

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

**PROYECTO DE GRADO PARA LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**“OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL
OPERACIONAL Y RELEVO AUTOMÁTICO PARA LAS
BOMBAS DE AGUA DE ALIMENTACIÓN A CALDEROS DE LA
REFINERÍA ESTATAL ESMERALDAS”**

**NORMA DANIELA GRANJA TOLEDO
NELSON ENRIQUE ALTUNA GUEVARA**

SANGOLQUÍ – ECUADOR

MARZO 2006

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente proyecto de grado titulado **“Optimización del Sistema de Control Operacional y Relevé Automático para las Bombas de Agua de Alimentación a Calderos de la Refinería Estatal Esmeraldas.”** ha sido desarrollado en su totalidad por la Srta. Norma Daniela Granja Toledo con C.I. 170807888-4 y el Sr. Nelson Enrique Altuna Guevara con C.I. 080191585-1 bajo nuestra dirección.

Ing. Hugo Ortiz
DIRECTOR

Ing. Rodolfo Gordillo
CODIRECTOR

AGRADECIMIENTO

A mis queridos padres Norma y Nelson, por su guía y apoyo incondicional.

A mis hermanos Valentina y Nelson, por ser más que mis hermanos mis grandes amigos.

A mi ñaña Fanicita, por todo su cariño.

A mi compañero de tesis por ser más que un compañero un gran amigo.

A mis profesores y colaboradores por todo el apoyo que me brindaron en la realización de este proyecto.

Y de corazón mi agradecimiento para aquella persona que con su amor a sabido alentarme para seguir adelante y cumplir con mis metas.

Para todos ellos mi más sincera gratitud.

Daniela Granja.

AGRADECIMIENTO

Al culminar esta etapa de mi formación quiero expresar mis más sinceros agradecimientos a las personas que hicieron posible alcanzar esta meta.

A mis padres, Nelson y Doroty, gracias por todo el cariño y enseñanzas que me brindaron, las llevo siempre en el corazón.

A mis hermanos, Alex y María Verónica, a quienes quiero muchísimo.

A Viviana, quien con su cariño y palabra de aliento estuvo siempre a mi lado dándome alegrías.

A mi compañera Daniela, gracias por ser mi gran amiga.

A mis amigos con quienes compartimos siempre en las buenas y en las malas, en especial Mauricio y Juan Gabriel.

A los señores ingenieros Hugo Ortíz, Rodolfo Gordillo y Gustavo Pavón por su valiosa colaboración en la realización de este proyecto.

A todos ustedes gracias por todo.

Nelson Altuna

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a mi padre por su gran ejemplo de esfuerzo y trabajo para alcanzar sus metas.

A mi madre por su amor y dedicación.

Y a mi sobrinita Sami por traer a mi vida tanta ternura y alegría.

Daniela Granja.

DEDICATORIA

Todo mi trabajo y esfuerzo se lo dedico a quienes con su amor y comprensión me enseñaron a seguir siempre adelante; estando a mi lado y apoyándome en cada meta trazada. Todo cuanto soy es gracias a ellos.

Mis padres: Nelson y Doroty

Nelson Altuna.

PRÓLOGO

El presente proyecto tiene por objeto diseñar un sistema de control automático eficiente y confiable para las bombas YP-7003 ABCD del área de Utilidades de Refinería, las cuales entregan a los calderos el flujo de agua necesario para la generación del vapor que requiere la planta para su funcionamiento.

Este sistema está formado por cuatro bombas centrífugas de 500 Kw de potencia, dos accionadas por motores y dos por turbinas, las mismas que descargan a una línea común.

El diseño del control esta basado en la utilización de un PLC para administrar el sistema, variadores de velocidad y gobernadores electrónicos como elementos finales de control, y transmisores para obtener señales de presión y flujo. Además se desarrolló una interfaz gráfica, que se comunica con el PLC vía Modbus para permitir al operador interactuar con el proceso.

El sistema de control diseñado garantiza el abastecimiento ininterrumpido de agua, y el control de las variables del proceso evita que equipos costosos y delicados trabajen fuera de los parámetros de diseño, previniendo así daños y reduciendo el consumo de energía.

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN

| | |
|--------------------------------------------------------------------------|----|
| 1.1. ANTECEDENTES | 1 |
| 1.2. OBJETIVOS DEL PROYECTO | 3 |
| 1.2.1. OBJETIVO GENERAL | 3 |
| 1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 3 |
| 1.3. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO | 4 |
| 1.4. IMPORTANCIA DEL PROYECTO | 5 |
| 1.5. PROCESO DE GENERACIÓN DE VAPOR EN REFINERÍA | 5 |
| 1.5.1. MODIFICACIONES REALIZADAS EN EL SISTEMA DE GENERACIÓN DE VAPOR | 7 |
| 1.5.2. SITUACIÓN ACTUAL DEL SISTEMA DE GENERACIÓN DE VAPOR | 11 |

CAPÍTULO 2 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

| | |
|----------------------------------|----|
| 2.1. CONCEPTOS GENERALES | 12 |
| 2.1.1. CARGA O COLUMNA | 12 |
| 2.1.2. CARGA TOTAL DE UN SISTEMA | 13 |
| 2.1.3. POTENCIA AL FRENO | 15 |

| | |
|------------------------------------------------|----|
| 2.1.4. VELOCIDAD ESPECÍFICA | 15 |
| 2.1.5. LEYES DE AFINIDAD | 16 |
| 2.1.6. CARGA NETA POSITIVA DE SUCCIÓN (NPSH) | 17 |
| 2.1.7. CAVITACIÓN | 18 |
| 2.1.8. CURVAS CARACTERÍSTICAS DE UNA BOMBA | 20 |
| 2.1.9. CURVA DE CARGA DEL SISTEMA | 20 |
| 2.2. BOMBAS CENTRÍFUGAS | 23 |
| 2.2.1. DEFINICIÓN | 23 |
| 2.2.2. CARACTERÍSTICAS DE UNA BOMBA CENTRÍFUGA | 24 |
| 2.2.3. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO | 25 |
| 2.2.4. FUNCIONAMIENTO DE BOMBAS EN PARALELO | 27 |
| 2.3. CALDEROS | 28 |
| 2.3.1. CALDEROS ACUATUBULARES | 29 |

CAPÍTULO 3

SISTEMA DE CONTROL

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.1. ESTUDIO DEL SISTEMA ACTUAL DE ALIMENTACIÓN DE AGUA A CALDEROS | 33 |
| 3.1.1. DESCRIPCIÓN DE LAS INSTALACIONES | 33 |
| 3.1.2. FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA | 37 |
| 3.1.3. LAZO DE NIVEL DE LOS CALDEROS | 37 |
| 3.2. ANÁLISIS DE LOS PRINCIPALES PROBLEMAS EN LAS INSTALACIONES DEL SISTEMA ACTUAL | 38 |
| 3.2.1. DIFERENCIA DE CABEZAS DE PRESIÓN DE LAS BOMBAS | 38 |
| 3.2.2. BAJO NPSH DISPONIBLE | 40 |
| 3.2. ANÁLISIS DE LOS PRINCIPALES PROBLEMAS DE OPERACIÓN DEL SISTEMA ACTUAL | 41 |

| | |
|------------------------------------|----|
| 3.3.1. ARRANQUE INCORRECTO | 41 |
| 3.3.2. DESPERDICIO DE ENERGÍA | 41 |
| 3.3.3. RELEVOS POCO EFICIENTES | 42 |
| 3.4. REQUERIMIENTOS DE REFINERÍA | 43 |
| 3.5. DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL | 44 |
| 3.5.1. FILOSOFÍA DE CONTROL | 44 |
| 3.5.2. LAZO DE CONTROL | 45 |
| 3.5.3. RELEVOS AUTOMÁTICOS | 47 |
| 3.5.4. DIAGRAMA GENERAL | 49 |
| 3.5.5 ESPECIFICACIONES | 51 |

CAPÍTULO 4

DESARROLLO DEL SOFTWARE

| | |
|-------------------------------------------------------|----|
| 4.1. DESARROLLO DEL SOFTWARE DE CONTROL | 55 |
| 4.1.1. MAPA DE VARIABLES | 55 |
| 4.1.2. LÓGICA DE OPERACIÓN DEL SOFTWARE DE CONTROL | 61 |
| 4.2. DESARROLLO DE LA INTERFAZ HOMBRE-MAQUINA (HMI) | 68 |

CAPÍTULO 5

SIMULACIÓN

| | |
|-------------------------------------------|----|
| 5.1. INTRODUCCIÓN | 74 |
| 5.2. CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE (PLC) | 74 |
| 5.3. VARIADORES DE VELOCIDAD (VFD) | 76 |

| | |
|-------------------------------------------------------|----|
| 5.4. TRANSMISORES DE PRESIÓN | 79 |
| 5.5. TRANSMISORES DE FLUJO | 80 |
| 5.6. DESCRIPCIÓN DEL MÓDULO DE SIMULACIÓN | 82 |
| 5.7. DESARROLLO DEL SOFTWARE DE CONTROL | 84 |
| 5.7.1. MAPA DE VARIABLES | 84 |
| 5.7.2. LÓGICA DE OPERACIÓN DEL SOFTWARE DE CONTROL | 88 |
| 5.8. DESARROLLO DE LA INTERFAZ HOMBRE-MÁQUINA (HMI) | 94 |

CAPÍTULO 6

PRUEBAS Y RESULTADOS

| | |
|----------------------------------------------|-----|
| 6.1. OPERACIÓN DEL SISTEMA CON UNA BOMBA | 99 |
| 6.1.1. PRESIÓN MÁXIMA Y PRESIÓN DE OPERACIÓN | 99 |
| 6.1.2. FLUJO MÁXIMO A PRESIÓN DE OPERACIÓN | 101 |
| 6.1.3. PUNTO DE OPERACIÓN NORMAL | 102 |
| 6.2. PERTURBACIÓN EN EL SISTEMA | 103 |
| 6.2.1. DISMINUCIÓN DE LA DEMANDA DE FLUJO | 104 |
| 6.2.2. AUMENTO DE LA DEMANDA DE FLUJO | 106 |
| 6.3. RELEVOS AUTOMÁTICOS | 108 |
| 6.3.1. ACTIVACIÓN DEL RELEVO | 108 |
| 6.3.2. DISTRIBUIDOR DE CARGA | 110 |
| 6.3.3. DESACTIVACIÓN DEL RELEVO | 113 |

CAPÍTULO 7

ANÁLISIS ECONÓMICO

| | |
|------------------------------------------|-----|
| 7.1. INVERSIÓN INICIAL | 116 |
| 7.2. AHORRO ENERGÉTICO | 117 |
| 7.3. COSTO POR PARALIZACIÓN DE LA PLANTA | 119 |
| 7.4. FLUJO DE CAJA | 120 |
| 7.5. VALOR ACTUAL NETO (VAN) | 120 |
| 7.6. TASA INTERNA DE RETORNO (TIR) | 121 |

CAPÍTULO 8

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

| | |
|----------------------|-----|
| 8.1. CONCLUSIONES | 122 |
| 8.2. RECOMENDACIONES | 124 |

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

ANEXOS

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE TABLAS

GLOSARIO DE TÉRMINOS

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES

Refinería Estatal Esmeraldas (REE) es uno de los tres centros de producción de derivados de petróleo del Ecuador, figura 1.1, cuyo objetivo es satisfacer la demanda de combustibles a nivel nacional para mover el aparato productivo del país generando riqueza y ahorro de divisas. La refinería está constituida por varias unidades de procesos, las cuales se encuentran concatenadas entre sí, razón por la cual el buen funcionamiento de cada una de las unidades es de vital importancia para su desempeño global e influye directamente en la economía del país.



Figura. 1.1. Vista panorámica de Refinería Estatal Esmeraldas

En la actualidad las empresas buscan ser más eficientes, evitando el desperdicio de recursos y optimizando sus procesos para alcanzar una mayor

rentabilidad. La automatización es una herramienta que mejora la operabilidad de los sistemas y a la vez brinda protección tanto al personal como a los equipos involucrados en los diferentes procesos, dando como resultado mejores índices de productividad. REE consciente de los beneficios de la automatización, a partir del año 1997 ha emprendido un proceso de modernización de sus instalaciones, implementando un Sistema de Control Distribuido con tecnología de punta para el control de procesos.

REE se encuentra dividida en varias áreas operativas, una de las cuales es la Unidad de Servicios Auxiliares; esta unidad se encarga de todos los procesos de apoyo los cuales son indispensables para la operación de la planta, tales como: desmineralización del agua, producción de vapor, generación de energía eléctrica, suministro de combustibles entre otros.

La capacidad de generación de vapor de la refinería es de aproximadamente 400 toneladas por hora con una presión de 600 PSI (42,2 Kg/cm²) y 395 °C de temperatura, producidas por 4 calderos de combustión directa y 2 generadores de vapor por intercambio de calor.

El suministro de agua de alimentación a los calderos se lo realiza por medio de cuatro bombas, dos de ellas impulsadas por motores eléctricos y dos por turbinas a vapor.

Cuando se ejecutan proyectos de automatización en una industria de alta complejidad como una refinería de petróleo, ocasionalmente pueden existir ciertos sistemas que no son susceptibles de integrarse al sistema control central por sus condiciones particulares de operación y deben ser tratados como islas de automatización para que puedan funcionar sincronizadamente con los demás componentes de la planta. Este es el caso del sistema de alimentación de agua a calderos de REE, el cual debe operar como un paquete autónomo de gran confiabilidad porque de su funcionamiento depende la operación de toda la Refinería.

1.2 OBJETIVOS DEL PROYECTO

1.2.1 Objetivo General

Optimizar el sistema de control operacional y automatizar los relevos para las bombas de agua de alimentación a calderos en REE.

1.2.2 Objetivos Específicos

Los objetivos específicos de este proyecto se detallan a continuación:

- Fundamentar teóricamente el funcionamiento de las bombas y otros sensores y actuadores utilizados en el proceso.
 - Analizar las condiciones de operación de las bombas motorizadas (500 Kw) del sistema de agua de alimentación a calderos.
 - Analizar las condiciones de operación de las bombas impulsadas por turbina de vapor del sistema.
 - Recopilar y analizar la información existente en el Archivo Técnico de REE, relacionada con los distintos proyectos ejecutados.
 - Estudiar el proceso de generación de vapor en el área de utilidades de REE.
 - Diseñar un sistema de control que permita optimizar el trabajo de las bombas y asegurar el correcto funcionamiento de las mismas.
 - Programar la lógica de los relevos automáticos para las bombas de agua de alimentación a calderos.
-

-
- Diseñar el sistema de protección (hardware y software) de las bombas, para evitar daños e incrementos de costos de mantenimiento.
 - Simular en laboratorio los esquemas de relevo automático, protección y lazos de control tal como deben implementarse, con la finalidad de optimizar el sistema de alimentación de agua a calderos.
 - Dimensionar y seleccionar el equipo de control que se requiera.
 - Especificar la instrumentación que debe incluirse en el proyecto.
 - Desarrollar el interfaz Hombre-Maquina (HMI), necesario para el sistema.

1.3 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

En la actualidad el abastecimiento de agua para el proceso de generación de vapor de REE presenta graves problemas, debido a que fundamentalmente no cuenta con un sistema de control automático dedicado, para realizar las funciones de control del proceso, protección del equipo y relevo automático de bombas en caso de que se produzca una falla en alguna de las que estén en funcionamiento.

Cabe recalcar que el suministro de alimentación de agua a calderos se lo realiza por medio de cuatro bombas (500Kw c/u), dos de ellas impulsadas por motores eléctricos y dos por turbinas a vapor, el concepto básico de funcionamiento es dos unidades operando y dos en Stand By.

De acuerdo a datos históricos existentes en REE, en varias ocasiones se han producido paradas generales de la planta y daños graves en las bombas, con las consiguientes pérdidas económicas para la empresa debido a que como se dijo anteriormente, no existe un dispositivo que controle, proteja y administre el funcionamiento de esta sección tan importante.

1.4 IMPORTANCIA DEL PROYECTO

La generación de vapor es un proceso crítico para la operabilidad de refinería, consecuentemente el trabajo de las bombas de alimentación de agua a calderos es de vital importancia, porque la función de las mismas es proporcionar un flujo de agua de acuerdo a la demanda de vapor de las distintas unidades de REE; manteniendo una presión de diseño para que pueda ingresar el agua a los calderos y conservar un nivel constante en los domos de los mismos; si los calderos no reciben la carga de agua necesaria su funcionamiento se debe detener inmediatamente, para protegerlos de daños graves. Los calderos proporcionan el vapor que utiliza toda la planta para llevar a cabo los diferentes procesos incluyendo la generación de energía eléctrica en los turbogeneradores; es decir, si estos no trabajan se paraliza la planta.

La importancia de este proyecto se la puede visualizar si se considera que un día de paralización de REE le cuesta al país aproximadamente 1'200.000,00 dólares. Teniendo en cuenta que luego de una parada general, se requieren por lo menos de 3 días para normalizar las operaciones de todas las unidades, podemos apreciar la gran incidencia de este proyecto.

La optimización del sistema de control operacional para las bombas de alimentación de agua a calderos asegurará un funcionamiento eficiente, confiable y continuo de esta área de primordial importancia para el normal funcionamiento de REE, evitando de esta manera grandes pérdidas económicas para el país. El control de las diferentes variables involucradas en el proceso también evitará que equipos altamente costosos y delicados trabajen en condiciones por fuera de los parámetros de diseño y seguridad, previniendo de este modo daños en los mismos y reduciendo considerablemente el consumo de energía.

1.5 PROCESO DE GENERACIÓN DE VAPOR EN REFINERÍA

A continuación se explicará el proceso de generación de vapor en Refinería, haciendo referencia a la figura 1.2.

El agua del río Esmeraldas es bombeada hasta unas piscinas en las cuales los sólidos son decantados, a continuación se somete a un proceso de clarificación con la finalidad de remover los sólidos en suspensión y posteriormente es clorada para evitar la formación de materia orgánica, luego es bombeada hacia los filtros de arena Y-ME7008 en los cuales se eliminan los residuos de los sólidos suspendidos. El agua filtrada es almacenada en el tanque de agua filtrada Y-T7003 y luego se envía hacia los filtros de carbón activado Y-ME7009 en los cuales se elimina el cloro residual.

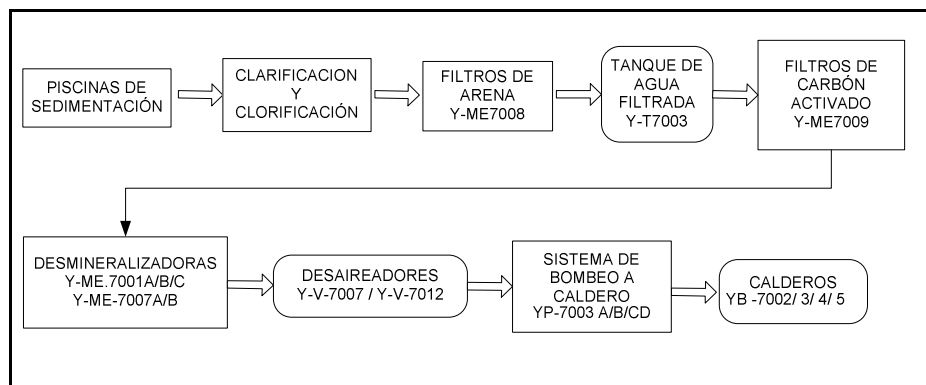


Figura. 1.2. Proceso de generación de vapor

El agua filtrada es luego introducida en las desmineralizadoras Y-ME-7001A/B/C y Y-ME-7007A/B, cuyo objetivo es remover los sólidos disueltos en el agua de tal manera que la conductancia específica, sílice residual y dureza total alcancen los parámetros adecuados para ser suministrados a los calderos como agua tratada.

Luego del proceso de desmineralización, el agua ingresa a los desaireadores Y-V-7007 / Y-V-7012 cuya misión es eliminar los componentes gaseosos (aire, oxígeno, anhídrido carbónico y otros gases) que pueden formar parte de la corriente de agua de alimentación. Su funcionamiento consiste en dividir el agua de alimentación en finas gotitas, las cuales al caer son calentadas y vaporizadas por medio de vapor a 3,5 kg/cm² de presión y 157 °C de temperatura, el mismo que es suministrado en contracorriente para de esta manera separar el oxígeno, aire, anhídrido carbónico y otros gases del vapor a medida que este se va condensando nuevamente. En el interior de los desaireadores la interacción entre el agua fresca y vapor suministrado hacen que parte de este se condense y el

resto escape a la atmósfera llevándose consigo los gases eliminados. De esta manera se consigue mantener la presión en $3,5 \text{ kg/cm}^2$ y la temperatura del agua alcanza el valor de saturación correspondiente a esa presión la cual es de $147 \text{ }^\circ\text{C}$.

El agua proveniente de los desaireadores es bombeada mediante el sistema de bombas YP-7003 A/B/CD hacia los calderos YB -7002/ 3/ 4/ 5, los cuales son de tipo acuatubular; en los calderos la energía química contenida en el combustible se convierte en energía térmica mediante su combustión. El calor resultante será transferido a un fluido agua-vapor contenido en los tubos del caldero, de tal forma que al calentarse el agua, esta cambia de estado transformándose en vapor saturado, el mismo que es sometido a un proceso de sobrecalentamiento con la finalidad de transmitirle más energía.

Este vapor sobrecalentado a alta presión será inyectado a una turbina de vapor en donde su expansión provocará la transformación de la energía térmica en energía mecánica la misma que hace mover de forma circular los alabes de una turbina, este movimiento se utiliza para generar electricidad. Esto se consigue mediante la acción de un alternador acoplado con el eje de la turbina de vapor.

De esta manera REE logra generar aproximadamente 400 toneladas/h de vapor y una parte de este se utiliza en los turbo generadores para producir 22Mwh de energía con lo que abastece casi en su totalidad la demanda de energía de la planta.

1.5.1 Modificaciones realizadas en el sistema de generación de vapor

Para entender mejor los problemas existentes en el sistema de generación de vapor es necesario conocer los inicios del mismo y las diferentes modificaciones realizadas.

En 1976, figura 1.3, se construye REE con una capacidad de producción de 55.000 BPDO¹. Para abastecer la demanda de vapor se contaba con 3 calderos

¹ Barriles por día de operación

cada uno con capacidad de 80 T/h, estos eran el YB-7001, YB-7002 y YB-7003. Además el sistema de alimentación de agua a calderos contaba con 2 bombas, la bomba Y-P7003A y la bomba Y-P7003B cada una con una capacidad de 260 m³/h y una presión de descarga de 52,5 Kg/cm². Por otro lado en esta instalación se contaba con un único desaireador.

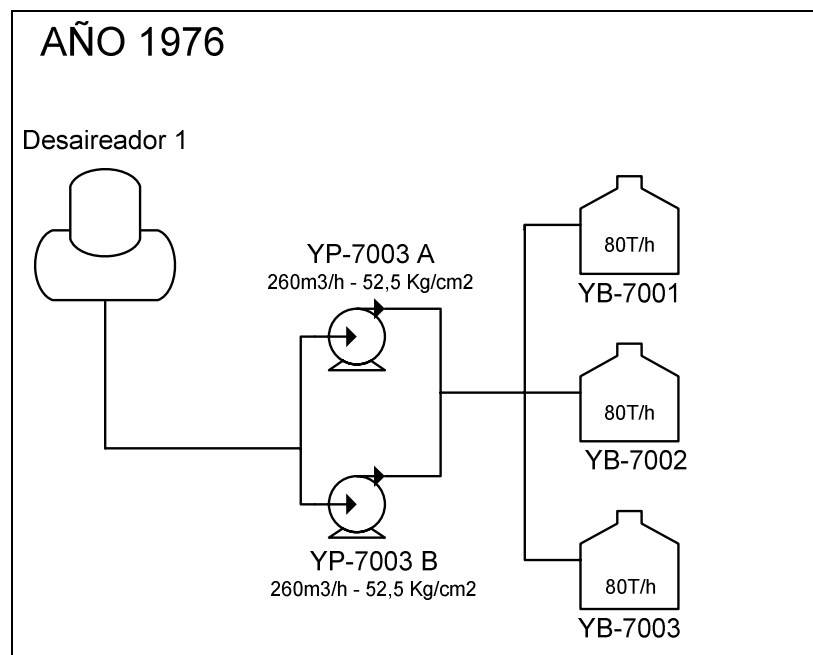


Figura. 1.3. Instalación año 1976

En 1981, figura 1.4, se adquiere un nuevo caldero denominado YB-7004 con capacidad de 114 T/h, debido a fallas presentadas por los calderos existentes. Además este caldero venía con un conjunto de bombas, denominadas Y-P7003C y Y-P7003D, de uso exclusivo para alimentar este caldero. Cada bomba tenía una capacidad de 304 m³/h a 48 Kg/cm² de presión de descarga.

En 1988, figura 1.5, con la ampliación de REE a 90.000 BPDO, se instala un desaireador adicional y se modifican las líneas del sistema de agua de alimentación, unificando la succión y descarga de todas las bombas, presentándose el problema de que se tenían dos pares de bombas con cabezas diferentes.

Posteriormente, como se muestra en la figura 1.6, se cambiaron los calderos YB-7002 y YB-7003 por nuevos calderos de 90 T/h. y se repotenció la bomba Y-

P7003B, con el problema de que existían en ese entonces 4 bombas con 3 cabezas de presión diferentes.

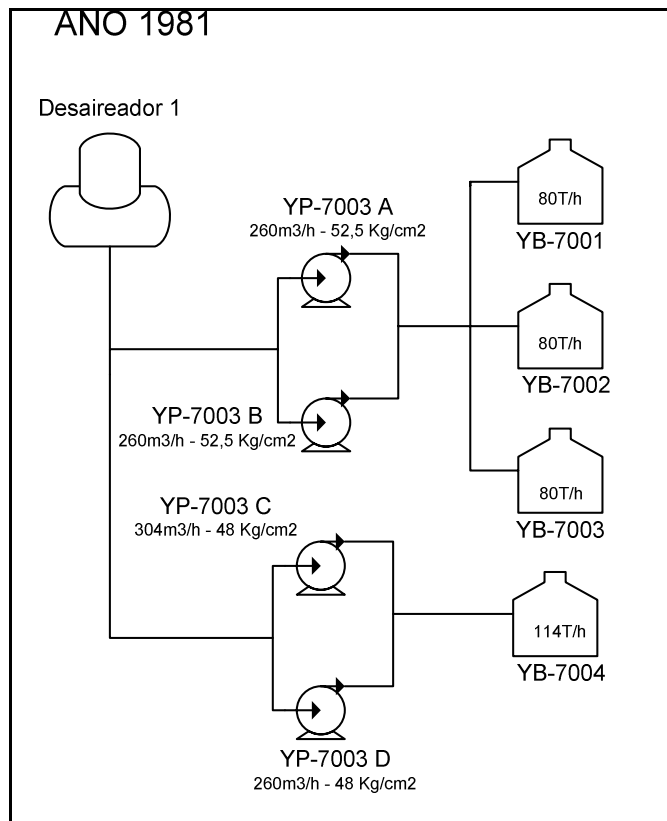


Figura. 1.4. Instalación año 1981

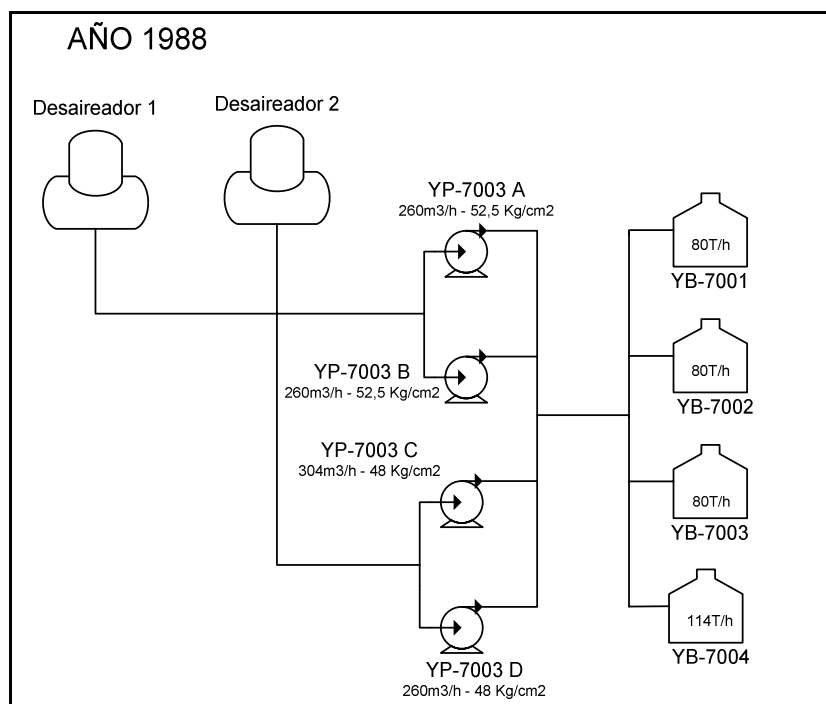


Figura. 1.5. Instalación año 1988

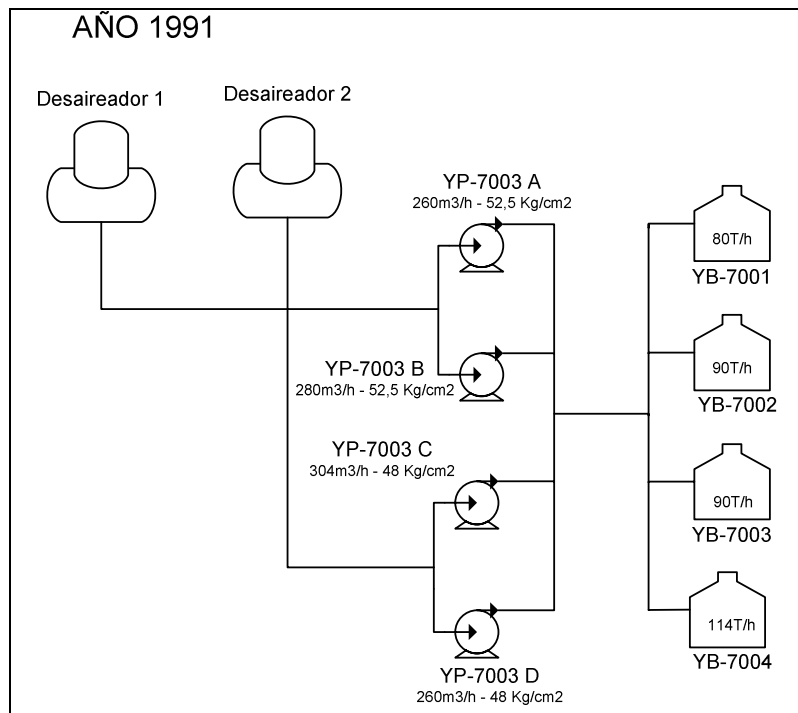


Figura. 1.6. Instalación año 1991

En 1997, figura 1.7, en la nueva ampliación de refinería a 110.000 BPDO se adquirió un nuevo caldero de 100 T/h para reemplazar al caldero YB-7001 que salió de servicio por excesivo deterioro. Este nuevo caldero fue llamado YB-7005.

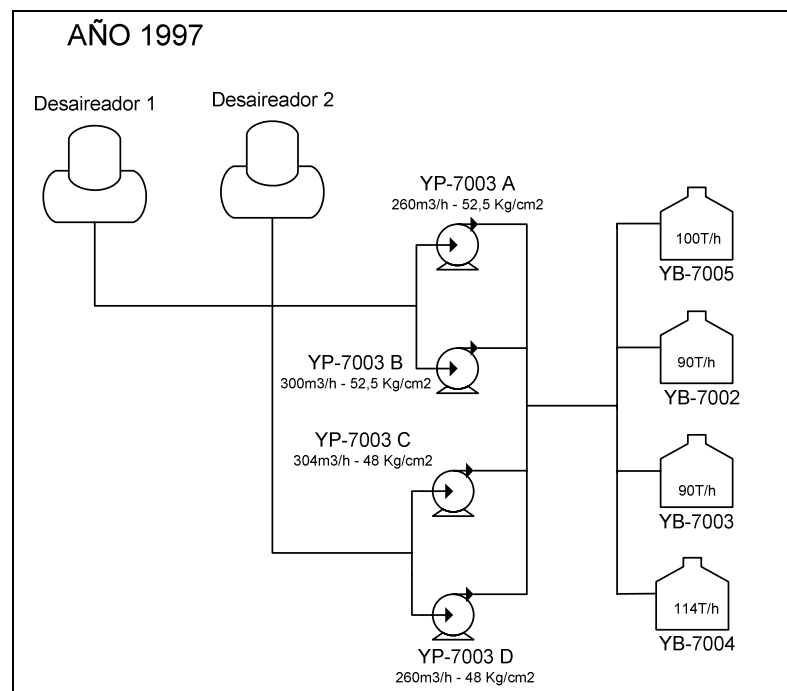


Figura. 1.7. Instalación año 1997

Con todos los cambios realizados en el sistema se modificó la estructura original del mismo, lo cual causa en la actualidad varios problemas en el desempeño de las bombas, problemas que se citarán mas adelante.

1.5.2 Situación actual del sistema de generación de vapor

En la actualidad existen 4 calderos (YB-7002, YB-7003, YB-7004, YB7005) y 2 calderetas (FE-9 y P2E-xx) para la generación de todo el vapor que utiliza la planta. El vapor producido debe ser saturado, a una presión de 600 PSI (42,2 Kg/cm²) y 395°C de temperatura. En conjunto estos calderos pueden generar aproximadamente 400 T/h de vapor.

Los generadores de vapor están diseñados en base a las condiciones establecidas en la Tabla. 1.1.

Tabla. 1.1. Condiciones de diseño de los generadores de vapor

| | |
|----------------------------------------------------------|------------------------|
| Presión de vapor a la salida del desupercalentador | 42,2Kg/cm ² |
| Presión de diseño: | 49 Kg/cm ² |
| Temperatura del vapor a la salida del desupercalentador: | 395°C |
| Temperatura del agua de alimentación a la entrada: | 147°C |

La capacidad de generación de cada caldero se especifica en la Tabla. 1.2.

Tabla. 1.2. Capacidad de generación de vapor de los calderos

| | YB-7002 | YB-7003 | YB-7004 | YB-7005 |
|-----------------|---------|---------|---------|---------|
| Capacidad (T/h) | 90 | 90 | 114 | 100 |

CAPÍTULO 2

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1 CONCEPTOS GENERALES

2.1.1 Carga o columna

Una columna de agua u otro líquido en un tubo vertical desarrolla una cierta presión (fuerza/unidad de área) sobre la superficie horizontal en el fondo del tubo. Esta presión puede expresarse en kg/cm², o como el número de metros del líquido que ejerce una presión igual sobre la misma superficie. La altura de la columna del líquido que produce la presión en cuestión se conoce como carga y el peso del líquido que actúa sobre la superficie es lo que produce la presión.

Para entender mejor el concepto se citará el siguiente ejemplo:

En una columna vertical de agua fría entre 0 y 27°C (densidad= 1) con una altura de 10m, se coloca un medidor de presión en la base, que indicará una presión de 1 kg/cm². En una columna de gasolina cuya densidad es 0,75 se necesitan 13,3 m de altura para producir la misma presión en la base, ver figura 2.1.

Así columna y presión están relacionadas por la ecuación 2.1.

$$Columna(m) = \frac{10 * Presión(kg / cm^2)}{densidad} \quad \text{Ec. 2.1.}$$

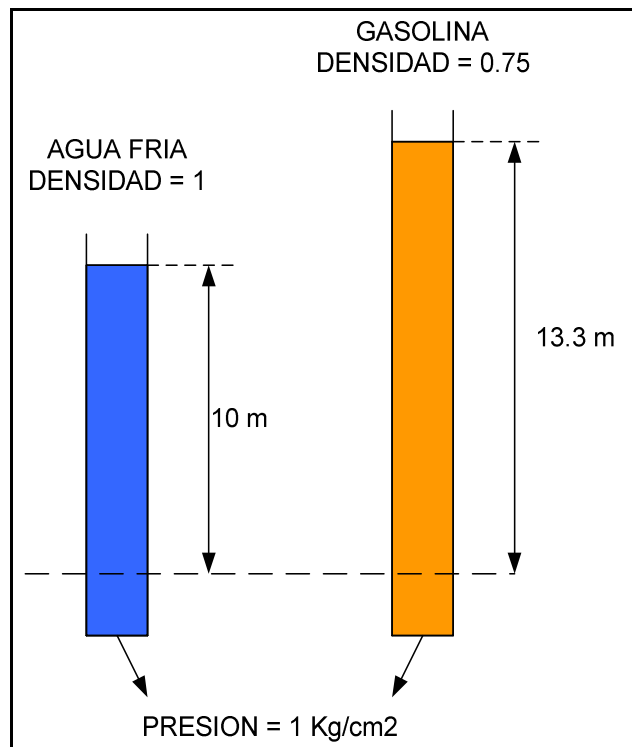


Figura. 2.1. La densidad del líquido influye en la altura de una columna del líquido.

Es importante recalcar que la densidad en los diferentes fluidos varía con la temperatura¹.

2.1.2 Carga total de un sistema

Para que una bomba pueda entregar un volumen de líquido dentro de un sistema, debe aplicar una energía formada por las siguientes componentes:

- **Carga estática.** Se refiere a la diferencia de elevación. Hay tres tipos de carga estática:
 - Carga estática total, que es la diferencia en elevación entre los niveles del líquido entre los puntos de descarga y de succión de la bomba.
 - Carga estática de succión, que es la diferencia entre la línea del centro de la bomba y el nivel del líquido de succión.

¹ McNaughton Kenneth, Bombas- Selección, Uso y Mantenimiento.

- Carga estática de descarga, que es la diferencia entre el nivel del líquido de descarga y la línea del centro de la bomba.

Si el nivel del líquido de succión o de descarga está sometido a una presión que no sea la atmosférica, ésta se puede considerar como parte de la carga estática o como una adición por separado a la carga estática.

En la figura 2.2 se observa un sistema básico de bombeo para comprender mejor los conceptos de carga estática total, carga estática de succión y carga estática de descarga.

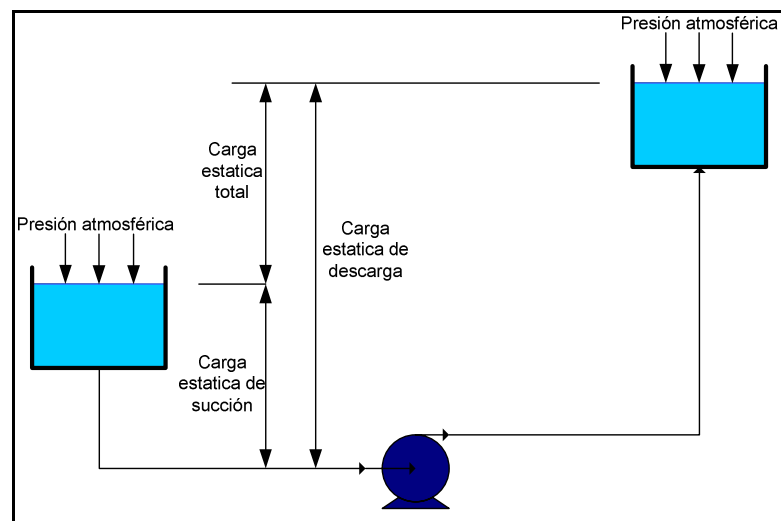


Figura. 2.2. Sistema básico de bombeo

- **Pérdidas de entrada y salida.** La mayor parte de veces, el líquido bombeado viene de un tanque de alguna forma; el punto de conexión de la tubería de succión a la pared, se llama entrada de la tubería de succión; la pérdida por fricción en ese punto se llama “pérdida de entrada”. Del mismo modo existe una “pérdida de salida” en el punto de salida de la tubería de descarga.
- **Diferencia de presiones que existen en el líquido.** Todo líquido a cualquier temperatura arriba de su punto de congelación ejerce una presión debida a la formación de vapor en su superficie libre. Esta

presión, conocida como presión de vapor del líquido, es función de la temperatura del líquido, mientras más alta sea la temperatura mayor será la presión de vapor. La presión del vapor es un factor importante en las condiciones de succión de las bombas que manejan líquidos de todos los tipos. En un sistema de bombeo, la presión en cualquier punto nunca debe reducirse más de la presión de vapor correspondiente a la temperatura del líquido, porque el líquido formará vapor que puede parcial o totalmente hacer que cese el flujo de líquido en la bomba.

- **Carga de fricción.** Es la carga equivalente en metros de líquido bombeado, que es necesaria para vencer las pérdidas de fricción causadas por el flujo del líquido a través de la tubería incluyendo todos los accesorios. Varía con:
 - La cantidad de flujo
 - El tamaño, tipo y condición de la tubería
 - Accesorios
 - Características del líquido bombeado

2.1.3 Potencia al freno

Es la potencia en el eje de la bomba y equivale a la potencia hidráulica más la potencia consumida en compensar los distintos tipos de pérdidas que se ocasionan en la bomba, siendo la potencia hidráulica la precisada por la bomba exclusivamente para bombear el líquido.

2.1.4 Velocidad específica

Es el término que relaciona los tres factores principales de las características de rendimiento: capacidad, carga y velocidad de rotación, en un solo término.

La velocidad específica es un número adimensional que describe ciertas características de la bomba, y se expresa como se indica en la ecuación 2.2.

$$N_s = \frac{n\sqrt{Q}}{H^{3/4}} \quad \text{Ec 2.2.}$$

Donde:

Ns = velocidad específica

n = velocidad de rotación en rpm

Q = capacidad en gpm

H = carga en pies

2.1.5 Leyes de afinidad

Las relaciones que permiten predecir el rendimiento de una bomba a una velocidad que no sea la de característica conocida de la bomba se llaman leyes de afinidad (ecuación 2.3)². Estas leyes indican lo siguiente:

- La capacidad Q en cualquier punto dado en la característica de la bomba varía directamente con la velocidad.
- La carga H varía en razón directa al cuadrado de la velocidad.
- La potencia al freno P varía en razón directa al cubo de la velocidad.

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{n_2}{n_1} \quad \frac{H_2}{H_1} = \left(\frac{D_2}{D_1}\right)^2 \quad \frac{P_2}{P_1} = \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^3 \quad \text{Ec 2.3.}$$

Donde:

n = velocidad de rotación en rpm

Q = capacidad

H = carga

P = potencia

² McNaughton Kenneth, Bombas- Selección, Uso y Mantenimiento.

Hay leyes de afinidad similares para los cambios en el diámetro D del impulsor (ecuación 2.4), dentro de los límites razonables de reducción del impulsor.

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{D_2}{D_1} \quad \frac{H_2}{H_1} = \left(\frac{D_2}{D_1}\right)^2 \quad \frac{P_2}{P_1} = \left(\frac{D_2}{D_1}\right)^3 \quad \text{Ec 2.4.}$$

Donde:

D = diámetro del impulsor

Q = capacidad

H = carga

P = potencia

2.1.6 Carga neta positiva de succión (NPSH)

Es la presión disponible o requerida para permitir que el líquido fluya a la carcasa de la bomba. Es la diferencia entre la presión del líquido a bombear referida al eje del impulsor y la presión de vapor del líquido a la temperatura de bombeo, referida en metros. Existen dos tipos de NPSH:

NPSH Requerido (NPSHr): es un dato básico de cada tipo de bomba, variable según modelo, tamaño y condiciones de servicio; que se determina con prueba o cálculo, siendo un dato a facilitar por el fabricante el cual lo ha obtenido a través de ensayos.

NPSH Disponible (NPSHa): Es una característica del sistema en el que trabaja una bomba centrífuga, y depende de la carga de succión o elevación, la carga de fricción y la presión de vapor del líquido manejado a la temperatura de bombeo. Si se varía cualquiera de estos puntos el NPSHa podría alterarse.

Para que una bomba funcione correctamente sin cavitación, debe cumplirse que el NPSH disponible en la instalación sea mayor que el NPSH requerido por la bomba.

Cuando un sistema no tiene suficiente NPSH disponible hay varias formas de enfrentarse a este problema. Se pueden encontrar medios para aumentar la NPSHa o bien reducir la NPSHr o ambas cosas.

