>71</b> |
| 2.6.1      | Creación de un proyecto en WinCC .....   | 71        |

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 2.6.2 | Diseño de pantallas del proyecto de implementación del Sistema HMI/SCADA ..... | 86 |
|-------|--|----|

## CAPITULO III PRUEBAS EXPERIMENTALES

|            |   |           |
|------------|---|-----------|
| <b>3.1</b> | <b>DESCRIPCIÓN FÍSICA DEL SISTEMA .....</b> | <b>91</b> |
| <b>3.2</b> | <b>PRUEBAS EXPERIMENTALES .....</b>         | <b>93</b> |
| 3.2.1      | Pruebas de unidades .....                   | 93        |
| 3.2.2      | Pruebas del diseño de la aplicación .....   | 93        |
| 3.2.3      | Pruebas de validación del usuario .....     | 94        |
| <b>3.3</b> | <b>ANÁLISIS TÉCNICO-ECONÓMICO .....</b>     | <b>95</b> |
| 3.3.1      | Financiamiento del Proyecto .....           | 95        |
| 3.3.2      | Análisis de Costos .....                    | 95        |
| <b>3.4</b> | <b>ALCANCES Y LIMITACIONES .....</b>        | <b>96</b> |
| 3.4.1      | Alcances .....                              | 96        |
| 3.4.2      | Limitaciones .....                          | 97        |

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### BIBLIOGRAFIA

### ANEXOS

- A      Glosario de Términos.
- B      Hojas de Especificaciones Técnicas

## INTRODUCCION

El molino de papel de la Planta de Productos Familia-Sancela del Ecuador S.A., cuenta con la línea de producción de grandes rollos tissue con una capacidad de 45 toneladas por día. Este recibe la pulpa previamente preparada de la Planta de Preparación de pasta, es decir la fibra viene ya acondicionada para ingresar a al Molino de Papel y en una consistencia adecuada la cual ingresa a una caja de entrada y la pasta sale por presión hacia los tendidos en los cuales se forman el papel, para pasar a una etapa de prensado en la cual se extrae la mayor cantidad de agua, para que la fibra ingrese a la zona de secado lo mas seca posible, en esta zona de secado que lo conforma un rodillo denominado YANKEE, sobre el cual ingresa aire caliente a 450°C que es suministrado por dos quemadores, por el interior del cilindro ingresa una presión de vapor máxima de 9,6 Bares, entonces la hoja de papel ya seca es despegada por una cuchilla y enrollada en ejes.

La presente tesis de grado, tiene por objeto visualizar el encendido y enclavamiento del molino de papel MP5, a través del desarrollo de un sistema HMI, en el cual están involucrados el PLC Simatic S7-300 complementado con el paquete computacional WinCC, como base fundamental para la obtención del sistema HMI.

Para cumplir con el desarrollo el presente proyecto se ha dividido en tres capítulos desarrollados de la siguiente manera:

El *Capítulo I*, contiene los fundamentos teóricos referenciales del proceso de fabricación del papel, descripción del mismo, información de los elementos a utilizarse en el desarrollo del HMI.

El *Capítulo II*, presenta el análisis, especificaciones, descripción, selección de componentes para el desarrollo del sistema, en si el diseño de la visualización del sistema HMI.

El *Capítulo III*, presenta el resultado de las pruebas experimentales, el análisis Técnico \_ Económico, los alcances y las limitaciones del presente trabajo.



A partir de las experiencias obtenidas a lo largo del desarrollo del presente proyecto se registran las conclusiones y recomendaciones, que pueden convertirse, junto con todo el documento, en una base de investigación para futuros proyectos.

## **CAPITULO I**

### **FUNDAMENTOS**

#### **1.1 PROCESO DE FABRICACION DEL PAPEL**

El papel es una estructura obtenida en base a fibras vegetales de celulosa, las cuales se entrecruzan formando una hoja resistente y flexible. Estas fibras provienen del árbol y, según su longitud, se habla de fibras largas de aproximadamente 3 milímetros (generalmente obtenidas de pino insigne u otras coníferas)- o de fibras cortas -de 1 a 2 milímetros (obtenidas principalmente del eucalipto).

Según el proceso de elaboración de la pulpa de celulosa, ésta se clasifica en mecánica y química, cada una de las cuales da origen a diferentes tipos de papel en cuanto a rigidez y blancura.

Dependiendo del uso final que se le dará al papel, en su fabricación se utiliza una mezcla de los diferentes tipos de fibras, las que aportarán sus características específicas al producto final.

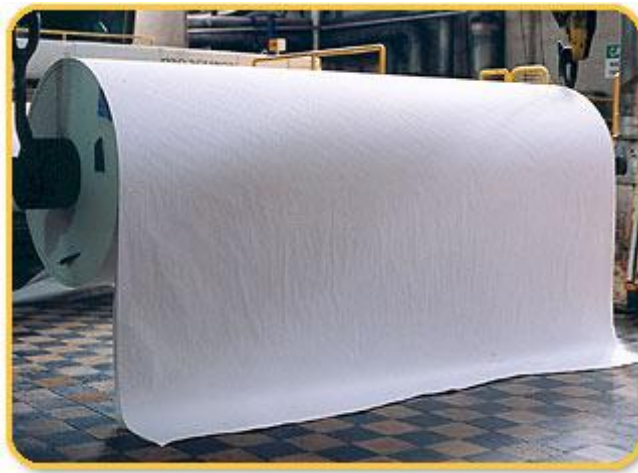
##### **1.1.1 Papel tissue ¿qué es el papel tissue?**

Se llama papel Tissue a un papel suave y absorbente para uso doméstico y

sanitario, que se caracteriza por ser de bajo peso y crepado; es decir, con toda su superficie cubierta de microarrugas, que le confieren elasticidad, absorción y suavidad.

El crepado aumenta la superficie (densidad) específica del papel y abre las fibras, permitiendo mayor capacidad de absorción y mayor flexibilidad que las de una hoja de papel corriente.

En la Figura Nº 1.1 se ilustra una bobina de papel tissue



**Figura Nº 1.1 Bobina de papel Tissue**

### **1.1.2 Breve historia del papel tissue**

En 1857, el neoyorquino Joseph C. Gayetty lanzó al mercado lo que él denominó Papel Medicado Gayetty, bajo el llamado publicitario "un artículo completamente puro para su higiene". Así nació el moderno papel higiénico, que en aquel entonces consistía en hojas de papel manila sin blanquear, marcadas al agua con el apellido del inventor. Sin embargo, el éxito comercial no acompañó a aquella iniciativa, y el papel higiénico de Gayetty tuvo una precaria venta.

En Inglaterra en 1879, el fabricante Walter Alcock intentó lanzar su propio papel higiénico; en vez de fabricarlo en hojas sueltas lo hizo en rollos de

hojas para ser arrancadas, separadas por líneas de perforación. Sin embargo, su iniciativa chocó con el puritanismo inglés de la época, al que no le parecía conveniente ver semejante producto en los estantes de las tiendas.

Los fallidos intentos de Gayetti y Alcock fueron, finalmente, superados por los hermanos estadounidenses Edward y Clarence Scott, quienes, merced a una agresiva y eficaz campaña publicitaria, se llevaron el honor de obtener el triunfo comercial de los rollos de papel higiénico, introduciendo al mercado una marca que aún hoy se comercializa activamente.

## **1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DEL PAPEL**

El proceso de fabricación del papel tissue consiste de algunas etapas, como se observa en la Figura № 1.2 y que se enumeran a continuación:

- Materias primas
- Pulper
- Prensado
- Secado
- Crepado
- Línea de conversión

### **1.2.1 Materias primas**

#### **Las fibras**

Todo papel se produce con fibras de origen vegetal, las que se entrelazan en un proceso de formación en húmedo y luego se secan para formar una hoja continua. Las fibras se obtienen de la celulosa (fibra virgen) o de papeles viejos (fibra reciclada), y pueden ser combinadas en distintas proporciones en la fabricación de papel tissue, según las características y usos de cada producto.

La fibra virgen se extrae de madera de fibra corta, de eucalipto globulus y madera de fibra larga, de pino insigne. La fibra reciclada es obtenida de papeles y cartones viejos, los que son sometidos a un proceso industrial

donde se separan las fibras vegetales, de las impurezas propias del papel.

### **1.2.2 Pulper**

La fibra reciclada y la fibra virgen se mezclan con agua y aditivos químicos en una gran batea llamada pulper, que opera como una juguera y da forma a una pasta acuosa que contiene las fibras.

### **1.2.3 Prensado**

La pasta es conducida a través de prensas que, por presión y succión, eliminan el exceso de agua y provocan la unión de las fibras. Las fibras en suspensión acuosa obtenidas en el proceso de preparación de pastas son sometidas a una depuración final en ciclones, e inyectadas a la sección de formación de la máquina papelera, que posee una malla sin fin, donde las fibras se acomodan (formación de una hoja húmeda). En ella son desaguadas por gravedad y vacío.

### **1.2.4 Secado**

En la fase de secado se elimina el agua que se encuentra dentro de la fibra. Este proceso ocurre al pasar la hoja entre un cilindro calentado con vapor y un secador que expelle aire calentado con gas natural.

La hoja húmeda es transferida a alta velocidad (alrededor de 100 Km/hora) a un paño continuo, similar a una alfombra, que la transporta y la traspasa prensada a un cilindro metálico de grandes dimensiones, calentado internamente por vapor.

Sobre este cilindro la hoja es calentada y, adicionalmente se le inyecta por fuera, aire a alta velocidad, a una temperatura aproximada a los 500° C. A través de todo este proceso la hoja es completamente secada.

### **1.2.5 Crepado**

Este proceso genera en la hoja de papel una onda tipo acordeón que le confiere elasticidad, y que mejora su suavidad y su absorción respecto de los papeles lisos.

Una lámina metálica aplicada al cilindro secador separa de éste la hoja de papel y la arruga, otorgándole una textura rugosa que imita a la del género y que le da sus propiedades de flexibilidad, absorción y suavidad.

La hoja continua es retirada o raspada desde el cilindro mediante una lámina raspadora, al tiempo que es enrollada.

Como el enrollado se hace a menor velocidad que la del secador, la hoja tiende a arrugarse contra la lámina raspadora produciendo el “crepado” característico del papel tissue.

### **1.2.6 Línea de conversión**

El resultado del proceso de fabricación es un rollo de papel de grandes dimensiones (o “jumbo”) cuyo diámetro es de 2 a 2,5 m y su peso de 2 a 3 toneladas.

En la línea de conversión se transforma y dimensiona el papel al formato de los productos finales como son: papel higiénico, servilletas de papel, pañuelos desechables, pañales infantiles y toallas absorbentes, entre otros.

### **1.2.7 Objetivos del proyecto de tesis con respecto a este proceso**

El objetivo de la presente tesis es utilizar los últimos adelantos en tecnología de punta, con el fin de aprovechar y mejorar la industria papelería que posee la Empresa “Familia Sancela del Ecuador”, obteniendo una mejor producción, con un mejor control desde el punto de vista de enclavamientos, de las distintas variables que van a ser manejadas, durante todo el proceso de transformar fibra de papel hasta conseguir el producto final que son los rollos de papel para la venta al público.

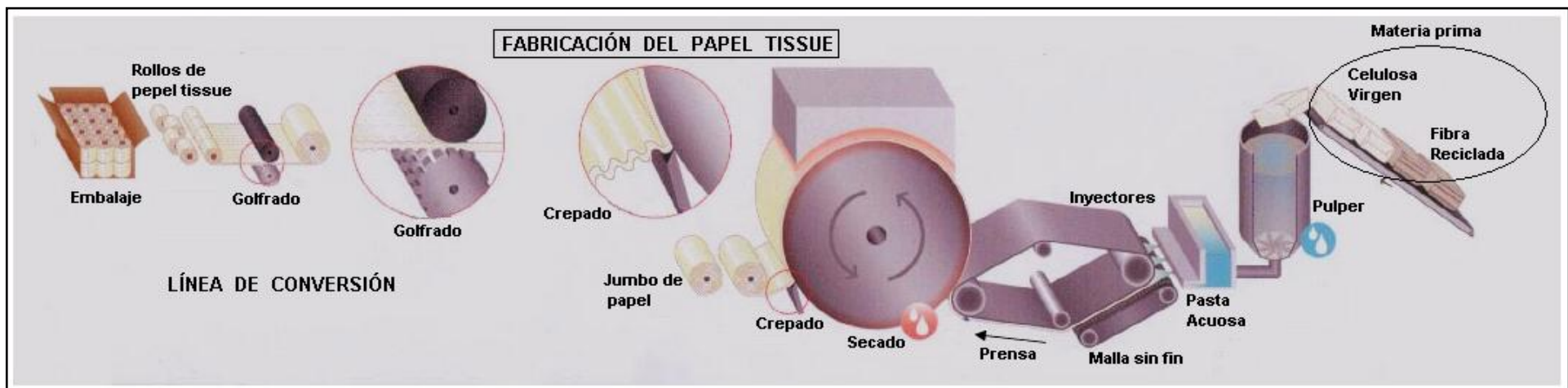


Figura № 1.2 Etapas del proceso de fabricación del papel tissue

## **1.3 AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL CON PLC's**

### **1.3.1 Introducción**

Por siglos el ser humano ha construido máquinas que imitan las partes del cuerpo humano. Durante los siglos XVII y XVIII en Europa fueron contruidos muñecos mecánicos muy ingeniosos que tenían algunas características de robots.

Estas creaciones mecánicas de forma humana deben considerarse como invenciones aisladas que reflejan el genio de hombres que se anticiparon a su época. Hubo otras invenciones mecánicas durante la revolución industrial, creadas por mentes de igual genio, muchas de las cuales estaban dirigidas al sector de la producción textil.

Entre ellas se puede citar la hiladora giratoria de Hargreaves (1770), la hiladora mecánica de Crompton (1779), el telar mecánico de Cartwright (1785), el telar de Jacquard (1801), y otros.

El desarrollo en la tecnología, donde se incluyen las poderosas computadoras electrónicas, los actuadores de control retroalimentados, transmisión de potencia a través de engranajes y la tecnología en sensores han contribuido a flexibilizar los mecanismos autómatas para desempeñar tareas dentro de la industria.

Como se ha visto, las tendencias de globalización y segmentación internacional de los mercados son cada vez más acentuadas. Y como estrategia para enfrentar este nuevo escenario, la automatización representa una alternativa que es necesario considerar.

La automatización y la robótica son dos tecnologías estrechamente relacionadas. En un contexto industrial se puede definir la automatización como una tecnología que está relacionada con el empleo de sistemas mecánicos-eléctricos basados en computadoras para la operación y control de la producción. En consecuencia la robótica es una forma de automatización industrial.



### 1.3.2 Tipos de Automatización Industrial.

Existen cinco formas de automatizar en la industria moderna:

- El Control Automático de Procesos
- El Procesamiento Electrónico de Datos
- La Automatización Fija
- La Automatización Programada
- La Automatización Flexible

Se deberá analizar cada una de ellas a fin de decidir correctamente el esquema más adecuado a utilizarse en el presente proyecto.

**El Control Automático de Procesos.-** Se refiere usualmente al manejo de procesos caracterizados de diversos tipos de cambios (generalmente químicos y físicos); un ejemplo de esto podría ser el proceso de refinación de petróleo.

**El Proceso Electrónico de Datos.-** Frecuentemente es relacionado con los sistemas de información, centros de cómputo, etc. Sin embargo en la actualidad también se considera dentro de esto la obtención, análisis y registros de datos a través de interfases y computadores.

**La automatización Fija.-** Es aquella asociada al empleo de sistemas lógicos tales como: los sistemas de relevadores y compuertas lógicas; sin embargo estos sistemas se han ido flexibilizando al introducir algunos elementos de programación como en el caso de los PLC's o Controladores Lógicos Programables.

La automatización fija se utiliza cuando el volumen de producción es muy alto, y por tanto se puede justificar económicamente el alto costo del diseño de equipo especializado para procesar el producto, con un rendimiento alto y tasas de producción elevadas. Además de esto, otro inconveniente de la automatización fija es su ciclo de vida que va de acuerdo a la vigencia del producto en el mercado.

**La automatización programable.-** La automatización programable se

emplea cuando el volumen de producción es relativamente bajo y hay una diversidad de producción a obtener. En este caso el equipo de producción es diseñado para adaptarse a las variaciones de configuración del producto; esta adaptación se realiza por medio de un programa (Software).

**La automatización flexible.-** Por su parte la automatización flexible es más adecuada para un rango de producción medio. Estos sistemas flexibles poseen características de la automatización fija y de la automatización programada.

Los sistemas flexibles normalmente están constituidos por una serie de estaciones de trabajo interconectados entre si por sistemas de almacenamiento y manipulación de materiales, controlados en su conjunto por una computadora.

### **1.3.3 Definición de autómata programable**

Se entiende por Controlador Lógico Programable (PLC), o autómata programable, a toda máquina electrónica diseñada para controlar en tiempo real y en medio industrial procesos secuenciales.

Su manejo y programación puede ser realizada por personal eléctrico o electrónico sin conocimientos informáticos. Realiza funciones lógicas: series, paralelos, temporizaciones, conteos y otras más potentes como cálculos, regulaciones, etc.

Otra definición de autómata programable sería una «caja» en la que existen, por una parte, unos terminales de entrada (o captadores) a los que se conectan pulsadores, finales de carrera, fotocélulas, detectores...; y por otra, unos terminales de salida (o actuadores) a los que se conectarán bobinas de contactores, electroválvulas, lámparas, etc., de forma que la actuación de estos últimos está en función de las señales de entrada que estén activadas en cada momento, según el programa almacenado.

La función básica de los autómatas programables es la de reducir el trabajo del usuario, ya que al realizar el programa, la relación entre las señales de entrada que se tienen que cumplir para activar cada salida, implica menor

trabajo que al utilizar elementos tradicionales (como relés auxiliares, de enclavamiento, temporizadores, contadores...) ya que los que el PLC controla son internos.

El autómata programable es un aparato electrónico programable por un usuario programador y destinado a gobernar, dentro de un entorno industrial, máquinas o procesos lógicos secuenciales. En la Figura Nº 1.3, se presenta la función que realiza un PLC.

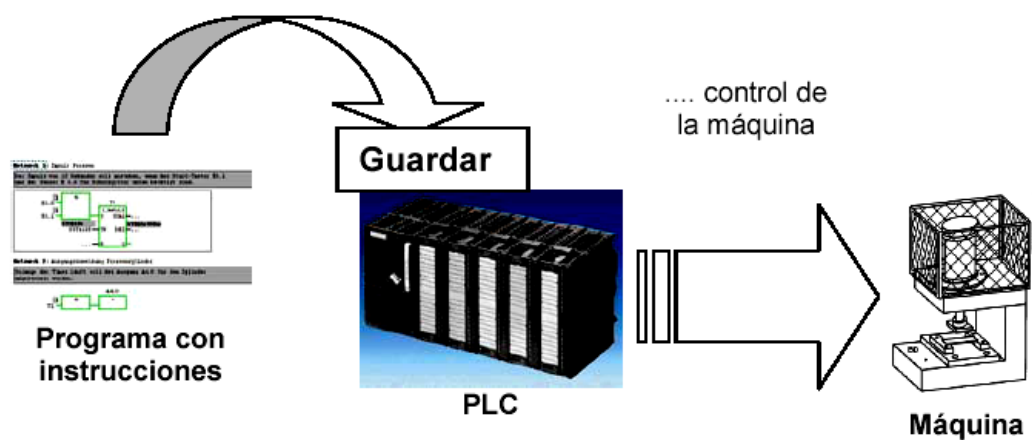


Figura Nº 1.3 Función del PLC

#### 1.3.4 Origen e historia de los Autómatas Programables.

Los autómatas programables aparecieron en los Estados Unidos de América en los años 1969 - 70, y más particularmente en el sector de la industria del automóvil; fueron empleados en Europa alrededor de dos años más tarde. Su fecha de creación coincide, con el comienzo de la era del microprocesador y con la generación de la lógica cableada modular.

El autómata es la primera máquina con lenguaje, es decir, un calculador lógico cuyo juego de instrucciones se orienta hacia los sistemas de evolución secuencial. Hay que apreciar que, cada vez más, la universalidad de los ordenadores tiende a desaparecer, el futuro parece abrirse hacia esta nueva clase de dispositivos: máquina para proceso de señales, para la gestión de bases de datos.

El autómata programable es, pues en este sentido un precursor y constituye para los automatistas un esbozo de la máquina ideal.

La creciente difusión de aplicaciones de la electrónica, la fantástica disminución del precio de los componentes, el nacimiento y el desarrollo de los microprocesadores y, sobretodo, la miniaturización de los circuitos de memoria permiten presagiar una introducción de los autómatas programables, cuyo precio es atractivo incluso para equipos de prestaciones modestas, en una inmensa gama de nuevos campos de aplicación.

El autómata programable satisface las exigencias tanto de procesos continuos como discontinuos. Regula presiones, temperaturas, niveles y caudales así como todas las funciones asociadas de temporización, cadencia, conteo y lógica. También incluye una tarjeta de comunicación adicional, por lo que el autómata se transforma en un poderoso satélite dentro de una red de control distribuida.

### **1.3.5 Necesidad de usar los PLC's**

Se caracteriza un proceso industrial como una operación o secuencia de operaciones en las que las variables del proceso (sean éstas temperaturas, desplazamientos, tiempos, etc.) están debidamente acotadas para obtener resultados repetibles.

La gran mayoría de los procesos industriales requieren algún tipo de coordinación, supervisión o control. La necesaria automatización de estas funciones puede ser llevada a cabo de muy diferentes formas, pero hasta hace algunos años, la práctica común consistía en el control de secuencias de operación en base a cuadros de relés y la utilización de módulos especiales para control de variables continuas como la temperatura y tableros de indicadores (luminosos, por ejemplo) para proveer la interfaz con un operador supervisor.

Lamentablemente, cuando debía cambiarse el proceso, debían realizarse modificaciones substanciales en el sistema de control del proceso y esto implicaba grandes costos y demoras. Por lo que se lo consideraba un proceso poco flexible, para superar este inconveniente se utilizaba procesos gobernados por un secuenciador a levass.

Para llevar más allá la idea de la flexibilidad, se concibió la posibilidad de utilizar una computadora especializada en el tipo de tareas que normalmente se requería de un control de un proceso industrial:

Sensado de contactos, actuación de relés y contactores, conteo, temporización, procesamiento de señales continuas (en contraposición a las señales discretas o lógicas), etc.

El hecho de utilizar una computadora permite, en la mayoría de los casos cambiar la funcionalidad del control del proceso sin más que cambiar el programa, ya que en general todos los "componentes" necesarios como relés auxiliares, temporizadores, etc., se encuentran ya definidos en el software interno de esta computadora especializada, que ahora es el control del proceso industrial. En los casos en que las modificaciones sean tantas que la capacidad de sistema inicial quede superada, por lo común será posible expandirlo con hardware adicional para cumplir con las nuevas exigencias.

La "especialización" de la computadora es básicamente de dos tipos:

Por un lado, y para facilitar su uso como control de proceso, debe ser programable con facilidad por técnicos habituados al funcionamiento de los controles más tradicionales y disponer de manera simple de todos los "componentes" de un sistema de control, a los que se hacía referencia, listos para ser utilizados.

Por otra parte, el tipo de construcción y su tolerancia a condiciones ambientales y eléctricas extremas, debe permitirle desempeñarse con confiabilidad en todo tipo de montaje industrial.

Esta computadora fácilmente programable para tareas de control, y concebida para ser utilizada en un ambiente industrial, es lo que se conoce como PLC.

### **1.3.6 Campos de aplicación de los PLC's**

Un autómata programable puede emplearse en procesos industriales que tengan una o varias de las siguientes necesidades:

- Espacio reducido.
- Procesos de producción periódicamente cambiantes.
- Procesos secuenciales.
- Maquinaria de procesos variables.
- Instalaciones de procesos complejos y amplios.
- Chequeo de programación centralizada de las partes del proceso.
- Maniobra de máquinas.
- Maniobra de instalaciones.
- Señalización y control.

Como se indicó anteriormente, este aspecto se refiere a los autómatas programables industriales, dejando de lado los pequeños autómatas para uso más personal (que se pueden emplear, incluso, para automatizar pequeños procesos en el hogar, como control de la puerta de una cochera o el activado / desactivado de las luces de la casa).

### **1.3.7 Ventajas e inconvenientes de los Autómatas Programables.**

Entre las principales ventajas se tiene:

- Menor tiempo de elaboración de proyectos.
- Posibilidad de incluir modificaciones sin costo añadido en otros componentes.
- Mínimo espacio de ocupación.
- Menor costo de mano de obra.
- Mantenimiento económico.
- Posibilidad de gobernar varias máquinas con el mismo autómata.
- Menor tiempo de puesta en funcionamiento.
- Si el autómata queda pequeño para el proceso industrial puede seguir siendo de utilidad en otras máquinas o sistemas de producción.

Y entre los inconvenientes:

- Adiestramiento o capacitación de técnicos.
- Costo.

Actualmente los inconvenientes se han hecho nulos, ya que todas las carreras de ingeniería incluyen la automatización como una de sus asignaturas. En cuanto al costo tampoco hay problema, ya que en el mercado existen autómatas para todas las necesidades y / o aplicaciones y a precios ajustados.

### **1.3.8 Estructura Externa de los PLC's**

Todos los autómatas programables, poseen una de las siguientes estructuras:

- Compacta, en un solo bloque están todos los elementos.
- Modular, puede ser de dos tipos:
  - Estructura americana, separa las E/S del resto de dispositivos del autómata.
  - Estructura europea, cada módulo es una función (fuente de alimentación, CPU, E/S, etc.).

Exteriormente se encontrará con cajas que contienen una de estas estructuras, las cuales poseen indicadores y conectores en función del modelo y fabricante.

Para el caso de una estructura modular se dispone de la posibilidad de fijar los distintos módulos en bastidores normalizados, para que el conjunto sea compacto y resistente.

### 1.3.9 Arquitectura Básica de los PLC's

Los elementos esenciales, que todo autómata programable posee como mínimo, son:

**Unidad Central de Proceso (CPU):** Se encarga de procesar el programa de usuario. Para ello se dispone de diversas zonas de memoria, registros, e instrucciones de programa.

Adicionalmente, en determinados modelos más avanzados, se dispone de funciones ya integradas en la CPU; como reguladores o controladores PID, control de posición, etc.

