



ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO
SEDE LATACUNGA

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA ESPECIALIDAD
INSTRUMENTACIÓN

**“Diseño e Implementación de un Prototipo de Sistema de Presión
Constante para Compresores de Tornillo”**

**Proyecto previo a la obtención del Título de Ingeniera Electrónica especialidad
Instrumentación**

DALILA ELIZABETH ANDRADE MONTENEGRO

Latacunga – Ecuador

Diciembre 2009

CERTIFICACIÓN

Se certifica que el presente trabajo fue desarrollado en su totalidad por la señorita Dalila Elizabeth Andrade Montenegro, bajo nuestra supervisión.

Diciembre, 2009

Ing. Julio Acosta
DIRECTOR DE PROYECTO

Ing. Galo Ávila
CODIRECTOR DE PROYECTO

AGRADECIMIENTO

A la empresa La Llave de Comercio S.A por brindarme la oportunidad de desarrollar este proyecto y de manera muy especial al Ing. Vinicio Acosta por su incondicional apoyo, confianza y su predisposición constante para aclarar mis dudas y guiarme para alcanzar mis objetivos. Al Ing. Nicolás Trujillo por su valioso y acertado asesoramiento en la ejecución de este proyecto.

A la empresa ACINDEC, especialmente a los Ingenieros Gerardo Crespo y Diego Puetate por permitirme utilizar sus instalaciones y por su invaluable ayuda en la implementación y pruebas de este sistema.

A mis padres porque gracias a su cariño, esfuerzo y dedicación he culminado una etapa más en mi vida, han sido mi inspiración para alcanzar mis metas y cumplir mis objetivos... Gracias por estar siempre a mi lado guiando mi vida.

A mi abuelita porque gracias a sus oraciones, su abnegado amor y su confianza en mí he podido hacer realidad cada uno de mis sueños.

A Dario, por su amor, paciencia y apoyo.

A mis maestros, los ingenieros Julio Acosta y Galo Ávila por ser parte fundamental en la culminación de mi carrera, gracias por todos los conocimientos transmitidos pero sobre todo gracias por su amistad.

Y finalmente quiero agradecer a todas aquellas personas que con palabras de ánimo y sonrisas alentadoras contribuyeron en el desarrollo de este proyecto.

DALILA

DEDICATORIA

Quiero dedicar este trabajo a mis padres, a quienes les debo todo lo que soy.

Esta meta alcanzada es el reflejo del amor, ejemplo, comprensión, apoyo, confianza y consejos que cada día de mi vida he recibido de ustedes.

DALILA

“Para empezar un gran proyecto, hace falta valentía. Para terminar un gran proyecto, hace falta perseverancia”

Anónimo

CONTENIDO

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1 GENERALIDADES	1
1.1.1 AIRE	1
1.1.2 PRESIÓN	2
1.1.2.1 Unidades de Presión	2
1.1.2.2 Clases de Presión	4
1.2 AIRE COMPRIMIDO	5
1.2.1 USOS DEL AIRE COMPRIMIDO	6
1.2.2 VENTAJAS DEL AIRE COMPRIMIDO	6
1.2.3 DESVENTAJAS DEL AIRE COMPRIMIDO	7
1.3 COMPRESORES	8
1.3.1 CLASIFICACIÓN	8
1.3.2 COMPRESORES DE TORNILLO	11
1.3.2.1 Compresor De Tornillo Rotativo SSR EP50 – Ingersoll Rand	12
1.3.2.1.1 Partes del Compresor SSR EP50	12
1.3.2.1.2 Funcionamiento del Compresor de Tornillo SSR EP50	18
1.3.2.1.3 Características de los Compresores deTornillo	19
1.3.3 DIMENSIONAMIENTO DE UN COMPRESOR	20
1.4 SISTEMAS DE PRESIÓN CONSTANTE	22
1.4.1 DIAGRAMA DE BLOQUES DE UN SISTEMA DE PRESIÓN CONSTANTE	24
1.4.2 FUNCIONAMIENTO DE UN SISTEMA DE PRESIÓN CONSTANTE	25
1.4.3 VENTAJAS DE UN SISTEMA DE PRESIÓN CONTANTE	27

CAPÍTULO II

2.1 DESCRIPCIÓN DE ELEMENTOS DE INSTRUMENTACIÓN	28
2.2 TRANSDUCTOR DE PRESIÓN.....	30
2.2.1 TRANSMISOR DE PRESIÓN DE ESTADO SÓLIDO 836E ALLEN – BRADLEY	31
2.2.1.1. Características	31
2.2.1.2. Principio de funcionamiento.....	32
2.2.1.3. Instalación	33
2.3. CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE	34
2.3.1. ESTRUCTURA DE UN CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE	34
2.3.2. SISTEMA CompactLogix	35
2.3.2.1. Comunicación	36
2.3.2.1.1. Módulo de Comunicación EtherNet/IP 1768-ENBT	37
2.3.2.1.2. Protocolo de Control de Transmisión / Protocolo Internet - TCP/IP	38
2.3.2.2. Módulos utilizados en la implementación del Sistema de Presión Constante	39
2.4. VARIADOR DE FRECUENCIA	40
2.4.1. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO	41
2.4.2. APLICACIONES	42
2.4.3. VARIADOR DE FRECUENCIA POWERFLEX 400 – ALLEN BRADLEY	42
2.4.3.1. Características	42
2.4.3.2. Interfaz con el operador	43
2.4.3.3. Entradas y Salidas	45
2.4.3.4. Comunicación	46
2.5 PANEL DE OPERADOR	46
2.5.1. PANELVIEW PLUS 700 ALLEN – BRADLEY	46

2.5.1.1. Componentes Modulares	46
2.5.2. FUNCIONAMIENTO	48

CAPÍTULO III: DISEÑO DE SOFTWARE

3.1 PROGRAMACIÓN DEL PLC	50
3.1.1 SOFTWARE DE PROGRAMACIÓN RSLOGIX 5000	50
3.1.1.1 Requisitos mínimos para la instalación del software RSLogix 5000	51
3.1.2 ANÁLISIS DE RUTINAS	52
3.2. COMUNICACIÓN ETHERNET	56
3.2.1 SOFTWARE RSLinx	57
3.2.1.1 Requisitos mínimos para la instalación del software RSLinx	57
3.2.2 CONFIGURACIÓN DE COMUNICACIÓN	57
3.3 HMI EN PANEL DE OPERADOR	61
3.3.1 DESCRIPCIÓN SOFTWARE FACTORYTALK VIEW STUDIO	61
3.3.2 INTERFAZ HOMBRE MÁQUINA EN PANEL VIEW PLUS 700	62
3.3.2.1 Usuarios y Seguridades	69
3.4 PROGRAMACIÓN DEL VARIADOR DE VELOCIDAD	70
3.4.1 SOFTWARE DriveExplorer	70
3.4.2 CONFIGURACIÓN DE PARÁMETROS	73
3.4.2.1 Parámetros básicos a configurar	73

CAPÍTULO IV: IMPLEMENTACIÓN Y PRUEBAS

4.1 CONSIDERACIONES DE IMPLEMENTACIÓN	75
4.2 PUESTA EN MARCHA DEL SISTEMA DE PRESIÓN CONSTANTE	76

4.2.1 PRUEBAS DE COMUNICACIÓN DEL SISTEMA	77
4.2.2 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA	79
4.2.2.1 Pruebas de Control de Capacidad vs. Potencia consumida	81
4.2.3 SINTONIZACIÓN PID	83
4.2.3.1 Reglas de Ziegler y Nichols – Método de ganancia límite	83
4.2.3.1.1. Procedimiento	84
4.3 DETERMINACIÓN AHORRO ENERGÉTICO	85
4.3.1 JUSTIFICACIÓN MATEMÁTICA	86
4.4 CONCLUSIONES	88
4.5. RECOMENDACIONES	90
BIBLIOGRAFÍA	91

GLOSARIO DE TÉRMINOS

ANEXOS

ANEXO A: Hoja de levantamiento de información

ANEXO B: Programación PLC

ANEXO C: Lista de TAG's

ANEXO D: Programación PanelView Plus 700

ANEXO E: P&ID Sistema de Presión Constante

ANEXO F: Diagrama Unifilar

ANEXO G: Conexiones Variador de Frecuencia

ANEXO H: Conexión Sistema

RESUMEN

Teniendo en cuenta que en general los procesos industriales utilizan aire comprimido especialmente para proveer aire a la instrumentación y equipos de fuerza neumáticos se implementó este sistema de presión constante con el cual los compresores de tornillo son capaces de controlar su capacidad de manera precisa para la demanda de aire necesaria, esto significa que la velocidad con la que el motor del compresor rota hace que se provea exactamente la cantidad de aire según la demanda de la planta.

Los sistemas de presión constante tienen como objetivo principal mantener la misma presión a pesar de las variaciones de la demanda, se caracterizan por ser sistemas de velocidad variable ajustables a las necesidades de la aplicación, esta característica combinada con dispositivos electrónicos de altas prestaciones permiten obtener únicamente la cantidad necesaria de aire comprimido, es decir los compresores con funcionamiento de velocidad variable, consumen energía en proporción directa a la entrega de aire.

En un sistema normal de control, la presión de salida del compresor disminuye a medida que aumenta el flujo de aire pero con la utilización de sistemas de presión constante se logra recuperar la diferencia de presión cuando la demanda de aire es alta.

El sistema de presión constante es un sistema de control en lazo cerrado, donde el elemento de control propio es un PLC que emite las acciones correctivas al proceso a través de un PID, el elemento de control final es el motor del compresor, el mismo que regula la variación de la variable dinámica del proceso que en este caso es la velocidad de giro a través de un variador de frecuencia, el transductor de presión es el encargado de monitorear la presión para que pueda ser comparada con la señal de referencia o set point. Si la demanda de aire es baja, el sistema se mantendrá en su velocidad mínima y al aumentar la demanda, el sistema a través de su controlador acelerará de manera constante al motor aumentando el voltaje gradualmente,

esto da como resultado la eliminación de picos de corriente y un funcionamiento a menor temperatura comparado a sistemas tradicionales.

El compresor SSR EP50 utilizado en este prototipo, tiene un funcionamiento normal en carga y descarga a mínima velocidad, a menos que la presión del sistema oscile fuera de la banda de presión más rápido de lo que el drive sea capaz de reaccionar.

Al manejar la operación del compresor desde un PLC y un variador externos a los que posee el compresor se logra un control modulado que permite mantener constante la presión del sistema y a su vez reduce considerablemente los gastos de energía.

El PLC encargado de controlar el sistema es un CompactLogix L43 Versión 15 de Allen-Bradley, la programación de este equipo se realizó con el software RSLogix 5000 y a través de la lógica programada se monitorea la variable de proceso que para este caso es la Presión y se controla la velocidad de giro del motor del compresor a través del variador de frecuencia PowerFlex 400; logrando de este modo que el sistema tenga una salida de presión constante reduciendo en gran medida el desperdicio de energía.

Este sistema está diseñado para ser operado desde un HMI configurado en un PanelView 700 plus a través del software Factory Talk View Studio y consta de 9 pantallas desde las cuales se puede monitorear el Sistema de Presión Constante.

Pantalla de Acceso

Esta pantalla arranca automáticamente al encender el Panel View y es de libre acceso, en ella se muestra la fecha, hora, el título del proyecto, el logo de la empresa, el menú para navegar dentro de la aplicación y los botones de log in y log out, inicio y finalización de sesión respectivamente.

Pantalla de Proceso

En esta pantalla se encuentran los botones que permiten encender y apagar el sistema, aquí también se encuentra el botón de paro de emergencia e indicadores luminosos de los permisivos PSH (High Pressure Switch) y VSH (High Vibration Switch).

Pantalla de Parámetros PID

Desde esta pantalla se establece el valor del Set Point requerido y se visualiza el comportamiento del sistema a través del Process Value o variable de proceso que es la presión y el Control Value o variable de control que indica la respuesta del sistema, en este caso la velocidad de giro del motor en porcentaje; adicionalmente desde aquí se puede observar y configurar los valores para las alarmas.

Pantalla de Tendencias

Esta pantalla está formada por un real time trend (gráfico de tendencia en tiempo real) donde se puede visualizar el comportamiento del sistema controlado por el PID, existen tres variables que se están monitoreando: Set Point (SP), Process Value (PV) y Control Value (CV), cada una de las cuales está identificada por un color.

Pantalla de Constantes PID

Desde esta pantalla se puede sintonizar el control PID ya que desde aquí se puede fijar las constantes KD, KI y KP.

Pantalla P&ID COMPRESOR

En esta pantalla se puede observar todos los elementos que forman parte del compresor así como las conexiones eléctricas y neumáticas de mismo, adicionalmente a través de esta pantalla se presenta el programa de mantenimiento recomendado por el fabricante para asegurar la vida útil del compresor.

Pantalla de Diagnóstico

Es una ventana emergente que aparece cada vez que se presenta un problema en el sistema como fallas de conexión y contraseñas o usuarios incorrectos. Cuenta con botones que permiten revisar todos los mensajes que se han generado, limpiar la pantalla y cerrar esta ventana.

Pantalla de Alarmas

Aquí aparecen todas las alarmas que producen paro del sistema como son alarma de muy alta presión, alarma de vibración, paro de emergencia, así como también aparecen las alarmas que no producen paro del sistema pero que si deben ser verificadas, como por ejemplo alarmas de alta y baja presión.

Pantalla de Configuración

La pantalla de configuración sirve para establecer la dirección IP, la fecha, hora, cargar – descargar aplicaciones, entre otras características de comunicación y visualización del Panel View Plus 700.

Adicionalmente para configurar cada uno de los elementos del Sistema se utilizó otros software como RSLinx que es el OPC que permite comunicar los equipos con las aplicaciones creadas y otros dispositivos de la red y Drive Explorer que es utilizado para configurar los parámetros del variador de frecuencia.

Finalmente, luego de las pruebas realizadas, se concluye que la implementación del sistema de presión constante en compresores de tornillo permite tener ahorro energético y asegura el suministro constante de aire mientras las aplicaciones y los procesos así lo requieran.

PRESENTACIÓN

Actualmente una de las mayores causas de contaminación ambiental es el uso desmedido e inconsciente de la energía eléctrica y las industrias debido a su constante necesidad de producción mantienen en funcionamiento sus máquinas 24 horas al día y casi 365 días del año, lo cual ocasiona un alto consumo energético que a su vez se traduce en altas tarifas.

Uno de los sistemas más utilizados en aplicaciones industriales es el aire comprimido, el mismo que es producido por compresores que en su mayoría son ineficientes y tienen un alto consumo energético debido al cambio permanente entre el funcionamiento en los ciclos de carga y descarga sin tomar en cuenta la demanda de aire.

Con el propósito de optimizar esta clase de sistemas y lograr ahorro energético que ayude a reducir el impacto ambiental, se implementó este sistema de presión constante que reacciona adecuadamente a cambios de carga y es capaz de satisfacer las necesidades de aire comprimido utilizando únicamente la energía justa y necesaria.

Los sistemas de presión constante se caracterizan por tener un óptimo desempeño debido a que al incrementar la demanda de aire, el controlador acelera de manera constante al compresor aumentando el voltaje gradualmente, es decir se produce un arranque suave lo cual elimina picos de corriente y aumenta la vida útil de los compresores.

El prototipo de sistema de presión constante para compresores de tornillo implementado permite conseguir la cantidad exacta de aire comprimido en condiciones de carga variable lo cual se traduce en una reducción considerable del consumo energético y como consecuencia un gran ahorro económico para las industrias que lo utilicen.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 GENERALIDADES

Dentro de las aplicaciones industriales, la neumática constituye una de las herramientas más importantes en el control automático debido a que utiliza el aire como principal fuente de energía.

1.1.1 AIRE

El aire es una mezcla de elementos gaseosos que incluye principalmente nitrógeno (78%), oxígeno (21%), dióxido de carbono, gases inertes y cantidades variables y menores de vapor de agua y polvo como se muestra en la Figura 1.1; constituye la atmósfera terrestre y permanece alrededor de la tierra por la acción de la fuerza de gravedad.

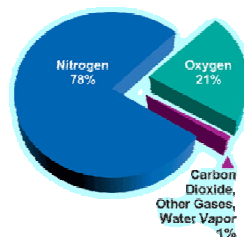


Figura 1.1: Porcentajes de elementos gaseosos que componen el aire

El aire es incoloro, inodoro e insípido y tiene como principal característica la compresibilidad, debido a que el aire no posee una forma determinada toma la forma del recipiente que lo contiene y a temperatura constante el volumen de un gas encerrado en un recipiente es inversamente proporcional a la presión absoluta, es decir, el producto de la presión absoluta y el volumen es constante para una cantidad determinada de gas, esto significa que al confinar un gas en un recipiente, el choque

de sus moléculas entre si y con las paredes del recipiente origina presión. Al comprimir el aire paulatinamente se aumenta el choque de dichas partículas debido a que disminuye su área de acción y en consecuencia se aumenta la presión.

1.1.2 PRESIÓN

La presión es una magnitud física que mide la fuerza aplicada perpendicularmente sobre cada unidad de superficie como se muestra en la Fig. 1.2.

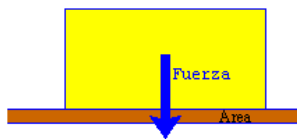


Figura 1.2: Fuerza normal ejercida uniforme y perpendicularmente sobre una superficie plana.

La presión P está dada por:

$$P = \frac{\text{Fuerza}}{\text{Area}} = \frac{F}{A} \quad [1.1]$$

1.1.2.1 Unidades de Presión

La presión puede expresarse en unidades tales como pascal, bar, atmósferas, kilogramos por centímetro cuadrado y psi (libras por pulgada cuadrada).

En el Sistema Internacional (S.I.) la unidad de Presión normalizada es el Pascal de acuerdo con las Conferencias Generales de Pesas y Medidas que tuvieron lugar en París en Octubre de 1967 y 1971.¹

¹ Tomado de: CREUS, Antonio, "Instrumentación Industrial", Alfaomega Grupo Editor S.A. de C.V., 5ta. Edición – 1995.

El Pascal equivale a un Newton por metro cuadrado, siendo el Newton la fuerza que aplicada a un cuerpo de masa 1 Kg , le comunica una aceleración de $\frac{m}{s^2}$.

$$Pa = \frac{N}{m^2} \quad [1.2]$$

Debido a que el peso de una columna de cualquier material es directamente proporcional a su altura, es posible definir a la Presión en unidades de altura como: pulgadas de agua, milímetros de mercurio, pulgadas de mercurio y milímetros de agua. A nivel del mar, la presión atmosférica es 760 mm Hg (milímetros de Mercurio).

En la tabla 1.1 se presenta las equivalencias entre las distintas unidades de presión existentes, de este modo es posible convertir de una unidad de presión a otra de acuerdo a las necesidades.

From \ To	kPa	bar	mbar	mmH ₂ O	kg/cm ²	atm	inch Hg	mm Hg	inch H ₂ O	psi
kPa	1	10	10	102.0	0.0102	9.869x10 ⁻³	0.2953	7.501	4.016	0.14505
bar	100	1	10 ³	1.020x10 ²	1.020	0.9869	29.530	750.1	401.6	14.505
mbar	0.1	10 ⁻³	1	10.20	1.020x10 ³	9.869x10 ⁻⁴	0.0295	0.7501	0.4016	0.0145
mm H ₂ O	9.807x10 ⁻³	9.807x10 ⁻⁵	9.807x10 ⁻²	1	10 ⁻⁴	9.678x10 ⁻³	2.891x10 ⁻³	0.0734	0.0394	1.4224x10 ⁻³
kg/cm ²	98.07	0.98077	980.7	10 ⁴	1	0.9678	28.910	734.2	393.7	14.224
atm	101.3	1.013	1013	1.033x10 ⁴	1.033	1	29.922	7601	406.7	14.68
inch Hg	3.386	0.0339	33.864	345.9	0.0346	0.0334	1	2540	13.62	0.4912
mm Hg	0.1333	1.333x10 ⁻³	1.333	13.62	1.362x10 ⁻³	1.316x10 ⁻³	0.0394	1	0.5362	0.0193
inch H ₂ O	0.2491	2.491x10 ⁻³	2.491	25.40	2.54x10 ⁻³	2.458x10 ⁻³	0.0734	.8650	1	0.0361
psi	6.895	0.0689	68.948	704.3	0.0704	0.0680	2.036	51.71	27.73	1

Tabla 1.1. Unidades de presión y sus factores de conversión

1.1.2.2 Clases de Presión

Presión Absoluta: Es la presión medida con referencia al vacío perfecto o cero absoluto.

La presión absoluta es cero únicamente cuando no existe choque entre las moléculas lo que indica que la proporción de moléculas en estado gaseoso o la velocidad molecular es muy pequeña.

$$\text{Presión Absoluta} = \text{Presión Manométrica} + \text{Presión Atmosférica.} \quad [1.3]$$

Presión Atmosférica o Barométrica: Es la presión ejercida por la atmósfera terrestre medida mediante un barómetro. A nivel del mar esta presión es próxima a 760 mm Hg.²

Presión Relativa o Manométrica: Son normalmente las presiones superiores a la atmosférica, que se miden por medio de un elemento que define la diferencia entre la presión absoluta y la presión atmosférica que existe, si el valor absoluto de la presión es constante y la presión atmosférica aumenta, la presión manométrica disminuye.

Presión Diferencial: Es la diferencia existente entre dos presiones

Vacío: Es la presión resultante entre la presión atmosférica existente y la presión absoluta, es decir es la presión medida por debajo de la presión atmosférica, en

² Este valor de presión atmosférica fue determinado por Torricelli que empleó un tubo largo lleno de mercurio y cerrado en uno de sus extremos colocado sobre un recipiente que contenía mercurio. El mercurio descendió hasta una altura $h = 0.76$ m al nivel del mar.

consecuencia, son presiones negativas. Normalmente la presión de vacío se expresa en milímetros o pulgadas de mercurio o agua y se mide con vacuómetros.

En la figura 1.3 se puede observar la relación existente entre las diferentes clases de presión:

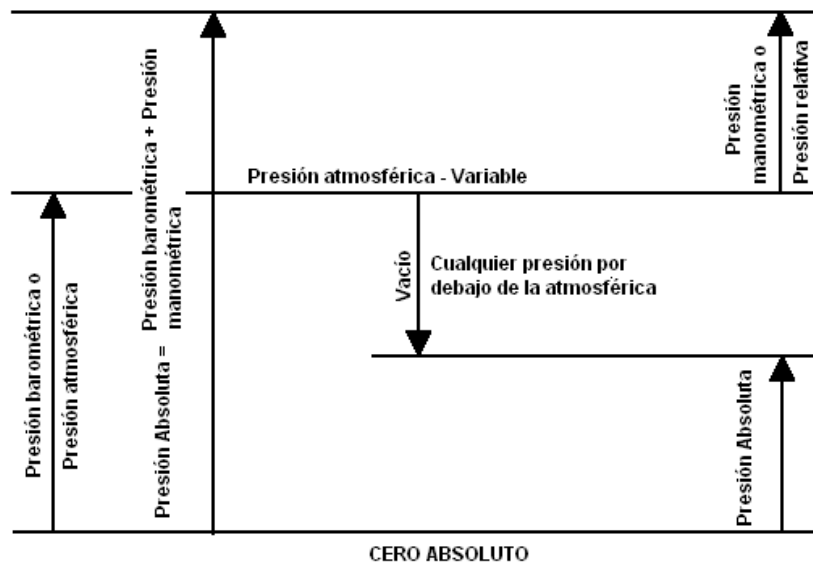


Figura 1.3: Clases de Presión

1.2 AIRE COMPRIMIDO

El aire comprimido es una de las formas de energía más antiguas que conoce el hombre, en la actualidad es la mayor fuente de potencia en la industria ya que ha logrado automatizar y racionalizar procesos de trabajo.

Para producir aire comprimido se utilizan compresores que elevan la presión del aire al valor de trabajo deseado, este incremento de presión puede variar desde unas cuantas onzas a miles de libras por pulgada cuadrada (PSI) y los volúmenes manejados desde unos pocos pies cúbicos por minuto (CFM) a cientos de miles.

Las presiones ideales de empleo del aire comprimido oscilan entre 4 y 8 Bar, siendo la habitual 6 Bar.

1.2.1 USOS DEL AIRE COMPRIMIDO

El aire comprimido es utilizado en muchas aplicaciones, entre las cuales se pueden mencionar las siguientes:

- En criaderos de peces para mantener aireada las piscinas y mantener el agua fresca.
- Para limpieza de máquinas y pisos en industrias.
- En sistemas de refrigeración y aire acondicionado.
- Para alimentación de sistemas y herramientas neumáticas.
- En equipos de buceo.
- En transporte y distribución de gas como en tuberías de gas natural y sistemas de distribución de gas centralizado.
- En la industria automotriz y de la construcción.
- En hospitales y consultorios odontológicos.

Todos los mecanismos y mandos neumáticos se alimentan desde una estación central, es decir, el aire comprimido viene de la estación compresora y llega a las instalaciones a través de tuberías.

1.2.2 VENTAJAS DEL AIRE COMPRIMIDO

- El aire es de fácil captación y está en cantidades ilimitadas en la atmósfera.
- Es seguro, no posee propiedades explosivas ni presenta riesgos de incendio por lo que no es necesario instalar unidades antideflagrantes.
- Puede ser transportado fácilmente por tuberías, incluso a grandes distancias.

- No necesita sistema de retorno.
- Permite velocidades de trabajo razonablemente altas y fácilmente regulables.
- El trabajo con aire incrementa el tiempo de vida útil de los componentes de un circuito debido a que no existen golpes de ariete³.
- No provoca sobrecargas que puedan dañar de manera permanente los equipos o constituir situaciones peligrosas.
- Es insensible a variaciones de temperatura por lo que garantiza un trabajo seguro incluso a temperaturas extremas.
- No contamina ya que produce energía limpia.
- Permite cambios instantáneos de sentido

1.2.3 DESVENTAJAS DEL AIRE COMPRIMIDO

- En circuitos muy extensos se produce considerables pérdidas de carga.
- Requiere de una gran inversión debido a que es necesario eliminar impurezas y humedad.
- Las presiones de trabajo no permiten aplicar grandes fuerzas.
- Se produce altos niveles de ruido generados al descargar el aire hacia la atmósfera.
- Se necesita energía eléctrica para el funcionamiento del compresor.

Pese a que la instalación de sistemas de aire comprimido requiere una gran inversión de capital, su costo es relativamente económico si se toma en cuenta las ventajas que éste presenta, la productividad que se logra al automatizar los procesos, la ayuda al medio ambiente debido a que no contamina y el ahorro energético que se logra al no utilizar energía eléctrica en herramientas y sistemas de un proceso.

³ Golpe de ariete es una modificación de la presión que puede darse en una instalación cuando se produce una interrupción abrupta (instantánea) del flujo.

1.3 COMPRESORES

Son máquinas motoras destinadas a comprimir gases o mezclas gaseosas a presión superior a la atmosférica, es decir, se realiza un intercambio de energía entre la máquina y el fluido compresible, convirtiendo así la energía mecánica rotacional entregada por el motor en energía neumática, la misma que opera sobre el actuador para generar trabajo, este ciclo se observa en la figura 1.4.

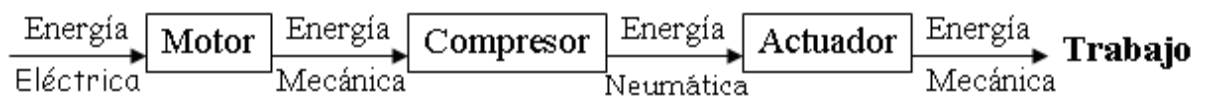


Figura 1.4: Ciclo de conversión de energía en trabajo

1.3.1 CLASIFICACIÓN

Según las exigencias referentes a la presión de trabajo y al caudal de suministro, se pueden emplear diversos tipos de construcción, es así que se distingue dos tipos básicos de compresores:

- Compresores de Desplazamiento Positivo (Flujo intermitente)
- Compresores de Flujo Continuo (Flujo Dinámico)

Los tipos de compresores arriba mencionados poseen su propia sub clasificación, la misma que se indica en el mapa conceptual de la figura 1.5:

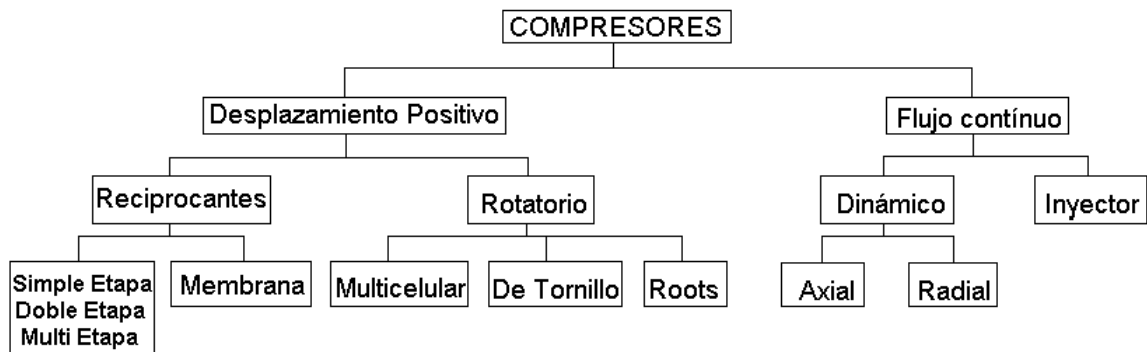


Figura 1.5: Clasificación General de Compresores

Compresores de Desplazamiento Positivo

Son máquinas mecánicas donde el aumento de presión se consigue mediante la reducción del volumen al confinar el aire en un recinto hermético, estos compresores están diseñados para recibir un amplio rango de flujo que puede ir desde el vacío (cero absoluto) hasta miles de PSI (libras por pulgada cuadrada).

Esta clase de compresores puede producir cualquier carga de presión hasta el límite de su resistencia mecánica y de la capacidad de la unidad motriz. La capacidad es casi directamente proporcional a la velocidad, es decir, la capacidad se cambia por la velocidad o con el descargador de la válvula de succión y para una amplia gama de presiones hay solo una pequeña variación en el flujo.

Como se muestra en la figura 1.6, para la curva típica de rendimiento se supone que la presión y temperatura de succión y la presión de descarga son constantes.

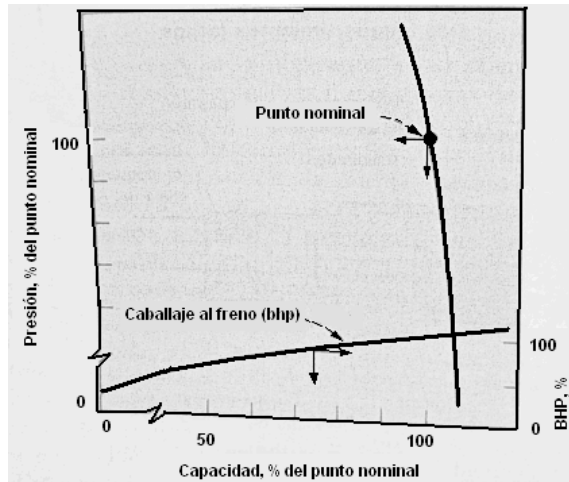
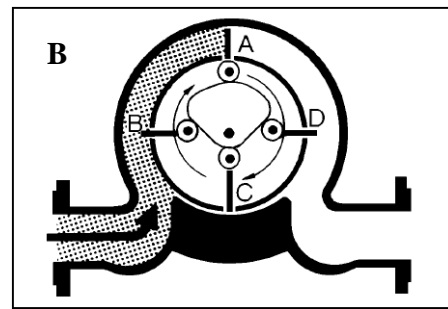
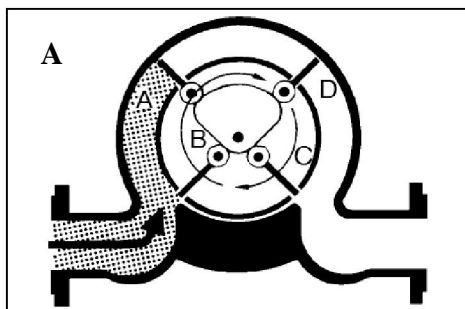


Figura 1.6: Curva típica de rendimiento de compresores de desplazamiento positivo.