Para aumentar la NPSHa se puede:

- Subir el nivel de líquido
- Bajar la bomba
- Reducir las pérdidas por fricción en los tubos de succión
- Utilizar una bomba reforzadora
- Subenfriar el líquido

Para reducir la NPSHr se puede emplear:

- Velocidades más bajas
- Impulsor de doble succión
- Ojo del impulsor más grande
- Una bomba de tamaño más grande
- Inductores colocados antes de los impulsores convencionales.
- Varias bombas más pequeñas en paralelo

2.1.7 Cavitación

Cuando la bomba opera con una elevación excesiva, se desarrolla una presión de succión baja en la entrada de la bomba, la presión disminuye hasta que puede crearse un vacío y el líquido se convierte en vapor si la presión del tubo es más baja que la presión del vapor del líquido. El flujo de líquido en la bomba desaparece. Esto se conoce como punto de corte debido a que se ha alcanzado el límite de la capacidad de la bomba con esta presión de entrada. La bomba se acerca ahora a condiciones de operación que pueden causar daño.

Cuando la presión de entrada está a punto de alcanzar el punto de vaporización, las bolsas de vapor forman burbujas en el lado posterior del álabe impulsor, cerca de su base. Conforme una burbuja se mueve del área de baja

presión en la succión al área de alta presión cerca del extremo del álabe, la burbuja implota. Se deshace tan rápidamente que el líquido golpea el álabe con gran fuerza a veces lo bastante fuerte para descascarar pequeñas partículas del impulsor. El daño generalmente se llama picadura.

En otras palabras la cavitación se produce cuando una bomba centrífuga no cuenta con suficiente NPSH disponible en el sistema en que va a funcionar, es decir, en el punto de capacidad requerida, la bomba producirá menos carga que la calculada.

La cavitación se manifiesta de diversas maneras, de las cuales las más importantes son:

- Ruidos y vibración.
- Una caída de las curvas de capacidad-carga y la de eficiencia.
- Desgaste de las aspas del impulsor.

Para evitar la cavitación hay que aumentar el NPSHa o en su defecto disminuir el NPSHr, valiéndose de las opciones citadas anteriormente.

En la figura 2.3 se puede visualizar el efecto de la cavitación en la capacidad de una bomba.

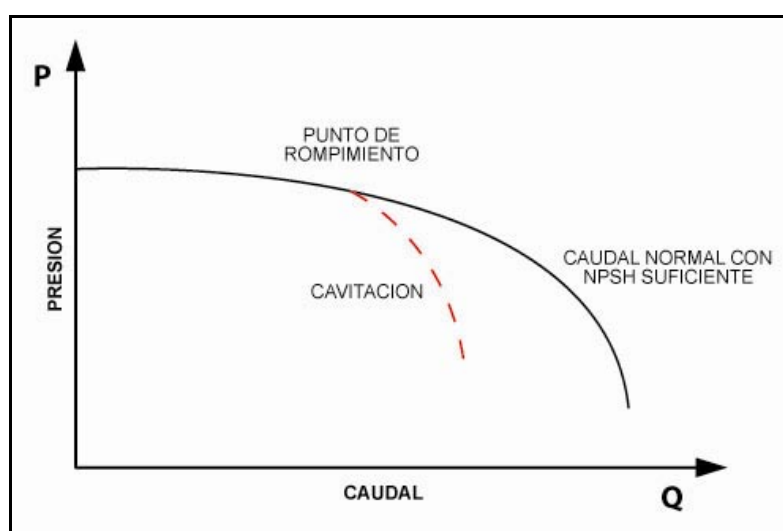


Figura. 2.3. Efecto de la cavitación en la capacidad de la bomba

2.1.8 Curvas características de una bomba

Curva capacidad-carga (Q/H). Representa la relación entre la altura de una bomba centrífuga y su caudal, y mientras no se rebase la altura de aspiración admisible, la bomba trabaja sobre esta curva. En esta curva también se refleja el rendimiento ($\eta\%$) bajo la forma de una curva conoide. Se dice que la curva Q/H es estable cuando es siempre decreciente desde su punto inicial situado sobre el eje de ordenadas. En una curva Q/H estable a cualquier valor de la altura de elevación le corresponde un valor de caudal y solo uno.

En contraste las curvas Q/H son inestables si la altura de elevación aumenta primero a partir del eje de ordenadas y, tras alcanzar un máximo, vuelve a decrecer constantemente. En una curva Q/H inestable se puede asociar dos o más valores de caudal con un único valor de altura.

Curva potencia absorbida (Q/P). Es una función de la velocidad específica y es distinta para cada forma de rodete. Las curvas indican las potencias absorbidas por la bomba para los diferentes diámetros de rodete.

La potencia crece constantemente con el caudal elevado y vuelve a decrecer una vez alcanzado el rendimiento máximo. En la figura 2.4 se observan las curvas características de una bomba.

2.1.9 Curva de carga del sistema

Las pérdidas de fricción en la entrada y salida varían más o menos proporcionalmente al cuadrado del flujo en un sistema. Para resolver problemas de bombeo es conveniente indicar la relación gráfica, entre la capacidad y las pérdidas de carga de fricción como se ilustra en la figura 2.5.

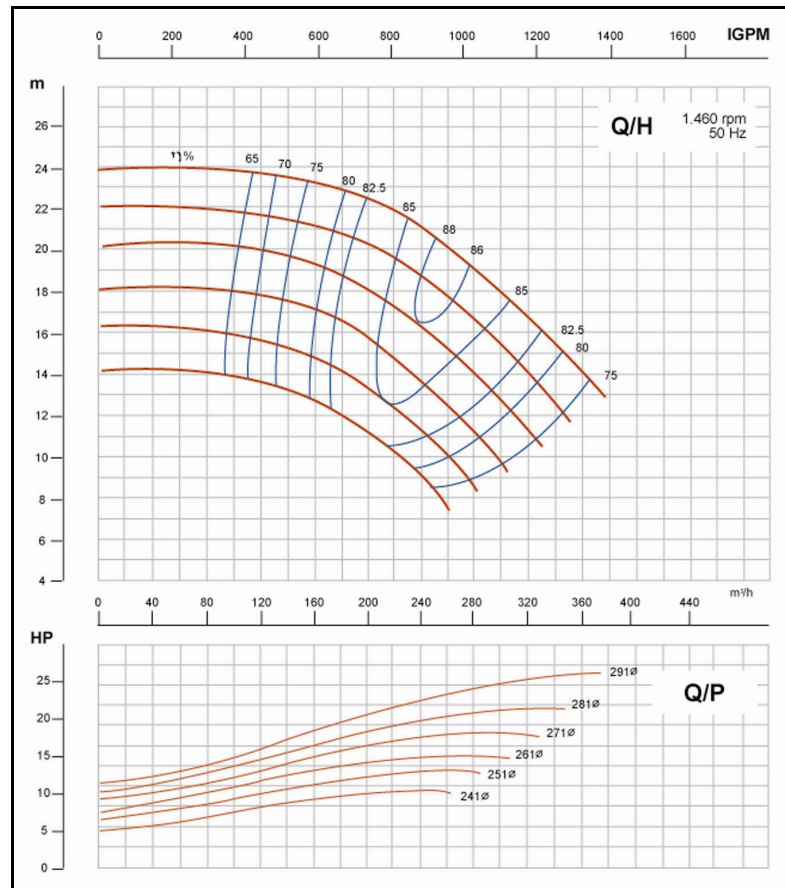


Figura. 2.4. Curvas características de una bomba centrífuga

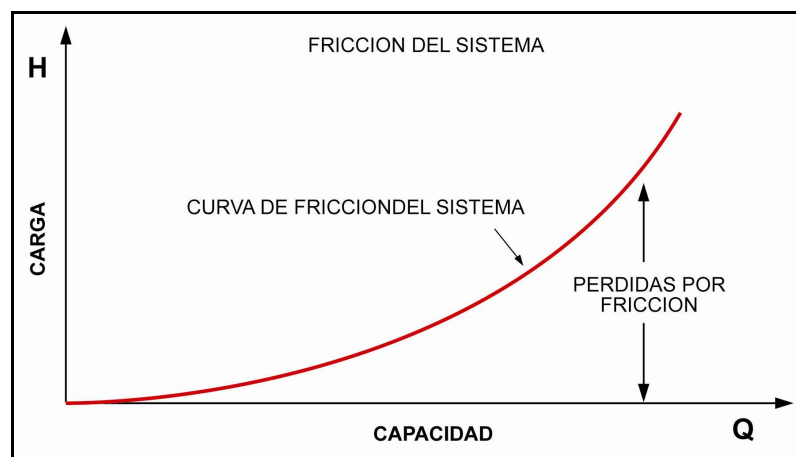


Figura. 2.5. Curva de fricción del sistema

Cuando se combinan las cargas estáticas, la diferencia en presión y las pérdidas de carga de fricción de cualquier sistema, y se trazan contra la capacidad, la curva resultante, figura 2.6, se llama curva de carga del sistema.

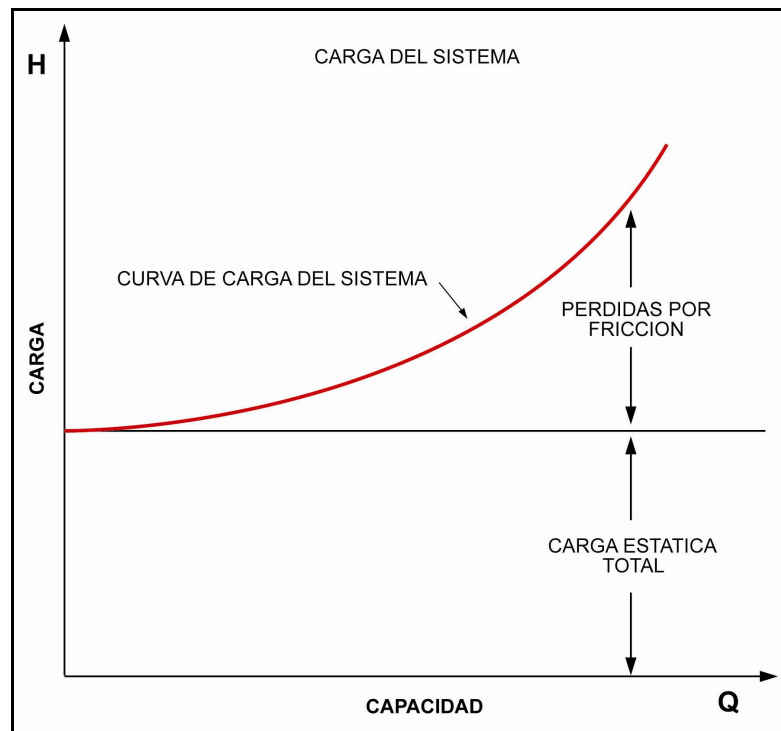


Figura. 2.6. Curva de carga del sistema

Al superponer una curva de capacidad-carga de la bomba a velocidad constante sobre la curva de carga del sistema, se podrá determinar la capacidad en el punto en que se cruzan las dos curvas. Esta es la capacidad que entregará al sistema esa bomba a esa velocidad particular, como se observa en la figura 2.7.

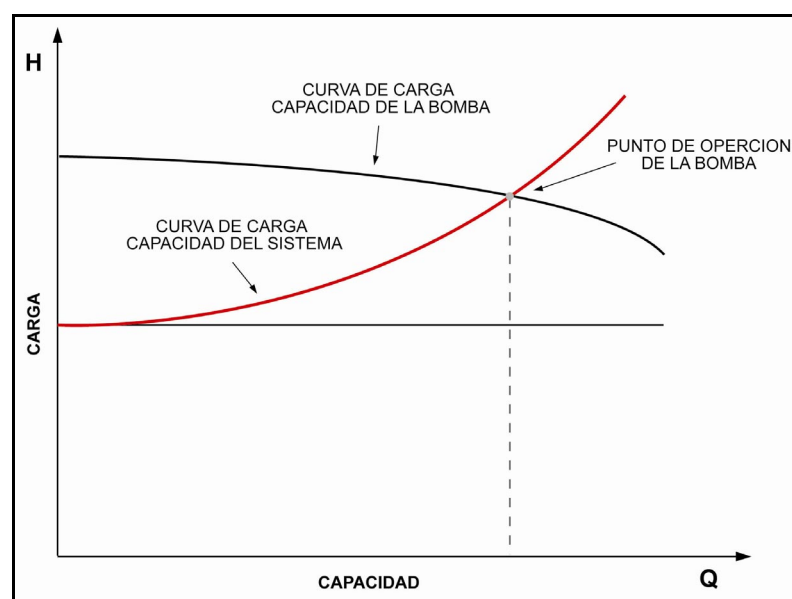


Figura. 2.7. Punto de operación de una bomba

2.2 BOMBAS CENTRÍFUGAS

2.2.1 Definición

Para que un fluido se desplace de un punto a otro en un ducto cerrado o en una tubería, es necesario contar con una fuerza impulsora. El funcionamiento en si de una bomba, como se aprecia en la figura 2.8, es el de un convertidor de energía, o sea, transformará la energía mecánica en energía cinética, generando presión y velocidad en el fluido.

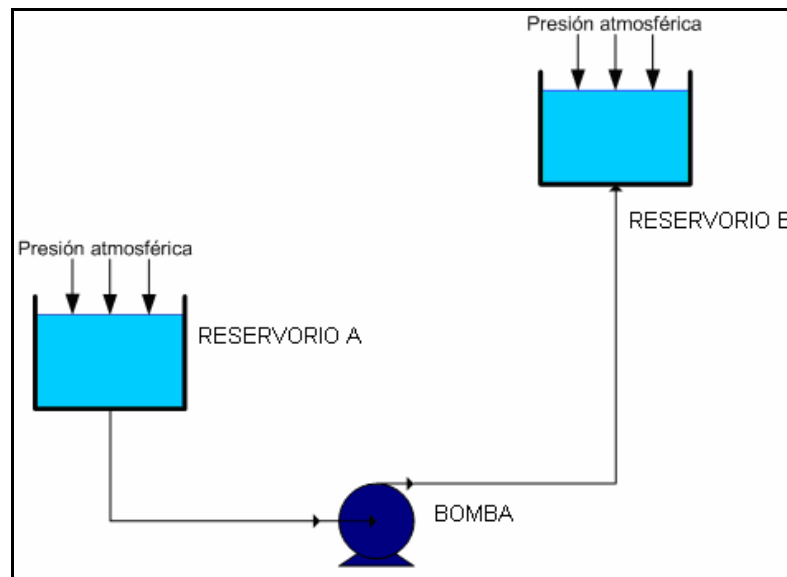


Figura. 2.8. Aplicación de una bomba

En general, una bomba es una máquina o dispositivo que se usa para mover un líquido incompresible, por medio de la adición de energía al mismo.

Un tipo de bombas son las centrífugas, ver figura 2.9, que se caracterizan por llevar a cabo dicha transformación de energía por medio de un elemento móvil denominado impulsor, rodete o turbina, que gira dentro de otro elemento estático denominado cuerpo o carcasa de la bomba. Ambos disponen de un orificio anular para la entrada del líquido. Cuando el impulsor gira, comunica al líquido una velocidad y una presión que se añade a la que tenía a la entrada.



Figura. 2.9. Bomba centrífuga

Las bombas centrífugas constituyen no menos del 80% de la producción mundial de bombas, porque es la más adecuada para manejar más cantidad de líquido.

2.2.2 Características de una Bomba Centrífuga

Dentro del campo normal de aplicación, las características de una bomba centrífuga son:

- Caudal uniforme, sin pulsaciones.
- La presión o altura de elevación disminuye a medida que aumenta el caudal. En general, a partir del punto de funcionamiento, cuando se cierra la válvula de regulación de la tubería de impulsión, aumenta la presión y se reduce la potencia.
- La altura, medida en metros de columna de líquido, a la que eleva una bomba es independiente de la naturaleza del líquido y, por tanto, la altura a la que impele una bomba es la misma, prescindiendo de la influencia que ejerce la viscosidad.

- La potencia absorbida por la bomba es proporcional al peso específico del líquido elevado.
- El par requerido para el arranque de una bomba centrífuga es pequeño y la potencia absorbida durante su funcionamiento de régimen es continua y libre de sobrecargas, cuando la altura no varía y no hay perturbaciones ajenas a la bomba en la aspiración.

2.2.3 Principio de funcionamiento

Las bombas centrífugas mueven un cierto volumen de líquido entre dos niveles; son máquinas hidráulicas que transforman un trabajo mecánico en otro de tipo hidráulico.

Los elementos constructivos de que constan son³:

El impulsor o rodete. Es el corazón de la bomba, recibe el líquido y le imparte una velocidad de la cuál depende la carga producida por la bomba. El impulsor esta formado por una serie de álabes de diversas formas que giran dentro de una carcasa circular, va unido solidamente al eje y es la parte móvil de la bomba.

Los álabes del rodete. Someten a las partículas de líquido a un movimiento de rotación muy rápido, siendo proyectadas hacia el exterior por la fuerza centrífuga, de forma que abandonan el rodete hacia la voluta a gran velocidad, aumentando su presión en el impulsor según la distancia al eje.

La carcasa. Tiene la función de convertir la energía de velocidad impartida al líquido por el impulsor en energía de presión. Esto se lleva a cabo mediante reducción de la velocidad por un aumento gradual del área.

³ Viejo Zubicaray, Bombas.

La carcasa también es llamada voluta por su forma de espiral. Su área es incrementada a lo largo de los 360° que rodean al impulsor hasta llegar a la garganta de la carcasa donde conecta con la descarga.

Anillos de desgaste. La función de estos es el tener un elemento fácil y barato de remover en aquellas partes en donde, debido a las cerradas holguras que se producen entre el impulsor que gira y la carcasa fija, la presencia del desgaste es casi segura, en esta forma en lugar de tener que cambiar todo el impulsor o toda la carcasa, solamente se quitan los anillos, los cuales pueden estar montados a presión en el impulsor o en la carcasa.

Flecha. Es el eje de todos los elementos que giran en una bomba, transmitiendo además el movimiento que le imparte el eje del motor. Es importante recalcar que como es un elemento costoso y en la sección del empaque o de los apoyos hay desgaste, se necesita poner una camisa de flecha que tiene por objeto proteger la flecha y ser una pieza de cambio sobre la cual trabajan los empaques. Las camisas son por lo general de latón o acero.

Estoperos, empaques y sellos. La función de estos es evitar el flujo hacia fuera del líquido bombeado a través del orificio por donde pasa la flecha de la bomba y el flujo de aire hacia el impulsor de la bomba.

Cojinetes o chumaceras. El objetivo de estos es soportar la flecha de todo el rotor en un alineamiento correcto en relación con las partes estacionarias. Por medio de un correcto diseño soportan las cargas radiales y axiales existentes en la bomba.

En la figura 2.10 se pueden observar las partes básicas de una bomba centrífuga.

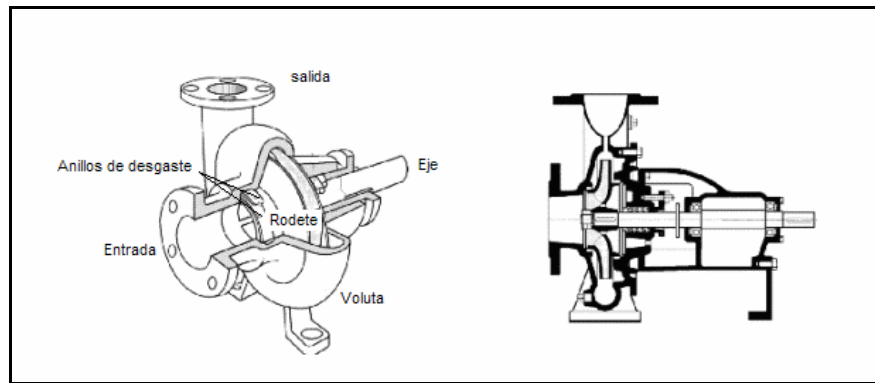


Figura. 2.10. Partes de una bomba centrífuga

2.2.4 Funcionamiento de bombas en paralelo

Cuando la demanda es excesivamente variable pueden operarse dos o más bombas en paralelo para satisfacer la demanda alta, usando solo una bomba para las demandas bajas. Para especificar correctamente las bombas y juzgar su comportamiento bajo varias condiciones, debe usarse la curva de carga del sistema en unión de las curvas de comportamiento de las bombas compuestas, como se observa en la figura 2.11.

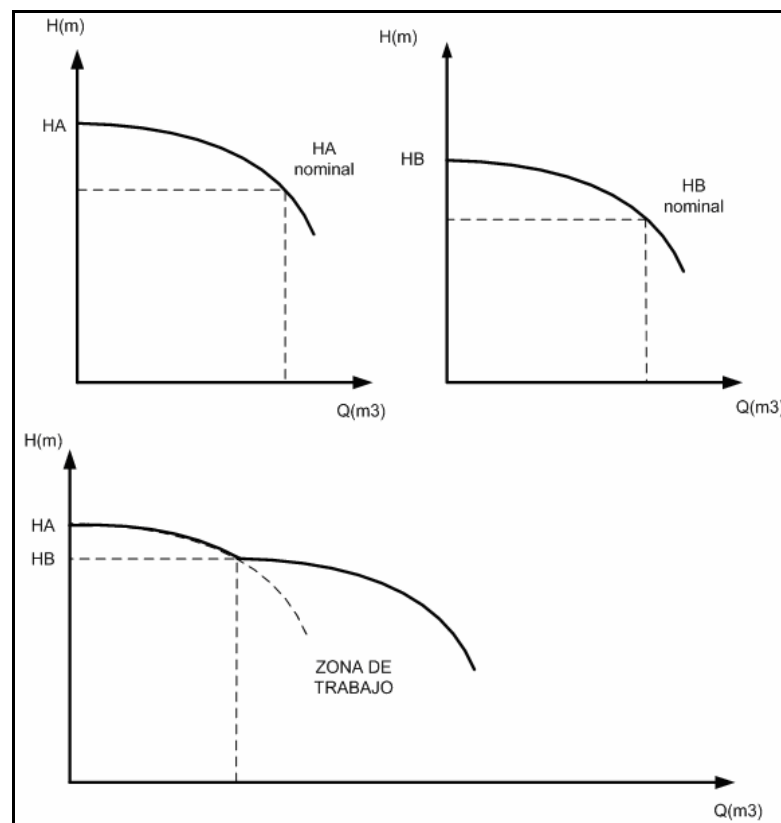


Figura. 2.11. Funcionamiento de bombas en paralelo

Cuando dos bombas funcionan en paralelo su comportamiento se obtiene sumando sus capacidades para la misma carga.

En resumen, las principales razones para utilizar bombas en paralelo son:

- El caudal máximo total es demasiado alto con relación a la capacidad de las bombas disponibles en el mercado. Por lo tanto no puede manejarse con una sola bomba.
- El caudal máximo total puede ser manejado por una sola bomba pero existen otras condiciones (espacio, redes de potencia, facilidades de mantención, accesos, equipos auxiliares, etc.) que impiden emplear bombas y motores de los tamaños requeridos para operar con una sola bomba.
- El caudal total tiene variaciones de gran magnitud. En este caso puede resultar conveniente disponer de dos o más bombas más pequeñas controladas por un buen sistema automático para que funcionen y se detengan en respuesta a la variación del caudal.

2.3 CALDEROS

Un caldero esta compuesto de dos sistemas básicos separados. Uno es el sistema vapor-agua, también llamado lado de agua de la caldera y otro el sistema de combustible también llamado lado de fuego de la caldera⁴.

La entrada del sistema vapor-agua es agua. Esta agua que recibe el calor a través de una barrera de metal sólido, es calentada, convertida en vapor y deja el sistema en forma de vapor.

⁴ Egídio Alberto Bega, Caldeiras Instrumentação e Controlé

Las entradas del sistema de combustible son el combustible y el aire de combustión necesario para la quema del combustible. En este sistema el combustible y el aire de combustión son completa y cuidadosamente mezclados, siendo enseguida quemados en la cámara de combustión. La combustión convierte la energía química del combustible en energía térmica, o sea, calor. Este calor es transferido para el sistema vapor-agua para la generación de vapor.

Básicamente existen dos tipos de calderos:

- Piro-tubular
- Acua-tubular

La figura 2.12 muestra una vista externa típica de estos dos tipos de calderos.

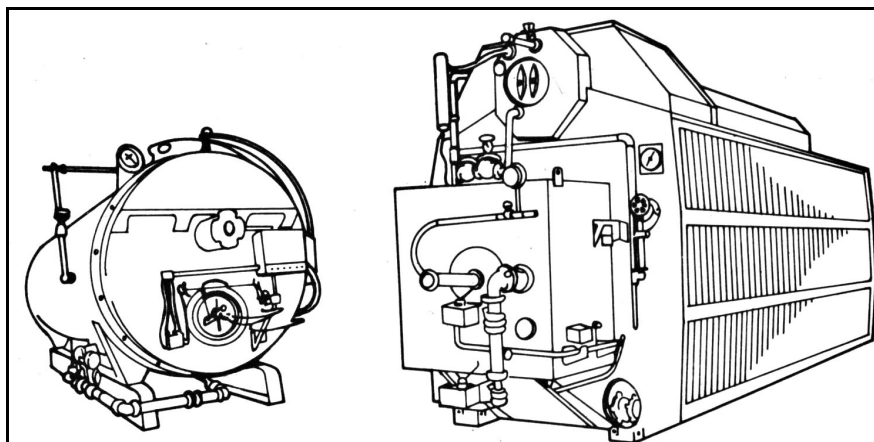


Figura. 2.12. Vista externa de un caldero fuego-tubular y acua-tubular

Como en REE solo existen los calderos de tipo acua-tubular centraremos el estudio en estos.

2.3.1 Calderos Acua-tubulares

En este tipo de caldero, el agua pasa por dentro y los gases calientes de la combustión pasan por fuera de los tubos. Estos tubos son normalmente conectados entre dos o más domos cilíndricos.

El domo superior (domo de vapor) tiene su nivel de agua controlado alrededor del 50% y el inferior trabaja totalmente lleno de agua. Todo el conjunto es aislado por una pared de refractarios (cámara de combustión), para evitar las pérdidas de calor hacia el ambiente.

Conforme lo mostrado esquemáticamente en la figura 2.13, el calentamiento de los tubos y del agua existente dentro de estos, es hecho con el calor generado por la quema de combustible con el aire de combustión en los quemadores; este calor es transferido por los gases de combustión existentes fuera de los tubos.

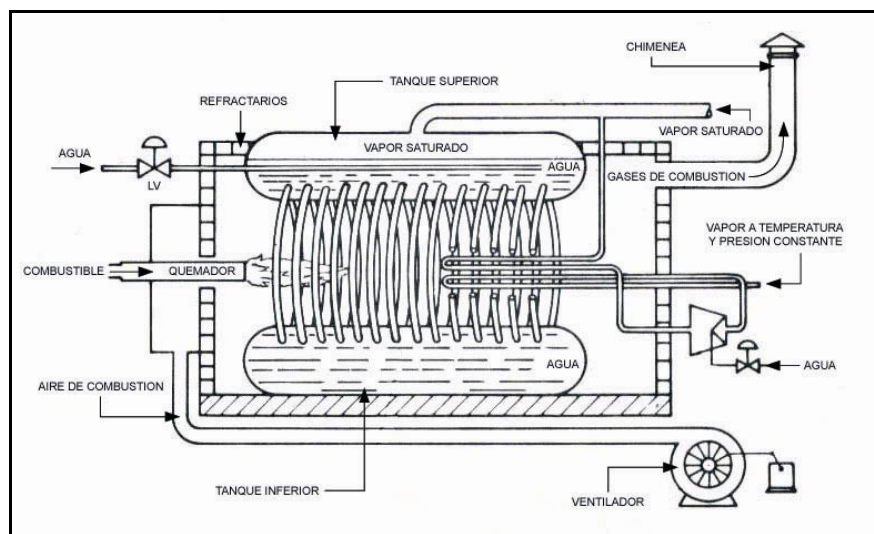


Figura. 2.13. Esquema básico de un caldero acua-tubular

Conforme lo mostrado en la figura 2.14 con el calentamiento el agua circula enfriando los tubos, calentándose y liberando vapor en el domo superior. A medida que ocurre la liberación de vapor, se adiciona agua en el domo superior a través de la válvula LV, localizada en la entrada del tubo distribuidor. El agua fría adicionada en el domo superior desciende a través de los tubos de descenso (downcomers) hacia el domo inferior y la caliente sube a través de

los tubos de ascenso (raisers) hacia el domo superior, debido a la diferencia de densidad.

El vapor generado en el domo es saturado; en el caso en el que se quiera vapor con temperatura por encima de su temperatura de saturación, se debe generar vapor supercalentado. El vapor supercalentado es obtenido mediante la instalación de supercalentadores. Los supercalentadores son constituidos por haces de tubos en forma de serpentina, siendo clasificados en cuanto a transferencia de calor como de radiación y de convección.

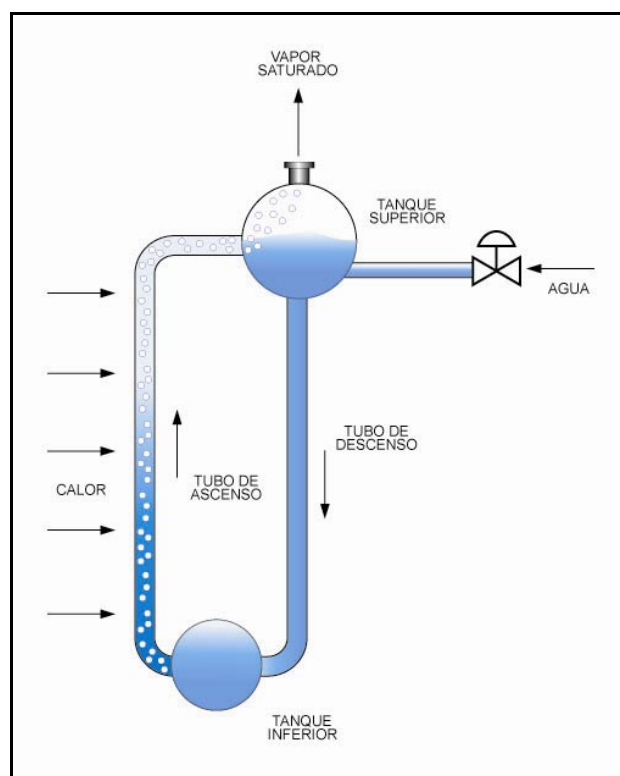


Figura. 2.14. Circulación del agua en un caldero acua-tubular

La utilización de vapor supercalentado aumenta la disponibilidad de energía y también permite aumentar el rendimiento de las turbinas en función de un mayor salto entálpico disponible.

En los calderos acua-tubulares las dos variables más importantes a ser controladas son: presión de vapor y nivel del domo.

La presión de vapor debe de ser mantenida en una franja de variación estrecha, pues este vapor es normalmente utilizado en equipos complejos y que deben operar con gran estabilidad como en el caso de las turbinas. Esta presión es controlada variando el flujo de combustible y del aire de combustión, inyectados en los quemadores. Cuanto mayor es el flujo de combustible, mayor es la entrega de calor y mayor es la vaporización.

El nivel también debe ser controlado en una franja estrecha, porque tanto nivel alto como nivel bajo son dañinos para la caldera. El nivel alto ocasionará arrastre de agua en el vapor y el nivel bajo podrá dejar los tubos sin agua ocasionando que se fundan. El nivel es controlado actuando sobre una válvula de nivel que regula la cantidad de agua de alimentación adicionada al domo superior.

CAPÍTULO 3

SISTEMA DE CONTROL

3.1 ESTUDIO DEL SISTEMA ACTUAL DE ALIMENTACIÓN DE AGUA A CALDEROS

3.1.1 Descripción de las instalaciones

La instalación actual del sistema de agua de alimentación a calderos de REE, como se ilustra en la figura 3.1, consta de los siguientes elementos:

En primer lugar se encuentran dos desaireadores a 10,6 m de altura y de una capacidad total de 285,7 T/h. La función de los desaireadores es la de desgasificar el agua que será bombeada hacia los calderos, mantener la carga neta positiva de succión (NPSH) en valores adecuados y proporcionar una reserva de agua para la operación de las bombas.

El sistema consiste de un paquete de cuatro bombas que descargan a un cabezal común y cuyas características podemos observar en la tabla No 3.1

Las curvas características de cada bomba se observan en el anexo 1.

En el sistema de alimentación de agua a calderos, dos de las bombas son impulsadas por motores de inducción jaula de ardilla, cuyas características se detallan en la tabla 3.2. Las dos bombas restantes son impulsadas por turbinas a vapor, cuyas características se detallan en la tabla 3.3

Tabla. 3.1. Características de las bombas de alimentación de agua a calderos

| | Y-P7003A | Y-P7003B | Y-P7003C | Y-P7003D |
|-------------------------------------------------|----------|----------|----------|----------|
| Temperatura de bombeo (°C) | 147 | 147 | 147 | 147 |
| NPSH requerido (m) | 5,9 | 4,49 | 6 | 6 |
| Capacidad (m ³ /h) | 263,5 | 304,0 | 304,4 | 304,4 |
| Presion de succión (Kg/cm ²) | 3,9 | - | 4,5 | 4,5 |
| Presión de descarga (Kg/cm ²) - (m) | 57 – 577 | 57- 577 | 52 – 516 | 52 – 516 |
| Velocidad (rpm) | 3550 | 3550 | 3550 | 3550 |
| Impulsor | Motor | turbina | motor | turbina |
| Flujo mínimo (m ³ /h) | 109 | 150 | 50 | 50 |
| Max eficiencia (%) | 78 | 79 | 77 | 77 |
| Potencia (Kw) | 590 | 560 | 590 | 590 |

Tabla. 3.2. Características de los motores de las bombas A y C

| Características \Motor | Y-PM-7003A | Y-PM-7003C |
|-----------------------------|------------|-------------|
| Marca | ABB | Louis Allis |
| Tipo | HXR450LG2 | JTX |
| Potencia | 600 | 550 |
| Velocidad a plena carga rpm | 3585 | 3575 |
| Voltaje V | 4000 | 4160 |
| Fases | 3 | 3 |
| Frecuencia Hz | 60 | 60 |
| Corriente a plena carga A | 99 | 93 |
| Factor de potencia | 0.91 | |
| Factor de servicio | | 1.15 |
| Clase de aislamiento | F | F |
| IP | 55 | 55 |

Tabla. 3.3. Características de las turbinas de las bombas B y D

| Características \Motor | Y-P7003BT | Y-P7003DT |
|-----------------------------------------------|------------------|------------------|
| Marca | COPPUS | COPPUS |
| Tipo | RLHAH-24 | RLH24 |
| Serie | 93H8368 | 81H3749 |
| Presión de entrada (Kg/cm²) | 49.2 | 49.2 |
| Presión de salida (Kg/cm²) | 10.5 | 10.6 |
| Temperatura de entrada (°C) | 385 | 385 |
| Velocidad máx. (rpm) | 3550 | 3550 |
| Potencia (Kw) | 576 | 550 |

Cada bomba cuenta con un sistema automático de recirculación basado en una válvula ARC YARWAY¹, que protege a las bombas de daños por flujos mínimos, haciendo recircular el agua a través de una línea que retorna a los desaireadores.

En la línea de derivación de cada bomba, después de las válvulas ARC, existen válvulas denominadas BACK PRESSURE que permiten acoplar la zona de alta presión de la descarga de la bomba con la zona de baja presión de los desaireadores.

En la línea de descarga de cada bomba existe además un transmisor de flujo (FIT), de presión diferencial.

Por otro lado en la línea de descarga común existe un transmisor de presión (PIT) y un switch de baja presión (PLS), ajustado a 50.7 kg/cm², el mismo que se encarga de iniciar el arranque de la bomba seleccionada como relevo.

Por último a la entrada de cada caldero existe una válvula de control propia del lazo de control del nivel de agua del caldero, el mismo que se explicará mas adelante.

¹ Ver anexo 2

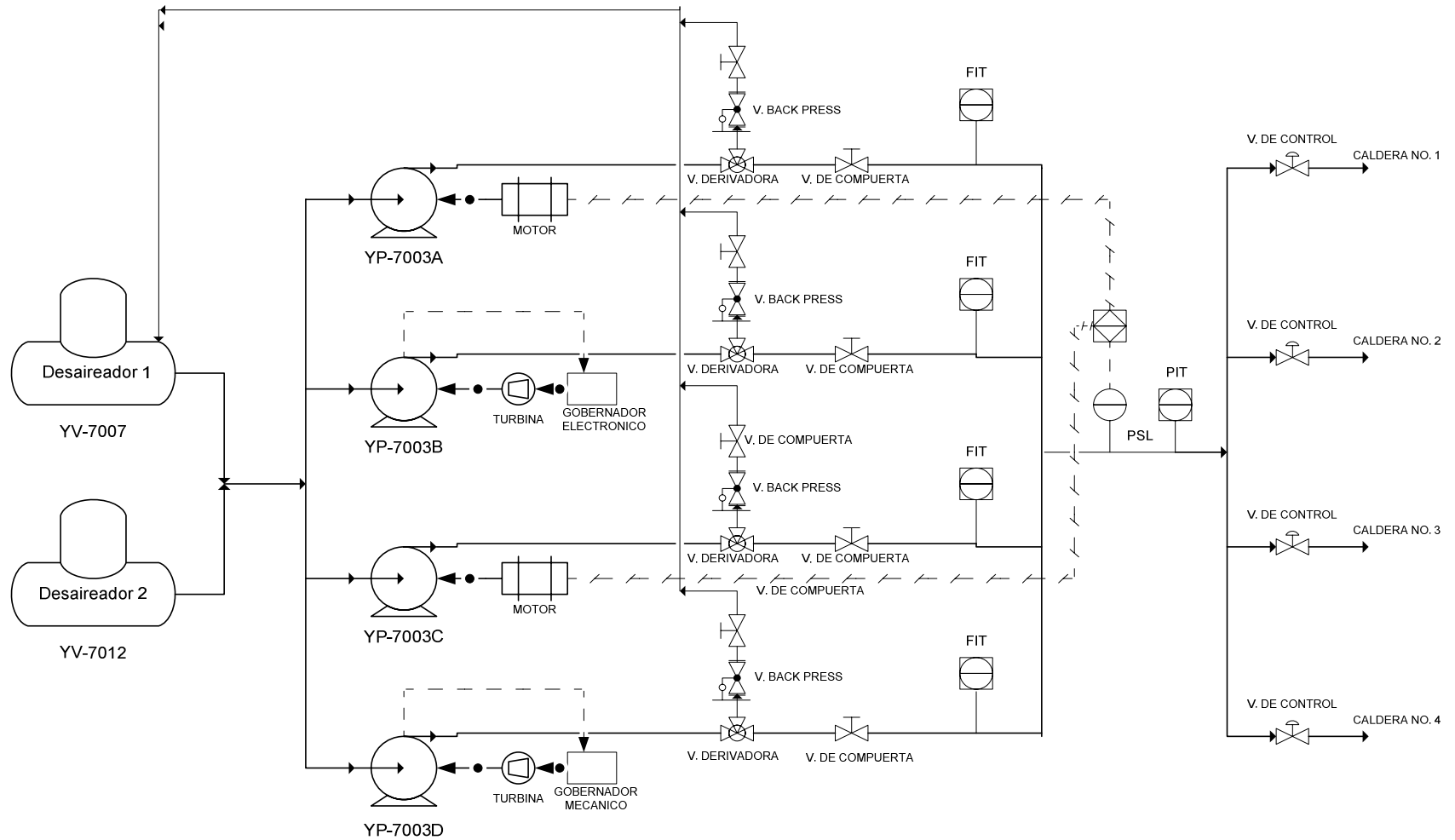


Figura. 3.1. Instalación actual del Sistema de alimentación de agua a calderos

3.1.2 Funcionamiento del sistema

Para el normal funcionamiento de REE se requiere un flujo de 265m³/h a una presión mínima de 50,5 Kg/cm². En estas condiciones la bomba YP7003B abastece la demanda.

El único control que existe del sistema es respecto a la presión obtenida en la línea de descarga total y es realizado mediante un switch de baja presión, el mismo que es seteado manualmente.

Uno de los problemas existentes se origina cuando la demanda de flujo aumenta abruptamente en un determinado periodo de tiempo debido a la utilización de vapor extra en cualquier planta de refinería; por principio de hidrodinámica la presión disminuye por ser inversamente proporcional a la velocidad y a su vez al flujo.

Es importante recalcar que en este caso la demanda de flujo no puede ser satisfecha por una sola bomba. La demanda aumenta aproximadamente a 350m³/h y la presión en la descarga disminuye por debajo del nivel de operación (50,5 Kg/cm²) y por lo tanto conmuta el switch de baja presión y se arranca una bomba de motor (relevo).

Al regularse la demanda de flujo, la presión comienza a aumentar y puede llegar a un punto peligroso de operación para cualquiera de las bombas.

Actualmente la bomba que entra en relevo es apagada manualmente, por lo que el sistema depende directamente de la supervisión del operador.

3.1.3 Lazo de control de nivel de los calderos

Aunque el sistema de bombas de alimentación a calderas no cuenta con un sistema de control, existe un lazo de control propio de cada caldero que garantiza su adecuado abastecimiento de agua. Este sistema asume que el funcionamiento de las bombas no tiene ningún inconveniente.

Es importante que en el domo del caldero se conserve un nivel del 50% para lo cual se implementa un lazo de control que garantice esta condición, como se aprecia en la figura 3.2; el mismo que está compuesto de un transmisor y controlador de nivel en el domo del caldero, un transmisor de flujo en la descarga de vapor y un transmisor/controlador de flujo en la línea de alimentación.

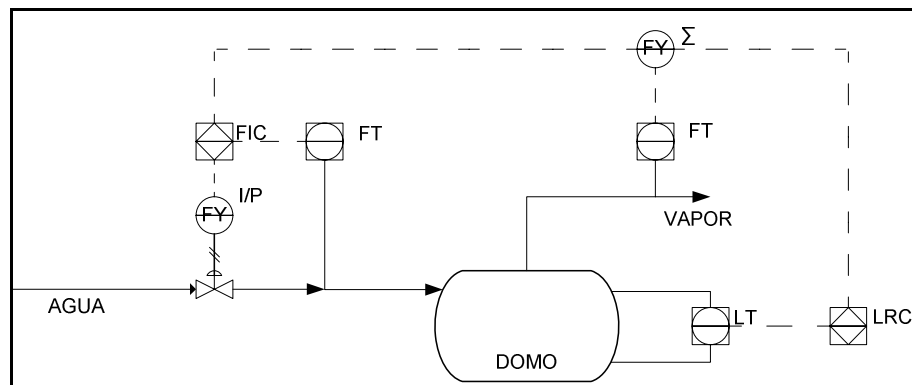


Figura 3.2. Control de nivel de agua en el domo del caldero

Este lazo consiste en un control anticipativo con retroalimentación combinado con control en cascada. La señal del controlador de nivel se adiciona a la señal del transmisor de flujo de la descarga y generan la señal de Set Point del controlador de flujo de la línea de alimentación, el mismo que actúa sobre una válvula de control de flujo del agua de alimentación de calderas. Es necesario conocer el funcionamiento de este lazo de control porque afecta directamente a la curva de carga del sistema.

3.2 ANÁLISIS DE LOS PRINCIPALES PROBLEMAS EN LAS INSTALACIONES DEL SISTEMA ACTUAL

3.2.1 Diferencia de cabezas de presión de las bombas

Existen varios problemas en el sistema de alimentación de agua a calderos, siendo el principal las diferencias de cabeza de presión de las bombas, este problema se acentúa cuando dos bombas entran a trabajar en paralelo para poder

satisfacer la demanda de flujo del sistema; siendo esta condición muy frecuente en el sistema de alimentación de agua a calderos.

Para entender mejor este problema se analizará el caso de la figura 3.3 en el que se aprecian las curvas carga-capacidad individuales de las bombas A y B, así como la curva carga-capacidad de las bombas funcionando en paralelo. Como se observa la carga nominal de la bomba A es superior a la bomba B.

En el funcionamiento en paralelo de dos bombas sus curvas se superponen y crean una nueva y el sistema se ajusta a la presión de la bomba más potente, es por esto que se debe cuidar que la presión no exceda del punto crítico de la bomba más pequeña, porque produciría daño irreparable del equipo.