La CPU toma una a una, las instrucciones programadas por el usuario y las va ejecutando. Cuando llega al final de la secuencia de instrucciones programadas, la CPU vuelve al principio y sigue ejecutándolas de manera cíclica.

**Fuente de alimentación:** Es la encargada de convertir la tensión de la red, 110 o 220 [v] de corriente alterna, a baja tensión de corriente continua, normalmente a 24 [v]. Siendo ésta, la tensión de trabajo en los circuitos electrónicos que forma el Autómata.

**La memoria:** Dentro de la CPU existe un área de memoria, la cual esta

dividida en:

- Memoria del programa de usuario.- Aquí se introduce el programa que el autómata va a ejecutar cíclicamente.
- Memoria de la tabla de datos.- Se suele subdividir en zonas según el tipo de datos, como marcas de memoria, temporizadores, contadores, etc.
- Memoria del sistema.- Se encuentra el programa en código de máquina que monitorea el sistema (programa del sistema o firmware). Este programa es ejecutado directamente por el microprocesador / microcontrolador que posea el autómata.
- Memoria de almacenamiento.- Se trata de memoria externa que se emplea para almacenar el programa de usuario, y en ciertos casos parte de la memoria de la tabla de datos. Suele ser de uno de los siguientes tipos: EPROM, EEPROM, o FLASH.
- Cada autómata divide su memoria de esta forma genérica, haciendo subdivisiones específicas según el modelo y fabricante.

**Entrada / Salidas:** Generalmente se dispone de dos tipos de E/S:

- Digital.
- Analógica.

Las E/S digitales se basan en el principio de todo o nada, es decir poseen un nivel estándar de tensión o no conducen señal alguna. Estas E/S se manejan a nivel de bit dentro del programa de usuario.

Las E/S analógicas pueden poseer cualquier valor, dentro de un rango determinado, especificado por el fabricante. Se basan en convertidores A/D y D/A aislados de la CPU (óptimamente o por etapa de potencia). Estas señales se manejan a nivel de byte o palabra (constituido por 8/16 bits) dentro del programa de usuario.

Las E/S son leídas y escritas dependiendo del modelo y del fabricante, es decir pueden estar incluidas sus imágenes dentro del área de memoria o ser manejadas a través de instrucciones específicas de E/S.



Todas las salidas del PLC deben protegerse contra las sobretensiones que aparecen sobre ellas, principalmente en el momento del apagado de las cargas a las que están conectadas.

**Interfaces:** Todo autómata, salvo casos excepcionales, posee la virtud de poder comunicarse con otros dispositivos, como con una PC o con otro PLC.

Lo normal es que posea una Interface de comunicación de entrada/salida serie del tipo o estándar RS-232 / RS-422. A través de esta línea se pueden manejar todas las características internas del autómata, incluido la programación del mismo, y suele emplearse para monitorización del proceso en otro lugar separado.

**Equipos o unidades de programación.-** El autómata debe disponer de alguna forma de programación, la cual se realiza empleando alguno de los siguientes elementos:

- *Unidad de programación.-* Suele ser en forma de calculadora. Es la forma más simple de programar el autómata, y se reserva para pequeñas modificaciones del programa o la lectura de datos, en el lugar de ubicación del autómata.
- *Consola de programación.-* Es un terminal a modo de ordenador que proporciona una forma más cómoda de realizar el programa de usuario y observar parámetros internos del autómata. Desfasado actualmente.
- *PC.-* Permite programar desde un ordenador personal estándar, con todo lo que ello supone: herramientas más potentes, posibilidad de almacenamiento en soporte magnético, impresión, transferencia de datos, monitorización mediante software SCADA, etc.
- Para cada caso, el fabricante proporciona bien el equipo o el software/cables adecuados. Cada equipo, dependiendo del modelo y fabricante, puede poseer una conexión a uno o varios de los elementos anteriores.

**Dispositivos periféricos.-** El autómata programable, en la mayoría de los casos, puede ser ampliable. Las ampliaciones abarcan un gran abanico de

posibilidades, que van desde las redes de datos internas (LAN, etc.), módulos auxiliares de E/S, memoria adicional hasta la conexión con otros autómatas del mismo modelo.

Cada fabricante facilita las posibilidades de ampliación de sus modelos, los cuales pueden variar incluso entre modelos de la misma serie.

**Software para la programación.-** Los paquetes de software para programación de autómatas convierten un ordenador personal en un equipo de programación específico.

Aprovechando sus potentes recursos de interfaz con otros sistemas (impresoras, otros PC) y con el usuario (teclado, monitor), y el bajo precio del hardware debido a la estandarización y generalización de uso de los ordenadores compatibles.

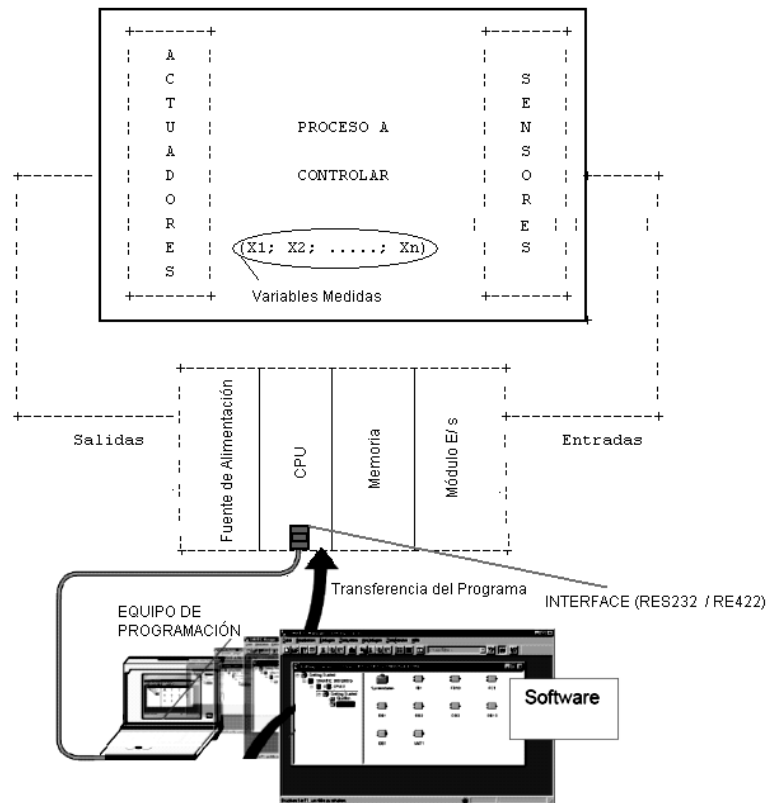
Esta opción (PC + software); junto con las consolas, éstas en menor medida, constituye prácticamente la totalidad de equipos de programación utilizados por los programadores de autómatas.

Los requisitos de hardware y software exigidos para instalar sobre el PC un entorno de programación de autómatas suelen ser, en general, muy ligeros, sobre todo cuando la instalación se realiza sobre sistema operativo DOS.

Algunos entornos actuales que corren bajo Windows presentan exigencias algo más duras en cuanto al hardware necesario en el PC (procesador 486 o superior, 8 MB de memoria RAM, etc.), aunque en la práctica quedan cubiertas si el equipo está ya soportando el entorno Windows.

El paquete de programación se completa con la unidad externa de conexión que convierte y hace compatibles las señales físicas entre la salida serie estándar de PC (RS-232C, RS-422/485) y el puerto de conexión de la consola del autómata, canal usualmente utilizado también para la conexión con el PC.

En la figura № 1.4 se indica la estructura básica de un PLC.



**Figura Nº 1.4 Arquitectura Básica del PLC**

## 1.4 SENSORES Y TRANSDUCTORES

### 1.4.1 Introducción

En todo proceso de automatización es necesario captar las magnitudes de planta, para poder así saber el estado del proceso que se controla. Para ello se emplean los sensores o transductores.

Un sensor es un transductor que recibe una señal de entrada en función de una o más cantidades físicas y la convierte modificada o no a una señal de salida generalmente eléctrica. Dicho de otra manera un transductor es aquel que convierte una forma de energía en otra.

Los sensores son el corazón de los sistemas de instrumentación y por lo general son el eslabón más débil. Contribuyen con ruido a las señales medidas y generan distorsión, debido a no linealidades. Son sujetos a cambios en su sensibilidad y requieren regularmente una calibración.

Los sensores primarios o elementos primarios de medida más comunes

son los fuelles, resortes, flotadores, bulbos, platinas dúctiles, membranas entre otros que generalmente trabajan bajo principios que conllevan a cambios indirectos aprovechados en los transductores.

#### 1.4.2 Transmisores

Al referirse a los transmisores que se emplean para conectar a autómatas programables, a través de las interfaces adecuadas, se distinguen las siguientes partes que lo componen:

- *Elemento sensor o captador.*- Convierte las variaciones de una magnitud física en variaciones de una magnitud eléctrica (señal).
- *Tratamiento de la señal.*- Si existe, realiza la función de modificar la señal obtenida para obtener una señal adecuada (filtrado, amplificación, etc.).
- *Etapas de salida.*- Comprende los circuitos necesarios para poder adaptar la señal al nivel requerido para la carga exterior.

En general, un transmisor capta la variable del proceso a través del elemento primario (sensor) y la transmite a distancia en forma de señal, sea neumática (3 a 15 PSI), o de corriente eléctrica (4 a 20 mA). El elemento primario puede o no formar parte integral del transmisor.

#### 1.4.3 Clasificación de los Transmisores

Según el tipo de señal de salida, es decir la forma de codificar la magnitud medida, se puede realizar la siguiente clasificación:

- *Analógicos.*- Son los que proporcionan un valor de tensión o corriente entre un rango previamente fijado, normalmente 0 -10 V o 4 -20 mA.
- *Digitales.*- Son los que proporcionan una señal codificada en pulsos o en alguna codificación digital; como BCD, binario, etc.
- *Todo-nada.*- Son los que únicamente poseen dos estados, los cuales están separados por un valor umbral de la variable detectada.

Según el tipo de magnitud física a detectar se puede establecer la siguiente clasificación:

- Posición lineal o angular
- Desplazamiento o deformación
- Velocidad lineal o angular
- Aceleración
- Fuerza y par
- Presión
- Caudal
- Temperatura
- Presencia o proximidad
- Táctiles
- Intensidad lumínica
- Sistemas de visión artificial

#### **1.4.4 Características de los Sensores**

Diversos factores determinan que sensores deben usarse para monitorear una variable, como son tiempo de respuesta, exactitud, precisión, etc.

La capacidad de un sensor está determinada por tres características: tiempo de respuesta, exactitud y precisión.

##### **Tiempo de Respuesta.**

Los sensores no responden inmediatamente, se requiere un periodo de tiempo para que éstos respondan a los cambios.

El término “tiempo de respuesta” es utilizado para designar al tiempo que requiere un instrumento o sensor para responder a los cambios de magnitud en la variable medida.

Distintos factores son los que afectan el tiempo de respuesta del sensor, como son el tipo de sensor, la proximidad del sensor a la variable medida, etc.

Por ejemplo, un instrumento de presión responderá a cambios en la presión en un par de segundos, mientras que un sensor de temperatura tomará más tiempo para responder, porque el sensor tiene que calentarse

o enfriarse en respuesta a los cambios en la temperatura de la variable medida, este efecto es conocido como retraso térmico. En forma similar, un sensor de presión de aire que esta directamente conectado a la pipa, responderá más rápido que un sensor idéntico conectado a la tubería del proceso y a una distancia mayor, este efecto es conocido como retraso hidráulico.

### Diferencia entre exactitud y precisión.

Exactitud y precisión son características de los sensores. Estos términos tienen diferentes significados en el contexto de los procesos de control. El término **exactitud** es usado para denotar que tan estrechas son las lecturas de las mediciones de un instrumento, o sensor. El término **precisión** es usado para designar que tan consistentes son las lecturas realizadas por un instrumento.

Las diferencias entre exactitud y precisión son ilustradas en las Figura № 1.5 a y № 1.5 b

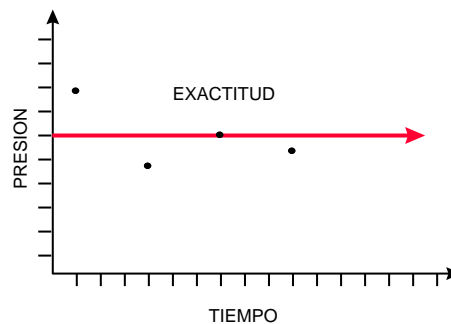
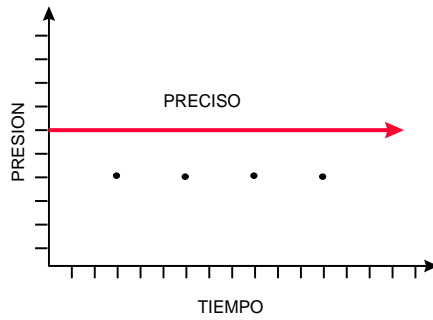


Figura № 1.5 a Exactitud del instrumento de medición



**Figura Nº 1.5 b Precisión del instrumento de medición**

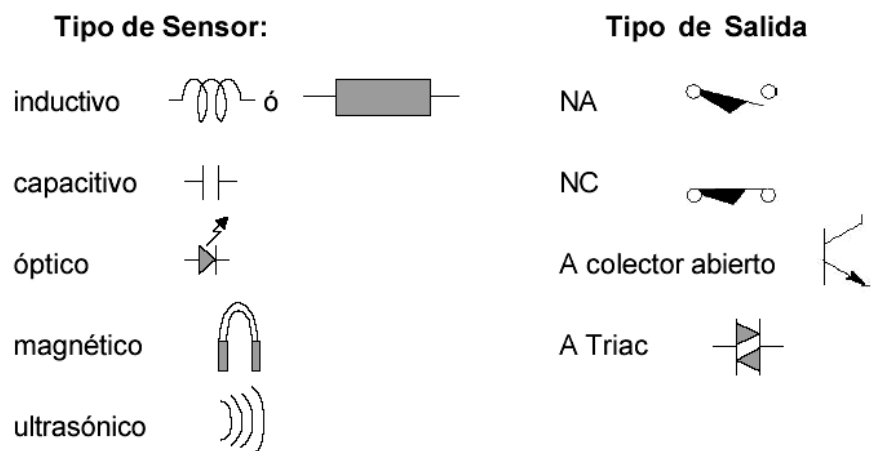
Se tiene cuatro lecturas de presión, y el valor de la presión actual es constante, se puede considerar que estas lecturas son precisas, porque las lecturas son consistentes y reproducibles.

#### 1.4.5 Transductores de Proximidad

Los más usuales son los siguientes:

- Inductivos
- Capacitivos
- Ópticos
- Magnéticos
- Ultrasónicos

En la Figura Nº 1.6, se presenta los tipos de sensores.



**Figura Nº 1.6 Tipos de sensores y sus salidas**

**Tipo de Salida.-** Para escoger un tipo de transductor adecuado se debe tener en cuenta qué dispositivo de salida va a activar. Es así que los tipos de salida que ofrecen los sensores de proximidad pueden ser principalmente de dos tipos, que están en función de la corriente de carga que van a controlar. Para corrientes de cierta importancia, como por ejemplo bobinas de contactores, donde la corriente puede llegar a algunos Amperios, se utilizan los de salida a Relé (o contacto seco), pudiendo ser la salida del tipo normalmente abierto (NA) o normalmente cerrado (NC).

Para cargas pequeñas, generalmente elementos electrónicos, se usa los de salida a transistor con colector abierto, pudiendo ser del tipo PNP o NPN. En todos los casos de salida a transistor, debe tenerse presente que si se manejan elementos de carga inductivos tales como relés, pueden aparecer sobretensiones externas al sensor producto de la autoinducción de dichos elementos, que pueden dañar el transistor de salida. Para protegerlos, deben agregarse al circuito elementos tales como diodos con polaridad inversa que cierren el circuito de la sobretensión. Una variante de éstos, cuando se debe trabajar con señales de A.C., son los de salida a Triac.

**Tipo de Conexión.-** En función del circuito de control que se pretenda implementar o armar, los transductores de proximidad pueden ser de distintos tipos:

- A 3 hilos (CC o AC) ó a 2 hilos (CC o AC)

#### **1.4.6 Transductores de Proximidad Inductivos**

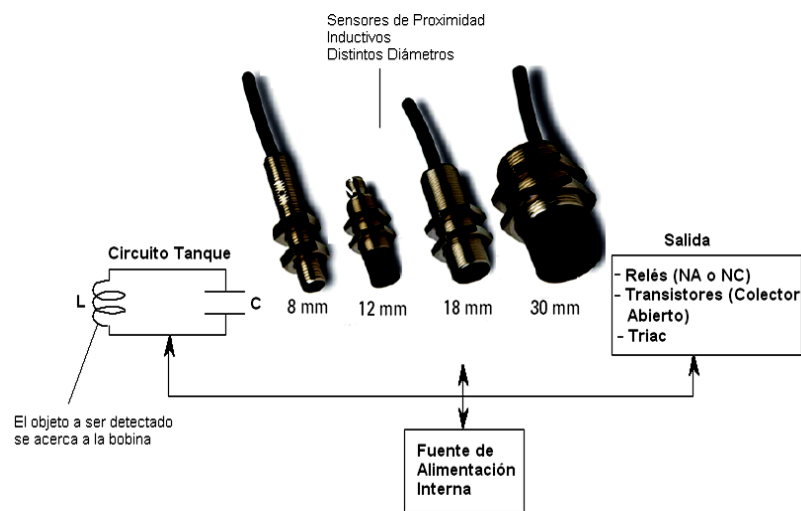
Como se indicó anteriormente, existen algunos tipos de sensores de proximidad, aquí se analizará los de tipo inductivo, debido a que en la presente tesis se ha utilizado únicamente este tipo de sensor.

El transductor se compone de un circuito tanque donde el inductor es el elemento detector, y un capacitor de un valor tal, que pone al sistema en resonancia. Un circuito comparador mide la tensión del capacitor con respecto a una tensión patrón prefijada.



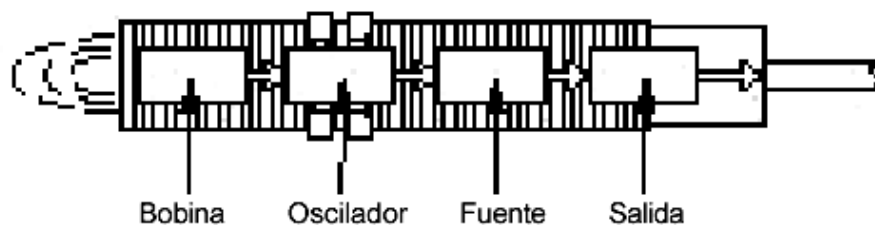
Cuando el circuito tanque está en resonancia, la tensión en el capacitor es máxima. En esas condiciones, el comparador no entrega salida. Si se acerca un elemento metálico al inductor, se producen en él corrientes de Foucault que lo sacan de resonancia. En esas circunstancias la tensión en el capacitor disminuye, y el comparador entrega una salida proporcional a la diferencia entre la máxima y la que ahora existe en el capacitor. Detecta cualquier tipo de metal porque inducen corriente en el elemento que se acerca.

En la Figura Nº 1.7 se presenta un esquema del sensor de proximidad inductivo.



**Figura Nº 1.7 Esquema del Sensor de Proximidad Inductivo**

En la Figura Nº 1.8 se presenta la composición fija de un sensor de proximidad.

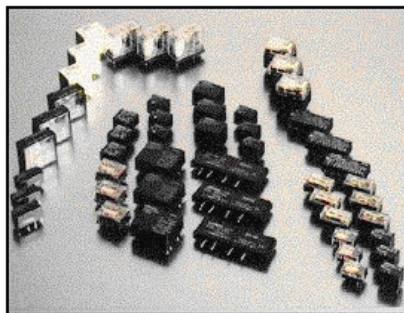


**Figura Nº 1.8 Composición Física del Sensor de Proximidad Inductivo**

### 1.4.7 Relés

El relé es un dispositivo electromecánico en el que por medio de un electroimán (dispositivo formado por un núcleo de hierro dulce, en el que se ha arrollado, en forma de bobina, un hilo conductor recubierto de un material aislante tal como seda o barniz. Se comporta como un imán mientras se hace circular una corriente por la bobina, cesando el magnetismo al cesar la corriente), se acciona un juego de uno o varios contactos que permiten abrir o cerrar circuitos eléctricos.

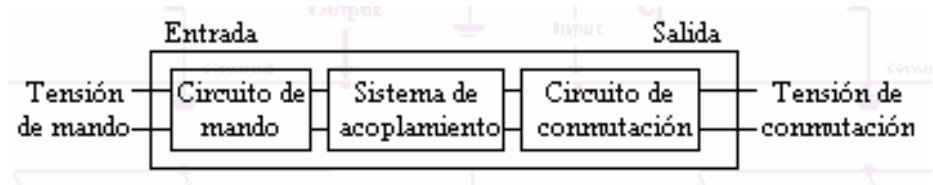
La gran ventaja de los relés, es la completa separación eléctrica entre la corriente de accionamiento (que circula por la bobina del electroimán) y los circuitos controlados por los contactos, lo que hace que se puedan manejar altos voltajes ó elevadas potencias con pequeñas tensiones de control. Por tanto un relé es un sistema mediante el cuál se puede controlar una potencia mucho mayor con un consumo en potencia muy reducido. En la Figura Nº 1.9 se ilustra un conjunto de relés.



**Figura Nº 1.9 Presentación de Relés**

**Estructura de un relé.**- Como se observa en la Figura Nº 1.10, en general, se puede distinguir los siguientes bloques de un relé:

- Circuito de entrada, control o excitación.
- Circuito de acoplamiento.
- Circuito de salida, carga o maniobra, constituido por:
  - Circuito excitador.
  - Dispositivo conmutador de frecuencia.
  - Protecciones.



**Figura № 1.10 Estructura general de un relé**

**Características Generales.-** Las características generales de cualquier relé son:

- El aislamiento entre los terminales de entrada y de salida.
- Adaptación sencilla a la fuente de control.
- Posibilidad de soportar sobrecargas, tanto en el circuito de entrada como en el de salida.
- Las dos posiciones de trabajo en los bornes de salida de un relé se caracterizan por:
  - En estado abierto, alta impedancia.
  - En estado cerrado, baja impedancia.

Para los relés de estado sólido se pueden añadir:

- Gran número de conmutaciones y larga vida útil.
- Conexión en el paso de tensión por cero, desconexión en el paso de intensidad por cero.
- Ausencia de ruido mecánico de conmutación.
- Escasa potencia de mando, compatible con TTL y MOS.
- Insensibilidad a las sacudidas y a los golpes.
- Cerrado a las influencias exteriores por un recubrimiento plástico.

### **Tipos de Relés:**

**Relés Electromecánicos.-** Están formados por una bobina y unos contactos los cuales pueden conmutar corriente continua o bien corriente alterna. Existen diferentes tipos de relés electromecánicos:

Relés de tipo armadura.- Son los más antiguos y también los más utilizados. El esquema siguiente (Figura № 1.11) explica prácticamente su constitución y funcionamiento. El electroimán hace vascular la armadura al

ser excitada, cerrando los contactos dependiendo de si es NA ó NC (normalmente abierto o normalmente cerrado).

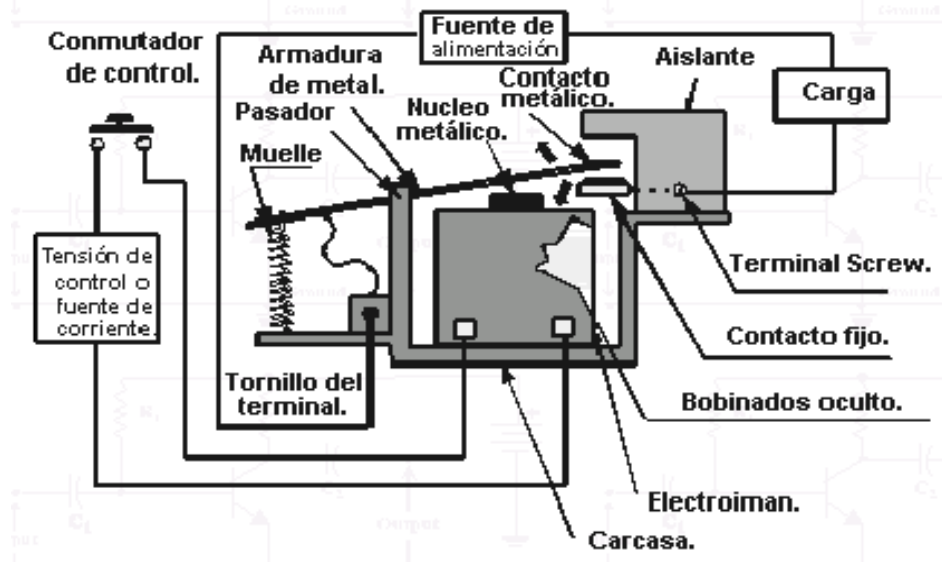


Figura Nº 1.11 Estructura de relé de tipo armadura

Relés de Núcleo Móvil.- Estos tienen un émbolo en lugar de la armadura anterior. Se utiliza un solenoide para cerrar sus contactos, debido a su mayor fuerza atractiva (por ello es útil para manejar altas corrientes). En la Figura Nº 1.12, se presenta la estructura interna de un relé de núcleo móvil.

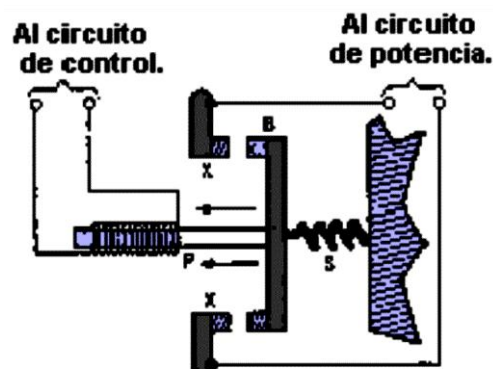
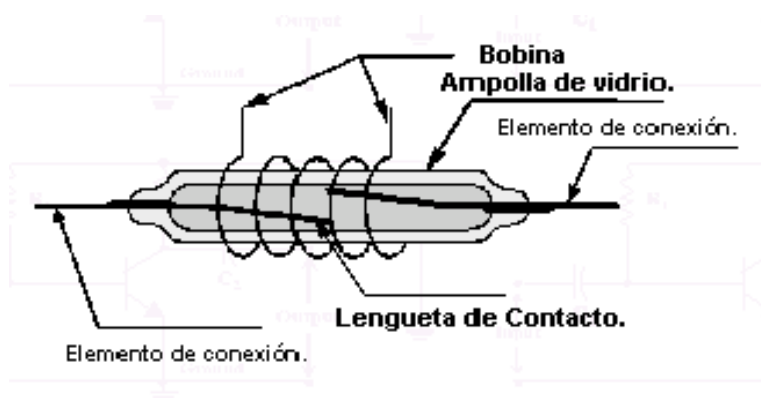


Figura Nº 1.12 Estructura interna de un relé de núcleo móvil.