Compresores Rotatorios

Son compresores de desplazamiento positivo que se basan en el caudal por lo que los compresores rotativos pertenecen a la clase de máquinas volumétricas, las mismas que al girar el rotor, situado excéntricamente en el cuerpo, las placas forman espacios cerrados, que trasladan el aire de la cavidad de aspiración a la cavidad de impulsión. Con esto se efectúa la compresión del aire.

En la figura 1.7 se puede observar claramente las etapas de compresión, la figura A muestra el ingreso del aire a la cavidad de compresión, en las figuras B y C ocurre la compresión del aire y en la figura D, el aire comprimido es descargado, terminando de este modo el ciclo adiabático de compresión del aire.



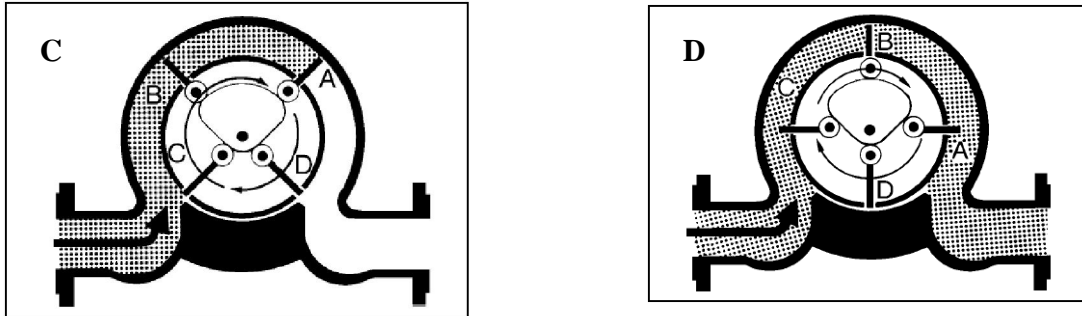


Figura 1.7: Principio de Funcionamiento de Compresores Rotativos

1.3.2 COMPRESORES DE TORNILLO

Son máquinas dotadas de dos rotores engranados entre sí, como se muestra en la figura 1.8, que comprime aire entre las cámaras de los lóbulos helicoidales entrelazados y la carcasa. Estos compresores están diseñados para satisfacer las necesidades de una amplia gama de caudales que van desde 2,5 a 70 m³/min y presiones de trabajo de 8-10 Bar.

Los lóbulos en los rotores no son idénticos, el rotor que tiene cuatro lóbulos convexos se denomina rotor macho y el rotor que tiene seis lóbulos cóncavos se llama rotor hembra.

El rotor macho o guía (rotor principal) consume alrededor del 85 al 90% de la potencia suministrada por el motor y el rotor hembra consume del 10 al 15% de la potencia restante.

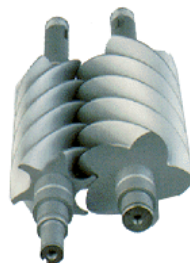


Figura 1.8: Rotores engranados (Tornillo)

1.3.2.1 Compresor De Tornillo Rotativo SSR EP50 – Ingersoll Rand

El SSR EP50 es un compresor de tornillo de 50HP (Figura 1.9), una sola etapa de compresión, impulsado por un motor eléctrico y enfriado por aire, es robusto, confiable y energéticamente eficiente, su capacidad es 208 CFM.



Figura 1.9: Compresor de Tornillo SSR EP50 Ingersoll Rand

1.3.2.1.1 Partes del Compresor SSR EP50

Como se puede observar en la figura 1.10, el compresor de tornillo SSR EP50 está formado por:

- Filtro de admisión de aire
- Conjunto compresor – motor
- Unidad de aire
- Sistema de separación de aire y refrigerante
- Enfriador de aceite
- Válvula termostática
- Filtro de aceite

- Postenfriador
- Separador y trampa de condensado

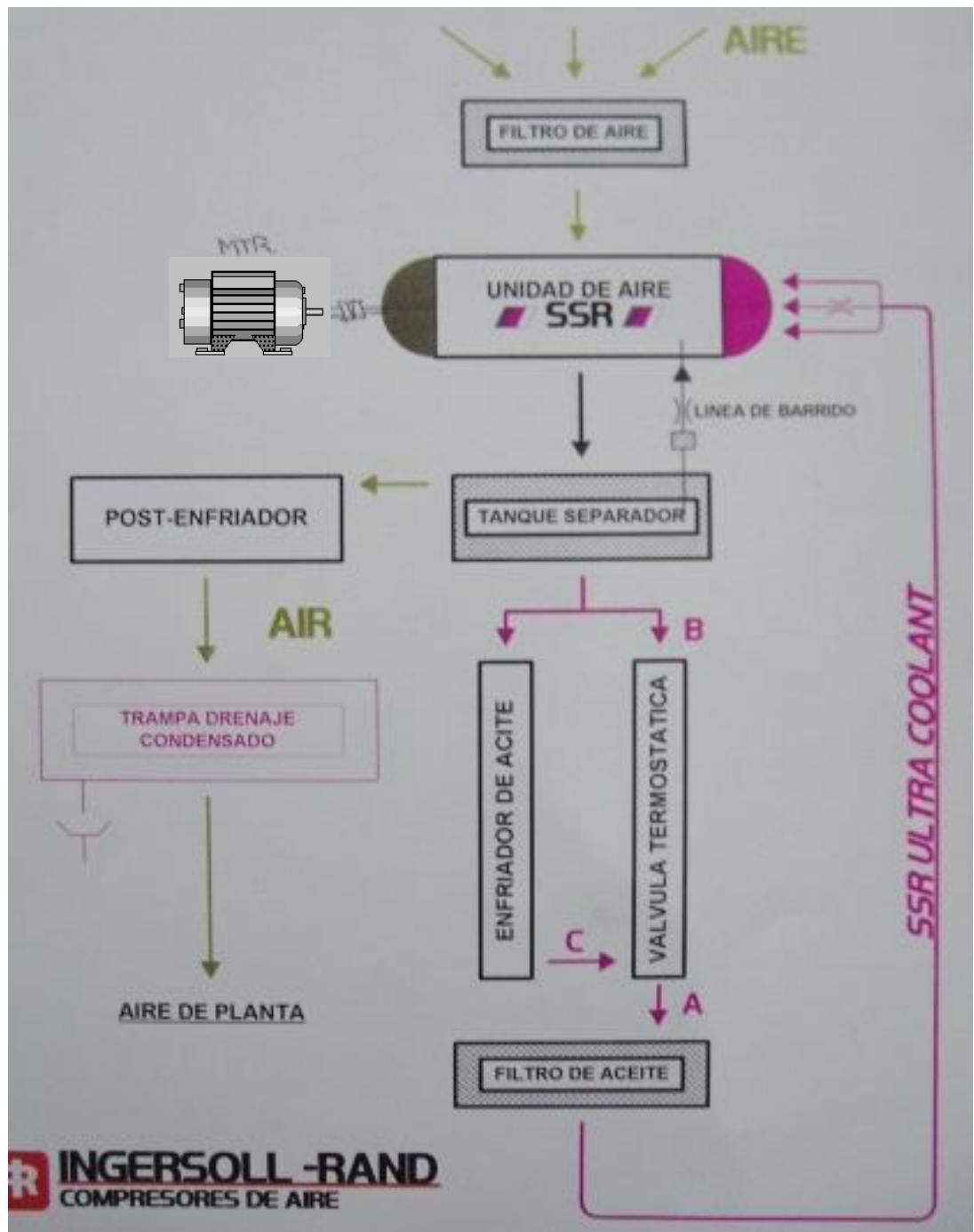


Figura 1.10: Partes de un Compresor de Tornillo SSR EP50

Filtro de aire

Este filtro de entrada logra un 99.9% de eficiencia en la limpieza del aire que ingresa al compresor, dependiendo de la calidad del aire que ingresa a la unidad en ocasiones es necesario sistemas de filtración adicionales para eliminar el exceso de impurezas.

Motor

Esta clase de compresores incorporan dos motor durables de alta eficiencia, uno para el funcionamiento del compresor y otro para el ventilador.

Los motores del SSR EP50 operan a su máxima eficiencia bajo condiciones de plena carga asegurando el máximo ahorro energético posible como se observa en la figura 1.11.

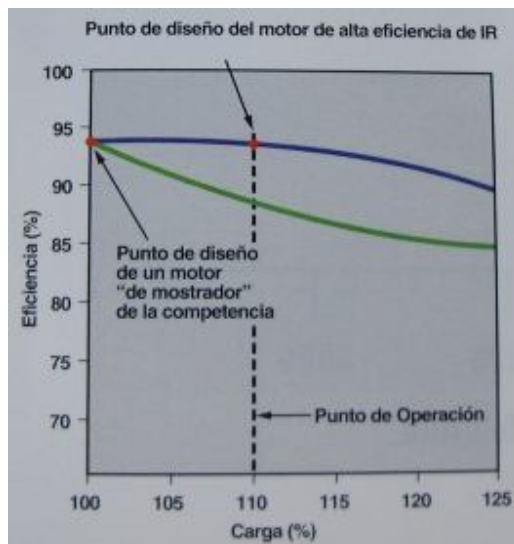


Figura 1.11: Curva del punto de diseño del motor de alta eficiencia

Los dos motores son trifásicos y cada uno cuenta con un interruptor de seguridad y un relé de sobrecarga, la corriente llega al motor del ventilador al mismo tiempo que

al motor del compresor, si se produce una sobrecarga en el circuito del motor del ventilador, ambos motores se detendrán.

Unidad de Aire

Es el lugar donde se lleva a cabo la compresión del aire, ésta unidad está formada por rodamientos dobles de rodillos cónicos como se indica en la figura 1.12 , éstos rodamientos de rodillos proporcionan contacto lineal para las cargas de empuje y aumentan de manera sustancial la vida de la unidad de aire, la unidad de aire también incorpora represas de lubricante que garantiza que los rodamientos permanezcan lubricados apropiadamente.

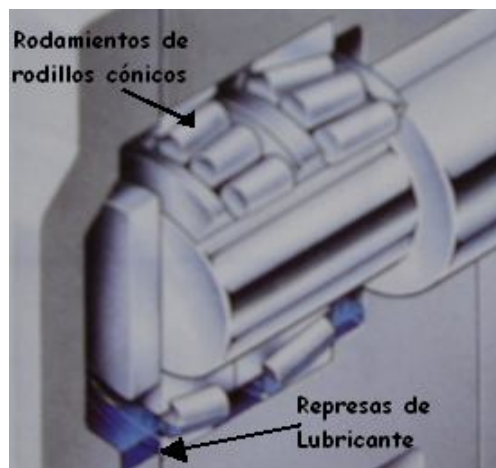


Figura 1.12: Componentes principales de la unidad de compresión de aire

Sistema de separación de aire y refrigerante

Este sistema se compone de un tanque con diseño especial en el interior, un elemento separador de dos etapas y un sistema para el retorno del fluido separado al compresor.

Funcionamiento

Del tanque separador hay dos caminos a seguir:

Separación de Aire para consumo en el proceso

La descarga de aire y refrigerante desde la unidad de aire fluye hacia el tanque a través de una descarga tangencial, ésta descarga dirige la mezcla a lo largo de la circunferencia interior del tanque, permitiendo que el flujo de refrigerante sea atrapado y conducido al sumidero del tanque.

El elemento separador está construido con dos secciones cilíndricas concéntricas, de fibras muy juntas, estando cada sección sostenida por una malla de acero; el flujo de aire entra en el elemento separador en forma radial y se forman gotas, estas gotas son atrapadas en la primera etapa exterior y caen al sumidero del tanque. Las gotas recolectadas en la segunda etapa interior, cerca de la salida del elemento, son devueltas a la entrada del compresor por un ensamble de malla-filtro y orificio instalados en la línea de barrido del separador.

El flujo de aire sin refrigerante se arrastra desde el separador hacia el postenfriador para ir salir luego al sistema de aire de la planta.

Separación del Refrigerante

El refrigerante es inducido por presión desde el sumidero del tanque separador hasta el puerto de entrada del enfriador de refrigerante y al puerto de desvío de la válvula de control termostático.

La válvula de control termostático controla la cantidad del refrigerante necesario para obtener una temperatura de inyección adecuada. Si el compresor arranca en frío, parte del refrigerante se desvía sin pasar por el enfriador. A medida que aumente la

temperatura sobre la temperatura programada en la válvula de control, el refrigerante se dirigirá al enfriador. Si el aparato se usa en ambientes de alta temperatura, todo el flujo del refrigerante será enviado al enfriador.

La temperatura mínima de inyección del compresor se controla para evitar la posibilidad de condensación del vapor de agua en el tanque receptor. Al inyectar refrigerante a temperaturas suficientemente altas, la temperatura del lubricante y del aire de descarga se mantendrá sobre el punto de condensación.

El refrigerante para controlar la temperatura pasa a través de un filtro de aceite y es dirigido a la unidad de compresión a una presión constante.

Enfriador de Refrigerante

El enfriador es un conjunto integral de serpentín, ventilador y motor, montados en el extremo de la cubierta del compresor. El aire de enfriamiento fluye por el lado izquierdo de la cubierta, a través del serpentín montado verticalmente, y se descarga hacia arriba por el extremo derecho de la cubierta.

Postenfriador

El sistema de enfriamiento del aire de descarga se compone de un intercambiador de calor, un separador de condensado y una trampa automática para drenaje de condensado.

Al enfriar el aire de descarga, se condensa y se elimina gran parte del vapor de agua naturalmente presente en el aire, evitando llegue a la tubería y al equipo.

1.3.2.1.2 Funcionamiento del Compresor de Tornillo SSR EP50

El aire entra al compresor pasando por un filtro de admisión y una válvula de admisión tipo mariposa.

La compresión en el compresor de aire de tipo tornillo es creada por el entrelazamiento de dos rotores helicoidales (macho y hembra) en ejes paralelos, encerrados en una caja resistente de hierro forjado que tiene los puertos de entrada y salida en lados opuestos como se muestra en la figura 1.13. Las ranuras del rotor hembra se enganchan y son impulsadas por el rotor macho. Los rodillos cónicos en el extremo de descarga impiden el movimiento axial de los rotores.

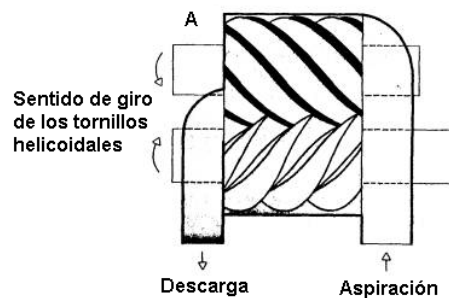


Figura 1.13: Rotores helicoidales de los compresores de tornillo SSR EP50

La mezcla de aire y refrigerante se descarga del compresor a través de una válvula check hacia el sistema de separación, este sistema, autocontenido en el tanque, sirve para retirar casi todo el PPM del enfriador del aire de descarga. El refrigerante regresa al sistema y el aire pasa por el postenfriador. El sistema de postenfriador consiste en un intercambiador de calor, un separador de condensado y una trampa de drenaje. Al enfriar el aire de descarga, gran parte del vapor normal contenido en el aire es condensado y eliminado de la tubería y el equipo de la línea de aire comprimido de la planta.

Durante la operación sin carga, la válvula de admisión tipo mariposa se cierra mediante el motor de escalonamiento y la válvula solenoide de descarga se abre, expulsando el aire comprimido de regreso a la admisión del compresor.

1.3.3 CARACTERÍSTICAS DE LOS COMPRESORES DE TORNILLO

- Los rotores giran a velocidades lentas (1300 – 2400 rpm) sobre rodamientos de bolas y rodillos, con interposición de una película de aceite que sirve para sellar el espacio de compresión y eliminar el calor que se origina durante la compresión.
- Es posible tener doble etapa haciendo un arreglo en serie de estos compresores. Ocasionalmente las dos etapas están en la misma carcasa conectadas por ductos internos.
- El sistema de control de capacidad se realizaba tradicionalmente por un sistema electro-neumático mecánico. Actualmente los compresores de tornillo están siendo controlados a través de elementos electrónicos como microprocesadores y PLC'S, con lo cual se tiene un considerable ahorro de energía.
- El sistema de control gobernado con elementos electrónicos, se logra por un transductor instalado en el equipo, el cual toma todas las señales y las convierte en electrónicas. El panel de control tiene un seleccionador donde se escoge el parámetro a chequear, el cual mediante un mensaje alfanumérico presenta el valor de operación.
- Los compresores de 1 ó 2 etapas cubren una gama de caudales comprendidos entre 150 a 4200 m³/h (2,5 a 70 m³/min.).
- Son utilizados en diversidad de aplicaciones industriales por su capacidad y por que el aire que produce no es contaminado con aceite.

1.3.4 DIMENSIONAMIENTO DE UN COMPRESOR

Para realizar el dimensionamiento de un compresor es necesario tener en cuenta la aplicación en la que será utilizado, para esto los principales parámetros a considerar son:

Caudal

Es la cantidad de aire que suministra el compresor por unidad de tiempo, se tiene dos definiciones: caudal teórico y caudal efectivo o real.

El caudal teórico es igual al producto de cilindrada por velocidad de rotación y el caudal efectivo depende de la construcción del compresor y de la presión y es éste caudal el que acciona y regula los equipos neumáticos.

El caudal se puede expresar en $ltrs/hora$, m^3/s , m^3/min o m^3/h pero generalmente en compresores se utiliza: $pies^3/min = cfm$

Donde:

$$1\ cfm = 28\ ltrs/min \quad [1.4]$$

Para dimensionar un compresor, el caudal de la red deberá ser calculado con base en la demanda, ésta es determinada dependiendo de las herramientas neumáticas que intervengan en el proceso o sistema, los datos de trabajo de dichas herramientas están especificados en los manuales de las mismas.

Presión

Se debe estimar la presión a la cual se desea trabajar para asegurar el funcionamiento óptimo del compresor.

La presión puede ser:

- De servicio que es la suministrada por el compresor o acumulador y existe en las tuberías que alimentan a los consumidores (actuadores).
- De trabajo que es la necesaria en el puesto de trabajo considerado, es decir es la presión efectiva que usa una determinada aplicación. Generalmente una red industrial de aire comprimido tiene presiones es de 600 kPa (6 bar).

La presión de servicio deber ser mayor a la presión de trabajo.

De la presión depende la velocidad, la fuerza y el desarrollo secuencial de las fases de los elementos de trabajo, por lo que es necesario que la presión tenga un valor constante.

Al dimensionar un compresor se debe tomar en cuenta las pérdidas de presión ya que los componentes de una red de aire comprimido como codos, tee's, cambios de sección, unidades de mantenimiento, y otras se oponen al flujo generando pérdidas de presión, por esta razón es indispensable garantizar que dichas pérdidas estén dentro de los límites permisibles.

Volumen

Se expresa en m³ estándar, scm (Standard cubic meter) o en pies³ estándar, scf (Standard cubic feet). Para definir el volumen de esta manera se necesita tener condiciones normales, es decir:

- Presión = 98 kPa
- Temperatura = 15.55°C o 60°F
- Humedad Relativa = 0%

Condiciones de arranque

Los compresores pueden ser accionados por motores eléctricos o por motores de combustión interna, esto depende de las exigencias de la aplicación en la que se usará aire comprimido.

1.4 SISTEMAS DE PRESIÓN CONSTANTE

Los sistemas de presión constante tienen como objetivo principal mantener la misma presión a pesar de las variaciones de la demanda, se caracterizan por ser sistemas de velocidad variable ajustables a las necesidades de la aplicación, esta característica combinada con dispositivos electrónicos de altas prestaciones permiten obtener únicamente la cantidad necesaria de aire comprimido, es decir los compresores con funcionamiento de velocidad variable, consumen energía en proporción directa a la entrega de aire como se indica en la gráfica de la figura 1.14, aquí también se puede observar que el consumo de energía aumenta de 20% a 25% si se utiliza otro tipo de controles como modulado y on-off respectivamente.

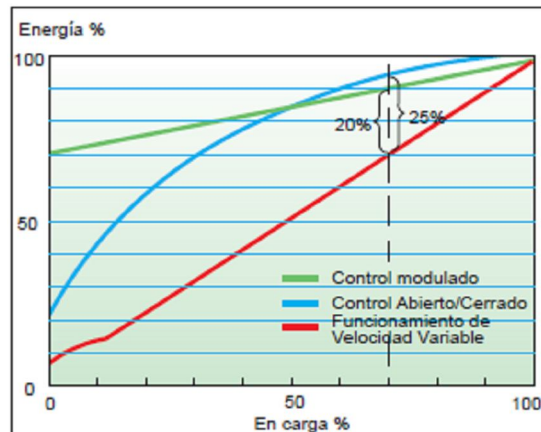


Figura 1.14: Relación entre la demanda de aire y el consumo energético

El consumo de aire comprimido en una industria variará de acuerdo a la demanda que la aplicación requiera, esto depende de muchos factores entre los que se tiene:

- Número de herramientas neumáticas o equipos de planta: A mayor cantidad, habrá mayor demanda de aire comprimido.
- Alimentaciones neumáticas existentes: Pueden ser de tipo permanente o intermitente, es decir, puede haber dispositivos que necesiten estar alimentados las 24 horas del día y otros que necesiten alimentación en determinados intervalos de tiempo.
- Horas de trabajo: Son las horas que el sistema de presión constante funciona proporcionando aire en la planta.

Tomando en cuenta estos parámetros, en un sistema normal de control, la presión de salida del compresor disminuirá a medida que aumente el flujo de aire como se muestra en la figura 1.15 (a), y con la utilización de sistemas de presión constante se logra recuperar la diferencia de presión cuando la demanda de aire es alta, obteniendo la curva de respuesta de la figura 1.15 (b).

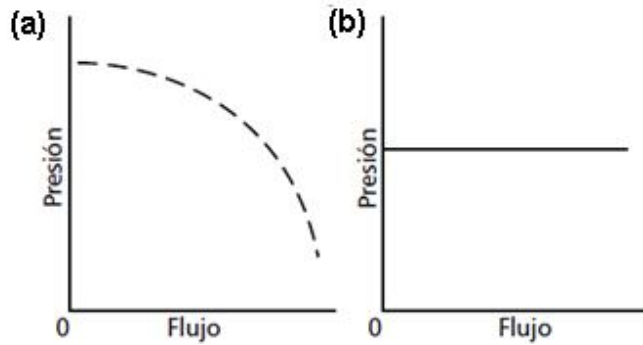


Figura 1.15: Relación demanda – presión de sistemas normales de control (a) y sistema de presión constante (b)

1.4.1 DIAGRAMA DE BLOQUES DE UN SISTEMA DE PRESIÓN CONSTANTE

En la figura 1.16 se muestra el diagrama de bloques de un sistema de control de lazo cerrado, donde el elemento de control propio para un sistema de presión constante es un PLC que emite las acciones correctivas al proceso a través de un PID, el elemento de control final es el motor del compresor, el mismo que regula la variación de la variable dinámica del proceso que en este caso es la velocidad de giro a través de un variador de frecuencia, el transductor de presión es el encargado de monitorear la presión ($c(t)$) para que pueda ser comparada con la señal de referencia ($csp(t)$) o set point y de acuerdo a esto el control propio emita las correcciones necesarias.

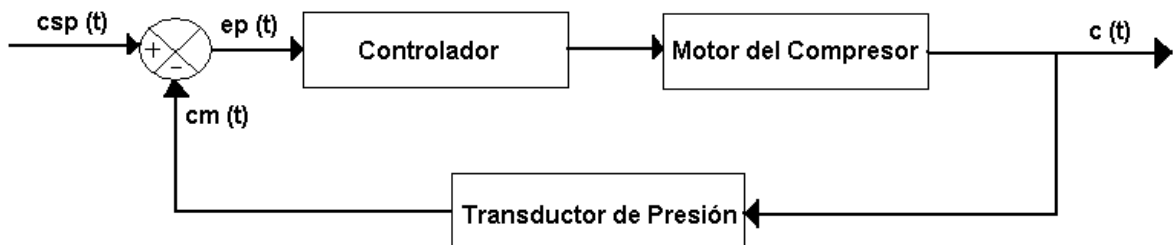


Figura 1.16: Diagrama de bloques de un sistema de control en lazo cerrado para sistemas de presión constante.

1.4.2 FUNCIONAMIENTO DE UN SISTEMA DE PRESIÓN CONSTANTE

Los sistemas de presión constante monitorean y modifican continuamente la presión de entrada del sistema en función de la salida y ajustan la velocidad del motor del compresor para satisfacer la demanda de aire, son sistemas de control en lazo cerrado debido a que la señal de salida influye en la entrada, por lo tanto son realimentados (feedback).⁴

Si la demanda de aire es baja, el sistema se mantendrá en su velocidad mínima y al aumentar la demanda, el sistema a través de su controlador acelerará de manera constante al motor aumentando el voltaje gradualmente, esto da como resultado la eliminación de picos de corriente y un funcionamiento a menor temperatura comparado a sistemas tradicionales.

En el sistema implementado el compresor SSR EP50 cuenta con su propio controlador y variador de frecuencia por lo que es necesario deshabilitar su funcionamiento normal para tener el control del proceso desde un PLC y Variador externos.

El PLC será el encargado de poner en marcha y detener el compresor de acuerdo a las órdenes enviadas por el usuario desde el panel de operador, mientras que el variador de frecuencia variará la velocidad del motor del compresor para regular la presión constante en el sistema.

El funcionamiento normal del compresor es ON/OFF ya que se basa en dos formas de operación:

⁴ La realimentación es la propiedad de un sistema en lazo cerrado por la cual la salida (o cualquier otra variable del sistema que esté controlada) se compara con la entrada del sistema (o una de sus entradas), de manera que la acción de control se establezca como una función de ambas.

1. En la forma de operación 1: el variador funciona a velocidad mínima constante y el compresor está descargando.
2. En la forma de operación 2: el variador regula una presión constante y el compresor está cargando.

El compresor con su variador de frecuencia únicamente cargará y descargará a mínima velocidad, a menos que la presión del sistema oscile fuera de la banda de presión más rápido de lo que el drive sea capaz de reaccionar. Cuando la presión del sistema aumenta sobre el set point, la válvula de descarga se abre y la válvula de entrada o admisión se cierra para descargar el compresor; por el contrario, cuando la presión del sistema cae por debajo del setpoint, la válvula de descarga o desfogue se cierra y la válvula de admisión se abra cargando el compresor.

El controlador lógico (PLC) determina la forma de operación en la cual funciona el variador para mantener la presión del sistema entre los límites permitidos.

Al manejar la operación del compresor desde un PLC y un variador externos a los que posee el compresor se logra un control modulado que permite mantener constante la presión del sistema y a su vez reduce considerablemente los gastos de energía.

Cuando el sistema de presión se eleva sobre la presión prefijada, el drive disminuirá la velocidad del motor del compresor y en consecuencia, el compresor entregará menos aire al sistema y permitirá que la presión caiga (baje). De igual manera, cuando la presión del sistema cae, el drive incrementa la velocidad del motor del compresor y el compresor entrega más aire al sistema.

1.4.3 VENTAJAS DE UN SISTEMA DE PRESIÓN CONTANTE

- Tienen un óptimo desempeño ya que evitan la sobreproducción de aire comprimido y en consecuencia el derroche de energía.
- Esta clase de sistemas cuentan con unidades compresoras eficientes en el consumo de energía y con convertidores de frecuencia que permiten el ajuste de la velocidad.
- La presión se mantiene constante independientemente de la demanda de aire.
- Produce arranques suaves lo que elimina picos de corriente y aumenta la vida útil de los compresores.
- El sistema tiene la capacidad de detenerse sin provocar alto estrés mecánico.

CAPÍTULO II

2.1 DESCRIPCIÓN DE ELEMENTOS DE INSTRUMENTACIÓN

En todo proceso industrial es indispensable controlar y mantener constantes algunas magnitudes físicas tales como temperatura, presión, nivel, flujo, desplazamiento, etc; que intervienen en dicho proceso y para este propósito es necesario el uso de ciertos instrumentos de medición y control que constituyen el medio físico para determinar el valor o la magnitud de las variables de proceso y a su vez permiten el mantenimiento y regulación de éstas en las condiciones más idóneas.

Actualmente, todo el sistema de instrumentos y dispositivos asociados permite a las industrias observar, medir, detectar, supervisar, señalar y controlar o comunicar las características de la variable física o del proceso, para esto, como se puede observar en el mapa conceptual de la figura: 2.1., los instrumentos están clasificados básicamente de dos maneras⁵:

- Por la función del Instrumento
- Por la variable del Proceso

Para el Sistema de Presión Constante desarrollado, los instrumentos fueron seleccionados de acuerdo a la variable de proceso, en este caso Presión, tomando en cuenta las características de funcionamiento y operación del compresor de tornillo Ingersoll Rand modelo SSR EP50.

⁵ RODRIGUEZ José María, "INSTRUMENTACIÓN INDUSTRIAL", 1999.

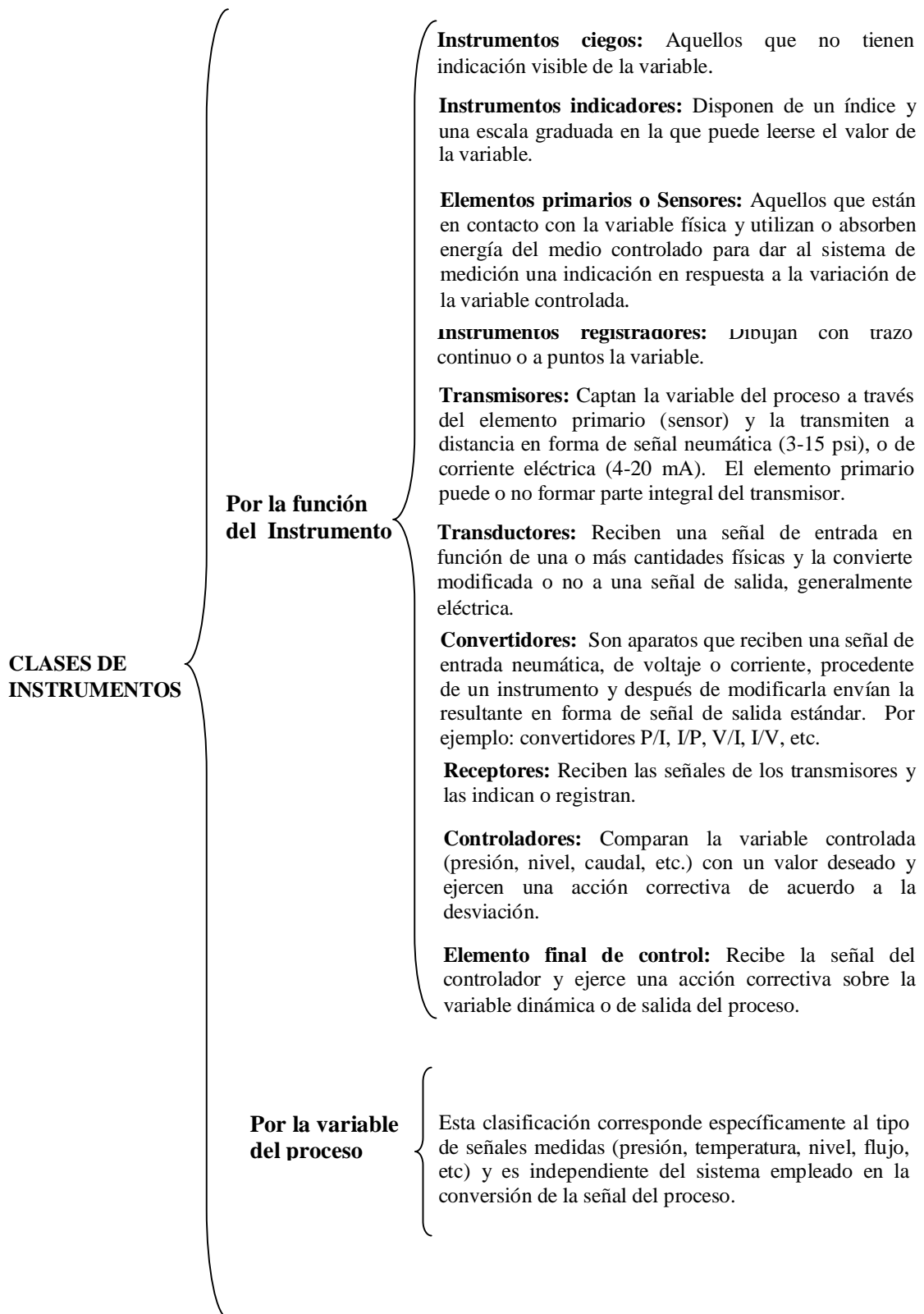


Figura 2.1: Mapa conceptual de la clasificación de los Instrumentos

2.2 TRANSDUCTOR DE PRESIÓN

Un transductor es un dispositivo que convierte una forma de energía en otra o a su vez la modifica.