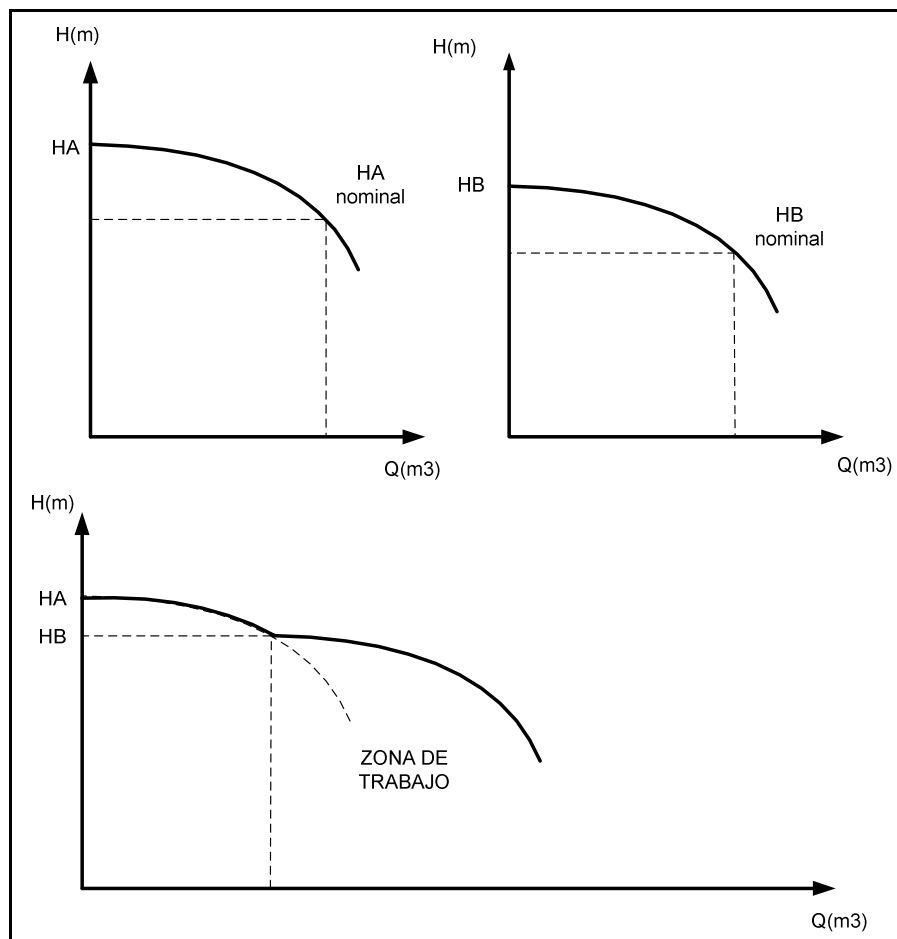


Figura. 3.3. Problema de diferencia de cabezas en las bombas

3.2.2 Bajo NPSH disponible

Otro problema que existe en el sistema de alimentación de agua en REE es la cavitación que se produce en las bombas.

Cuando una bomba centrífuga no cuenta con suficiente NPSH disponible en el sistema en el que va a funcionar, se reducirá su capacidad a menos de la de diseño. Dicho en otra forma, en el punto de capacidad requerida la bomba producirá menos carga que la calculada.

Como consecuencia de este problema, se tiene el fenómeno llamado cavitación y lo ocasionan las pérdidas excesivas de NPSH en la entrada del impulsor de la bomba. Con ello, se producen burbujas de vapores en el líquido, que se aplastan con rapidez y liberan energía que atacan los alabes o el alojamiento del impulsor.

Aunque la cavitación en sí no significa un desperfecto en la bomba, pues la bomba puede funcionar de vez en cuando con cavitación, con mínimos daños, no se la debe permitir en un buen diseño del sistema de bombeo.

Las bombas que manejan líquidos puros como el agua de alimentación a calderos, pueden sufrir más cavitación porque el líquido es homogéneo y las burbujas se contraen al mismo tiempo. Así mismo los líquidos como el agua tienen una elevada relación entre vapor y volumen del líquido.

El problema con las bombas es que el NPSH disponible en el sistema de agua alimentación no es muy alto y el aumentar la demanda conlleva a un aumento en el NPSH requerido de las bombas y esto ocasiona que la diferencia entre el NPSH disponible y el requerido sea menor a la recomendada.

En la figura 3.4 Se aprecian las curvas de carga - capacidad de la bomba, así como la variación de NPSH con respecto a la demanda de flujo del sistema.

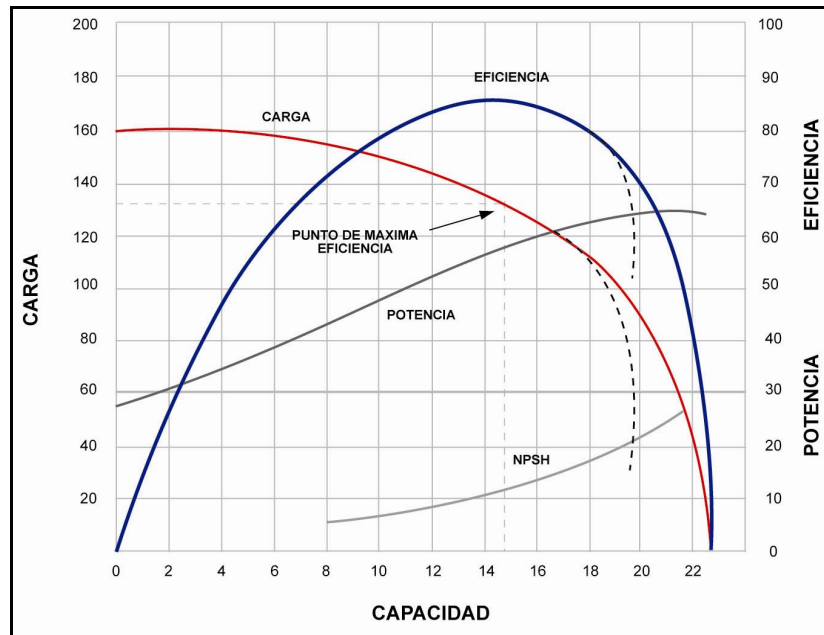


Figura. 3.4. Curvas de carga- capacidad de la bomba

3.3 ANÁLISIS DE LOS PRINCIPALES PROBLEMAS DE OPERACIÓN DEL SISTEMA ACTUAL

3.3.1 Arranque incorrecto

En el diseño original el sistema de agua de alimentación a calderos de REE contaba con una bomba (YP-7004) de una capacidad de $38.8 \text{ m}^3/\text{h}$ y una cabeza de presión de 579.3 m, con la cual se arrancaban los calderos. Esta bomba salió de funcionamiento y en la actualidad no existe ningún reemplazo, por lo que para llenar los calderos se utilizan las bombas YP-7003 que son de mayor capacidad y que no están apropiadamente diseñadas para esta tarea, teniendo por esta razón que arrancar y parar las bombas varias veces seguidas, lo cual es contraindicado para la preservación de las mismas que por especificaciones no deberían arrancarse más de dos veces en una hora.

3.3.2 Desperdicio de energía

El desperdicio de energía ocurre cuando existe demanda baja de flujo en el sistema, entonces la capacidad de las bombas está muy por encima de los requerimientos del mismo y por consiguiente están trabajando más de lo

necesario. Tomando en cuenta que las bombas de agua de alimentación funcionan ininterrumpidamente, esto se puede traducir en una significativa pérdida económica, la misma que será analizada y cuantificada en un capítulo posterior de este proyecto.

Para entender mejor lo que sucede, se citará el ejemplo de la figura 3.5, en la que se observa que al disminuir el flujo de 1000gpm a 500gpm, se modifica la curva de carga del sistema, la eficiencia se ve afectada reduciéndose de 83% a 65% y la presión aumenta de 90ft a 100ft. Considerando que la presión necesaria es únicamente de 30 ft se observa que hay una pérdida de 70 ft lo cual se traduce en un desperdicio de energía.

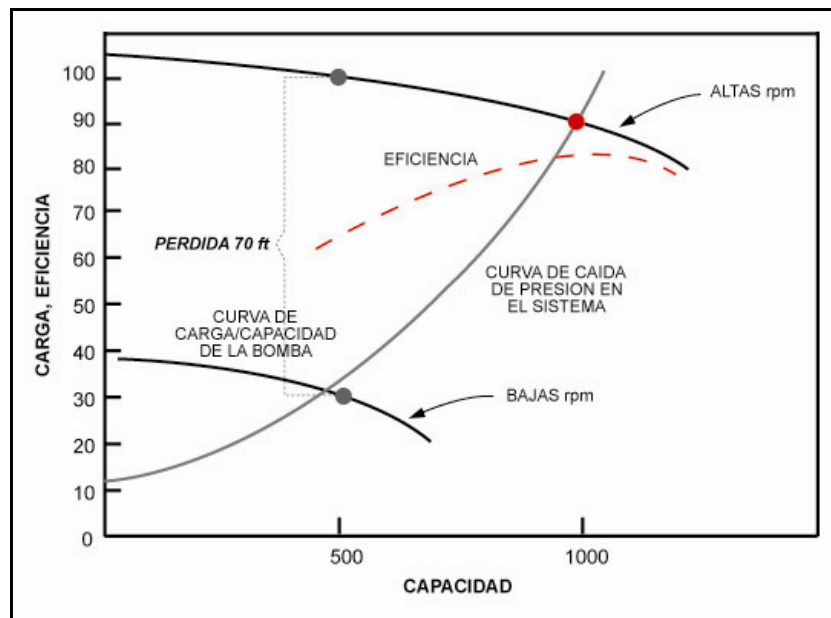


Figura. 3.5. Análisis de desperdicio de energía

3.3.3 Relevos poco eficientes

En el sistema propio del estudio, el control de relevos se basa únicamente en un switch de baja presión como se explicó anteriormente; se puede decir que los relevos son poco eficientes porque en el caso específico que aumente la demanda y por consecuencia disminuya la presión, entra a funcionar un relevo (dos bombas en paralelo), pero en el momento en que disminuye la demanda el

control existente no puede sacar de funcionamiento al relevo, dicha operación se debe realizar manualmente y esta sujeta a la constante atención del operador.

Se justifica el uso de bombas en paralelo cuando existe una gran demanda y por lo tanto una sola bomba no sea capaz de satisfacer la misma, pero el caso se vuelve crítico a bajas demandas porque al estar funcionando dos bombas en paralelo y de distinta cabeza, la de menor capacidad podría verse afectada, además se trabajaría en condiciones de baja eficiencia. Con un sistema de relevos eficiente se pretende eliminar este problema.

3.4 REQUERIMIENTOS DE REFINERÍA

El requerimiento principal que existe en REE en cuanto al sistema de agua alimentación a calderos, es asegurar el abastecimiento necesario de agua hacia los calderos ya que como se explicó anteriormente, si los calderos no reciben el flujo requerido al cabo de poco tiempo se apagan automáticamente por seguridad.

Por otro lado la presión de diseño a la que trabajan los calderos es de 49 kg/cm² por lo que se debe asegurar que el líquido bombeado no baje de esta presión, pero también es importante que no sea excesiva debido a que esto puede ocasionar desgaste de las válvulas de control y se traduce en energía desperdiciada.

Otro requerimiento es que los relevos sean completamente automáticos, y además que se puedan seleccionar las bombas que estarán en servicio, en relevo y en stand by. El objetivo es liberar al operador de la responsabilidad de accionar o desactivar los relevos manualmente.

Un problema que existe en el sistema es que las bombas constantemente sufren daños debido a la mala condición de operación de las mismas, siendo un requerimiento básico mejorar esta situación, a fin de evitar el excesivo mantenimiento correctivo e incrementar la vida útil de las bombas.

En conclusión REE requiere un sistema autónomo que permita mejorar el desempeño del sistema de bombas, el mismo que debe contar con una interfaz gráfica en la que se puedan monitorear las diferentes variables que intervienen en el proceso, así como modificar los parámetros de control del proceso.

3.5 DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL

3.5.1 Filosofía de control

Con la automatización del sistema de alimentación de agua a calderos se busca eficiencia y confiabilidad.

La eficiencia, se refiere a obtener un flujo de acuerdo a la demanda del sistema y no basado en la capacidad total de la bomba, debido a que la demanda es variable. Con lo planteado se logra ahorro de energía.

Por otro lado se quiere lograr que las bombas trabajen dentro de los parámetros seguros de operación a fin de reducir al mínimo el tiempo y costos de mantenimiento y prolongar la vida útil de los equipos.

Los problemas que deterioran los equipos del sistema son, como se mencionó anteriormente: cavitación, arranques incorrectos, relevos poco eficientes, diferencia de cabezas de las bombas, flujos mínimos que conllevan a daños mecánicos de las bombas y en el peor de los casos a daños térmicos.

Por su parte la confiabilidad en este caso se refiere al abastecimiento ininterrumpido de agua, lo cual es indispensable para el funcionamiento de todo el sistema.

Lo que se busca es que los relevos sean completamente automáticos, y que el sistema sea capaz de responder ante cualquier imprevisto como falla de equipos o perturbaciones en el sistema.

El sistema de control que se plantea debe ser versátil y flexible para obtener todos los beneficios de la automatización como son monitoreo de todas las variables involucradas en el proceso, registros históricos, tendencias, y capacidad de integración.

Para solucionar los problemas planteados anteriormente se debe controlar la presión de descarga y administrar correctamente los relevos.

3.5.2 Lazo de control

Para bombear agua hacia los domos se requiere una presión superior a la presión interna de los mismos, sin embargo si la presión es muy elevada esto se traduce en una pérdida energética. Lo ideal es bombear a una presión ligeramente superior a la presión interna del domo.

Como se explicó en el capítulo anterior, el punto de operación de una bomba es la intersección entre la curva de carga del sistema y la curva de carga-capacidad de la bomba.

La variación de cualquiera de estas dos curvas, como se observa en las figuras 3.6 y 3.7, modifican este punto.

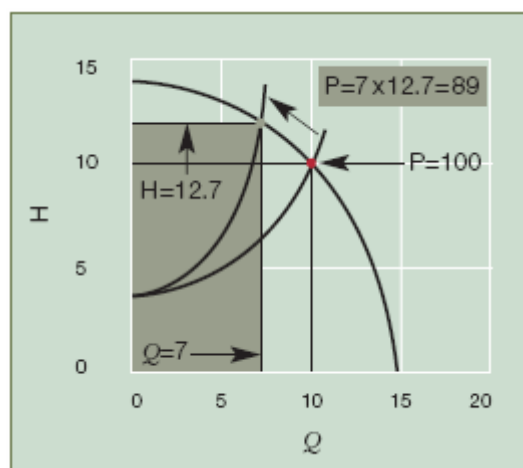


Figura. 3.6. Variación de la curva de carga del sistema

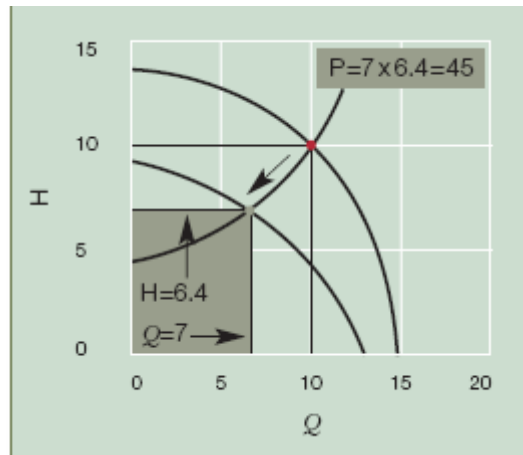


Figura. 3.7. Variación de la curva de carga-capacidad de la bomba

En el sistema de alimentación de agua a calderos de REE la curva de carga del sistema es modificada por la acción de las válvulas reguladoras, y esto depende del sistema de control de nivel de cada caldero. Es decir, las válvulas responden a la demanda de flujo del caldero abriendo o cerrando el paso de agua, con la consecuencia de que la presión del sistema sufre variaciones.

La solución que se plantea es mantener la presión constante, modificando la curva de carga-capacidad de la bomba, variando su velocidad en respuesta a los cambios de la curva de carga del sistema. Con esto se reducirá al mínimo las pérdidas energéticas que provoca el exceso de presión. Además con este control se soluciona el problema de la diferencia de cabezas de presión de las bombas, previniendo así operaciones inadecuadas de las bombas, sobre todo en el funcionamiento en paralelo.

Para lograr lo planteado anteriormente se propone el esquema de control de la figura No. 3.8

Se controla la presión de descarga de las bombas manipulando la velocidad de las mismas con variadores de velocidad (VFD); para esto se diseñó un controlador en cascada de presión y velocidad para cada bomba. Además se establecen distribuidores de carga (PY) que sirven como offset para la señal de control del lazo primario y permiten individualizar las bombas.

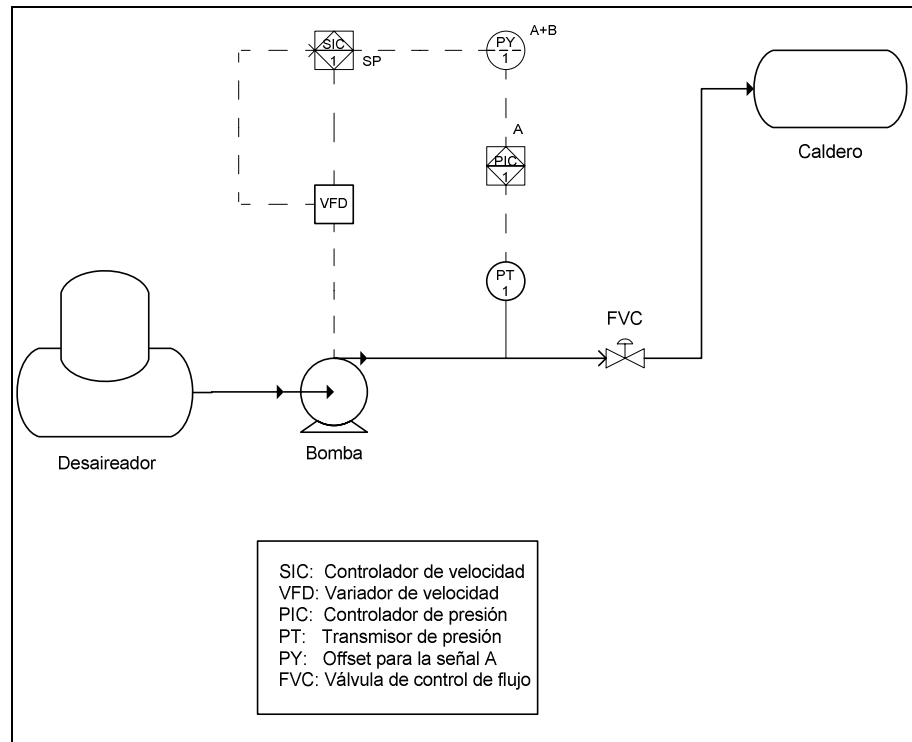


Figura. 3.8. Esquema de control

Los distribuidores de carga se emplean en sistemas en los cuales diferentes equipos modifiquen una misma variable como en este caso, en el cuál el distribuidor de carga permite establecer el aporte de flujo de cada bomba.

Por la característica de respuesta rápida de las variables a controlar se optó por utilizar control Proporcional-Integral (PI).

3.5.3 Relevos automáticos

Los relevos automáticos se encargan de asegurar el abastecimiento ininterrumpido de agua hacia los calderos.

Una de las funciones de la lógica de relevos es garantizar la puesta en marcha de una segunda bomba en paralelo cuando la capacidad de la bomba que esta operando no abastezca la demanda total del sistema. La operación de bombas en paralelo se explicó en el capítulo 2.

En el caso de estudio la demanda máxima que podrían exigir los calderos es de aproximadamente 435 m³/h, siendo la capacidad promedio de las bombas de 300 m³/h. Considerando que la demanda promedio del sistema es de 250 m³/h durante el 50% del tiempo de operación, una sola bomba puede trabajar adecuadamente.

El problema se presenta cuando se excede la capacidad de la bomba que es cuando debe de accionarse una segunda bomba para trabajar en paralelo con la primera.

Por otro lado mantener funcionando dos bombas en paralelo cuando no es necesario significa pérdidas de energía, por lo tanto los relevos también consisten en sacar de funcionamiento la bomba auxiliar cuando la demanda pueda ser cubierta por una sola bomba.

Para realizar esta operación se da una señal de aviso para que el operador constate las condiciones de las bombas y pare la que considere conveniente, en caso de que el operador no de atención a este aviso durante un cierto tiempo se desactivará automáticamente la bomba que esté configurada como secundaria.

Los relevos automáticos también deben garantizar que ante cualquier falla de equipos, exista siempre una alternativa para evitar cortar el suministro de agua.

La activación del relevo automático se da cuando la presión de descarga comienza a descender del valor mínimo permitido y la bomba ya ha alcanzado su máxima velocidad.

La desactivación del relevo debe ocurrir cuando la demanda de flujo pueda ser abastecida por una sola bomba y se haya estabilizado esta condición en un tiempo determinado.

3.5.4 Diagrama general

Las modificaciones propuestas al sistema se aprecian en la figura 3.9.

Con el fin de lograr una presión constante en la entrada de los calderos, se propone la utilización de variadores de velocidad y gobernadores electrónicos como elementos finales de control para las bombas, los mismos que serán administrados por un controlador lógico programable (PLC), en el cual se encuentran programados un control de presión en cascada con velocidad para cada bomba.

La señal de control de presión entra como set point al controlador de velocidad pasando a través de un algoritmo llamado distribuidor de carga (PY), el mismo que permite determinar el aporte de cada bomba según el criterio del operador basado en las condiciones de las mismas.

Existe un único transmisor de presión situado en la descarga común con el fin de obtener una presión constante en dicho punto.

En la línea de descarga de cada bomba existen transmisores de flujo para medir el aporte de cada bomba.

Las señales de los transmisores ingresan directamente al PLC que es donde se encuentra cargado el programa de control y el mismo envía la señal a los elementos finales de control.

Además el PLC como administrador del sistema permite establecer las configuraciones de operación de las bombas para la posición de principal, relevo y stand-by.

El diseño se complementa con la implementación de un interfaz hombre-máquina (HMI), el mismo que se comunica con el PLC vía Modbus y permite al operador interactuar con el sistema.

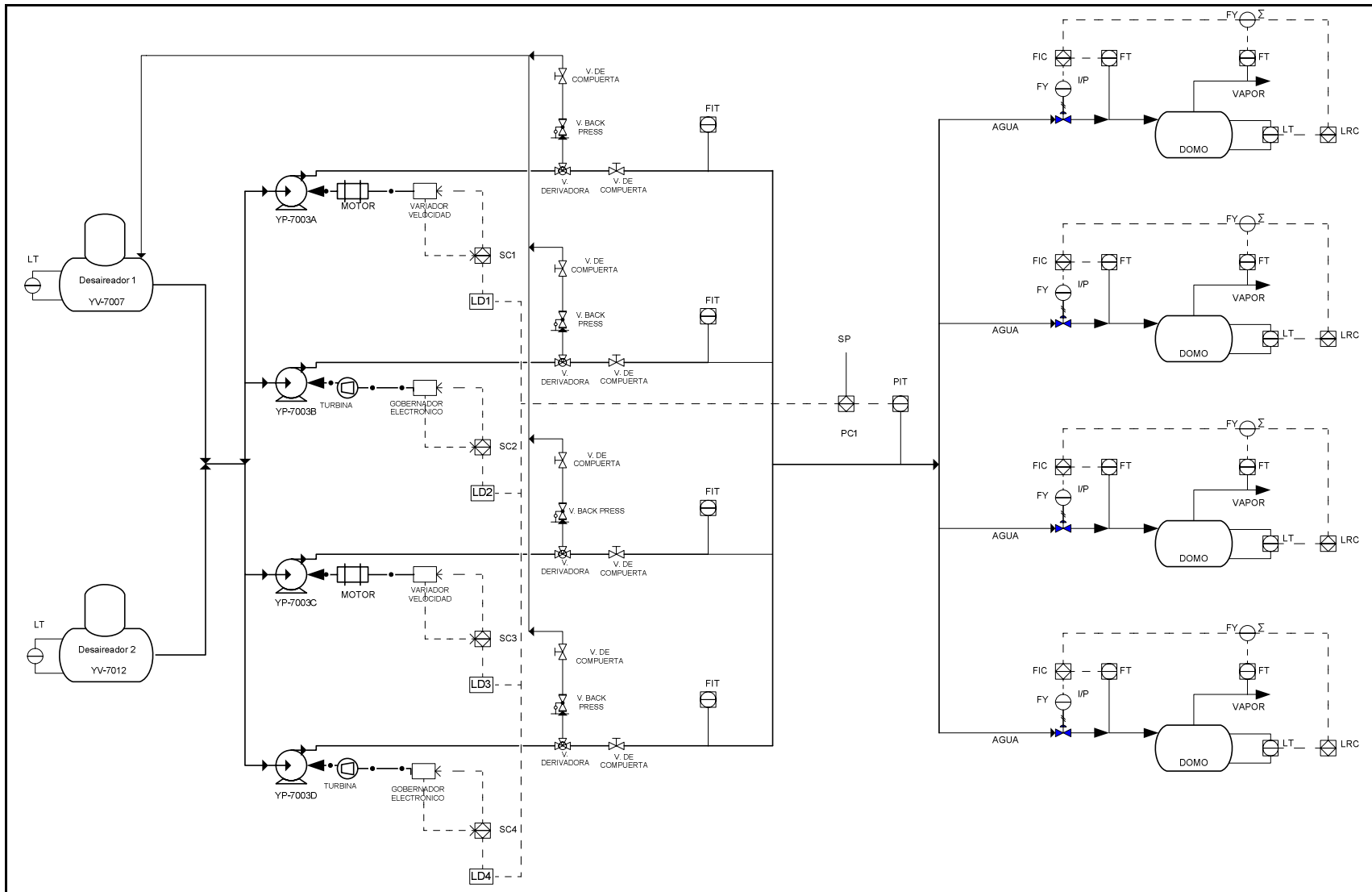


Figura. 3.9. Diseño propuesto

3.5.5 Especificaciones

Para la ejecución del proyecto se requieren los siguientes equipos:

ACTUADORES

- 2 Gobernadores electrónicos para las bombas accionadas por turbina, con las siguientes especificaciones:
 - Una entrada analógica para control remoto de velocidad
 - Una entrada para sensor de velocidad magnético (MPUs)²
 - Salida analógica de 4 a 20 mA para el actuador (válvula de control de flujo de vapor)
 - Comunicación Modbus
 - Alimentación de 24 Vdc

Actualmente se encuentra instalado un gobernador electrónico en la bomba YP-7003B cuyas especificaciones técnicas se encuentran en el anexo 3.

- 2 Variadores de velocidad (DRIVES) para las bombas accionadas por motor. Para los equipos existentes en refinería, los variadores deben cumplir las características que se muestran en la tabla 3.4

Tabla. 3.4. Requisitos de los variadores de velocidad

| | |
|--------------------------|-----------------------------------|
| APLICACIÓN PARA MOTOR | 4160V,900HP/630Kw,60Hz, trifásico |
| TIPO DE ENFRIAMIENTO | Aire |
| MAXIMA POTENCIA CONTINUA | 800KVA |
| CORRIENTE DE SALIDA | 115 ^a |
| TEMPERATURA AMBIENTE | 40°C |
| ALTITUD | NIVEL DEL MAR |
| HUMEDAD RELATIVA | 100% |

² Magnetic Pickup.- sensor de velocidad magnético para aplicación con rueda dentada

Para el control propuesto deben contar al menos con las siguientes especificaciones:

- Una entrada analógica para control remoto de velocidad
- Una entrada digital para arranque/parada
- Una salida analógica para indicar el estado actual de velocidad.
- Comunicación Modbus

Además se requiere de un transformador aislador de entrada para cada variador, que debe ser diseñado para aplicación de montaje exterior y eliminación de armónicos en la fuente de alimentación.

Como se observa en la figura 3.10, los variadores de velocidad y sus respectivos transformadores se ubicarán en la subestación E del área de Utilidades, la misma que se encuentra aproximadamente a 50 m de distancia de las bombas YP7003. También se requiere un Switch de transferencia que permitirá hacer un By Pass en caso de falla o mantenimiento del variador de velocidad, el By Pass permitirá arrancar directamente el motor.

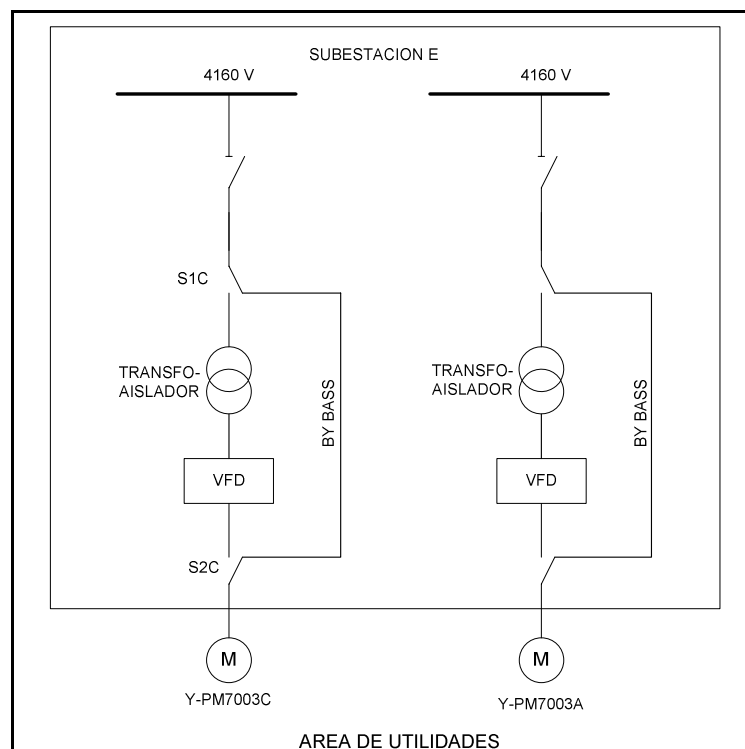


Figura. 3.10. Diagrama eléctrico

CONTROLADORES

- Controlador lógico programable (PLC) con las siguientes características:
 - 16 entradas analógicas.
 - 6 salidas analógicas.
 - 8 salidas digitales.
 - Capacidad para 8 PID.
 - Comunicación Modbus.

- Consola para interfaz gráfica.

INSTRUMENTACIÓN

- 4 transmisores de flujo con las siguientes características:
 - Salida analógica de 4 a 20 mA
 - Rango de medición de 0 a 400 m³/h
 - Medición de flujo por presión diferencial

Se ubicará uno en la descarga de cada bomba.

- 1 transmisor de presión para la descarga común, con las siguientes características:
 - Salida analógica de 4 a 20 mA
 - Rango de medición de 0 a 100 Kg/cm²

Se ubicará en la descarga común del sistema.

- 2 sensores magnéticos de velocidad (MPUs), para las bombas accionadas por turbinas. Ver figura 3.11.
-

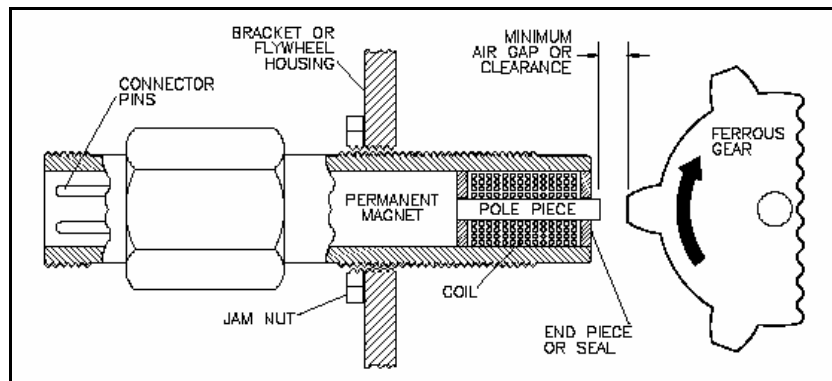


Figura. 3.11. Magnetic Pickup

ALIMENTACIÓN

- Fuente de alimentación de 24 VDC redundante para PLC.
- Fuente de alimentación de 24 VDC redundante para gobernadores electrónicos.
- Fuente de alimentación de 24 VDC redundante para transmisores.
- Sistema de alimentación ininterrumpida (UPS).

CAPÍTULO 4

DESARROLLO DEL SOFTWARE

4.1 DESARROLLO DEL SOFTWARE DE CONTROL

Luego de estudiado y comprendido el proceso en el capítulo anterior, se puede realizar el programa de control que va a administrar el sistema de bombas de agua de alimentación a calderos. Lo primero que hay que hacer para desarrollar un programa de control es tener claro cuáles son las variables involucradas en el proceso, las entradas y los resultados que se desean obtener.

En el programa se reciben los valores provenientes de los transmisores de presión, flujo, velocidad, nivel y temperatura; con estos datos se realiza el control propuesto con la finalidad de mantener un valor de presión constante en la descarga común de las bombas.

4.1.1 Mapa de variables

Entradas

30001: Presión a la descarga

30002: Velocidad Bomba A

30003: Velocidad Bomba B

30004: Velocidad Bomba C

30005: Velocidad Bomba D

30006: Flujo Bomba A

30007: Flujo Bomba B

30008: Flujo Bomba C

- 30009: Flujo Bomba D
- 30010: Temperatura Bomba A
- 30011: Temperatura Bomba B
- 30012: Temperatura Bomba C
- 30013: Temperatura Bomba D
- 30014: Nivel Desaireador 1
- 30015: Nivel Desaireador 2

Salidas

- 40102: Salida Analógica de control Bomba A
- 40202: Salida Analógica de control Bomba B
- 40302: Salida Analógica de control Bomba C
- 40402: Salida Analógica de control Bomba D

Registros utilizados para el bloque funcional PID

Los registros del 40100/ 40200/ 40300/ 40400/ 40500 al 40120/ 40220/ 40320/ 40420/ 40520 se encuentran reservados para la configuración del bloque PID, mientras que los registros del 40150/ 40250/ 40350/ 40450/ 40550 al 40158/ 40258/ 40358/ 40458/ 40558 están reservados para operaciones y cálculos propios de la función. La configuración del bloque se muestra a continuación:

PC1

- 40100: Salida en unidades de ingeniería
 - 40101: SP_PC1
 - 40102: Salida controlador
 - 40103: Alarma límite superior
 - 40104: Alarma límite inferior
 - 40105: PB_PC1
 - 40106: Ti_PC1
 - 40107: Td_PC1
 - 40108: Bías_PC1
 - 40109: 4000
 - 40110: 0
 - 40111: 80 PSI
-

40112: 0 PSI
40113: Entrada analógica (reg 40010)
40117: Salida máxima del controlador (4000)
40118: Salida mínima del controlador (0)

SC1

40200: Salida en unidades de ingeniería
40201: SP_SC1
40202: Salida controlador
40203: Alarma límite superior bomba1
40205: PB_SC1
40206: Ti_SC1
40207: Td_SC1
40208: Bías_SC1
40209: 4000
40210: 0
40211: 3600 rpm
40212: 0 rpm
40213: Entrada analógica (reg 40011)
40217: Salida máxima del controlador (4000)
40218: Salida mínima del controlador (0)

SC2

40300: Salida en unidades de ingeniería
40301: SP_SC2
40302: Salida controlador
40303: Alarma límite superior bomba2
40305: PB_SC2
40306: Ti_SC2
40307: Td_SC2
40308: Bías_SC2
40309: 4000
40310: 0
40311: 3600 rpm

40312: 0 rpm
40313: Entrada analógica (reg 40012)
40317: Salida máxima del controlador (4000)
40318: Salida mínima del controlador (0)

SC3

40400: Salida en unidades de ingeniería
40401: SP_SC1
40402: Salida controlador
40403: Alarma límite superior bomba1
40405: PB_SC1
40406: Ti_SC1
40407: Td_SC1
40408: Bías_SC1
40409: 4000
40410: 0
40411: 3600 rpm
40412: 0 rpm
40413: Entrada analógica (reg 40011)
40417: Salida máxima del controlador (4000)
40418: Salida mínima del controlador (0)

SC4

40500: Salida en unidades de ingeniería
40501: SP_SC2
40502: Salida controlador
40503: Alarma límite superior bomba2
40505: PB_SC2
40506: Ti_SC2
40507: Td_SC2
40508: Bías_SC2
40509: 4000
40510: 0
40511: 3600 rpm

- 40512: 0 rpm
- 40513: Entrada analógica (reg 40012)
- 40517: Salida máxima del controlador (4000)
- 40518: Salida mínima del controlador (0)

Registros provenientes del HMI

- 00101: ON bomba principal
- 00102: OFF bomba principal
- 00103: ON bomba secundaria
- 00104: OFF bomba secundaria
- 00105: Selección MANUAL/AUTO bomba secundaria
- 00106: Bomba A principal
- 00107: Bomba B principal
- 00108: Bomba C principal
- 00109: Bomba D principal
- 00110: Bomba A secundaria
- 00111: Bomba B secundaria
- 00112: Bomba C secundaria
- 00113: Bomba D secundaria
- 00114: Manual/Auto PC1
- 00115: Manual/Auto SC1
- 00116: Manual/Auto SC2
- 00117: Manual/Auto SC3
- 00118: Manual/Auto SC4

Registros enviados al HMI

- 00001: bomba A
 - 00002: bomba B
 - 00003: bomba C
 - 00004: bomba D
 - 00018: alarma baja presión
 - 00021: bomba A a máxima velocidad
 - 00022: bomba B a máxima velocidad
 - 00023: bomba C a máxima velocidad
-

00024: bomba D a máxima velocidad
00040: bomba A a máxima temperatura
00041: bomba B a máxima temperatura
00042: bomba C a máxima temperatura
00043: bomba D a máxima temperatura
00045: Nivel Mínimo en Desaireador

Registros auxiliares

00025: Flujo dentro del rango de Bomba A
00026: Flujo dentro del rango de Bomba B
00027: Flujo dentro del rango de Bomba C
00028: Flujo dentro del rango de Bomba D
00029: Flujo dentro del rango de Bomba A durante un tiempo t
00030: Flujo dentro del rango de Bomba B durante un tiempo t
00031: Flujo dentro del rango de Bomba C durante un tiempo t
00032: Flujo dentro del rango de Bomba D durante un tiempo t
00033: Arranque/ Parada manual bomba principal.
00034: Arranque/ Parada manual bomba secundaria.
00035: Arranque/ Parada auto bomba secundaria
00036: Arrancar bomba secundaria

40030: Flujo nominal bomba A
40031: Flujo nominal bomba B
40032: Flujo nominal bomba C
40033: Flujo nominal bomba D
40040: Timer bomba A
40041: Timer bomba B
40042: Timer bomba C
40043: Timer bomba D
40050: Temperatura máxima bomba A
40051: Temperatura máxima bomba B
40052: Temperatura máxima bomba C
40053: Temperatura máxima bomba D
40054: Nivel Mínimo

40058: Flujo A+B

40059: Flujo A+B+C

40060: Flujo A+B+C+D (flujo total)

4.1.2 Lógica de operación del software de control

El programa de control, ver anexo 4, puede dividirse en los bloques que se aprecian en la figura 4.1

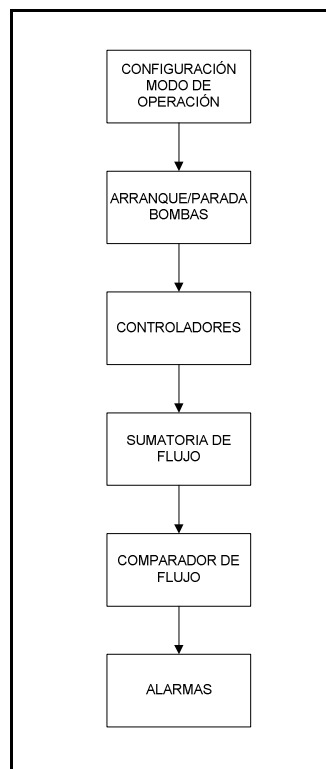


Figura. 4.1. Diagrama de bloques de la lógica de control

- Configuración del modo de operación

Este punto se refiere a la selección del modo de operación de cada bomba, ya sea principal, secundaria o en stand-by.

- Arranque y parada de las bombas

Luego de configurado el modo de operación, se realiza la lógica de arranque de las bombas, tomando en cuenta que la bomba principal puede accionarse

únicamente de modo manual, mientras que la bomba secundaria puede accionarse manual o automáticamente dependiendo de la selección del operador. El relevo en modo automático se acciona cuando se ha alcanzado la máxima velocidad en la bomba principal y la presión esta por debajo del límite deseado.

- Controladores

En este bloque se incluyen 5 controladores PID, los mismos que reciben la señal de los transmisores a través de las entradas analógicas del PLC, la comparan con la señal deseada (Set point) y emiten una señal de control. Como se explicó anteriormente en cada bomba se aplica un control en cascada de presión con velocidad, el mismo que es desarrollado internamente en el PLC.

- Totalizador de flujo

Para conocer el flujo total entregado por las bombas activas se realiza una sumatoria de las señales recibidas de los transmisores de flujo instalados en la descarga de cada bomba, el mismo que es monitoreado desde el HMI.

- Comparador de flujo

Para desactivar el relevo se debe comprobar que el flujo total requerido es menor que el flujo nominal de la bomba principal en funcionamiento.

- Alarmas

A fin de evitar daños en equipos y mal funcionamiento del sistema, todas las variables involucradas en el proceso son monitoreadas y comparadas con las condiciones seguras de operación, en caso de estar fuera de este rango se comunicará al operador a través de alarmas visuales.

Para describir la lógica de control del software de manera sencilla se utilizó diagramas de flujo que muestran el camino que toman los datos, desde la entrada del programa hasta su salida.

La nomenclatura utilizada en los diagramas de flujo es la siguiente:

V = velocidad

P = presión

F = flujo

BP = bomba principal

SP(P) = set point de presión

PC = salida controlador de presión

Vmax = velocidad máxima

Fn = flujo nominal

ΣF = flujo total

LD1 = distribuidor de carga bomba 1

SC1 = controlador de velocidad de bomba 1

SP(V) = set point de velocidad

En la figura 4.2 se describe el algoritmo de la operación automática de una bomba; en primer lugar se tiene la medición de las variables involucradas, si la bomba principal se encuentra encendida se realiza la comparación de presión procediendo a disminuir o aumentar la salida de control de presión según sea el caso.

El relevo se acciona cuando la velocidad de la bomba principal es mayor o igual a la velocidad máxima sugerida para su operación y la presión esta por debajo de lo requerido.

En la figura 4.3 se describe el algoritmo de la operación automática de dos bombas en paralelo; en primer lugar se tiene la medición de las variables involucradas, luego se realiza la totalización de los flujos entregados por cada bomba y se compara con el flujo nominal de la bomba principal, si el flujo total es menor que el flujo nominal se desactiva el relevo, caso contrario continúa la operación de las bombas en paralelo.

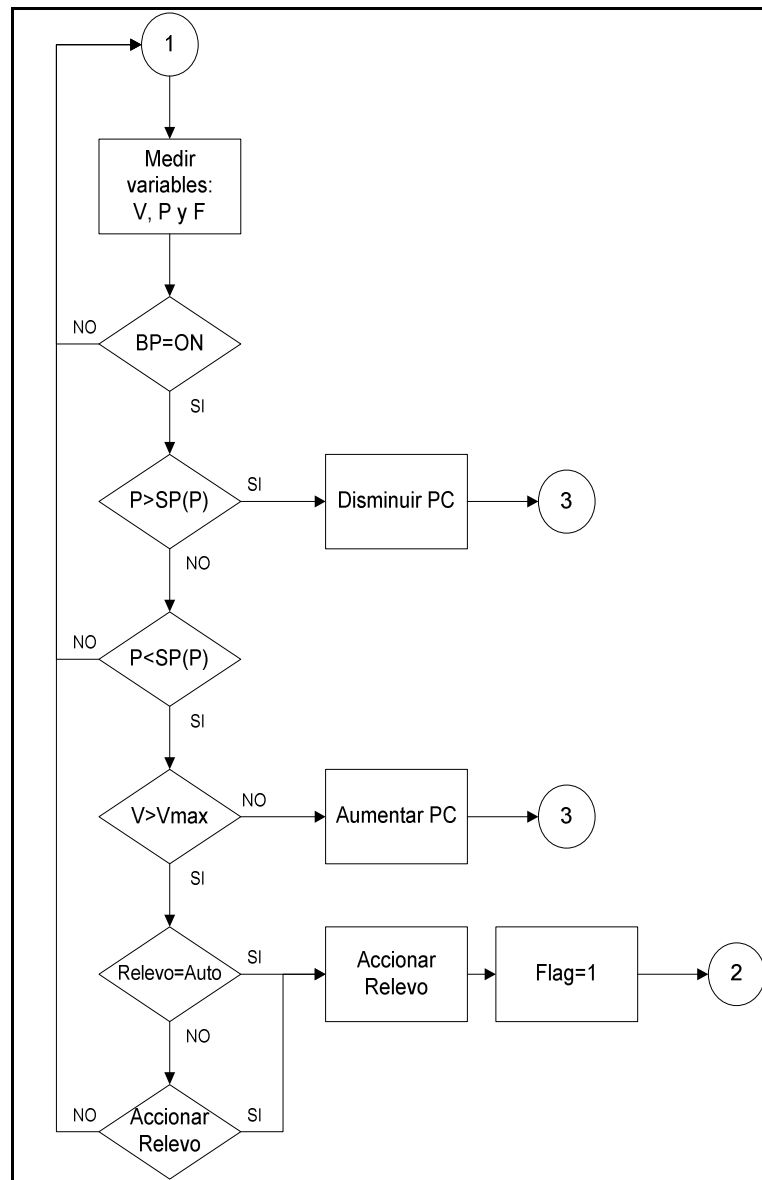


Figura. 4.2. Operación automática de una bomba

Como se aprecia en la figura 4.4 existen cuatro distribuidores de carga, uno para cada bomba y se accionan únicamente los correspondientes a la bomba principal y relevo, si estuviera accionado. Si el distribuidor de carga está configurado de modo remoto se le adiciona un bias a la señal de control de presión, caso contrario el operador determina la señal de control que crea conveniente.