Relé tipo Red o de Lengüeta.- Formados por una ampolla de vidrio, en

cuyo interior están situados los contactos (pueden ser múltiples) montados sobre delgadas láminas metálicas. Dichos contactos se cierran por medio de la excitación de una bobina, que está situada alrededor de dicha ampolla.

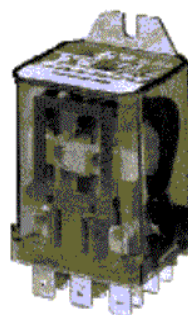
En la Figura Nº 1.13 se ilustra la estructura interna de un relé de lengüeta.



**Figura Nº 1.13 Estructura interna de un relé de lengüeta**

Relés Polarizados.- Llevan una pequeña armadura, solidaria a un imán permanente. (Figura Nº 1.14). El extremo inferior puede girar dentro de los polos de un electroimán y el otro lleva una cabeza de contactos.

Si se excita al electroimán, se mueve la armadura y cierra los contactos. Si la polaridad es la opuesta girará en sentido contrario, abriendo los contactos ó cerrando otro circuito (ó varios).



**Figura Nº 1.14 Estructura interna de un relé polarizado**

**Relés de Estado Sólido.-** Un relé de estado sólido SSR (Solid State Relay), es un circuito electrónico que contiene en su interior un circuito disparado por nivel, acoplado a un interruptor semiconductor de potencia que puede ser un transistor o un tiristor.

Por SSR se entenderá un producto construido y comprobado en fábrica, no un dispositivo formado por componentes independientes que se han montado sobre una placa de circuito impreso.

#### Estructura del SSR:

- **Circuito de Entrada o de Control.-** Control por tensión continua: El circuito de entrada constituye un LED (Fotodiodo), sólo o con una resistencia en serie, también se puede encontrarlo con un diodo en antiparalelo para evitar la inversión de la polaridad por accidente. Los niveles de entrada son compatibles con TTL, CMOS, y otros valores normalizados (12V, 24V, etc.).
- **Control por tensión Alterna.-** El circuito de entrada es similar al caso anterior, al cual se incorpora un puente rectificador integrado para implementar una fuente de corriente continua para polarizar el diodo LED.
- **Acoplamiento.-** El acoplamiento con el circuito se realiza por medio de un optoacoplador o por medio de un transformador que esta acoplado de forma magnética con el circuito de disparo del Triac.
- **Circuito de Conmutación o de salida.-** El circuito de salida contiene los dispositivos semiconductores de potencia con su correspondiente circuito excitador. Este circuito será diferente según se desee conmutar CC, AC.

## **1.5 SISTEMAS HMI/SCADA**

Una interfaz Humano-Máquina, es un mecanismo que permite a un operador humano interactuar con una máquina o proceso y determinar el estado de los dispositivos y/o variables físicas que están presentes en un proceso industrial.

A continuación se estudia algunos conceptos relacionados con los sistemas HMI/SCADA.

### **1.5.1 DCS**

El DCS, viene de las siglas ***Distributed Control System***, es un sistema de control que cumple con sus funciones de control a través de una serie de módulos de control, automáticos e independientes, distribuidos en una planta o proceso.

La filosofía de funcionamiento de esta arquitectura es evitar que el control de toda la planta este centralizado en una sola unidad, que es lo que se busca con el SCADA.

De esta forma, si una unidad de control falla, el resto de las unidades podrían seguir funcionando.

Los sistemas DCS se desarrollan sobre la base de dispositivos de control, tales como controladores o PLC's, en los que, un programa de control se encarga de tomar decisiones dependiendo de los datos que recibe en sus entradas. Las decisiones son enviadas hacia actuadores que son los que se encargan de mantener las variables del proceso bajo control en los valores apropiados.

Un operador humano no necesita supervisar lo que hace el DCS, pero si necesita comunicarse con éste de alguna forma (por ejemplo, mediante consolas de mano), para cambiar su programación o configuración.

### **1.5.2 Introducción a los sistemas SCADA**

SCADA es el acrónimo de Supervisory Control And Data Acquisition (Supervisión, Control y Adquisición de Datos).

Un SCADA es un sistema basado en computadores que permite supervisar y controlar a distancia una instalación de cualquier tipo.

A diferencia de los Sistemas de Control Distribuido (DCS), el lazo de control es generalmente cerrado por el operador. Los Sistemas de Control

Distribuido se caracterizan por realizar las acciones de control en forma automática.

**Tabla № 1.1 Sistemas SCADA Vs. DCS**

| <b>ASPECTO</b>                                    | <b>SCADA</b>   | <b>DCS</b>  |
|---|--|---|
| <b>Tipo Arquitectura</b>                          | Centralizada   | Distribuida   |
| <b>Tipo de Control Predominante</b>               | <u>SUPERVISORIO</u> : Lazos de control cerrados por el operador. Adicionalmente: control secuencial y regulatorio. | <u>REGULATORIO</u> : Lazos de control cerrados automáticamente por el sistema. Adicionalmente: control secuencial, y algoritmos avanzados, etc. |
| <b>Tipos de variables</b>                         | Desacopladas   | Acopladas   |
| <b>Área de acción</b>                             | Geográficamente distribuida.   | Área de la planta.  |
| <b>Unidades de adquisición de datos y control</b> | Remotas, PLC's   | Controladores de lazo, PLC's.   |
| <b>Medios de comunicación</b>                     | Radio, satélite, líneas telefónicas, conexión directa, LAN, WAN.   | Redes de área local, conexión directa   |
| <b>Base de datos</b>                              | Centralizada   | Distribuida   |

Actualmente es fácil hallar un sistema SCADA realizando labores de control automático en cualquiera de sus niveles, aunque su labor principal sea de supervisión y control por parte del operador.

En la Tabla № 1.1 anterior, se muestra un cuadro comparativo de las principales características de los sistemas SCADA y los sistemas de Control Distribuido (DCS). Estas características no son limitantes para uno u otro tipo de sistemas, son típicas.

El flujo de la información en los sistemas SCADA es como se describe a continuación:

- *El Fenómeno Físico*.- Constituye la variable que se desea medir. Dependiendo del proceso, la naturaleza del fenómeno es muy diversa:



presión, temperatura, flujo, potencia, intensidad de corriente, voltaje, PH, densidad, etc. Este fenómeno debe traducirse a una variable que sea inteligible para el sistema SCADA; es decir, en una variable eléctrica. Para ello, se utilizan los Sensores o Transductores.

- *Los Sensores o Transductores.*- Como se indicó anteriormente, convierten las variaciones del fenómeno físico en variaciones proporcionales de una variable eléctrica. Las variables eléctricas más utilizadas son: voltaje, corriente, carga, resistencia o capacitancia.
- Sin embargo, esta variedad de tipos de señales eléctricas debe ser procesada para ser entendida por el computador digital.
- Para ello se utilizan acondicionadores de señal, cuya función es la de referenciar estos cambios eléctricos a una misma escala de corriente o voltaje. Además, provee aislamiento eléctrico y filtraje de la señal con el objeto de proteger al sistema de ruidos originados en el campo.
- Una vez acondicionada la señal, la misma se convierte en un valor digital equivalente en el bloque de conversión de datos. Generalmente, esta función es llevada a cabo por un circuito de conversión analógico/digital.
- El computador almacena esta información, la cual es utilizada para su Análisis y para la toma de decisiones. Simultáneamente, se muestra la Información al usuario del sistema, en tiempo real. Basado en la información, el operador puede tomar la decisión de realizar una acción de control sobre el proceso.
- El operador comanda al computador para enviar una orden de control, la misma que se traduce en información digital y es convertida a una señal eléctrica. Esta señal eléctrica es procesada por una salida de Control, la cual funciona como un acondicionador de señal, para manejar un dispositivo dado: bobina de un relé, set point de un controlador, etc.

**Necesidad de un sistema SCADA.**- Para evaluar si un sistema SCADA es necesario para manejar una instalación dada, el proceso a controlar debe cumplir las siguientes características:

- El número de variables del proceso que se necesita monitorear es alto.
- El proceso está geográficamente distribuido. Esta condición no es limitante, ya que puede instalarse un SCADA para la supervisión y control de un proceso concentrado en una localidad.
- La información del proceso se necesita en el momento en que los cambios se producen en el mismo, o en otras palabras, la información se requiere en tiempo real.
- La necesidad de optimizar y facilitar las operaciones de la planta, así como la toma de decisiones, tanto gerenciales como operativas.
- Los beneficios obtenidos en el proceso justifican la inversión en un sistema SCADA. Estos beneficios pueden reflejarse como aumento de la efectividad de la producción, de los niveles de seguridad, etc.
- La complejidad y velocidad del proceso permiten que la mayoría de las acciones de control sean iniciadas por un operador. En caso contrario, se requerirá de un Sistema de Control Automático, el cual puede constituir un Sistema de Control Distribuido, PLC's, Controladores a Lazo Cerrado o una combinación de ellos.

**Funciones del Sistema SCADA.-** Dentro de las funciones básicas realizadas por un sistema SCADA están las siguientes:

- Obtener, almacenar y mostrar información, en forma continua y confiable, correspondiente a la señalización de campo: estados de dispositivos, mediciones, alarmas, etc.
- Ejecutar acciones de control iniciadas por el operador, tales como: abrir o cerrar válvulas, arrancar o parar bombas, etc.
- Alertar al operador de cambios detectados en la planta, tanto aquellos que no se consideren normales (alarmas) como cambios que se produzcan en la operación diaria de la planta (eventos). Estos cambios son almacenados en el sistema para su posterior análisis.
- Aplicaciones en general, basadas en la información obtenida por el sistema, tales como: reportes, gráficos de tendencia, historia de variables, cálculos, predicciones, detección de fugas, etc.

### **1.5.3 HMI (Interfase Humano Máquina)**

Una interfaz Humano-Máquina, HMI (anteriormente, MMI Man-Machine Interface), es un mecanismo que le permite a un operador humano interactuar con una máquina o proceso y determinar el estado (prendido / apagado) o magnitud de los dispositivos y/o variables físicas que están presentes en una planta o proceso industrial.

La interfaz puede ser tan simple como una lámpara indicadora del estado de un aparato, hasta una o varias pantallas desarrolladas en una computadora que llegan a mostrar representaciones esquemáticas de todo el proceso bajo supervisión, incluyendo valores reales de las variables presentes en ese momento en la planta. Un ejemplo común de una HMI es el cajero automático que posibilita al usuario ejecutar una serie de transacciones bancarias.

Programas como el InTouch de la Wonderware, Lookout de la National Instruments, por mencionar algunos, constituyen plataformas de desarrollo que facilitan el diseño de las HMI en computadoras. Algunos de estos paquetes de desarrollo incluyen muchas herramientas poderosas que permiten el desarrollo de HMI's de mucho potencial de procesamiento.

## **1.6 COMUNICACIONES Y REDES DE CAMPO INDUSTRIALES**

### **1.6.1 Introducción**

El aumento del número de dispositivos (sensores, actuadores e instrumentación adicional) utilizados en las plantas industriales y las grandes distancias a cubrir, ha originado un notable desarrollo de los sistemas de control basados en redes. Estos sistemas requieren de un medio de comunicación compartido. Los buses de campo son elementos de gran importancia en la transmisión de información desde módulos de entrada / salida analógicos o digitales, hasta los autómatas programables.

El desarrollo de las redes de campo industriales ha establecido una forma de unir todos estos dispositivos, aumentando el rendimiento y proporcionando nuevas posibilidades. Las ventajas que se aportan con una

red industrial son, entre otras, las siguientes:

- Visualización y supervisión de todo el proceso productivo.
- Toma de datos del proceso más rápida o instantánea.
- Mejora del rendimiento general de todo el proceso.
- Posibilidad de intercambio de datos entre sectores del proceso y entre departamentos.
- Programación a distancia, sin necesidad de estar a pie de fábrica.

### 1.6.2 Arquitectura de las redes de campo industriales

Las redes industriales, limitadas antes a comunicar los diferentes dispositivos de campo (transductores y transmisores con actuadores) han ido evolucionando para actualmente poder procesar los datos que en una planta moderna debe generar para ser competitiva, segura, confiable. Así mismo han tenido que desarrollarse para poder satisfacer las necesidades de información que ahora se tiene, no solo a nivel de proceso, sino también a nivel de gerencia.

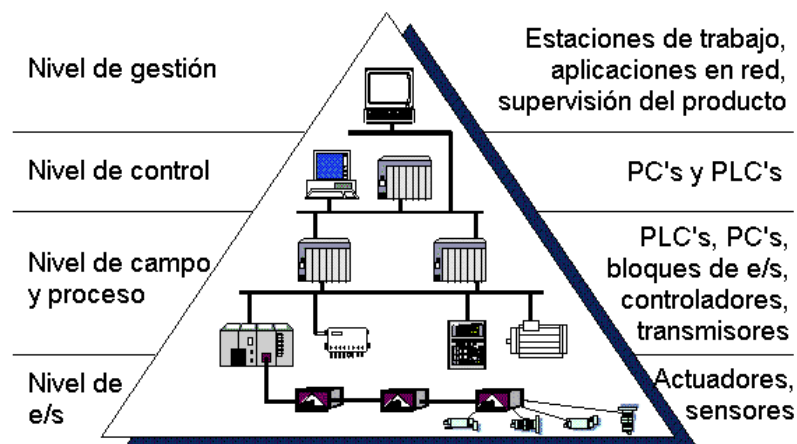
En una red industrial coexistirán equipos y dispositivos de todo tipo, los cuales suelen agruparse jerárquicamente para establecer conexiones lo más adecuadas a cada área. De esta forma se definen cuatro niveles dentro de una red industrial:

- **Nivel de gestión:** Es el nivel más elevado y se encarga de integrar los niveles siguientes en una estructura de fábrica, e incluso de múltiples factorías. Las máquinas aquí conectadas suelen ser estaciones de trabajo que hacen de puente entre el proceso productivo y el área de gestión, en el cual se supervisan las ventas, stocks, etc. Se emplea una red de tipo LAN (Local Area Network) o WAN (Wide Area Network).
- **Nivel de control:** Se encarga de enlazar y dirigir las distintas zonas de trabajo. A este nivel se sitúan los autómatas de gama alta y los ordenadores dedicados a diseño, control de calidad, programación, etc. Se suele emplear una red de tipo LAN, que funcionan bajo el protocolo ETHERNET.
- **Nivel de campo y proceso:** Se encarga de la integración de pequeños

automatismos (autómatas compactos, multiplexores de E/S, controladores PID, etc.) dentro de sub-redes o "islas". En el nivel más alto de estas redes se suelen encontrar uno o varios autómatas modulares, actuando como maestros de la red o maestros flotantes. En este nivel se emplean los buses o redes industriales de campo que funcionan bajo protocolos como Fieldbus, Profibus, por mencionar algunos.

- **Nivel de E/S:** Es el nivel más próximo al proceso. Aquí están los sensores y actuadores, encargados de manejar el proceso productivo y tomar las medidas necesarias para la correcta automatización y supervisión. En este nivel se emplean protocolos como: Seriplex, Hart, CanBus, etc.

En la figura Nº 1.15 se ilustra los niveles de una Red Industrial.



**Figura Nº 1.15 Arquitectura de una Red de Campo**

Es muy importante indicar que un diagrama representativo de una planta organizada de esta forma, suele parecer simple. Líneas que unen un bus con otro, ocultan la complejidad que en realidad existe. Desde ya debe entenderse que la unión no es solamente asunto de unir eléctricamente un bus con otro sino lograr que dos protocolos diferentes puedan comunicarse entre si.

Una planta industrial organizada de esta forma requiere de sistemas: SCADA, DCS, Multiplexores y HMI's.

### 1.6.3 Redes LAN industriales

Son las redes más elevadas jerárquicamente. Los estándares más conocidos y extendidos son dos:

- MAP (Manufacturing Automation Protocol): Nació como un producto especialmente diseñado para el entorno industrial, lo que hace que sea de mayor éxito en LAN Industriales. Fue impulsado por General Motors y normalizado por el IEEE. No actúa a nivel de bus de campo, pero establece pasarelas hacia estos buses mediante terminales. También permite integración en redes WAN.
- ETHERNET: Diseñada por Xerox Corporation y registrada posteriormente junto con Digital e Intel. Es compatible con el Modelo OSI en los niveles 1, 2 y 3 (el último a través de puentes). Permite topología en Bus o árbol con comunicación semidúplex. Las velocidades van desde los 10 Mbps a los 100 Mbps de Fast-Ethernet. Es uno de los estándar de red que más rápidamente evolucionan, debido a su uso masivo en redes ofimáticas.

### 1.6.4 Buses de Campo

El bus de campo constituye el nivel más simple y próximo al proceso dentro de la estructura de comunicaciones industriales. Está basada en procesadores simples y utiliza un protocolo mínimo para gestionar el enlace entre ellos. Los buses de campo más recientes permiten la comunicación con buses jerárquicamente superiores y más potentes.

En las fábricas muchos componentes como válvulas, actuadores, accionamiento, transmisores etc., por lo general operan muy distante de las computadoras o autómatas. Por ello, hoy en día en el área de campo (espacio físico donde se efectúa el proceso de la fábrica) se instalan unidades periféricas descentralizadas (estaciones remotas de entradas y salidas); éstas constituyen por así decir, la avanzada inteligente in situ.

Estas estaciones remotas deben comunicarse a través de un bus de comunicación con las computadoras ubicadas en las diferentes salas de

control, para así conocer cómo esta funcionando la planta.

Los usuarios (industrias o fábricas) requieren un sistema de bus de campo con las siguientes características:

- Aptitud universal para los más distintos equipos, sectores y aplicaciones.
- Normalización en ISO, DIN u otro organismo de normalización semejante.

La aptitud universal del bus de campo reduce los costos de ingeniería en los sistemas de control, ya que los usuarios no deben ampliar su propio know-how para distintos sistemas.

En un bus de campo se engloban las siguientes partes:

- *Estándares de comunicación:* Cubren los niveles físico, de enlace y de comunicación establecidos en el modelo OSI (Open Systems Interconnection).
- *Conexiones físicas:* En general, las especificaciones de un determinado bus admiten más de un tipo de conexión física. Las más comunes son semidúplex (comunicación en banda base tipo RS-485), RS-422 y conexiones en bucle de corriente.
- *Protocolo de acceso al medio (MAC) y de enlace (LLC):* Consiste en la definición de una serie de funciones y servicios de la red mediante códigos de operación estándar.
- *Nivel de aplicación:* Es el dirigido al usuario, apoyándose en las funciones estándar antes mencionadas para crear programas de gestión y presentación. La aplicación suele ser propia de cada fabricante, permitiendo a lo sumo la programación en un lenguaje estándar.

Los protocolos de comunicaciones digitales en la industria siguen, en general, el modelo estándar de interconexión de sistemas abiertos OSI.

Sobre esta base y las recomendaciones de ISA (International Society for Measurement and Control) y la IEC (International Electrotechnic

Comitees) se han establecido normas al respecto, en particular la IEC 1158, en desarrollo aún.

### **1.6.5 Buses de Campo importantes**

#### **Modbus Modicon**

Marca registrada de GOULD INC. Define un protocolo de comunicación de topología maestro-esclavo. Su principal inconveniente es que no está reconocido por ninguna normal internacional.

#### **BITBUS**

Marca registrada por Intel. De bajo coste y altas prestaciones. Intel cedió a dominio público el estándar, por lo que se considera un estándar abierto. Está reconocido por la normativa IEEE 1118. Se trata de un bus síncrono, cuyo protocolo se gestiona completamente mediante el microcontrolador 8044.

#### **S-BUS**

No es un bus de campo propiamente dicho, sino un sistema multiplexor/demultiplexor que permite la conexión de E/S remotas a través de dos pares trenzados.

#### **FIP (Factory Instrumentation Bus)**

Impulsado por fabricantes y organismos oficiales franceses.

#### **MIL-STD-1553B**

Adoptado por algunos fabricantes en USA. Uno de los buses de campo más utilizados para la automatización dentro de las industrias es el PROFIBUS. En la presente tesis se realiza la comunicación mediante este tipo de bus, por lo que a continuación se profundizará más sobre este tema.

### **1.6.6 PROFIBUS**



Normalizado con EN 50 170, tomo 2, norma PROFIBUS, este bus ofrece interfaces de usuario tanto para comunicaciones rápidas con dispositivos de campo, por ejemplo estaciones periféricas o descentralizadas o accionamientos, como para un amplio intercambio de datos entre equipos maestros.

La rápida difusión del PROFIBUS pone de manifiesto la elevada aceptación entre los usuarios.

El PROFIBUS está optimizado para el nivel de campo, lo cual pone de manifiesto también sus distintas interfaces de usuario.

Existen tres variaciones del bus de campo PROFIBUS que son las siguientes:

- *PROFIBUS-FMS*.- Ofrece servicio de usuario estructurados (semejantes al MMS) para la comunicación abierta en pequeñas células (valores característicos de 10-15 equipos de automatización como autómatas SIMATIC o PC's). En estas configuraciones, lo principal es el voluminoso intercambio de información y no el tiempo de respuesta de los mismos.
- *PROFIBUS-DP*.- Es la interfaz de usuario para el acoplamiento de dispositivos de campo; por ejemplo, accionamiento, estaciones periféricas descentralizadas ET200, isletas de válvulas.
- *PROFIBUS-PA*.- Se utiliza para la automatización de procesos en recintos expuestos a peligros de explosiones (áreas clasificadas). El proceso de transmisión cumple la norma internacional IEC 1158-2, el perfil de protocolo es PROFIBUS FMS (Siemens, Catálogo IK 10, 1997).

El PROFIBUS ofrece, además de ello el interfaz optimizado SEND/RECEIVE, para permitir una sencilla comunicación entre sistemas SIMATIC (equipos autómatas fabricados por SIEMENS).

Al igual que en el industrial Ethernet, también PROFIBUS, permite la creación de una red con cable bifilar o cables de fibra óptica.

En la Tabla № 1.2, se presenta un resumen del campo de aplicación de los protocolos Profibus.

**Tabla № 1.2 Resumen del campo de aplicación de protocolos Profibus**

| PROTOCOLO    | APLICABLE PARA   | INTERFACES DE USUARIO                                    |
|--------------|--|--|
| FMS          | SIMATIC S5/S7, PG/PC, HMI                              | Funcionalidad elevada                                    |
| DP           | Dispositivo de campo binario y analógicos inteligentes | Optimizada para comunicaciones con dispositivos de campo |
| SEND/RECEIVE | SIMATIC S5/S7,PG / PC, HMI                             | Funcionalidad elemental                                  |
| Funciones S7 | SIMATIC S7,PG/PC, HMI                                  | Funcionalidad elevada para comunicación con SIMATIC S7   |

**Funciones del Profibus.-** El método de acceso a PROFIBUS funciona por el procedimiento "Token Passing con maestro-esclavo subyacente" según EN 50 170, tomo 2. En este método se distingue aparatos (estaciones) de redes activas y pasivas. El "Token" lo reciben únicamente los aparatos activos acoplados al bus. Este Token es el derecho a emisión que un aparato activo acoplado al bus transmite al siguiente dentro de un período de tiempo predefinido.

Se identifica automáticamente si ha fallado un aparato acoplado al bus o si se ha incorporado un aparato más. Todos los aparatos que integran la red deben estar configurados a idéntica velocidad de transmisión.

**Construcción.-** Profibus ofrece un amplio espectro de componentes de red para sistemas de transmisión eléctricos y ópticos.

- **Red eléctrica:** La red eléctrica utiliza un cable bifilar trenzado apantallado como medio de transmisión. La Interfaz RS 485 funciona con diferencia de tensión. Por este motivo, es más inmune a las interferencias que una interfaz de tensión o de corriente. En PROFIBUS los aparatos pertenecientes al bus están conectados a éste a través de un terminal de bus o un conector de conexión a bus (máximo 32 equipos acoplados por segmento). Los distintos segmentos se conectan a través de repetidores. La velocidad de transmisión puede configurarse por nivel desde 9.6 Kbps hasta 1.5 Mbps según PROFIBUS para

aplicaciones en DFP.

- **Red óptica:** La red óptica de PROFIBUS, utiliza un cable de fibra óptica como medio de transmisión. La variante del cable de fibra óptica es que es inmune a las interferencias electromagnéticas, y es apta para grandes distancias de transmisión (cables de fibra opcionalmente de plástico o vidrio).

La longitud máxima de segmento en la variante óptica del PROFIBUS es independiente de la velocidad de transmisión (a excepción de anillos ópticos redundantes).

La configuración de las redes de fibra óptica se realiza mediante OLM's (Optical Link Module) con cable de fibra óptica de vidrio o de plástico. Con OLM's es posible crear una red óptica con topología lineal, en anillo o en estrella.

Con la ayuda de OLPs (Optical Link Plugs) se puede realizar anillos monofásicos sencillos de plástico.

El aparato terminal se conecta directamente a OLM u OLP. La conexión de aparatos terminales a OLP se realiza únicamente con estaciones pasivas PROFIBUS (esclavos DP/FMS).

Los anillos ópticos pueden configurarse como anillos monofásicos (económicos) o como anillos bifásicos (superior disponibilidad de la red).

- **Red combinada:** Son posibles estructuras mixtas de red PROFIBUS eléctrica y óptica. La transición entre ambos soportes se realiza a través del OLM.

En la comunicación entre los aparatos acoplados al bus no existe ninguna diferencia entre los que están interconectados a través de un sistema eléctrico y los que están a través de fibra óptica. Como máximo pueden conectarse 127<sup>1</sup> aparatos a una red PROFIBUS.

---

<sup>1</sup> Siemens, Catálogo, IK10,1997

## **CAPITULO II**

### **ANÁLISIS Y DISEÑO**

#### **2.1 ANÁLISIS DE RENDIMIENTO DEL SISTEMA**

##### **2.1.1 Tiempos muertos**

Siendo el tiempo un recurso de despilfarro muy importante y que muchas

veces no es objeto de contabilización, éste debe ser objeto de mucho cuidado y atención con el fin de llevar una política tendiente a la eliminación de pérdida del mismo.