Los transductores de presión reciben la señal de entrada en función de la cantidad o variable física: "presión" y la convierte modificada o no a una señal de salida generalmente eléctrica, muchos de estos transductores poseen un elemento primario (sensor) que convierte la presión en desplazamiento mecánico y se acopla a un elemento de transducción que genera una salida eléctrica como respuesta al desplazamiento.

El campo de aplicación de los transductores de presión es amplio y abarca desde valores muy bajos (vacío) hasta presiones muy elevadas (miles de bar), en la figura 2.2, se puede ver los tipos de instrumentos de presión y su campo de aplicación.

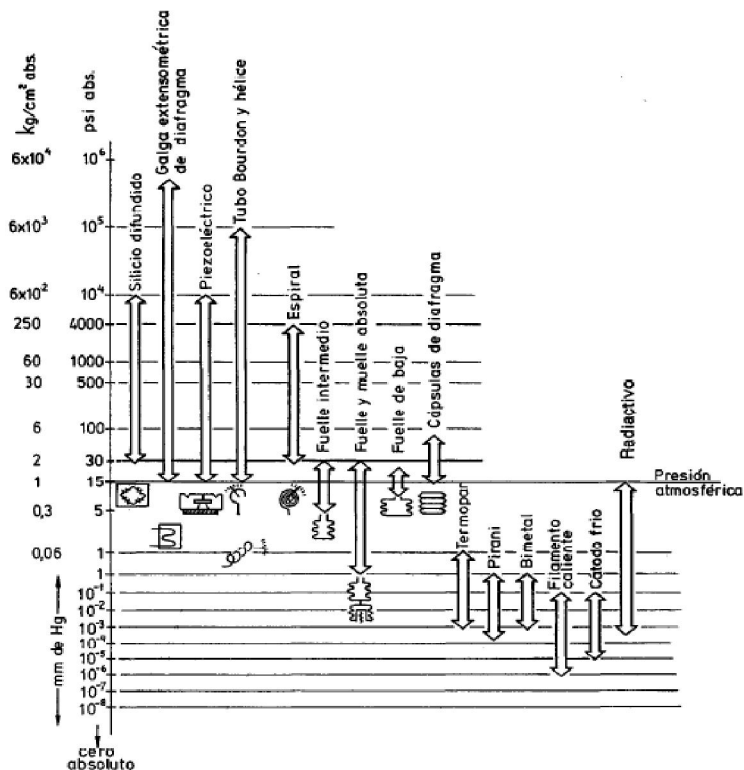


Figura 2.2: Instrumentos de Presión y campos de medición

2.2.1 TRANSMISOR DE PRESIÓN DE ESTADO SÓLIDO 836E ALLEN – BRADLEY

Los transmisores de estado sólido 836E son dispositivos que permiten medir y monitorear la presión de forma confiable, poseen una señal de salida análoga de 4 – 20 mA, son compactos, robustos e ideales para una gran variedad de aplicaciones debido a su amplio rango de operación que varía entre 0 – 6000 PSI.



Figura 2.3: Transmisor de Presión de Estado Sólido 836E

2.2.1.1. Características:

- Los transmisores 836E están basados en microprocesador que permite al instrumento realizar compensación de temperatura ambiente; no poseen partes móviles lo cual aumentan el tiempo de vida del dispositivo y reduce su desgaste.
- El rango de presión va de 0 a 150 PSI y el rango de Set point de 0.75 a 150 PSI.
- La máxima presión de trabajo es 400.5 PSI, esta presión MWP (Maximum Working Pressure) está referida a temperatura normal (20°C) y puede ser aplicada al transmisor por tiempo ilimitado.
- El límite de sobre presión OPL (Over Pressure Limit) corresponde a 1.5 veces el valor de la máxima presión de trabajo y éste valor puede ser aplicado únicamente por tiempo limitado antes de que se produzca daños en el sensor.
- El voltaje de funcionamiento va de 12 a 30 Vdc.

- La corriente de consumo es menor a 60 mA sin carga y la corriente a plena carga 250 mA.
- Estos transmisores tienen una exactitud menor al 0.5% y una repetitibilidad de 0.2% sobre el límite del rango superior de presión.
- La temperatura de operación está en el rango de -40°C a +85°C (-40°F a +185°F).
- Poseen protección IP65 por lo que puede ser utilizado bajo fuertes condiciones industriales.
- Su tiempo de respuesta varía entre 2 a 5 ms.

2.2.1.2. Principio de funcionamiento⁶

El transmisor de presión 836E está formado por un elemento de silicio situado dentro de una cámara de silicona que está en contacto directo con el proceso a través de un diafragma metálico flexible por lo tanto mide directamente la presión del fluido y no la fuerza que éste ejerce sobre el diafragma, el sensor está fabricado de un monocristal de silicio en cuyo interior se difunde boro para formar varios puentes de Wheatstone creando así una galga autocontenida, el sensor con su puente de Wheatstone incorporado forma parte del circuito de la figura 2.4.

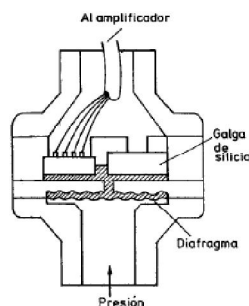


Figura 2.4: Transductor de presión de Silicio fundido

⁶ Los transmisores de presión 836E están basados en el principio de medición piezorresistivo cuya explicación se tomó de: CREUS, Antonio, "Instrumentación Industrial", Alfaomega Grupo Editor S.A. de C.V., 5ta. Edición – 1995.

Cuando no existe presión, las tensiones E_1 y E_2 del puente de Wheatstone de la figura 2.5, son iguales y al aplicar presión del proceso, R_b y R_c disminuyen su resistencia y R_a y R_d aumentan su resistencia, esto provoca caídas de tensión distintas y una diferencia entre E_1 y E_2 , esta diferencia es aplicada a un amplificador diferencial de alta ganancia que controla un regulador de corriente variable, un margen de corriente continua de 3 a 19 mA con 1 mA del puente, produce una señal de salida de 4 a 20 mA, esta corriente circula a través de la resistencia de realimentación R_{fb} y produce una caída de tensión que equilibra el puente, debido a que esta caída de tensión es proporcional a R_{fb} , ésta resistencia fija el intervalo de medida del transductor, en este caso de 0 a 150 PSI.

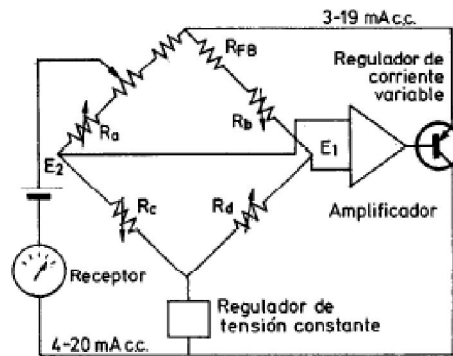


Figura 2.5: Funcionamiento del puente de Wheatstone de un transductor de presión

2.2.1.3. Instalación

El transmisor 836E debe ser instalado por encima del punto de medida, tal como se muestra en la figura 2.6.

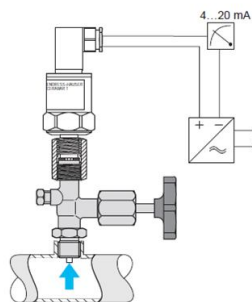


Figura 2.6: Instalación del sensor de presión 836E

2.3. CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE

Los controladores lógicos programables (PLC) son dispositivos electrónicos diseñados para controlar en tiempo real procesos industriales, estos autómatas programables fueron creados para mejorar los sistemas convencionales donde toda la lógica de control residía en complejos cableados entre diversos elementos como contactores, temporizadores, interruptores, pulsadores, entre otros y una pequeña modificación en el control exigía un cambio de cableado y por lo tanto pérdidas de tiempo y dinero.

Un PLC es capaz de realizar el control de un proceso a través de un programa, es decir, mediante una serie de instrucciones que le permiten leer señales tanto digitales como análogas, enviar órdenes de mando a contactores de motores, válvulas, frenos, lámparas de señalización, etc., almacenar señales, prefijar desarrollos temporales y conectarse a una red para enviar y recibir datos, todo el proceso de control está depositado en la memoria del controlador lo cual nos permite realizar cualquier modificación durante el proceso de trabajo y sin cambiar el cableado.

2.3.1. ESTRUCTURA DE UN CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE

Físicamente los PLC's pueden ser:

- **Compactos:** Aquellos donde todos sus componentes, CPU, memoria, fuente de alimentación, entradas y salidas, se encuentran en un solo chasis.
- **Modulares:** Estos PLC's pueden regirse a la forma americana donde la CPU, memoria y fuente de alimentación están en un solo bloque y las entradas y salidas son módulos adicionales que se los puede ir agregando de acuerdo a las necesidades del proceso; y la forma europea donde cada componente está separado.

Internamente un PLC está formado por los siguientes componentes:

- **Unidad Central de Proceso:** Es la encargada de dirigir y controlar el funcionamiento del PLC, lee las entradas, ejecuta el programa y actualiza las salidas.
- **Memoria:** Es el lugar donde reside el programa del usuario así como también los datos y las instrucciones, hay dos clases de memoria, una EEPROM que es no volátil y que almacena el programa y el sistema operativo del PLC y una memoria RAM donde se guarda temporalmente los datos generados al ejecutar un programa.
- **Sistema de Entradas:** Constituyen las conexiones para recibir señales externas que pueden ser: digitales como las provenientes de pulsadores, interruptores, finales de carrera, etc. y que varían únicamente entre dos estados ON/OFF y analógicas que son las que detectan el valor instantáneo de una variable física como presión, temperatura, nivel, etc., este valor puede ser de voltaje o corriente.
- **Sistema de Salidas:** Son conexiones que se activan en función de la lógica del programa realizado, éstas salidas pueden ser digitales o analógicas.
- **Fuente de alimentación:** Es la encargada de alimentar a todos los componentes del PLC, esta alimentación puede ser de corriente alterna (110 – 220 Vac) o continua (24 Vdc).

2.3.2. SISTEMA CompactLogix

El sistema CompactLogix está diseñado para proporcionar soluciones lógicas para aplicaciones con requerimientos de entradas y salidas, conectividad a redes y control de movimiento, es decir, usando estos controladores es posible conectar múltiples

dispositivos (I/O locales y distribuidas, variadores, panel de operador) a través de diversas redes (EtherNet/IP, ControlNet, DeviceNet, en serie) para lograr una integración máxima que permita mantener el control de un proceso.

Para la implementación del sistema de presión constante para compresores de tornillo se determinó como hardware un controlador CompactLogix L43 Versión 15 que se comunica con un variador de frecuencia y un panel de operador a través de una red Ethernet/IP como se puede observar en la figura 2.7.

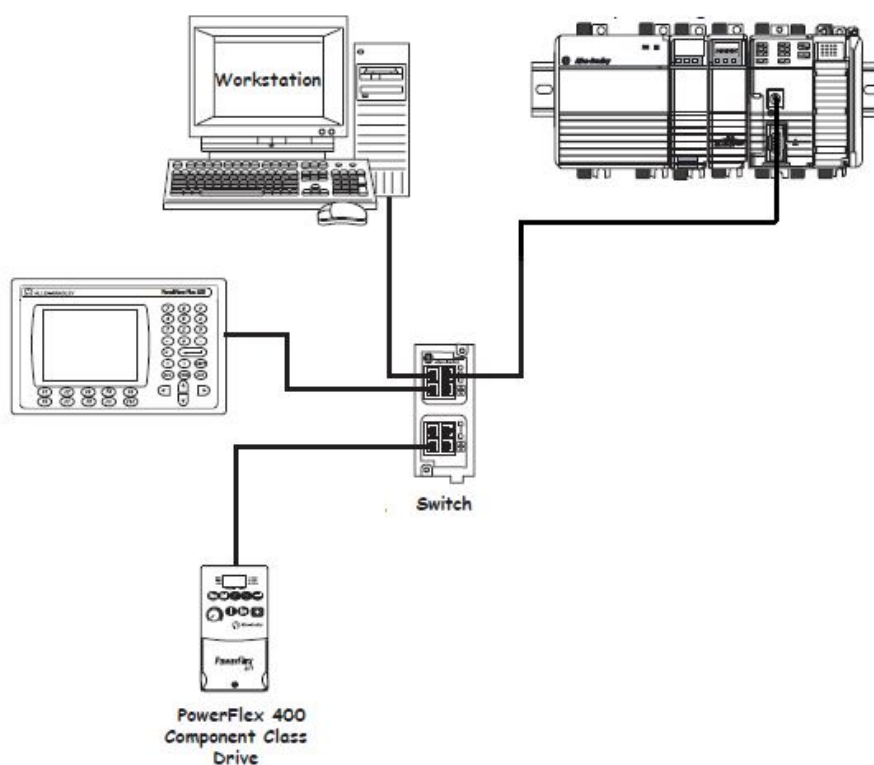


Figura 2.7: Configuración Ethernet/IP de un sistema CompactLogix

2.3.2.1. Comunicación

El CompactLogix posee algunos tipos de módulos de comunicación, los cuales pueden ser observados en la tabla 2.1.:

Módulos de Comunicación	Función
1768-ENBT	Módulo para comunicación Ethernet/IP
1768-M04SE	Módulo para control de movimiento
1768-EWEB	Módulo Web para monitoreo remoto y modificación de datos vía XML (página de internet)
1768-CNB and 1768-CNBR	Módulo para comunicación ControlNet

Tabla 2.1. Módulos de comunicación CompactLogix

2.3.2.1.1. Módulo de Comunicación EtherNet/IP 1768-ENBT

El módulo 1768-ENBT (figura 2.8) conecta diferentes dispositivos a través de una red de comunicación EtherNet permitiendo la configuración, control de aplicaciones e intercambio de datos a tiempo real entre los dispositivos I/O y los sistemas de control, software de visualización y aplicaciones industriales.



Figura 2.8. CompactLogix L43 con módulo de Comunicación EtherNet/IP 1768-ENBT

Este módulo de comunicación soporta operación half-duplex 10 MB o full-duplex 100 MB, su conexión física se realiza a través de conectores RJ45 y permite compartir aplicaciones con otras redes como ControlNet y DeviceNet.

El módulo Ethernet/IP trabaja con el Protocolo Industrial Común (CIP) sobre los protocolos de Internet estándar tal como TCP/IP (protocolo para el control del transporte) y UDP (protocolo de datagrama de usuario).

2.3.2.1.2. Protocolo de Control de Transmisión / Protocolo Internet - TCP/IP

TCP/IP es un protocolo orientado a conexión basado en 4 capas del modelo OSI como se observa en la figura 2.9.

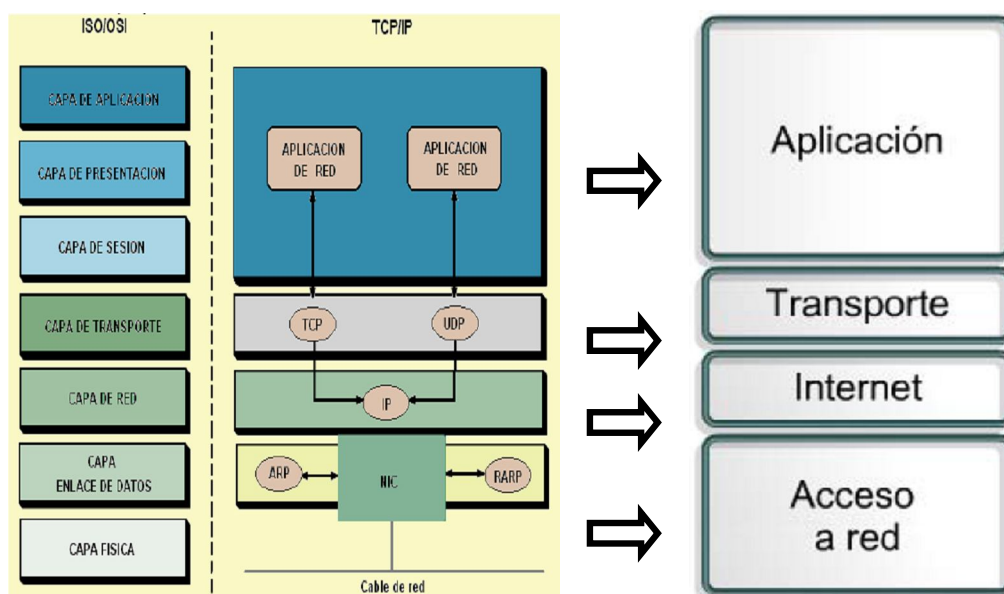


Figura 2.9. Relación modelo OSI con TCP/IP

La capa de aplicación maneja aspectos de representación, codificación y control de diálogo.

La capa de transporte se encarga de los aspectos de calidad del servicio con respecto a la confiabilidad, el control de flujo y la corrección de errores. Uno de sus protocolos, el protocolo para el control de la transmisión (TCP), ofrece maneras flexibles y de alta calidad para crear comunicaciones de red confiables, sin problemas de flujo y con un nivel de error bajo.

TCP al ser un protocolo orientado a conexión, mantiene un diálogo entre el origen y el destino mientras empaqueta la información de la capa de aplicación en unidades denominadas segmentos, los segmentos de la Capa 4 viajan de un lado a otro entre dos hosts para comprobar que la conexión exista lógicamente para un determinado período.

El propósito de la capa Internet es dividir los segmentos TCP en paquetes y enviarlos desde cualquier red. Los paquetes llegan a la red de destino independientemente de la ruta que utilizaron para llegar allí. El protocolo específico que rige esta capa se denomina Protocolo Internet (IP). En esta capa se produce la determinación de la mejor ruta y la conmutación de paquetes.

La capa de acceso de red también se conoce como capa de host a red. Esta capa guarda relación con todos los componentes, tanto físicos como lógicos, necesarios para lograr un enlace físico.

En resumen, IP es el protocolo que indica el camino a los paquetes y el protocolo TCP brinda un transporte seguro.

2.3.2.2. Módulos utilizados en la implementación del Sistema de Presión Constante

Para el sistema de presión contante implementado, el controlador posee los siguientes módulos, cuya ubicación se muestra en la figura 2.10.

- **1768 – L43:** Controlador CompactLogix. (Slot 0)
- **1768 – PA3:** Fuente de Poder de entrada dual que opera en los siguientes rangos: 86 265 Vac y de 108132 Vdc.
- **1768 – ENBT:** Módulo de comunicación Ethernet/IP. (Slot 1)
- **1768 – M04SE:** Módulo para control de movimientos. (Slot 2)
- **1769 – IQ16F:** Módulo compacto de 16 puntos de entradas surtidoras de 24 Vdc de alta velocidad. (Slot 1).
- **1769 – OB16P:** Módulo compacto de 16 puntos de salidas surtidoras de 24 Vdc con protección. (Slot 2).
- **1769-IFXOF2:** Módulo compacto combinado de 4 entradas / 2 salidas analógicas de alta velocidad con resolución de 8 bits. (Slot 3)

Los slots 1768 son numerados de derecha a izquierda, empezando con el controlador en slot 0 y los slots 1769 son numerados de izquierda a derecha, empezando también con el controlador en slot 0.

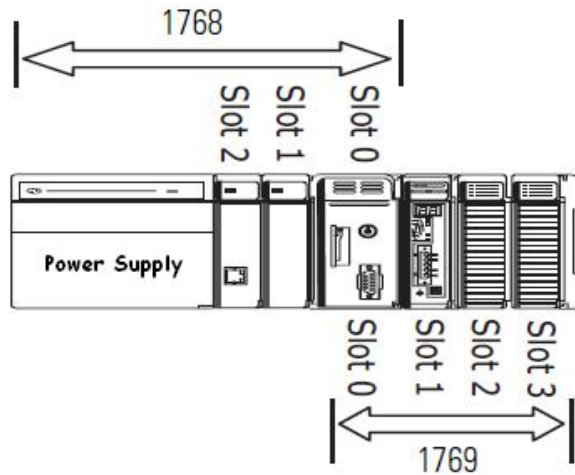


Figura 2.10: Módulos del CompactLogix L43 para un Sistema de Presión Constante

2.4. VARIADOR DE FRECUENCIA

Un variador de frecuencia VFD (Variable Frequency Drive) es un dispositivo que permite controlar la velocidad de rotación de un motor de corriente alterna a través del control de la frecuencia de alimentación suministrada al mismo.

El esquema interno de los variadores de frecuencia se muestra en la figura 2.11:

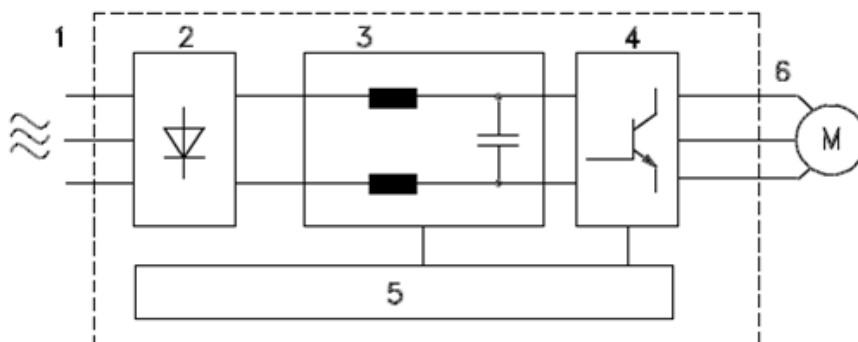


Figura 2.11: Esquema de un Variador de Frecuencia

Dónde:

1. **Alimentación:** Puede ser monofásica o trifásica.
2. **Rectificador:** Convierte la señal alterna de la red en una señal continua.
3. **Filtro:** Evita las interferencias en el circuito.
4. **Inversor:** Es el encargado de convertir la señal continua en señal alterna.
5. **Microprocesador:** Encargado de regular la frecuencia de la señal.
6. **Salida:** El voltaje de salida no es una señal senoidal, es una señal pulsante y la señal de corriente si es una señal senoidal.

2.4.1. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

Los convertidores de frecuencia rectifican la tensión de corriente alterna (CA) de la red de alimentación y la convierten en tensión de corriente continua (CC), después de lo cual dicha tensión de CC se convierte nuevamente en corriente alterna CA de amplitud y frecuencia variables, de esta manera un motor puede variar su velocidad.

La velocidad a la que gira el campo magnético de un motor síncrono está dada por la ecuación 2.1:

$$RPM = \frac{120 * f}{p} \quad [2.1]$$

Dónde:

- f = es la frecuencia de la red eléctrica, normalmente 60 Hz.
- p = es el número de polos magnéticos que aparecen en el motor cuando se le aplica energía, estos polos siempre vienen en grupos de 2 (un polo norte y un polo sur).

2.4.2. APLICACIONES

Los variadores de frecuencia por su característica son usados en muchos procesos industriales, específicamente, en sistemas de aire comprimido el variador de frecuencia mantiene una presión constante a través del ajuste de la velocidad del motor del compresor para enfrentar la demanda del aire comprimido.

Dependiendo de la aplicación y el perfil de la demanda de aire, el variador puede ahorrar energía entre 25 – 35% además, el arranque suave de este sistema reduce el ruido, aumenta el tiempo de vida de los equipos y monitorea los parámetros de energía.

2.4.3. VARIADOR DE FRECUENCIA POWERFLEX 400 – ALLEN BRADLEY

El variador de frecuencia PowerFlex 400 (Figura 2.12) está diseñado para realizar el control de velocidad en distintas aplicaciones industriales de manera flexible y fácil de usar.



Figura 2.12. PowerFlex 400 – Allen Bradley

2.4.3.1. Características

- La capacidad de funcionamiento depende de la alimentación y puede ser:
 - 7.5 - 50HP @ 240V AC
 - 7.5 - 350HP @ 480V AC

- Protección contra sobrecarga electrónica del motor 110% durante 60 segundos.
- Regulación de energía: 100 milisegundos.
- Tiempo de operación de la lógica de control: 0.5 segundos mínimo, 2 segundos típico.
- Eficiencia: 97.5% a amperaje nominal, voltaje de línea nominal.
- Frecuencia de salida: 0-320 Hz (programable).
- Posee un control PID interno
- Se puede realizar saltos de frecuencia con banda seleccionable
- Permite re-arranques automáticos después de que se ha producido una falla.
- Permite arranque en movimiento (Flying start) lo cual reduce el stress mecánico.

2.4.3.2. Interfaz con el operador

El PowerFlex 400 posee una pantalla de cristal líquido (Figura 2.13) que permite al usuario ajustar parámetros así como visualizar el estado del drive, las fallas y diagnósticos.

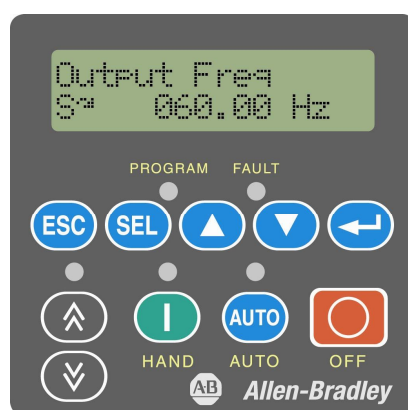


Figura 2.13: Pantalla de Cristal Líquido de un PowerFlex 400

La descripción de las teclas de operación y los leds indicadores de estado se muestran en las tablas 2.2 y 2.3 respectivamente.









Tecla	Nombre	Descripción
	Escape	Retroceder un paso en el menú de programación. Cancelar un cambio de un valor de parámetro y salir del modo de programación.
	Seleccionar	Avanzar un paso en el menú de programación. Seleccionar un dígito cuando se ve un valor de parámetro.
	Flecha hacia arriba Flecha hacia abajo	Desplazarse por los grupos y parámetros. Aumentar/disminuir el valor de un dígito parpadeante.
	Enter	Avanzar un paso en el menú de programación. Guardar un cambio a un valor de parámetro.
	Flechas de aumento y disminución de velocidad digital	Se usa para controlar la velocidad del variador. La opción predeterminada es activo. El control es activado por el parámetro P038 [Speed Reference] o P042 [Auto Mode].
	Marcha/inicio y manual ⁽¹⁾	Se usa para iniciar el variador. La opción predeterminada es el modo Hand según el control del parámetro P042 [Auto Mode]. El control es activado por el parámetro P036 [Start Source] o P042 [Auto Mode].
	Autom. ⁽¹⁾	Se usa para seleccionar el modo de control Autom. Controlado por el parámetro P042 [Auto Mode].
	Paro/desactivado	Se usa para detener el variador o borrar un fallo. Esta tecla siempre está activa. Controlado por el parámetro P037 [Stop Mode].

Tabla 2.2. Teclas de Operación






Indicador LED	Estado del indicador LED	Descripción
	Estado de programación	Rojo fijo Indica que el valor del parámetro puede cambiarse. El dígito seleccionado parpadeará.
	Estado de fallo	Rojo parpadeante Indica que el variador está en estado de fallo.
	Estado de velocidad	Verde fijo Indica que las teclas de control de velocidad digital están habilitadas.
	Estado manual	Verde fijo Indica que la tecla de marcha/inicio está habilitada.
	Estado automático	Amarillo fijo Indica que el variador está en el modo Auto.

Tabla 2.3. Leds indicadores de estado

2.4.3.3. Entradas y Salidas

El bloque de terminales de control de un PowerFlex 400 se muestra en la figura 2.14 y a continuación se describe el número de entradas y salidas que pueden ser utilizadas de acuerdo a las necesidades de la aplicación.

Entradas Digitales 24 Vdc (sink / source)

- 3 entradas semi programables
- 4 entradas totalmente programables

Entradas Analógicas

- 1 entrada aislada de -10 a 10 V o 4 – 20 mA.
- 1 entrada no aislada de 0 a 10 V o 4-20 mA.

Salida a relé

- 2 salidas con formato programable C.

Salida opto

- 1 salida programable de 30 Vcc, 50 mA no inductivo.

Salidas analógicas

- 2 salidas seleccionables a través de un DIP switch de 0-10 V o 4-20 mA .

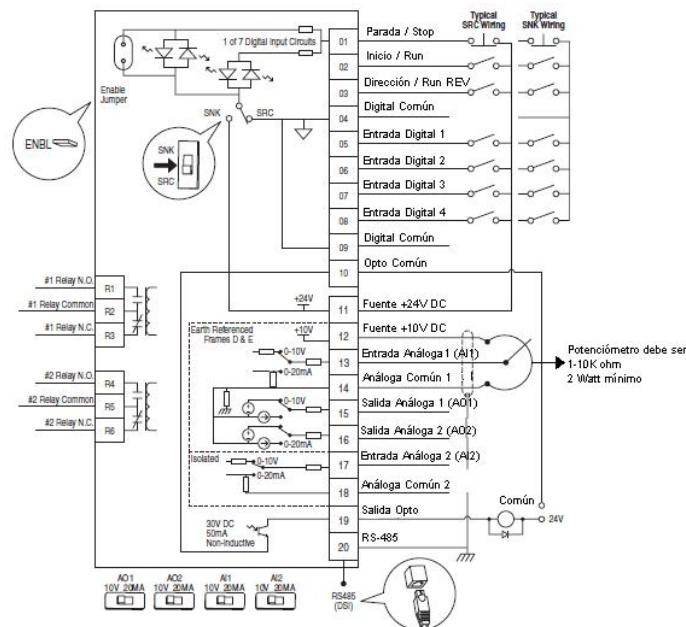


Figura 2.14: Bloque de terminales de control de un PowerFlex 400

2.4.3.4. Comunicación

El PowerFlex 400 posee una comunicación integral RS-485 versión RJ45 que se usa para realizar la programación desde un PC o en una red multi-punto, además soporta módulos de comunicación EtherNet/IP, DeviceNet y Profibus DP y tiene incluidos los protocolos Modbus RTU y Metasys N2 cuyos parámetros son seleccionables y no requieren software y hardware adicional.

2.5 PANEL DE OPERADOR

El panel de operador constituye la interfaz hombre máquina (HMI) a través de la cual se ha logrado optimizar los procesos industriales ya que permite monitorear, controlar y visualizar gráficamente la información de un proceso, brindando la posibilidad de tener el estatus en tiempo real de las variables, controlar y visualizar alarmas, crear bases de datos, generar reportes, etc..

2.5.1. PANELVIEW PLUS 700 ALLEN – BRADLEY

Los terminales PanelView plus 700 (Figura 2.15) son dispositivos HMI modulares que ofrecen las siguientes características:



Figura 2.15. PanelView Plus 700 Allen - Bradley

2.5.1.1. Componentes Modulares

El PanelView plus 700 usa componentes modulares que le dan flexibilidad en la configuración, instalación y actualización.

Unidad Básica de Configuración

Esta unidad está formada por un módulo de Display y un módulo lógico como se puede observar en la figura 2.16.



Figura 2.16: Unidad Básica de Configuración de un PanelView Plus 700

- **Display**

- + Pantalla de 6.5 pulgadas a color para visualización.

- **Módulo lógico**

En este módulo se encuentran los siguientes puertos de conexión y comunicación (Figura 2.16):

- + Alimentación DC (18 – 32 Vdc) o AC (85 – 264 Vac)

- + Puerto Ethernet

- + Puerto Serial RS-232

- + 2 puertos USB que permiten conectar teclados, mouse o impresoras.

- + Slot disponible para tarjeta CompactFlash.