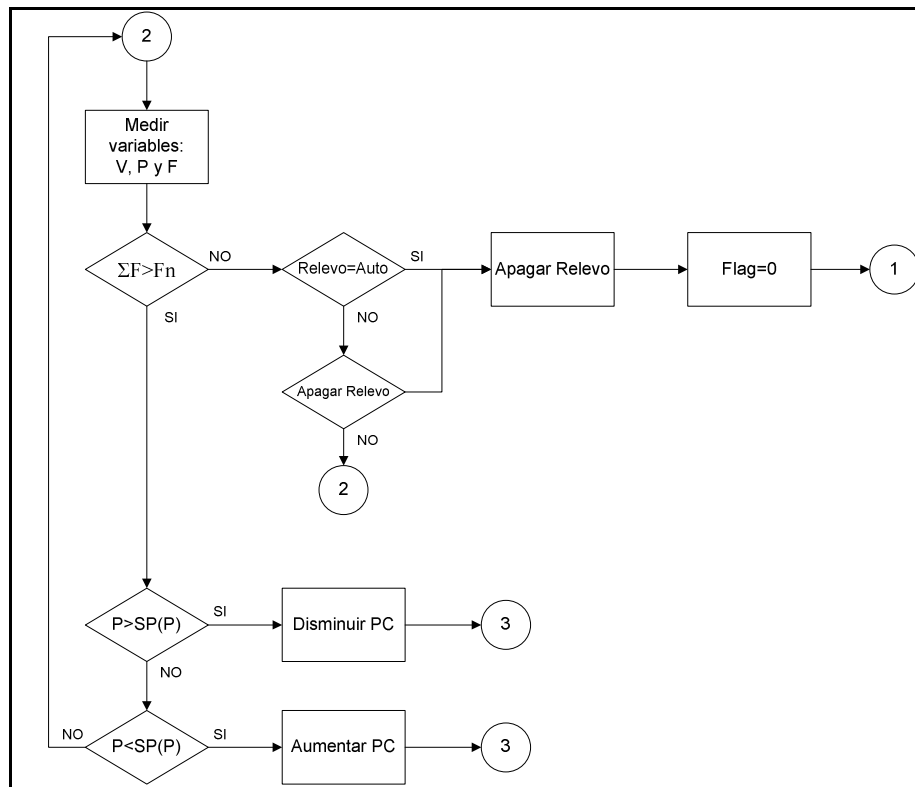


Figura. 4.3. Operación de bombas en paralelo

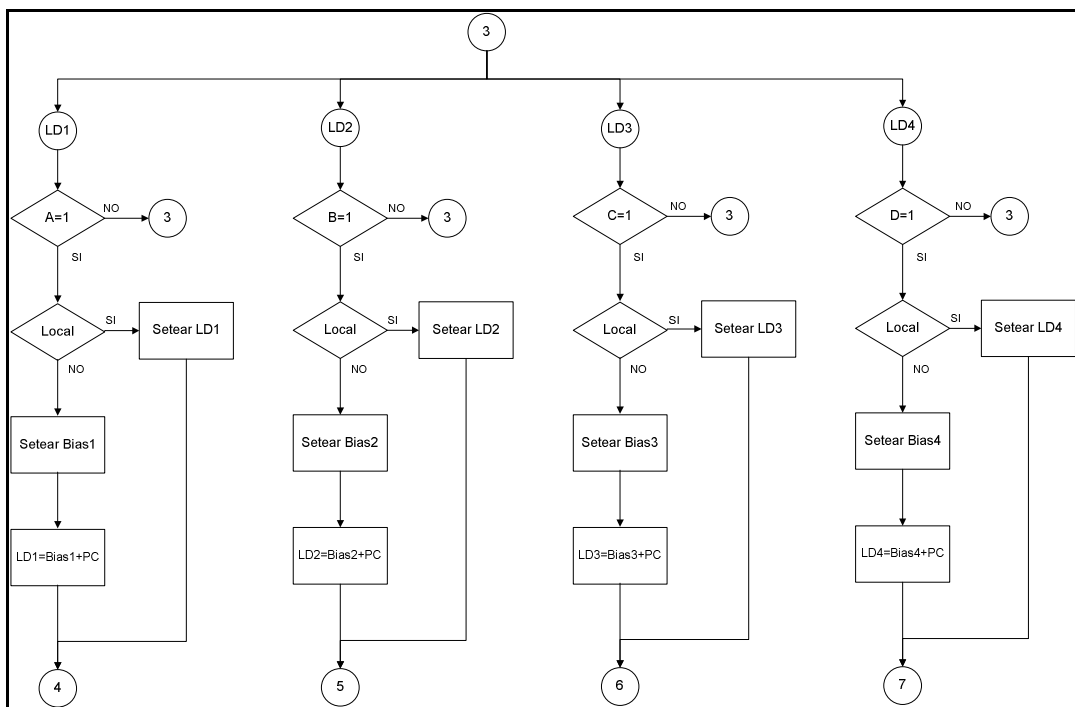


Figura. 4.4. Lógica del distribuidor de carga

Como se trata de un lazo de control en cascada el set point del control de velocidad esta dado por el distribuidor de carga, el cual en definitiva es un offset adicionado a la señal de control de presión.

Como se observa en la figura 4.5., si la velocidad es menor que el valor deseado se toma la decisión de aumentar la velocidad y viceversa.

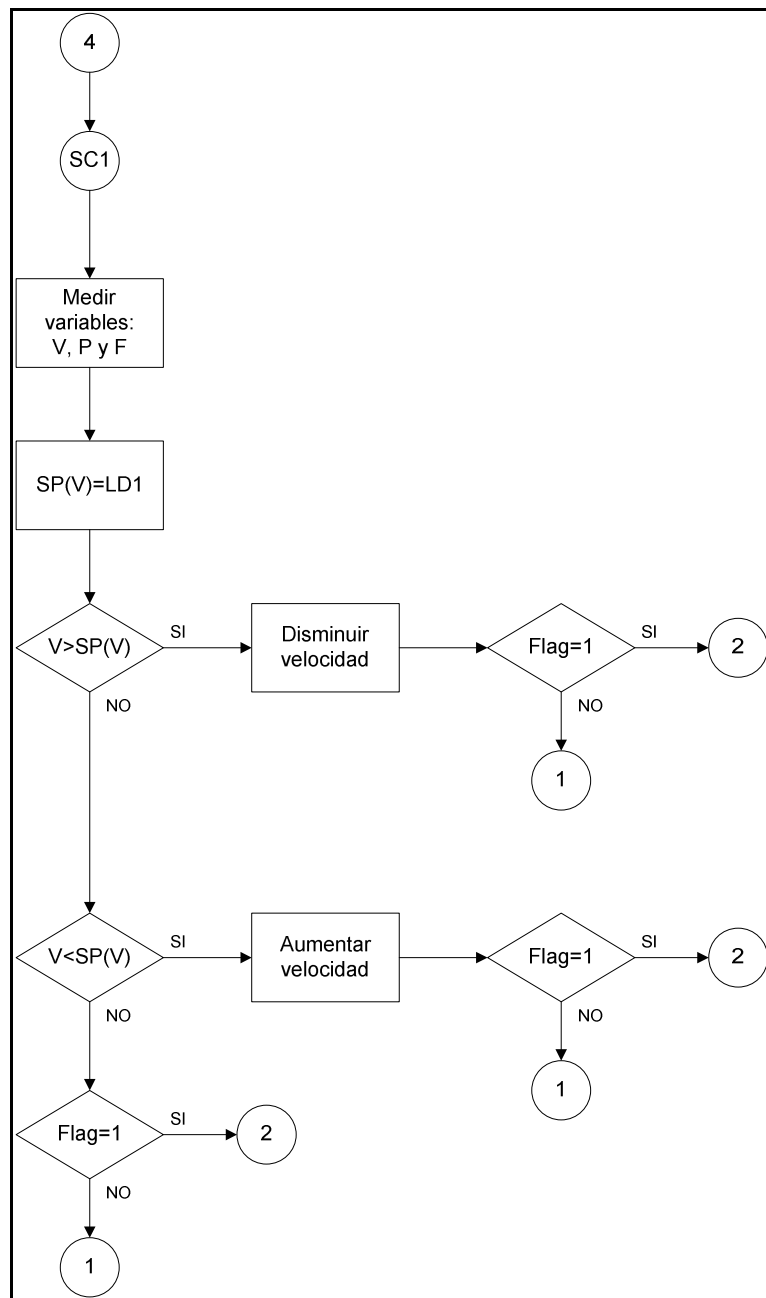


Figura. 4.5. Operación del control de velocidad

Se debe identificar la bomba que se encuentra como principal y como relevo, para saber qué controlador accionar; para esto se realiza un proceso de simple eliminación como el mostrado en la figura 4.6.

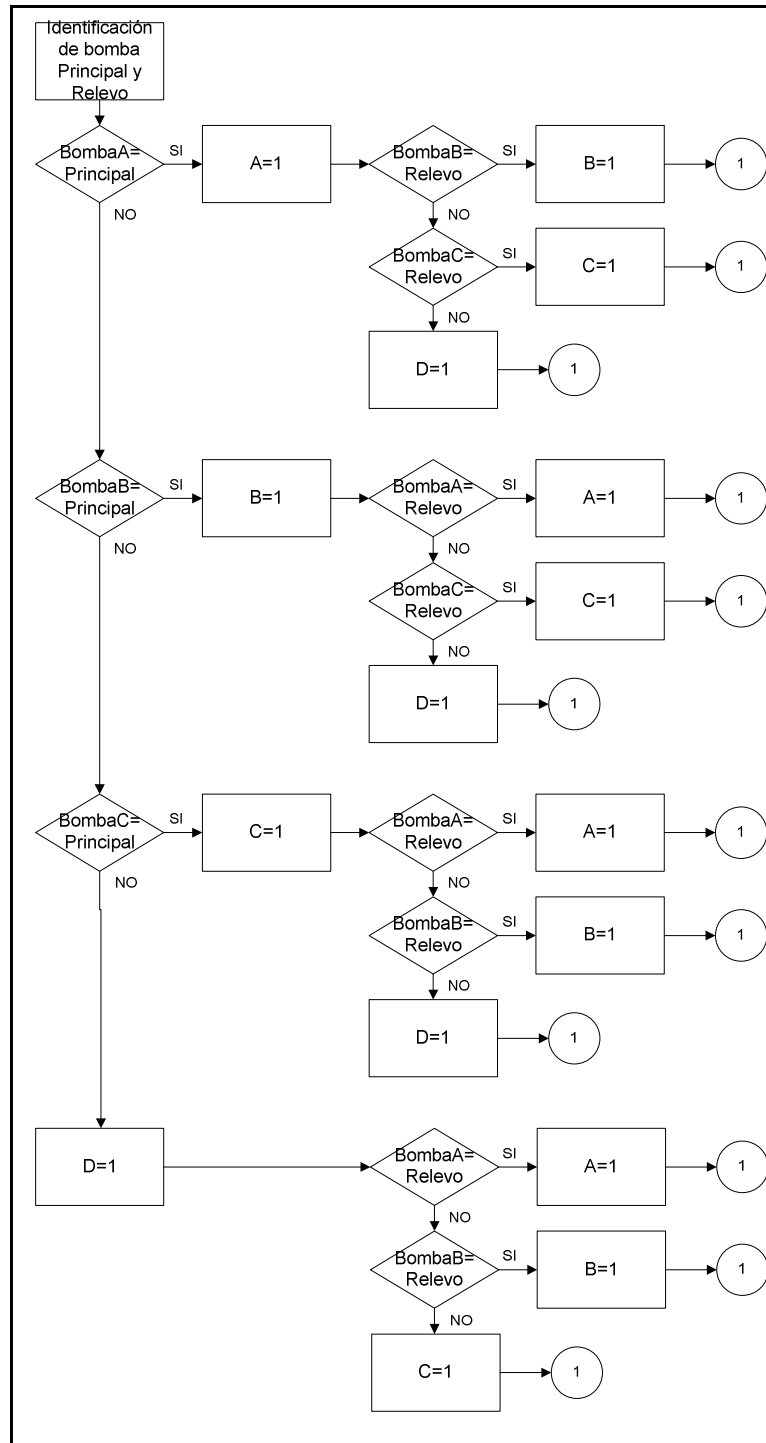


Figura. 4.6. Identificación de bomba principal y relevo

4.2 DESARROLLO DE LA INTERFAZ HOMBRE-MÁQUINA (HMI)

Para monitorear y setear los parámetros de control del proceso se desarrolló una interfaz gráfica en el programa Lookout (perteneciente a la National Instruments), el mismo que se comunicará con el programa de control cargado en el PLC vía protocolo Modbus.

Esta interfaz se encuentra dividida en cinco pantallas:

- ACCIONAMIENTOS
- CONTROLADORES
- INGENIERIA 1
- INGENIERIA 2
- PROCESO

ACCIONAMIENTOS

Esta pantalla, figura 4.7, permite en primer lugar elegir la bomba que trabajará como principal, así como la bomba que trabajará como secundaria (relevo); siendo la una condición excluyente de la otra, es decir, si la bomba A es seleccionada como principal, no puede ser seleccionada como secundaria. Se puede seleccionar entre las bombas A, B, C y D correspondientes a las bombas YP7003A, YP7003B, YP7003C y YP7003D del sistema de alimentación de agua a calderos de REE.

La bomba que opera como principal siempre debe ser accionada por el operador desde esta pantalla, además debe elegir la forma de operación de la bomba de relevo que puede ser automática o manual. En caso de que la bomba de relevo opere de forma manual, aquí se puede arrancar o detener dicha bomba.

Existen también alarmas por alta temperatura y velocidad de cada una de las bombas, bajo nivel de los desaireadores y baja presión del sistema, que permiten visualizar de manera sencilla y rápida una anomalía en el mismo.

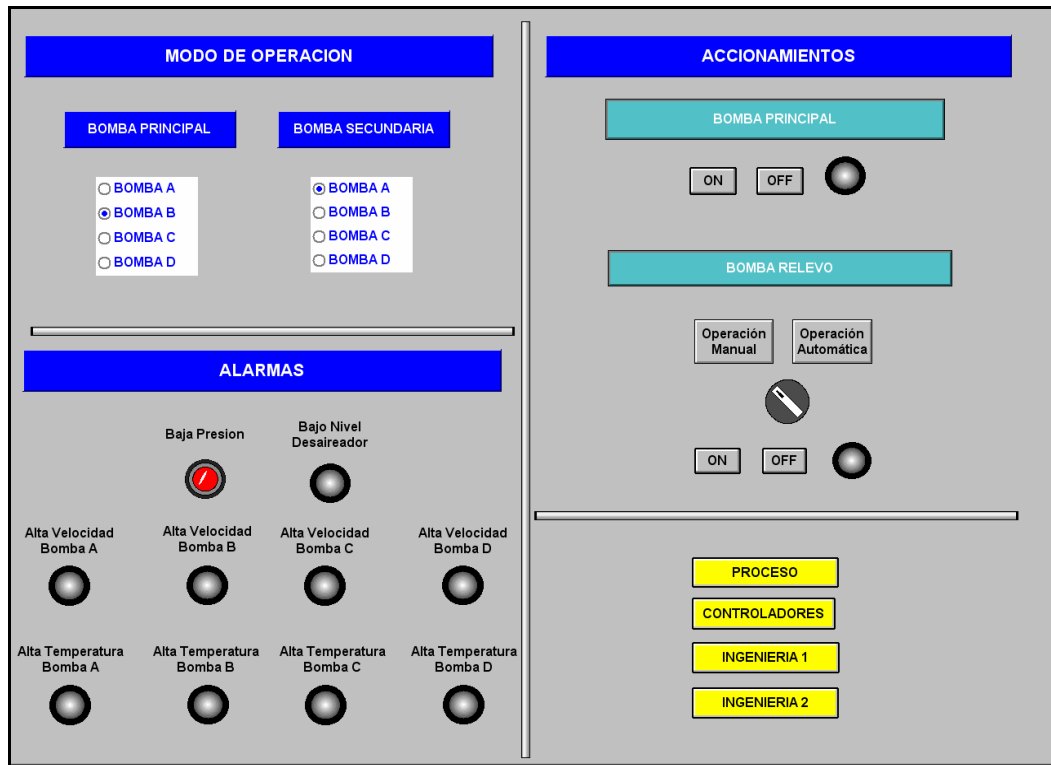


Figura. 4.7. Pantalla de Accionamientos

Los niveles de las alarmas son programables, pudiendo ser ajustados de acuerdo al proceso y a las necesidades del operador.

CONTROLADORES

Esta pantalla, ver figura 4.8, permite al operador visualizar e interactuar con todos los controladores del sistema, para cada controlador se grafica el set point (SP), variable controlada (PV) y variable manipulada (MV). Se encuentra dividida en diez partes: PC1, LD1, LD2, LD3, LD4, SC1, SC2, SC3, SC4 y Flujo.

PC1 es el controlador de presión, el mismo que puede ser automático o manual.

SC1, SC2, SC3 y SC4 son los controladores de velocidad que funcionan en cascada con PC1 pero que a su vez tienen la opción de trabajar de manera local. Para entender mejor el lazo de control implementado ver la figura 4.9.

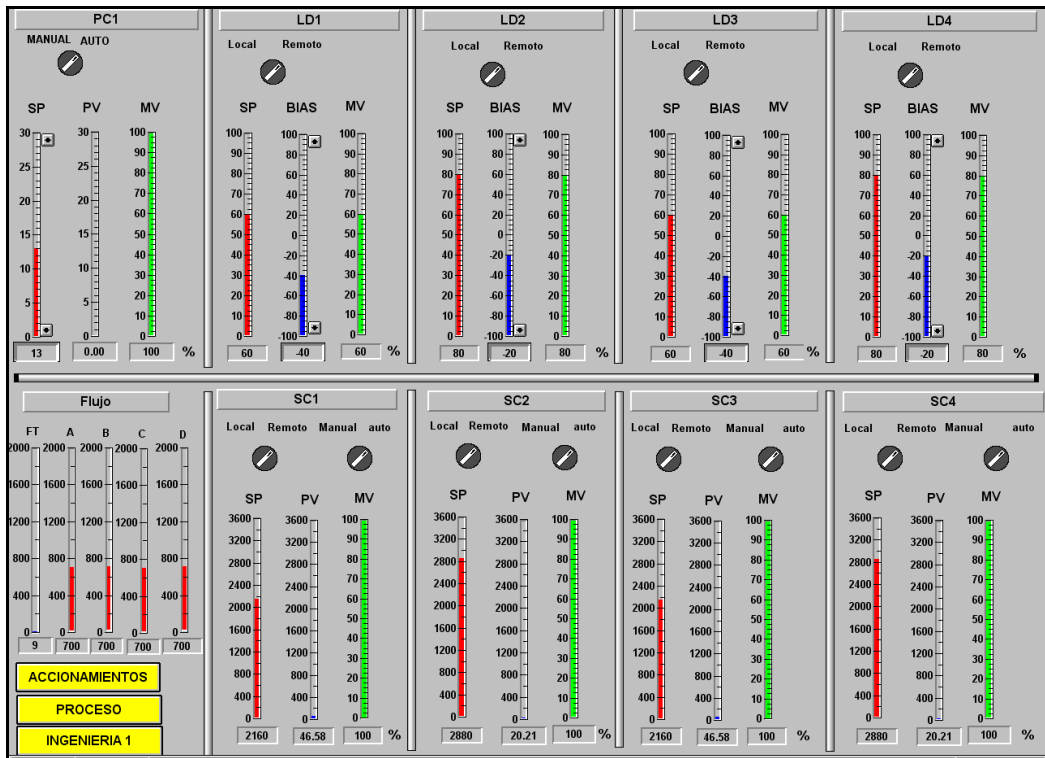


Figura. 4.8. Pantalla de controladores

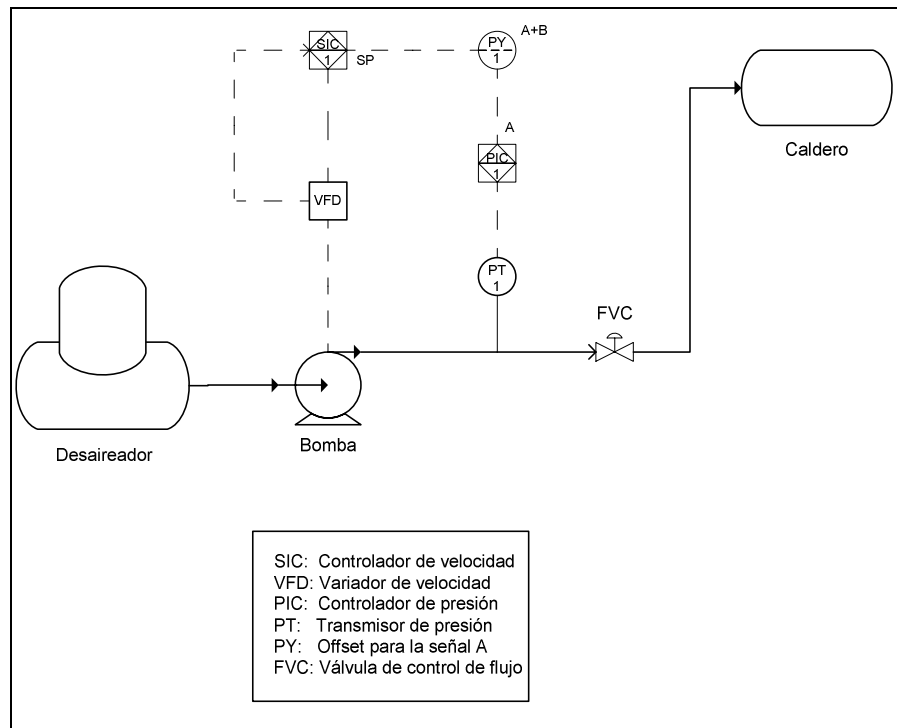


Figura. 4.9. Lazo de control

LD1, LD2, LD3 y LD4 son los distribuidores de carga, los cuales le dan un offset a la señal de control enviada por PC1 y sirven para individualizar los

componentes del sistema. Los distribuidores también tienen la posibilidad de trabajar de manera local o remota.

En Flujo se registra la sumatoria de la medición de los flujos a la descarga de cada bomba y se lo compara con el flujo nominal de las bombas en operación.

INGENIERÍA

El panel de Ingeniería se encuentra dividido en dos pantallas Ingeniería 1 e Ingeniería 2.

La pantalla Ingeniería 1, ver figura 4.10, permite modificar parámetros propios de cada bomba como: velocidad máxima, flujo nominal, tiempo de estabilización y temperatura máxima, además para todo el sistema se ingresa el margen de error de la presión, presión máxima y nivel mínimo en los desaireadores.

| PANEL DE INGENIERIA | | |
|---------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| BOMBA A | BOMBA B | SISTEMA |
| Velocidad Máxima: <input type="text" value="3000"/> rpm | Velocidad Máxima: <input type="text" value="3000"/> rpm | Set Point: <input type="text" value="13"/> Kg/cm2 |
| Flujo Nominal: <input type="text" value="700"/> m3/h | Flujo Nominal: <input type="text" value="700"/> m3/h | Margen de Error: <input type="text" value="2"/> Kg/cm2 |
| Tiempo de Estabilizacion: <input type="text" value="10"/> min | Tiempo de Estabilizacion: <input type="text" value="10"/> min | Presión Máxima: <input type="text" value="22"/> Kg/cm2 |
| Temperatura Máxima: <input type="text" value="10"/> °C | Temperatura Máxima: <input type="text" value="10"/> °C | Nivel Mínimo: <input type="text" value="22"/> m |
| BOMBA C | BOMBA D | |
| Velocidad Máxima: <input type="text" value="3000"/> rpm | Velocidad Máxima: <input type="text" value="3000"/> rpm | <input type="button" value="ACCIONAMIENTOS"/> |
| Flujo Nominal: <input type="text" value="700"/> m3/h | Flujo Nominal: <input type="text" value="700"/> m3/h | <input type="button" value="CONTROLADORES"/> |
| Tiempo de Estabilizacion: <input type="text" value="10"/> min | Tiempo de Estabilizacion: <input type="text" value="10"/> min | <input type="button" value="PROCESO"/> |
| Temperatura Máxima: <input type="text" value="10"/> °C | Temperatura Máxima: <input type="text" value="10"/> °C | <input type="button" value="INGENIERIA 2"/> |

Figura. 4.10. Pantalla de Ingeniería 1

La pantalla Ingeniería 2, ver figura 4.11, permite modificar los parámetros de los controladores, como son: Banda Proporcional, Ti (rep/min) y Bías que sirven para sintonizar el control PI.

Para cada controlador se visualiza en tiempo real el SP, variable controlada (PV) y la variable manipulada (MV), para brindar una visión más amplia del sistema al técnico o persona encargada del mismo.

Es importante recalcar que estos parámetros deben ser ingresados con un amplio conocimiento del sistema.

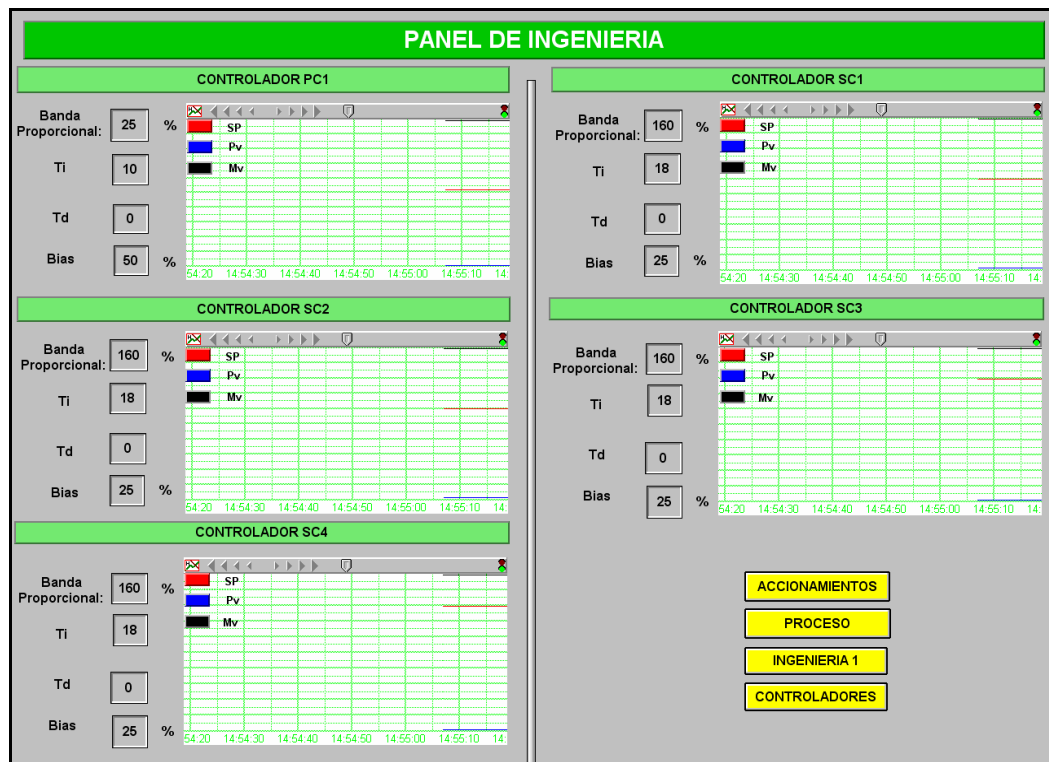


Figura. 4.11. Pantalla de Ingeniería 2

PROCESO

Esta pantalla, figura 4.12, sirve para comprender mejor lo que está ocurriendo en el proceso porque permite visualizar de forma gráfica el accionamiento de las bombas, así como monitorear todas las variables del proceso. Además se pueden desplegar los distintos controladores y cambiar sus parámetros.

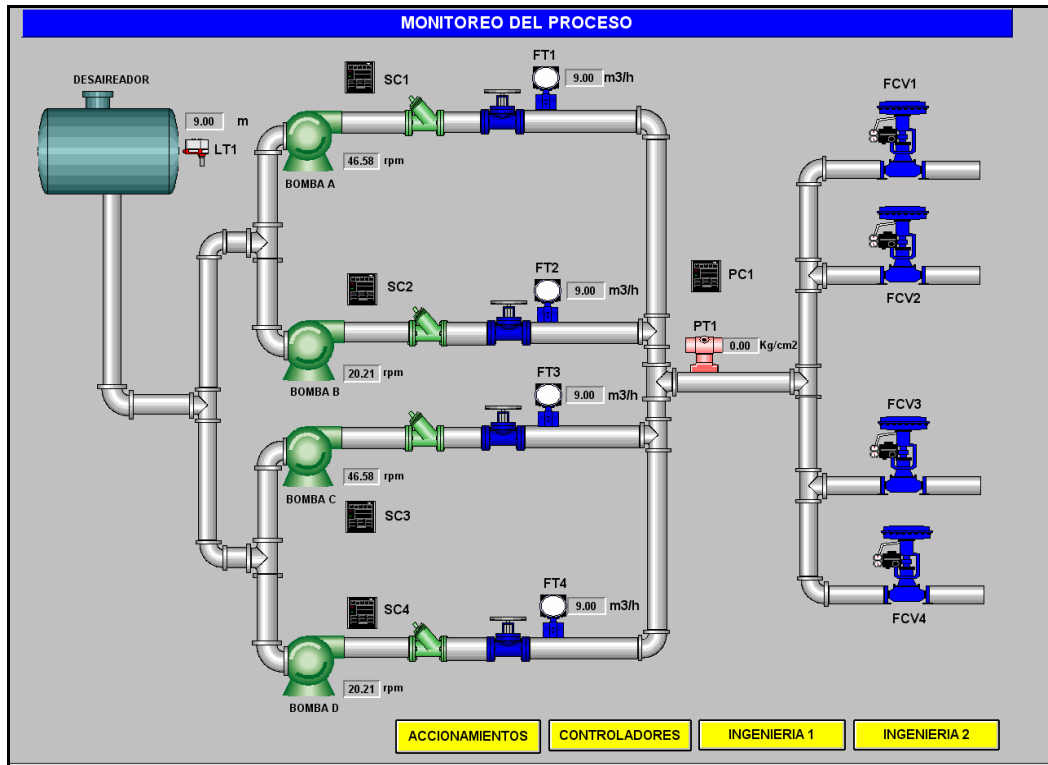


Figura. 4.12. Pantalla de Proceso

CAPÍTULO 5

SIMULACIÓN

5.1 INTRODUCCIÓN

Para simular el funcionamiento del esquema de control planteado en el capítulo 3, se desarrolló un prototipo a escala de las instalaciones existentes en REE, con ciertas variaciones para facilidad de montaje. Por otro lado se desarrolló el software de control, así como el interfaz hombre-máquina para realizar las pruebas correspondientes.

Para la simulación realizada se utilizaron los siguientes elementos:

- Controlador lógico programable (PLC)
- Variadores de velocidad
- Transmisor de presión
- Transmisor de flujo

El PLC es el encargado de administrar el sistema, éste recibe las señales de los sensores (flujo y presión) y envía la señal de control a los actuadores (variadores de velocidad), los mismos que actúan directamente sobre las bombas.

5.2 CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE (PLC)

El Controlador Lógico Programable (PLC), es un dispositivo electrónico con capacidad de procesamiento digital, diseñado para tener un control en tiempo real, útil para aplicaciones industriales y de manufacturación.

El modelo de PLC utilizado es el Modicom Micro serie 61200 mostrado en la figura 5.1.

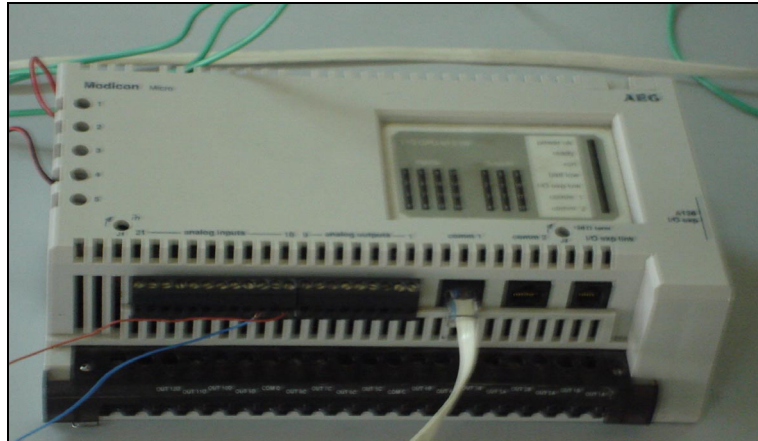


Figura. 5.1. PLC Modicom Micro 61200

Este PLC tiene como características principales:

- 4 entradas analógicas de $\pm 0 -10V$ (16 bits) o 4 $-20mA$ (14 bits)
- 2 salidas analógicas de 0 -10 V o 4 $-20mA$ (12 bits)
- 16 entradas discretas de 24VDC
- 12 salidas discretas a relay
- 2 K de palabras disponibles para memoria de programa
- 2 K de datos de memoria.
- CPU on board, memoria, circuiteria fija I/O, fuente de poder
- 16Mhz de velocidad del CPU
- Scan Time de 4,25ms/ 1k de instrucciones
- Reloj Time of Day Clock (TOD)
- Un pórtico paralelo de expansión para 3 racks del modulo I/O A120
- 2 pórticos RS232. comm1 y comm2, para la comunicación con dispositivos de programación y con dispositivos ASCII input/display

En la figura 5.2 se observa las conexiones de las entradas analógicas y en la figura 5.3 se observan las conexiones de las salidas analógicas.

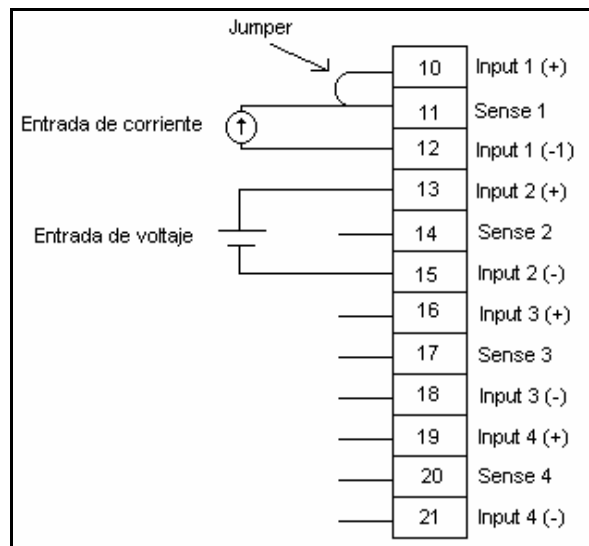


Figura. 5.2. PLC Esquema del circuito de entradas analógicas

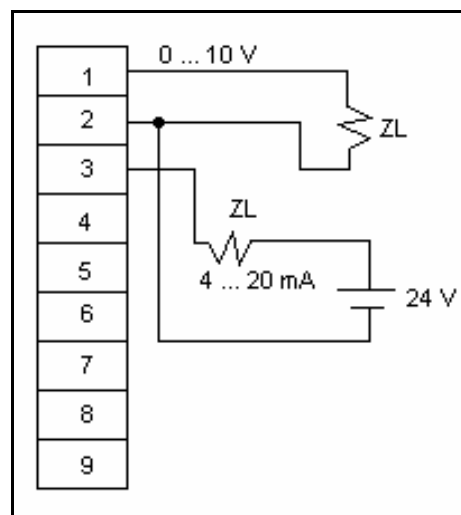


Figura. 5.3. PLC Esquema del circuito de salidas analógicas

5.3 VARIADORES DE VELOCIDAD (VFD)

Los variadores de velocidad son dispositivos electrónicos cuyo principio básico de funcionamiento es transformar la energía eléctrica de frecuencia industrial en energía eléctrica de frecuencia variable. Esta variación de frecuencia se consigue mediante tres etapas en serie. Una etapa rectificadora que transforma la corriente alterna en continua, el circuito intermedio y la etapa ondulatoria que transforma la corriente continua en alterna, con una frecuencia y una tensión regulables, que dependerán de los valores deseados.

Para la simulación se utilizaron dos variadores de velocidad marca LG modelo SV015iG5-2, el mismo que se aprecia en la figura 5.4. Las especificaciones técnicas del mismo se detallan en el anexo 5.



Figura. 5.4. Variador de velocidad

Las características principales de estos variadores se resumen en la tabla 5.1 y las conexiones básicas se aprecian en las figuras 5.5 y 5.6.

Tabla. 5.1. Características de los variadores de velocidad

| Modelo 230V (0.5 ~ 5.4 HP) | | | | | | | | | | |
|--------------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------------------------------|-------|-------|----------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Número del modelo (SVxxxiG5-x) | | 004-1 | 008-1 | 015-1 | 004-2 | 008-2 | 015-2 | 022-2 | 037-2 | 040-2 |
| Potencia nominal del Motor ¹ | HP | 0.5 | 1 | 2 | 0.5 | 1 | 2 | 3 | 5 | 5.4 |
| | kW | 0.37 | 0.75 | 1.5 | 0.37 | 0.75 | 1.5 | 2.2 | 3.7 | 4.0 |
| Características de salida | Capacidad ² [kVA] | 1.1 | 1.9 | 3.0 | 1.1 | 1.9 | 3.0 | 4.5 | 6.1 | 6.5 |
| | FLA [A] | 3 | 5 | 8 | 3 | 5 | 8 | 12 | 16 | 17 |
| | Frecuencia | 0.1 ~ 400 Hz | | | | | | | | |
| | Voltaje | 200 ~ 230 V ³ | | | | | | | | |
| Características de entradas | Voltaje | Monofásico 200 ~ 230 V (± 10%) | | | Trifásico 200 ~ 230 V (± 10%) | | | | | |
| | Frecuencia | 50 ~ 60 Hz (± 5%) | | | | | | | | |
| Frenado Dinámico | Circuito de frenado | Incorporado | | | | | | | | |
| | Par medio de frenado | 20% (Resistencia Externa de frenado dinámico: 100%, 150%) | | | | | | | | |
| | Max. tiempo de frenado continuo | 15 segundos | | | | | | | | |
| | Carga máxima | 0 ~ 30 % ED | | | | | | | | |
| Peso [lbs] | | 2.65 | 3.97 | 4.63 | 2.65 | 2.65 | 3.97 | 4.63 | 4.85 | 4.85 |

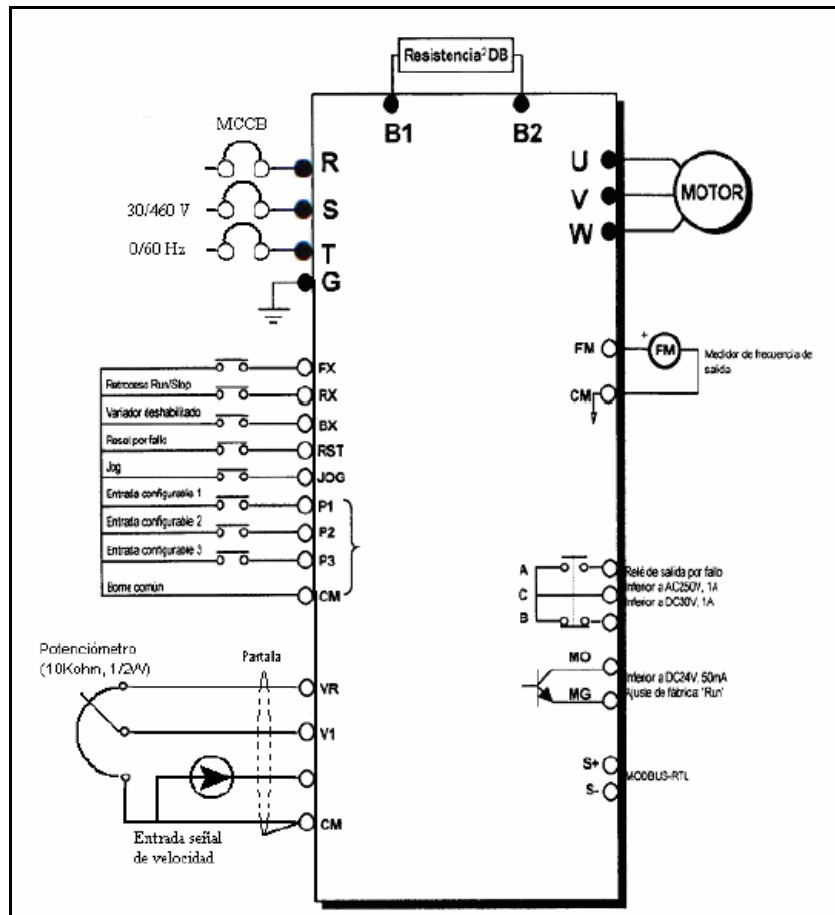


Figura. 5.5. Conexiones básicas

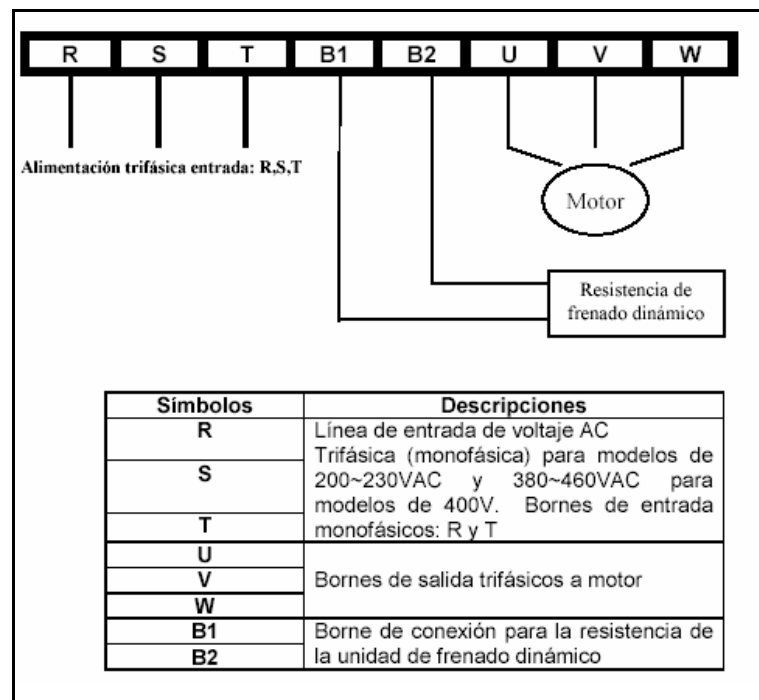


Figura. 5.6. Conexiones de potencia

5.4 TRANSMISORES DE PRESIÓN

Los transmisores de presión de elemento resistivo son uno de los transmisores eléctricos más sencillos. Consisten en un elemento elástico que varía la resistencia óhmica de un potenciómetro en función de la presión aplicada; éste cambio de resistencia es convertido a una señal de 4-20mA.

Para simular se utilizó un transmisor de presión marca HONEYWELL modelo STG94L, ver figura 5.7, cuyas especificaciones técnicas se detallan en el anexo 6. Las características básicas de este transmisor se observan en la tabla 5.2.



Figura. 5.7. Transmisor de presión

Tabla. 5.2. Características del transmisor de presión

| | |
|----------------------|--------------------------|
| Alimentación | 24VDC |
| Rango | 0 - 500 PSI |
| Mínimo Span | 20 PSI |
| Rangoabilidad | 25 a 1 |
| Exactitud | ±0,075% (Lectura actual) |
| Salida | Analógica de 4-20mA |

5.5 TRANSMISORES DE FLUJO

Una de las maneras más fáciles de medir flujo consiste en obstruir su paso mediante una placa con orificio de tal manera que se genere una caída de presión, para este tipo de medición se requiere un sensor de presión diferencial, el cual mide la diferencia de presión entre dos presiones aplicadas a lados opuestos de un diafragma. Este microsensor convierte la presión diferencial en un cambio de resistencia. Este cambio a la vez es convertido a una señal de 4-20mA proporcional al diferencial de presión.

Para la simulación se utilizó un transmisor de presión diferencial marca FOXBORO modelo IDP10, que se aprecia en la figura 5.8, cuyas características técnicas se detallan en el anexo 7.