El proceso de fabricación de papel, presenta muchos inconvenientes por ejemplo en el arranque; se debe cumplir una secuencia estricta, sobre todo por seguridad, en caso de no hacerlo se podría causar daños graves y costosos. Pero muchas veces no se puede arrancar y se debe recurrir al Departamento de Servicios Especiales para que determine cuál es la falla o que paso le falta al operario, esto involucra tiempo ya que se debe conectar el PC al PLC.

Se hace necesario implementar seguridades y visualización de enclavamientos eléctricos de las máquinas. En el Anexo № 2.1 se encuentra una tabla, la cual detalla los tiempos muertos en un día de producción.

### **2.1.2 Desperdicios**

Surge entonces la necesidad de reacondicionar partes de un proceso, así como eliminar equipos o materiales que no cumplen con las características óptimas de calidad y provocan pérdidas o desperdicios muy importantes; a esto se suma las pérdidas generadas por mantenimientos técnicos y una operación no óptima en el momento del arranque las máquinas y durante el proceso de enclavamiento.

### **2.1.3 Consumo de energía**

Se produce un sobreconsumo de electricidad por el no uso de los sistemas más eficientes para el control del proceso, lo que conlleva a altos costos que degradan la capacidad generativa de recursos por parte de una máquina de papel.

Cuando un proceso es continuo y las máquinas no operan eficientemente o trabajan a medias, la energía se sigue consumiendo pero con mínima o cero producción; generando un consumo de energía mayor respecto a la producción real, ya que se evalúa el kilovatio por tonelada de papel

producido. Las fallas en las unidades o equipos provocan arranques repetitivos innecesarios; estas fallas se deben a errores en el mantenimiento, en la operación, y defectos en las reparaciones, éstos provocan un aumento en la demanda de energía.

Al tener una visualización del proceso de enclavamiento se podrá a su vez disminuir el consumo de energía, ya que hay una gran diferencia entre la cantidad de tiempo necesario para generar una producción a ciegas y la que corresponde al mismo nivel de producción haciendo uso de un sistema automático, que facilita rápidamente determinar en donde está la falla y en este caso específico cual parte del enclavamiento de la máquina no se dio para continuar con los pasos siguientes.

## **2.2 ESPECIFICACIONES DE REQUISITOS DEL SISTEMA**

De acuerdo al análisis de rendimiento actual del sistema, indicado en el ítem anterior, a continuación se detalla las especificaciones de requisitos del sistema, para mejorar tal rendimiento u operación; automatizando e Implementado un Sistema HMI/SCADA en el Molino de papel de la Planta de Productos Familia-Sancela del Ecuador S.A.

### **2.2.1 Computador Pentium 4**

El PC a utilizarse debe cumplir con los requerimientos, que se indican en la Tabla № 2.1. Estos requerimientos son los mínimos necesarios para soportar el software que se va a utilizar, además se considera las posibles ampliaciones del sistema en un futuro no muy lejano.

**Tabla 2.1 Características de la PC**

|                             |   |
|-----------------------------|---|
| <b>Sistema operativo</b>    | Windows XP Professional SP2                             |
| <b>CPU</b>                  | Pentium IV, 2.8 GHz                                     |
| <b>Monitor</b>              | SyncMaster 1100DF/2100DF,<br>SyncMaster Magic CD210C(P) |
| <b>RAM</b>                  | 512 MB  |
| <b>Unidad de Disco Duro</b> | Maxtor 6Y080L0, 80GB                                    |
| <b>Unidad de disquete</b>   | 3.5"/1.44 MByte   |

|                         |                            |
|-------------------------|----------------------------|
| <b>Unidad de CD-ROM</b> | SAMSUNG CD-ROM SC-148A     |
| <b>Teclado</b>          | Estándar de 101/102 teclas |

### **2.2.2 Paquete computacional WinCC V6.0**

El paquete computacional WinCC está diseñado para la visualización y manejo de procesos, líneas de fabricación, máquinas e instalaciones. Es un moderno sistema que proporciona gran cantidad de funciones que incluye la emisión de avisos de eventos en una forma adecuada para la aplicación industrial, archivo de valores de medidos, recetas y listado de los mismos.

WinCC facilita soluciones de alto nivel para la técnica del control de procesos industriales.

Se utiliza este software en el presente Proyecto de Tesis, debido a su potente acoplamiento al proceso, especialmente con SIMATIC, y su seguro archivo de datos; así como también, porque la empresa “Familia Sancela del Ecuador”, tiene su base de componentes instalada de la marca Siemens.

En el Anexo Nº 2.2 se detallan los requerimientos del sistema para la ingeniería de software de WinCC y para WinCC Runtime.

### **2.2.3 Modulo de comunicaciones CP5611 (32 bits)**

El módulo de comunicaciones CP 5611 a 32 bits, se utiliza para realizar la conexión directa de los dispositivos de programación (PG o PC), que cuentan con una interfaz de bus PCI, con los Controladores Lógicos Programables (PLC's).

Se utiliza el procesador de comunicación CP5611, porque tiene integrado conectores con los cuales se puede diseñar redes en MPI y PROFIBUS; además la red MPI no permite que la máquina deje de funcionar aún cuando el HMI este fuera de funcionamiento.

### **Características de Hardware:**

- El módulo de comunicación CP 5611 dispone de un enchufe y un adaptador de red para los dispositivos con interfaz PCI de 32-bits.
- La velocidad máxima de bus (señal de reloj) es de 33 MHz.
- El módulo tiene las siguientes dimensiones:  
102 mm. X 130 mm., que corresponde a las dimensiones de un módulo de PCI corto.
- La tarjeta de este módulo de comunicación puede ser conectada en cualquier slot de expansión PCI.
- Los elementos que contiene esta tarjeta son extremadamente sensibles a las descargas electrostáticas, y su manipulación debe ser hecha con sumo cuidado.
- Esta equipado con una interfaz para trabajar en el modo PROFIBUS DP de hasta 12 MBaud. Se recomienda utilizar por lo menos un PC con procesador Pentium de 166 MHz.

### **Red de MPI / DP:**

Con el módulo de comunicaciones CP 5611, es posible conectar hasta 32 dispositivos: PC, PG, PLC's S7-XXX o ET200X, para formar los segmentos de red. El accesorio físico del interfaz de MPI/DP a la red de MPI/DP se realiza vía un interfaz flotante RS-485, la misma que viene integrada en el módulo.

Dependiendo de la configuración de red, el rango de transmisión de datos puede ser configurado desde 9,6 Kbps a un máximo de 1,5 Mbps en la red de MPI. En la red DP, la tasa de transmisión de datos puede llegar hasta los 12 Mbps. Se pueden unir varios segmentos de red (un máximo de 127 nodos) utilizando repetidores.

En el Anexo Nº 2.3 se detallan los requisitos mínimos para un procesador de comunicación CP5611 a 32 bits.

#### **2.2.4 Conector de comunicaciones PROFIBUS, tipo 6XV1830-OMH10**

### **Características de los Cables de Bus para PROFIBUS**



El cable de PROFIBUS es un cable de cobre de par trenzado apantallado. El mismo que se encarga de la transferencia de información, según el estándar estadounidense EIA RS-485.

En el tendido de los cables de PROFIBUS, hay que tener cuidado de no estirarlos, retorcerlos o prensarlos.

En el Anexo Nº 2.4 se detallan las características de conector de comunicación y la distribución de los pines de salida del PROFIBUS.

### **2.2.5 Plc Simatic S7-300**

Se utiliza el SIMATIC S7-300 porque permite una adecuada comunicación “Hombre-Máquina” ya que ofrece la solución a cada tarea de automatización. Además permite una fuerte flexibilidad de los sistemas lo que facilita un intercambio de datos entre los autómatas y el computador central.

El SIMATIC S7-300 es un PLC modular que ofrece un alto rendimiento para automatizar máquinas e instalaciones en la industria. No requiere mantenimiento, ofrece numerosas funciones integradas, un formato compacto así como una gran gama de módulos.

Su campo de aplicación no solo se limita a funciones de control lógico, sino también que permite: regular, posicionar, contar, dosificar, comandar válvulas y mucho más.

En la Figura Nº 2.1 se observa la apariencia físicamente del PLC SIMATIC S7-300.



**Figura № 2.1 Apariencia física del SIMATIC S7-300**

Se utiliza como sistema operativo a Windows 95/98/NT y para su programación el software STEP7, con el cual se obtiene una rápida programación.

El PC constituye una herramienta ideal para la adquisición, procesamiento y archivo de datos de máquinas y procesos, para funciones de manejo y supervisión del flujo de materiales y secuencias de producción, así como para tareas de control de procesos.

En el Anexo № 2.5 se detallan las especificaciones técnicas del PLC SIMATIC S7-300

## **2.2.6 CPU 315 - 2 DP**

### **Maestro DP o esclavo DP**

En una red PROFIBUS-DP. La CPU 315-2 DP se puede utilizar como maestro DP o esclavo DP.

La Figura № 2.2 muestra, en el panel frontal, los elementos de manejo e indicación de esta CPU.

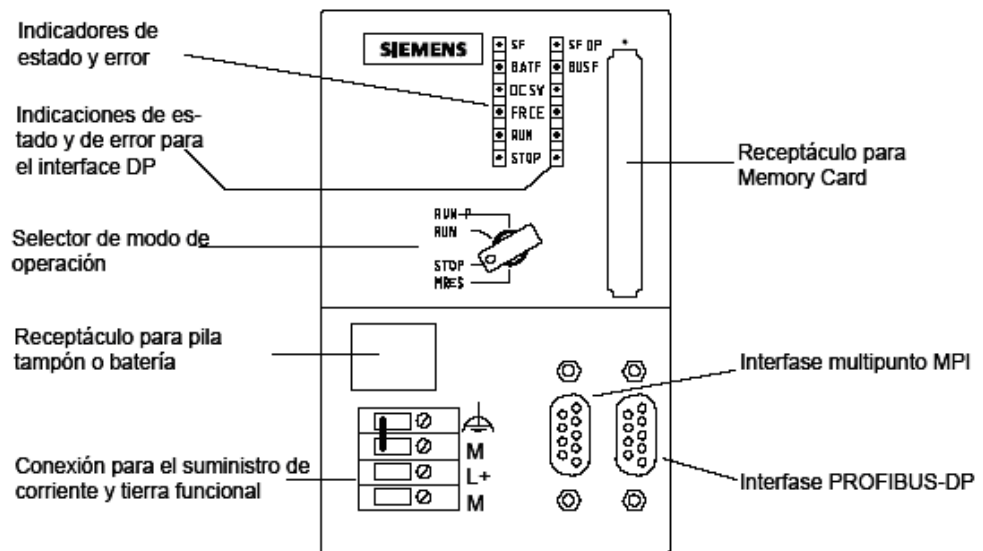


Figura 2.2 Panel frontal de la CPU 315-2 DP

En el Anexo Nº 2.6 se detallan los datos técnicos de la CPU 315-2 DP

## 2.2.7 Fuente de alimentación PS 307; 5 A; (6ES7307-1EAx0-0AA0)

### Características

La fuente de alimentación PS 307; 5 A, posee las siguientes características:

- Intensidad de salida: 5 A.
- Tensión nominal de salida: 24 Vcc, estabilizada, a prueba de cortocircuitos y marcha en vacío.
- Acometida monofásica, tensión nominal de entrada: 120/230 Vac, 50/60 Hz.
- Separación eléctrica segura según NE 60 950

En las Figuras Nº 2.3 y 2.4 se muestran los esquemas de conexión de la fuente de alimentación PS 307; 5 A.

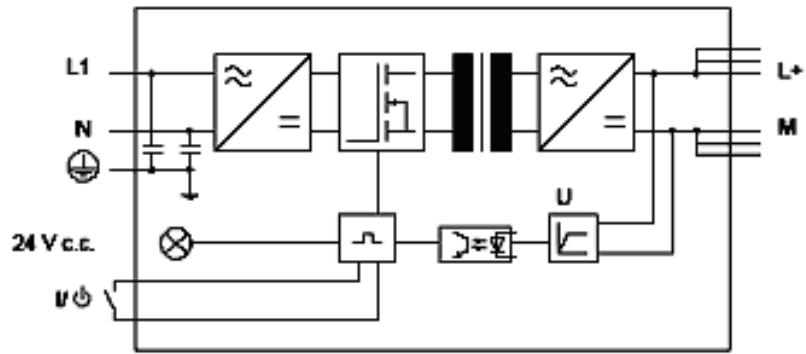


Figura № 2.3 Diagrama de bloques de la fuente de alimentación

PS 307; 5 A

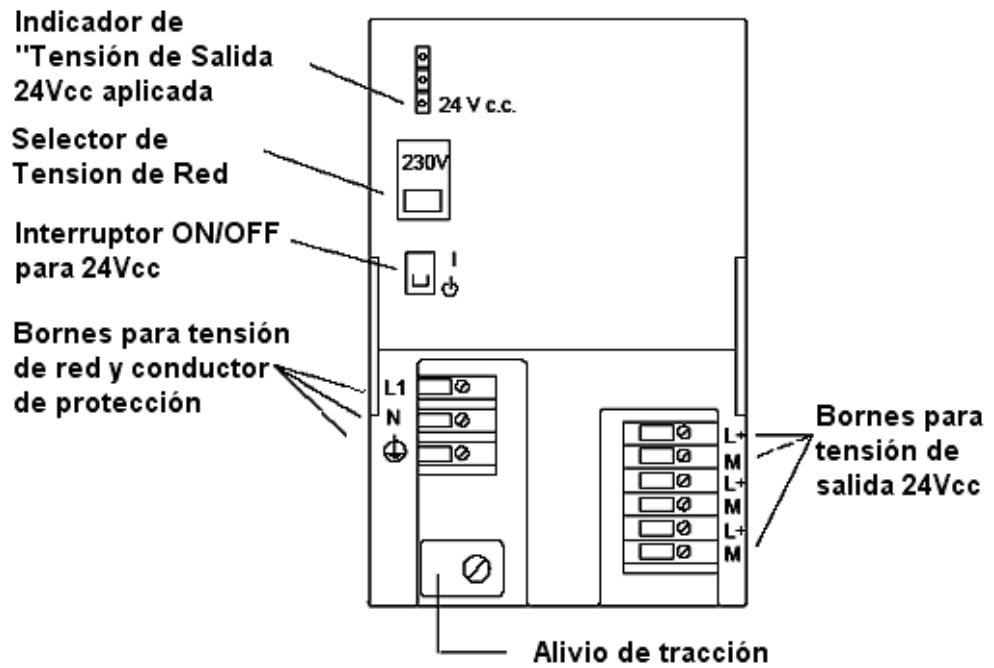


Figura № 2.4 Esquema de conexión de la fuente de alimentación

PS 307; 5 A

En el Anexo № 2.7 se detallan los datos técnicos de PS 307; 5 A (6ES7307-1EA00-0AA0)

### 2.2.8 Interfaz esclava IM 153-1 como esclavo DP en el sistema de periferia descentralizada ET 200M

El sistema de periferia descentralizada ET 200M es un esclavo DP modular dotado del grado de protección IP 20.

**IP 20** Tipo de protección según DIN 40050: Protección contra contacto con los dedos y contra la penetración de cuerpos sólidos extraños superiores a 12 mm.

El ET 200M posee el mismo diseño constructivo que el autómata programable S7-300 y se compone del IM 153-1 y módulos de periferia del S7-300. El montaje del ET 200M puede ser realizado tanto de forma horizontal como vertical.

En la Figura Nº 2.5 se muestra la configuración de la periferia descentralizada TE200M.

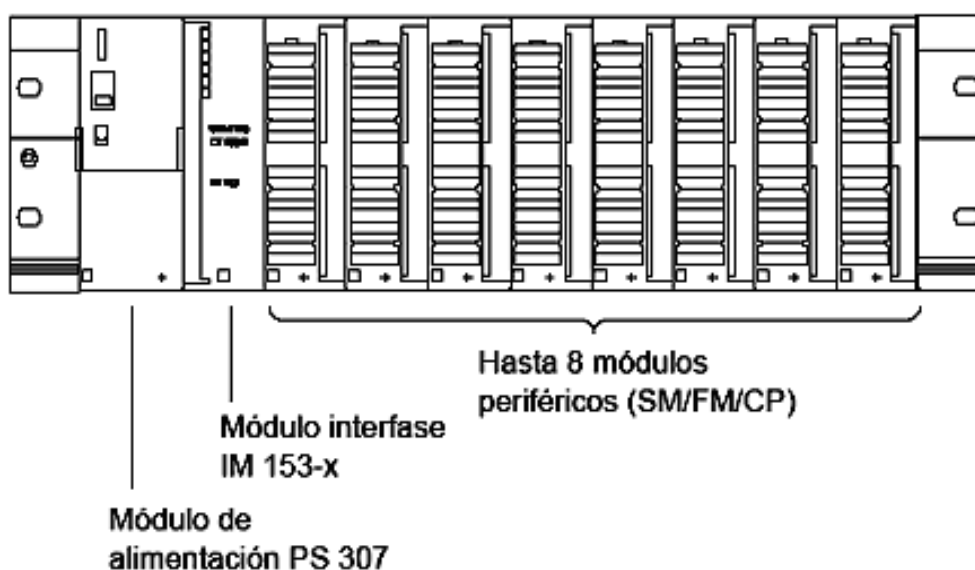


Figura Nº 2.5 Configuración del sistema de periferia descentralizada ET200M

### Temperatura ambiental admisible

- Disposición vertical de 0 a 40 °C
- Disposición horizontal de 0 a 60 °C

### Unidades de periferia descentralizadas - Campo de aplicación

Al configurar una instalación, a menudo las entradas y salidas del proceso o hacia el proceso están integradas en el autómata programable de forma centralizada.

Las perturbaciones electromagnéticas pueden afectar a la fiabilidad del sistema cuando la distancia entre las entradas y salidas y el autómata programable es considerable; y por lo tanto, el cableado será más complicado.

Para este tipo de instalaciones, se recomienda utilizar unidades de periferia descentralizada, en donde:

- La CPU del autómata se encuentra en un lugar central.
- Las unidades periféricas (entradas y salidas) operan “in situ” de forma descentralizada.

El PROFIBUS DP dispone de altas velocidades de transmisión y altas prestaciones, que aseguran una comunicación perfecta entre la CPU del autómata y las unidades periféricas.

### **Periferia descentralizada con IM 153-1**

El IM 153-1 es la interfase esclava del ET 200M para aplicaciones estándar. El IM 153-1 y el ET 200M se parametrizan con *STEP 7* o con *COM PROFIBUS*.

En la Figura Nº 2.6 se muestra la vista frontal de la periferia descentralizada.

En la Figura Nº 2.7 se presenta un ejemplo de una ET 200M dotada de un IM 153-1 y 4 módulos periféricos del S7-300 como periferia descentralizada en una CPU 315-2 DP utilizada como maestro DP S7.

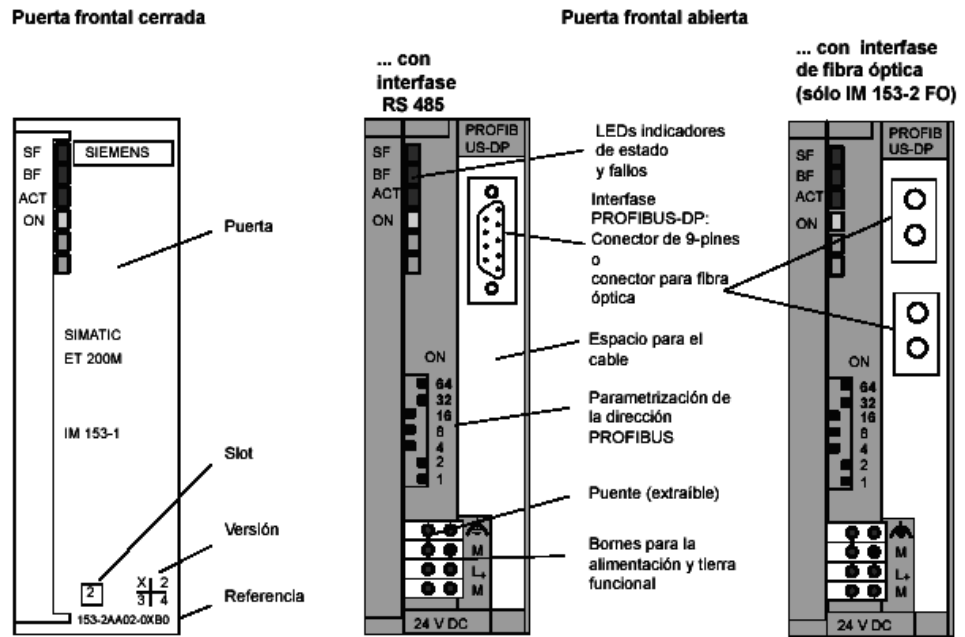


Figura Nº 2.6 Vista frontal de IM 153-1/2

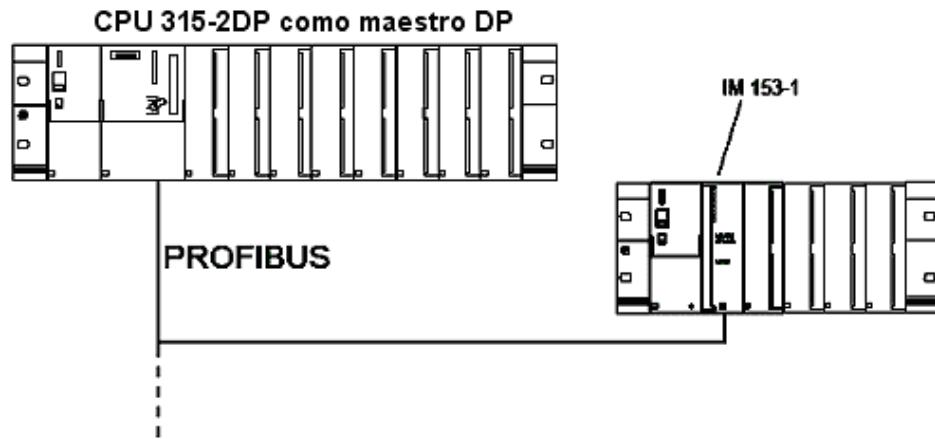


Figura Nº 2.7 Periferia descentralizada con el IM 153-1/2

En el Anexo Nº 2.8 se detallan los datos técnicos y el diagrama de bloques de la interfaz IM 153-1

### 2.2.9 Módulo de entradas digitales SM 321; DI 16 x DC 24V (6ES7321-1BH02-0AA0)

## Características

El módulo de entradas digitales SM 321; DI 16 x DC 24 V tiene las siguientes características:

- 16 entradas, separadas galvánicamente en grupos de 8.
- Tensión nominal de entrada 24 Vcc.
- Adecuado para conmutadores y detectores de proximidad (BERO) a 2/3/4 hilos

En la Figura Nº 2.8 se indica el esquema de conexiones del módulo SM 321; DI 16xDC 24 V

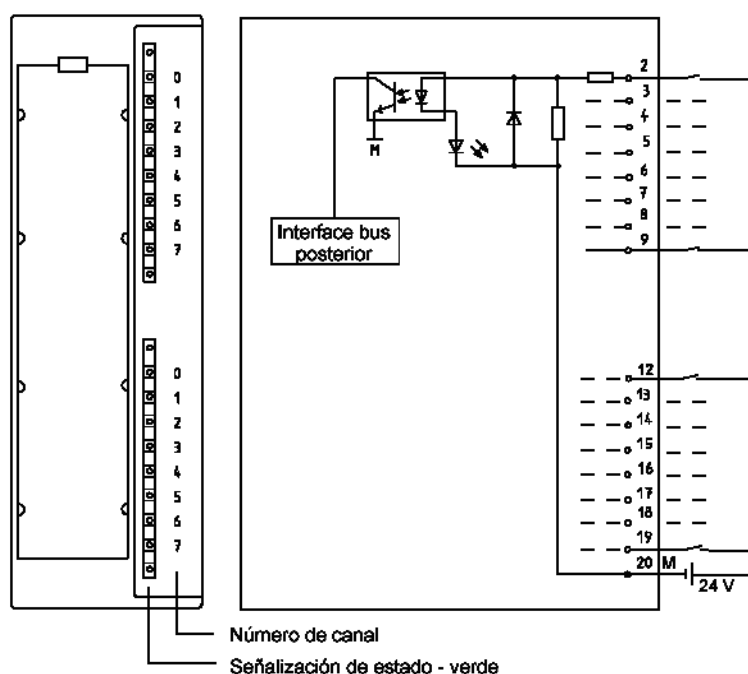


Figura Nº 2.8 Vista y esquema de principio del SM 321; DI 16 x DC 24V

En el Anexo Nº 2.9 se detallan los datos técnicos del módulo SM 321; DI 16 x DC 24 V

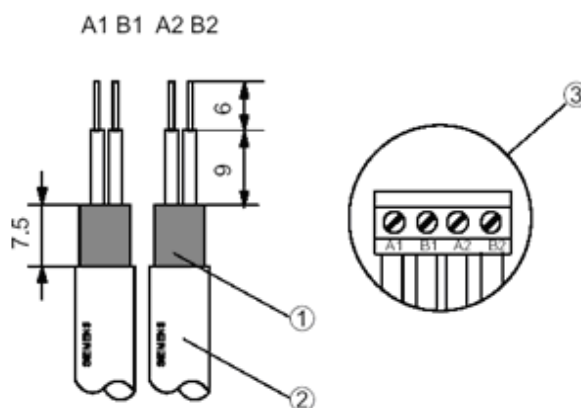
### 2.2.10 Conectores de campo PPROFIBUS, tipo 6ES7 972-0BB12-0XA0

#### Conector hembra PG hasta 12Mbaud

En la Figura Nº 2.9 se ilustra la representación del conector de bus PROFIBUS, en donde:



1. Pantalla o apantallamiento
2. Cable de bus
3. Bloque de bornes de tornillo en el circuito impreso para unir el cable.



**Figura № 2.9 Representación del conector de bus PROFIBUS**

Para realizar la conexión respectiva, se debe considerar los siguientes aspectos:

- Pelar adecuadamente el cable.
- Introducir los hilos verde y rojo en el bloque de bornes del tornillo (A1, B1, o bien A2, B2; se recomienda A=verde; B=rojo)
- Apretar el cable por su parte exterior para que quede retenido adecuadamente.
- Apretar los bornes del tornillo de los hilos verde y rojo.