Módulo de Comunicación

Los PanelView Plus 700 permiten adicionar módulos para realizar comunicación 485, DeviceNet y ControlNet, estos módulos pueden ser montados de manera muy fácil sobre el módulo lógico como se observa en la figura 2.17.



Figura 2.17: Módulos adicionales de Comunicación para PanelView Plus 700

2.5.2. FUNCIONAMIENTO

Estas unidades tienen cargado en su memoria el software Factory Talk View ME Station que permite realizar configuraciones directamente desde este terminal y cuando el PanelView es reseteado, apagado o configurado para que inicie de este modo, al empezar una aplicación se ingresa automáticamente al modo de configuración preestablecido que es el que se muestra en la figura 2.18.

Nombre de la aplicación que está cargada actualmente. Solo aparece si la aplicación está cargada.

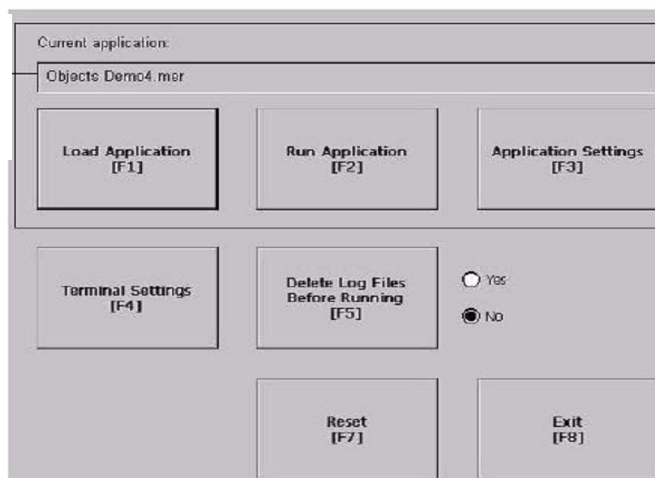


Figura 2.18: Modo de configuración Preestablecido

A través de la pantalla de configuración preestablecida (Figura 2.18) es posible cargar y correr aplicaciones grabadas por el usuario, verificar parámetros para comunicación, resetear el sistema, configurar parámetros como la dirección IP y la máscara de red cuando se va a trabajar con Ethernet, etc.

Si el usuario decide que el PanelView no inicie con la pantalla de configuración establecida por default, debe cargar la aplicación específica cuya extensión es .MER y configurar por software que al encender el PanelView aparezca directamente la pantalla configurada por el usuario como inicial.

CAPÍTULO III

DISEÑO DE SOFTWARE

Allen-Bradley proporciona una arquitectura integrada ideal para el control de procesos a través de entornos de software de programación y compatibilidad para comunicaciones a través de varias plataformas de hardware.

3.1 PROGRAMACIÓN DEL PLC

La programación desarrollada en el controlador CompacLogix L43 versión 15 utilizado en el sistema de presión constante es realizada con el paquete de software RSLogix 5000 y a través de la lógica programada se monitorea la variable de proceso que para este caso es la Presión y se controla la velocidad de giro del motor del compresor a través del variador de frecuencia PowerFlex 400; logrando de este modo que el sistema tenga una salida de presión constante reduciendo en gran medida el desperdicio de energía.

3.1.1 SOFTWARE DE PROGRAMACIÓN RSLOGIX 5000

RSLogix 5000 es un paquete de software que cumple con la normativa IEC 61131-3 que es una estandarización para autómatas programables, periféricos y lenguajes de programación, éste estándar está dividido en dos partes como se muestra en la figura 3.1.

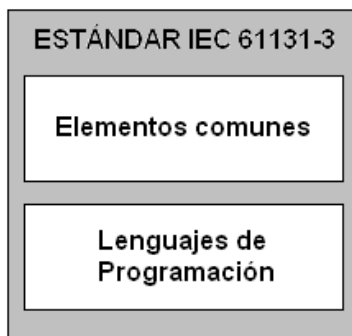


Figura 3.1. División del Estándar IEC 61131-3

Elementos comunes: Dentro de estos elementos se definen los tipos de datos, las variables y la configuración de programas que incluye rutinas y subrutinas.

Lenguajes de programación: RSLogix 5000 maneja los 4 lenguajes de programación normalizados para el desarrollo de programas de aplicación:

- Lógica de escalera de relés o diagrama Ladder: Es una programación basada en operaciones de contactos normalmente abiertos o cerrados que controlan una salida, es decir, es la presentación gráfica del cableado. Este lenguaje de programación es utilizado para desarrollar el control del sistema de presión constante para compresores de tornillo.
- Texto estructurado: Es un lenguaje de alto nivel que puede ser utilizado para codificar instrucciones complejas e instrucciones anidadas.
- Diagramas de bloques de funciones: Está basado en el álgebra de Boole cuya programación se representa con compuertas lógicas representadas con símbolos normalizados.
- Diagramas de funciones secuenciales o lista de instrucciones: Es el modelo del lenguaje ensamblador donde las instrucciones son enlistadas para que el controlador las vaya desarrollando.

3.1.1.1 Requisitos mínimos para la instalación del software RSLogix 5000

Los requisitos mínimos para la instalación de RSLogix 5000 se muestran en la tabla 3.1.:

Descripción	Valor
-------------	-------

Computadora personal	Mínimo Pentium II de 450 MHz Recomendable: Pentium III de 733 MHz o superior.
Sistemas operativos compatibles	<ul style="list-style-type: none"> • Microsoft Windows XP Profesional version 2002 con service pack 1 o XP Home version 2002. • Microsoft Windows 2000 Profesional con service pack 1, 2 o 3. • Microsoft Windows NT version 4.0 con service pack 5 o 6A.
RAM	Mínimo 128 Mbytes de RAM Recomendable: 256 Mbytes de RAM
Disco Duro	1.3 Gbytes de espacio libre en disco duro
Requisitos de video	Adaptador de gráficos VGA de 256 colores Resolución de 800 x 600 mínimo (Se recomienda color verdadero: 1024 x 768)

Tabla 3.1. Requisitos mínimos para la instalación de RSLogix 5000

3.1.2 ANÁLISIS DE RUTINAS

La programación del sistema de presión constante desarrollado está dividida de la siguiente manera:

- Programa principal o main routine

Aquí se encuentran los accesos a las subrutinas: INICIO, PID, MANTENIMIENTO y ALARMAS; para esto se utilizó la instrucción Jump to Subroutine (JSR) que es la que permite ejecutar las subrutinas programadas.

- Subrutina 1- INICIO

Se comienza encerrando todos los registros internos para asegurar que no se presenten problemas con valores anteriores.

Esta rutina controla el encendido del compresor para lo cual se incluyó un temporizador fijado con el tiempo que se demora el compresor en verificar que todos sus sistemas internos⁷, la instrumentación y demás partes del mismo

⁷ El compresor de tornillo SSR EP50 está compuesto internamente por los siguientes sistemas: sistema de separación, sistema de refrigerante, sistema de control de capacidad, sistema de control de arranque de motores, sistema eléctrico.

funcionen correctamente; en caso de presentar alguna falla, el compresor no arrancará y presentará alarmas o advertencias que una vez superadas permitirán el correcto funcionamiento de la unidad.

Cuando el tiempo de verificación ha concluido, se activa la habilitación para que funcione el variador de frecuencia y simultáneamente el compresor arranca en modo de descarga con la válvula de admisión casi cerrada y la válvula solenoide de descarga abierta, este modo de operación se realiza a potencia mínima y por unos pocos segundos después de los cuales la válvula de admisión se abre y el compresor empieza a cargarse hasta llegar al punto de Set Point previamente establecido por el usuario.

La subrutina INICIO contiene los permisivos PSH (High Pressure Switch), VSH (High Vibration Switch) y ESD (Emergency Shutdown) que apagarán el sistema cuando se presente alta presión, vibración en el motor o paro de emergencia respectivamente, además desde aquí se maneja los indicadores luminosos que le indican al usuario el funcionamiento correcto del sistema o fallas.

- Subrutina 2 - PID

En esta subrutina se ejecuta el control PID de la variable de proceso, para lo cual se monitorea la presión del sistema a través del canal 0 del módulo de entradas análogas 1769-IF4XOF2, a este valor se lo escala de 0 a 200 PSI⁸ utilizando la instrucción Compute (CPT) la cual permite realizar operaciones aritméticas.

El algoritmo de conversión de un valor no escalado a un valor escalado es el siguiente:

$$Out = (In - InRawMin) \times \left(\frac{InEUMax - InEUMin}{InRawMax - InRawMin} + InEUMin \right) \quad [3.1]$$

Donde:

⁸ Rango de medición del transmisor de presión de estado sólido 836E Allen – Bradley.

- *In*: Señal de entrada análoga
- *InRawMin*: Mínimo valor accesible a la entrada
- *InRawMax*: Máximo valor accesible a la entrada
- *InEUMax*: Valor máximo escalado correspondiente a la *InRawMax*.
- *InEUMin*: Valor mínimo escalado correspondiente a la *InRawMin*.

Un controlador PID es la combinación de los controladores proporcional, integral y derivativo donde cada uno tiene un efecto sobre el control, el controlador proporcional (K_p) tendrá el efecto de reducir el tiempo de crecimiento y reducirá (pero no elimina) el error de estado estable. El control integral (K_i) elimina el error de estado estable, pero sin embargo podría empeorar la respuesta transitoria y el control derivativo (K_d) aumenta la estabilidad del sistema al disminuir el sobre pico, mejorando la respuesta transitoria.

Los efectos de cada uno de los controladores K_p , K_d , y K_i en un sistema de lazo cerrado están resumidos en la tabla 3.2:

Controlador	T. Crecimiento	Sobrepico	T. Establecimiento	Error Estado Estable
K_p	Disminuye	Aumenta	Poco cambio	Disminuye
K_i	Disminuye	Aumenta	Aumenta	Elimina
K_d	Poco cambio	Disminuye	Disminuye	Poco cambio

Tabla 3.2. Efectos de cada controlador en un sistema de lazo cerrado

- Subrutina 3 – ALARMAS

En esta subrutina se realiza la comparación del valor monitoreado de presión (canal 0 - módulo de entradas análogas 1769-IF4XOF2) con el rango de funcionamiento del compresor, si el valor leído está dentro de los límites de

trabajo del compresor, el sistema operará normalmente controlando la velocidad del motor del compresor y de este modo el caudal de aire entregado al sistema de acuerdo a la demanda de aire.

Este sistema de presión constante cuenta con alarmas de muy alta presión (HHPA), alta presión (HPA), baja presión (LPA) y muy baja presión (LLPA), las mismas que pueden ser fijadas únicamente por el Supervisor a través del panel de operador.

- Subrutina 4 – MANTENIMIENTO

El Sistema cuenta con un programa de mantenimiento preventivo para mantener el compresor en óptimas condiciones de funcionamiento, está diseñado de acuerdo a las recomendaciones del fabricante del equipo para ser realizado semanalmente o después de un determinado número de horas de trabajo.

Las partes internas del compresor que se incluyen en el mantenimiento preventivo son aquellas que por la función que cumplen son más propensas a desgastes y suciedad (pelusas, etc.) como es el caso de los filtros tanto de aire como de refrigerante. Los sensores internos de presión y temperatura también deben ser revisados periódicamente para asegurar el buen desempeño del compresor.

Para esta subrutina se utiliza la instrucción RTO (Retentive Timer On) que es un cronómetro (“timer”) retentivo que acumula el tiempo transcurrido mientras está habilitada, para esto realiza una resta entre el tiempo actual y el último tiempo registrado.

$$ACC = ACC + (tiempo_actual - \acute{u}ltimo_tiempo_registrado) \quad [3.2]$$

La base de tiempo para las instrucciones de conteo es siempre 1 mseg, en consecuencia 1 hora = 3600000 mseg.

Para que el mantenimiento sea realizado en el tiempo recomendado, se utiliza también la instrucción CTU (Count Up) a través del cual se cuenta el número de horas de trabajo transcurrido y cuando se alcanza el valor fijado, en el panel de operador aparece un mensaje donde se indica qué parte del compresor debe ser revisada o cambiada.

Para el compresor SSR EP50, el programa de mantenimiento preventivo incluye las tareas a realizarse en el número de horas de trabajo indicadas en la tabla 3.3.

TAREA	PARTE	Nº. HORAS
INSPECCIONAR	ELEMENTO SEPARADOR DIFERENCIAL	150
INSPECCIONAR	FILTRO DE AIRE, DELTA P	150
INSPECCIONAR	FILTRO DE ACEITE, DELTA P	150
CAMBIAR	FILTRO DE REFRIGERANTE	150
REVISAR	SENSORES DE TEMPERATURA	1000
REVISAR	SENSORES DE PRESIÓN	1000
CAMBIAR	FILTRO DE AIRE	4000
CAMBIAR	REFRIGERANTE ULTRA	8000

Tabla 3.3. Programa de mantenimiento preventivo

3.2. COMUNICACIÓN ETHERNET

El protocolo de red industrial Ethernet (EtherNet/IP) es un estándar para la interconexión en redes abiertas cuyo principal objetivo es lograr una integración total desde la planta hasta la administración gerencial, ésta red utiliza el Protocolo Industrial Común (CIP) por lo que habla el mismo lenguaje y comparte un conjunto universal de servicios de comunicación con otras redes abiertas como DeviceNet y ControlNet.

Ethernet/IP admite tanto la transmisión de mensajes en tiempo real de entradas y salidas (E/S) como el intercambio de mensajes, es decir, la red EtherNet/IP proporciona un excelente rendimiento en el control de E/S y de variadores de frecuencia junto con procesamiento de información de HMI.

3.2.1 SOFTWARE RSLinx

El software RSLinx es un servidor de comunicación completo que proporciona conectividad a los dispositivos del sistema para las aplicaciones de software realizada en RSLogix 5000, además, se proporcionan varias interfaces abiertas para diferentes productos de otros fabricantes como HMI, paquetes de recolección y análisis de datos, y software cliente aplicación diseñado a medida. El software RSLinx permite que varias aplicaciones de software se comuniquen simultáneamente con una serie de dispositivos en muchas redes diferentes.

3.2.1.1 Requisitos mínimos para la instalación del software RSLinx

Para utilizar este software se debe tomar en cuenta los requisitos mínimos de instalación indicados en la tabla 3.4:

Descripción	Valor
Computadora personal	Procesador Pentium 100 MHz (Los procesadores más rápidos mejoran el rendimiento)
Sistemas operativos compatibles	Sistemas operativos compatibles: <ul style="list-style-type: none">• Microsoft Windows XP• Microsoft Windows 98 Y 2000• Microsoft Windows NT version 4.0 con service pack 3 o posterior.• Microsoft Windows ME
RAM	32 Mbytes de RAM mínimo. Recomendable: 64 Mbytes o más de RAM
Disco Duro	35 Mbytes de espacio libre en disco duro
Requisitos de video	Pantalla de gráficos VGA de 16 colores Resolución de 800 x 600 o mayor

Tabla 3.4. Requisitos mínimos para la instalación de RSLinx

3.2.2 CONFIGURACIÓN DE COMUNICACIÓN

Para enlazar el PLC CompactLogix con el software de programación RSLogix 5000 y el Panel de operador con el software de programación Factory Talk es necesario configurar la red Ethernet/IP a través de la cual se realizará la comunicación.

Primero se debe establecer la dirección IP de la computadora, para lo cual se ingresa a Propiedades de Conexión de Área Local y en la ficha general se selecciona Protocolo Internet (TCP/IP), se ingresa a Propiedades y aquí se establece la dirección IP y la máscara de subred, tal como se muestra en la figura 3.2.

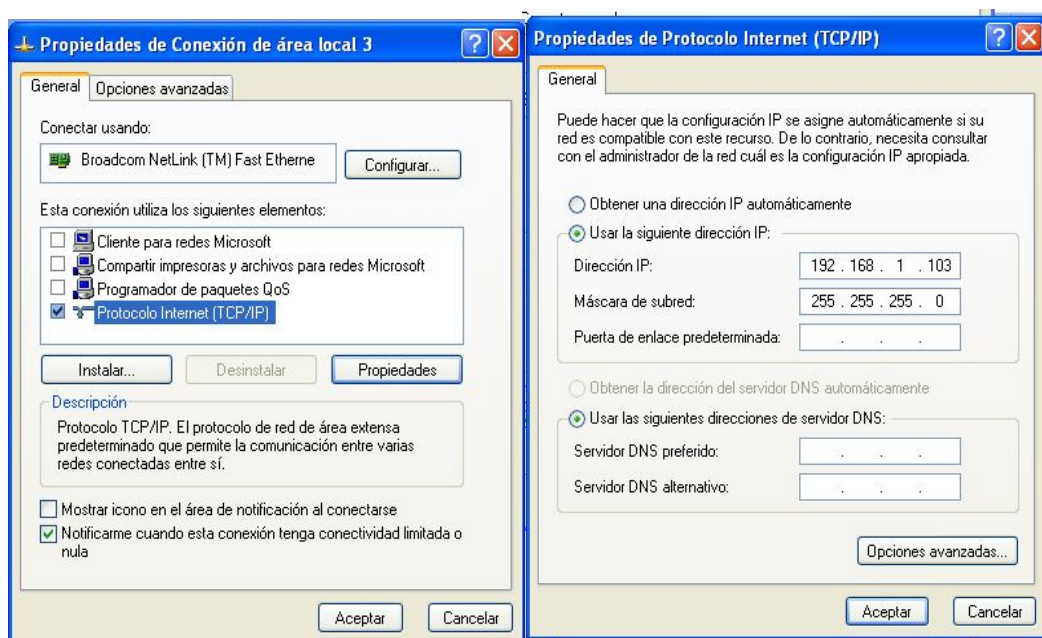


Figura 3.2. Propiedades de Conexión de área local

Luego se configura tanto el PLC CompactLogix como el Panel View a través de RSLinx, para esto se ingresa al software RSLinx y en la opción **Configure Drivers** se escoge **Ethernet/IP Driver** tal como se indica en la figura 3.3.

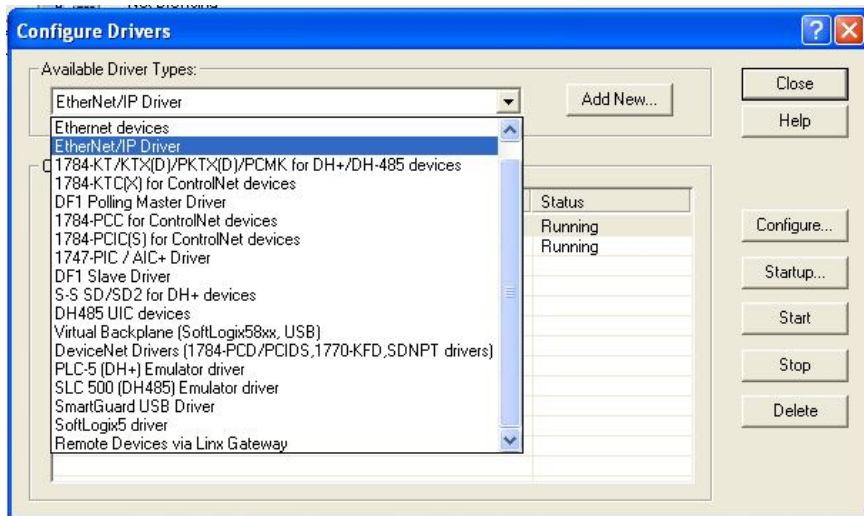


Figura 3.3. Configuración de dispositivos Ethernet/IP en RSLinx

Una vez seleccionada la interfaz de comunicación, en este caso Ethernet/IP, se selecciona la opción **Add New** donde se le da un nombre al driver que se está integrando a la red tal como se muestra en la figura 3.4.

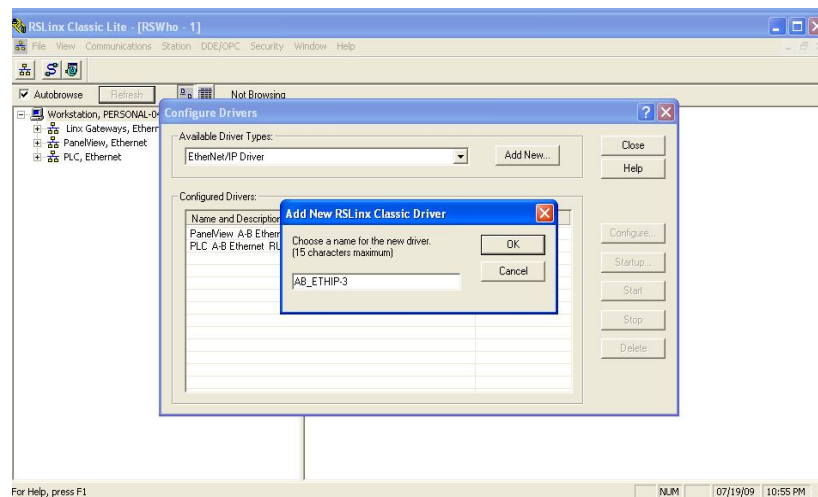


Figura 3.4. Ingreso del nombre del driver de comunicación para la red Ethernet

Luego de que el dispositivo ha sido creado se configura la dirección IP del mismo (figura 3.5).

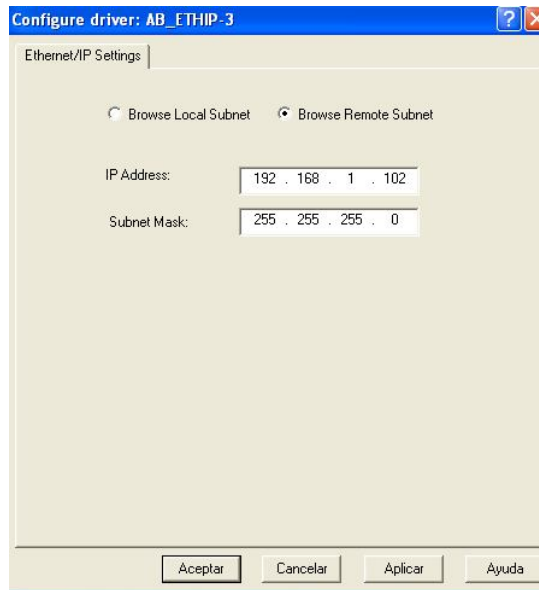


Figura 3.5. Configuración de dirección IP y máscara de Subred de los drivers creados

Para el sistema de presión constante se configuró tres dispositivos: PLC, Panel View y Variador de frecuencia, para estos la dirección IP debe coincidir en sus primeros 3 segmentos con la dirección IP de la PC para que puedan comunicarse, en la tabla 3.5 se puede observar las direcciones IP utilizadas.

Dispositivo	Dirección IP	Máscara de Subred
PC	192.168.20.10	255.255.255.0
PLC	192.168.20.3	255.255.255.0
Panel View	192.168.20.2	255.255.255.0
Variador de Frecuencia	192.168.20.4	255.255.255.0

Tabla 3.5. Direcciones IP y máscara de subred utilizadas para la comunicación Ethernet/IP

Una vez configurados el PLC, el Panel View y el Variador, se verifica que éstos estén en red, para esto en RSLinx se ingresa a RSWho a través del ícono de la figura 3.6.

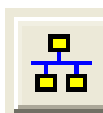


Figura 3.6. Ícono para ingresar a RSWho

RWho es la interfaz de búsqueda de red que permite visualizar todos los drivers configurados en la red y su estatus, tal como se observa en la figura 3.7, si el dispositivo que aparece como ícono en la ventana derecha está tachado con una X roja significa que existe un error de comunicación, esto puede ser porque se perdió la alimentación del dispositivo o se desconectó el cable de comunicación.

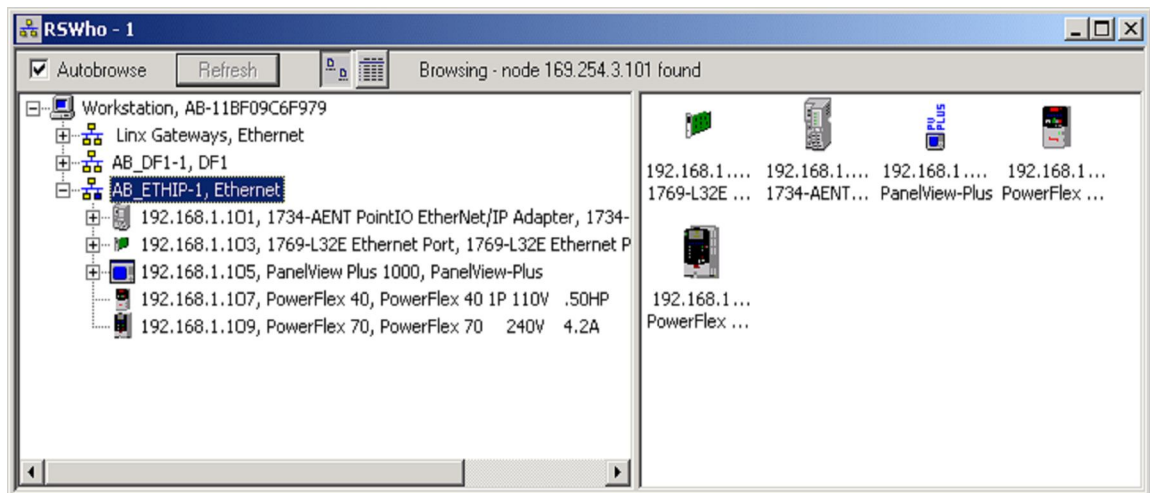


Figura 3.7. Visualización de drivers integrados en la red Ethernet

Una vez que todos los dispositivos configurados son visualizados en el RSLinx está asegurada la comunicación Ethernet/IP.

3.3 HMI EN PANEL DE OPERADOR

La interfaz hombre máquina del sistema de presión constante para compresores de tornillo se desarrolló en el Software Factory Talk View Studio y la comunicación se realiza a través de la red Ethernet/IP.

3.3.1 DESCRIPCIÓN SOFTWARE FACTORYTALK VIEW STUDIO

FactoryTalk View Studio es un software diseñado para monitorear y controlar aplicaciones a nivel de máquina en tiempo real, utiliza como sistema operativo

Microsoft Windows y permite correr las aplicaciones creadas en computadoras personales, servidores y terminales PanelView Plus.

Este software contiene las herramientas necesarias para el diseño y creación de interfaces gráficas o HMI (Human Machine Interface) en las que se incluye animaciones en tiempo real, históricos, reporte de alarmas, seguridades y otras ventajas que permiten mantener el control de la planta e integrar el proceso a la parte administrativa.

FactoryTalk maneja una arquitectura integrada y flexible lo que le permite la comunicación tanto con PLC's Allen – Bradley como con otros PLC's a través de drivers que están incluidos en el sistema, además también cuenta con comunicación OPC, esta característica hace posible optimizar la producción, reducir costos y responder más rápido al cliente y a las demandas del mercado.

3.3.2 INTERFAZ HOMBRE MÁQUINA EN PANEL VIEW PLUS 700

Para visualizar y monitorear el sistema de presión constante implementado, el HMI consta de las siguientes pantallas:

Pantalla de Acceso

Esta pantalla arranca automáticamente al encender el Panel View y es de libre acceso, en ella se muestra la fecha, hora, el título del proyecto, el logo de la empresa, el menú para navegar dentro de la aplicación y los botones de log in y log out, inicio y finalización de sesión respectivamente. (Figura 3.8)

Para tener acceso al menú, es necesario ingresar el usuario y contraseña lo cual aparece al presionar el botón **log in** como se muestra en la figura 3.9, en el teclado que aparece se debe tomar en cuenta las letras mayúsculas y minúsculas, una vez

que se ha iniciado sesión, en la pantalla se mostrará el usuario elegido y se accede a los privilegios permitidos.



Figura 3.8. Pantalla de Acceso

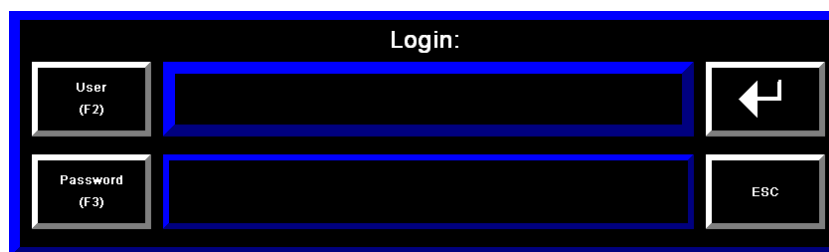


Figura 3.9. Inicio de sesión: ingreso de usuario y contraseña

Pantalla de Proceso

En esta pantalla se encuentran los botones que permiten encender y apagar el sistema, aquí también se encuentra el botón de paro de emergencia e indicadores luminosos de los permisivos PSH (High Pressure Switch) y VSH (High Vibration Switch). (Figura 3.10)

Cuando el sistema ha sido encendido, en el panel del compresor se observará “**verificando**”, esto aparecerá mientras el compresor confirma que todos sus sistemas internos estén funcionando bien, una vez que termina esta verificación aparecerá en el panel “**encendido**” y el compresor empezará a funcionar, si ocurre una falla en el compresor, el sistema no arrancará y en el panel del compresor aparecerá “**falla**”.

Aquí se puede observar el valor de la variable de proceso, es decir el valor sentido por el PIT así como la velocidad de giro del motor.

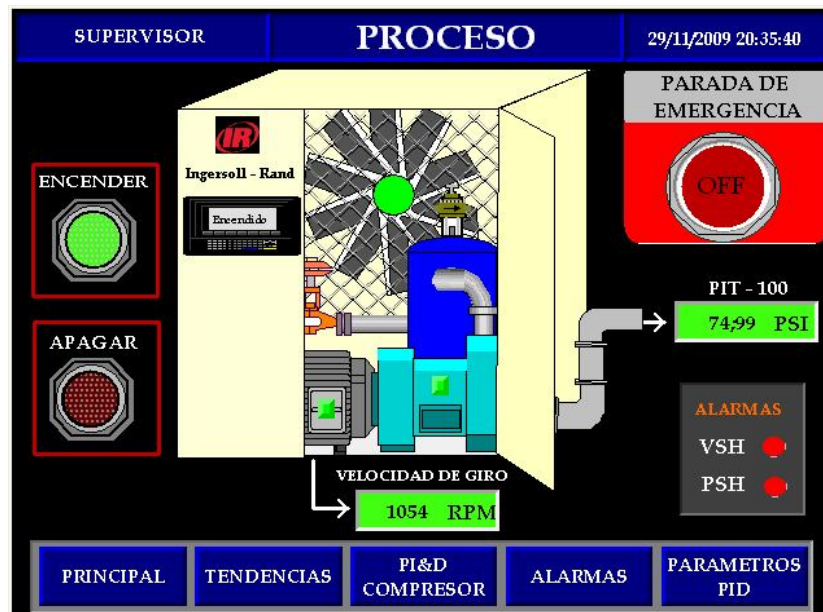


Figura 3.10. Pantalla de Proceso

Pantalla de Parámetros PID

Desde esta pantalla se establece el valor del Set Point requerido y se visualiza el comportamiento del sistema a través del Process Value o variable de proceso que es la presión y el Control Value o variable de control que indica la respuesta del sistema, en este caso la velocidad de giro del motor en porcentaje; adicionalmente

desde aquí se puede observar y configurar los valores para las alarmas. (Figura 3.11).

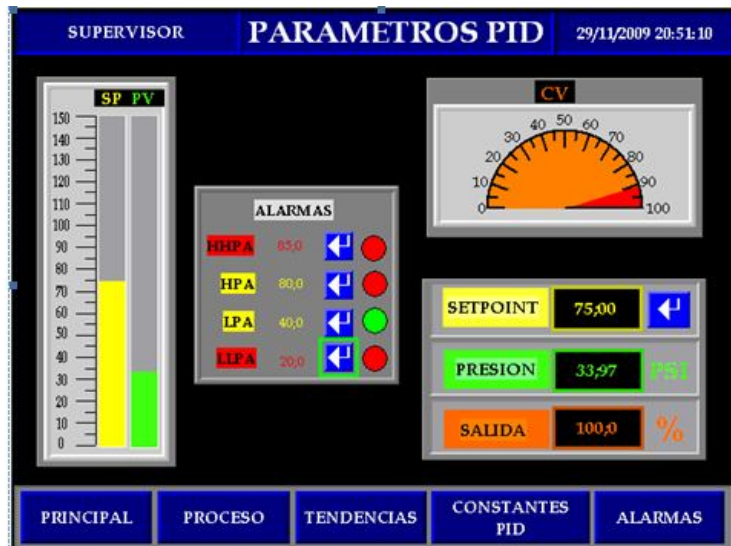


Figura 3.11. Pantalla de parámetros

Pantalla de Tendencias

Esta pantalla está formada por un real time trend (gráfico de tendencia en tiempo real) donde se puede visualizar el comportamiento del sistema controlado por el PID, existen tres variables que se están monitoreando: Set Point (SP), Process Value (PV) y Control Value (CV), cada una de las cuales está identificada por un color. (Figura 3.12).