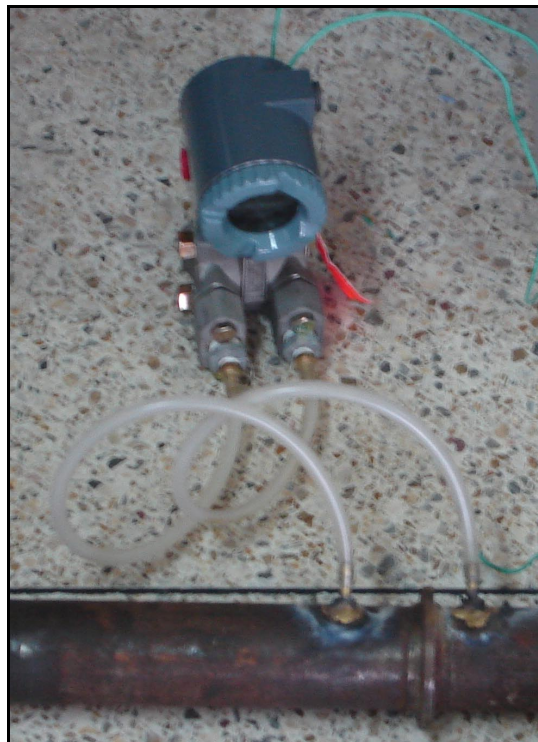


Figura. 5.8. Transmisor de presión diferencial

En la tabla 5.3 se observan las características básicas del transmisor flujo utilizado

Tabla. 5.3. Características del transmisor de flujo

| | |
|----------------------|-------------------------|
| Alimentación | 24VDC |
| Rango | -30 – 30 inH2O |
| Mínimo Span | 0,5 inH2O |
| Rangoabilidad | 60 a 1 |
| Exactitud | ±0,20% (Lectura actual) |
| Salida | Analógica de 4-20mA |

El elemento obstructor es una placa de orificio la cual se diseño en función del flujo a medir utilizando la siguiente fórmula:

$$S = \frac{GPM \sqrt{G}}{5,67 D^2 \sqrt{h}} \quad \text{Ec. 5.1.}$$

Donde:

- S: factor de selección
- GPM: flujo en galones/min
- G: gravedad específica
- H: diferencial de presión en pulgadas de agua.
- D: diámetro de la tubería en pulgadas

Tomando la gravedad específica igual a 1, el diámetro de la tubería igual a 2 pulgadas, el flujo igual a 10,57GPM y la diferencial de presión igual a 30 pulgadas de agua, tenemos que S es igual a 0,061. Con el valor de S calculamos la constante de la placa de orificio utilizando la tabla del anexo 8, cuyo valor resultó ser 0,31; lo cual cumple con la normativa que dice que esta constante debe estar entre los valores de 0,15 a 0,65.

Para calcular el diámetro de la placa de orificio se despeja la siguiente ecuación:

$$\beta = \frac{d}{D} \quad \text{Ec. 5.2.}$$

Donde:

- β : constante de la placa de orificio
- d: diámetro del orificio
- D: diámetro de la tubería

Despejando la ecuación obtenemos que el diámetro del orificio de la placa para el flujo que se desea medir es de 1,86cm.

5.5 DESCRIPCIÓN DEL MÓDULO DE SIMULACIÓN

El proyecto consiste en mantener una presión constante en la descarga y que las bombas trabajen según la demanda de flujo, además se debe garantizar que cuando la demanda sea superior a la capacidad de una bomba ingrese a trabajar una segunda bomba en paralelo.

Como se observa en la figura 5.9, la válvula FCV nos ayuda a simular la demanda de flujo que requiere el sistema.

Los controladores de velocidad SC1 y SC2 actúan sobre variadores de velocidad para ejercer control en las bombas. Estos controladores se encuentran en cascada con el controlador primario de presión PC1 el cual controla que la presión se mantenga en el valor de set point.

El módulo de simulación se observa en la figura 5.10 y consta de los siguientes elementos:

- En primer lugar un reservorio con capacidad para 70 litros.
 - 2 bombas centrífugas trifásicas de 1/2 HP, 3600 rpm, 40litros/min y 20m de carga.
 - 1 transmisor de presión atmosférica, marca HONEYWELL, salida de 4-20mA y calibrado de 0 a 80PSI.
-

- 1 transmisor de presión diferencial para medir flujo, marca FOXBORO, salida de 4-20mA y calibrado de 0 a 80litros/min. Para la utilización de este transmisor se dimensionó y se elaboró una placa de orificio.
- 1 PLC marca MODICON micro, con 4 entradas y 2 salidas analógicas
- 2 Variadores de velocidad marca LG para 2HP de potencia.
- 2 Válvulas check a la descarga de las bombas y 3 válvulas de compuerta.
- Tubería de PVC de 1, 1 ½ y 2 pulgadas según la sección, acoples, universales y codos.

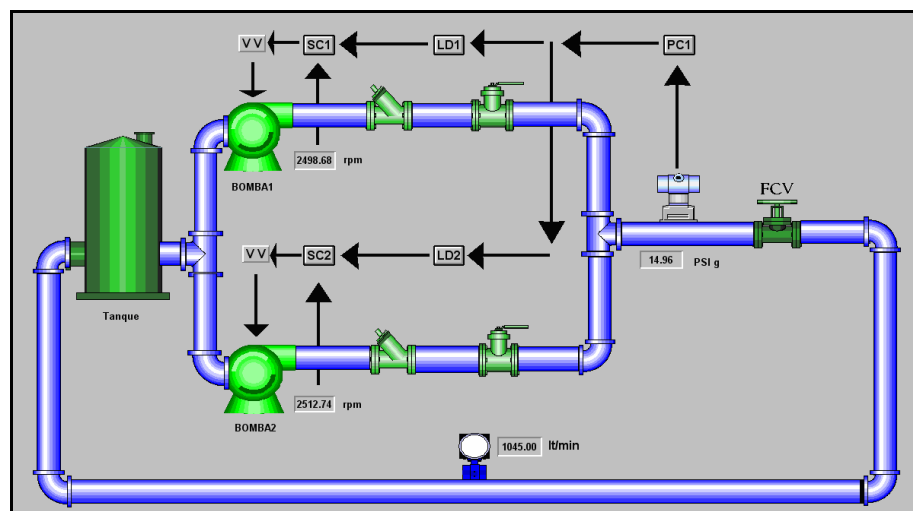


Figura. 5.9. Esquema del proceso

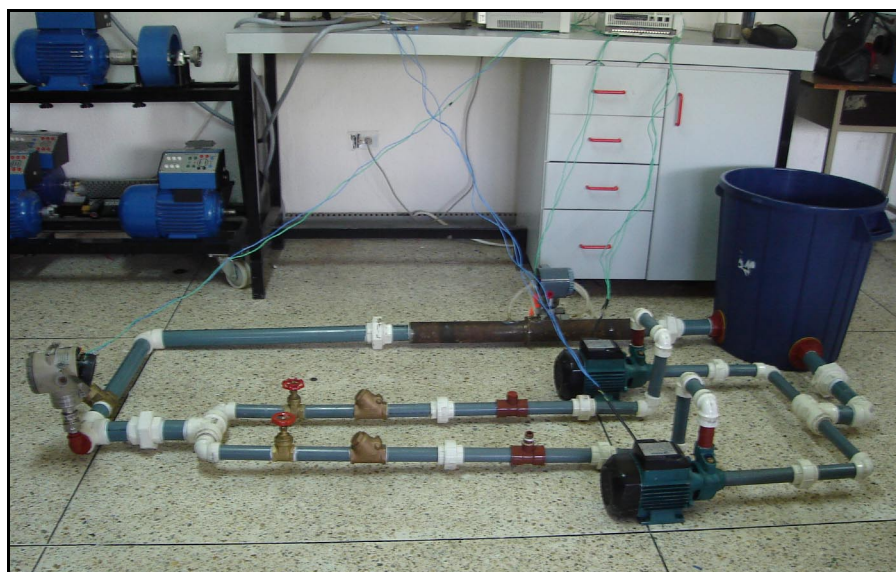


Figura. 5.10. Modulo de simulación

5.7 DESARROLLO DEL SOFTWARE DE CONTROL

El PLC es el encargado de recoger los datos provenientes de los transmisores de presión, flujo y velocidad. Con esto se realiza una comparación entre el nivel deseado de presión, ingresado por teclado en el HMI, y el que se tiene en la planta, procediendo a realizar el control PI de presión propuesto.

El programa cargado en el PLC utiliza la función PID2 (figura 5.11), la misma que es propia del dispositivo. Esta se encarga de realizar los controles PI en el sistema, recibiendo los parámetros de sintonización ingresados en el HMI, así como los rangos de funcionamiento establecidos en el propio programa del PLC.

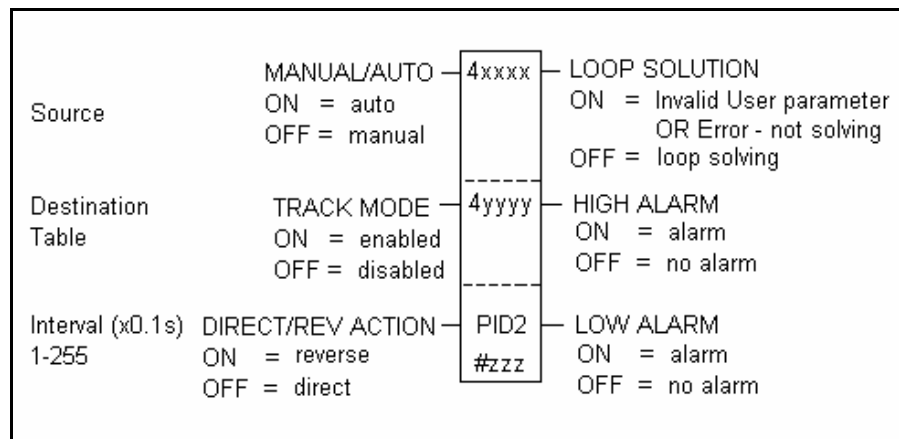


Figura. 5.11. Función PID2

Esta función cuenta con 21 registros para configuración y nueve reservados para cálculos y operaciones.

Las entradas que recibe el bloque funcional PID sirven para seleccionar el modo de operación (manual/automático), y para seleccionar un control directo o inverso del sistema. La función PID envía una salida encargada de controlar el actuador, y también monitorea los niveles de alarma.

5.7.1 Mapa de variables

Entradas

30001: Presión

30002: Velocidad B1

30003: Velocidad B2

30004: Flujo

Salidas

40001: Salida Analógica 1

40002: Salida Analógica 2

Registros utilizados para el bloque funcional PID

Los registros del 40100/ 40200/ 40300 al 40120/ 40220/ 40320 se encuentran reservados para la configuración del bloque PID, mientras que los registros del 40150/ 40250/ 40350 al 40158/ 40258/ 40358 están reservados para operaciones y cálculos propios de la función. La configuración del bloque se muestra a continuación:

PC1

40100: Salida en unidades de ingeniería

40101: SP_PC1

40102: Salida controlador

40103: Alarma límite superior

40104: Alarma límite inferior

40105: PB_PC1

40106: Ti_PC1

40107: Td_PC1

40108: Bías_PC1

40109: 4000

40110: 0

40111: 80psi

40112: 0psi

40113: Entrada analógica (reg 40010)

40117: Salida máxima del controlador (4000)

40118: Salida mínima del controlador (0)

SC1

- 40200: Salida en unidades de ingeniería
- 40201: SP_SC1
- 40202: Salida controlador
- 40203: Alarma límite superior bomba1
- 40205: PB_SC1
- 40206: Ti_SC1
- 40207: Td_SC1
- 40208: Bías_SC1
- 40209: 4000
- 40210: 0
- 40211: 3600 rpm
- 40212: 0 rpm
- 40213: Entrada analógica (reg 40011)
- 40217: Salida máxima del controlador (4000)
- 40218: Salida mínima del controlador (0)

SC2

- 40300: Salida en unidades de ingeniería
 - 40301: SP_SC2
 - 40302: Salida controlador
 - 40303: Alarma límite superior bomba2
 - 40305: PB_SC2
 - 40306: Ti_SC2
 - 40307: Td_SC2
 - 40308: Bías_SC2
 - 40309: 4000
 - 40310: 0
 - 40311: 3600 rpm
 - 40312: 0 rpm
 - 40313: Entrada analógica (reg 40012)
 - 40317: Salida máxima del controlador (4000)
 - 40318: Salida mínima del controlador (0)
-

Registros provenientes del HMI

- 00101: ON bomba principal
- 00102: OFF bomba principal
- 00103: ON bomba secundaria
- 00104: OFF bomba secundaria
- 00105: Selección MANUAL/AUTO bomba secundaria
- 00106: Selección de configuración de bombas (Principal- Secundaria)
- 00110: Manual/Auto PC1
- 00111: Manual/Auto SC1
- 00112: Manual/Auto SC2

Registros enviados al HMI

- 00001: bomba 1
- 00002: bomba2
- 00017: alarma alta presión (Parada de emergencia)
- 00018: alarma baja presión
- 00021: bomba 1 a máxima velocidad
- 00022: bomba 2 a máxima velocidad
- 00023: Flujo dentro del rango de Bomba 1
- 00024: Flujo dentro del rango de Bomba 2
- 00027: Flujo dentro del rango de Bomba 1 durante un tiempo t
- 00028: Flujo dentro del rango de Bomba 2 durante un tiempo t
- 00030: Arranque/ Parada manual bomba principal.
- 00031: Arranque/ Parada manual bomba secundaria.
- 00032: Arranque/ Parada auto bomba secundaria
- 00034: Arrancar bomba secundaria

Registros auxiliares

- 40010: Presión
 - 40011: Velocidad B1
 - 40012: Velocidad B2
 - 40013: Flujo
 - 40030: Flujo máximo bomba 1
 - 40031: Flujo máximo bomba 2
-

40032: Operación Resta
40033: Operación Resta
40040: Timer 1
40041: Timer 2
40042: Operación Timer
40043: Operación Timer

5.7.2 Lógica de operación del software de control

El programa de control, ver anexo 9, puede dividirse en los bloques que se aprecian en la figura 5.12.

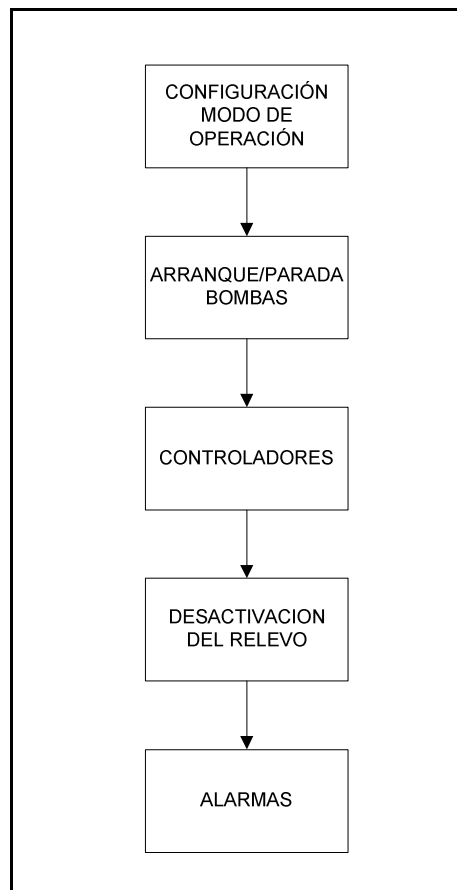


Figura. 5.12. Diagrama de bloques de la lógica de control

- Configuración del modo de operación
Este punto se refiere a la selección del modo de operación de cada bomba, ya sea principal, secundaria o en stand-by.

- Arranque y parada de las bombas

Luego de configurado el modo de operación, se realiza la lógica de arranque de las bombas, tomando en cuenta que la bomba principal puede accionarse únicamente de modo manual, mientras que la bomba secundaria puede accionarse manual o automáticamente dependiendo de la selección del operador. El relevo en modo automático se acciona cuando se ha alcanzado máxima velocidad en la bomba principal y la presión esta por debajo del límite deseado.

- Controladores

En este bloque se incluyen 3 funciones PID2, las mismos que reciben la señal de los transmisores a través de las entradas analógicas del PLC, la comparan con la señal deseada (Set point) y emiten una señal de control.

Como se explicó anteriormente en cada bomba se aplica un control en cascada de presión con velocidad, el mismo que es desarrollado internamente en el PLC.

- Desactivación del Relevo

Para desactivar el relevo se debe comprobar que el flujo total requerido es menor que el flujo nominal de la bomba principal en funcionamiento. Para conocer el flujo total entregado por las bombas activas se mide el flujo en la descarga común de las bombas, el mismo que es monitoreado desde el HMI.

- Alarmas

Todas las variables involucradas en el proceso son monitoreadas y comparadas con las condiciones seguras de operación; en caso de estar fuera de este rango se comunicará al operador a través de alarmas visuales.

La lógica del software de control es similar a la desarrollada en el capítulo 4 como parte del diseño del sistema de control para REE, debido a que lo que se busca con este modulo es comprobar el funcionamiento correcto de la lógica de control propuesta.

Los cambios principalmente, a más de la diferencia en la dimensión de las instalaciones, están en que en la simulación se trabajó con dos bombas en lugar de cuatro y se utilizó solo un medidor de flujo.

A continuación se replantea la lógica de control con los cambios antes mencionados. La nomenclatura utilizada en los diagramas de flujo es la siguiente:

V = velocidad

P = presión

F = flujo

BP = bomba principal

SP(P) = set point de presión

PC = salida controlador de presión

Vmax = velocidad máxima de la bomba

Fn = flujo nominal

LD1 = distribuidor de carga bomba 1

SC1 = controlador de velocidad de bomba 1

SP(V) = set point de velocidad

En la figura 5.13 se describe el algoritmo de la operación automática de una bomba; en primer lugar se tiene la medición de las variables involucradas, si la bomba principal se encuentra encendida se realiza la comparación de presión procediendo a disminuir o aumentar la salida de control de presión según sea el caso.

El relevo se acciona cuando la velocidad de la bomba principal es mayor o igual a la velocidad máxima sugerida para su operación y la presión está por debajo de lo requerido.

En la figura 5.14 se describe el algoritmo de la operación automática de dos bombas en paralelo; en primer lugar se tiene la medición de las variables involucradas, luego se compara la medición de flujo con el flujo nominal de la

bomba principal, si el flujo es menor que el flujo nominal se desactiva el relevo, caso contrario continua la operación de las bombas en paralelo.

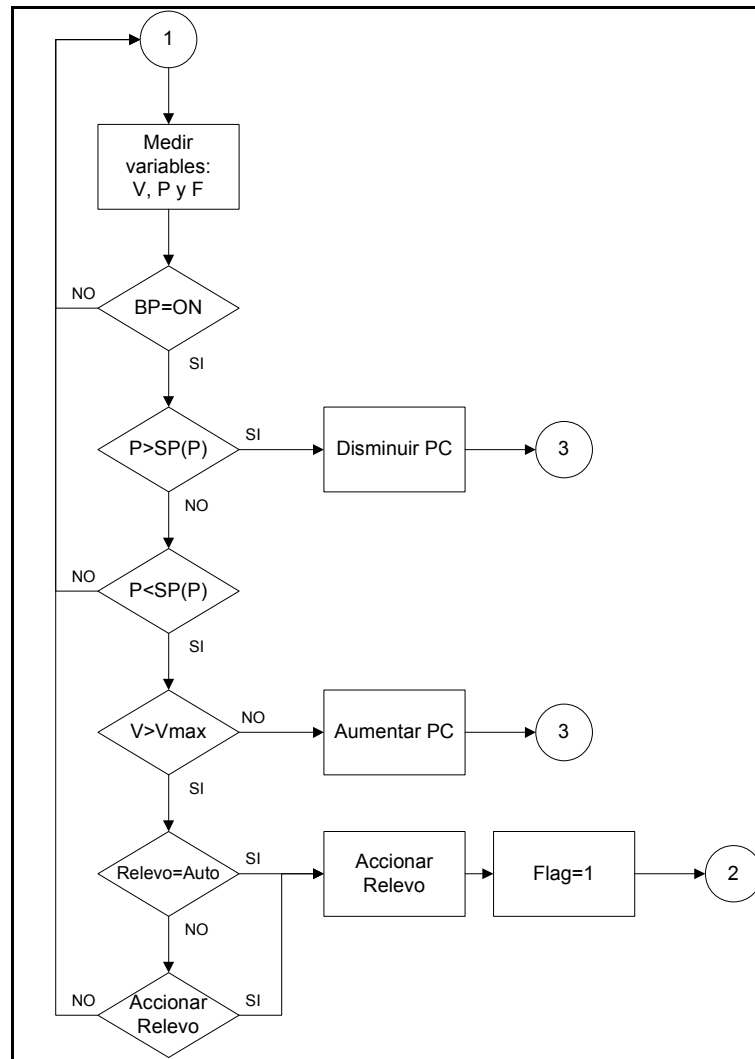


Figura. 5.13. Operación automática de una bomba

Como se aprecia en la figura 5.15 existen dos distribuidores de carga, uno para cada bomba. Si el distribuidor de carga está configurado de modo remoto se le adiciona un bias a la señal de control de presión, caso contrario el operador determina la señal de control que crea conveniente.

Como se trata de un lazo de control en cascada el set point del control de velocidad está dado por el distribuidor de carga, el cual en definitiva es un offset adicionado a la señal de control de presión.

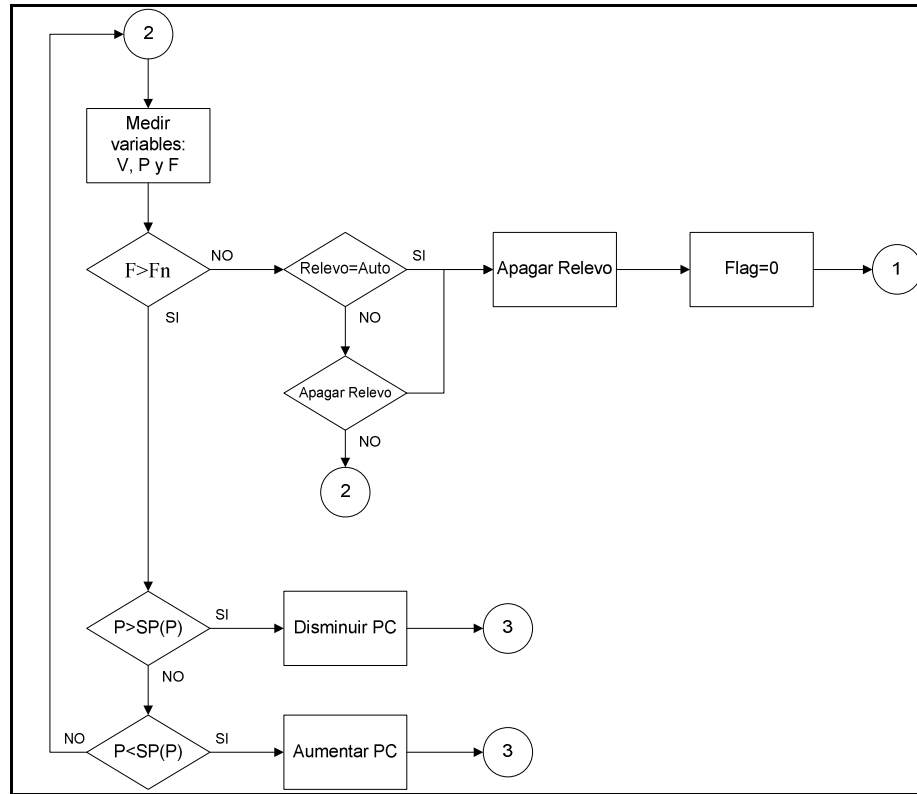


Figura. 5.14. Operación de bombas en paralelo

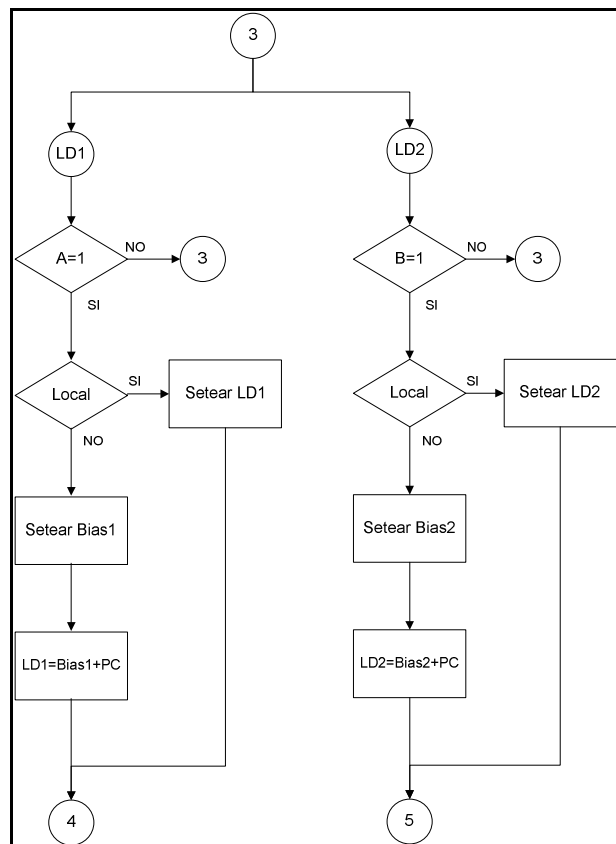


Figura. 5.15. Lógica del distribuidor de carga

Como se observa en la figura 5.16, si la velocidad es menor que el valor deseado se toma la decisión de aumentar la velocidad y viceversa.

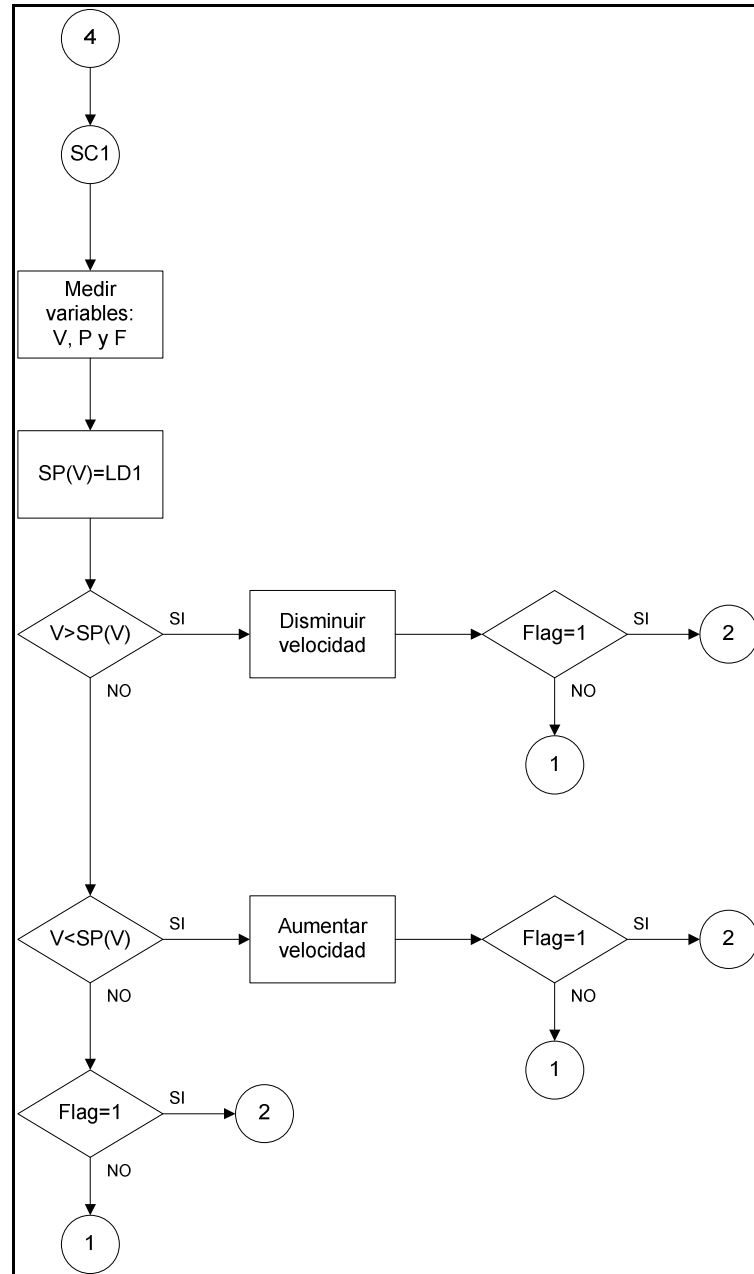


Figura. 5.16. Operación del control de velocidad

Se debe identificar qué bomba se encuentra como principal y como relevo, para saber que controlador accionar; para esto se realiza un proceso de simple eliminación como el mostrado en la figura 5.17.

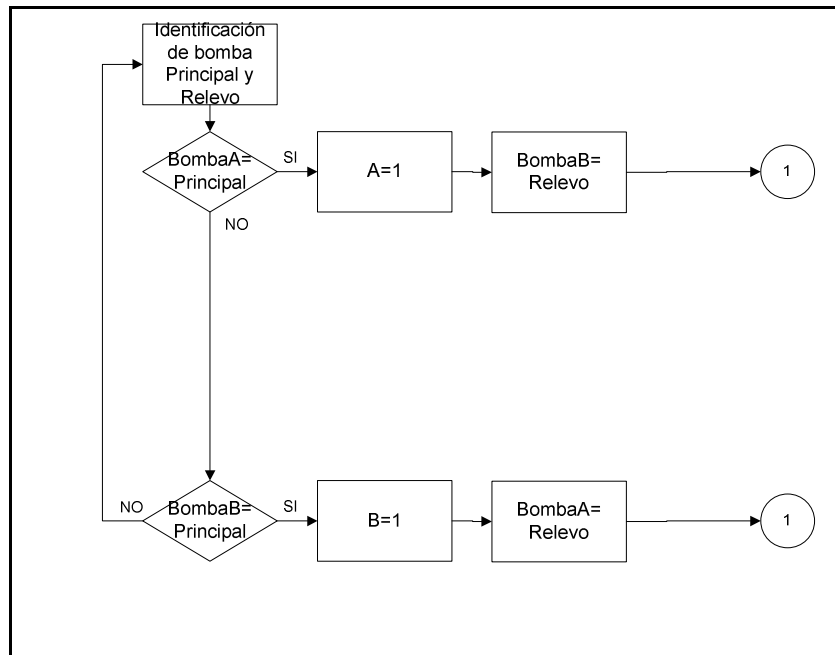


Figura. 5.17. Identificación de bomba principal y relevo

5.8 DESARROLLO DE LA INTERFAZ HOMBRE-MÁQUINA (HMI)

Para monitorear y setear los parámetros de control del proceso se desarrolló una interfaz gráfica en el programa Lookout.

Esta interfaz se encuentra dividida en cuatro pantallas:

- ACCIONAMIENTO
- CONTROLADORES
- INGENIERIA
- PROCESO

ACCIONAMIENTOS

Esta pantalla, figura 5.18, nos permite en primer lugar elegir la opción en la que se desea trabajar, que puede ser:

Opción 1: Bomba A principal y Bomba B relevo.

Opción 2: Bomba B principal y Bomba A relevo.

En esta pantalla también se acciona la bomba principal y se elige la forma de operación de la bomba de relevo que puede ser automática o manual. En caso de que la bomba de relevo opere de forma manual, aquí se puede arrancar o detener dicha bomba. Además se encuentran alarmas por alta presión, baja presión y alta velocidad de cada una de las bombas que permiten visualizar de manera sencilla y rápida una anomalía en el sistema.

Los niveles de las alarmas son programables, pudiendo ajustarlos de acuerdo al proceso y a las necesidades del usuario.

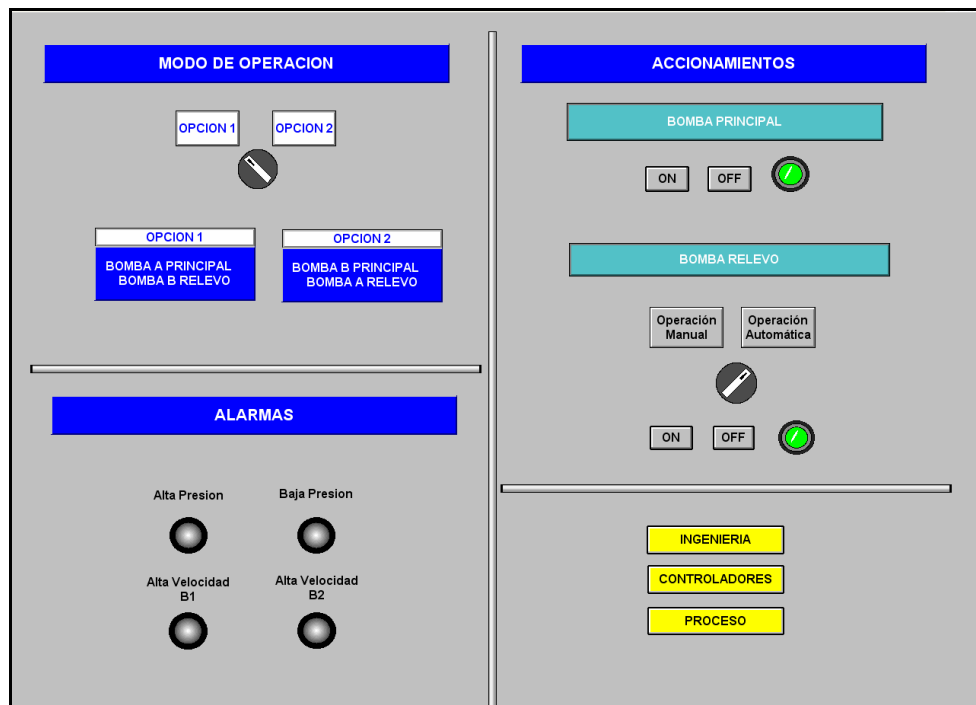


Figura. 5.18. Pantalla de Accionamientos

CONTROLADORES

Esta pantalla, figura 5.19, permite al operador visualizar e interactuar con todos los controladores del sistema; para cada controlador se grafica el set point (SP), variable controlada (PV) y variable manipulada (MV). Se encuentra dividida en seis partes: PC1, LD1, LD2, SC1, SC2 y Flujo.

PC1 es el controlador de presión, el mismo que puede ser automático o manual, SC1 y SC2 son los controladores de velocidad que funcionan en cascada con PC1 pero que a su vez tienen la opción de trabajar de manera local.

LD1 y LD2 son los distribuidores de carga, los cuales le dan un offset a la señal de control enviada por PC1 y sirven para individualizar los componentes del sistema. Los distribuidores de carga también tienen la posibilidad de trabajar de manera local o remota.

En Flujo se registra la medición del flujo a la descarga y se lo compara con el flujo nominal de las bombas en operación.

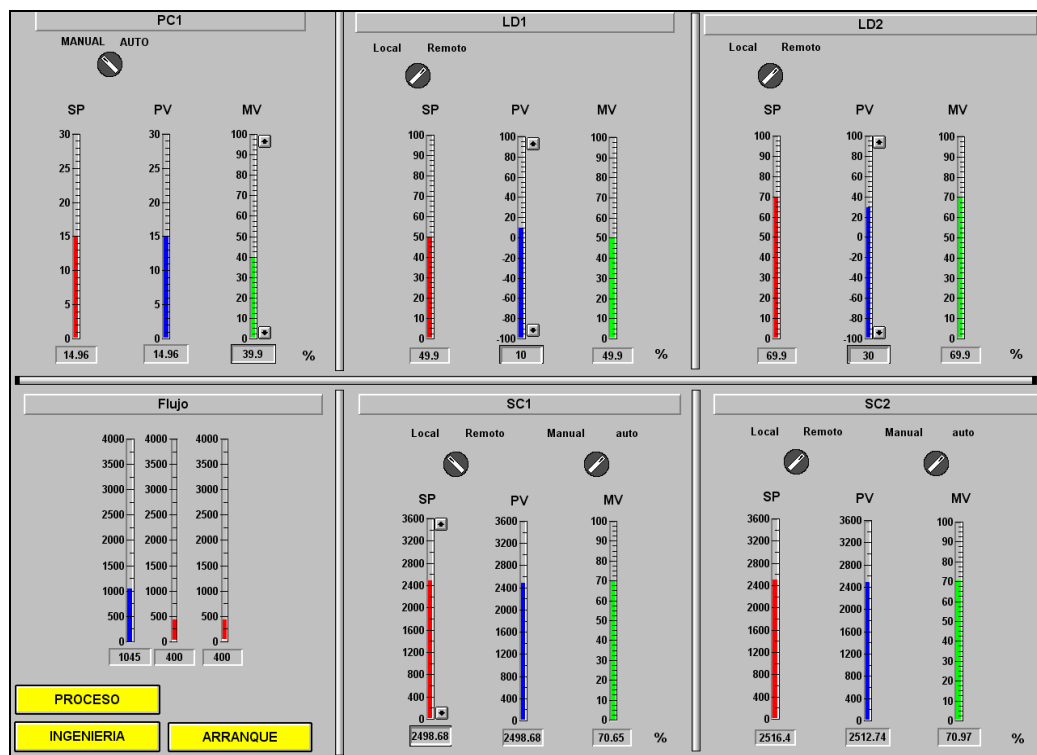


Figura. 5.19. Pantalla de Controladores

INGENIERÍA

Esta pantalla, figura 5.20, permite modificar los parámetros de los controladores, así como las especificaciones técnicas propias de cada bomba que se utilizan para ajustar el control.

Para cada bomba se ingresan la velocidad máxima, flujo nominal y tiempo de estabilización, además para todo el sistema se ingresa el margen de error de la presión y los límites para las variables involucradas. Es importante recalcar que estos parámetros deben ser ingresados con un amplio conocimiento del sistema.

Para cada controlador se visualiza en tiempo real el set point (SP), variable controlada (PV) y la variable manipulada (MV), para brindar una visión más amplia del sistema al técnico o persona encargada del mismo.

En esta pantalla también se deben ingresar los valores de Banda Proporcional, T_i (rep/min) y $Bías$ que sirven para sintonizar el control PI.

Para obtener estos valores se puede utilizar el segundo método de sintonización de Zieger-Nichols, que consiste en implementar un control proporcional y variar BP hasta hacer oscilar el sistema, es decir, hasta que éste se vuelva críticamente estable.

Con ésta banda proporcional se obtiene el valor de K_p crítico y el período de oscilación del sistema.

Obtenidos estos datos se calculan los parámetros necesarios con las ecuaciones 5.3 y 5.4

$$K_p = K_{p\text{crítico}} * 0.45 \quad \text{Ec. 5.3}$$

$$T_i = \text{Período} / 1.2 \quad \text{Ec. 5.4}$$

Hay que recordar que estos parámetros serán enviados al PLC donde se recibirá BP y T_i , este último en rep/min; los valores que se obtienen de las fórmulas anteriores son K_p y T_i , este último en segundos; por lo que se debe tomar las consideraciones del caso antes de ingresar los valores.

Los valores obtenidos mediante este método son tentativos, por lo que se debe realizar pruebas experimentales hasta obtener una correcta sintonización.

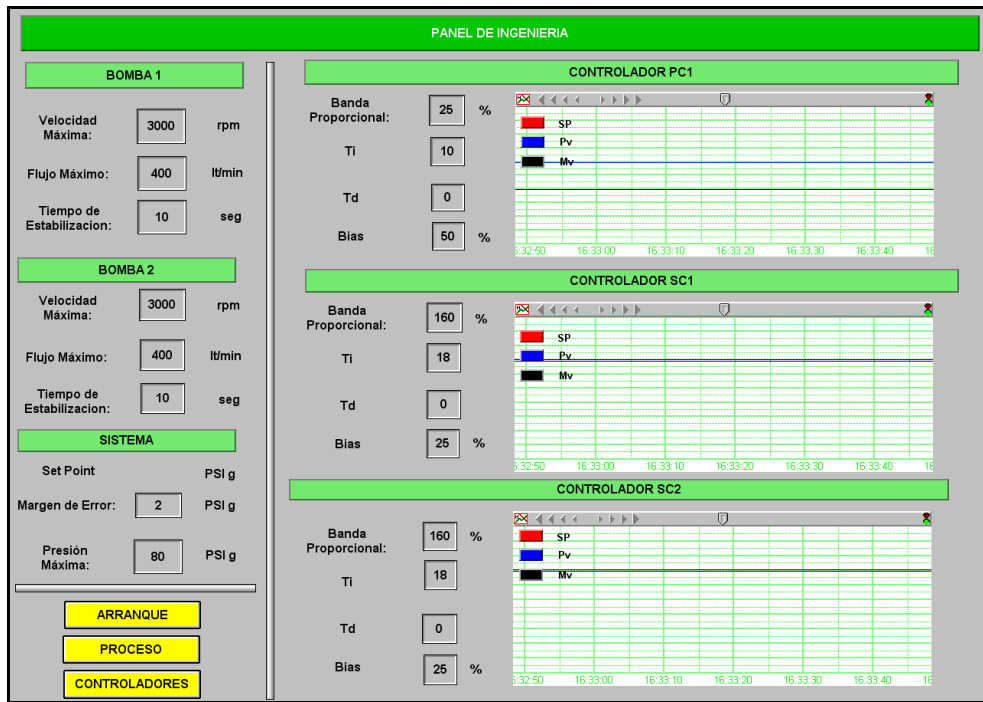


Figura. 5.20. Pantalla de Ingeniería

PROCESO

Esta pantalla, figura 5.21, sirve para comprender mejor lo que esta ocurriendo en el proceso porque nos permite visualizar de forma grafica el accionamiento de las bombas, así como monitorear todas la variables del proceso.

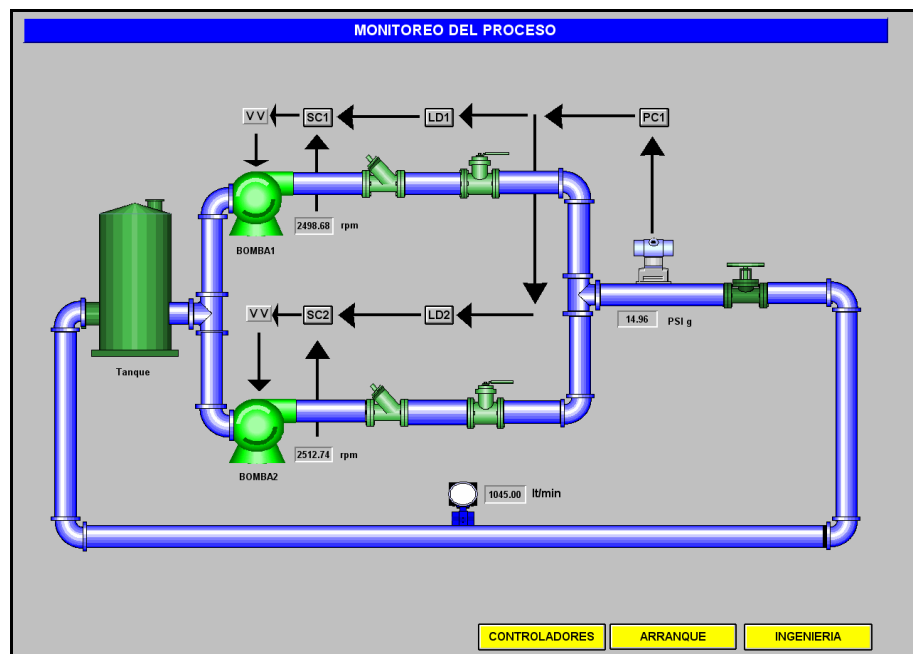


Figura. 5.21. Pantalla del Proceso

CAPÍTULO 6

PRUEBAS Y RESULTADOS

6.1 OPERACIÓN DEL SISTEMA CON UNA BOMBA

Luego de implementado el módulo de simulación, se procedió a realizar varias pruebas a fin de comprobar el buen funcionamiento de los lazos de control y la respuesta del sistema.

Antes de realizar las pruebas de los lazos de control del sistema, se debe determinar el rango de operación de las bombas, en este caso se obtendrá: la presión máxima a la que pueden trabajar, presión de operación, flujo máximo a presión de operación y punto de operación normal.

6.1.1 Presión máxima y presión de operación

Como se observa en la figura 6.1, para obtener el valor de presión máxima, se trabajó con la bomba a máxima velocidad y la válvula de control prácticamente cerrada, obteniendo una presión de 30,5 PSI. En la tabla 6.1 se muestran los resultados obtenidos.

Como se observa en la tabla 6.2, la presión de operación que se ha considerado es aproximadamente el 70% de la presión máxima, la misma que corresponde a 20 PSI.