En el Anexo № 2.10 se encuentran los esquemas de conexión de los conectores de campo PROFIBUS, tipo 6ES7 972-0BB12-0XA0

### **2.2.11 Pressuretrol® Controllers L604A**

Los controladores L604 Pressuretrol® son reguladores de presión controlados por voltaje de línea (110 V) que proporcionan control de funcionamiento, protección automática del límite superior de presión, o la protección del límite del reajuste manual, para los sistemas de presión de hasta 300 PSI (21,1 Kg/cm<sup>2</sup> o 2068 kPa).

El dispositivo se puede utilizar con vapor, aire, gases incombustibles o líquidos anticorrosivos a la presión de detección del elemento.

En la Figura Nº 2.10 se encuentra la vista frontal del controlador Pressuretrol® Controller L604



**Figura Nº 2.10 Vista frontal del controlador Pressuretrol® L604**

En el Anexo Nº 2.11 se encuentran las características, los voltajes de operación y las dimensiones del controlador L604A

### **2.2.12 Relé TELEMECANIQUE Serie RUN21D21 F7**

En la Figura Nº 2.11 se muestra la vista frontal del Relé



**Figura Nº 2.11 Vista Frontal del Relé**

En la tabla № 2.2 están registradas las características técnicas del Relé TELEMECANIQUE Serie RUN21D21 F7

**Tabla № 2.2 Características Generales del Relé**

|                          |   |                                 |
|--------------------------|---|---------------------------------|
| Resistencia del Contacto | 100mΩ   |                                 |
| Tiempo de Respuesta      | 15ms máximo   |                                 |
| Frecuencia de Operación  | Mecánica  | 18000 operaciones por hora      |
|                          | Eléctrica   | 1800 operaciones por hora       |
| Fuerza del Dieléctrico   | 5000 VAC, 50/60 Hz para 1 minute entre la bobina y el contacto. |                                 |
| Vibración                | 10 to 55 Hz; 1.50 mm  |                                 |
| Temperatura Ambiente     | -40 a 70°C (-40 to 158°F)                                       |                                 |
| Humedad Relativa         | 35% a 85% RH  |                                 |
| Tiempo de Vida:          | Mecánica  |                                 |
|                          | AC  | 10000000 operaciones por minuto |
|                          | DC  | 20000000 operaciones por minuto |
| Peso                     | Aproximadamente 17g (0.60oz)                                    |                                 |

En el Anexo № 2.12 se encuentran los principales parámetros relacionados al tipo de carga a ser manejada por el Relé.

### 2.2.13 Sensor de Proximidad Inductivo E57 MAL18T111EB1- NO (normalmente cerrado) PNP de 10 – 48 VDC Premium+

Los sensores de proximidad inductivos de la serie Cutler-Hammer Premium+ fabricados por Eaton Corporation, concebidos para trabajar en ambientes industriales fuertes, son excelentes detectores y ofrecen una alta durabilidad.

En la Figura № 2.12 se observa en sensor de proximidad inductivo.



**Figura № 2.12 Sensor de Proximidad Inductivo de 8mm de diámetro.**

### **Modo de Operación:**

- Los sensores de proximidad inductivos, pueden ser utilizados para aplicaciones de DC o AC.
- En los sensores empleados para DC de 3 líneas, su salida es un transistor NPN o PNP dependiendo el modelo escogido y la aplicación que se la va a dar.
- Los sensores destinados para AC son de dos líneas donde se conecta la carga deseada.
- Internamente el sensor es un circuito de estado sólido que consta de 4 bloques:
  - El sensor propiamente dicho, formado por una bobina con un núcleo de ferrita.
  - Circuito Oscilador.
  - Circuito Detector.
  - Salida de estado Sólido.

En el Anexo № 2.13 se encuentra el diagrama de bloques de la construcción interna, los rangos de distancia entre el sensor y el objeto a sensar, diagramas de cableado y las especificaciones técnicas del Sensor Inductivo E57.

### **2.3 DIAGRAMA DE BLOQUES DEL SISTEMA**

En la Figura № 2.13 se muestra el diagrama de bloques completo del sistema que se va a implementar en la Planta de Productos Familia-Sancela del Ecuador, el mismo que esta formado por:

- Un PC, en donde opera el software WinCC V6.0
- El módulo periférico maestro DP, constituido por el S7-300.
- Los módulos periféricos esclavos DP, formado por los ET 200M
- Los actuadores, sensores y transductores.

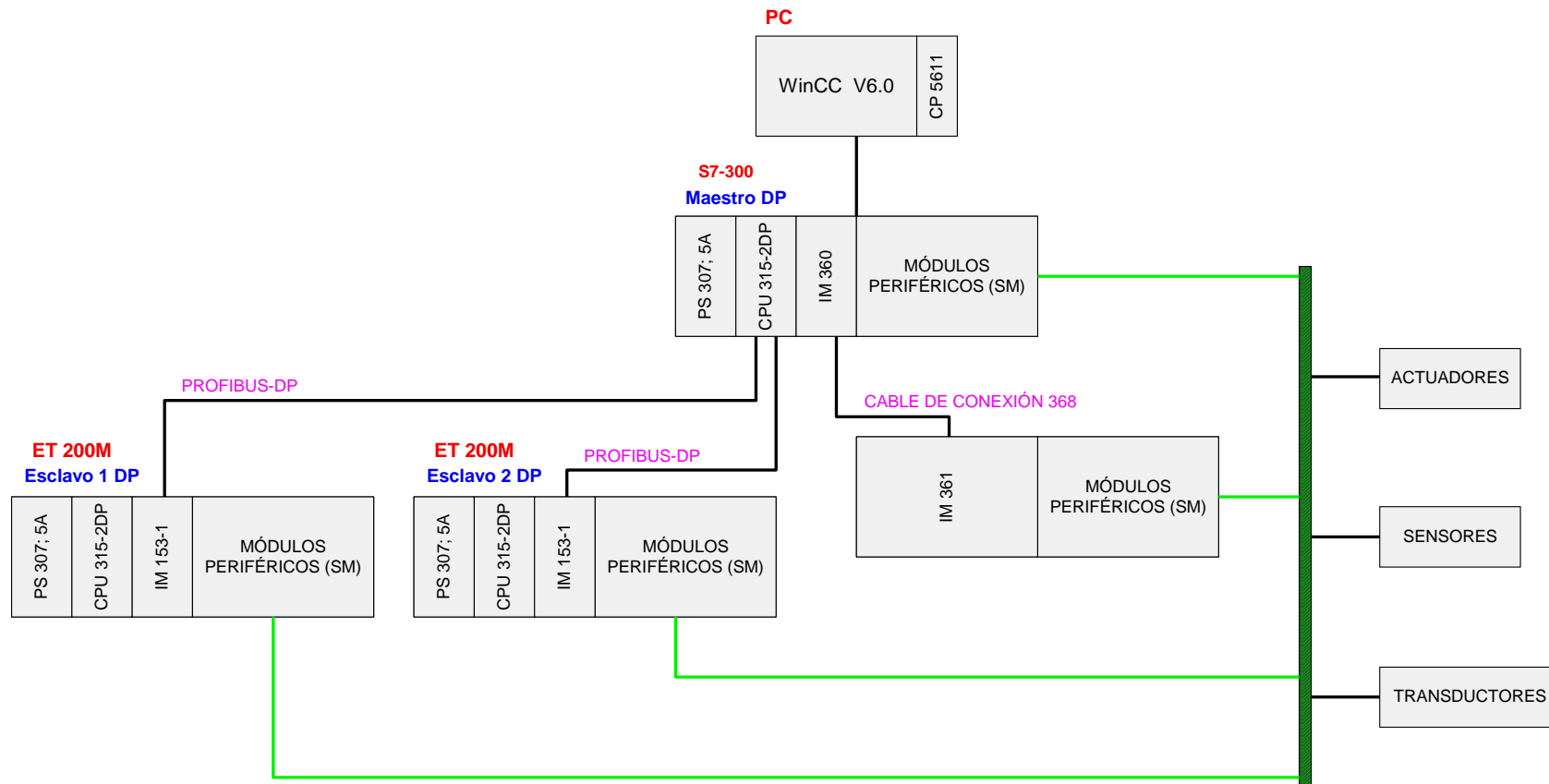


Figura № 2.13 Diagrama de bloques del sistema

## **2.4 SELECCIÓN DE COMPONENTES**

Tomando en consideración los requerimientos del sistema HMI/SCADA y los criterios previamente establecidos para el Enclavamiento de la Máquina de Papel 5 “MP5” de la Planta de Productos Familia Sancela del Ecuador; se presenta un resumen de los componentes a utilizarse:

- 1 Computador Pentium 4
- Paquete computacional WinCC, 1024 Tags, versión completa V6.0 + SP2, licencia de desarrollo Run Time, 5 idiomas, tipo 6AV6381-BP060CXO
- Procesador de comunicación CP5611 (32 bits)
- Conector de comunicación PPROFIBUS, cable bus 2 hilos, tipo 6XV1830-OMH10
- 1 PLC SIMATIC S7-300
- 1 CPU315-2DP
- 1 Fuente de alimentación PS 307; 5 A;(6ES7307-1EAx0-0AA0)
- 1 Interfaz, esclava IM 153-1 como esclavo DP en el sistema de periferia descentralizada ET 200
- 3 Módulos de entradas digitales SM321 (DI 16XDC24V)
- 8 Conectores de campo PROFIBUS, tipo 6ES7972-OBB12-0XA0
- Transmisor de presión Pressuretrol® Controllers L604A (Pressoswitch)
- Relés electromagnéticos
- 6 Sensores de Proximidad Inductivo de la Serie De E57 Premium

## **2.5 DISEÑO DE LA VISUALIZACIÓN DEL SISTEMA HMI/SCADA**

### **2.5.1 Implementación de la Red de PLC's**

Luego de efectuar un estudio previo de los requerimientos de la Red de PLC's, ésta se resume en lo siguiente:

- Un PLC S7-300, que consta de una fuente PS 307(5A).
- Una CPU 315-2DP.

- 8 módulos periféricos SM321 (DI 16xDC24V), con 2 posibilidades de expansión:
  1. Mediante módulos de interfase, para la interconexión de las diferentes líneas, gestionada de forma totalmente autónoma. Consta de 2 módulos:
    - **Módulo de interfase IM 360**; (6ES7360-3AA01-0AA0) con interfase para el bastidor 0 del S7-300
    - **Módulo de interfase IM 361**; (6ES7361 3CA01-0AA0) con interfase para los bastidores 1 a 3 del S7-300, tensión de alimentación 24 Vcc, corriente suministrada a través del bus posterior del S7-300, intercambio de datos entre IM 360 e IM 361 vía cable de conexión 368, 5 módulos periféricos SM322 (DO 16xREL AC120V), 5 módulos periféricos SM321 (DI 16xDC24V).
  2. Mediante un sistema de periferia descentralizada, con ET 200M e Interfaz esclava IM 153-1 como esclavo DP, para los casos en que la distancia entre las entradas, las salidas y el autómata programable son considerables. ET 200M tiene el mismo diseño constructivo que el autómata programable S7-300 y se compone de:
    - Una fuente PS 307 (5A)
    - La CPU 315-2DP, que lleva integrado una interfase PROFIBUS DP.
    - Una IM 153-1 que es la interfase esclava del ET 200M para aplicaciones estándar.
    - 1 módulo periférico SM321 (DI 16xDC24V), 1 módulo periférico SM331 (AI 8x12BIT), 2 módulos periféricos SM322 (DO 16xREL AC120V), 1 módulos periférico SM332 (AO 4x12BIT).

La conexión entre la CPU 315-2DP del autómata S7-300 y las unidades periféricas descentralizadas IM 153-1, se efectúa a través del maestro DP.

El maestro DP intercambia los datos con las unidades periféricas descentralizadas vía PROFIBUS-DP y a la vez que vigila esta red.

Las unidades periféricas descentralizadas IM 153-1, denominadas esclavos DP, procesan los datos de los sensores y actuadores, de manera que los datos puedan ser transmitidos a través de la red PROFIBUS-DP hasta la CPU 315-2DP del autómatas S7-300.

Por la gran cantidad de variables a controlar en esta red de PLC's, se utiliza un segundo sistema de periferia descentralizada ET 200M con Interfaz esclava IM 153-1 como esclavo DP, acoplado a la red con el mismo diseño constructivo; es decir:

- Una fuente PS 307 (5A)
- La CPU 315-2DP es una CPU que lleva integrado una interfase PROFIBUS DP.
- Una IM 153-1 que es la interfase esclava del ET 200M para aplicaciones estándar.
- Módulos entradas digitales SM 321; DI 16 x DC 24V (16 entradas a 24 VDC).

En el Anexo 2.14 se encuentran entradas y salidas utilizadas en el PLC, y en el Anexo 2.15 el programa desarrollado para el PLC.

### **2.5.2. Diagrama de la Red de PLC's**

Figura Nº 2.18 muestra el diagrama de la red de PLC's, esta red fue diseñada y construida de acuerdo a los criterios del ítem anterior, de implementación de la red de PLC's.



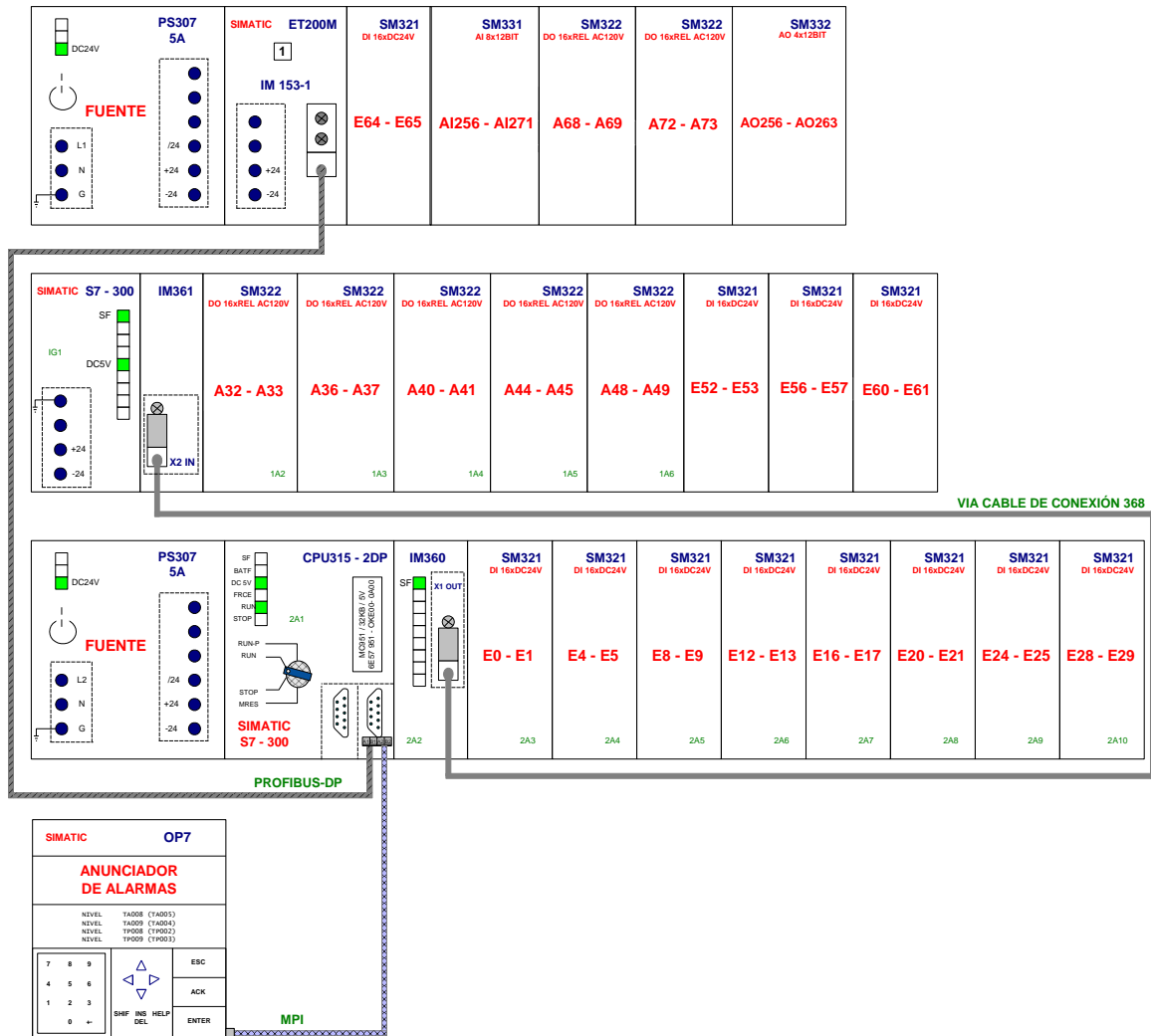


Figura Nº 2.18 Diagrama de la red de PLC's

### 2.5.3 Requerimientos para Enclavamientos de la Máquina de Papel MP5

Los siguientes requerimientos o condiciones deben cumplirse para diseñar el enclavamiento de la máquina de papel MP5:

#### Enclavamiento de los refinadores REF001 y REF002:

- La bomba principal de pulpa (BP019) debe estar encendida.

#### Enclavamiento de velocidad > 50m/min del yankee, malla y fieltro:

- Para el encendido del **YANKEE** deben estar presentes o activas las siguientes señales, medidas en los dispositivos respectivos:
  - ✓ Lubricación reductor 2A o 2B

Lubricación reductor BLU002A o Lubricación reductor BLU002B

- ✓ Bomba agua fresca BA015
- ✓ Lubricación chumaceras 1A o 1B  
Lubricación chumaceras BLU001A o Lubricación chumaceras BLU001B
- ✓ ABB seleccionado
- ✓ Llave selección lavado Fan Pump

- Para el encendido de los **QUEMADORES** se debe activar los dispositivos para obtener las siguientes señales:

- ✓ Motor Yankee en marcha  
ABB seleccionado
- ✓ Bomba de combustible BCB001 O BCB002  
Bomba combustible BCB001 o bomba combustible BCB002  
Nivel tanque diario
- ✓ Ventilador VEN005  
Bomba combustible BCBC001 O BCBC002
- ✓ Ventilador VEN002  
Bomba combustible BCBC001 O BCBC002  
Ventilador VEN005
- ✓ Ventilador VEN001  
Ventilador extracción VEN002  
Ventilador VEN005
- ✓ Ventilador VEN003  
Ventilador VEN005  
Ventilador refrigeración motores DC VEN008  
Anemómetro ventilador refrigeración motores DC VEN008  
Ventilador extracción VEN002  
Ventilador combustión VEN001
- ✓ Ventilador VEN004  
Ventilador VEN005  
Ventilador refrigeración motores DC VEN008  
Anemómetro ventilador refrigeración motores DC VEN008  
Ventilador extracción VEN002

Ventilador combustión VEN001

Ventilador suministro lado húmedo VEN004

- Para el encendido del **RODILLO DE SUCCION Y MALLA** debe estar presentes las señales, debido a la activación de los siguientes dispositivos:
  - ✓ Rodillo de succión RPS001B
  - ✓ Malla marcha MALL001B
    - Sensor guía fieltro lado transmisión
    - Sensor guía fieltro lado mando
    - Sensor guía malla lado transmisión
    - Sensor guía malla lado mando
    - Llave selección lavado Fan Pump
    - Bomba agua fresca BA015
    - Baja presión de aire corte
    - Motor Yankee en marcha
    - ABB seleccionado
  - ✓ Bomba agua clarificada baja presión BA012
    - Bombas duchas abanico malla fieltro BA017
  - ✓ Bomba agua duchas abanico malla fieltro BA017
    - Velocidad motor Yankee YK001B > 50m/min
    - Velocidad motor rodillo succión RPS001B > 50m/min
    - ABB seleccionado
  - ✓ Ducha osciladora malla OSC001
    - Malla marcha MALL001B
    - ABB seleccionado
    - Velocidad motor Yankee YK001B > 300m/min
    - Velocidad motor rodillo succión RPS001B > 300m/min
    - ABB sincronizado
    - Bombas duchas abanico malla fieltro BA017
  - ✓ Válvula salida VA008
    - Bomba agua Poseidón máquina BA008
    - Bomba agua sellos BA011 (bomba \_ vacío)
- Para el encendido de las **BOMBAS DE VACIO** se debe verificar la presencia de las siguientes señales:

- ✓ Bomba de vacío 1BV001
  - Rodillo succión RPS001B
  - Malla marcha MALL001B
  - ABB seleccionado
  - Bomba agua sellos BAN011 (bomba \_ vacío)
- ✓ Bomba de vacío 2BV002
  - Rodillo succión RPS001B
  - Malla marcha MALL001B
  - ABB seleccionado
  - Bomba agua sellos BAN011 (bomba \_ vacío)
  - Bomba de vacío 1BV001
- Para el encendido del **SCREEN VERTICAL ENCENDIDO** se debe verificar la existencia de las siguientes señales, debido al activado de sus dispositivos:
  - ✓ Malla marcha MALL001B
  - ✓ Velocidad motor rodillo succión RPS001B > 50m/min
  - ✓ Motor Yankee en marcha
  - ✓ ABB seleccionado
  - ✓ Bomba agua fresca BA015
- Para el encendido del **RODILLO DE SUCCION PEGADO** las siguientes señales deben estar presentes:
  - ✓ Pegar rodillo succión manual
  - ✓ Pegar rodillo succión automático
  - ✓ Pulsador pegar rodillo succión
  - ✓ Velocidad motor Yankee YK001B > 50m/min
  - ✓ Velocidad motor Yankee YK001B > 300m/min
  - ✓ Motor Yankee en marcha
  - ✓ ABB seleccionado
  - ✓ ABB sincronizado
  - ✓ Rodillo succión RPS001B
  - ✓ Malla marcha MALL001B
  - ✓ Alta presión rodillo succión
  - ✓ Baja presión agua rodillo succión
  - ✓ Baja presión aire corte

- ✓ Pulsador despegar rodillo succión
- ✓ Sensor rodillo succión lado transmisión
- ✓ Sensor rodillo succión lado mando.
- Para el encendido del **DOCTOR CREPADOR PEGADO** las señales de los siguientes dispositivos deben estar presentes:
  - ✓ Pulsador inicio doctor crepador
  - ✓ Motor Yankee en marcha
  - ✓ Velocidad motor Yankee YK001B > 50m/min
  - ✓ ABB seleccionado
  - ✓ Quemador lado húmedo
  - ✓ Quemador lado seco
  - ✓ Bomba agua químicos
    - Bomba agua químicos BA018A
    - Bomba agua químicos BA018B
  - ✓ Bomba release Yankee
    - Bomba release BRE01A
    - Bomba release BRE01B
  - ✓ Bomba Coating Yankee
    - Bomba coating BRE01A
    - Bomba coating BRE01B
  - ✓ Oscilador doctor crepador OSC003
- Para el encendido del **DOCTOR LIMPIADOR NO PEGADO** se debe activar los siguientes dispositivos, para generar las señales respectivas:
  - ✓ Pulsador inicio doctor limpiador
  - ✓ Motor Yankee en marcha
  - ✓ Velocidad motor Yankee YK001B > 50m/min
  - ✓ ABB seleccionado
  - ✓ Quemador lado húmedo
  - ✓ Quemador lado seco
  - ✓ Bomba agua químicos
    - Bomba agua químicos BA018A
    - Bomba agua químicos BA018B
  - ✓ Bomba release Yankee

- Bomba release BRE01A
  - Bomba release BRE01B
- ✓ Bomba Coating Yankee
  - Bomba coating BRE01A
  - Bomba coating BRE01B
- Para el encendido de la **FAN PUMP** debe existir la presencia de las siguientes señales, debido a la activación de los dispositivos respectivos:
  - ✓ Motor Yankee en marcha
  - ✓ Velocidad motor Yankee YK001B > 300m/min
  - ✓ ABB seleccionado
  - ✓ Sensor rodillo succión lado transmisión
  - ✓ Sensor rodillo succión lado mando
  - ✓ Velocidad motor rodillo succión RPS001B > 50m/min
  - ✓ Rodillo succión RPS001B
  - ✓ Malla marcha MALL001B
  - ✓ Quemador lado húmedo
  - ✓ Quemador lado seco
  - ✓ Bomba agua químicos
    - Bomba agua químicos BA018A
    - Bomba agua químicos BA018B
  - ✓ Bomba release Yankee
    - Bomba release BRE01A
    - Bomba release BRE01B
  - ✓ Bomba Coating Yankee
    - Bomba coating BRE01A
    - Bomba coating BRE01B
  - ✓ Doctor pegado (al menos uno)
  - ✓ Bombas vacío (revisar condiciones encendido)
  - ✓ Screen vertical (revisar condiciones encendido)
  - ✓ Llave selección lavado Fan Puma
- Para el encendido / apagado de **REFINADOR 1 y REFINADOR 2** se debe activar los siguientes dispositivos para obtener sus señales:
  - ✓ Bomba stock Pump BO019

Inversor Fan Pump BP020  
Habilitación Fan Pump BP020  
Quemador lado húmedo  
Quemador lado seco  
Bomba agua sellos BA011 (bomba \_ vacío)  
Bomba agua fresca BA015  
Doctor pegado (al menos uno)  
Screen vertical (revisar condiciones de encendido)  
Válvula pegar rodillo succión

- Para el encendido del **STOCK PUMP** se debe habilitar los siguientes dispositivos:
  - ✓ Inventor Fan Pump BP020
  - ✓ Habilitación Fan Pump BP020
  - ✓ Quemador lado húmedo
  - ✓ Quemador lado seco
  - ✓ Bomba agua sellos BA011 (bomba \_ vacío)
  - ✓ Bomba agua fresca BA015
  - ✓ Doctor pegado (al menos uno)
  - ✓ Screen vertical (revisar condiciones de encendido)
  - ✓ Válvula pegar rodillo de succión
- Para el encendido de la **CAMPANA LADO SECO CERRADA** debe existir la presencia de las siguientes señales, debido a la activación de los respectivos dispositivos:
  - ✓ Relé cerrar campana lado seco
  - ✓ Bomba stock puma BP019
  - ✓ Sensor campana lado seco cerrado
  - ✓ Habilitación campana lado seco abrir
    - Relé abrir campana lado seco
    - Sensor campana lado seco abierto
    - Habilitación campana lado seco cerrar
    - Inversor Fan Pump BP020
    - Bomba stock Pump BP019
    - Habilitación Fan Pump BP020 (revisar condiciones encendido)

- Para el encendido de la **CAMPANA LADO HUMEDA CERRADA** se debe verificar la presencia de las siguientes señales:
  - ✓ Relé cerrar campana lado seco
  - ✓ Bomba stock puma BP019
  - ✓ Sensor campana lado seco cerrado
  - ✓ Habilitación campana lado seco abrir
    - Relé abrir campana lado seco
    - Sensor campana lado seco abierto
    - Habilitación campana lado seco cerrar
    - Inversor Fan Pump BP020
    - Bomba stock Pump BP019
    - Habilitación Fan Pump BP020 (revisar condiciones encendido)

## 2.6 PROGRAMACIÓN DE PANTALLAS

A continuación se procede a diseñar y programar las pantallas de control y monitoreo, para implementar el Sistema HMI/SCADA del Molino de papel de la Planta antes mencionada, utilizando el software WinCC.