Figura 3.12. Pantalla que presenta el comportamiento del control PID

Pantalla de Constantes PID

La pantalla CONSTANTES (Figura 3.13a) sirve para sintonizar el control PID ya que desde aquí se puede fijar las constantes KD, KI y KP al presionar el enter que se encuentra al lado de cada constante, aparecerá un teclado numérico (Figura 3.13b) a través del cual se ingresa los valores para dichas constantes.

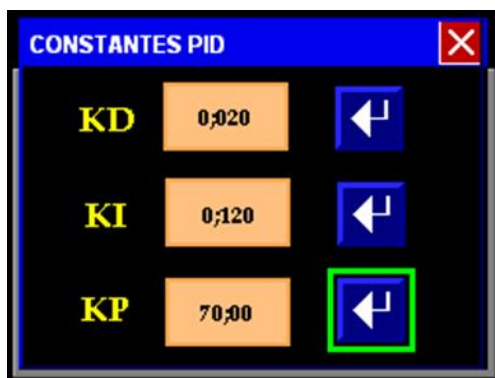


Figura 3.13a. Pantalla de constantes PID

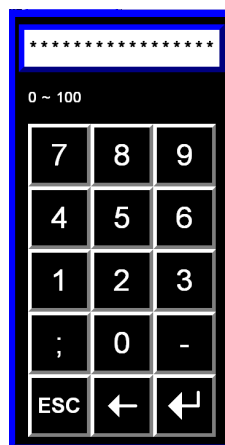


Figura 3.13b. Teclado numérico

Pantalla P&ID COMPRESOR

En esta pantalla se puede observar todos los elementos que forman parte del compresor así como las conexiones eléctricas y neumáticas de mismo. Cuando el sistema está funcionando todos los elementos están identificados con el color verde y cuando el sistema está apagado con color rojo.

A través de esta pantalla se presenta el programa de mantenimiento recomendado, para lo cual, una vez que ha transcurrido el tiempo establecido para el cambio o verificación de algún elemento interno, éste cambia a color amarillo y en la parte inferior derecha de la pantalla aparece un mensaje indicando cuál es la acción a realizarse. (Figura 3.14).

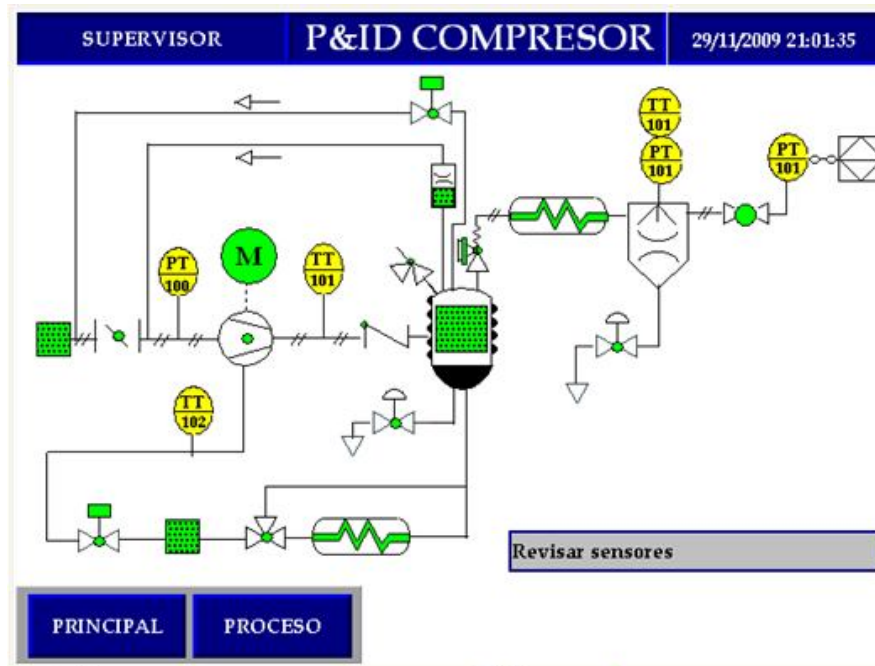


Figura 3.14. Pantalla de Históricos

Pantalla de Diagnóstico

Es una ventana emergente que aparece cada vez que se presenta un problema en el sistema como fallas de conexión y contraseñas o usuarios incorrectos. Cuenta con botones que permiten revisar todos los mensajes que se han generado, limpiar la pantalla y cerrar esta ventana. (Figura 3.15).

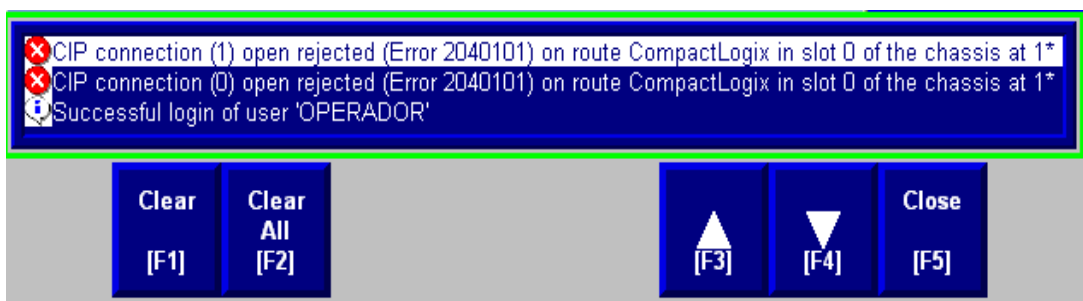
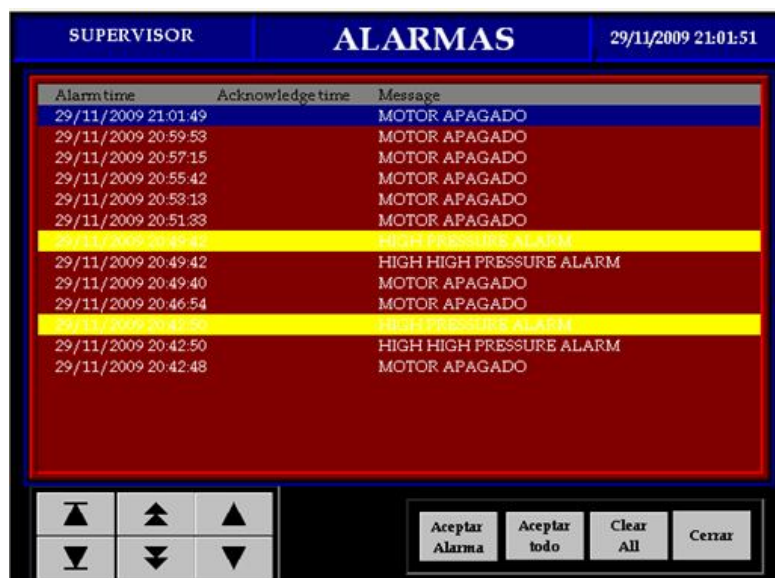


Figura 3.15. Pantalla emergente de Diagnóstico

Pantalla de Alarmas

Aquí aparecen todas las alarmas que producen paro del sistema como son alarma de muy alta presión, alarma de vibración, paro de emergencia, así como también aparecen las alarmas que no producen paro del sistema pero que si deben ser verificadas, como por ejemplo alarmas de alta y baja presión, figura 3.16.



Alarmtime	Acknowledge time	Message
29/11/2009 21:01:49		MOTOR APAGADO
29/11/2009 20:59:53		MOTOR APAGADO
29/11/2009 20:57:15		MOTOR APAGADO
29/11/2009 20:55:42		MOTOR APAGADO
29/11/2009 20:53:13		MOTOR APAGADO
29/11/2009 20:51:33		MOTOR APAGADO
29/11/2009 20:49:42		HIGH PRESSURE ALARM
29/11/2009 20:49:42		HIGH HIGH PRESSURE ALARM
29/11/2009 20:49:40		MOTOR APAGADO
29/11/2009 20:46:54		MOTOR APAGADO
29/11/2009 20:45:38		HIGH PRESSURE ALARM
29/11/2009 20:42:50		HIGH HIGH PRESSURE ALARM
29/11/2009 20:42:48		MOTOR APAGADO

Figura 3.16. Pantalla de Alarmas

Pantalla de Configuración

Desde la pantalla de acceso se puede acceder a la pantalla de configuración del panel de operador y desde aquí se puede establecer la dirección IP, la fecha, hora, entre otras características de comunicación y visualización.

Desde aquí también es posible cargar, correr y borrar otras aplicaciones que se encuentren en la memoria del panel de operador, como se puede observar en la figura 3.17.

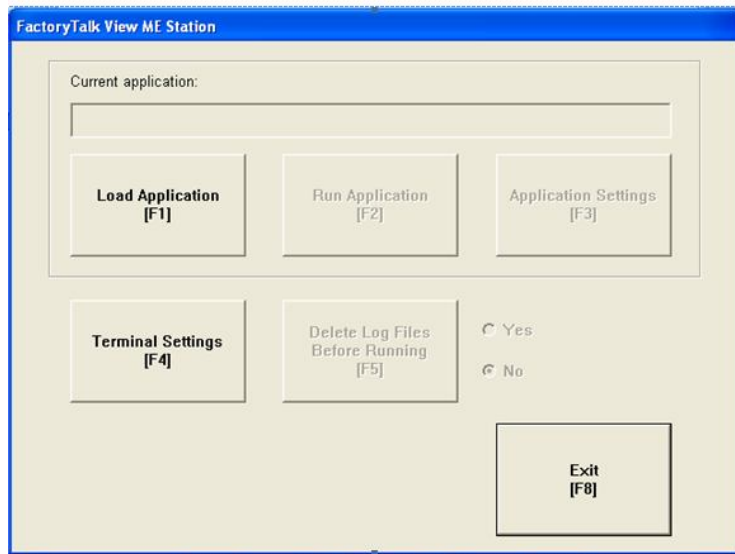


Figura 3.17. Pantalla de Configuración

3.3.2.1 Usuarios y Seguridad

En todo proceso a ser monitoreado a través de un HMI es necesario definir usuarios y seguridades, cada usuario tendrá su propia contraseña y un nivel de seguridad.

Para el sistema de presión constante para compresores de tornillo, se definió 3 usuarios y por lo tanto 3 niveles de seguridad, como se muestra en la figura 3.18.

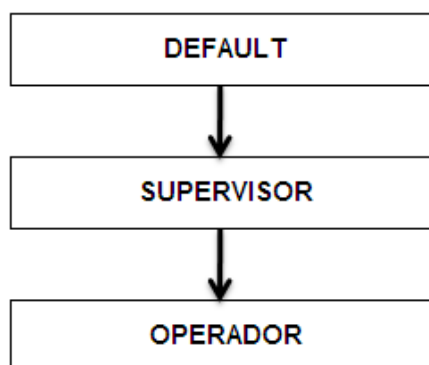


Figura 3.18. Usuarios y Niveles de seguridad

SUPERVISOR es el usuario que posee la prioridad más alta dentro del sistema, puede modificar cualquier parte del mismo y navegar sin restricciones por todas las pantallas del HMI.

El usuario definido como OPERADOR puede acceder a todas las pantallas del HMI y monitorear únicamente algunos parámetros del sistema, es decir, tiene restricciones para cambiar ciertos valores.

El usuario DEFAULT puede visualizar todas las pantallas del HMI pero no puede modificar absolutamente ningún parámetro.

Los usuarios y contraseñas pueden estar configurados con números, letras mayúsculas y minúsculas o una combinación de los tres, en este caso, para las contraseñas se utilizó letras mayúsculas y se debe tomar en cuenta que si la contraseña fue configurada con letras mayúsculas siempre se deberá ingresarla de ese modo, caso contrario el sistema indicará falla y no se podrá acceder; en cuanto al usuario no importa si se digita mayúsculas o minúsculas.

3.4 PROGRAMACIÓN DEL VARIADOR DE VELOCIDAD

3.4.1 SOFTWARE DriveExplorer

DriveExplorer es el software que permite monitorear y modificar los parámetros de funcionamiento del variador, es bastante amigable con el usuario y su entorno es similar al explorador de Windows.

Este software permite operar el drive en línea, es decir a través del DriveExplorer se puede iniciar, parar o variar la referencia de velocidad del variador, también permite guardar y restaurar la información de parámetros y cargarlos y descargarlos.

Para utilizar este software es necesario configurar primero el puerto de comunicación para lo cual el Variador de frecuencia debe estar conectado a la PC, una vez que se ha verificado que la conexión es correcta, se sigue los pasos que se indican a continuación:

- En el software DriveExplorer, en la barra de menús se ingresa al menú **Explore** y se selecciona **Configure Communication**, aparecerá un cuadro de diálogo donde, para el sistema implementado, se escoge Ethernet, tal como se muestra en la figura 3.19.

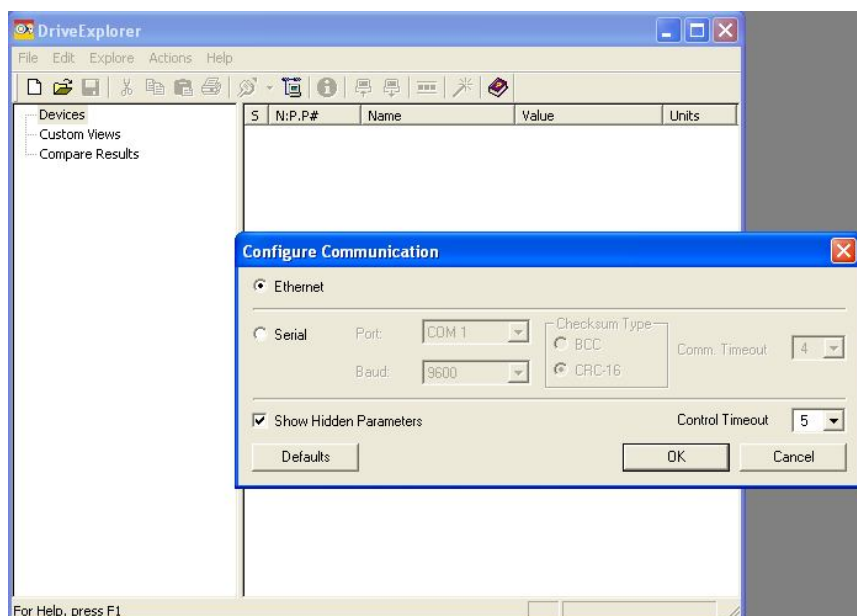


Figura 3.19. Configuración de comunicación en el Software DriveExplorer

- Una vez determinada la comunicación a usarse, en el menú **Explore – Connect** seleccionar **Ethernet**, se desplegará el cuadro de diálogo de la figura 3.20, aquí presionar **Add Node** e ingrese la dirección IP del variador con el que se va a realizar la comunicación.

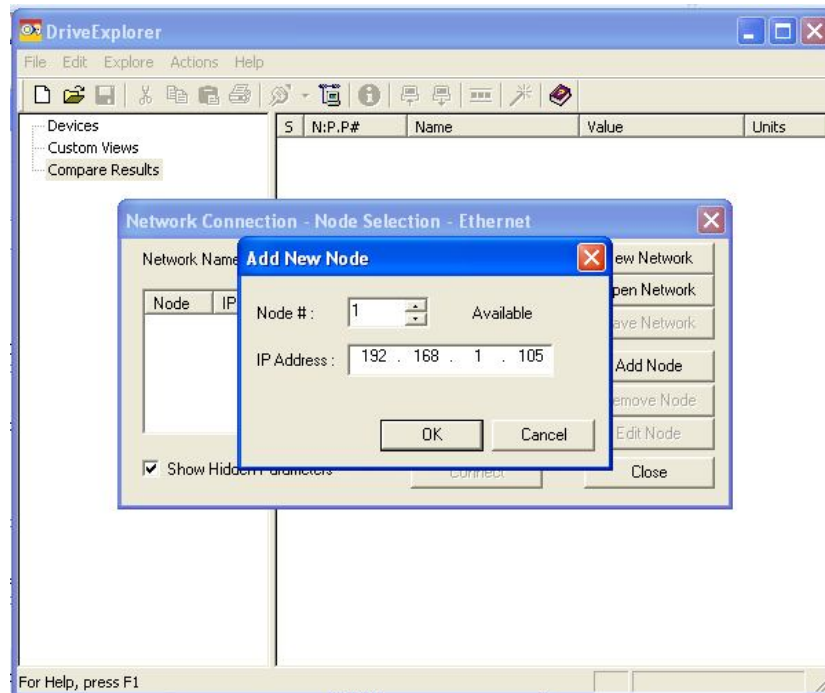


Figura 3.20: Cuadro de diálogo para añadir nodos

Después que se ha comunicado el software DriveExplorer con el Variador de Frecuencia es posible observar todos los parámetros del variador (Figura 3.21).

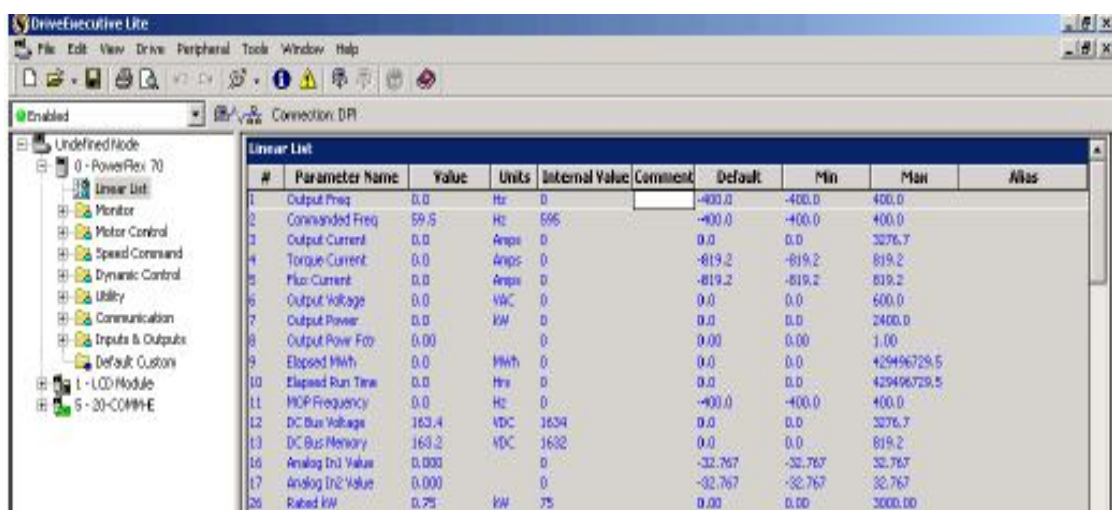


Figura 3.21. Visualización de parámetros del Variador en el DriveExplorer

3.4.2 CONFIGURACIÓN DE PARÁMETROS

Los parámetros son el medio, con el cual se adapta el convertidor a la aplicación correspondiente.

Cada parámetro está definido por un número y por atributos específicos (tipo de datos, unidades, rangos, etc). Cada número de parámetro es único dentro de un sistema de accionamientos y un atributo puede ser adjudicado varias veces, de modo que, diversos parámetros pueden poseer un mismo atributo.

Los parámetros están clasificados por tipos y cada uno de ellos posee características especiales, los principales son:

Parámetros de ajuste o programación básica

Son aquellos que activan y desactivan las funciones y tienen un efecto directo sobre la aplicación de las mismas, es decir, son las funciones programables utilizadas con mayor frecuencia.

Parámetros de visualización

Consiste en las condiciones de funcionamiento del variador visualizadas con mayor frecuencia, normalmente son variables internas tales como estados o valores reales, son muy útiles para diagnóstico.

3.4.2.1 Parámetros básicos a configurar

Para lograr que nuestro sistema funcione correctamente, es necesario configurar los parámetros indicados en la tabla 3.6:

No.	Parámetro	Mín/Máx	Pantalla /Opciones	Valor Predeterminado
P031	[Volt placa motor] <input type="radio"/> Seleccionar según volt placa motor.	20/Volts nomin var.	1 V CA	Basado en la Capacidad Nominal del Variador
P032	[Hz placa motor] <input type="radio"/> Seleccionar según la frecuencia Hz placa motor.	10/240 Hz	1 Hz	60 Hz
P033	[Intens SC Motor] Establecer a la máxima corriente permisible del motor.	0.0/(Intens. sal. var × 2)	0.1 Amps	Basado en la Capacidad Nominal del Variador
P034	[Frecuencia Mín.] Establece la mínima frecuencia de salida continua del variador.	0.0/240.0 Hz	0.1 Hz	0.0 Hz
P035	[Frecuencia Máx.] <input type="radio"/> Establece la máxima frecuencia de salida del variador.	0/240 Hz	1 Hz	60 Hz
P036	[Fuente Arranque] <input type="radio"/> Establece el esquema de control utilizado para poner en marcha el variador. (1) Al estar activa, la tecla de retroceso también está activa a menos que se deshabilite por medio del A095 [Inver Deshab.].	0/5	0 = "Teclado" ⁽¹⁾ 1 = "Tres Hilos" 2 = "Dos Hilos" 3 = "Sens Niv 2-W" 4 = "Alt Vel 2-W" 5 = "Puerto Com"	0
P037	[Modo de Paro] Modo de Paro activo para todas las fuentes de paro [por ejemplo: teclado, marcha de avance (Terminal de E/S 02), marcha en reversa (Terminal de E/S 03), puerto RS485] excepto como se indica a continuación. Importante: El Terminal de E/S 01 está siempre establecido para el paro por inercia excepto cuando P036 [Fuente Arranque] está establecido para control de "Tres Hilos". En el control de tres hilos, el Terminal de E/S 01 está controlado por P037 [Modo de Paro]. (1) La entrada de paro también borra el fallo activo.	0/7	0 = "Rampa, CF" ⁽¹⁾ 1 = "Inercia, CF" ⁽¹⁾ 2 = "Freno CC, CF" ⁽¹⁾ 3 = "FrenAutCC, CF" ⁽¹⁾ 4 = "Rampa" 5 = "Inercia" 6 = "Freno CC" 7 = "FrenAutCC"	0
P038	[Referencia Veloc] Establece la fuente de referencia de velocidad para el variador. Importante: Cuando A051 ó A052 [Sel. ent digt x] está configurado en la opción 2, 4, 5, 6, 13 ó 14, y la entrada digital está activa, A051 ó A052 anulará la referencia de velocidad indicada por este parámetro. Consulte el Capítulo 1 del <i>Manual del Usuario</i> del PowerFlex 4 para obtener detalles.	0/5	0 = "Pot Var" 1 = "FrecInterna" 2 = "Ent 0-10V" 3 = "Ent 4-20mA" 4 = "Frec preSel" 5 = "Puerto Com"	0
P039	[Tiempo acel. 1] Establece el régimen de aceleración para todos los aumentos de velocidad.	0.0/600.0 segs	0.1 segs	10.0 segs
P040	[Tiempo decel. 1] Establece el régimen de deceleración para todas las disminuciones de velocidad.	0.1/600.0 segs	0.1 segs	10.0 segs
P041	[Restab. a predet] <input type="radio"/> Restablece todos los parámetros a sus valores predeterminados en fábrica.	0/1	0 = "Estado Inactivo" 1 = "Restab. a Predet."	0
P043	[Ret SC Motor] Habilita/inhabilita la función de Retención de Sobrecarga del Motor.	0/1	0 = "Inhabilitado" 1 = "Habilitado"	0

Tabla 3.6. Parámetros de programación básica

CAPÍTULO IV

IMPLEMENTACIÓN Y PRUEBAS

El sistema de presión constante está diseñado para ser utilizado en diversas aplicaciones del sector industrial donde el consumo de aire comprimido es considerable y por lo tanto el consumo de energía eléctrica bastante alto, el objetivo principal es brindar una solución eficiente y económica a través del control ejercido sobre el compresor para lograr que su funcionamiento esté regulado según el consumo de aire de un proceso de producción.

4.1 CONSIDERACIONES DE IMPLEMENTACIÓN

Para escoger un sistema de presión constante es indispensable realizar un análisis basado en las necesidades y características de los procesos productivos involucrados, para lo cual se debe tomar en cuenta el caudal, el mismo que debe ser determinado en base a la demanda de aire, todos los equipos de instrumentación y de fuerza neumáticos tienen especificado su consumo en su manual.

El levantamiento de información se realiza utilizando el formulario del Anexo A y con todos los datos obtenidos se determina la capacidad que el compresor debe tener.

Ingersoll Rand dispone de una amplia gama de compresores de tornillo SSR para satisfacer las necesidades de aire comprimido del sector industrial y garantizar un funcionamiento confiable y eficiente.

Una vez que se ha determinado la capacidad del Sistema, es necesario verificar la alimentación eléctrica tomando en cuenta que el compresor de tornillo funciona con 460V, el Variador de Frecuencia 460V y las fuentes de alimentación para los equipos de control como PLC y Panel de Operador 120V, por este motivo es necesario contar con una toma trifásica y una toma monofásica.

Después de haber realizado la programación del PLC, Panel de Operador y haber configurado los parámetros del Variador de Frecuencia, se integra estos equipos al tablero de control (figura 4.1.), desde donde el operador podrá manejar el sistema.



Figura 4.1. Tablero de control

El transmisor de presión está ubicado en la toma de salida de aire del compresor, acoplado a través de una tubería, la señal de corriente de 4 – 20 mA que entrega el transmisor está cableada a la entrada analógica del PLC formando así la realimentación del sistema de control en lazo cerrado.

4.2 PUESTA EN MARCHA DEL SISTEMA DE PRESIÓN CONSTANTE

Luego de haber realizado las conexiones físicas del sistema, se procede a operarlo.

4.2.1 PRUEBAS DE COMUNICACIÓN DEL SISTEMA

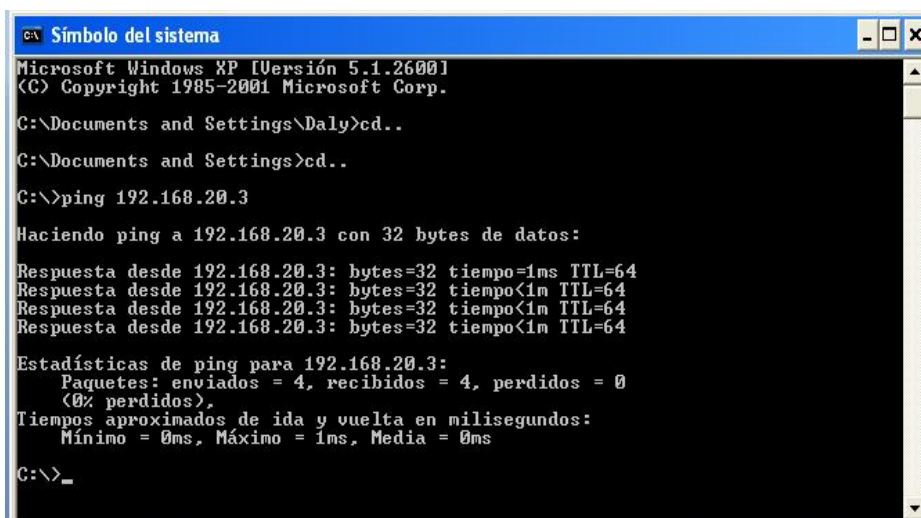
Estas pruebas son las primeras que deben realizarse para verificar que la configuración de la red LAN es correcta y que el funcionamiento de cada dispositivo es óptimo.

1. Verificar que las direcciones IP del PLC, Panel View y Variador de Frecuencia se encuentren en la misma red, para lo cual se utilizó el direccionamiento IP clase C cuya configuración es la siguiente:

RED . RED . RED . HOST

Los primeros 3 octetos son aquellos que identifican la red y el último octeto identifica a cada dispositivo.

2. Probar la conectividad TCP/IP utilizando el comando “ping” hacia el host o nodo mediante su dirección IP. Si el enlace entre dispositivos es correcto aparecerá la pantalla de la figura 4.2, caso contrario se observará el siguiente mensaje “Tiempo de espera agotado para esta solicitud”, en este caso se debe verificar la dirección IP, la máscara de subred y el cable de conexión que se está utilizando.



```
ca\ Símbolo del sistema
Microsoft Windows XP [Versión 5.1.2600]
(C) Copyright 1985-2001 Microsoft Corp.

C:\Documents and Settings\Daly>cd..
C:\Documents and Settings>cd..
C:\>ping 192.168.20.3

Haciendo ping a 192.168.20.3 con 32 bytes de datos:

Respuesta desde 192.168.20.3: bytes=32 tiempo=1ms TTL=64
Respuesta desde 192.168.20.3: bytes=32 tiempo<1m TTL=64
Respuesta desde 192.168.20.3: bytes=32 tiempo<1m TTL=64
Respuesta desde 192.168.20.3: bytes=32 tiempo<1m TTL=64

Estadísticas de ping para 192.168.20.3:
    Paquetes: enviados = 4, recibidos = 4, perdidos = 0
              (0% perdidos),
    Tiempos aproximados de ida y vuelta en milisegundos:
        Mínimo = 0ms, Máximo = 1ms, Media = 0ms

C:\>_
```

Figura 4.2. Verificación de conectividad entre nodos

3. Constatar el estado de conexión y la velocidad de transmisión de la red Ethernet ingresando a las propiedades de conexión de área local, figura 4.3. La velocidad de 100 Mbps que presenta la red Ethernet permite que los datos obtenidos del proceso puedan ser monitoreados y verificados en tiempo real.

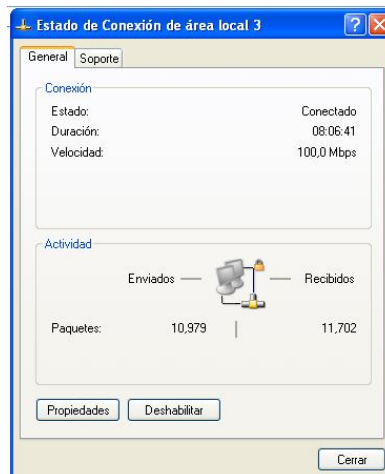


Figura 4.3. Pantalla de estado de conexión de la red Ethernet

4. Verificar a través de la opción “Driver Diagnostic” las conexiones activas, los paquetes y bytes enviados y recibidos a través de la red, los comandos perdidos, cancelados, etc. para de este modo determinar si la comunicación entre los dispositivos de la red Ethernet es óptima. (Figura 4.4).

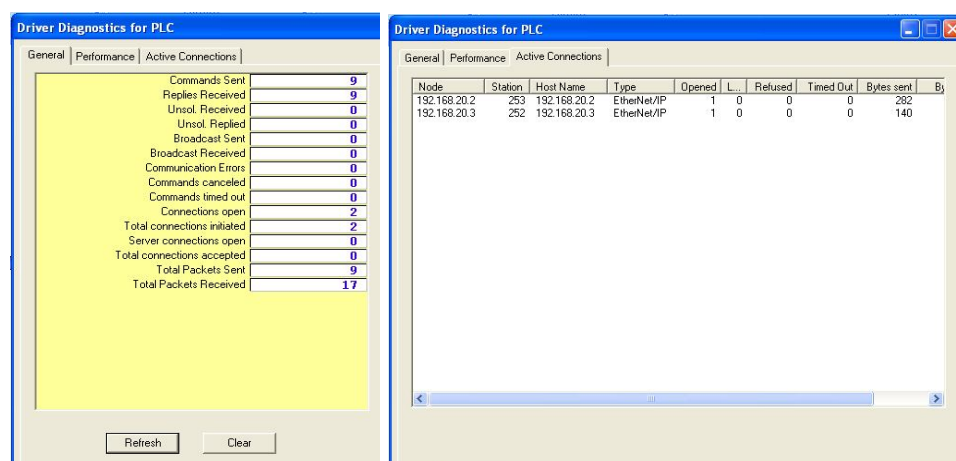


Figura 4.4. Ventanas de diagnóstico de envío y recepción de paquetes entre los dispositivos de la red Ethernet. (Software RSLinx)

4.2.2 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA

El sistema de presión constante está diseñado para ser manejado a través del panel de operador ubicado en el tablero de control.