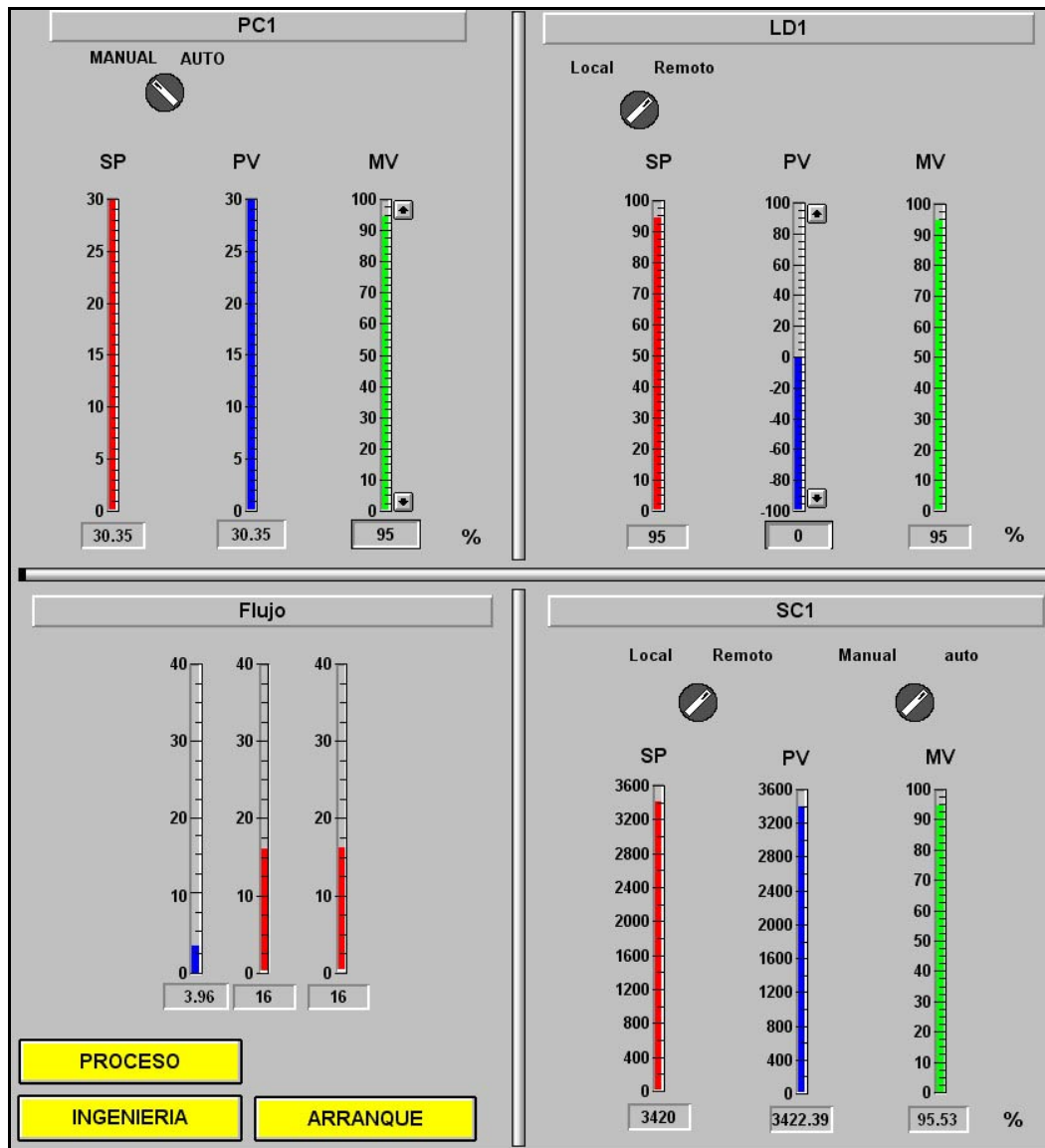


Figura. 6.1. Bomba a presión máxima

Tabla. 6.1. Bomba a presión máxima

| Velocidad(rpm) | Presión(PSI) | Flujo (lt/min) |
|----------------|--------------|----------------|
| 3420 | 30,35 | 3,96 |

Tabla. 6.2. Presión máxima y de operación de una bomba

| | |
|----------------------------|-------|
| Presión máxima (PSI) | 30,35 |
| Presión de operación (PSI) | 20,00 |

6.1.2 Flujo máximo a presión de operación

Una vez determinada la presión de operación (20 PSI), se abre la válvula de control hasta el instante en que la bomba no pueda mantener la presión de operación.

Como se observa en la figura 6.2 la bomba ha alcanzado su máxima velocidad y no es capaz de mantener la presión deseada. En la tabla 6.3 se muestran los resultados obtenidos.

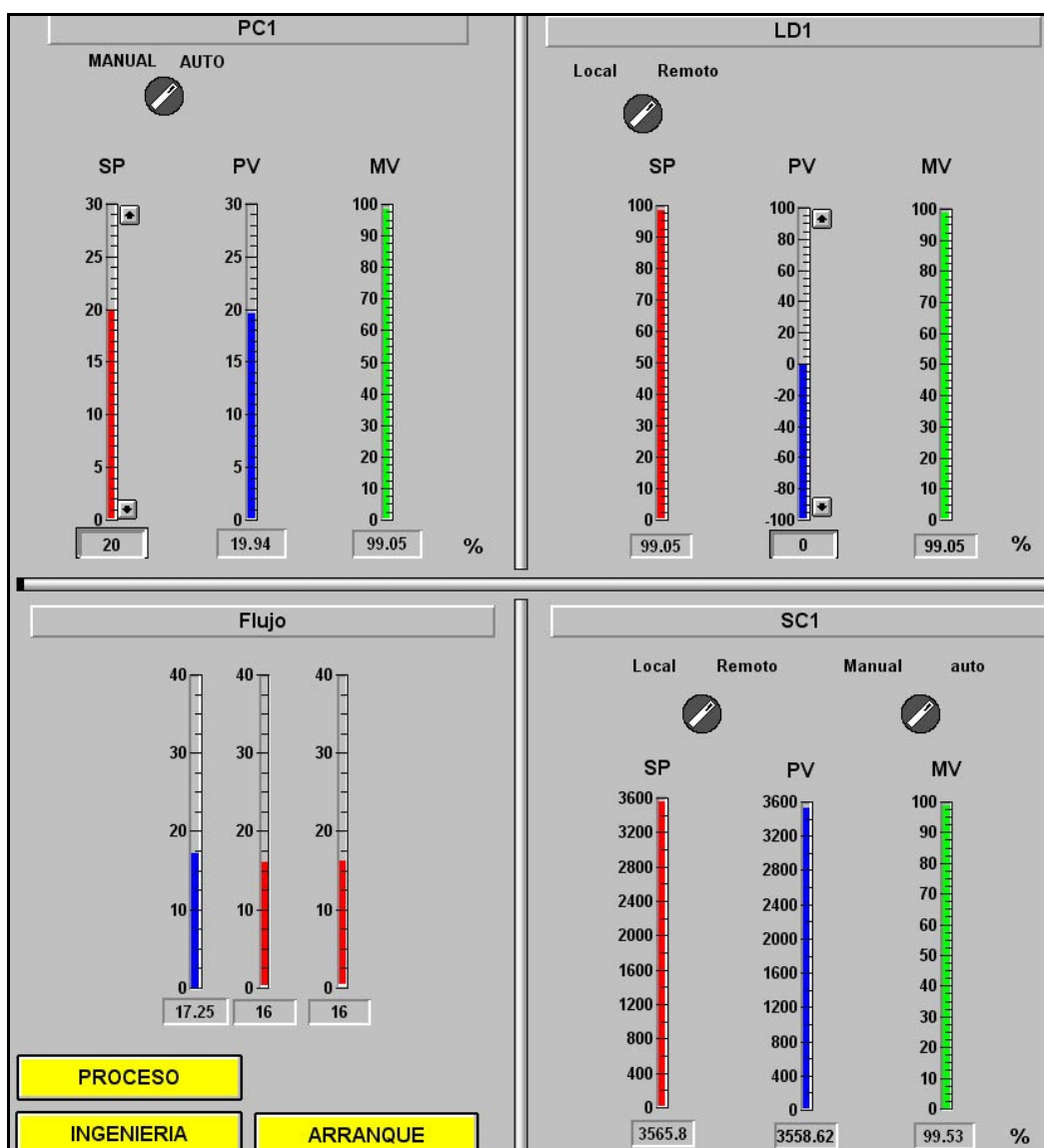


Figura. 6.2. Flujo máximo a presión de operación

Tabla. 6.3. Flujo máximo a presión de operación

| Velocidad(rpm) | Presión(PSI) | Flujo (lt/min) |
|----------------|--------------|----------------|
| 3558 | 19,94 | 17,25 |

6.1.3 Punto de operación normal.

Como se observa en la figura 6.3, se consideró que la demanda normal del sistema es aproximadamente el 60% del flujo máximo, a una presión constante equivalente al 70% de la presión máxima de las bombas. Como se ilustra en la figura 6.4 tanto el controlador de presión (PC1) como el de velocidad (SC1) se encuentran estables en las condiciones antes mencionadas. En la tabla 6.4 se muestran los resultados obtenidos.

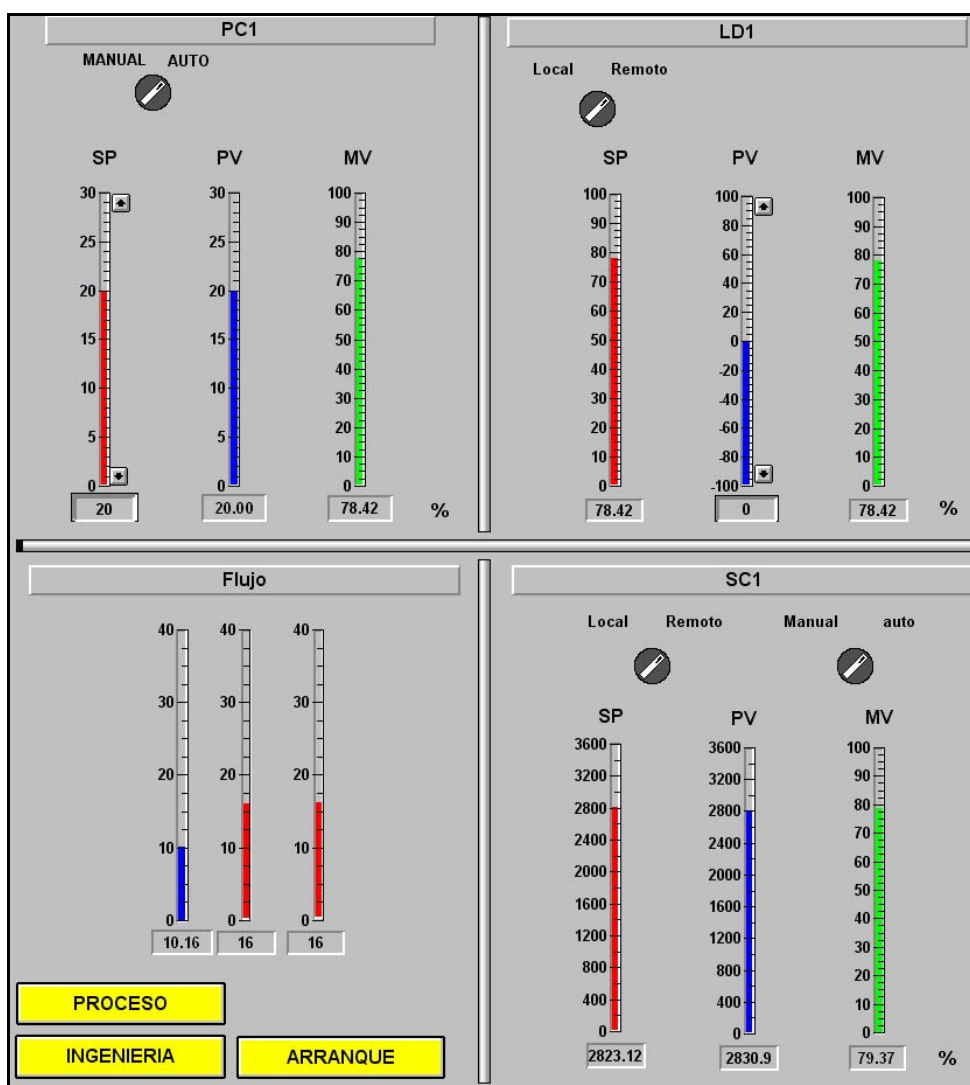


Figura. 6.3. Punto normal de operación - Pantalla de controladores

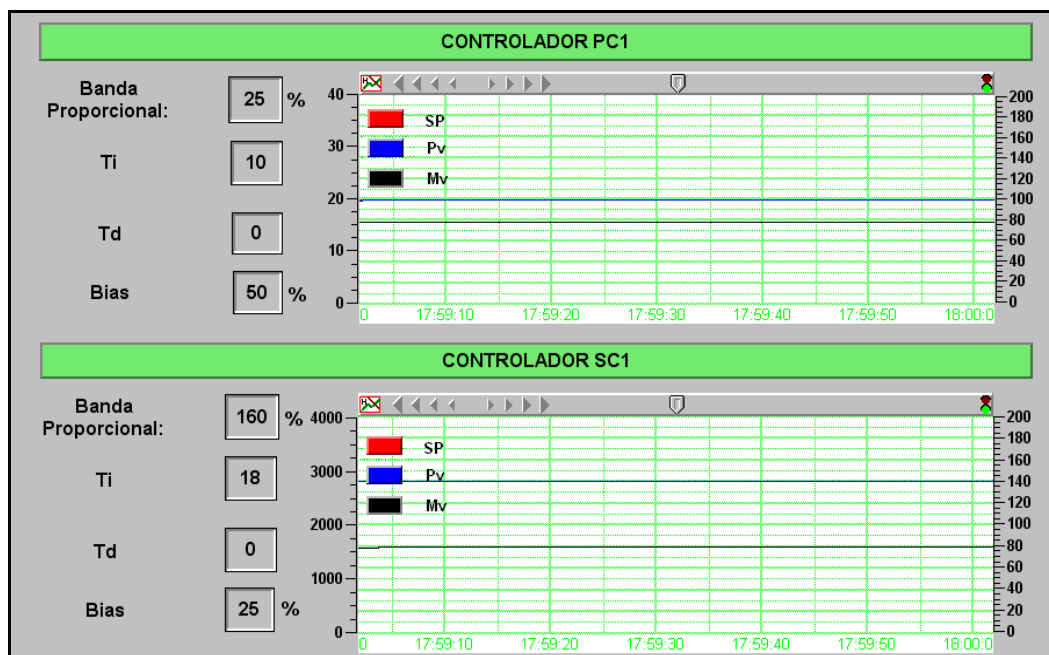


Figura. 6.4. Punto normal de operación - Pantalla de Ingeniería

Tabla. 6.4. Punto normal de operación

| Velocidad(rpm) | Presión(PSI) | Flujo (lt/min) |
|----------------|--------------|----------------|
| 2830 | 20 | 10,16 |

6.2 PERTURBACIÓN EN EL SISTEMA

En el sistema implementado, figura 6.5, la principal perturbación es la variación de la demanda de flujo, la cual depende de la acción de la válvula de control (FCV) que se encuentra ubicada en la descarga común de las bombas.

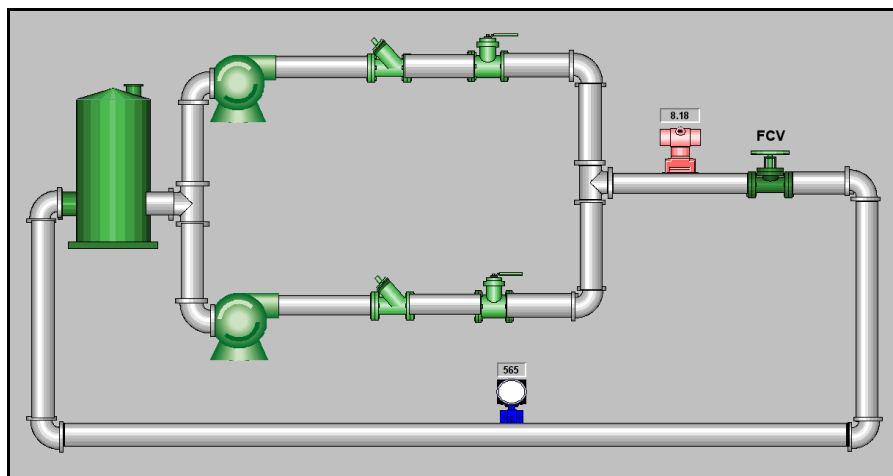


Figura. 6.5. Sistema implementado

6.2.1 Disminución de la demanda de flujo

En la figura 6.6 se puede apreciar el comportamiento del Set Point (SP), variable controlada (PV) y variable manipulada (MV) del controlador de presión PC1 y controlador de velocidad SC1, ante una disminución en la demanda de flujo (cierre de válvula).

Como se observa al existir un decremento en la demanda de flujo, la presión del sistema aumenta, en consecuencia el controlador debe compensar esta subida disminuyendo la velocidad de la bomba para mantener la presión deseada.

Comparando las figuras 6.3 y 6.7, se puede indicar que cuando la demanda de flujo disminuye, la velocidad de la bomba baja para compensar la presión deseada. En la tabla 6.5 se muestran los resultados obtenidos.

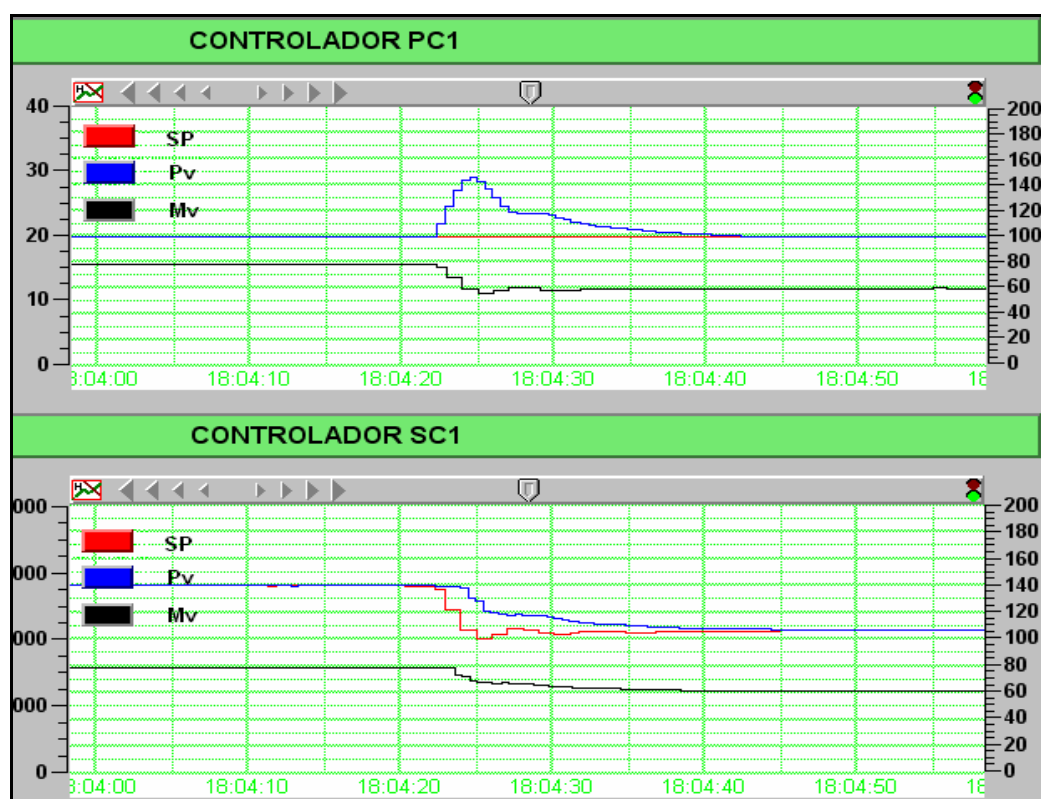


Figura. 6.6. Reducción de la demanda de flujo - Pantalla de Ingeniería

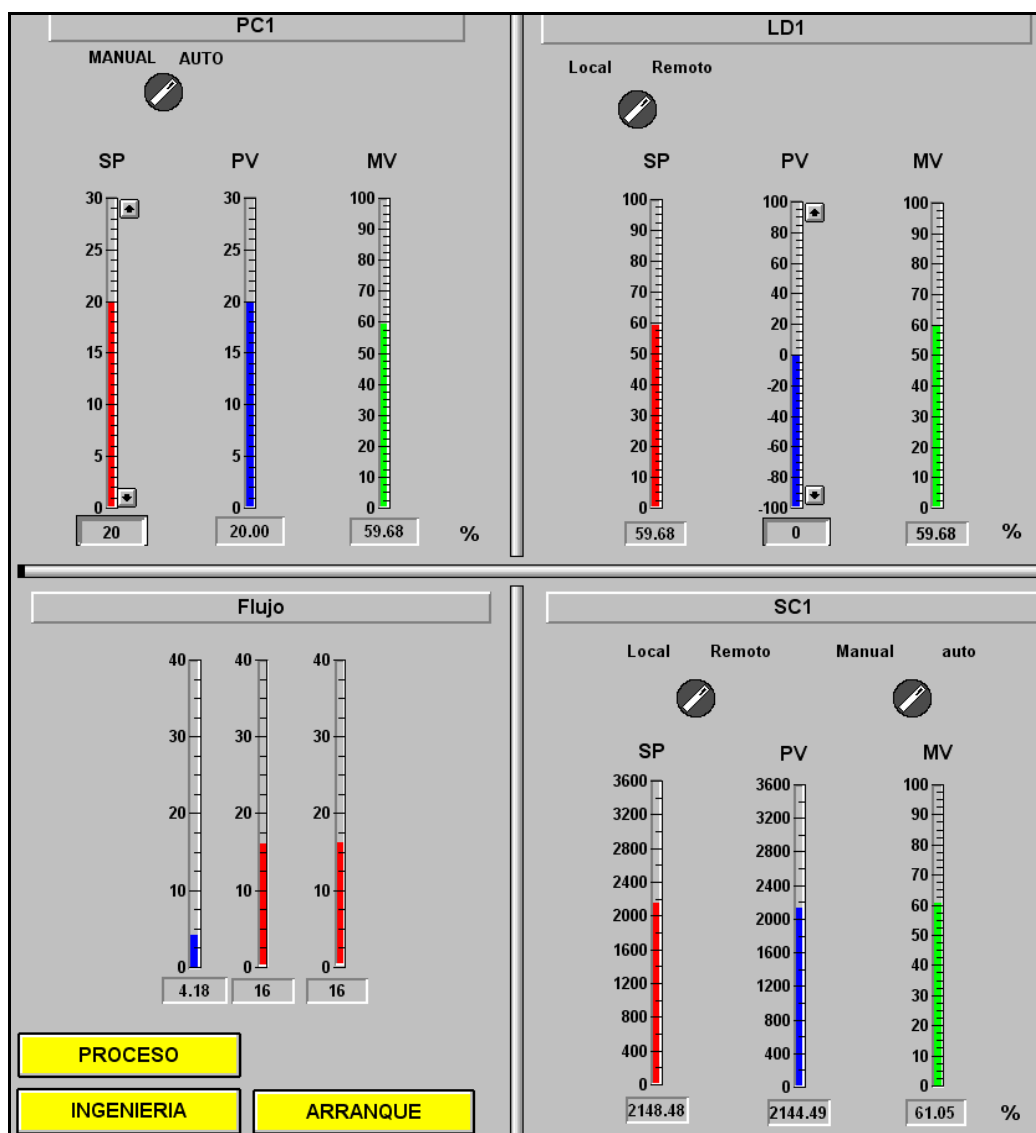


Figura. 6.7. Reducción de la demanda de flujo - Pantalla de Controladores

Tabla. 6.5. Comparación de funcionamiento de las bombas entre demanda normal y disminución de demanda

| | Velocidad (rpm) | Presión (PSI) | Flujo (lt/min) |
|-------------------------------|-----------------|---------------|----------------|
| Operación normal | 2830 | 20 | 10,16 |
| Disminución de demanda | 2144 | 20 | 4,18 |

6.2.2 Aumento de la demanda de flujo

En la figura 6.8 se puede apreciar el comportamiento del set point (SP), variable controlada (PV) y variable manipulada (MV) del controlador de presión PC1 y del controlador de velocidad SC1, ante un incremento en la demanda de flujo (apertura de válvula).

Como se observa al existir un incremento en la demanda de flujo, la presión del sistema disminuye, en consecuencia el controlador debe de compensar esta pérdida aumentando la velocidad de la bomba para mantener la presión deseada.

Comparando las figuras 6.3 y 6.9, se puede indicar que cuando la demanda de flujo aumenta, la velocidad de la bomba aumenta para compensar la presión deseada. En la tabla 6.6 se muestran los resultados obtenidos.

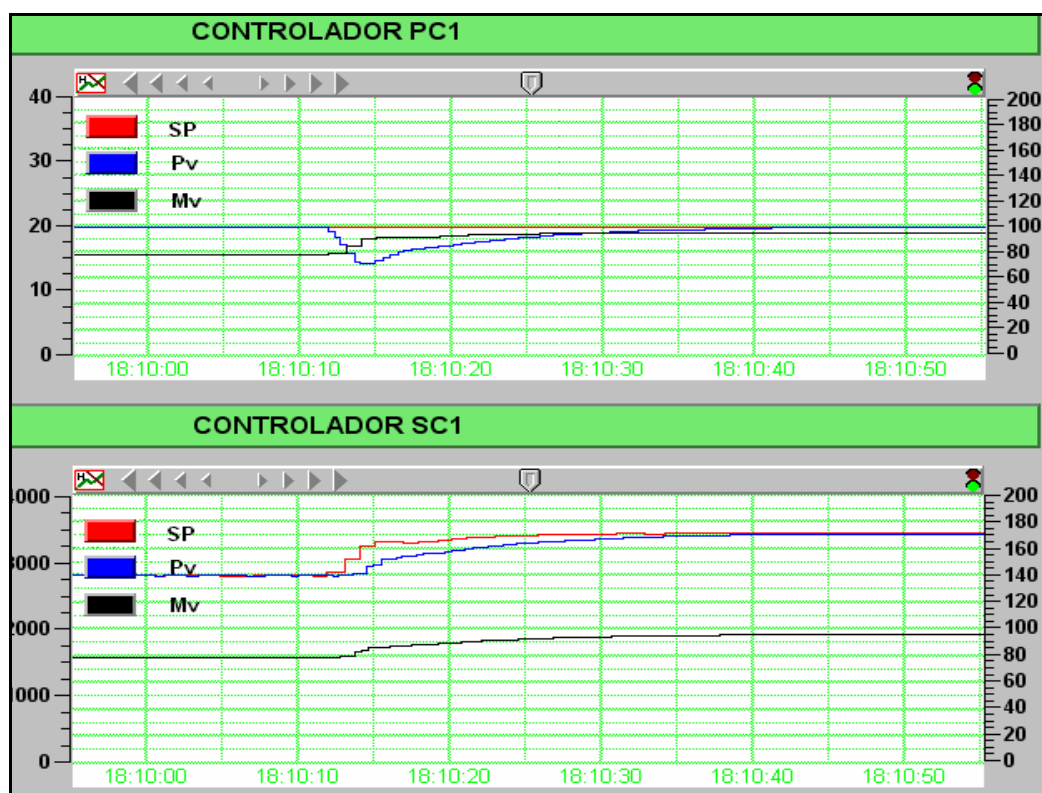


Figura. 6.8. Aumento de la demanda de flujo - Pantalla de ingeniería.

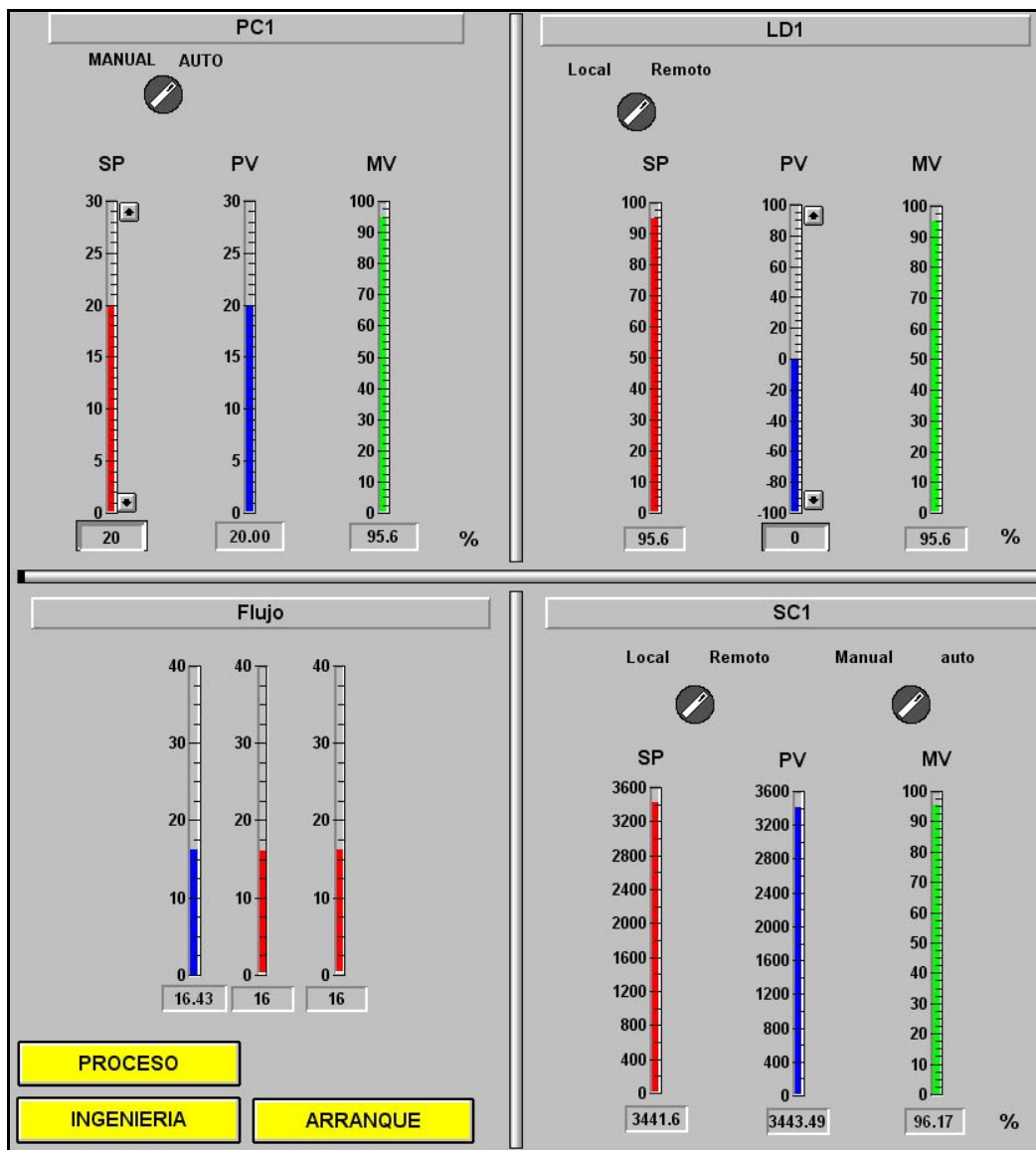


Figura. 6.9. Aumento de la demanda de flujo - Pantalla de Controladores

Tabla. 6.6. Comparación de funcionamiento de las bombas entre demanda normal y aumento de demanda

| | Velocidad (rpm) | Presión (PSI) | Flujo (lt/min) |
|--------------------|-----------------|---------------|----------------|
| Operación normal | 2830 | 20 | 10,16 |
| Aumento de demanda | 3443 | 20 | 16,43 |

6.3 RELEVOS AUTOMÁTICOS

6.3.1 Activación del relevo

En la figura 6.10 se puede monitorear el proceso y observar que arranca el relevo cuando las condiciones lo ameritan.

En la figura 6.11. se aprecia el comportamiento del set point (SP), variable controlada (PV) y variable manipulada (MV) del controlador de presión PC1, controlador de velocidad SC1 y controlador de velocidad SC2, cuando la demanda de flujo aumenta por encima de la capacidad de una bomba.

Cuando la bomba principal ha alcanzado su máxima velocidad y no puede conservar la presión deseada en el sistema, es necesario que trabajen dos bombas en paralelo, con el fin de aumentar la capacidad de flujo del sistema y evitar que la presión baje del valor deseado.

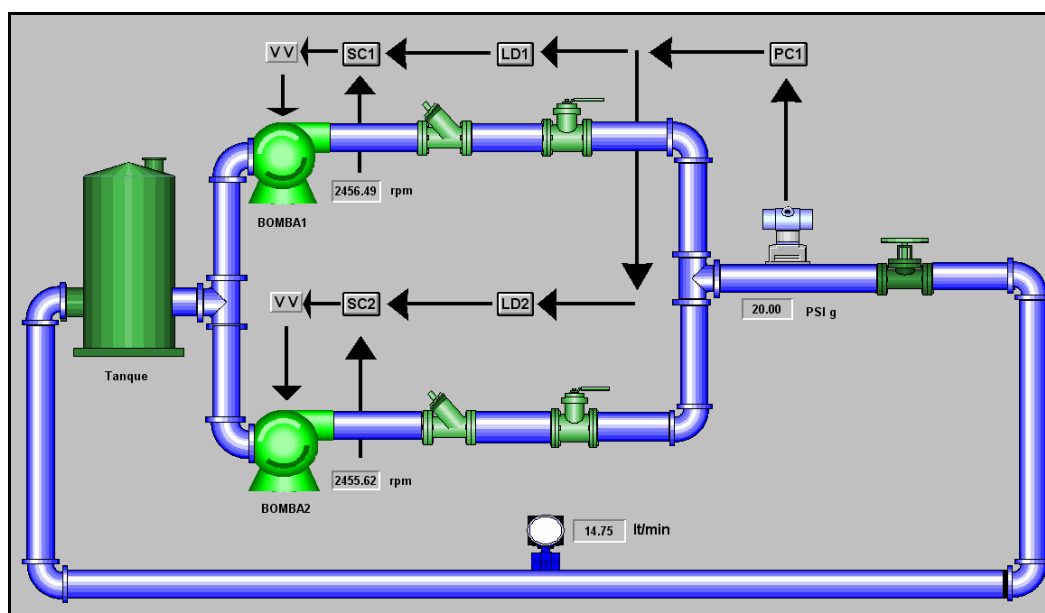


Figura. 6.10. Monitoreo del proceso cuando arranca la bomba de relevo

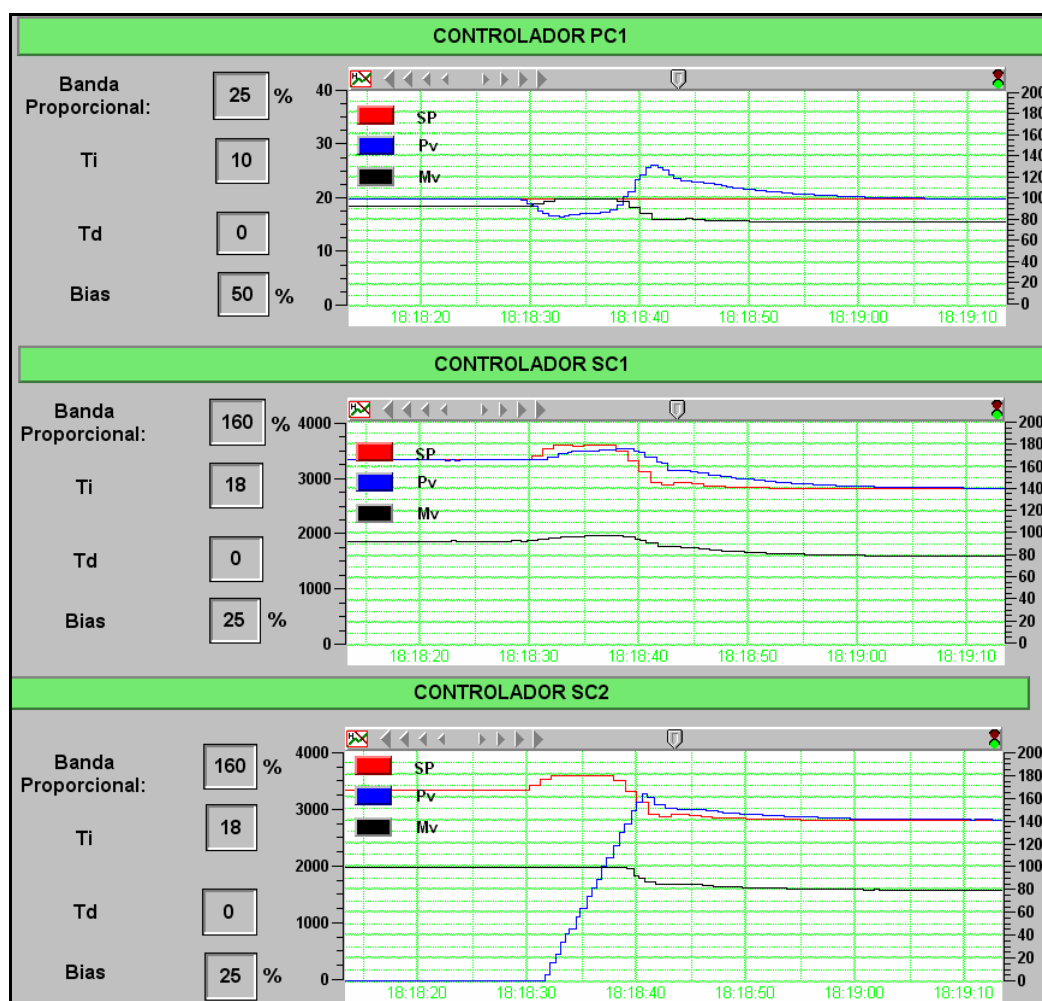


Figura. 6.11. Comportamiento del sistema cuando arranca la bomba de relevo

La velocidad máxima de la bomba es seteada en 3300 rpm y el margen de error de presión tolerable en el sistema es de 2 PSI.

Como se observa en la figura 6.11, cuando la bomba ha alcanzado la velocidad máxima y aún así no puede conservar la presión deseada, entonces arranca el relevo automático; esto permite recuperar la presión deseada y poder abastecer necesidades de flujo altas, como se observa en la figura 6.12.

En la tabla 6.7 se muestran los resultados obtenidos.

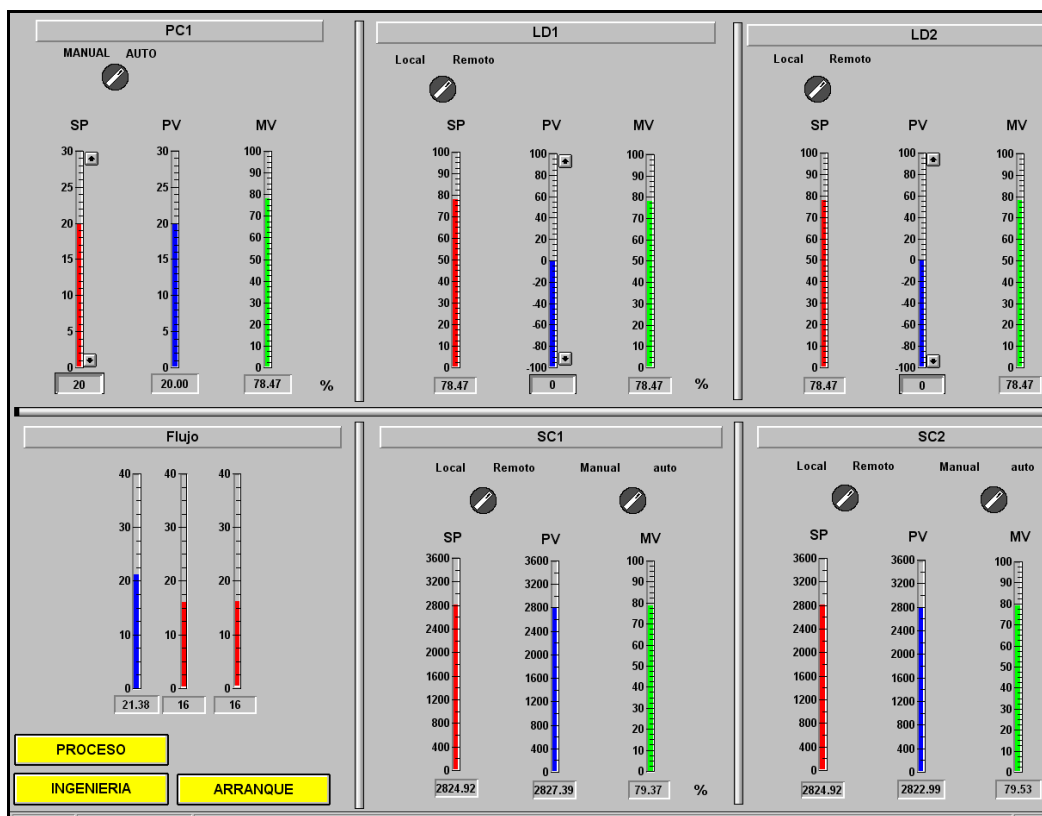


Figura. 6.12. Pantalla de Controladores, bombas trabajando en paralelo

Tabla. 6.7. Comparación de funcionamiento de las bombas entre demanda normal y operación de dos bombas en paralelo

| | Velocidad B1 (rpm) | Velocidad B2 (rpm) | Presión (PSI) | Flujo (lt/min) |
|-------------------------|-----------------------|-----------------------|------------------|-------------------|
| Operación normal | 2830 | | 20 | 10,16 |
| Operación de dos bombas | 2827 | 2822 | 20 | 21,38 |

6.3.2 Distribuidor de Carga

El sistema de control propuesto es el que se muestra en la figura 6.13. Como se puede apreciar la salida del controlador de presión PC1 modifica por igual los Set Point de los controladores de velocidad SC1 y SC2. Esto significa que las bombas girarían a la misma velocidad. Entonces para poder individualizar cada bomba se colocan distribuidores de carga LD1 (PY1) y LD2 (PY2) que permiten adicionar un offset a la señal de control de PC1.

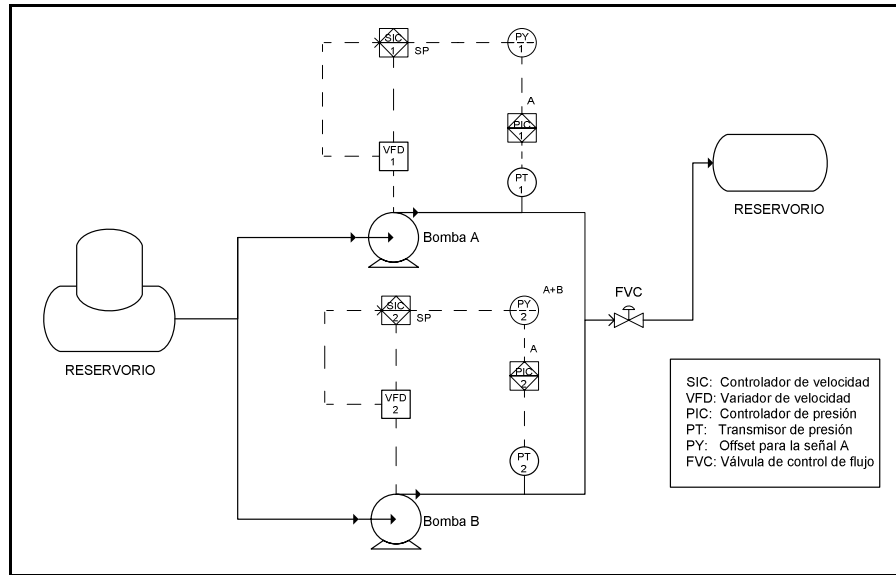


Figura. 6.13. Esquema de control

En la figura 6.14 se observa que dos bombas en paralelo a distinta velocidad pueden mantener la misma presión y flujo que el caso anterior. Al set point de SC1 se le aumentó 15% de señal, esto origina un pequeño aumento de presión que rápidamente es corregido por el controlador disminuyendo la velocidad de la bomba2, como se observa en la figura 6.15.