Previo al diseño, se procede a realizar el estudio y familiarización relacionado con el manejo y operación de WinCC, por medio de la creación de un proyecto.

### 2.6.1 Creación de un proyecto en WinCC

Para iniciar un proyecto de control y monitoreo de un proceso con WinCC, se debe seguir los siguientes pasos:

***Todos los programas***

***SIMATIC***

***WinCC***

***Windows Control Center 6.0.***

En la Figura № 2.19 se presenta el grafico correspondiente



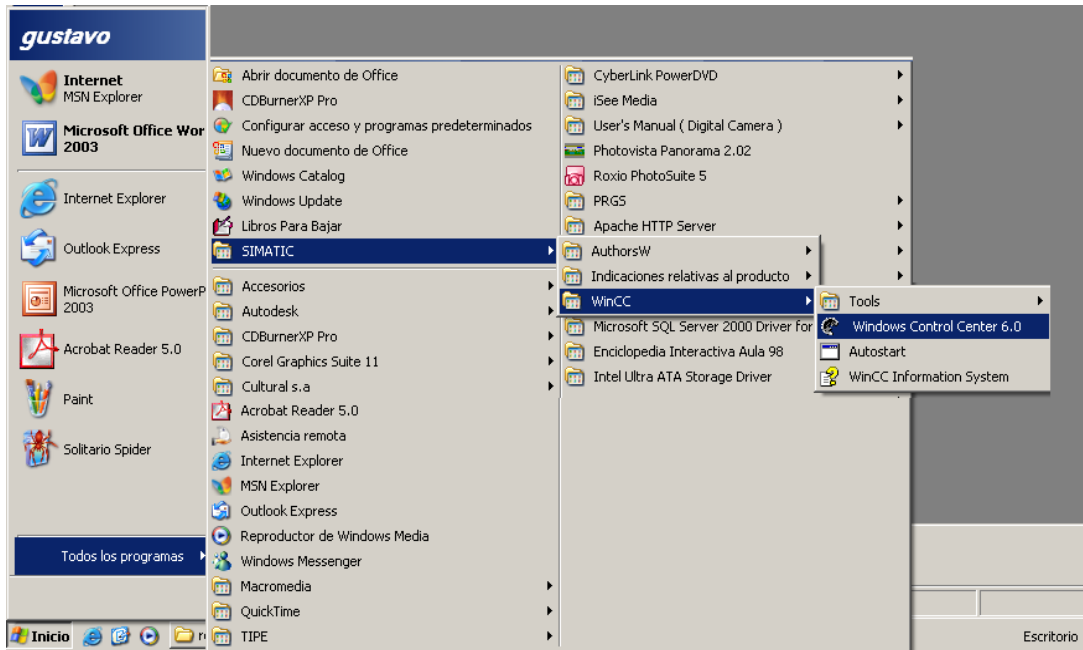


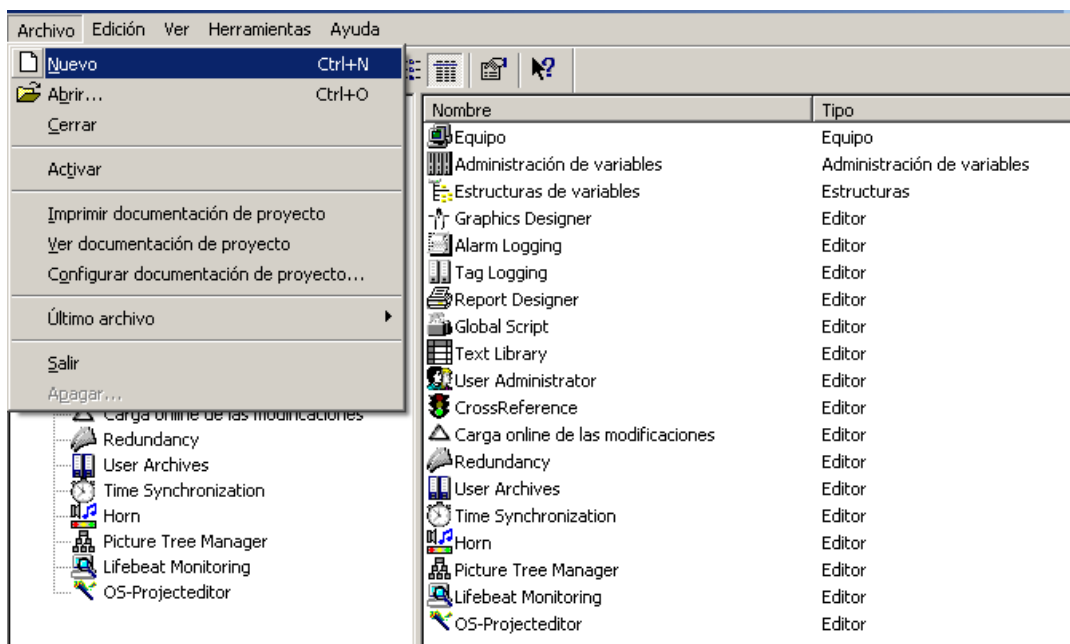
Figura № 2.19 Pantalla de inicio WinCC

Para crear un nuevo proyecto se escoge en la Barra de Menú:

## Archivo

### Nuevo

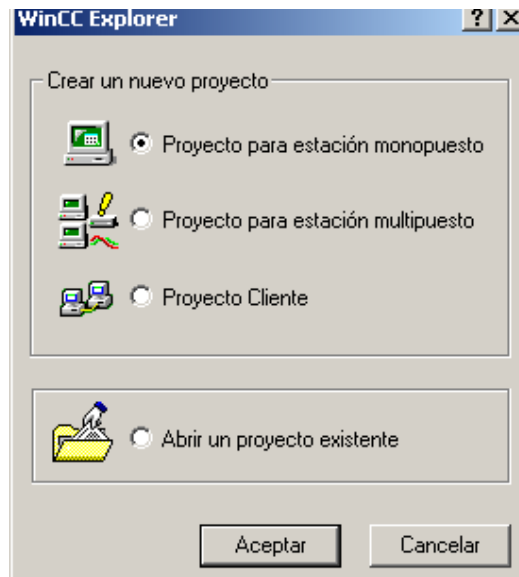
En la Figura № 2.20 se indica la pantalla respectiva.



**Figura № 2.20 Pantalla de crear un proyecto en WinCC**

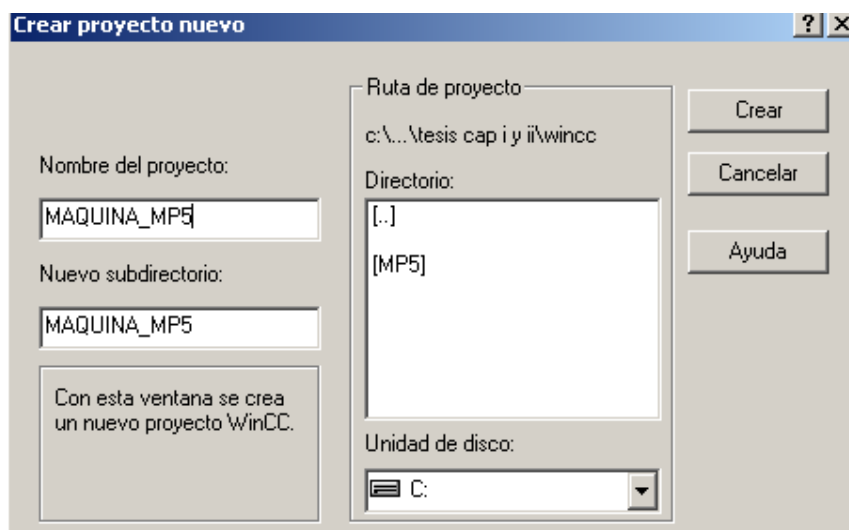
Luego aparece el cuadro de dialogo que se muestra en la Figura №2.21, en el cual se selecciona:

***Proyecto para estación monopuesto***



**Figura № 2.21 Pantalla para seleccionar tipo de proyecto**

El siguiente cuadro de dialogo de la Figura 2.22, permite registrar el nombre y seleccionar la dirección del archivo donde se guardará el proyecto. Luego se presiona el botón: **Crear**

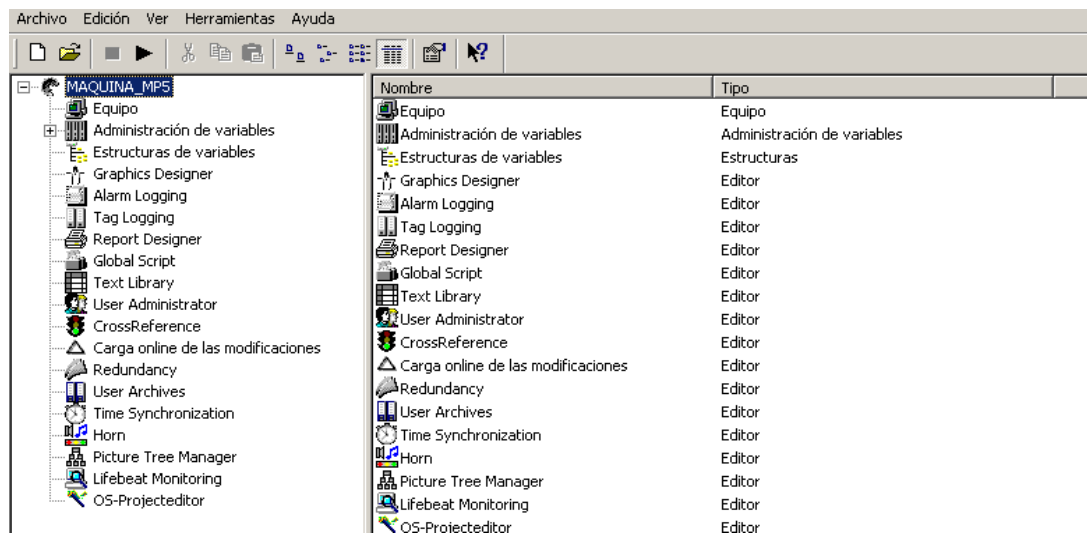


**Figura № 2.22 Pantalla para nombrar al proyecto**

Como se observa en el gráfico anterior, se ha nombrado al proyecto como: **MAQUINA\_MP5**, y la dirección del archivo donde se guardará el este proyecto es: **c:\...\tesis cap1 y II\wincc**

A continuación aparece la pantalla de la Figura № 2.23, la misma que despliega todas las opciones de programación. En el presente proyecto, debido a los alcances y objetivos específicos previamente definidos, solo se utilizan dos opciones:

***Administración de variables,  
y Graphics Designer***



**Figura № 2.23 Pantalla de opciones de programación**

**Administración de variables:**

Esta opción permite cargar los “drivers” para realizar la programación respectiva. Se procede de la siguiente manera:

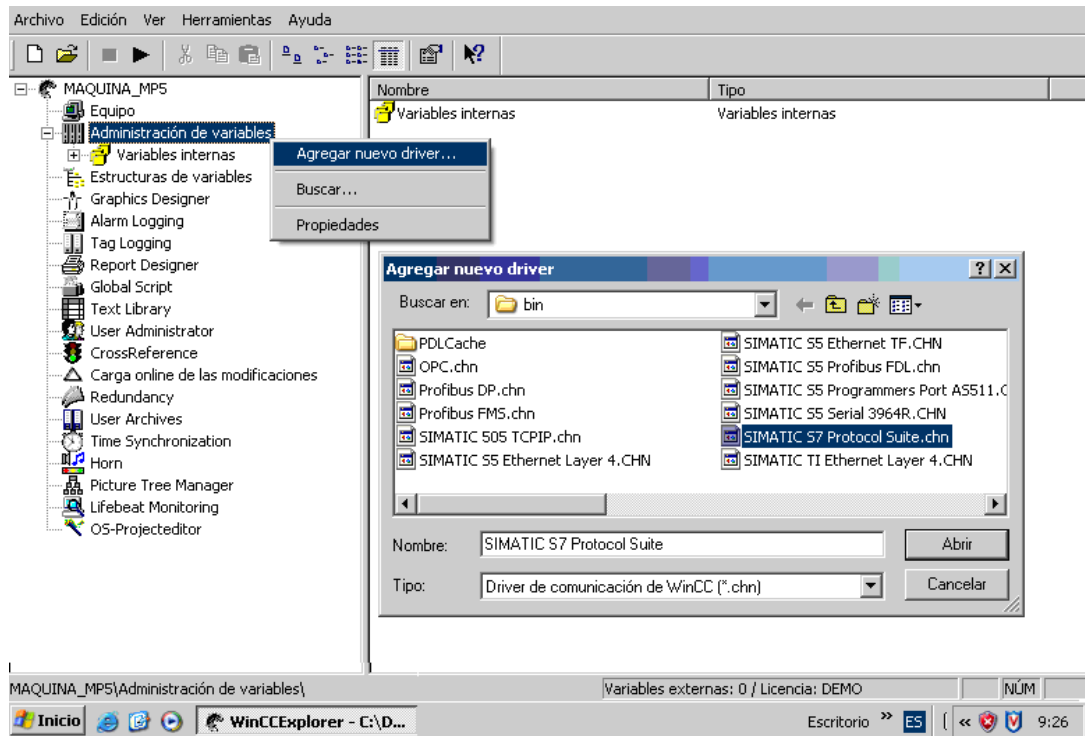
Con un “clic” con el botón derecho del mouse, se selecciona:

***Agregar nuevo driver...***

***SIMATIC S7 Protocol Suite.chn***

***Abrir***

En la Figura № 2.24 se ilustran los pasos seguidos para cargar los drivers antes mencionados.



**Figura No 2.24 Pantalla para cargar drives**

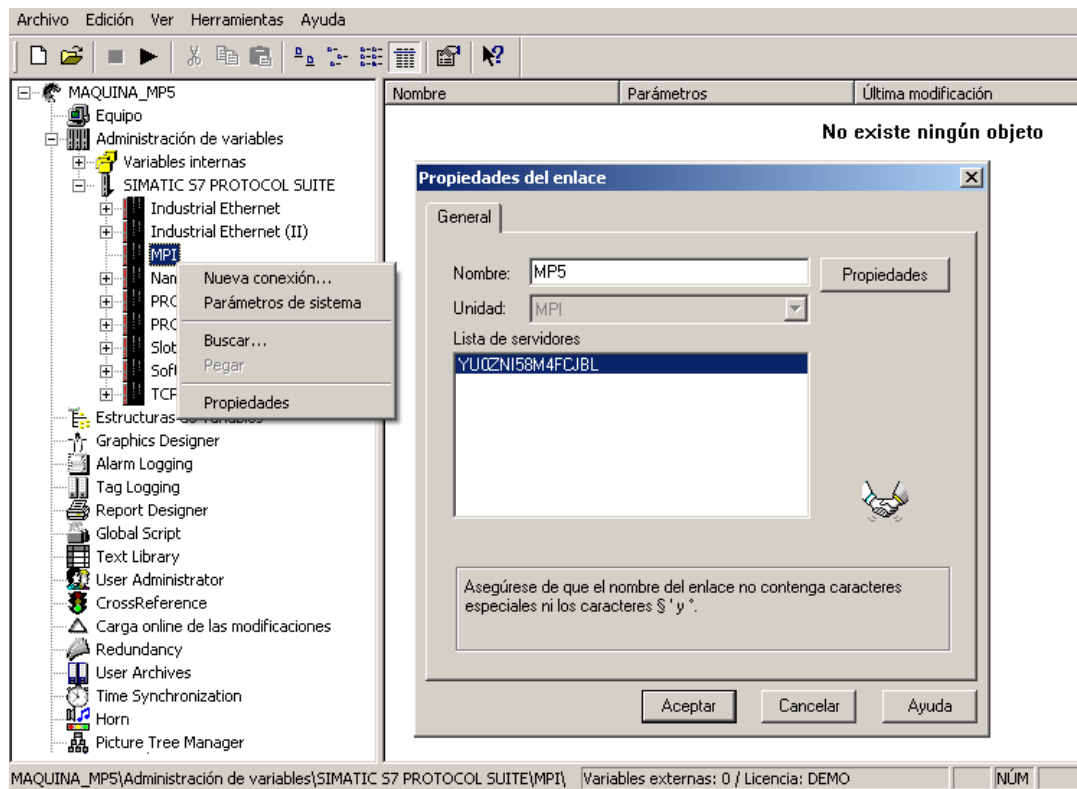
Como se utiliza el protocolo de comunicación MPI, en el menú principal se escoge este tipo de programación y se nombra al enlace. Lo indicado se realiza siguiendo los pasos que se indican a continuación:

**MPI** Clic con botón derecho

***Nueva conexión***

***Propiedades del enlace (registrar nombre)***

En la Figura No 2.25 se puede observar la pantalla en mención



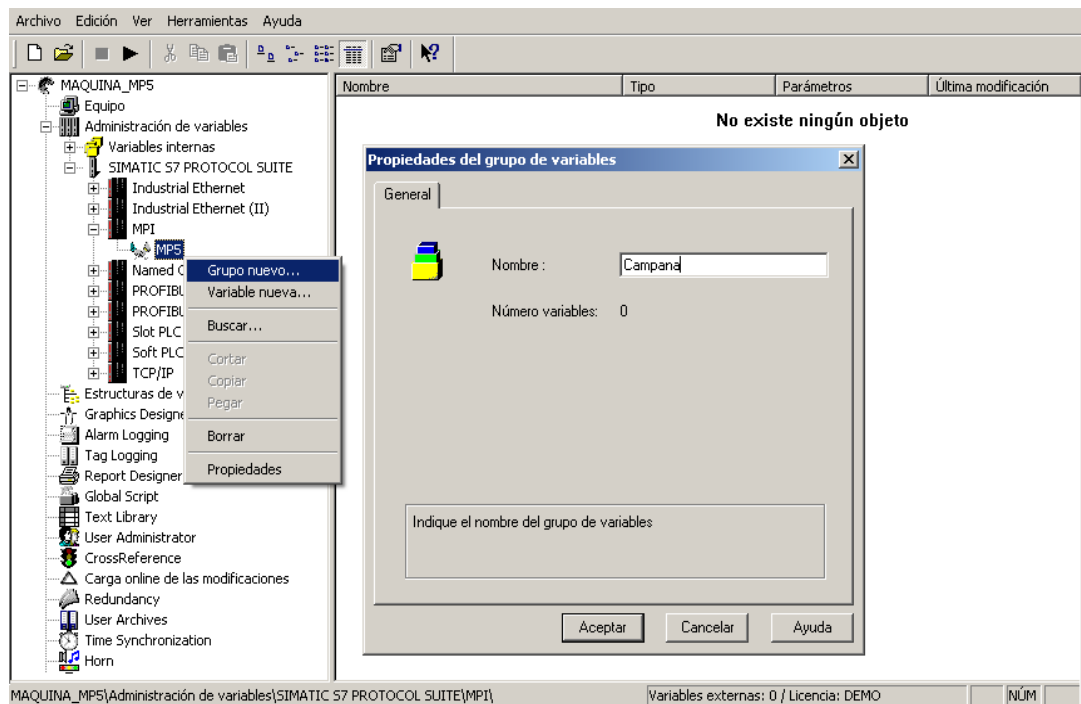
**Figura № 2.25 Pantalla para nombrar la conexión**

Una vez creada la conexión, el siguiente paso es crear el nuevo grupo de variables, como se observa en la Figura № 2.26.

Se procede de la siguiente manera:

***MP5 Clic derecho***

***Nuevo grupo (registrar nombre)***



**Figura № 2.26 Pantalla para crear grupo de variables**

Es necesario crear las variables que conforman el grupo, para lo cual se deben seguir los siguientes pasos:

**MP5**

***Campana Clic derecho***

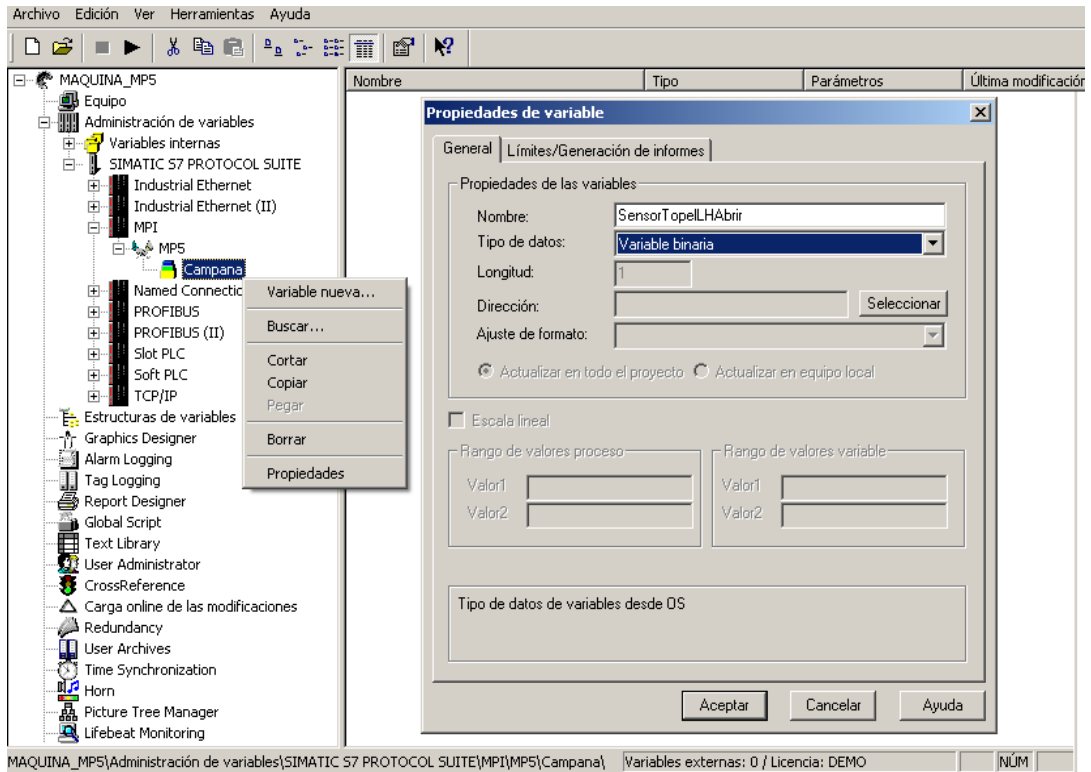
***Variable nueva***

***Nombre*** (registrar nombre)

***Tipo de datos*** (registrar tipo variable)

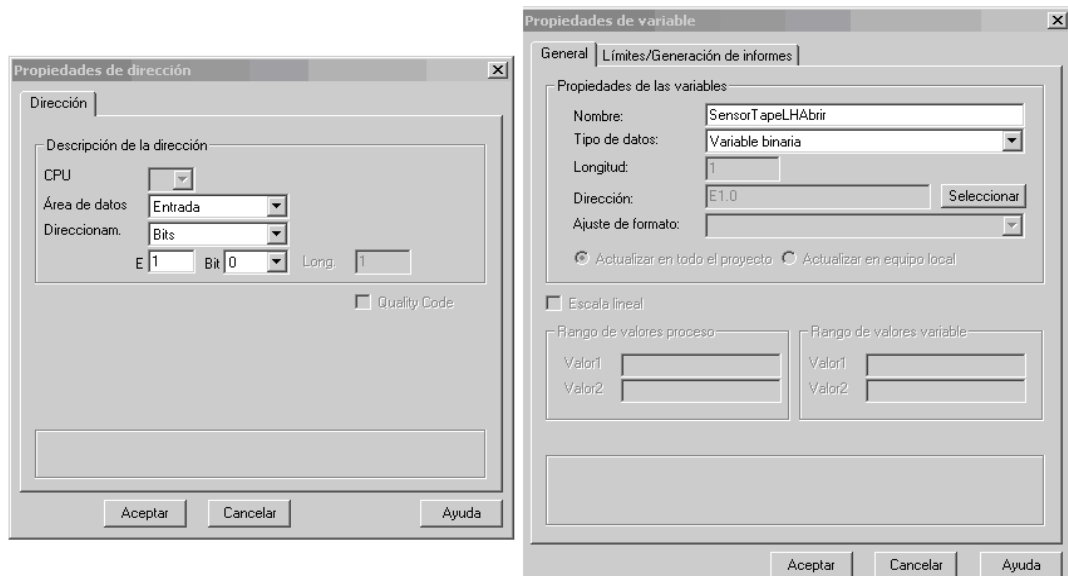
***Dirección*** (Ver cuadro de dialogo Figura № 2.28)

En la Figura № 2.27 se presenta la pantalla de creación de variables



**Figura Nº 2.27 Pantalla para crear variables**

En el cuadro de dialogo mostrado en la Figura Nº 2.28 se debe seleccionar el Área de Datos y Direccionamiento.



**Figura Nº 2.28 Cuadro de dialogo para definir propiedades de dirección**

En la Figura Nº 2.29 se muestra la pantalla final con las variables creadas.