Para este prototipo, se ubicó una válvula de globo en la tubería de salida del compresor cuya función es simular carga, cuando la válvula está totalmente cerrada indica que no hay consumo de aire y a medida que existe demanda el caudal de aire va aumentando, de este modo a mayor carga (demanda), mayor consumo de aire como se puede observar en la figura 4.5.

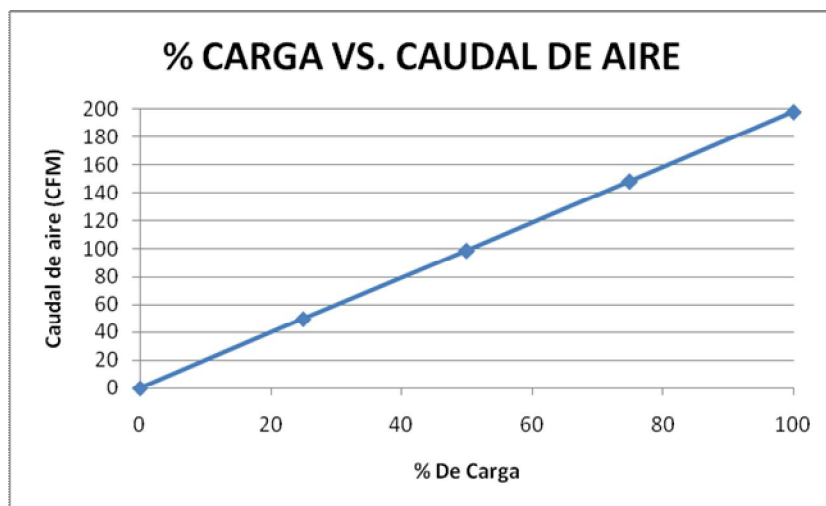


Figura 4.5. Gráfico que indica que el consumo de aire es directamente proporcional a la carga.

La demanda de aire comprimido puede variar considerablemente en diferentes momentos, diversos estudios realizados indican que únicamente se utiliza del 50 al 70% de la capacidad máxima y esto ocasiona un gran desperdicio de energía.

El compresor de tornillo SSR como equipo estándar posee dos sistemas propios de control de capacidad:

- MOD/ACS (Selector de control de modulación automática)
- En línea-fuera de línea

Control de Modulación / ACS

El sistema de control de modulación proporciona un estrangulamiento del flujo de admisión hasta el punto de presión programado para el corte de la línea de modulación.

La posición de estrangulamiento de la válvula de admisión está controlada por el Intellisys (Variador de Frecuencia incorporado en el compresor), permitiendo que el motor de escalonamiento varíe la posición de la válvula de admisión según lo que indique la línea de presión.

La modulación comienza cuando la presión de la línea alcanza la presión nominal del compresor y continúa si la presión de línea asciende. La modulación se estabiliza cuando la salida del compresor iguala la demanda de aire en la planta.

En línea – fuera de línea

Para este control el compresor entregará aire a plena capacidad (condición de máxima eficiencia del compresor) u operará a capacidad cero (condición de mínima potencia del compresor) lo que lo convierte en un control ON-OFF que está controlado por el Intellisys, cuando la presión del aire de la planta es menor a la presión programada en línea se abre la válvula de admisión y cierra la válvula de descarga, si la presión del aire en la planta se eleva hasta alcanzar la presión programada fuera de línea, el Intellisys envía la señal de cierre de la válvula de admisión y la válvula solenoide de descarga abre la línea de venteo del tanque haciendo posible que la presión en el tanque baje.

Sistema de presión constante

Se implementa el sistema desarrollado para controlar a través de un PID el funcionamiento del compresor SSR, de este modo se bloquea el funcionamiento normal a través del Intellisys del compresor.

4.2.2.1 Pruebas de Control de Capacidad vs. Potencia consumida

Para determinar la ventaja que conlleva la utilización del Sistema de Presión Constante implementado se realizó pruebas con los tres modos de funcionamiento, obteniendo los resultados de las figuras 4.6 a, b y c.

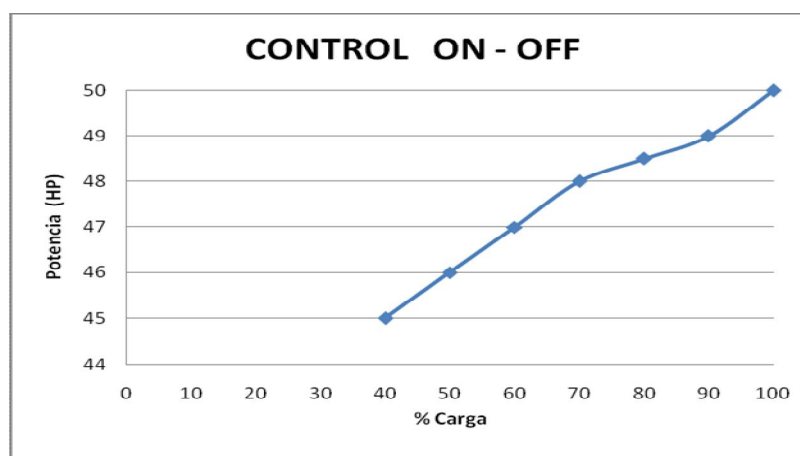


Figura 4.6 a.: Relación demanda – potencia utilizando el control en línea – fuera de línea (ON – OFF)

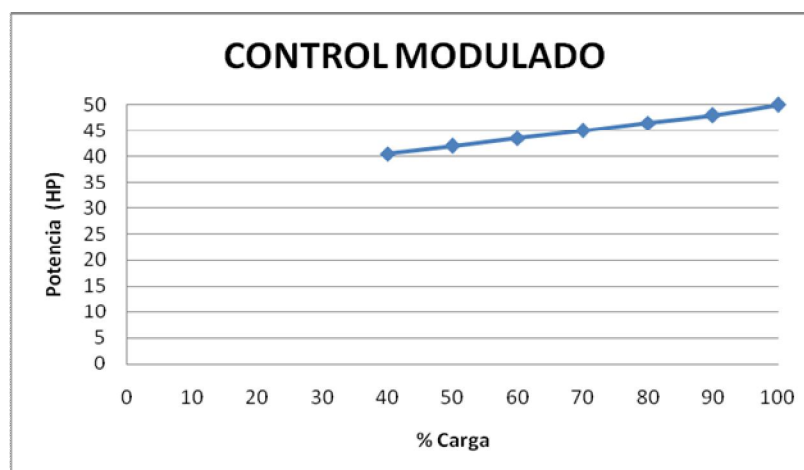


Figura 4.6 b.: Relación demanda – potencia utilizando el control modulado

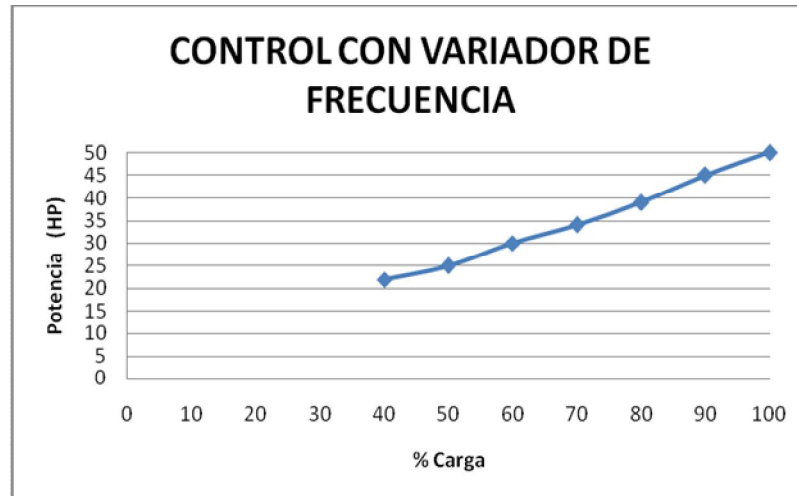


Figura 4.6 c.: Relación demanda – potencia utilizando control PID

Al realizar un análisis de las respuestas de cada sistema, se puede observar que utilizando un controlador PID el Sistema es más eficiente y el ahorro energético considerable debido a que funciona a través de “Cargas Parciales” lo que significa que el compresor consume energía de acuerdo a la demanda de aire de una planta de producción, a través de este control lo que se hace es mover el punto de operación normal del compresor logrando mayor eficiencia, en la figura 4.7 se puede observar que a través del control PID se logra ahorrar aproximadamente entre el 22 a 30% de energía eléctrica.

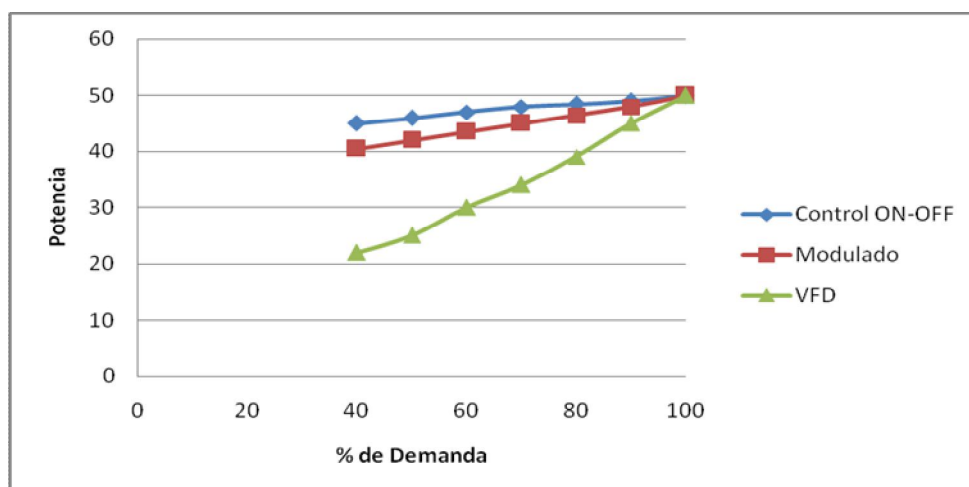


Figura 4.7.: Comparación de demanda – consumo para los tres sistemas de control implementados.

4.2.3 SINTONIZACIÓN PID

Si se puede obtener un modelo matemático de una planta, es posible aplicar diversas técnicas de diseño con el fin de determinar los parámetros del controlador que cumpla las especificaciones en estado transitorio y en estado estable del sistema en lazo cerrado. Sin embargo si la planta es tan complicada que no es fácil obtener su modelo matemático, tampoco es posible un enfoque analítico para el diseño de un controlador PID, en este caso, se debe recurrir a los enfoques experimentales para la sintonización de los controladores PID.

Para sintonizar el PID del Sistema implementado se utilizó las reglas de Ziegler y Nichols.

4.2.3.1 Reglas de Ziegler y Nichols – Método de ganancia límite

Este método de lazo cerrado permite calcular los tres parámetros de ajuste del controlador: la ganancia proporcional K_P , Tiempo integral T_i y Tiempo derivativo T_d basándose en las características de respuesta transitoria de una planta específica, con esto se pretende obtener 25% de sobrepaso máximo en la respuesta escalón como se puede observar en la figura 4.8.

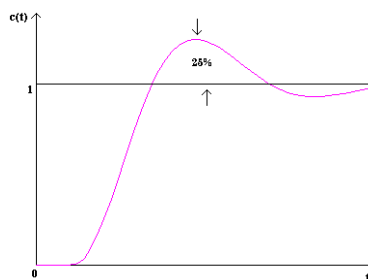


Figura 4.8.: Porcentaje de sobrepaso máximo obtenido a través de la utilización de las reglas de Ziegler – Nichols

4.2.3.1.1. Procedimiento

1. Sintonizar el lazo de control con el método de Ziegler-Nichols para lo cual se debe estrechar gradualmente la banda proporcional (Inverso de K_p) manteniendo en su valor más bajo los parámetros integral y derivativo.

2. Ir variando la ganancia hasta que la señal de process value (Presión) presente oscilaciones periódicas constantes como se observa en la figura 4.9.

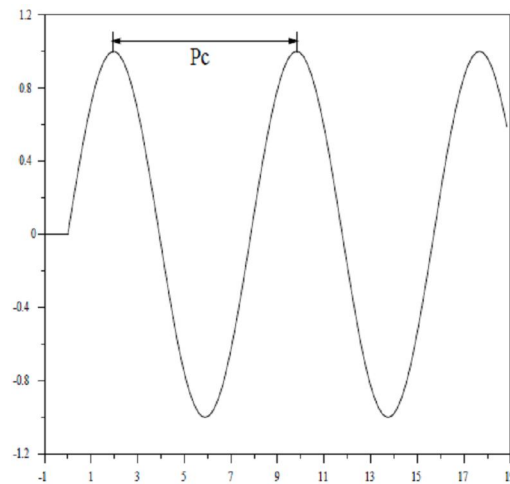


Figura 4.9.: Oscilaciones mantenidas (sensibilidad límite)

3. Determinar el periodo de una oscilación completa (P_c) y aplicar las siguientes fórmulas para obtener los valores de K_p , K_i y K_d .

Tipo de controlador	K_p	T_i	T_d
PID	$\frac{Kc}{1.7}$	$\frac{Pc}{2}$	$\frac{Pc}{8}$

Al finalizar este procedimiento y luego de haber realizado algunas pruebas se concluyó que los valores de las constantes del PID que logran que el Sistema de Presión Constante funcione correctamente son los siguientes:

$$\begin{aligned}
 K_p &= 70 \\
 K_i &= 0.120 \\
 K_d &= 0.020
 \end{aligned}$$

Al monitorear el Sistema en línea desde RSLogix 5000 se puede observar los parámetros del PID y el comportamiento del mismo como se puede observar en la figura 4.10.

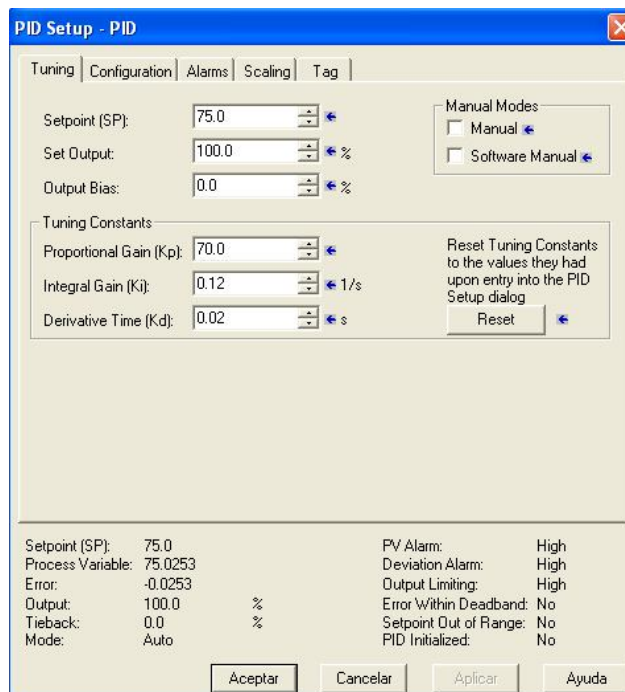


Figura 4.10.: Pantalla de monitoreo en línea del comportamiento del control PID del sistema de presión constante

4.3 DETERMINACIÓN DEL AHORRO ENERGÉTICO

El consumo energético representa la partida más significativa del costo total de la producción de aire comprimido, específicamente un 75% del costo total a lo largo de la vida útil de un compresor como se puede observar en la figura 4.11.

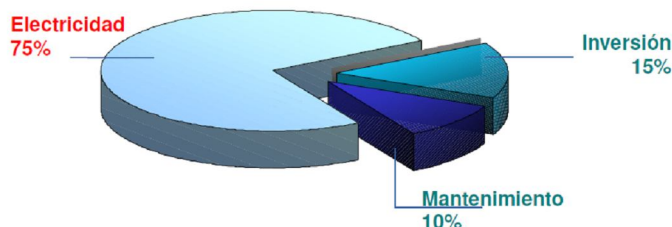


Figura 4.11.: Porcentaje de costo de producción de aire comprimido

La implementación de un sistema de control inteligente mejora la eficiencia energética ya que monitorea el consumo de aire real en cada momento permitiendo de este modo que el compresor produzca aire de acuerdo a la demanda del proceso y evitando así el funcionamiento en vacío y los arranques y paradas del motor que son los causantes del mayor consumo de energía.

4.3.1 JUSTIFICACIÓN MATEMÁTICA

Los compresor de tornillo pertenece al grupo de compresores de desplazamiento positivo, por lo cual para realizar la justificación matemática tomamos como base el movimiento de un pistón y partimos de los procesos teóricos de compresión que están representados en el diagrama Presión – Volumen de la figura 4.12.

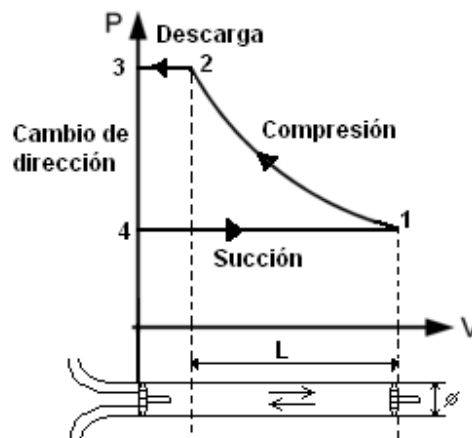


Figura 4.12. Diagrama de Procesos Teóricos de Compresión

La compresión de aire se realiza entre 1 y 2, por lo tanto:

$$V_{1-2} = V_1 = \text{Volumen desplazado} = \text{Volumen físico}$$

$$V_1 = \frac{\pi d^2}{4} \times L \quad \text{en un ciclo}$$

$$\frac{\# \text{ciclos}}{\text{min}} = \text{RPM}$$

$$V_1 = V_{\text{físico}} \times \text{RPM}$$

[4.1]

El trabajo de desplazamiento hecho por el gas durante la succión es:

$$W_{4-1} = P_1 \times V_1 \quad [4.2]$$

El trabajo de compresión hecho sobre el aire es el área bajo la curva:

$$W_{1-2} = \int_1^2 P dV \quad [4.3]$$

El trabajo requerido para pasar el aire a través de la tubería de descarga es:

$$W_{2-3} = P_2 \times V_2 \quad [4.4]$$

El trabajo realizado en el cambio de dirección es 0.

$$W_{3-4} = 0 \quad [4.5]$$

La suma de todos los trabajos realizados para completar el ciclo termodinámico da como resultado:

$$W_{4-1} + W_{1-2} + W_{2-3} + W_{3-4} = W_T \quad [4.6]$$

Donde W_T se conoce como "Trabajo al eje" del proceso:

$$W_T = \int P dV - P_2 \times V_2 + P_1 \times V_1 \quad [4.7]$$

Debido a que la compresión real es un proceso Politrópico⁹, tenemos:

$$P \times V^n = cte \quad [4.8]$$

En consecuencia, el trabajo requerido para una compresión politrópica es:

⁹ El proceso de compresión real es entre Isotérmico (con menos consumo de energía y un completo intercambio de calor con el exterior) y adiabático (sin intercambio de calor con el exterior).

$$W_t = -P_1 \times V_1 \times \left[\frac{n}{(n-1)} \right] \times \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{(n-1)}{n}} - 1 \right] \quad [4.9]$$

Donde:

$$-P_1 \times \left[\frac{n}{(n-1)} \right] \times \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{(n-1)}{n}} - 1 \right] = CTE = K$$

$$W_t = K \times V_1 \quad [4.10]$$

$$V_1 = V_{físico} \times RPM \quad [4.11]$$

Con lo cual se demuestra que a mayor volumen de compresión, mayor consumo de potencia como se observa en la figura 4.13.

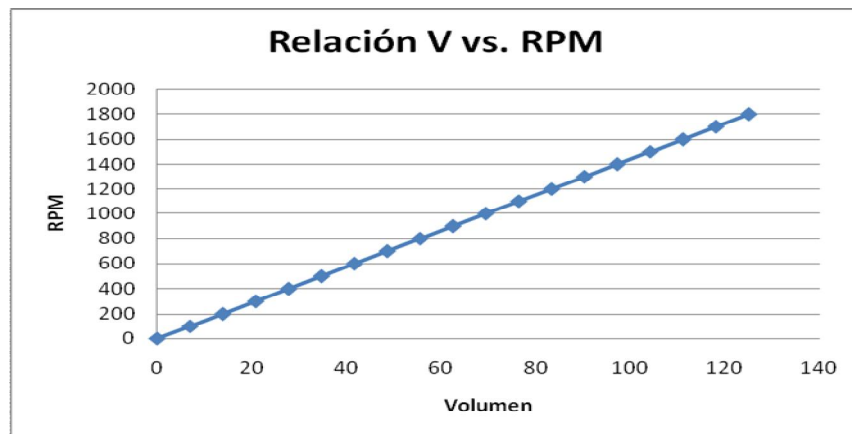


Figura 4.13.: Relación volumen de aire comprimido vs. Revoluciones por minuto

4.4 CONCLUSIONES

- Con la implementación del sistema de presión constante en compresores de tornillo se comprobó que el consumo de energía es directamente proporcional a la demanda de aire comprimido de una planta o proceso.

- El sistema implementado funciona correctamente a través de la acción de un control proporcional, integral y derivativo (PID) que permite estabilizar la señal de Presión dentro del rango del tiempo de establecimiento entre 2% a 5%.
- El compresor de tornillo SSR EP50 tiene un funcionamiento normal controlado por la apertura y cierre de una válvula de admisión, la cual con la implementación del sistema de presión constante permanece abierta y la entrega de aire comprimido se regula a través del control PID programado en el PLC.
- El funcionamiento del compresor está regulado por el consumo de aire, a través de la programación realizada en el PLC y el Variador de Frecuencia se logra controlar la velocidad de giro del motor con lo que se logra un considerable ahorro energético.
- El sistema de presión constante está basado en la plataforma de comunicación Ethernet/IP lo que hace posible la integración a escalas corporativas y sistemas SCADA completos.
- Allen-Bradley cuenta con hardware y software de altas prestaciones que permiten crear y monitorear sistemas adaptables a las necesidades del usuario así como arquitecturas robustas y versátiles.
- A través de RSLogix 5000 es posible monitorear el sistema en línea permitiendo realizar modificaciones y actualizaciones sin detener la aplicación, lo cual es muy conveniente ya que una parada en una planta de producción se traduce en pérdidas económicas.
- Adicional al sistema de control implementado para lograr presión constante y ahorro energético, el compresor de tornillo SSR EP50 posee un sistema de acoples por engranajes integrales, excelente sistema de lubricación y diseño a prueba de fugas lo que hace que el ahorro de energía sea mayor.

- El software de programación Factory Talk View permite ejecutar la aplicación en modo simulado para detectar fallas anticipadamente, además, desde el HMI implementado es posible monitorear en tiempo real el comportamiento del sistema.
- El arranque, al ser realizado a través de un variador de frecuencia, elimina picos de corriente y aumenta la vida útil de los compresores.
- En el prototipo implementado, la señal de realimentación debe ser estable, por este motivo se ubicó el sensor a la entrada de un tanque pulmón el cual absorbe pequeñas perturbaciones de carga.

4.5. RECOMENDACIONES

- Verificar que las conexiones de red y las direcciones IP estén realizadas correctamente para que los equipos puedan integrarse a la red Ethernet/IP sin problemas.
- Aislar la parte de potencia de la de control para que no se presente interferencias.
- Tomar en cuenta las alertas de mantenimiento que aparecen cada determinado tiempo en el HMI para que el sistema funcione correctamente y la vida útil del compresor sea mayor.
- Implementar el monitoreo de los transductores de presión y temperatura internos que posee el compresor de tornillo para en caso de que se produzca una falla, el operador desde el HMI pueda ubicar el daño y evite pérdidas de tiempo.
- El motor no puede trabajar a menos del 40% de su velocidad nominal debido a que no posee ventilación externa y se puede recalentar.

BIBLIOGRAFÍA

- NISE, Norman, “Sistemas de Control para Ingeniería”, Primera edición en español, Compañía Editorial Continental, México 2002.
- McCulloch, David, “Compressed Air and Gas Handbook”, Sixth Edition, Compressed Air and Gas Institute, Cleveland, Ohio, 2003.
- GREENE, Richard, “Compresores Selección, Uso y Mantenimiento”, McGraw Hill / Interamericana de México S.A. de C.V., traducido de la primera edición en inglés de “The Chemical Engineering Guide to Compressors”, 1993
- Manual Ingersoll-Rand, I-R 5000 Series Variable Frequency Drive, Installation and Operation Manual, February 2002.
- Manual Ingersoll-Rand, “Condensed Air Power Data” , USA.
- Manual Allen-Bradley Power Flex 400, “Adjustable Frequency AC Drive for Fan & Pump Applications”, User Manual, Rockwell Automation.
- CEMBRANOS, Jesús, “Automatismos Eléctricos, Neumáticos e Hidráulicos”, tercera edición, España 2002.
- CREUS, Antonio, “Instrumentación Industrial”, Alfaomega Grupo Editor S.A. de C.V., 5ta. Edición – 1995.
- RODRIGUEZ José María, “INSTRUMENTACIÓN INDUSTRIAL”, 1999.
- COWERN, Edward, “Baldor – Motors, Drives & Generators”, artículos técnicos.

- ROCKWELL AUTOMATION, “1768 CompactLogix Controllers”, User Manual.
- ROCKWELL AUTOMATION, “Sistema CompactLogix”, Inicio Rápido.
- ROCKWELL AUTOMATION, “RSLogix 5000 - Configuration and Programming for the Logix5000™ Family of Controllers”
- ROCKWELL AUTOMATION. “RSLinx, Getting Results Guide” USA, June 2005.
- ROCKWELL AUTOMATION. “FactoryTalk View Machine Edition”.

ENLACES

- http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/public/documents/webassets/browse_category.hcst
- http://www.ingersollrandproducts.com/IS/Category.aspx-am_en-12770
- <http://www.mitecnologico.com/Main/ModosDeTransmisionSimplexHalfDuplexYFullDuplex>
- <http://inmecanica.com/termo/trabajo/proceso-politropico/procesopolitropico.html>
- http://www.sapiensman.com/neumatica/neumatica_hidraulica11.htm
- <http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulos/maquinashidraulicas/comprimido/comprimido.htm>

- <http://airtec-servicios.com/empresa/ahorro-de-energia/nuevo-articulo-calculer-el-coste-del-aire-comprimido/>
- <http://ahorroenergiayairecomprimido.com/fugas-de-aire/finanzas-y-costos/>
- <http://www.energair.com/Default.aspx?tabid=980>
- <http://www.mycomspain.com/articulo.htm#Compresor%20rotativo%20de%20tornillo>
- http://www.fide.org.mx/consejos_aee/PDF/Industria.pdf
- http://cerc.upc.es/documentos/master/forum/2007/Archivos%20Ponencias/Compresores%20Tornillo%20tipo%20Ciclonico_FRIGICOLL.pdf
- <http://www.jetro.go.jp/costarica/topics/20080809821topics/PresentacionExpertoESPA.pdf>
- http://www.boge.com.es/artikel/download/ahorro_energetico.pdf

GLOSARIO DE TÉRMINOS

Aire comprimido: Tecnología o aplicación técnica que hace uso del aire de la atmósfera y es sometido a presión por medio de un compresor.

Antideflagrantes: Mecanismo que impide la deflagración.

Calor latente: Es la energía absorbida por las sustancias al cambiar de estado, de sólido a líquido (calor latente de fusión) o de líquido a gaseoso (calor latente de vaporización).

Componentes modulares: Elementos diseñados para ser montados y desmontados con facilidad, son utilizados principalmente para la puesta en servicio, ajuste y optimización del funcionamiento de todos los aparatos eléctricos y dispositivos electrónicos.

Compresor: Máquina motora destinada a comprimir gases o mezclas gaseosas a presión superior a la atmosférica.

Concéntrico: Que tiene el mismo centro.

Condensación: Cambio de estado de la materia que se encuentra en forma gaseosa a forma líquida. Este cambio de fase genera una cierta cantidad de energía llamada “calor latente”.

Deflagración: Combustión rápida con llama y sin explosión.

EEPROM: (Electrically-Erasable Programmable Read-Only Memory) “Memoria Programable – Borrable De Solo Lectura”: Tipo de memoria no volátil que puede ser programada y borrada eléctricamente.

Eficiencia: Porcentaje de la potencia de entrada que es efectivamente convertida en trabajo en el eje del motor.

Estrés mecánico: Condición puramente física que existe en cualquier material debido a la tensión o deformación por fuerzas externas o por expansión térmica no uniforme. Se expresa cuantitativamente en unidades de fuerza por unidad de área.

Ethernet: Estándar para la interconexión en redes abiertas cuyo principal objetivo es lograr la integración total de la planta de producción con la administración gerencial.

Exactitud: Es la capacidad de un instrumento de medir un valor cercano al valor de la magnitud real.

Excéntrico: Que está fuera o apartado del centro.

Factor de compresibilidad: Es un factor de corrección que se introduce en la ecuación de estado de gases ideales para modelar el comportamiento de los gases reales.

Full – dúplex: Modo de transmisión que permite que dos sistemas se puedan comunicar simultáneamente en dos direcciones.

Galga extensiométrica: Sensor basado en el efecto piezorresistivo. Un esfuerzo que deforma a la galga producirá una variación en su resistencia eléctrica.

Golpe de ariete: Modificación de la presión que puede darse en una instalación cuando se produce una interrupción instantánea del flujo.

Half – duplex: Modo de transmisión donde la comunicación se realiza en dos sentidos pero no simultáneamente.

LAN: (Local Area Network) “Red de Área Local”: Sistema de comunicación que permite compartir información, se caracterizan por que la distancia entre dispositivos debe ser pequeña, la velocidad está entre 10 y 100 Mbps, tiene baja latencia y baja tasa de errores.

Mantenimiento preventivo: Es una actividad programada de inspecciones tanto de funcionamiento como de seguridad, ajustes, reparaciones, análisis, limpieza, lubricación, calibración, que deben llevarse a cabo en forma periódica en base a un plan establecido. El propósito es prever averías o desperfectos en su estado inicial y corregirlas para mantener la instalación en completa operación a los niveles y eficiencia óptimos.

Modelo OSI: (Open System Interconnection) “Modelo de Referencia de Interconexión de Sistemas Abiertos”: Modelo dividido en 7 capas a través del cual se puede modelar o referenciar diversos dispositivos con el fin de poner orden entre todos los sistemas y componentes requeridos en la transmisión de datos además de simplificar la interrelación entre fabricantes.

MWP: (Maximum Working Pressure) “Presión máxima de trabajo”: es la presión máxima permitida para que un dispositivo funcione dentro del rango de operación normal y puede ser aplicada por un tiempo limitado.

Normativa IEC 61131-3: Es una estandarización para autómatas programables, periféricos y lenguajes de programación.

OPC: (OLE for Process Control): Es un estándar de comunicación que permite que diferentes fuentes (Servidores de OPC) envíen datos a un mismo Cliente OPC, al que a su vez podrán conectarse diferentes programas compatibles con dicho estándar. De este modo se elimina la necesidad de que todos los programas cuenten con drivers para dialogar con múltiples fuentes de datos.

OPL: (Over Pressure Limit) “Límite de sobre presión”: Corresponde a 1.5 veces el valor de la máxima presión de trabajo y éste valor puede ser aplicado únicamente por tiempo limitado para no causar daños en el instrumento.

Politrópico: Proceso de expansión y compresión de gases donde la presión y el volumen se relacionan, el producto de la presión y la enésima potencia del volumen es una constante.

PPM: “Partes por millón”: Es una unidad de medida que se refiere a los miligramos que hay en un kilogramo de disolución.

Protección IP65: Protección contra objetos extraños, polvo y agua.