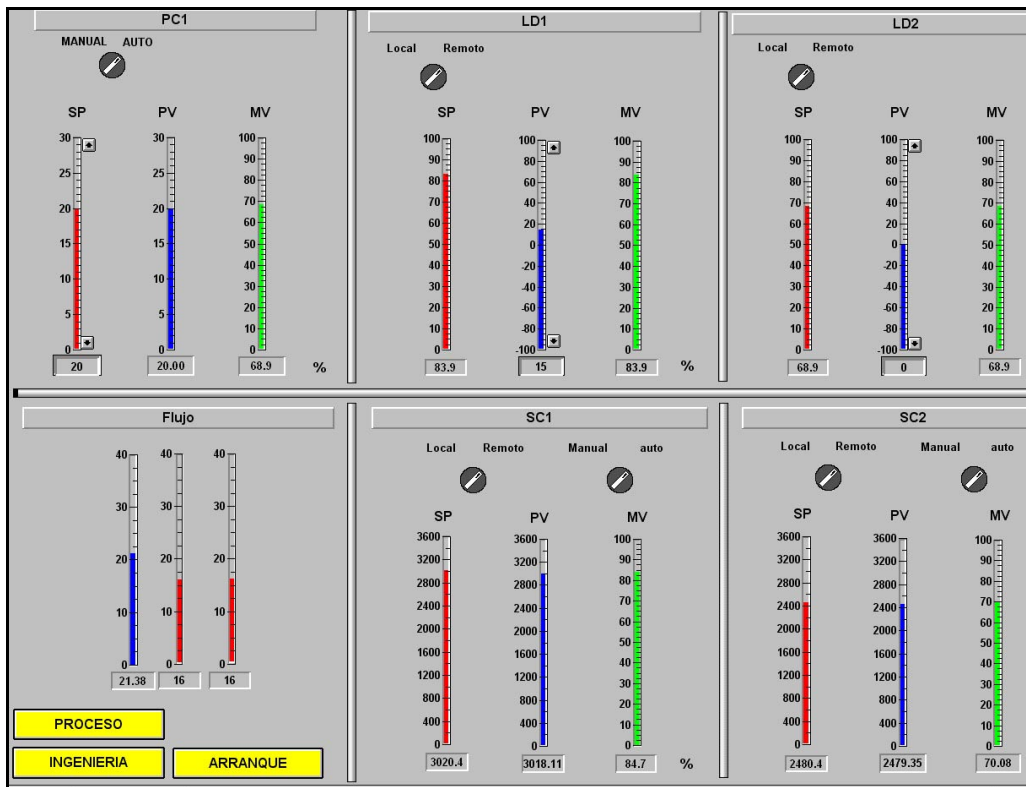


Figura. 6.14. Bombas en paralelo a distinta velocidad

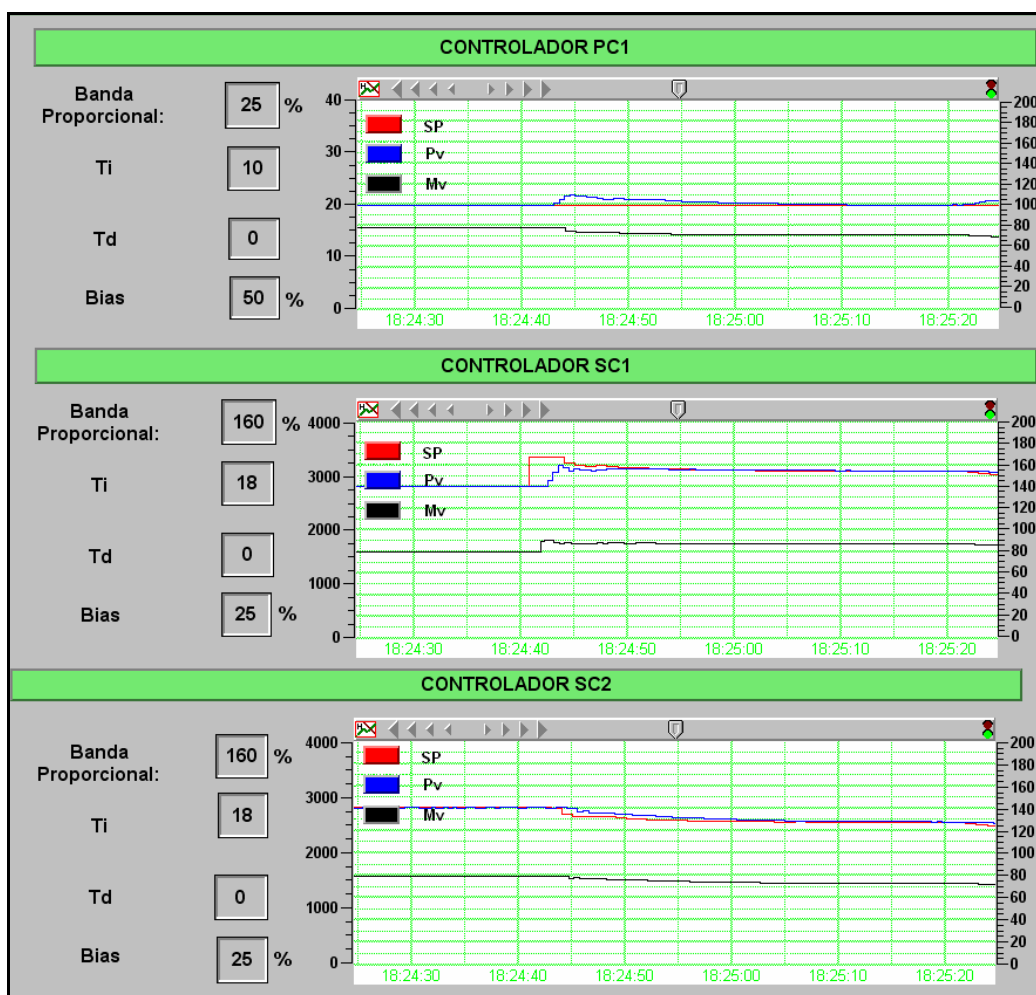


Figura. 6.15. Comportamiento del sistema ante el cambio de velocidad de una de las bombas

En la tabla 6.8 se muestran los resultados obtenidos.

Tabla. 6.8. Operación de dos bombas en paralelo con distribuidor de carga

| | Velocidad B1 (rpm) | Velocidad B2 (rpm) | Presión (PSI) | Flujo (lt/min) |
|--------------------------------------------------|-----------------------|-----------------------|------------------|-------------------|
| Operación de dos bombas | 2820 | 2822 | 20 | 21,38 |
| Dos bombas en paralelo con distribuidor de carga | 3018 | 2479 | 20 | 21,38 |

6.3.3 Desactivación del relevo

Cuando la demanda de flujo vuelve a restablecerse en sus valores normales, una sola bomba es suficiente para realizar todo el trabajo. Como la demanda es una variable muy dinámica, los valores pueden cambiar de un momento a otro, es por esto que al normalizarse el flujo se debe esperar un tiempo hasta que se estabilice totalmente.

Cuando la demanda de flujo, empieza a disminuir, se produce aumento de la presión del sistema, el mismo que es corregido mediante la disminución de la velocidad de las bombas. Cuando la demanda llega al punto en que una sola bomba puede abastecer al sistema, la bomba de relevo se desactiva, produciendo una pequeña pérdida de presión que es compensada aumentando la velocidad de la bomba que queda operando, como se aprecia en la figura 6.16.

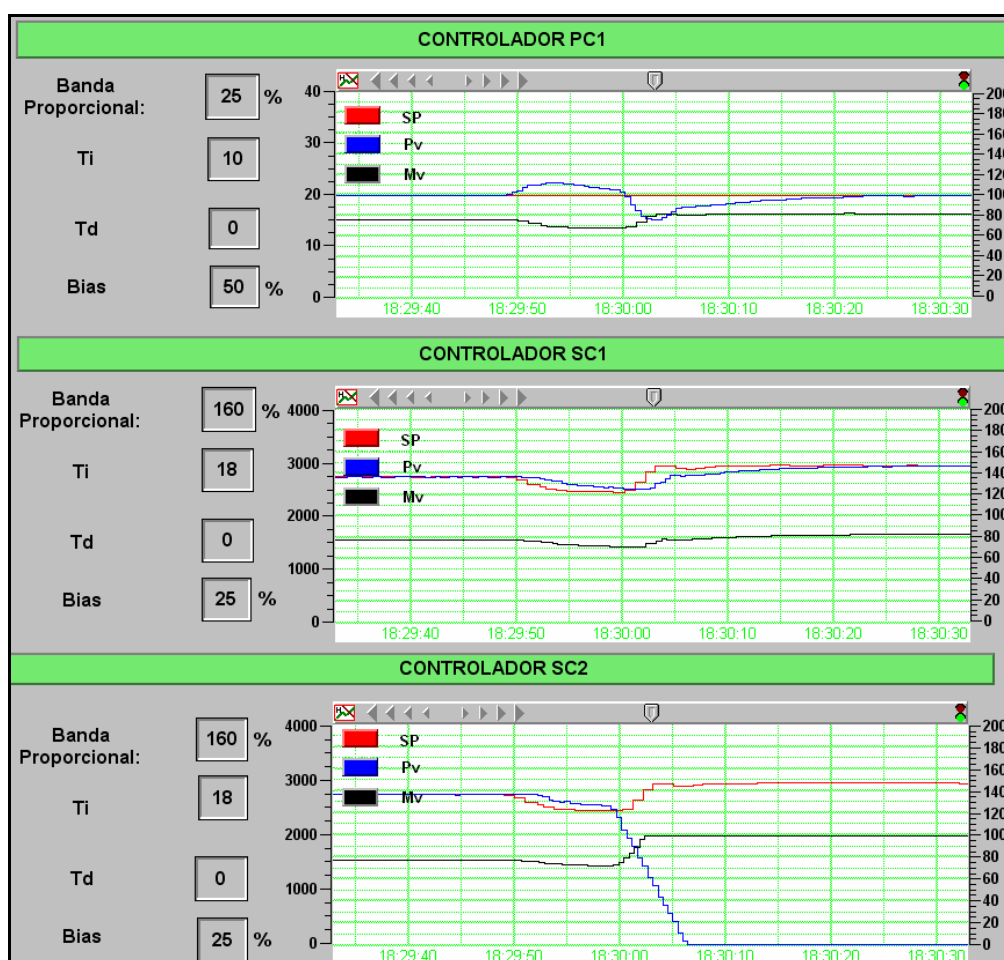


Figura. 6.16. Comportamiento del sistema cuando se desactiva el relevo

En la figura 6.17 se puede observar que una sola bomba es capaz de abastecer la demanda.

También es posible que dos bombas en paralelo cubran la demanda de flujo cuando esta puede ser abastecida por una sola bomba, como se observa en la figura 6.18.

Con bombas en paralelo se genera el mismo caudal y a la misma presión que el caso anterior, pero girando a menor velocidad. Si bien es cierto cuando una bomba gira a menor velocidad consume menos energía pero el funcionamiento de dos bombas en paralelo implica un consumo mayor de energía, es decir el consumo de energía es menor en el caso anterior.

Se recomienda siempre utilizar una sola bomba si la demanda de flujo no es muy alta.

En la tabla 6.9 se muestran los resultados obtenidos.

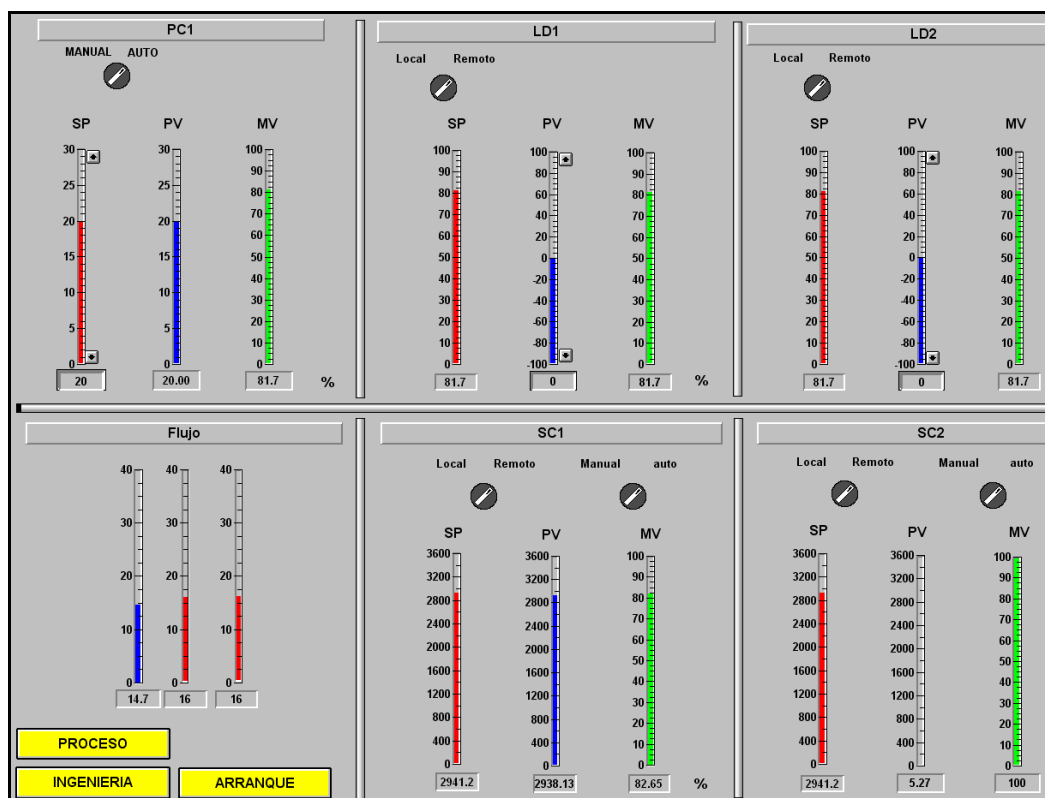


Figura. 6.17. Sistema operando con una sola bomba.

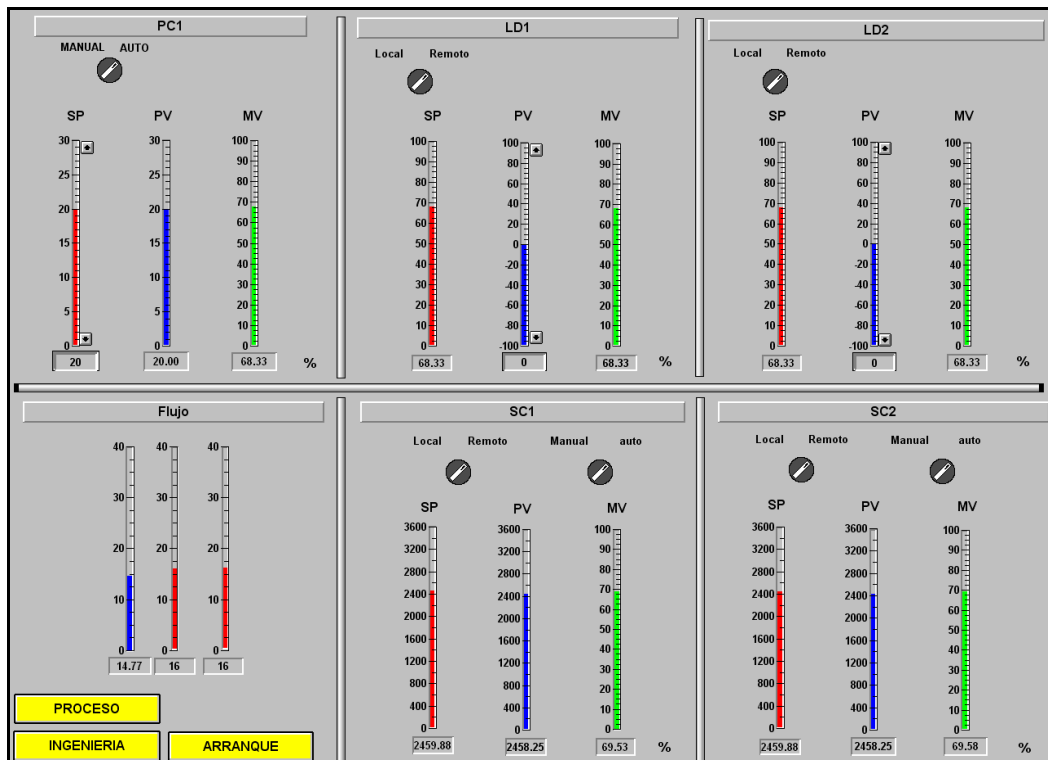


Figura. 6.18. Sistema operando con bombas en paralelo.

Tabla. 6.9. Operación de dos bombas en paralelo y de una sola bomba para satisfacer una misma demanda de flujo

| | Velocidad B1 (rpm) | Velocidad B2 (rpm) | Presión (PSI) | Flujo (lt/min) |
|-------------------------|-----------------------|-----------------------|------------------|-------------------|
| Operación de una bomba | 2938 | | 20 | 14,7 |
| Operación de dos bombas | 2450 | 2450 | 20 | 14,7 |

CAPÍTULO 7

ANÁLISIS ECONÓMICO

7.1 INVERSIÓN INICIAL

Como se muestra en la tabla 7.1 la inversión inicial esta dividida en el rubro de equipos y de varios, en el segundo rubro se incluyen todos los gastos que conlleva la instalación y puesta en marcha del sistema.

Tabla. 7.1. Inversión inicial

| | |
|----------------------------------------------|----------------------|
| EQUIPOS: | |
| Variadores de velocidad | \$ 280.000,00 |
| Transformadores | \$ 57.000,00 |
| PLC | \$ 9.800,00 |
| Fuentes | \$ 4.300,00 |
| UPS | \$ 1.700,00 |
| Gobernador electrónico | \$ 27.000,00 |
| Varios | \$ 5.000,00 |
| IVA | \$ 45.576,00 |
| TOTAL EQUIPOS | \$ 430.376,00 |
| VARIOS: | |
| Ingeniería, instalación y puesta en servicio | \$ 125.500,00 |
| TOTAL VARIOS | \$ 125.500,00 |
| TOTAL INVERSIÓN | \$ 575.876,00 |

7.2 AHORRO ENERGÉTICO

El proyecto propone un considerable ahorro energético al manejar directamente las velocidades de las bombas, es decir al trabajar en función de demanda y no a la capacidad máxima de las mismas.

Para calcular el ahorro anual de energía se partirá de una muestra de la demanda de flujo del sistema durante el periodo de un mes, los valores obtenidos de la muestra fueron cuantificados y llevados a un diagrama (figura 7.1), que nos indica el porcentaje de tiempo que el sistema requiere cierto flujo.

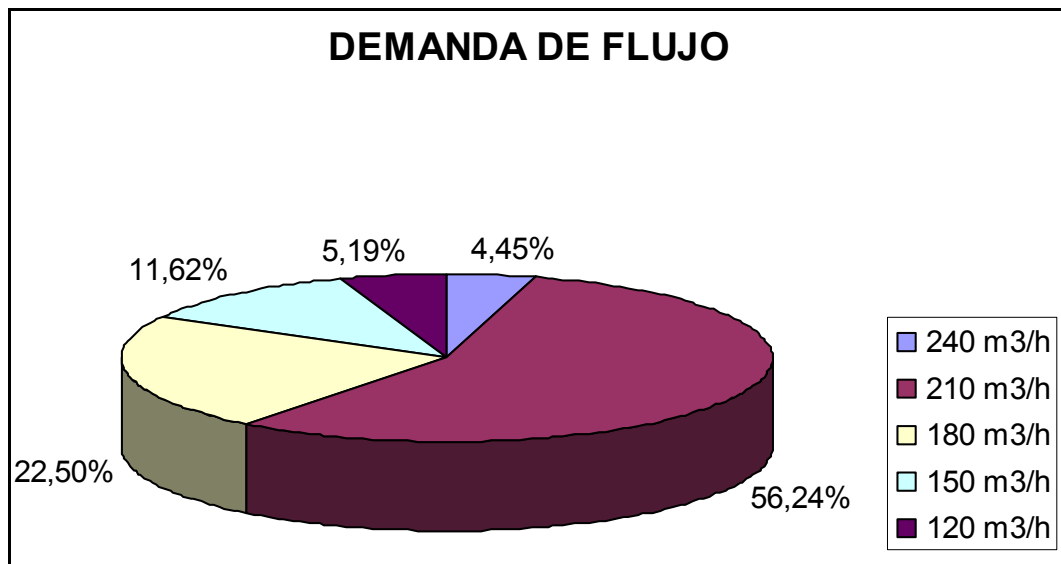


Figura. 7.1. Muestra de la demanda de flujo durante un T=1 mes

Con los porcentajes obtenidos anteriormente y los datos de operación de la bomba obtenidos de la curva característica, ver figura 7.2, se utilizó un software para calcular el ahorro energético anual que se obtiene con la utilización de un control por variación de velocidad.

Como se observa en la figura 7.3, el ahorro de energía anual es de aproximadamente 600.000 Kwh, que a un costo de 0,06 US/Kwh, se obtiene un ahorro de aproximadamente 36.000 US /año.

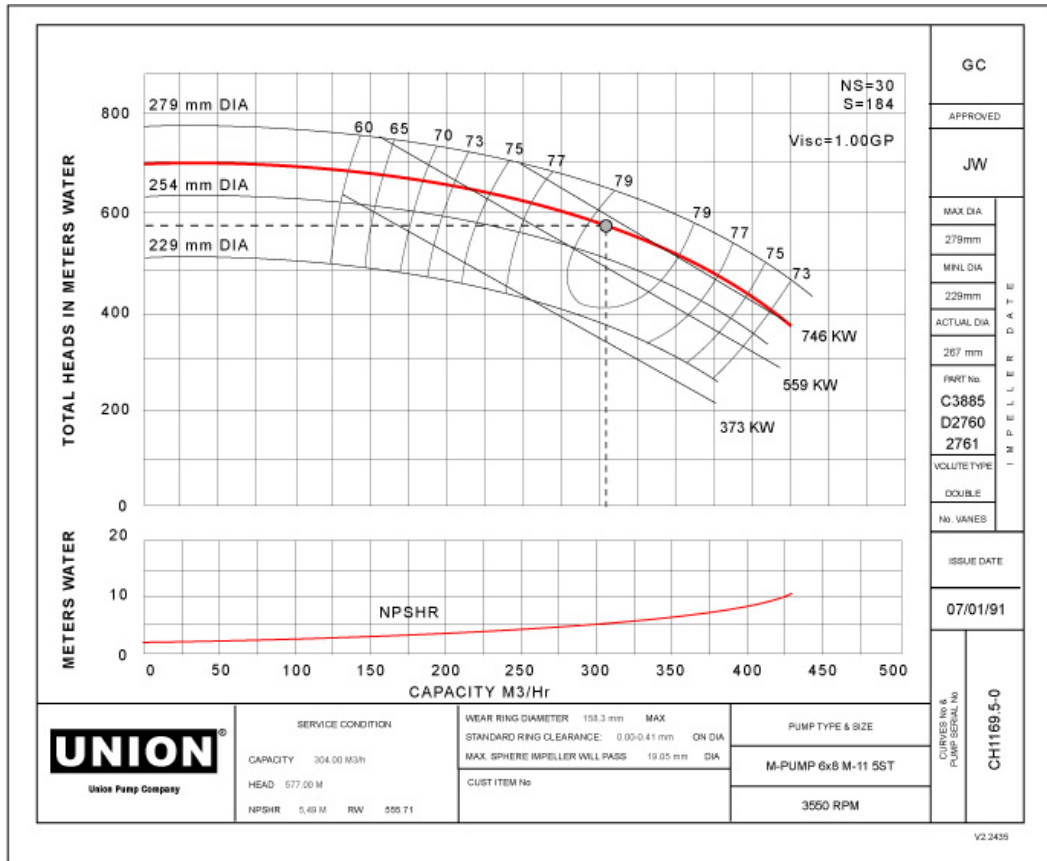


Figura. 7.2. Curva característica de la bomba YP

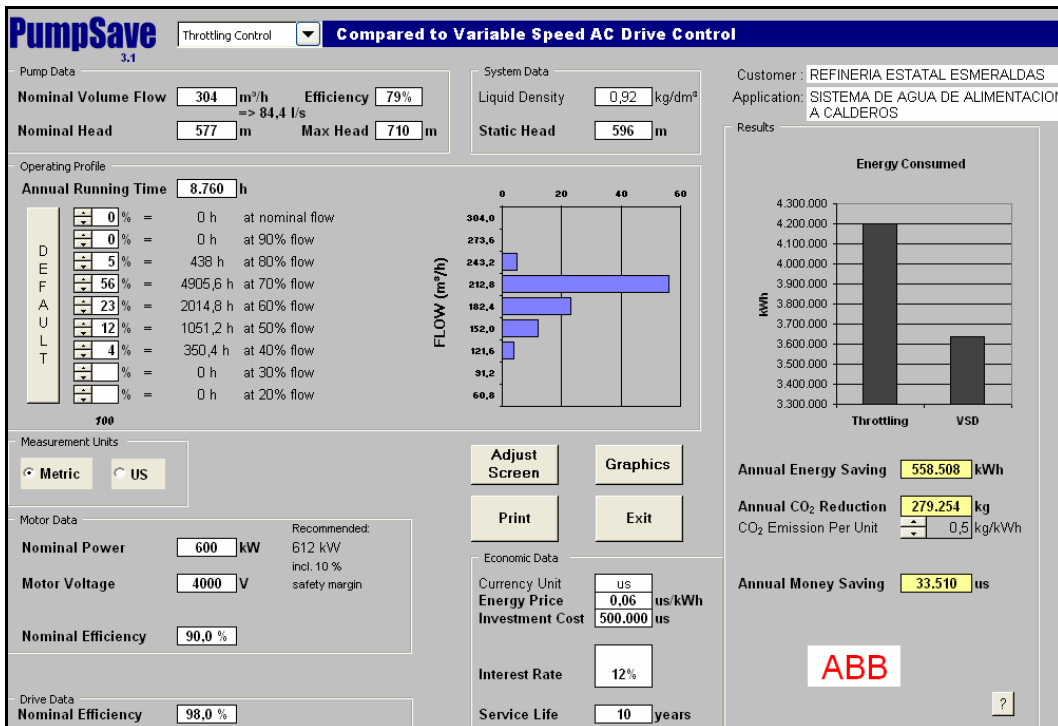


Figura. 7.3. Resultados obtenidos con el software para el cálculo de ahorro de energía

Tabla. 7.2. Ahorro energético

| Ahorro anual (Kwh) | Ahorro anual (\$) |
|-------------------------------|------------------------------|
| 600.000 | 36.000,00 |

7.3 COSTO POR PARALIZACIÓN DE LA PLANTA

En los últimos 5 años, REE ha tenido que paralizar su operación 4 veces por fallas vinculadas directamente al sistema de agua de alimentación a calderos debido a los problemas que se trataron en capítulos anteriores.

Una paralización de la planta implica al menos 48 horas hasta volver a normalizar su operación. Teniendo en cuenta que esto implica dejar de refinar y obtener los derivados del petróleo, la empresa pierde diariamente alrededor de 1.200.000 USD en cada paralización.

Con el proyecto de automatización se busca atender estos problemas y evitar que vuelvan a suceder. Esto garantizaría que el sistema de agua de alimentación a calderos funcione sin inconvenientes evitando que la planta se paralice con las consecuentes pérdidas de producción.

Para calcular el costo de paralización de la planta podemos decir que en las condiciones actuales, en los próximos 5 años, al menos se tendrá una paralización vinculada directamente con el sistema de bombeo de agua a calderos. Entonces el promedio de paralizaciones sería 0,20 veces por año, considerando que cada paralización le cuesta a la empresa 2 400.000,00 USD, tenemos una pérdida anual de 480.000,00 USD.

Tabla. 7.3. Costos por paralización de planta

| Promedio anual de paralizaciones | Perdida por paralización (\$) | Ahorro anual (\$) |
|---------------------------------------------|------------------------------------------|------------------------------|
| 0,20 | 2 400.000,00 | 480.000,00 |

7.4 FLUJO DE CAJA

Para calcular el flujo de caja se debe calcular el ahorro anual y la depreciación durante la vida útil del proyecto.

$$FC = [(\text{Ahorro anual} - \text{DEP}) \cdot (1 - \text{TAX})] + \text{DEP} \quad \text{Ec. 7.1}$$

Donde:

DEP= Depreciación

TAX= Impuesto a la renta=25%

Ahorro anual = Costo por pérdida de producción + Ahorro energético

Ahorro anual = \$ 480.000,00 + \$36.000,00

Ahorro anual = \$ 516.000,00 USD

DEP= Inv / T

DEP= \$ 575.876,00 / 5

DEP = \$ 115.175,20

FC= [(516.000,00 – 115.175,00) * (1 - 0,25)] + 115.175,00

FC= \$ 415.793,75

Tabla. 7.3. Calculo de FC

| T | Ahorro anual | Inversión | DEP | FC |
|---|---------------|---------------|---------------|---------------|
| 5 | \$ 516.000,00 | \$ 575.876,00 | \$ 115.175,20 | \$ 415.793,75 |

7.5 VALOR ACTUAL NETO (VAN)

El VAN (valor actual neto) representa la riqueza adicional que se consigue con el proyecto y permite analizar la rentabilidad económica del mismo.

Para calcular el VAN se utiliza la ecuación 7.2, que es una sumatoria en la que intervienen los flujos netos de caja de los periodos determinados.

$$VAN = -Inv + \sum_{t=1}^T \frac{FC}{(1+i)^t} \quad \text{Ec. 7.2}$$

Donde:

FC= Flujo de Caja

i= factor de riesgo en sector energético

T= periodo

Para un periodo igual a 5 años y un factor de riesgo en el sector energético del 15%, tenemos lo siguiente:

$$VAN = -575.876 + \sum_{t=1}^5 \frac{415.793,75}{(1+0,15)^t}$$

$$VAN = \$ 818.019,139$$

7.6 TASA INTERNA DE RETORNO (TIR)

Se define como aquella tasa de descuento que reduce a cero el Valor Presente Neto. En términos económicos, la TIR representa el porcentaje o tasa de interés que se gana sobre el saldo no recuperado de una inversión.

Para calcular la TIR se utiliza la ecuación 7.3

$$0 = -Inv + \sum_{t=1}^T \frac{FC}{(1+i)^t} \quad \text{Ec.7.3}$$

Para un VAN igual a 0, de la ecuación 7.3 se obtiene que i es igual a 0,66, es decir la TIR del proyecto es igual a 66%, valor muy superior al factor de riesgo del sector energético (15%). La gran rentabilidad del proyecto, es debido a la cantidad de costos ahorrados con la implementación de los cambios propuestos.

CAPÍTULO 8

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1 CONCLUSIONES

- Al finalizar el presente proyecto, se concluye de manera satisfactoria el objetivo general del mismo, que consistía en diseñar un sistema de control que permita optimizar el funcionamiento de las bombas de alimentación de agua a calderos en la Refinería Estatal Esmeraldas.
 - El sistema de control consiste en actuar sobre la velocidad de las bombas, creando infinitas curvas características y a su vez puntos de operación que permiten variar la entrega de flujo a una presión constante.
 - Al mantener la presión constante se puede trabajar con dos bombas en paralelo sin problema de diferencia de cabezas y de esta manera ampliar la capacidad de bombeo.
 - El sistema de control diseñado permite trabajar en condiciones óptimas de operación, protegiendo a los equipos y asegurando la confiabilidad del sistema de bombeo.
 - La automatización es conveniente si al evaluar los beneficios económicos y sociales de las mejoras que se podrían obtener al automatizar, estas son mayores a los costos de operación y mantenimiento del sistema. En el caso del sistema de agua de alimentación, considerando que existe un permanente desperdicio de energía, así como daño continuo de equipos,
-

perdidas de producción por fallas en este sistema, se puede concluir que la automatización es una alternativa viable para optimizar el mismo.

La automatización de un proceso frente al control manual del mismo proceso, brinda ciertas ventajas y beneficios de orden económico, social, y tecnológico, pudiéndose resaltar las siguientes:

- Se asegura una mejora en la calidad del trabajo del operador y en el desarrollo del proceso.
 - Se obtiene un conocimiento más detallado del proceso, mediante la recopilación de información y datos estadísticos del proceso.
 - Se obtiene una reducción de costos, puesto que se optimiza el trabajo, se reduce el tiempo y dinero dedicado al mantenimiento.
 - Expansibilidad y escalabilidad del sistema, que le permite crecer para atender las ampliaciones futuras de la planta, o para atender las operaciones no tomadas en cuenta al inicio de la automatización.
 - Aumento en el rendimiento de los equipos.
 - Facilidad para incorporar nuevos equipos y sistemas de información.
 - Aumento en la seguridad de las instalaciones y la protección a los trabajadores.
 - Racionalización y uso eficiente de la energía.
- Se concluye que el proyecto es altamente viable luego de analizar los índices de rentabilidad. El estudio económico del proyecto demuestra que es bastante rentable debido a que reduce los costos de operación y mantenimiento, alarga la vida de los equipos y evita pérdidas de producción por fallas del sistema.
-

8.2 RECOMENDACIONES

- Si la demanda de flujo puede ser cubierta por una bomba se recomienda no utilizar dos en paralelo debido a que esto acarrea desperdicio de energía.
 - Se recomienda revisar las líneas de succión para evitar pérdidas excesivas por fricción.
 - Por ser el sistema de bombeo de agua a calderos un área muy crítica deberían existir por lo menos dos bombas capaces de cubrir las demandas normales de flujo de la planta, actualmente solo la bomba YP7003B es capaz de abastecer esta demanda, por lo que se recomienda repotenciar la bomba YP7003A.
 - Se recomienda monitorear la temperatura y vibración de las bombas con el fin de tener mayores parámetros que indiquen el comportamiento de las mismas.
-

BIBLIOGRAFÍA

CARNICER ROYO, Enrique, **Bombas Centrífugas**, segunda edición, Paraninfo Thomson Learning, 2001, 113pp.

VIEJO ZUBICARAY, **Bombas**, primera edición, Limusa Editorial, 1997, 269pp.

MCNAUGHTON, Kenneth, **Bombas Selección Uso y Mantenimiento**, tercera edición, McGraw Hill, 2001, 373pp.

BEGA, Igidio Alberto, **Caldeiras Instrumentação e Controlé**, primera edición, JR Editora Técnica, 1989, 154pp.

ROCA CUSIDÓ, Alfred, **Control de Procesos**, segunda edición, Edicions UPC, 2002, 606pp.

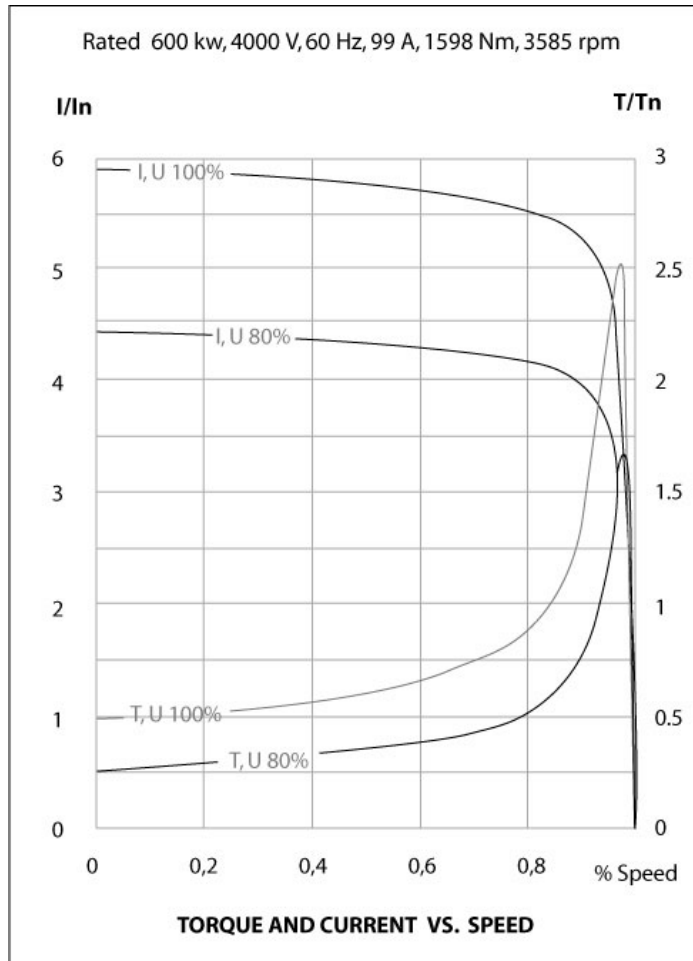
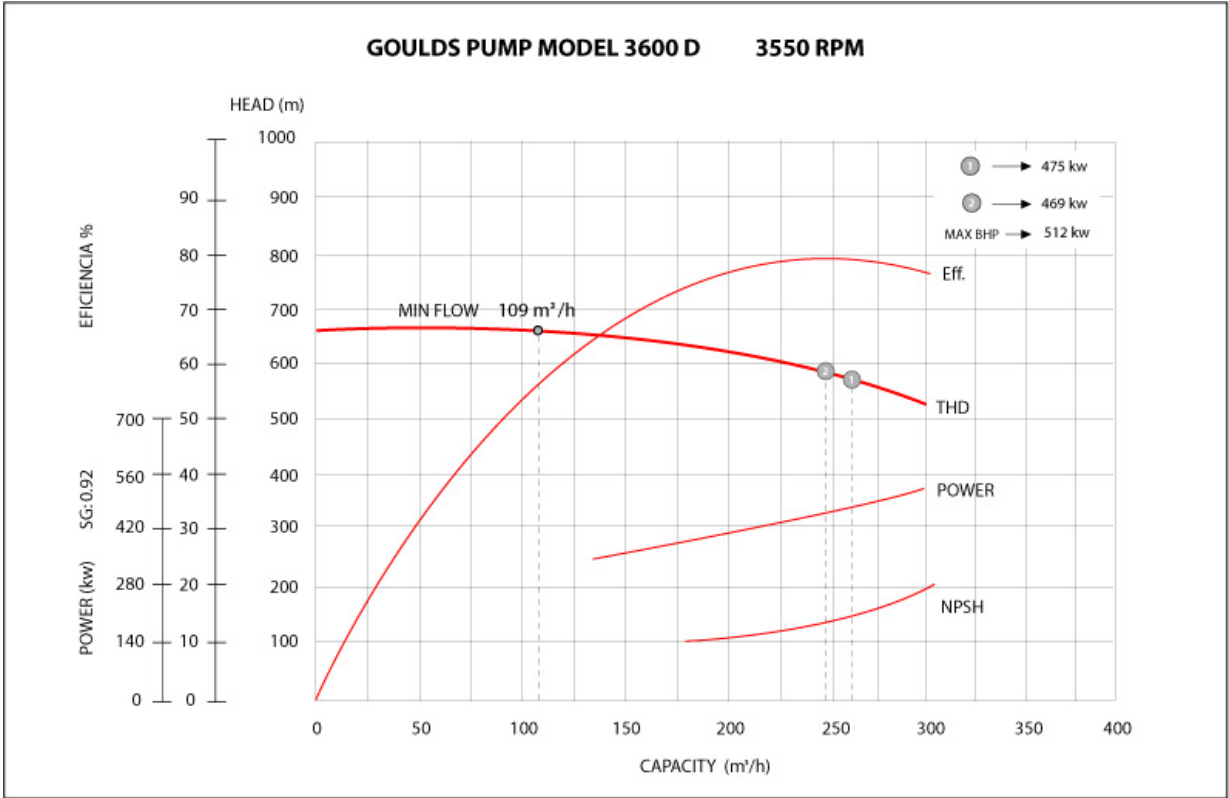
BELOVE, Charles, **Electrónica Ingeniería y Técnica**, tomo 4, primera edición, Grupo Editorial Océano, 265pp.

ORTIZ, Hugo, **Instrumentación y Sistemas de Control**, 1998, 155pp.

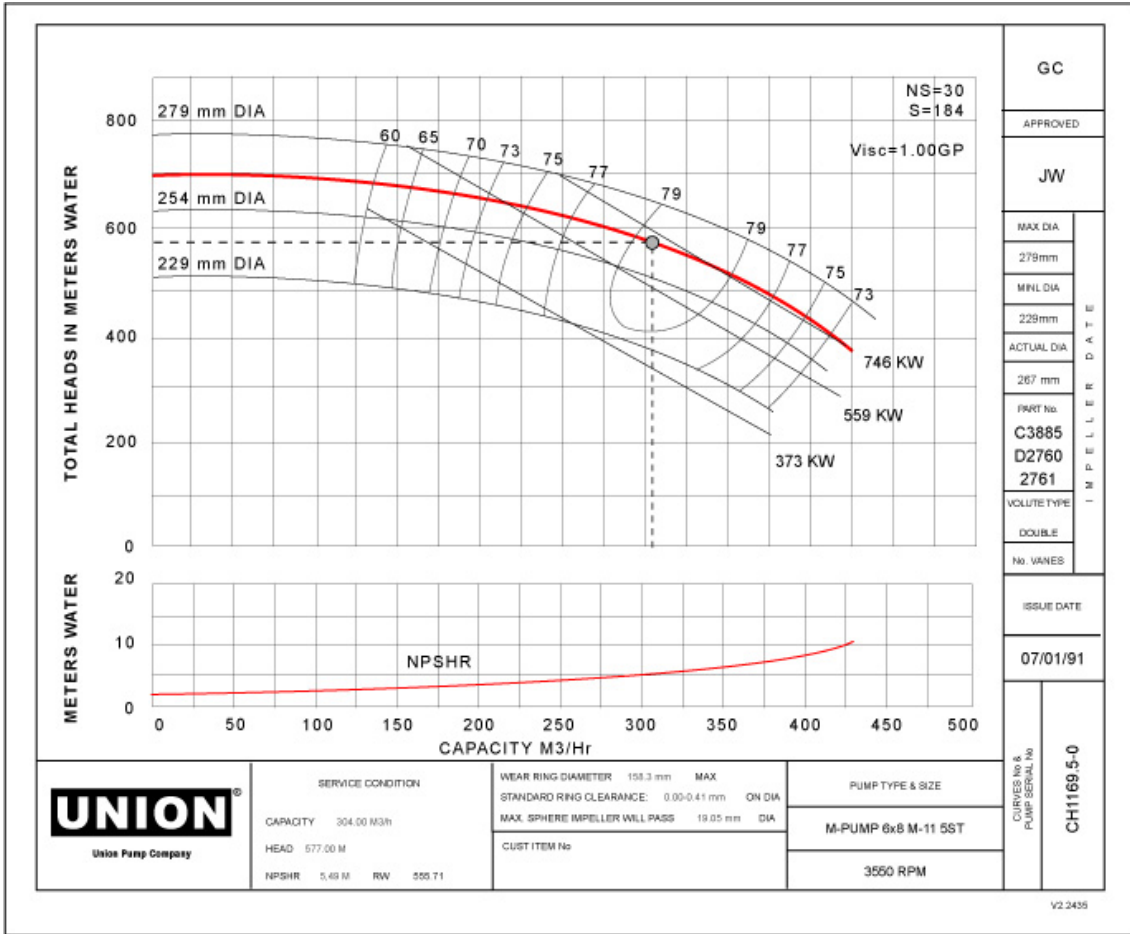
ANEXO 1

CURVAS CARACTERÍSTICAS DE LAS BOMBAS

BOMBA YP7003 A



BOMBA YP7003 B



| | |
|------------------------------|---------------|
| GC | |
| APPROVED | |
| JW | |
| MAX DIA | IMPELLER DATE |
| 279mm | |
| MINL DIA | |
| 229mm | |
| ACTUAL DIA | |
| 267 mm | |
| FRRT No. | |
| C3885 | |
| D2760 | |
| 2761 | |
| VOLUTE TYPE | |
| DOUBLE | |
| No. VANES | |
| ISSUE DATE | |
| 07/01/91 | |
| CURVES No. & PUMP SERIAL No. | CH1169.5-0 |

| | | | |
|-----------------------------------------------------|----------------------|-----------------------------------------------|---------------------|
| <p style="font-size: small;">Union Pump Company</p> | SERVICE CONDITION | WEAR RING DIAMETER 153.3 mm MAX | PUMP TYPE & SIZE |
| | CAPACITY 304.00 M3/h | STANDARD RING CLEARANCE: 0.00-0.41 mm ON DIA. | M-PUMP 6x8 M-11 5ST |
| | HEAD 577.00 M | MAX. SPHERE IMPELLER WILL PASS 19.05 mm DIA. | 3550 RPM |
| NPSHR 5.49 M RW 555.71 | CUST ITEM No | | |

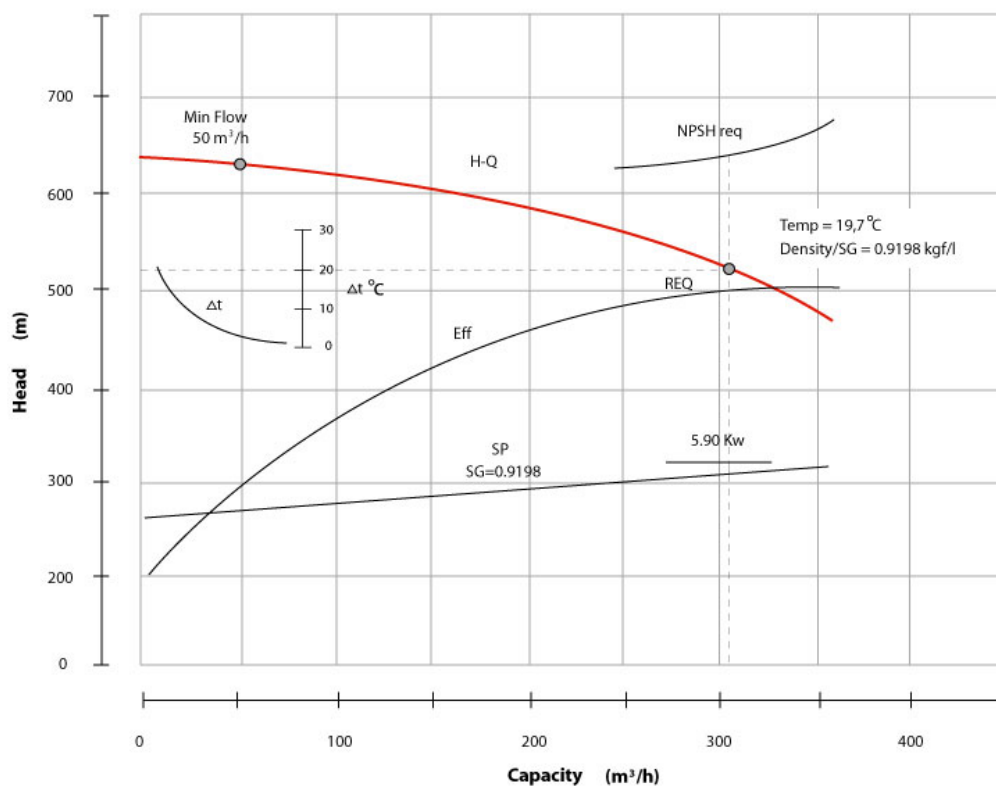
BOMBA YP7003 C/D

Total Head = 516.4 m

Power = 590 kw

Capacity = 309.4 m³/h

Speed = 3550 rpm



ANEXO 2

VÁLVULA YARWAY

Yarway 9300 Series ARC® Pump Protection Valve
For Low Energy Centrifugal Pumps

YARWAY

The Yarway 9300 Series ARC® valve has been designed and manufactured to provide cost effective protection for low energy, centrifugal pumps. These pumps often operate far from BEP (Best Efficiency Point) and have shown a propensity for premature wear and failure. Low pump flow conditions can cause excessive fluid temperature rises, flashing, cavitation, impeller recirculation, vibrations, and shaft deflections. This results in costly failures of bearings, impellers, couplings, mechanical seals, and system downtime.