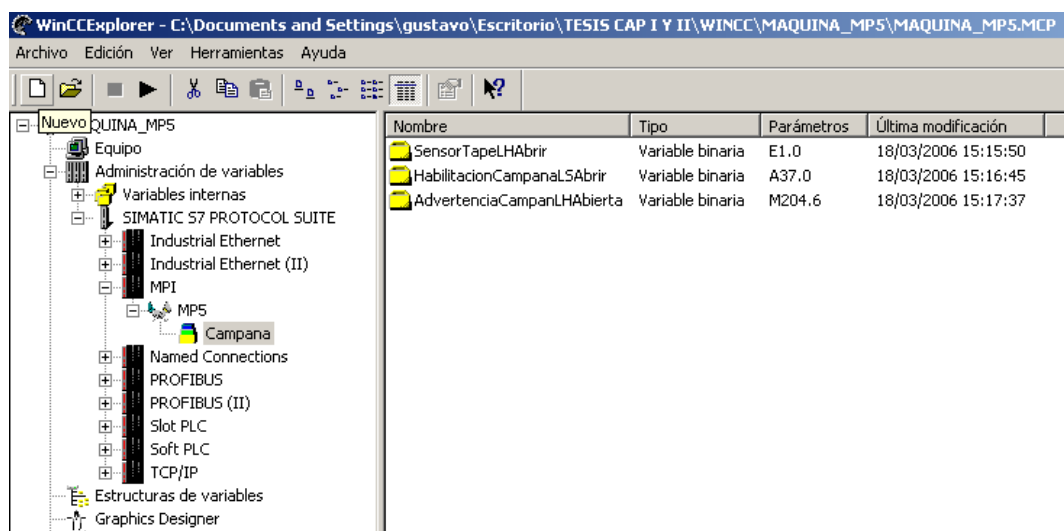


Figura № 2.29 Pantalla final de variables creadas

### Graphics Designer:

En la Figura № 2.30 se ilustran los pasos a seguir para ingresar a diseñar las pantallas de visualización del proyecto:

### *Graphics Designer*

#### *Abrir*

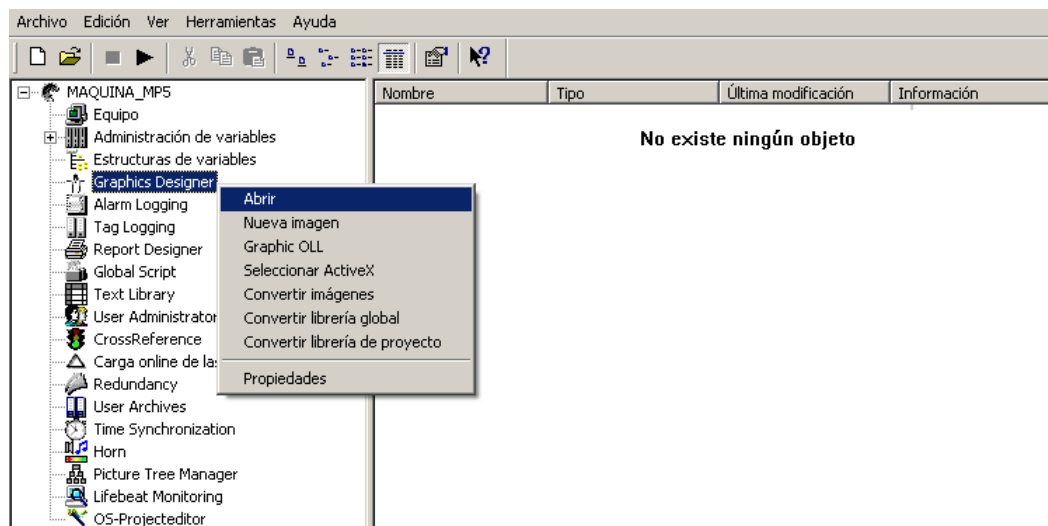
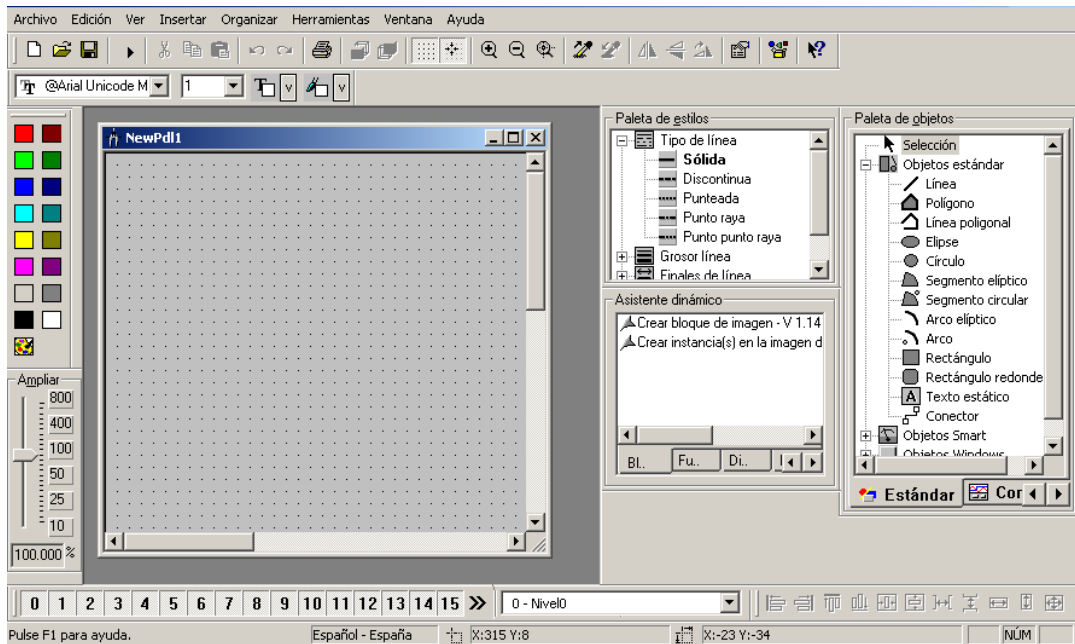


Figura № 2.30 Pantalla inicial Graphics Designer

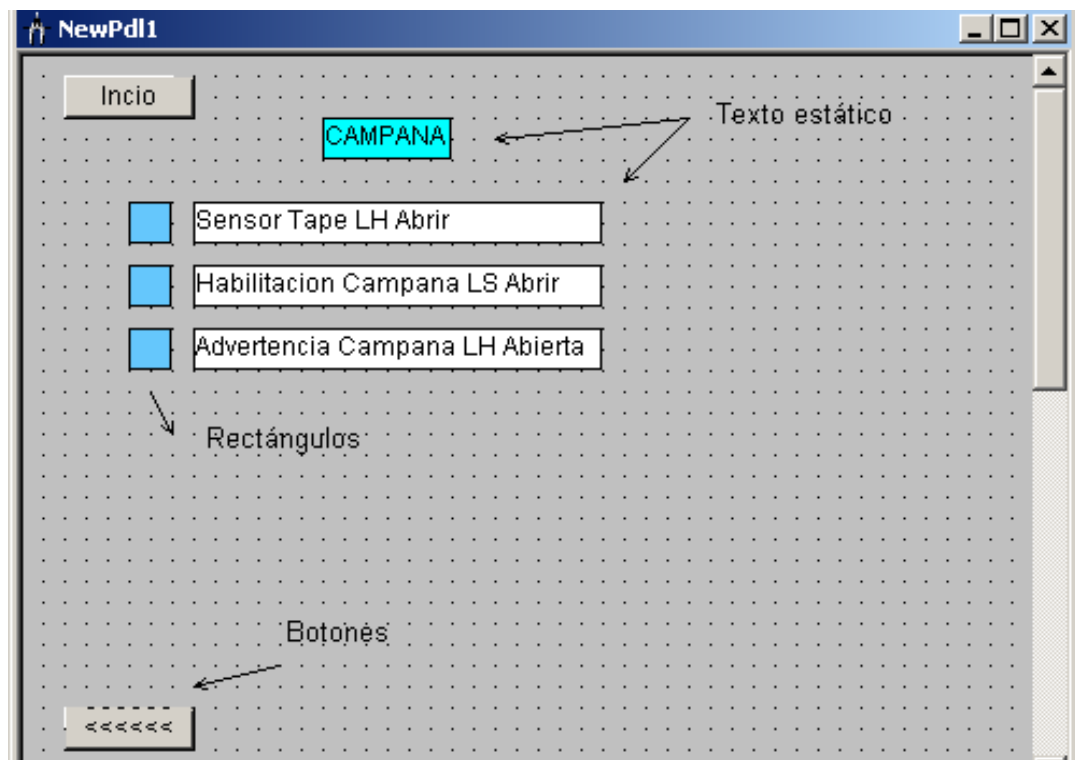
En la Figura № 2.31 se ilustra el grafico de diseño de pantallas de visualización del proyecto.





**Figura Nº 2.31 Pantalla inicial Graphics Designer**

La pantalla que muestra la Figura Nº 2.32 se diseñó utilizando las opciones de la paleta de objetos y la paleta de estilos (Figura Nº 2.31).



**Figura Nº 2.32 Pantalla diseño del HMI**

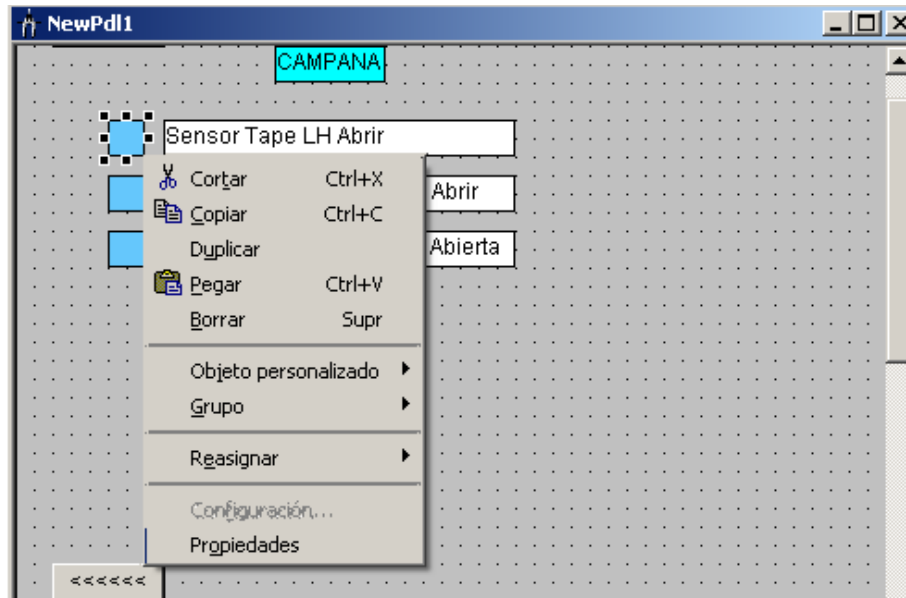
Para configurar el enlace del rectángulo con la variable respectiva es

necesario seguir los siguientes pasos:

**(Escoger figura) Clic derecho**

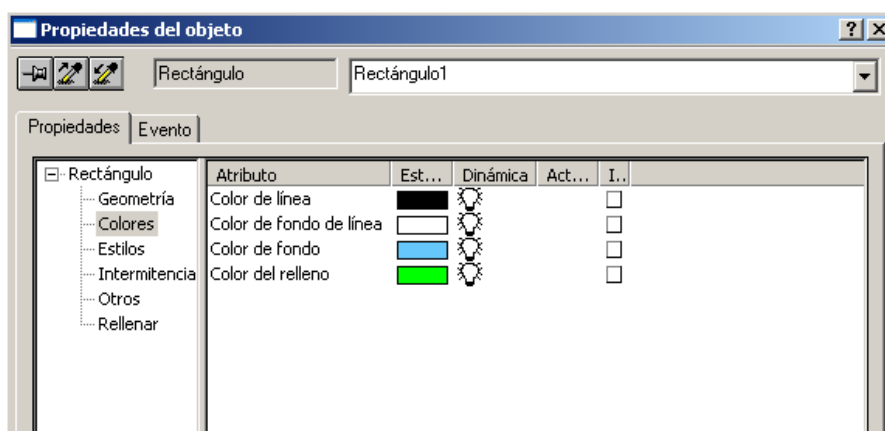
**Propiedades**

En la Figura № 2.33 se puede ver el despliegue de la pantalla.



**Figura № 2.33 Pantalla diseño del HMI**

Dando clic derecho sobre propiedades, del cuadro de dialogo mostrado en la figura anterior, se despliega otro cuadro de dialogo (Figura № 2.34), con la cual se define las propiedades del rectángulo, en base a las cuales el diseño funcionará.



**Figura № 2.34 Pantalla diseño del HMI**

En las Figuras № 2.35, 2.36, 2.37 y 2.38, se observa los pasos a seguir para seleccionar la variable que se creó con el administrador de variables, los colores de estado (TRUE/FALSE) y el tipo de dato.

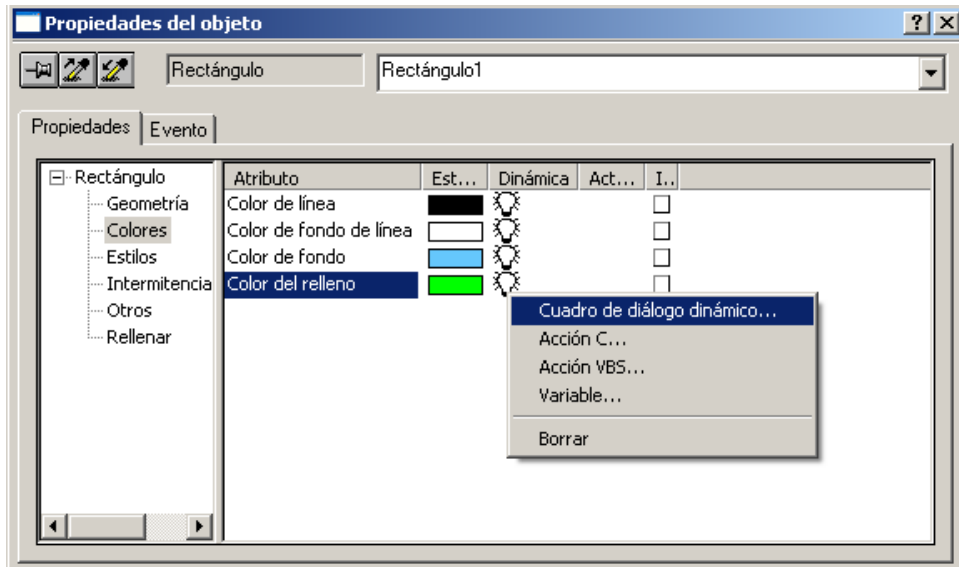


Figura № 2.35 Pantalla diseño del HMI. Selección de colores

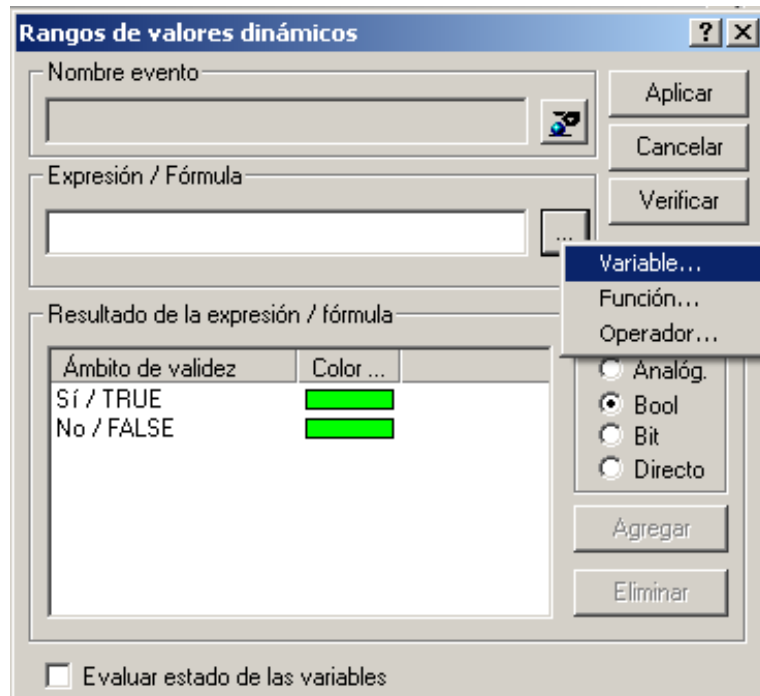
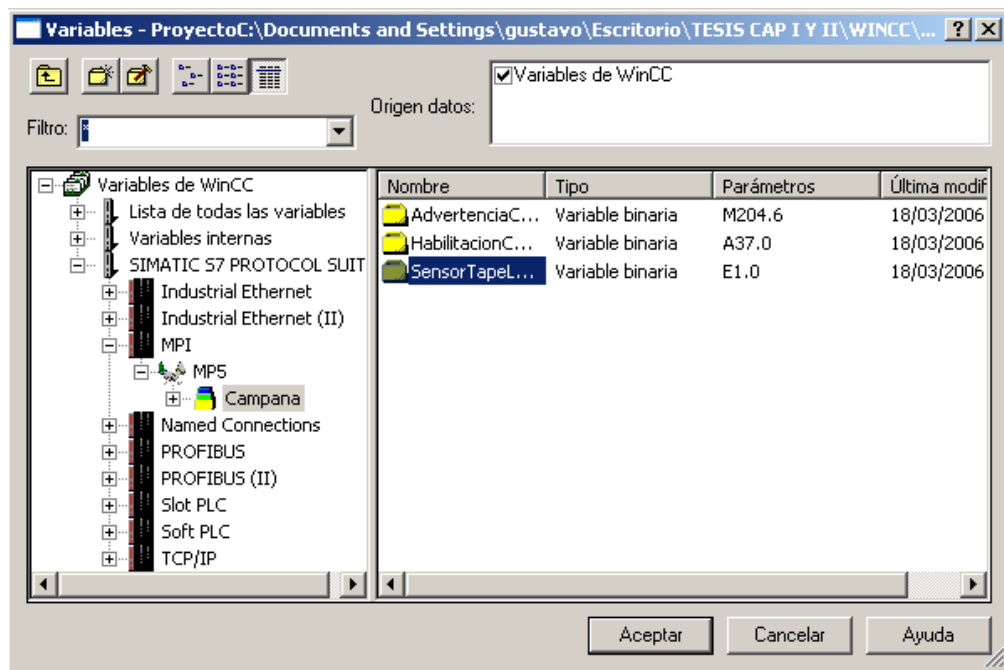
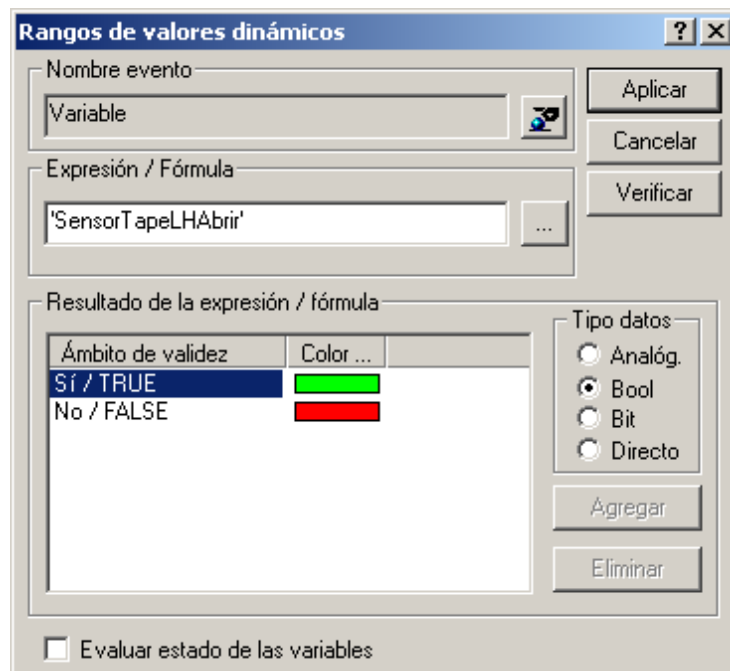


Figura № 2.36 Pantalla diseño del HMI. Asignación de funciones

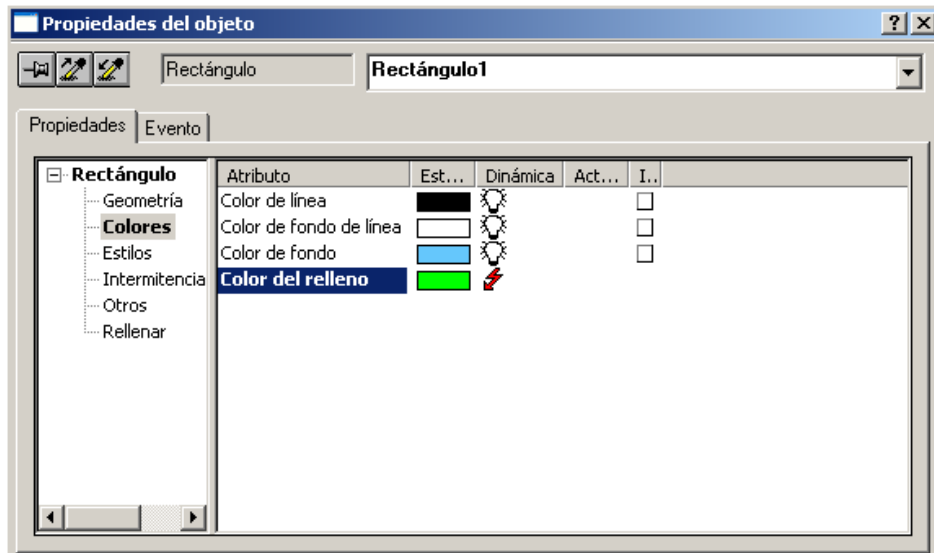


**Figura № 2.37 Pantalla diseño del HMI. Tipo de variable**



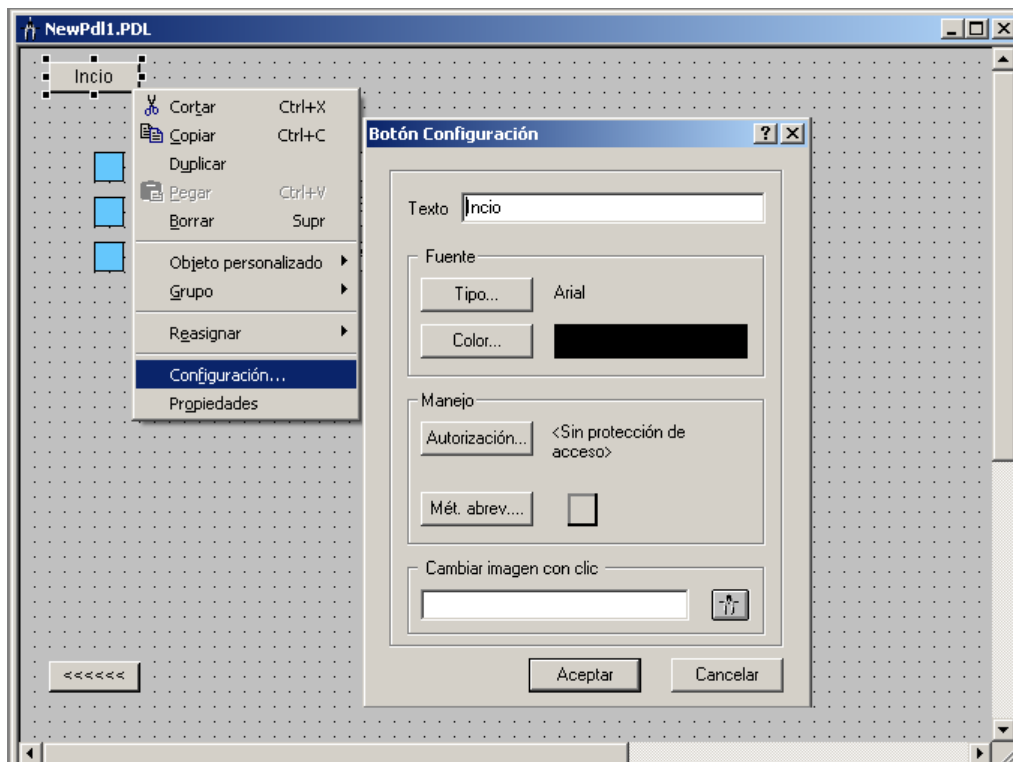
**Figura № 2.38 Pantalla diseño del HMI. Tipo de datos**

En la figura № 2.39 se muestra la pantalla final que aparece luego de configurar la variable.



**Figura № 2.39 Pantalla final de configuración de variable**

Para configurar la acción de los botones, los mismos que permiten enlazarse entre pantallas, se procede como se indica en las Figuras № 2.40, 2.41 y 2.42.



**Figura № 2.40 Configuración de botones**

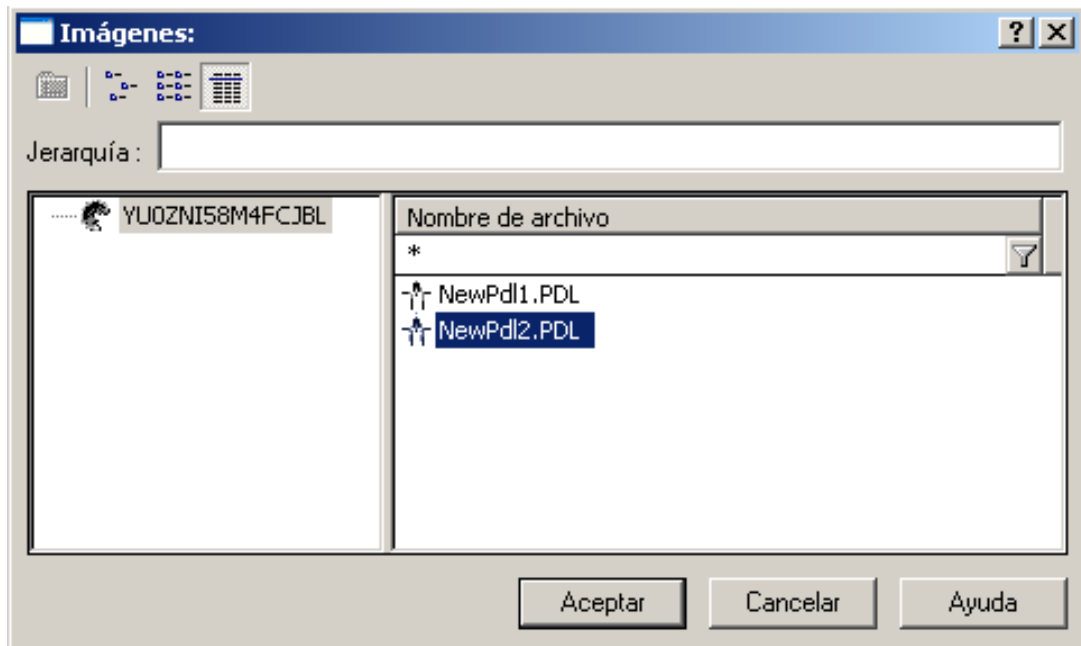


Figura № 2.41 Configuración de imágenes de botones

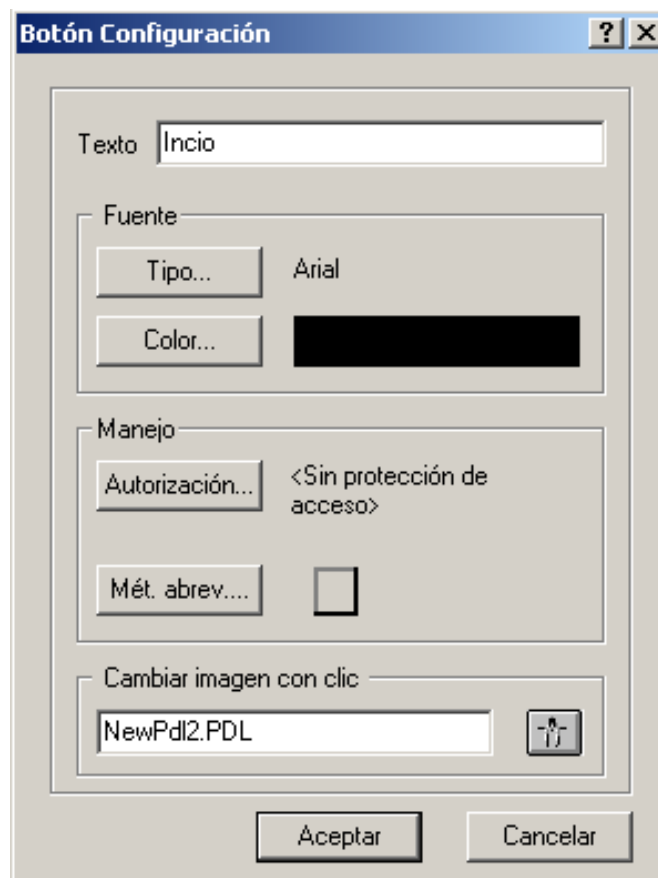


Figura № 2.42 Configuración de botones

## 2.6.2 Diseño de pantallas del proyecto de implementación el Sistema HMI/SCADA

En base al procedimiento explicado en el ítem 2.6.1, se ejecutó el diseño de las pantallas, mismos que están realizados de una manera sencilla para que sea de fácil manipulación, ya que esta dirigida principalmente a quienes operan la máquina.