Realimentación: Es una propiedad de los sistemas en lazo cerrado por la cual la salida se compara con la entrada del sistema, de manera que la acción de control se establezca como una función de ambas.

Serpentín: Equipo intercambiador de calor que al estar en contacto con el aire de retorno (el cual regresa caliente), enfría el aire gracias al refrigerante a baja temperatura que circula por su interior y lo envía de nuevo mediante los ductos transportadores.

TCP/IP: “Protocolo de control de transmisión / Protocolo Internet”: Protocolo orientado a conexión basado en 4 capas del modelo OSI.

Transductor: Dispositivo que convierte una forma de energía en otra o a su vez la modifica.

UDP: “Protocolo de Datagrama de Usuario”: Es un protocolo del nivel de transporte basado en el intercambio de datagramas. Permite el envío de datagramas a través de la red sin que se haya establecido previamente una conexión, ya que el propio datagrama incorpora suficiente información de direccionamiento en su cabecera.

Tampoco tiene confirmación ni control de flujo, por lo que los paquetes pueden adelantarse unos a otros; y tampoco se sabe si ha llegado correctamente, ya que no hay confirmación de entrega o recepción.

VFD: (Variable Frequency Drive): “Variador de Frecuencia”: Dispositivo que permite controlar la velocidad de rotación de un motor de corriente alterna a través del control de la frecuencia de alimentación suministrada.

ANEXOS

ANEXO A: [Hoja de levantamiento de información](#)

ANEXO B: [Programación PLC](#)

ANEXO C: [Lista de TAG's](#)

ANEXO D: [Programación PanelView Plus 700](#)

ANEXO E: [P&ID Sistema de Presión Constante](#)

ANEXO F: [Diagrama Unifilar](#)

ANEXO G: [Conexiones Variador de Frecuencia](#)

ANEXO H: [Conexionado Sistema](#)

Latacunga, Diciembre de 2009

ELABORADO POR:

Dalila Elizabeth Andrade Montenegro

APROBADO POR:

Ing. Armando Álvarez

COORDINADOR DE LA CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
ESPECIALIDAD INSTRUMENTACIÓN

CERTIFICADO POR:

Dr. Eduardo Vásquez

SECRETARIO ACADÉMICO



CLIENTE:
FECHA:

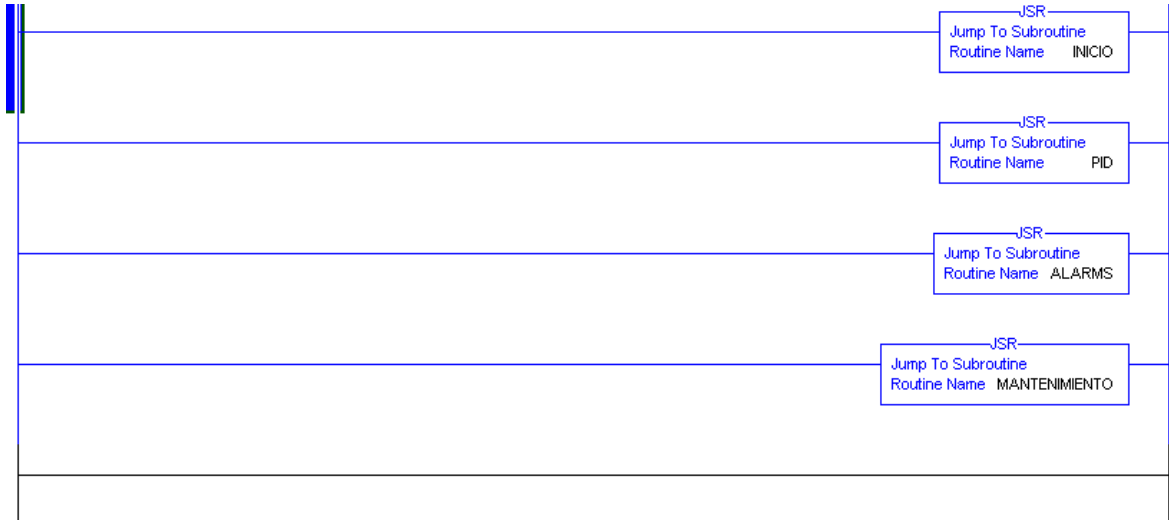
CONSUMO DE AIRE

No. De máquinas o herramientas	Características	Consumo Unitario (CFM)	Consumo Total (CFM)	Horas de Trabajo	Tiempo de uso (%)	Presión de trabajo (PSI)	Consumo Real (CFM)
TOTAL:							

MainRoutine – Ladder Diagram

SISTEMA_PRESION_CONSTANTE

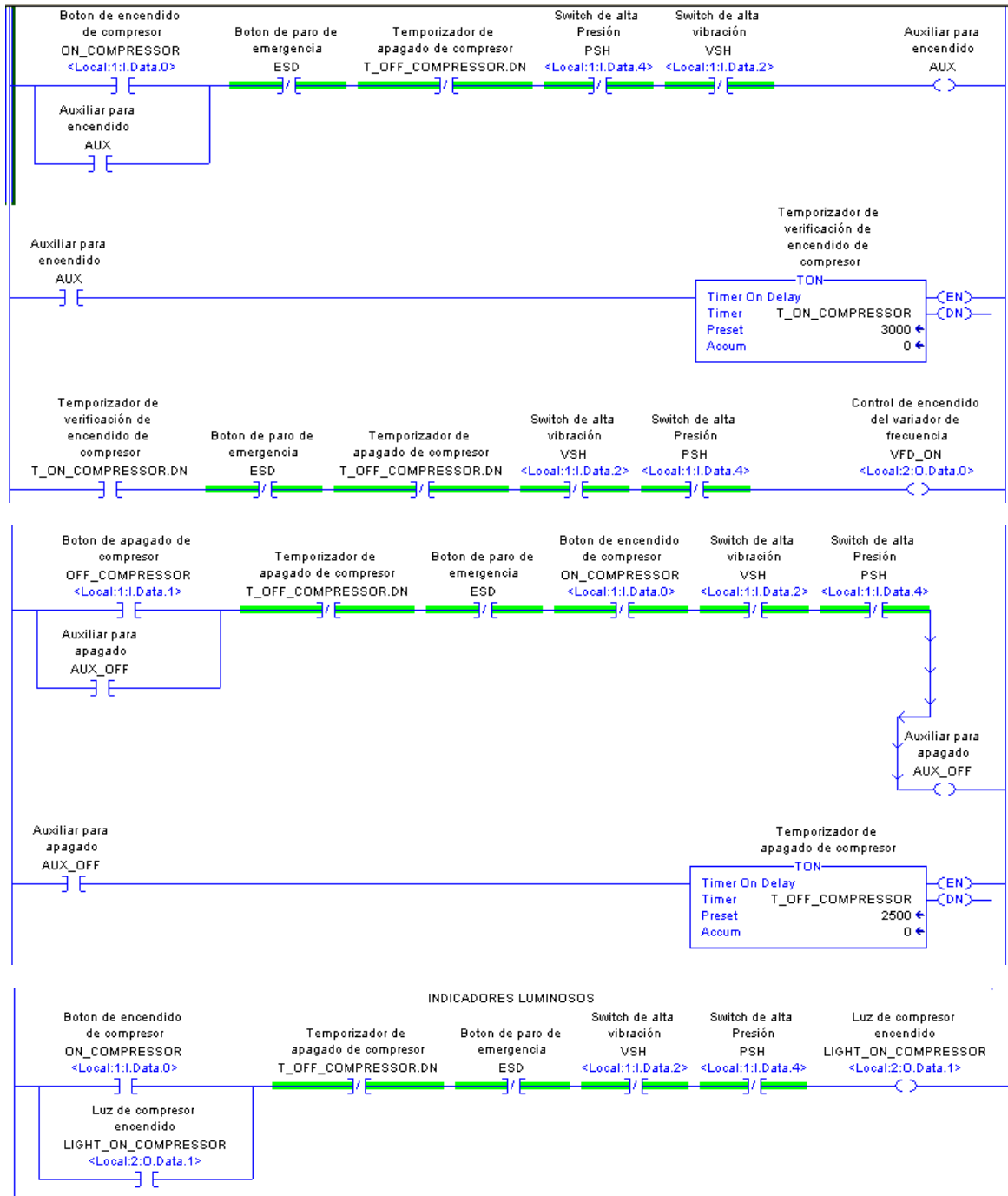
Total number of rungs in routine: 4

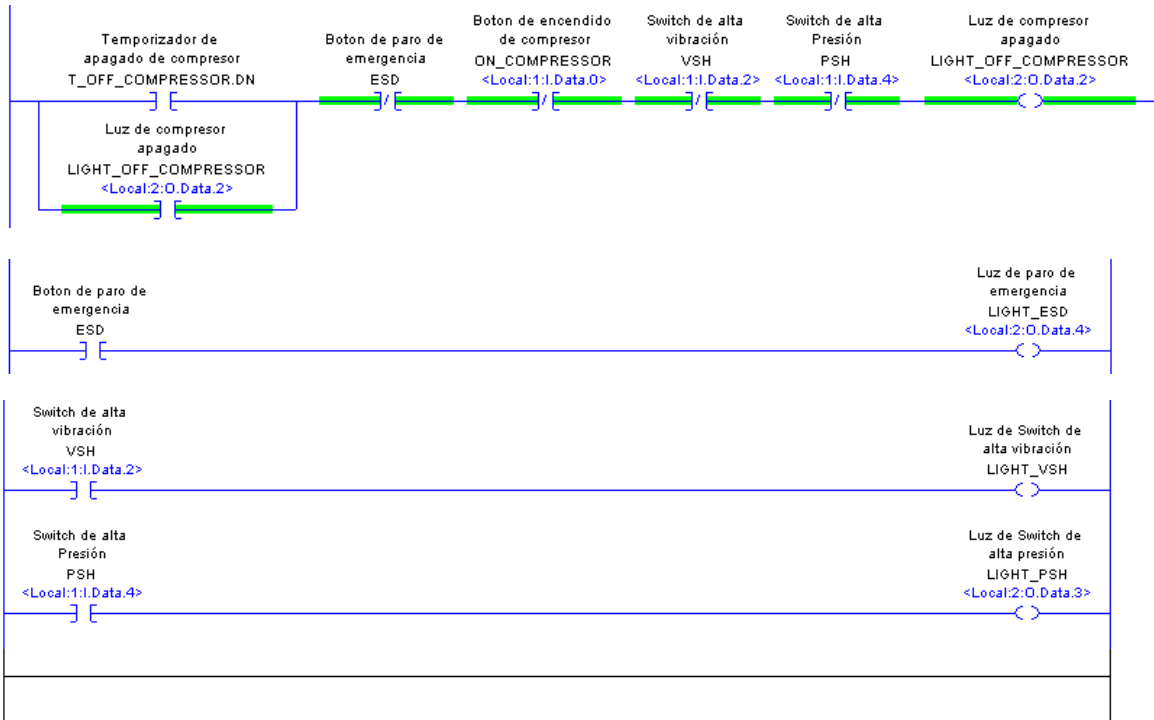


INICIO – Ladder Diagram

SISTEMA_PRESION_CONSTANTE

Total number of rungs in routine: 10

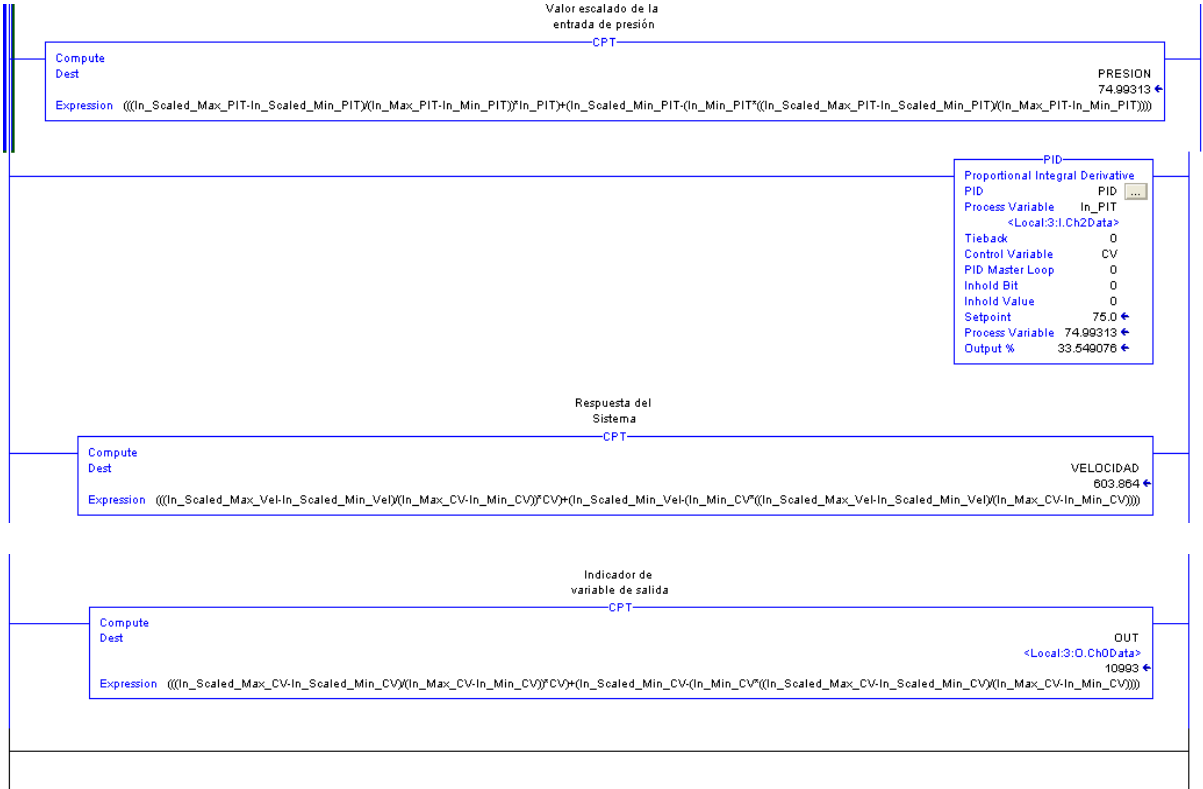




PID – Ladder Diagram

SISTEMA_PRESION_CONSTANTE

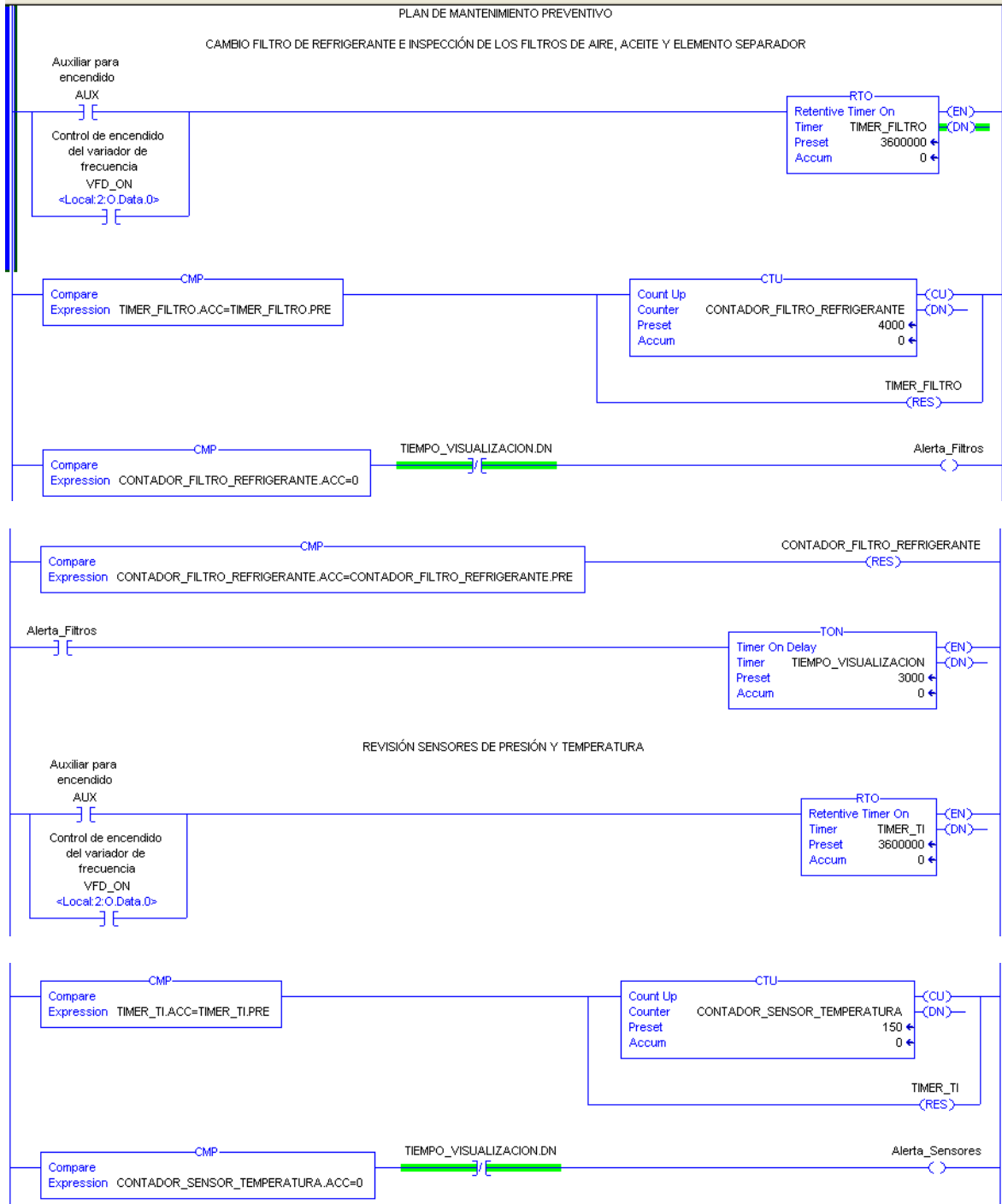
Total number of rungs in routine: 4

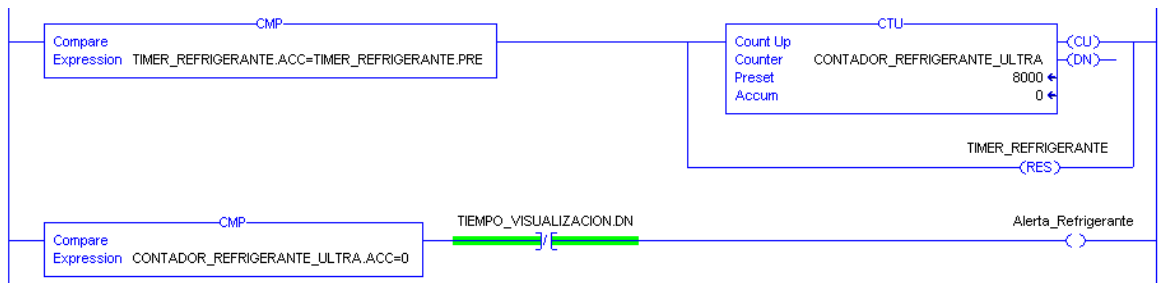
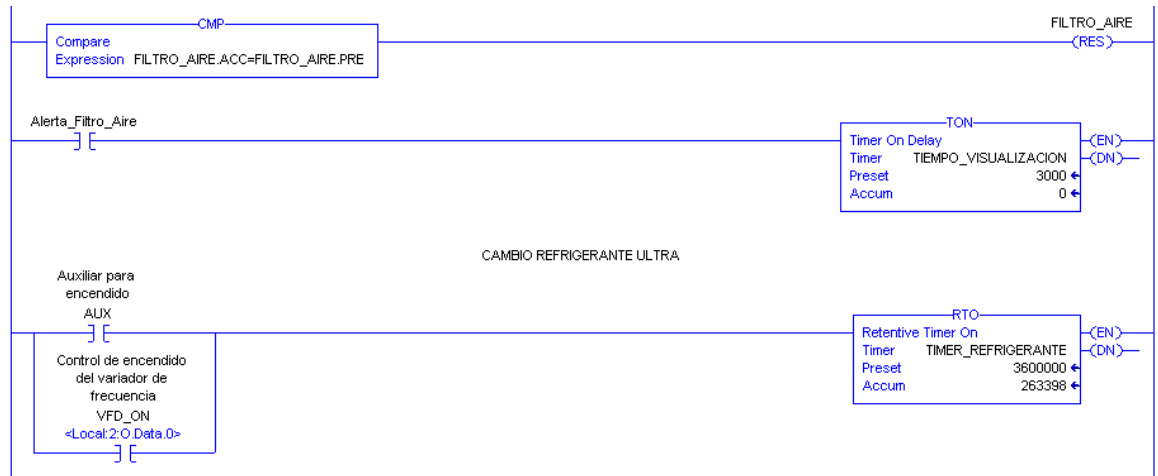
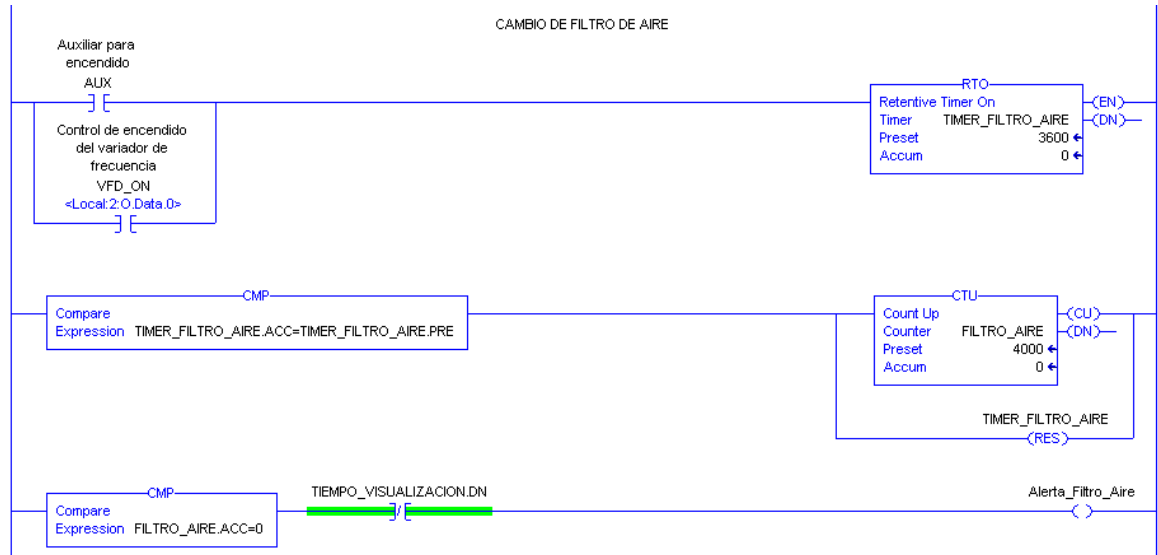
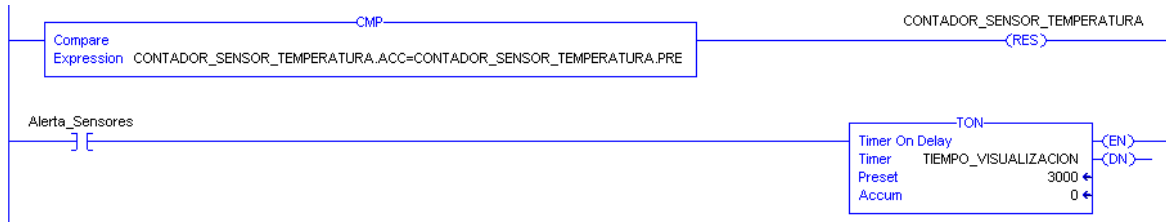


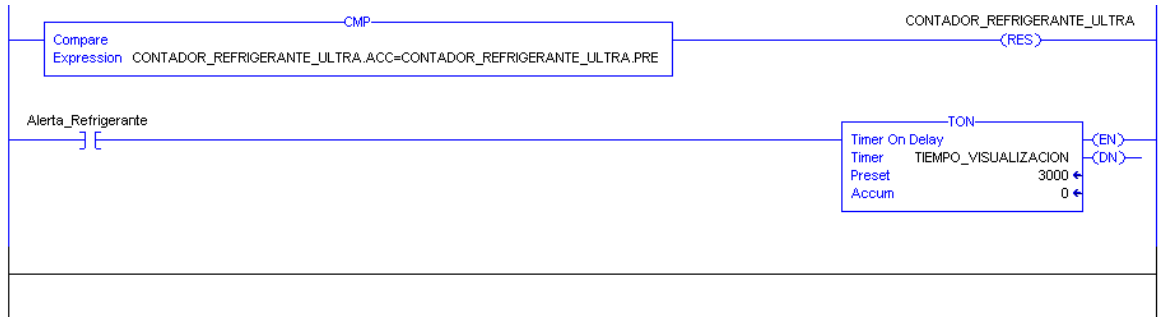
MANTENIMIENTO – Ladder Diagram

SISTEMA_PRESION_CONSTANTE

Total number of rungs in routine: 20



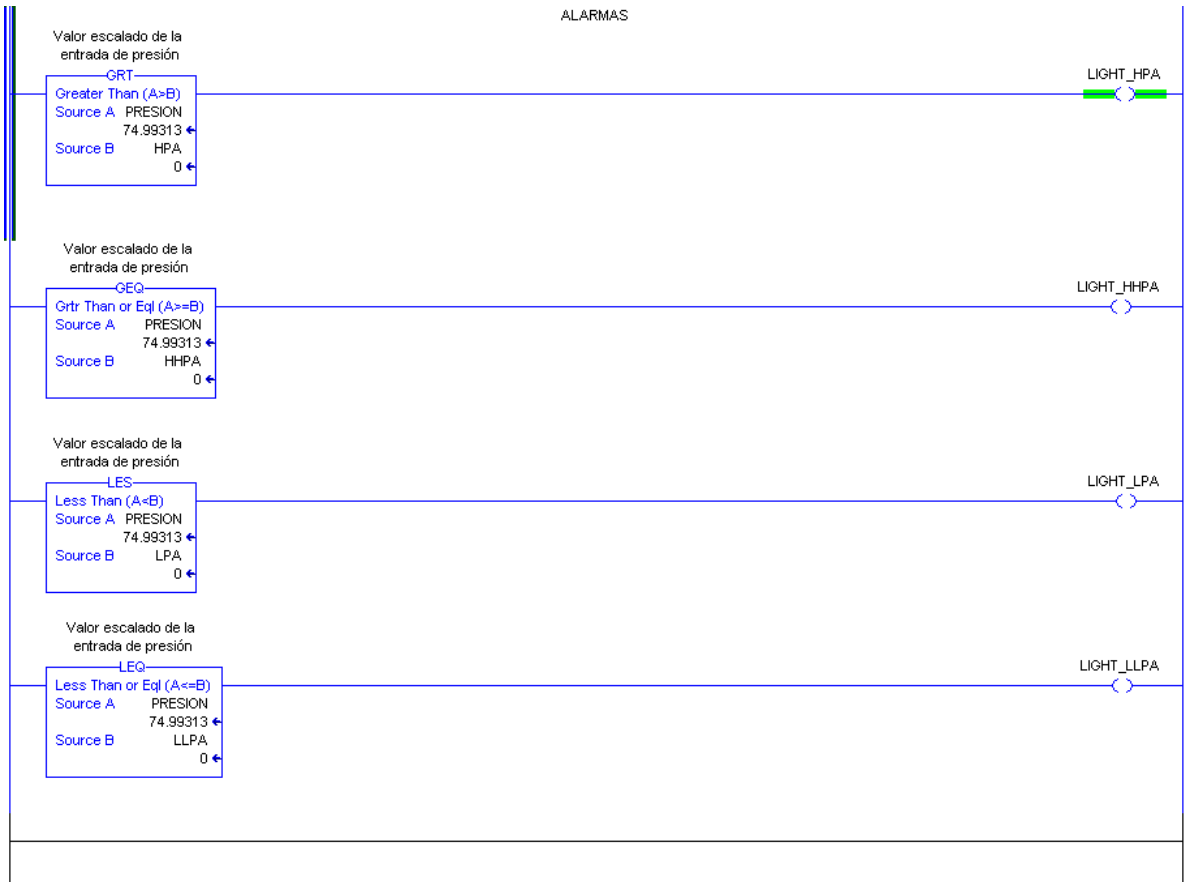




ALARMAS – Ladder Diagram

SISTEMA_PRESION_CONSTANTE

Total number of rungs in routine: 4



remark CSV-Import-Export
 remark Date = Tue Feb 17 23:17:30 2009
 remark Version = RSLogix 5000 v15.02
 remark Owner = Dalila Andrade
 remark Company = Personal

0.3

TYPE	NAME	DESCRIPTION	DATATYPE	SPECIFIER
TAG	Local:1:C		AB:1769_IQ16F:C:0	
TAG	Local:1:I		AB:1769_DI16:I:0	
TAG	Local:2:C		AB:1769_DO16:C:0	
TAG	Local:2:I		AB:1769_DO16:I:0	
TAG	Local:2:O		AB:1769_DO16:O:0	
TAG	Local:3:C		AB:1769_IF4XOF2:C:0	
TAG	Local:3:I		AB:1769_IF4XOF2:I:0	
TAG	Local:3:O		AB:1769_IF4XOF2:O:0	
TAG	AUX_FILTRO_REFRIGERANTE	Auxiliar filtro refrigerante	BOOL	
TAG	CONTADOR_FILTRO_REFRIGERANTE	Contador tiempo filtro refrigerante	COUNTER	
TAG	CONTADOR_REFRIGERANTE_ULTRA	Contador tiempo refrigerantes ULTRA	COUNTER	
TAG	CONTADOR_SENSOR_TEMPERATURA	Contador sensores	COUNTER	
TAG	CV	Control Value	REAL	
TAG	FILTRO_AIRE	Contador Filtro Aire	COUNTER	
TAG	In_Max_CV	Entrada máxima CV	REAL	
TAG	In_Max_PIT	Entrada máxima PIT	REAL	
TAG	In_Min_CV	Entrada mínima CV	REAL	
TAG	In_Min_PIT	Entrada mínima PIT	REAL	
ALIAS	In_PIT	Entrada de presión	REAL	Local:3:I.Ch2Data
TAG	In_Scaled_Max_CV	Entrada máxima escalada de CV	REAL	
TAG	In_Scaled_Max_PIT	Entrada máxima escalada de PIT	REAL	
TAG	In_Scaled_Max_Vel	Entrada máxima escalada de Vel.	DINT	
TAG	In_Scaled_Min_CV	Entrada mínima escalada de CV	REAL	
TAG	In_Scaled_Min_PIT	Entrada mínima escalada de PIT	REAL	
TAG	In_Scaled_Min_Vel	Entrada mínima escalada de Vel	DINT	
TAG	LIGHT_HHPA	Luz de muy alta presión	BOOL	
TAG	LIGHT_HPA	Luz de alta presión	BOOL	
TAG	LIGHT_LLPA	Luz de alta presión	BOOL	