El menú de inicio, que se muestra en la Figura № 2.43, esta formada por el logotipo de la empresa y por cinco botones que permiten ingresar a las pantallas de visualización del proceso total de la máquina.



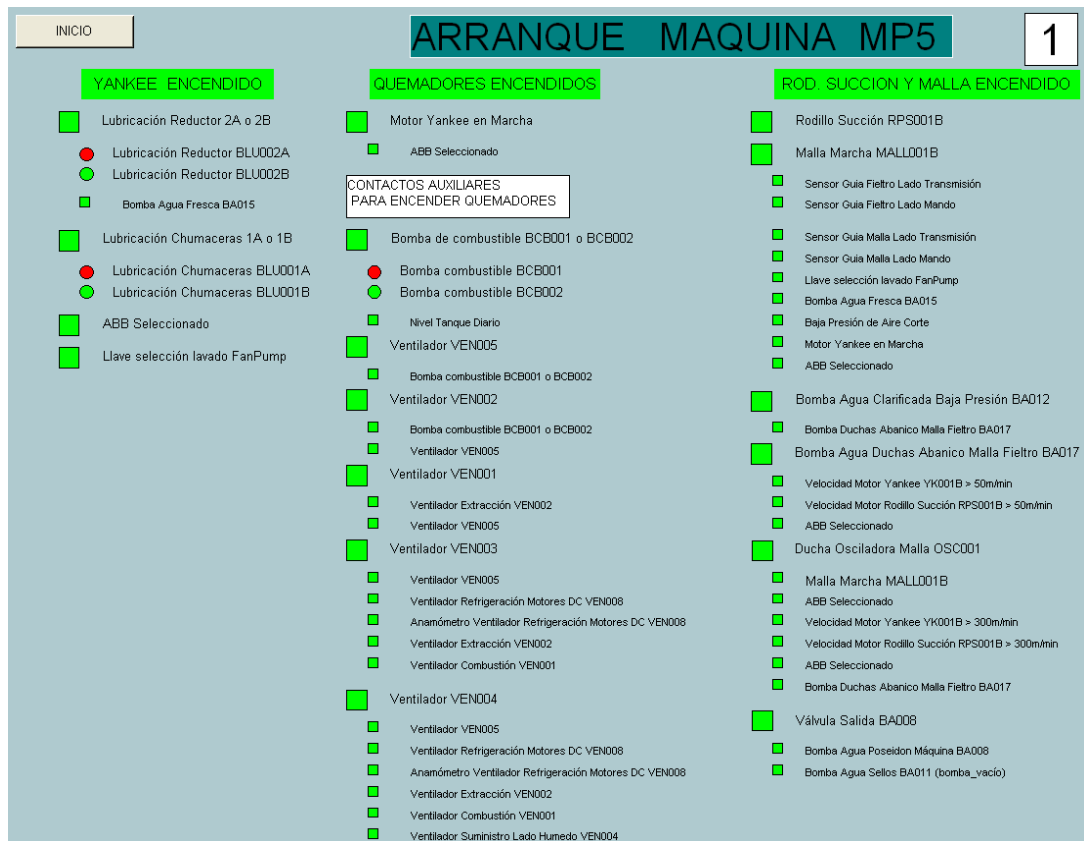
Figura 2.43 Menú de inicio

Para el presente proyecto de visualización se utilizara únicamente el botón que se lo ha denominado **ARRANQUE**, el cual permite enlazarse con cuatro pantallas más que detallan el proceso de encendido y enclavamiento de la máquina MP5, en las que el color verde de luces

indicadores representa operación normal del equipo y el color rojo indica que se encuentran apagados los mismos, que son las que se detallan a continuación.

### Primera pantalla.

La Figura Nº 2.44 muestra la pantalla en la se encuentran las secuencias de encendido del YANKEE, QUEMADORES y RODILLO DE SUCCION Y MALLA.



**Figura Nº 2.44 Secuencias de encendido del YANKEE, QUEMADORES y RODILLO DE SUCCION Y MALLA.**



## Segunda pantalla

En la pantalla de la Figura Nº 2.45 se encuentran las secuencias de encendido de las BOMBAS DE VACIO, SCREEN VERTICAL y RODILLO DE SUCCION PEGADO.



**Figura Nº 2.45 Secuencias de encendido de las BOMBAS DE VACIO, SCREEN VERTICAL y RODILLO DE SUCCION PEGADO**

### Tercera pantalla

En la pantalla de la Figura Nº 2.46 se encuentran las secuencias de encendido de DOCTOR CREPADOR PEGADO, DOCTOR LIMPIADOR NO PEGADO, FAN PUMP.



**Figura Nº 2.46 Secuencias de encendido de DOCTOR CREPADOR PEGADO, DOCTOR LIMPIADOR NO PEGADO, FAN PUMP**

## Cuarta pantalla

La pantalla de la Figura Nº 2.47 se encuentran las secuencias de encendido del REFINADOR 1, REFINADOR 2, STOCK PUMP, CAMPANA LADO SECO, CAMPANA LADO HUMEDO.



**Figura Nº 2.47 Secuencias de encendido del REFINADOR 1, REFINADOR 2, STOCK PUMP, CAMPANA LADO SECO, CAMPANA LADO HUMEDO**

## CAPITULO III

### PRUEBAS EXPERIMENTALES

#### 3.1 DESCRIPCIÓN FÍSICA DEL SISTEMA.

La Planta de Productos Familia - Sancela del Ecuador S.A. desde hace veinte y cinco años se ha dedicado en el Ecuador al procesamiento de papel reciclado para obtención del papel Tissue.

En la Figura Nº 3.1 se presenta el gráfico de la máquina MP5.

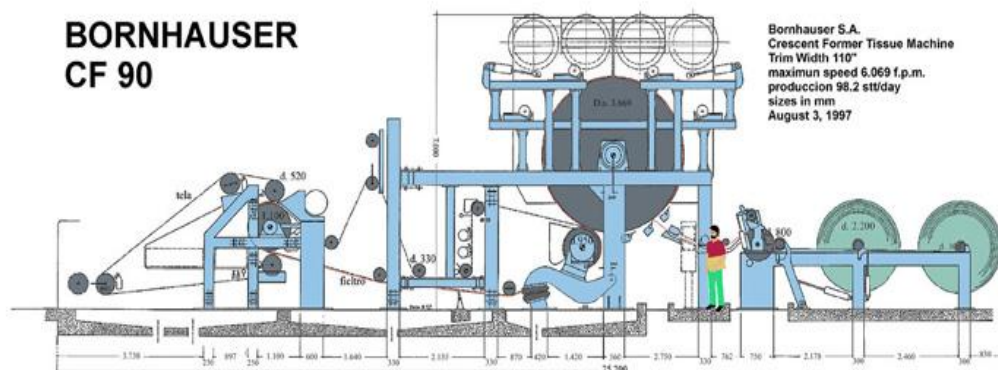


Figura Nº 3.1 Máquina MP5

El papel, material en forma de hojas delgadas que se fabrica entretejiendo fibras de celulosa vegetal, se emplea para numerosos fines especializados que van desde la filtración de precipitados en disoluciones hasta la fabricación de determinados materiales de construcción. La preparación de la madera para la fabricación de papel se efectúa de dos formas diferentes:

- **Proceso de trituración**, los bloques de madera se aprietan contra una muela abrasiva giratoria que va arrancando fibras. Las fibras obtenidas son cortas y sólo se emplean para producir papel prensa barata o para mezclarlas con otro tipo de fibras de madera en la fabricación de papel de alta calidad.
- **Procesos de tipo químico**, las astillas de madera se tratan con disolventes que eliminan la materia resinosa y la lignina y dejan fibras puras de celulosa. El proceso químico más antiguo fue introducido en 1851, y emplea una disolución de sosa cáustica (hidróxido de sodio) como disolvente. La madera se cuece o digiere en esta solución en una caldera a presión. Las fibras producidas con este proceso no son muy resistentes, pero se utilizan mezcladas con otras fibras de madera. Un proceso empleado con frecuencia en la actualidad utiliza como disolvente sulfato de sodio o de magnesio.

Hay, diferentes tipos de máquinas para la fabricación de papel como la Fourdrinier Crecent Former, esta configuración es la que se usa actualmente a nivel mundial, como es el caso de máquina MP5.

En la actualidad los sistemas SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) es una de las aplicaciones de software diseñadas para funcionar en computadores de control, proporcionando una comunicación con los dispositivos de control y supervisando el proceso desde la pantalla del computador. La necesidad de interconectar los diferentes dispositivos de control, en este caso particular: PLC's, controladores de temperatura, variadores de frecuencia y obtener los diferentes valores de las variables físicas controladas por los mismos, obliga a construir una red de comunicación, denominada red de control,

la cual se utiliza para el intercambio de información entre controladores lógicos programables e interlocutores inteligentes, por ejemplo PC's.

Con respecto al proyecto implementado, el sistema de HMI/SCADA realizado consta de las siguientes partes:

- Instrumentación
- Sistemas HMI/SCADA.
- Redes de campo.
- Variadores de frecuencia.
- Circuitos Neumáticos.

## **3.2 PRUEBAS EXPERIMENTALES**

### **3.2.1 Pruebas de unidades**

En ésta fase de prueba, se utilizó una computadora Pentium IV, 2.8 GHz, equipado con el paquete de software WinCC, acoplado con interfaz esclava IM 153-1, un PLC SIMATIC S7-300, sensores, transductores, bombas, válvulas, etc.

- Se comprobó el correcto funcionamiento de cada uno de los elementos y equipos utilizados (hardware y software), tanto de forma individual como en conjunto, teniendo como resultado un perfecto acoplamiento.

### **3.2.2 Pruebas del diseño de la aplicación**

Para la ejecución de esta prueba, en primer lugar se realizó las conexiones necesarias de hardware, para comprobar el funcionamiento correcto del software.

Las pantallas con las cuales se ejecutó las pruebas, se encuentra en forma detallada en el Capítulo II,

Al realizar el arranque del proceso, se observó y / o verificó que:

- Las pantallas diseñadas en WinCC, para la visualización del enclavamiento, y que reciben las señales reales tomadas directamente de la máquina, instantáneamente se enlazan, por lo que se comprueba que la visualización del arranque y enclavamiento fue exitosa.
- A medida que el proceso avanza, los Leds indicadores cambian a color verde, de acuerdo a la secuencia de encendido de cada una de las variables.

Para verificar que la programación este correcta se provocó errores en los diferentes tipos de arranque, comprobando el cambio de color a rojo en los Leds respectivos

Así mismo, según las condiciones de enclavamiento del proceso, se comprobó que si no se cumplen las condiciones de encendido de variables, no se enclavan las diferentes etapas de arranque de la máquina; por lo tanto, se evidenció que el diseño proporciona las seguridades necesarias de enclavamiento de la máquina MP5, ya que la siguiente etapa no se ejecuta si no ha sido cumplida la anterior.

### **3.2.3 Pruebas de validación del usuario**

En esta fase experimental y luego de haber comprobado el correcto funcionamiento del diseño de visualización del encendido y enclavamiento de la máquina de papel MP5, se procedió a instruir al personal de operadores de la fábrica, quienes son los que trabajarán con este diseño.

Se les indicó:

- La ubicación del acceso directo del programa
- La manera de ingresar y manipular cada una de las pantallas en el computador.

Además, en presencia del personal de operadores:

- Se simuló fallas para que visualicen las mismas en el computador y a la vez comprueben físicamente la existencia de las mismas
- Luego de superadas y / o corregidas las fallas, verificaron que en las pantallas de computador también se refleja esta situación, y que la secuencia de encendido pasa a la etapa siguiente.

En resumen todas las pruebas experimentales, individuales y en conjunto, realizadas en el proyecto implementado, presentan resultados satisfactorios y cumplen con los objetivos previamente definidos.

### 3.3 ANÁLISIS TÉCNICO-ECONÓMICO.

Siendo el análisis costos-beneficios una fase muy importante para el desarrollo del proyecto, y considerando los beneficios tangibles a obtener, a continuación se realiza un análisis económico del mismo.

#### 3.3.1. Financiamiento del Proyecto

El financiamiento del hardware y software utilizado, que se adaptaron óptimamente al funcionamiento de las máquinas y trabajan sin ningún conflicto, fue financiado totalmente por la Empresa Productos Familia Sancela del Ecuador S.A., mientras que los gastos administrativos, materiales de oficina y pago de aranceles son financiados personalmente.

#### 3.3.2. Análisis de Costos

En la Tabla Nº 3.1 se presenta un detalle de los costos involucrados en la ejecución del proyecto, en éste no se considera el costo de ingeniería.

**Tabla Nº 3.1 Detalle de costos del proyecto**

| ITEM | CANTIDAD | DESCRIPCION              | VALOR (usd) |
|------|----------|--------------------------|-------------|
| 1    | 4        | PLC's                    | 4.500,00    |
| 2    | 30       | Sensores y transductores | 7.000,00    |
| 3    | 1        | Computador               | 1.600,00    |
| 4    | Global   | Varios (cable, borneras) | 500,00      |
| 5    | 1        | Tableros de control      | 1.000,00    |



| ITEM          | CANTIDAD | DESCRIPCION                     | VALOR (usd)      |
|---------------|----------|---------------------------------|------------------|
| 6             | Global   | Componentes circuito de control | 500,00           |
| 7             | Global   | Software                        | 8.000,00         |
| 8             | Global   | Materiales de oficina           | 300,00           |
| 9             | Global   | Movilización                    | 300,00           |
| 10            | Global   | Uso de Internet                 | 100,00           |
| 11            | Global   | Pago de aranceles               | 700,00           |
| <b>TOTAL:</b> |          |                                 | <b>24.500,00</b> |

Luego de la verificación y de las pruebas realizadas al proyecto implementado, se determina que:

- Se ha disminuido los costos de producción, ya que se ha logrado bajar el tiempo de verificación de fallas, considerando que anteriormente se lo realizaba de forma manual.
- En la actualidad la detección y la reanudación de la puesta en marcha tiene una demora promedio de veinte minutos; en comparación con el tiempo que se utilizaba anteriormente, que era de una hora, se tiene una disminución de cuarenta minutos.

Si se considera que en una hora de producción se obtiene 2 toneladas de papel, que representan un costo de 1800 USD de pérdida; en la actualidad con 20 minutos, la pérdida es de 600 USD. Comparando este dato con los costos totales del proyecto, indicado en la Tabla Nº 3.1, se determina que la inversión será recuperada en un tiempo muy corto.

Realizando un análisis netamente técnico, se concluye que el proyecto trabaja con el rendimiento esperado y se refleja en la disminución de pérdidas de producción.

### **3.4 ALCANCES Y LIMITACIONES.**

Una vez concluida la implementación del proyecto y en función del rendimiento del mismo, se pueden definir los alcances y limitaciones del mismo.

### **3.4.1. Alcances**

- El sistema de HMI está básicamente realizado con un módulo de PLC SIMATIC S7-300, junto con el paquete de Software WinCC, como una poderosa herramienta de control y monitoreo. A través de un computador se obtendrán pantallas, cuya configuración reemplaza a los antiguos paneles de instrumentos.
- El sistema de HMI facilita la visualización por medio de pantallas de información de condiciones de operación y estado de la máquina como refinadores, yankee, malla y fieltro, duchas, malla y fieltro, motores, bombas de vacío, rodillos, dosificación de químicos, etc., a través del uso de sensores. Con esta información, el operador podrá identificar cual parte del enclavamiento en la secuencia de encendido falló o falta de concluir, y proceda a revisar sin pérdida de tiempo, aumentándose el índice de producción de la Empresa.
- En este moderno sistema de Instrumentación para visualización, las pantallas constituyen las ventanas para el operador del proceso, y permiten una comunicación rápida de doble vía. Se tiene mayor precisión y el operador puede cambiar entre pantallas para ver la información que necesaria.
- El proyecto realizado, será conocido por todas las personas involucradas como son operadores de máquina y directivos de la Empresa productora de papel.
- Con el proyecto implementado, se logrará, en la parte técnica que cada operador tenga su rol de ocupación y responsabilidad bien definidos.
- Por la tecnología y diseño aplicado, el proyecto desarrollado es capaz de absorber nuevas tecnologías.

### **3.4.2. Limitaciones**

- Como el proceso está en continuo funcionamiento, lo óptimo es utilizar el protocolo de comunicación MPI, el limitante es la imposibilidad de utilizar como protocolo de comunicación en PROFIBUS, ya que como el PLC realiza un continuo watch dog, y

cuando detecta el fallo de uno de sus elementos saca de funcionamiento a todo el sistema.

- Como todos los elementos utilizados en los diferentes procesos que se ejecutan en las máquinas de papel de la Planta Industrial son de marca siemens, no es posible la utilización de software que no sea proveído por Siemens.

## CONCLUSIONES

Al finalizar este proyecto, se presentan las siguientes conclusiones.

- Se cumplió con los objetivos planteados, en el perfil del proyecto que consistía en “Automatizar e Implementar un Sistema HMI/SCADA para el ENCLAVAMIENTO Y SEGURIDADES del Molino de papel de la Planta de Productos Familia-Sancela del Ecuador S.A.”
- Este trabajo se lo ha realizado como parte indispensable para la obtención del título de Ingeniero en Electrónica e Instrumentación, el cual luego de mucho esfuerzo se lo concluye, esperamos que sea un aporte que deja abiertas posibilidades para la concreción de muchos otros temas o de proyectos futuros de automatización que puedan ser planteados a partir de éste, y que estamos seguros tendrán apertura en la misma Empresa.
- Se implementó el Sistema HMI, satisfaciendo las expectativas de la Gerencia, Ingeniería de producción, mantenimiento y todas las personas que en el proceso participan, en la Empresa Familia Sancela.
- Se ha logrado la Implementación del HMI para el proceso de papel de la máquina MP5, el mismo que se halla concebido como un proceso de realización maduro, una vez que se ha determinado como exitoso ya que además se ha tomado en cuenta la colaboración de profesionales de calidad que laboran en esta Empresa, durante la instalación, y que por lo tanto en lo posterior se preservará la calidad de mantenimiento del trabajo realizado.
- Para el sistema de HMI para el enclavamiento de la máquina de papel MP5, se utilizó el paquete computacional WinCC, debido a su gran acoplamiento con la marca de los PLC usados SIMATIC S7-300. Además por su versatilidad las pantallas de utilización diseñadas, dan al usuario transparencia y le permitan operar en un ambiente amigable.

- Se ha conseguido la formación integral del personal encargado de la máquina, considerando que el trabajo que realizan es muy importante para la supervisión de la operación.
- En cuanto los procesos de fabricación de papel se hacen más complejos, y se demanda de alta calidad, surge la necesidad de utilizar hardware más avanzados, esto se hace posible hoy debido a las técnicas de medición disponibles a través de sensores, que hacen posible el ingreso de señales de entrada al PLC requeridas para la estrategia global de un sistema de visualización
- Los tiempos perdidos y pérdidas de producción se obtienen a partir de los tiempos perdidos de operación, que incluyen paros o producción perdida por roturas, problemas de enrolladora, lavados, y puestas en marcha, disminuyendo la eficiencia.
- El uso del PLC para el desarrollo de este proyecto, obedece a las ventajas que ofrece frente al uso de relés electromecánicos, ya que eliminan la necesidad de un cableado complejo y caro, se reduce el espacio físico de instalación, mantenimiento que se reduce, a etapas de entrada, salida y fuente de alimentación, además permiten la comunicación hombre máquina, ya sea a través de displays inteligentes o de una pantalla de un computador
- **Este Proyecto tiene un valor real para la Empresa Productos Familia:** En el desarrollo de esta tesis nos hemos enfrentado al reto de que de pronto no llegue a funcionar, o que se tenga que dedicarlo mucho tiempo para su realización. Al momento el proyecto se encuentra funcionando normalmente y quedan planteados otros trabajos por hacer.

## RECOMENDACIONES

- Se recomienda que tanto el personal técnico como de mantenimiento, deban estar correctamente capacitados para la utilización adecuada del sistema HMI y su mantenimiento.
- El personal de administración y personal técnico debe tener claro su nivel de incidencia y manejo del proyecto, se debe evitar en lo posible que personas no autorizadas o no preparadas, manejen las pantallas del proceso, produciéndose algún problema.
- Como futuros proyectos a realizarse, se recomienda implementar los siguientes: Conexión con otras estaciones de la Planta, Obtención de datos estadísticos de consumo de energía por equipos o en general, Control del proceso de fabricación de papel, etc.
- Se recomienda conocer con anterioridad el perfil de intereses del personal; tanto administrativo como técnico, que van a ser usuarios del proyecto, de ésta manera, se obtiene colaboración, participación e interés por aprender.
- Para trabajar con el módulo de PROFIBUS DP, se recomienda utilizar por lo menos un procesador Pentium de 66 MHz.
- Cuando se realiza el tendido de los cables de PROFIBUS, se debe evitar, estirarlos, prensarlos, o retorcerlos.
- En base a este proyecto, se recomienda ampliar la aplicación de sistemas de automatización HMI, con la utilización de Controladores Lógicos Programables, y en muchos campos de la Electrónica e Instrumentación.
- El uso del software WinCC, aplicado para sistemas HMI, puede ser aplicado en otros sistemas como conectarse a una red interna con todas las máquinas de la fabrica, con el objeto de tener centralizada la información, así como para tener una comunicación remota.

- Al tratarse este proyecto de un sistema de supervisión, se han generado grandes expectativas especialmente entre quienes trabajan directamente en la producción de la planta, por lo mismo se considera se abren puertas para que nuevos proyectos puedan desarrollarse.

## BIBLIOGRAFÍA

1. HONEYWELL “HMX System #: 4998” Canadá 2001
2. POSEIDON “Poseidon ppm clarifier 200-E &500-E” Francia 2001
3. LAMORT “General Process & Control” Francia 2001
4. SIEMENS, “Comunicación Industrial y Dispositivos de Campo”, Alemania, 2000.
5. CAMEI S.A., “Medidores de Nivel de Presión”, Quito, 2000
6. BANNER, “Photoelectric Sensors”, Minneapolis, U.S.A., 2002.
7. INSTITUTO TECNOLOGICO PASCUAL BRAVO, “Memorias P.L.C.”, Medellín, Colombia.
8. OMRON, “E5AK Digital Controller. User’s Manual”, Canadá, 1996.

### Enlaces:

1. [www.usm.edu.ec/e-formación](http://www.usm.edu.ec/e-formación)
2. [http://lonmark.com/euro/es/solution/es\\_indust.htm](http://lonmark.com/euro/es/solution/es_indust.htm)
3. <http://comunidad.ciudad.com.ar/ciudadanos/lpereira/equipos.htm>
4. <http://www.petroleo.edu.ec/e-formacion>
5. <http://rotator.ad juggler.com/servlet/ajrotator>





# ***ANEXO A***

## ***GLOSARIO***

## A

**ABB:** Asean Brown Boveri

## B

**BIOS:** Sistema Básico par entrada salida de un computador.

## C

**CPU:** Unidad Central de Procesamiento.

## D

**DC:** Corriente Directa.

## F

**FIRMWARE:** Híbrido entre el hardware y software. Conjunto de programas grabados en el proceso de fabricación en una memoria tipo ROM, por ejemplo el caso de la BIOS de una PC. Refiriéndose a equipos industriales, ejemplo PLCs se refiere al mismo sistema operativo residente en la memoria tipo ROM.

## M

**MPI:** Interfaz multipunto. De la marca Siemens, para la comunicación del computador de programación con el PLC Simatic S7\_300/400.

## P

**PC:** Computador Personal

**PG:** Unidad de programación . Es una PC propietaria de Siemens que incluye entre otras cosas, una interfase RS-485, que soporta directamente los protocolos MPI, Profibus-DP.

**PLC:** Controlador Lógico Programable.

**PROFIBUS-DP:** Es una red Industrial dirigida a dispositivos de control, dirigida a PLC's principalmente, utiliza la Interfaz RS-485.

## R

**RS-485:** Interfaz de comunicación serial.

## S

**SOFTWARE:** Conjunto de programas que ejecuta un computador o PLC.

**S7-300:** PLC de Siemens de la línea Simatic.

## T

**TISSUE:** Se llama papel Tissue a un papel suave y absorbente para uso doméstico y sanitario, que se caracteriza por ser de bajo peso y crepado, es decir, con toda su superficie cubierta de microarrugas, las que le confieren elasticidad, absorción y suavidad.

## ***ANEXO B***

### ***Hojas de Especificaciones Técnicas***