TAG	LIGHT_LPA	Luz de baja presión	BOOL	
TAG	LIGHT_VSH	Luz de Switch de alta vibración	BOOL	
TAG	LLPA	Alarma de muy baja presión	DINT	
TAG	PID	Proporcional, Integral y Derevativo	PID	
TAG	PRESION	Valor escalado de la entrada de presión	REAL	
ALIAS	PSH	Switch de alta Presión	BOOL	Local:1:I.Data.4
TAG	TIMER_FILTRO	Temporizador para flitros	TIMER	
TAG	TIMER_FILTRO_AIRE	Temporizador para filtro de aire	TIMER	
TAG	TIMER_REFRIGERANTE	Temporizador para refrigerante	TIMER	
TAG	TIMER_TI	Temporizador TI	TIMER	
TAG	TOTAL_FILTRO_REFRIGERANTE	Totalizador de totales	DINT	
TAG	VELOCIDAD	Respuesta del Sistema	REAL	
ALIAS	VFD_ON	Control de encendido del variador de frecuencia		Local:2:O.Data.0
ALIAS	VSH	Switch de alta vibración		Local:1:I.Data.2
TAG	Alerta_Filtros	Mensaje Filtros	BOOL	
TAG	Alerta_Filtro_Aire	Mensaje Filtro Aire	BOOL	
TAG	Alerta_Refrigerante	Mensaje Refrigerante	BOOL	
TAG	Alerta_Sensores	Mensaje Sensores	BOOL	
TAG	AUX	Auxiliar para encendido	BOOL	
TAG	AUX_OFF	Auxiliar para apagado	BOOL	
TAG	ESD	Boton de paro de emergencia	BOOL	
TAG	HHPA	Alarma de muy alta presión	DINT	
TAG	HPA	Alarma de alta presión	DINT	
ALIAS	INDIC_PIT	Indicador de Presión	DINT	Local:3:O.Ch1Data
ALIAS	LIGHT_ESD	Luz de paro de emergencia	BOOL	Local:2:O.Data.4
ALIAS	LIGHT_OFF_COMPRESSOR	Luz de compresor apagado	BOOL	Local:2:O.Data.2
ALIAS	LIGHT_ON_COMPRESSOR	Luz de compresor encendido	BOOL	Local:2:O.Data.1
ALIAS	LIGHT_PSH	Luz de Switch de alta presión	BOOL	Local:2:O.Data.3
TAG	LPA	Alarma de baja presión	DINT	
ALIAS	OFF_COMPRESSOR	Boton de apagado de compresor	BOOL	Local:1:I.Data.1
ALIAS	ON_COMPRESSOR	Boton de encendido de compresor	BOOL	Local:1:I.Data.0

ALIAS	OUT	Indicador de variable de salida	DINT	Local:3:O.Ch0Data	
TAG	TIEMPO_VISUALIZACION	Temporizador visualización msn	TIMER		
TAG	T_OFF_COMPRESSOR	Temporizador de apagado de compresor	TIMER		
TAG	T_ON_COMPRESSOR	Temporizador de verificación de encendido de compresor	TIMER		
TYPE	ROUTINE	COMMENT	OWNING_ELEMENT	LOCATION	
RCOMMI	ALARMS	ALARMAS	OTE(LIGHT_HPA)		0
RCOMMI	INICIO	INDICADORES LUMINOSOS	OTE(LIGHT_ON_COMPRESSOR)		5
RCOMMENT	MANTENIMIENTO	PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO - CAMBIO FILTRO DE REFRIGERANTE E INSPECCIÓN DE LOS FILTROS DE AIRE, ACEITE Y ELEMENTO SEPARADOR	RTO(TIMER_FILTRO,?,?)		0
RCOMMI	MANTENIMIENTO	REVISIÓN SENSORES DE PRESIÓN Y TEMPERATURA	RTO(TIMER_TI,?,?)		5
RCOMMI	MANTENIMIENTO	CAMBIO DE FILTRO DE AIRE	RTO(TIMER_FILTRO_AIRE,?,?)		10
RCOMMI	MANTENIMIENTO	CAMBIO REFRIGERANTE ULTRA	RTO(TIMER_REFRIGERANTE,?,?)		15

PROGRAMACIÓN PANEL VIEW PLUS 700

Elementos

En la programación del Panel de Operador se utilizó:

Botones:

- “Login Buttom”
- “Logout Buttom”
- -Goto Display Buttom”
- “Momentary Push Buttom”

Displays o indicadores:

- “String Display”
- “Numeric Display”
- “Time Date Display”

Gráficos:

- “Gauge”
- “Bar Graph”
- “Trend Object”

Imágenes importadas:

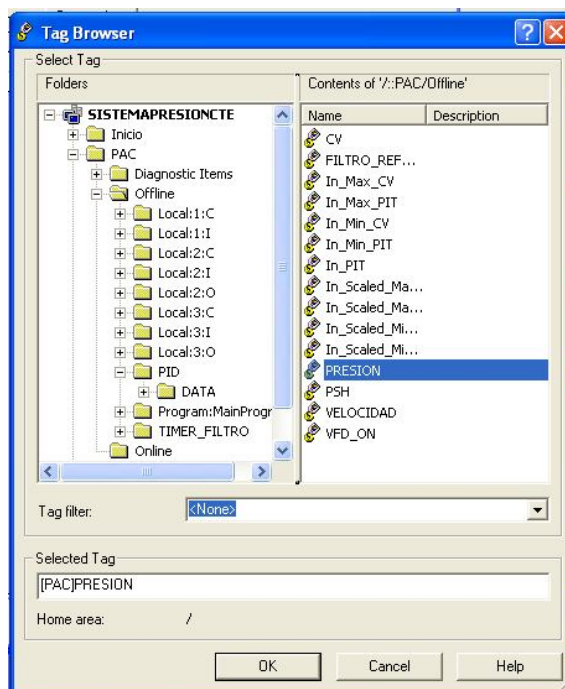
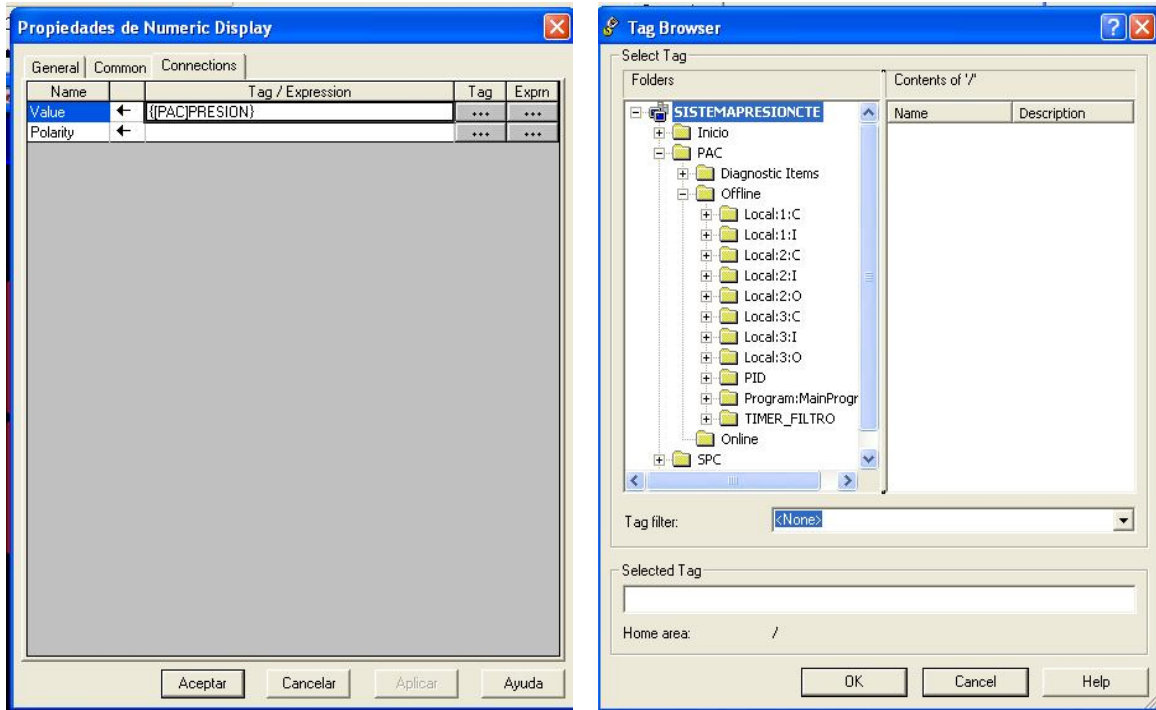
- “Logo Ingersoll-Rand”
- “Logo La-Llave”

Elementos de la librería de Factory Talk.

Creación de Pantallas

Una vez que se ordenó todos los elementos en las pantallas, a cada uno se le asignó el tag de acuerdo a su función, este tag es aquel que viene de la programación del PLC, para esto se hace doble click en el objeto, display, gráfico, etc., y aparece la pantalla de propiedades que consta de tres pestañas:

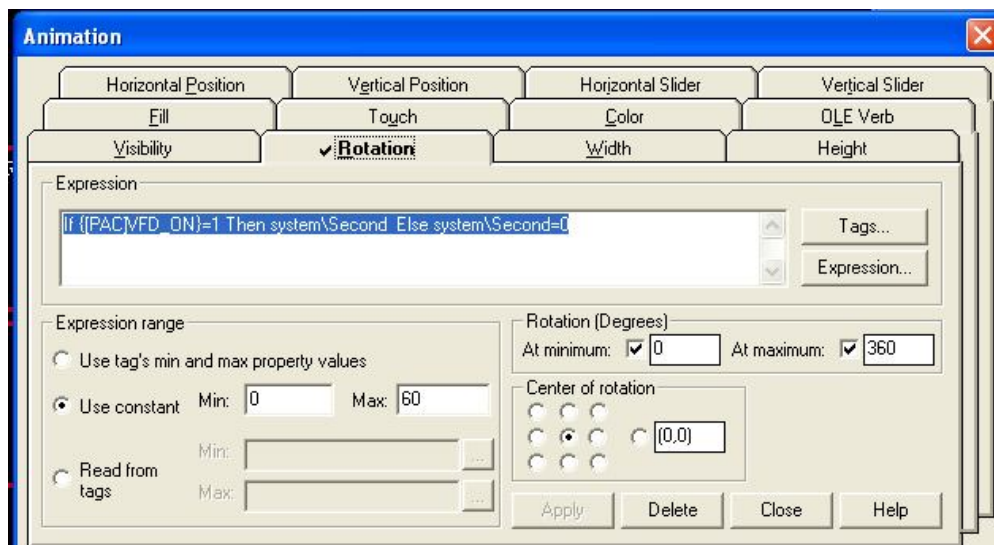
- General: Aquí se elige apariencia del elemento, texto, colores, valores.
- Common: En esta pestaña se escoge el tamaño del elemento y se puede observar el nombre de identificación del mismo.
- Connections: Desde aquí se enlaza al elemento con un tag del PLC como se muestra a continuación:



Esto se realiza para asignar tags a cada uno de los elementos que forman las pantallas del Panel View.

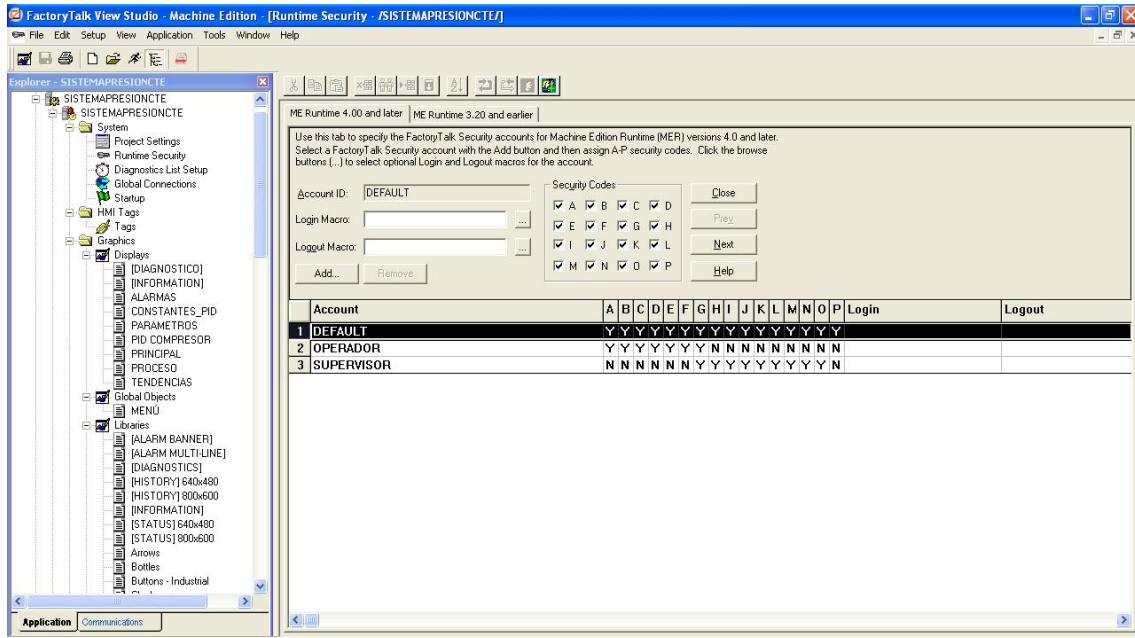
Animaciones

Para los elementos que necesitan animaciones se hace click derecho sobre el objeto y se selecciona la clase de animación que se requiere, posteriormente se ingresa el tag o la expresión que controlará dicha animación, como se puede observar a continuación:



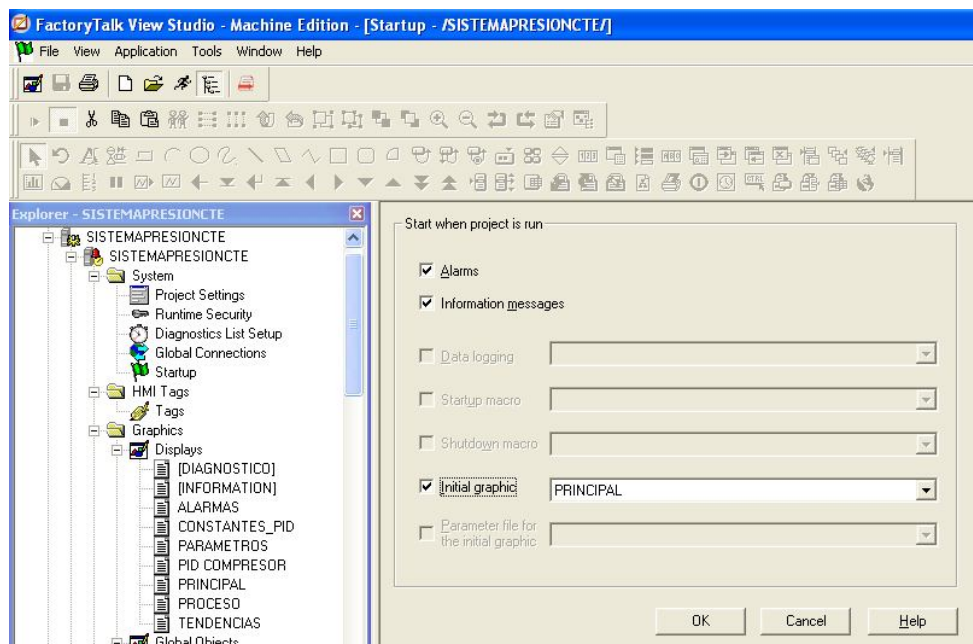
Seguridades

Para incluir seguridades al sistema, se ingresa a “Runtime Security” donde aparece una pantalla en donde se asigna los usuarios y el grado de seguridad.



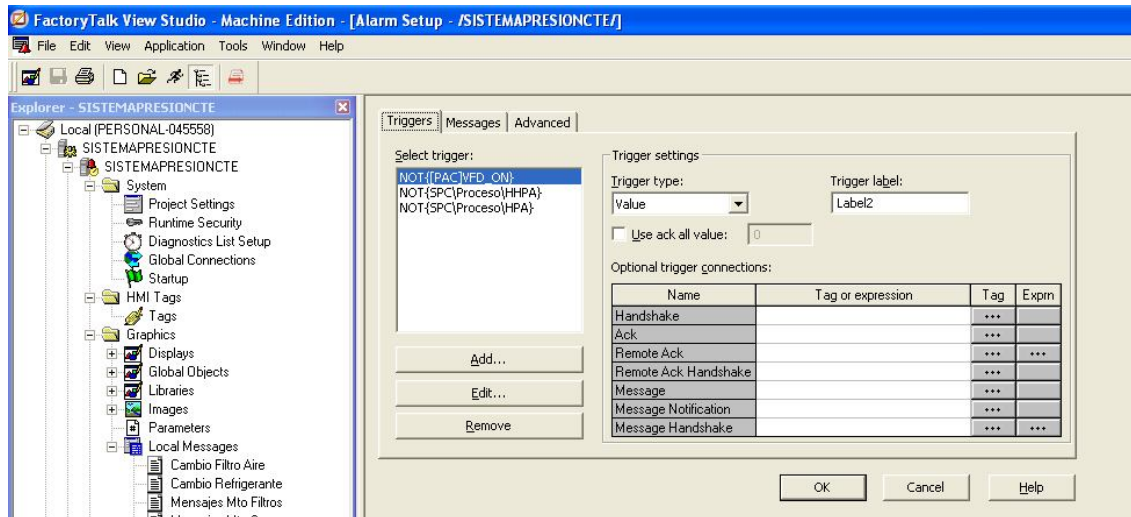
Configuración de pantalla de inicio

Para que al encender el Panel View aparezca la pantalla Principal se ingresa a “Startup”:



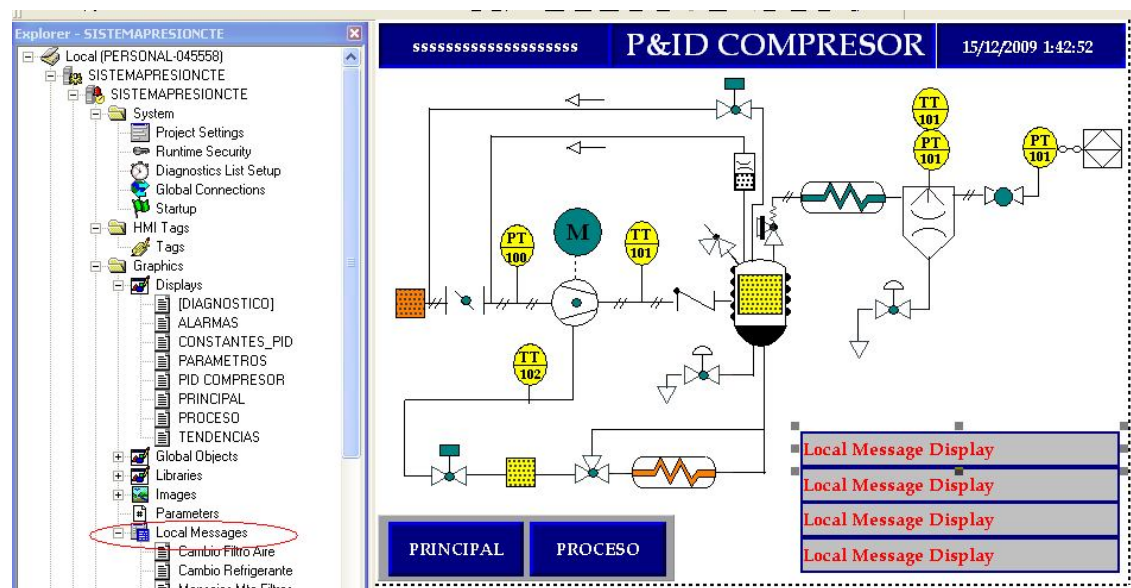
Alarmas

La configuración de alarmas se realiza en “Alarm Setup”, donde se configura las características que deben tener las alarmas que el sistema necesita:



Mensajes Locales

Si se requiere que en determinado momento aparezcan mensajes locales, se utiliza el botón “Local Message Display”, en la ventana de propiedades se escoge la apariencia que tendrá el mensaje y en la parte de Message file se direcciona al mensaje grabado previamente en la opción “Local Message” del menú de la parte izquierda, como se puede observar a continuación:



The image shows a software interface with a file explorer on the left and a main workspace on the right. The file explorer is titled 'Explorer - SISTEMAPRESIONCTE' and shows a tree view of project files, including folders for 'System', 'HMI Tags', 'Graphics', 'Displays', 'Global Objects', 'Libraries', 'Images', 'Parameters', 'Local Messages', and 'Alarms'. The 'Local Messages' folder is expanded, showing files like 'Cambio Filtro', 'Cambio Ref', 'Mensajes M', and 'Mensajes M'.

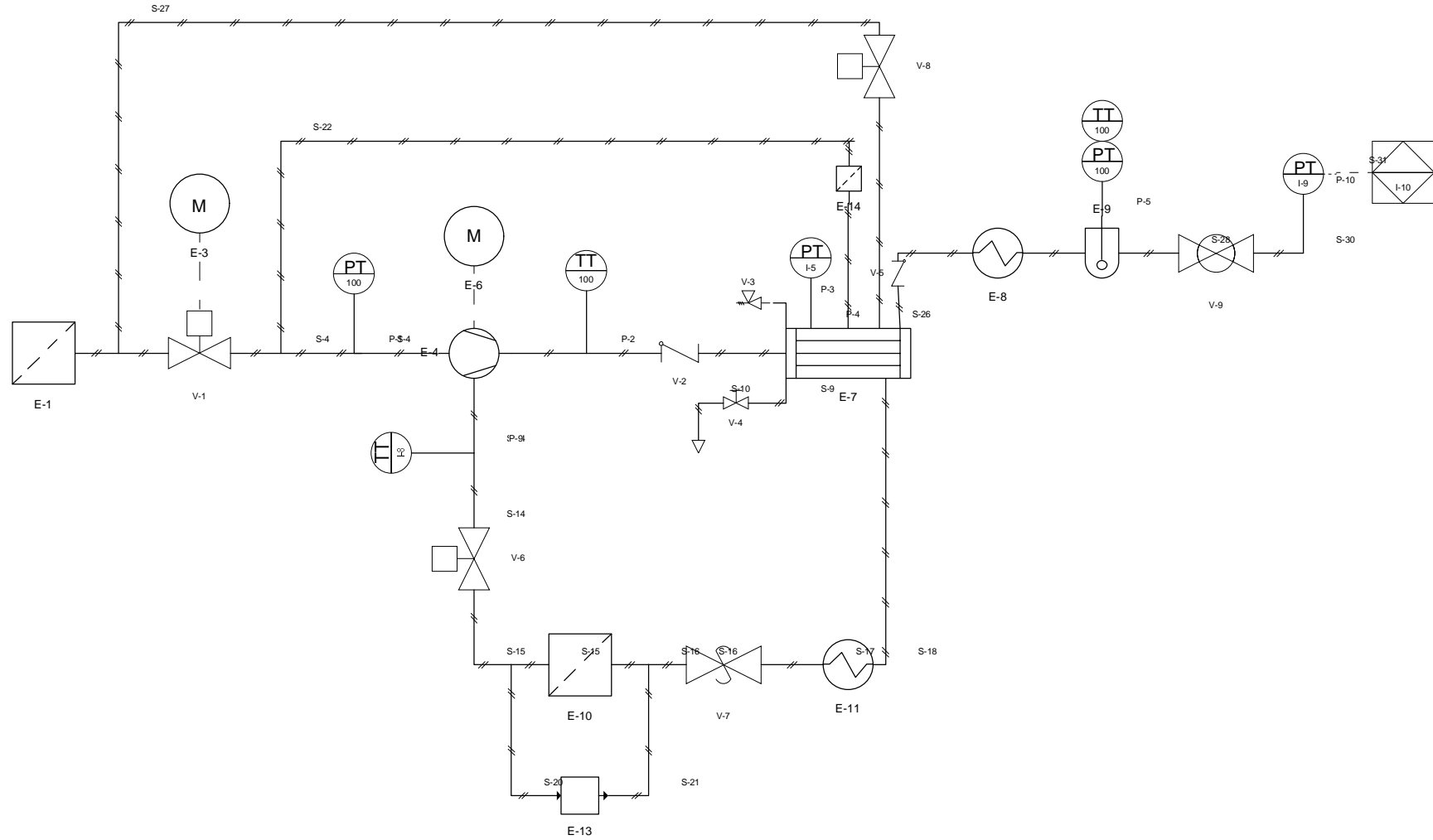
The main workspace is titled 'MPRESOR' and shows a process control diagram. The diagram includes a tank with a stirrer, a feed stream, and several control elements: a temperature sensor labeled 'TT 101', a pressure sensor labeled 'PT 101', and a control valve. The diagram is overlaid with a dashed box. Below the diagram, there are four stacked rectangular boxes, each containing the text 'Local Message Display' in red font.

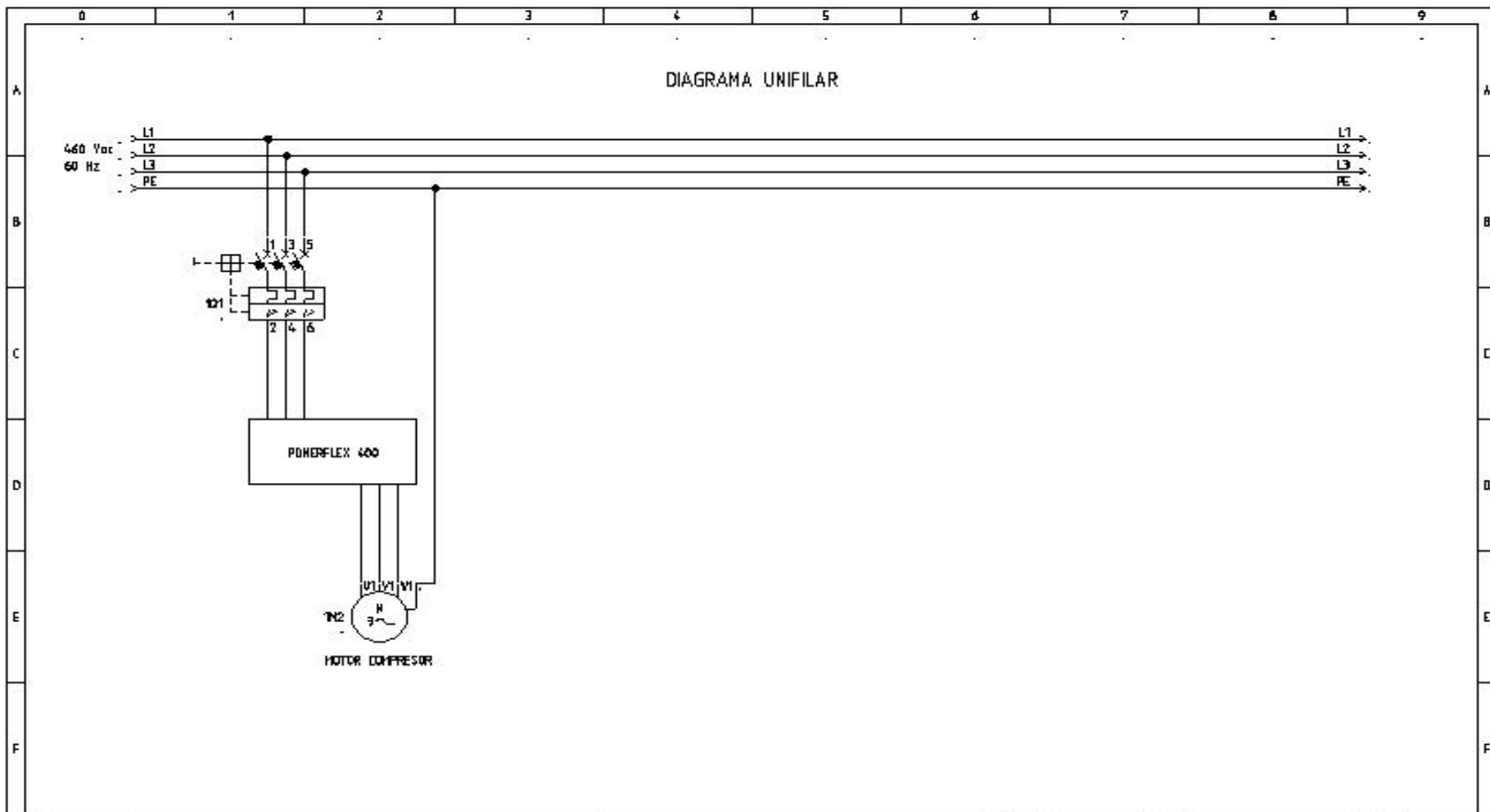
Overlaid on the workspace is a dialog box titled 'Propiedades de Local Message Display'. The dialog has three tabs: 'General', 'Common', and 'Connections'. The 'General' tab is active and contains the following settings:

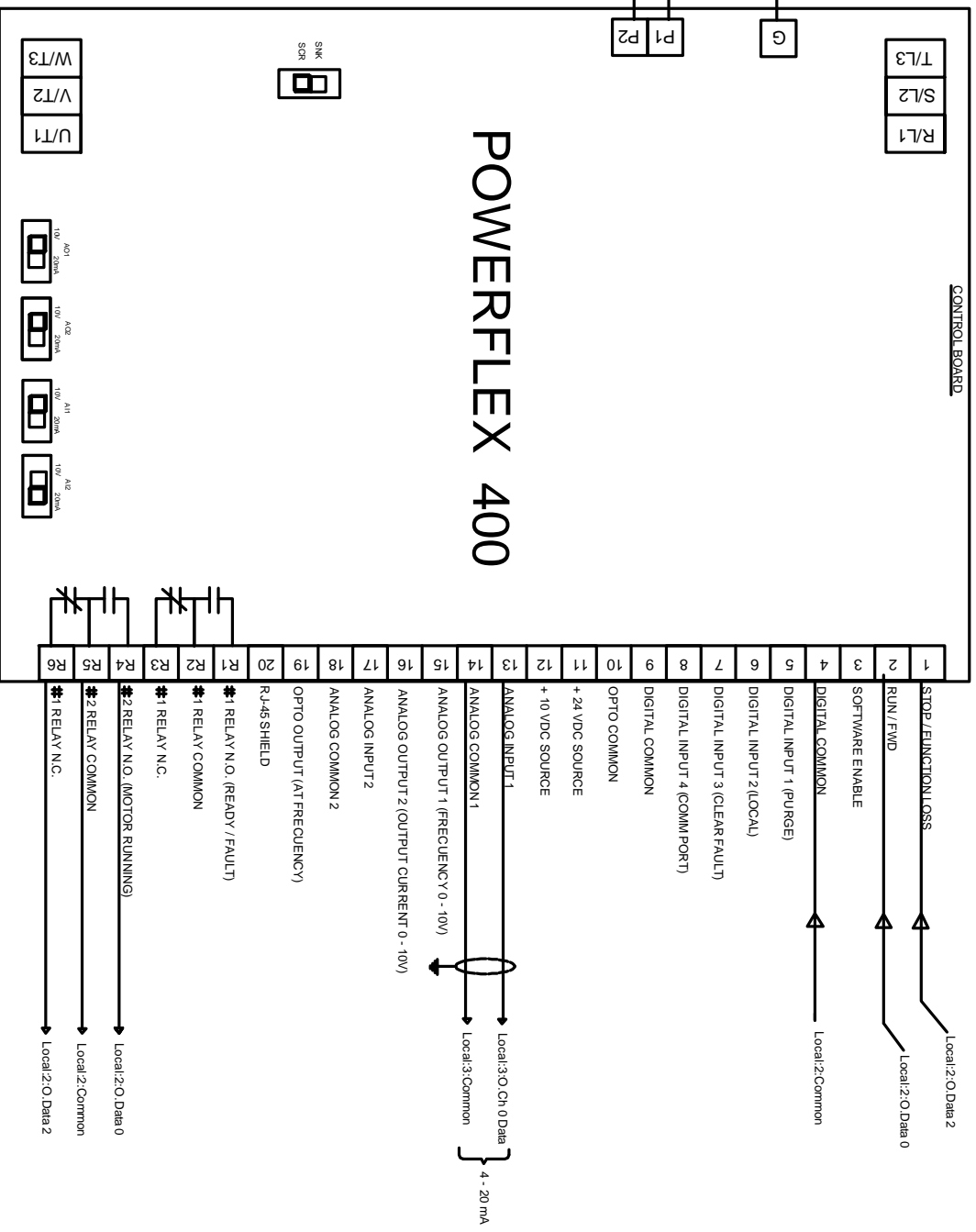
- Appearance:**
 - Border style: Line
 - Border width: 2
 - Border uses back color:
 - Back color:
 - Back style: Solid
 - Pattern style: None
 - Border color:
 - Pattern color:
 - Fore color:
 - Blink:
- Text:**
 - Font: Book Antiqua
 - Size: 11
 - Alignment: Left, Center, Right, Justify, Top, Bottom, Middle, Bottom-Left, Bottom-Right, Top-Left, Top-Right
 - Word wrap:
- Message file:** Mensajes Mto Filtros ...

Buttons at the bottom of the dialog are 'Aceptar', 'Cancelar', 'Aplicar', and 'Ayuda'.

P&ID







REV	DATE	BY



Conexiones de entradas y salidas analógicas y digitales a Variador de Frecuencia