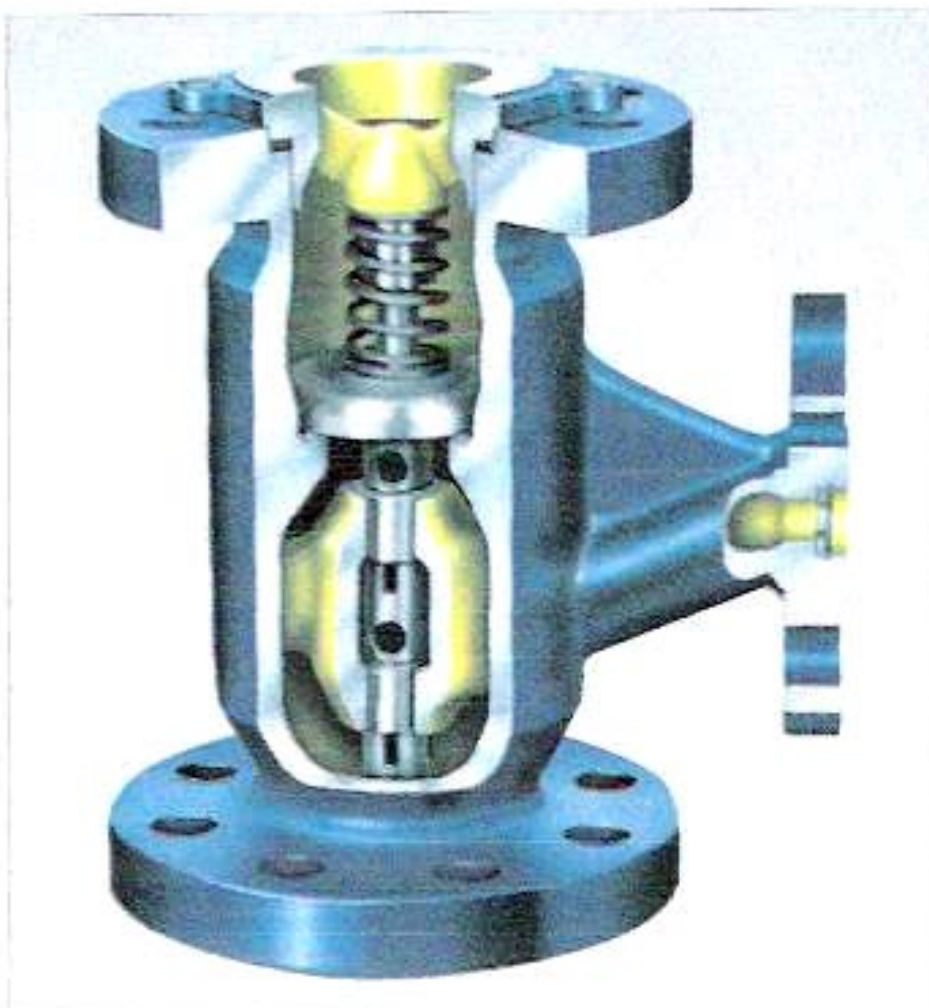
The 9300 Series ARC provides the most reliable and economical system to protect centrifugal pumps from the dangers of low and/or reverse flow. It combines the functions of a check valve, flow sensing element, minimum flow control device and pressure letdown into a single unit. The ARC valve requires no external source of power and installs vertically or horizontally on the discharge side of the pump, with only three connections. The valve is available with ANSI, DIN, BS and JIS connections.

The 9300 ARC is one of the latest models in the Yarway ARC valve family. Manufactured in the USA, ARC valves have delivered consistent and reliable service for over three decades.

How It Works

Within the 9300 recirculation valve is a main flow sensing/check valve disc which responds to flow. The check valve disc modulates to the demand for process main flow.

When the disc is closed, there is no main flow and the bypass is full open. Flow enters the bypass section through the slotted orifices in the lower portion of the disc stem. Flow continues through the bypass (annular) area and is directed to the side outlet of the valve. This protects the pump against "dead heading" when the discharge valve is closed or when the process demand drops below the minimum pump flow.



As the disc lifts in response to an increase in main flow (process demand), the orifices in the disc stem are progressively shut off, thus reducing the recirculation flow. When the flow to the process exceeds that required to meet the minimum flow to satisfy proper pump operation, the bypass flow control element will be fully closed, shutting off all recirculation flow.

Features

Provides four functions: Check valve, Flow sensing instrument, Bypass flow control valve and Pressure reduction.

1. Installation simplicity
2. Field configurable bypass
3. Cost effective
4. Environmentally and intrinsically safe
5. Design simplicity
6. Uses no external power

tyco / Flow Control

Total Flow Control Solutions™

Yarway and ARC are either registered trademarks or trademarks of Tyco International Services AG or its affiliates in the United States and/or other countries. All other brand names, product names, or trademarks belong to their respective holders.



Yarway 9300 Series ARC® Pump Protection Valve

For Low Energy Centrifugal Pumps

Sizes/Ratings/Connections

Nominal Diameter, Inch [mm]

| Inlet x Outlet | | x Bypass |
|----------------|-------------|------------|
| 1 x 1 | [25 x 25] | 3/4 [20] |
| 1 1/2 x 1 1/2 | [40 x 40] | 3/4 [20] |
| 2 x 2 | [50 x 50] | 1 [25] |
| 3 x 3 | [80 x 80] | 1 1/2 [40] |
| 4 x 4 | [100 x 100] | 2 [50] |

Rating

- ASME B 16.34 Class 150 and 300
- Pressure/Temperature ratings for valves with ANSI Class 150, DIN, JIS or BS flanged connections will be based on the rating of the flanges or by the ANSI Class 300 rating for CF8M material, whichever is lower.
- ASME B16.34 flanged valves are in compliance with European Union (EU) Pressure Equipment Directive (PED) 97/23/CE Cat. III and ATEX Directive 94/9/EC Group II Cat. 2 and 3.
- Maximum valve inlet pressures and temperatures:
Carbon Steel 350 psig [24.7 Bar]
-20° to 500°F [-29° to 260°C]
Stainless Steel 350 psig [24.7 Bar]
-50° to 500°F [-46° to 260°C]

Connections

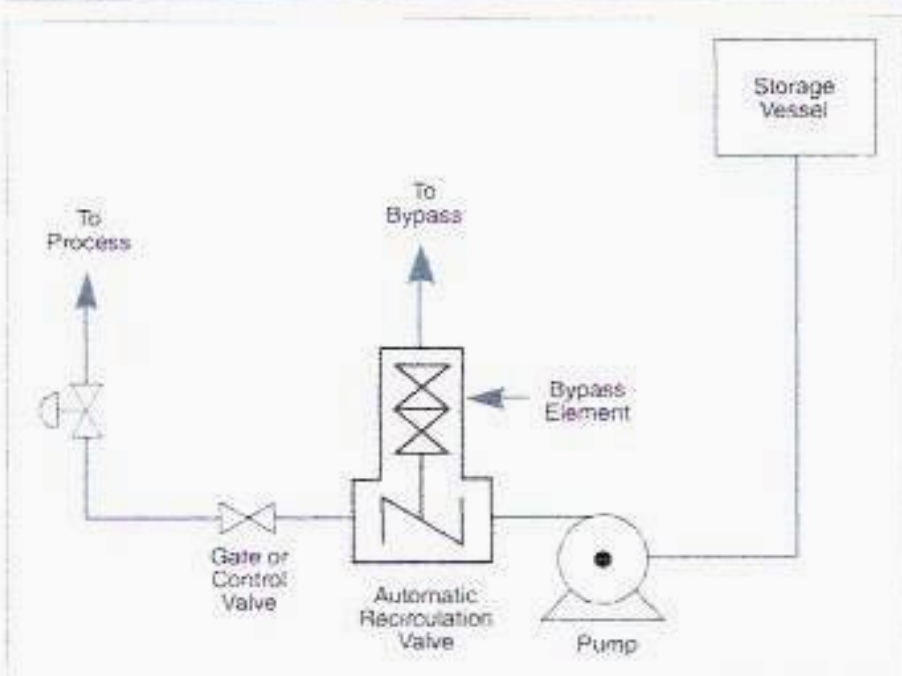
| | |
|-------------|-------------|
| ASME B16.5 | Raised Face |
| DIN 2501 | Raised Face |
| BS 4504 | Raised Face |
| JIS B.22.10 | Raised Face |

Typical Applications

Direct Drive Centrifugal Pumps, Canned Motor Pumps, Mag Drive Pumps, ANSI/API and other Centrifugal Pumps for water and process fluid – transfer, loading, boosting, recycling, circulation, feeding or draining.

The Yarway ARC valves were developed to fill the pump protection need of the following industries: API Hydrocarbon, Chemical (CPI), Industrial Power, Agricultural, Municipal, Commercial, HVAC and Pharmaceutical.

Yarway System



Nominal Main Flow

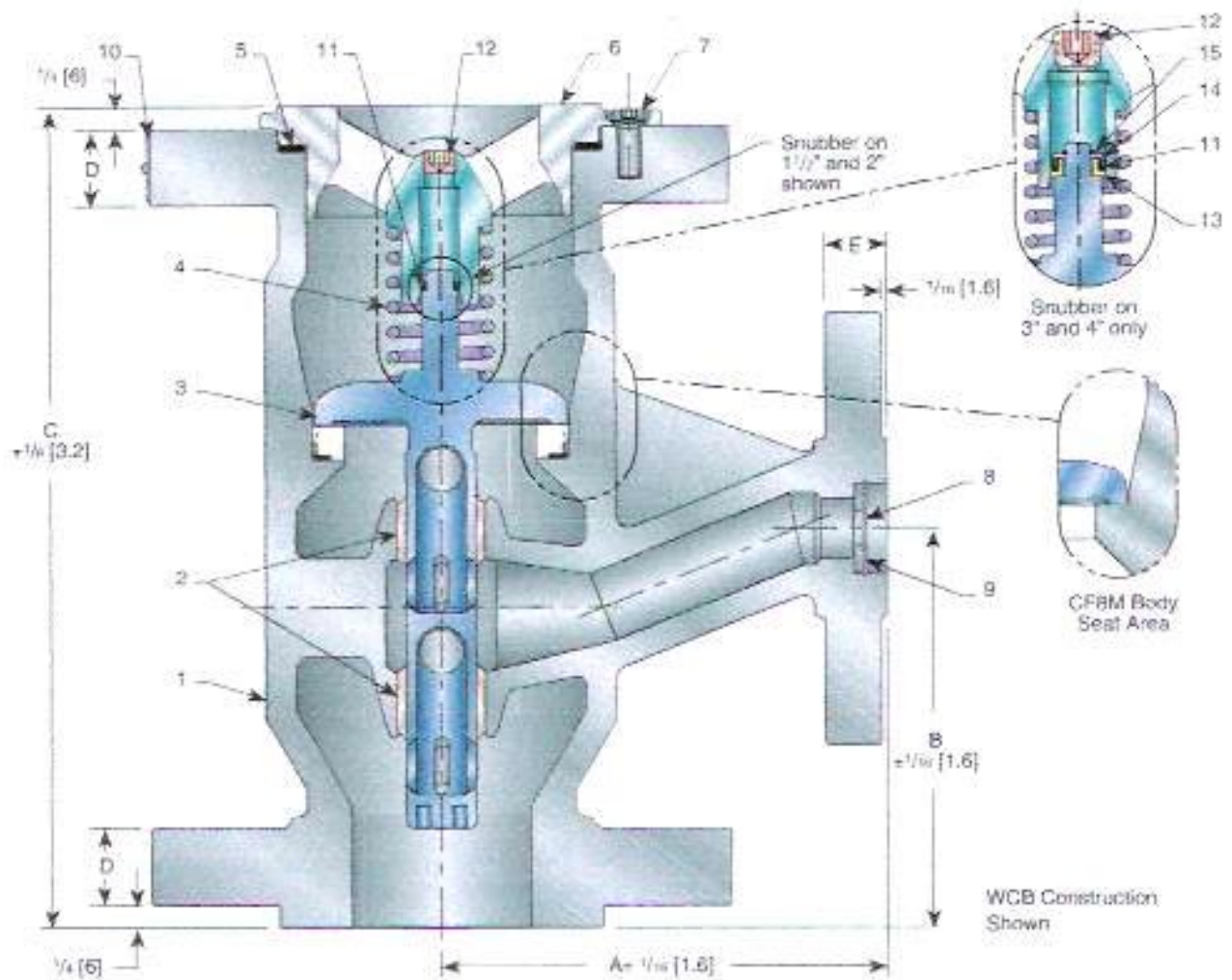
(gpm[m³/hr] @ Specific Gravity = 1)

| 1 in. [DN 25] | 1 1/2 in. [DN 40] | 2 in. [DN 50] | 3 in. [DN 80] | 4 in. [DN 100] |
|------------------|----------------------|-------------------|--------------------|---------------------|
| 22-53 [5-12] | 22-110 [5-25] | 70-190 [16-43] | 180-430 [41-98] | 360-765 [82-174] |

By changing the orifice (#8), the user can configure valve to pump bypass flow requirements.

Yarway 9300 Series ARC® Pump Protection Valve
For Low Energy Centrifugal Pumps

Parts and Materials 1½" - 4"



| No. | Part | Material | No. | Part | Material |
|-----|-------------------|---------------------------------------------------------------|-----|---------------|-----------------|
| 1 | Body | ASTM A216 WCB (with SS hard seat) or ASTM A351 GR. CF8M | 8 | Orifice | 18-8 SS |
| 2 | Bushing | Nitronic 60 | 9 | Retainer Ring | 18-8 SS |
| 3 | Disc | ASTM A351 GR. CF8M | 10 | Nameplate | 300 SS |
| 4 | Spring | Type 316 SS | 11 | Seal | YFE/SS |
| 5 | Gasket | Graphite | 12 | Orifice Plug | 18-8 SS |
| 6 | Upper Stop | ASTM A351 GR. CF8M | 13 | Snubber Ring | AISI 316 |
| 7 | Screw (Hold Down) | 18-8 SS | 14 | Washer | AISI 316 |
| | | | 15 | Retainer Ring | PH 15-7 MO (SS) |

Dimensions, in. [mm], Weights, lbs. (kg)

| Size | A | B | C | D | E | Weight |
|----------------------------|----------|----------|------------|-----------|-----------|------------|
| 1½ x 1½ x ¾ [40 x 40 x 20] | 4½ [114] | 4¾ [111] | 8¼ [222] | 7⁄8 [22] | 4⁄16 [18] | 27 (12.2) |
| 2 x 2 x 1 [50 x 50 x 25] | 5 [127] | 4½ [114] | 9⁄16 [237] | 7⁄8 [22] | 7⁄16 [20] | 35 (15.8) |
| 3 x 3 x 1½ [80 x 80 x 40] | 6¼ [159] | 6¾ [162] | 13½ [343] | 1½ [28.6] | 7⁄8 [22] | 72 (32.7) |
| 4 x 4 x 2 [100 x 100 x 50] | 7¼ [184] | 8¼ [222] | 17¼ [438] | 1½ [32] | 7⁄8 [22] | 124 (56.2) |

ANEXO 3

GOBERNADOR ELECTRÓNICO

Peak[®] 150

Digital Control for Steam Turbines

The Peak[®] 150 steam turbine control is a low-cost, compact, digital control for single-valve or single-valve rack steam turbines. It provides convenient operator control and speed display from the front panel. It is housed in a watertight, and dust-tight, enclosure. A corrosion-resistant enclosure designed to meet NEMA 4X requirements is also available.



APPLICATIONS

The Peak 150 digital control is designed to control a steam turbine driving a mechanical load. It provides tight control of speed (NEMA D) and includes an input for a 4–20 mA remote speed control signal, which can be used for a process-generated input to control the speed setting. Other features include dual speed control dynamics and overspeed trip test capabilities.

OPERATION

The operation of the control is simple. To start the turbine, the steam-supply valve must be opened (manually or by other means). When the turbine comes up to the user-determined idle speed, the Peak 150 system takes control of the turbine—the steam-supply valve can then be opened fully. The Peak 150 control includes circuitry for detecting the loss of either MPU signal—this circuitry is automatically overridden for starting.

The turbine can be accelerated from idle speed to minimum governor speed either automatically (by using the remote Idle/Min Gov contacts or by using the front panel start), or manually (by using the panel or remote Raise or Lower commands).

SETPOINT ADJUSTMENTS

Manual Mode

Turbine speed is adjusted solely by the front panel keys and the remote Raise and Lower discrete inputs. The Remote Speed setting analog input is ignored in this mode.

Remote Speed Set Mode

Turbine speed is determined by the Remote Speed Setting analog input. When the Remote Speed Setting Enable contact is closed and the turbine is at or above minimum governor speed, turbine speed will ramp from Min Gov Speed to the remote value at a user-defined rate. Once the speed setpoint output matches the setting of the Remote Speed Setting signal, the speed will change at a new user-defined rate for process control. If the Remote Speed Setting signal is disabled for any reason, the speed setpoint will remain at the last speed and the setpoint adjustment operates as it does in Manual Mode.

Combination Mode

This mode is similar to the Analog Remote Speed Set Mode, except that the speed demand generated by the discrete (front-panel and remote Raise and Lower contact inputs) and the analog Remote Speed Setting signal are compared for the highest value. This highest value is passed on as the commanded speed. If the Remote Speed Setting signal is disabled for any reason, control of the speed setpoint operates as it does in Manual Mode.

- Low-cost digital steam turbine control
- 16-bit, 12 MHz microprocessor
- Rugged NEMA 4 or NEMA-4X enclosure
- Front-mounted operator keypad and rpm/status indicators
- Easy setup and tuning using plug-in, hand-held terminal
- Modbus[®] communications capability
- Part of our Total Turbine Control System

PROGRAMMING UNIT

A small hand-held programmer (see illustration) connects to the Peak 150 to permit system configuration and tuning. System constants cannot be changed without this unit, so unauthorized changes are easily prevented by limiting access to the programmer.

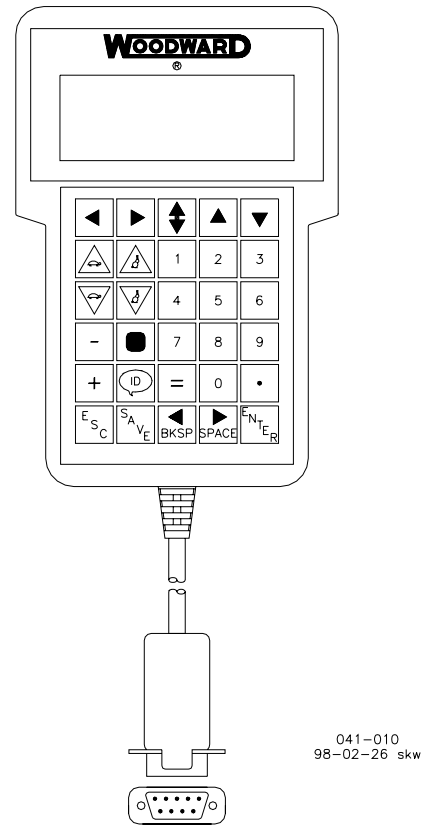
CRITICAL SPEED AVOIDANCE

To protect the turbine and skid from excessive vibration, a critical speed band can be defined by the user. While within this band, turbine speed will change at a fast rate (user-defined) and cannot be stopped within the band.

COMMUNICATIONS

Serial communication using the Modbus® * protocol is an option on the Peak 150. The transmission mode can be configured to be either RTU or ASCII mode. RS-232, RS-422, and RS-485 will all be supported through wiring to the proper terminals. Modbus, when purchased, permits communication with Programmable Logic Controllers or Distributive Control Systems. Speed, speed setpoint, alarm and shutdown conditions, and other pertinent control information will be reported on request from a master unit.

*—Modbus is a trademark of Modicon, Inc.



041-010
98-02-26 skw

Hand Held Programmer

SPECIFICATIONS

Inputs

Magnetic Pickup Inputs (2)

Two identical inputs, high-signal-selected
Minimum input voltage 1 Vrms, minimum frequency 200 Hz,
maximum frequency 15 kHz

Analog Input (1)

Remote Speed Setting signal
(4–20 mA or 1–5 Vdc, internal jumper selectable)

Discrete Inputs (8)

Remote (isolated, 5–28 Vdc)

Options

Raise speed
Lower speed
Emergency stop
Alarm reset
Remote speed set enable
Start
Idle/minimum governor
Select high dynamics or overspeed test

Outputs

Analog Outputs (2)

Actual speed output (scalable, 4–20/0–1 mA)
Configurable readout (scalable, 4–20/0–1 mA)

Options

Actual speed
Speed setpoint
Actuator output
Remote speed setpoint
Valve ramp value

Actuator Output (1)

4–20 or 0–200 mA (internal jumper selectable)

Relay Outputs (4)

Internal jumpers provide choice of normally-open or normally-closed contacts

| | |
|---------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Contact ratings are | 2 A resistive @ 28 Vdc 0.3 A resistive @ 115 Vac Shutdown (de-energizes or energizes for shutdown) Alarm (de-energizes for alarm) Configurable Relay #1 Configurable Relay #2 |
| Options | Alarm Trip output Shutdown Remote control Speed control MPU failure Overspeed trip Overspeed test Remote signal OK Speed switch #1 Speed switch #2 Hand valve #1 Hand valve #2 |

Operator Control Panel

Keypad Switches (6)

Options

Raise speed
Lower speed
Emergency trip
Start
Overspeed test
Alarm reset

LED Indicators (6)

Remote speed setting signal status
Shutdown status
MPU #1 status
MPU #2 status
CPU status
Overspeed test status

Digital Display

Five-digit LED speed display

Power

Input

Models are available with these input power requirements:
24 Vdc
90–150 Vdc or 88–132 Vac, 47–63 Hz
38 W

Maximum power consumption, all models:

Environmental Specifications

Operating Ambient Temperature

–25 to +65 °C (–13 to +149 °F)

Storage Ambient Temperature

–40 to +85 °C (–40 to +185 °F)

Humidity

Designed to meet US MIL-STD-810D, Method 507.2, Procedure II, induced, non-hazardous, cycle 5 (fifteen 24-hour cycles, varying 19–75% humidity, over 33–63 °C)

North American Regulatory Compliance

UL and cUL listed for Class I, Division 2, Groups A, B, C, & D

Dimensions

Width

483 mm (19 inches)

Height

310 mm (12.2 inches)

Depth

105 mm (4.1 inches)

Technical Manual

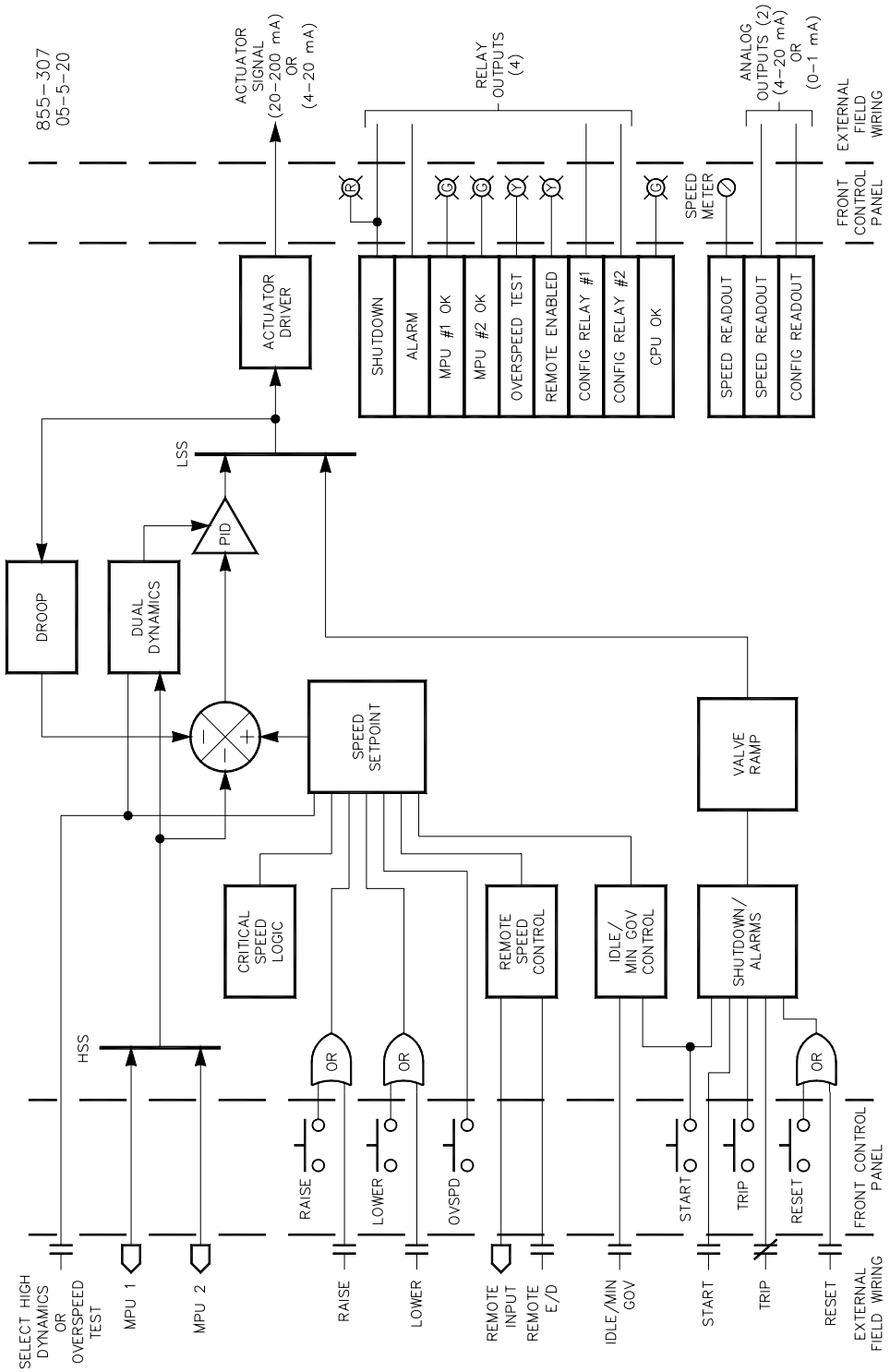
85565

PO Box 1519
 Fort Collins CO, USA
 80522-1519
 1000 East Drake Road
 Fort Collins CO 80525
 Ph: +1 (970) 482-5811
 Fax: +1 (970) 498-3058

Distributors & Service
 Woodward has an international network of distributors and service facilities. For your nearest representative, call the Fort Collins plant or see the Worldwide Directory on our website.

Corporate Headquarters
 Rockford IL, USA
 Ph: +1 (815) 877-7441

www.woodward.com



Block Diagram

For more information contact:

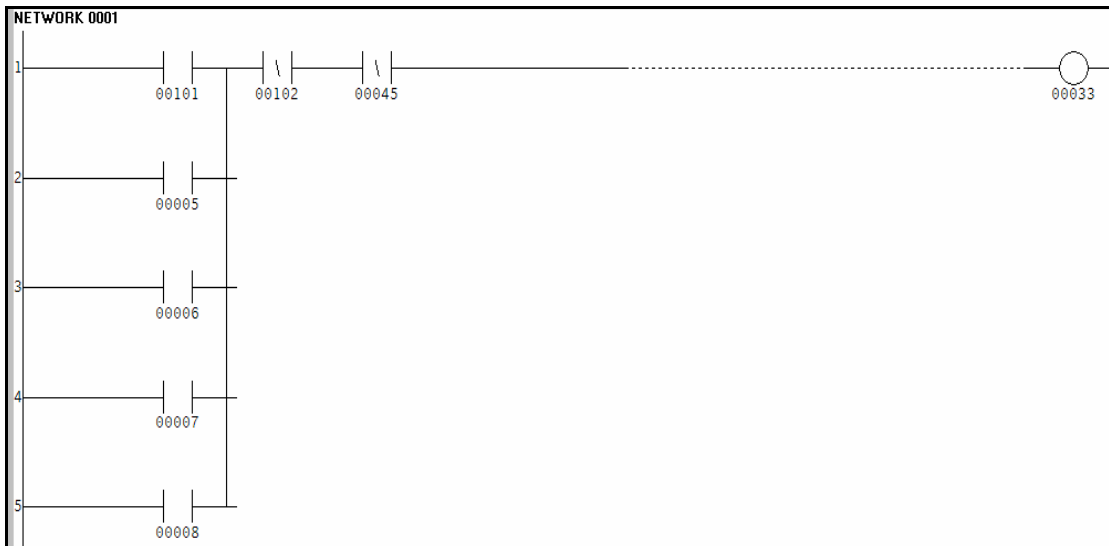
This document is distributed for informational purposes only. It is not to be construed as creating or becoming part of any Woodward Governor Company contractual or warranty obligation unless expressly stated in a written sales contract.

ANEXO 4

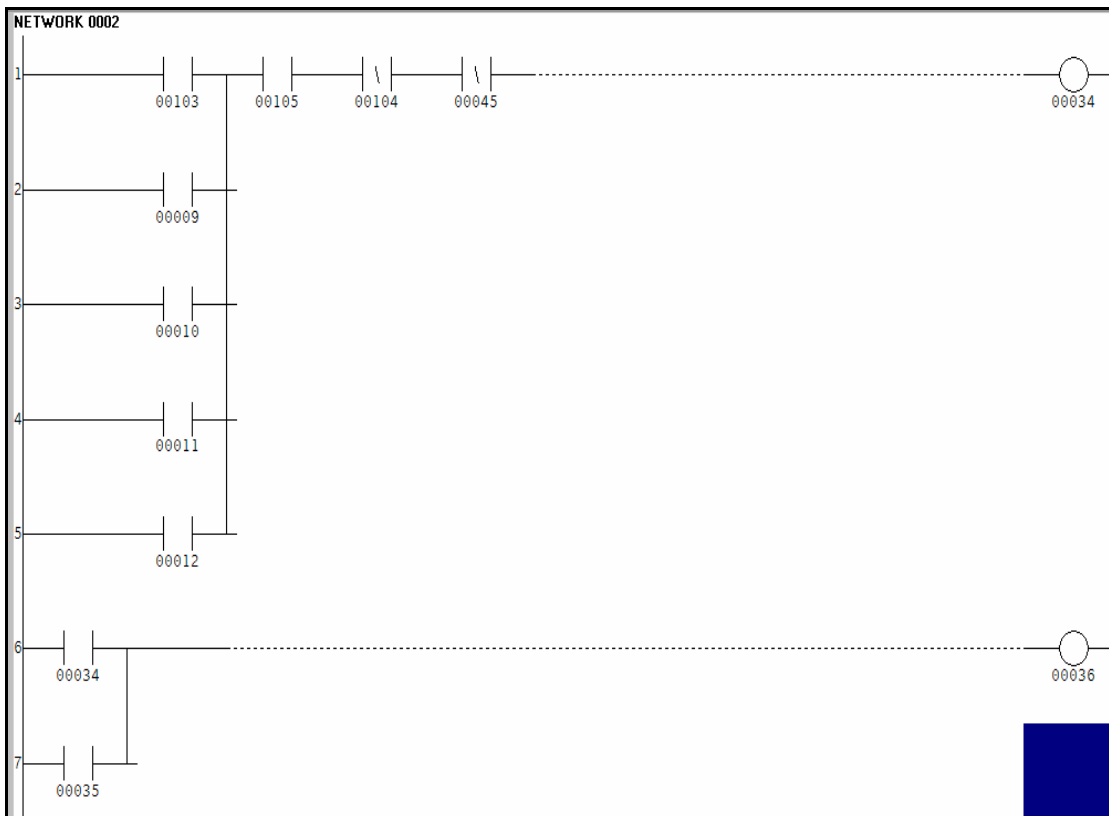
SOFTWARE DE CONTROL PARA REE

SOFTWARE DE CONTROL DESARROLLADO PARA EL SISTEMA DE BOMBEO DE AGUA A CALDEROS EN REE

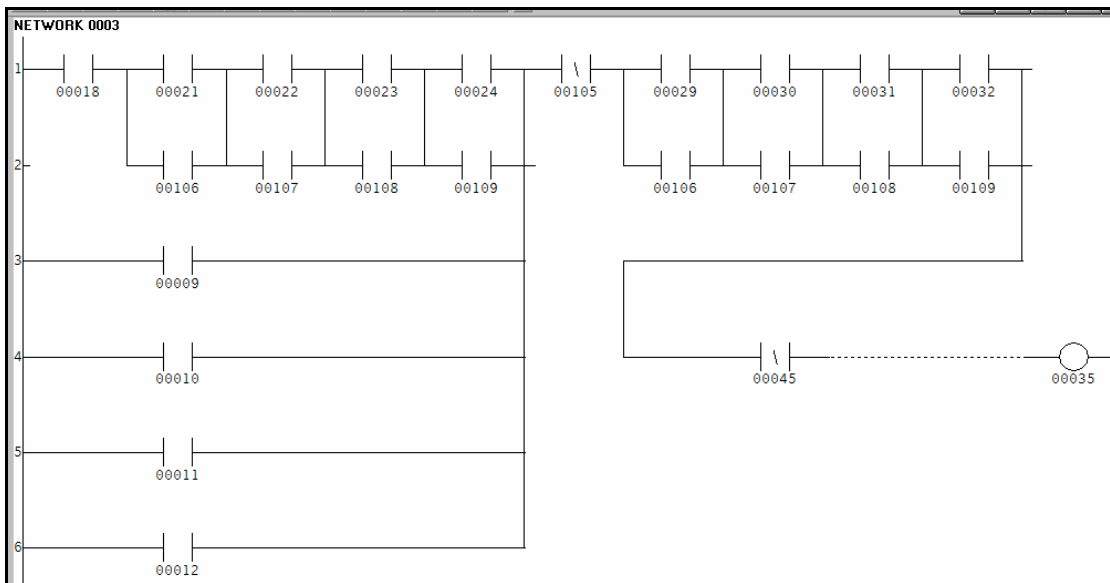
- Arranque y parada manual de bomba principal



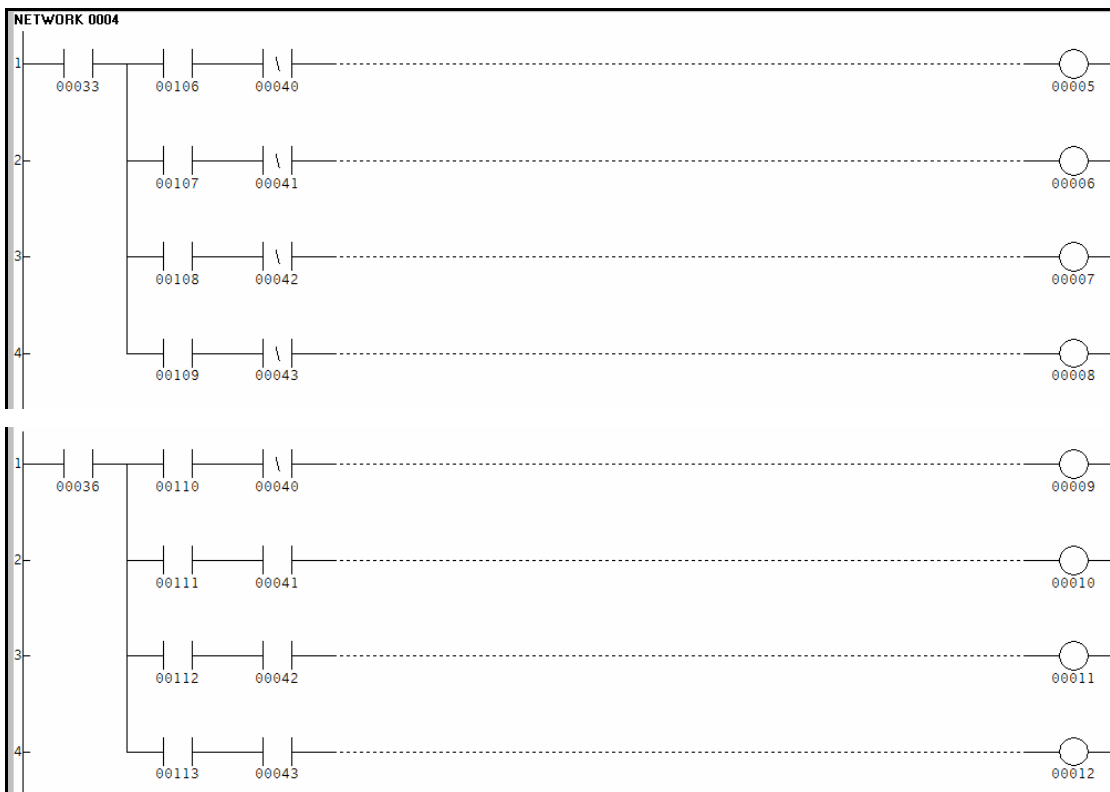
- Arranque y parada manual de bomba secundaria



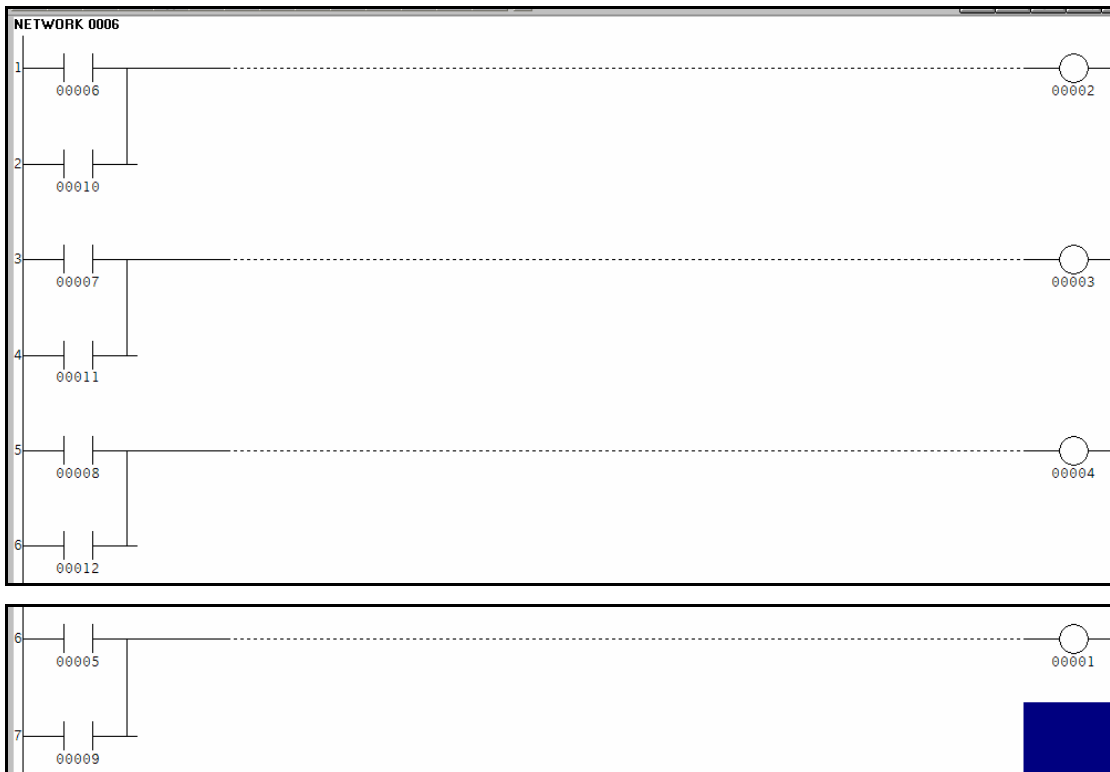
- Arranque y parada automática de bomba secundaria



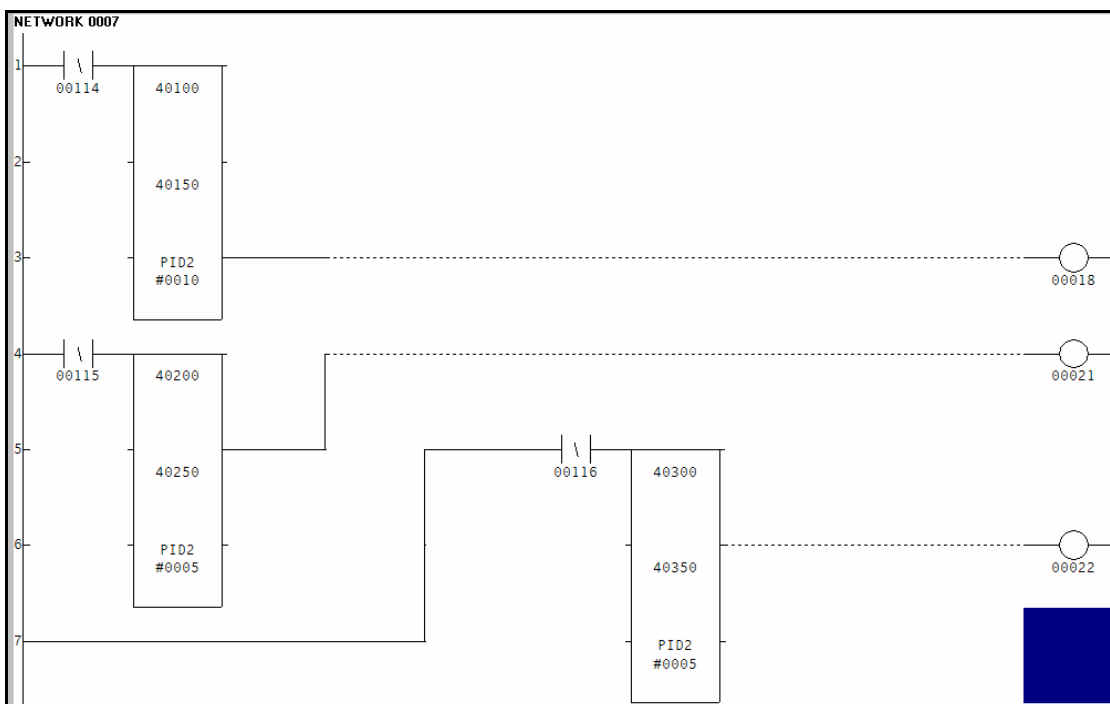
- Accionamiento de las bombas A/B/C o D según trabajen como principal o secundaria



- Arranque de las bombas A/B/C o D

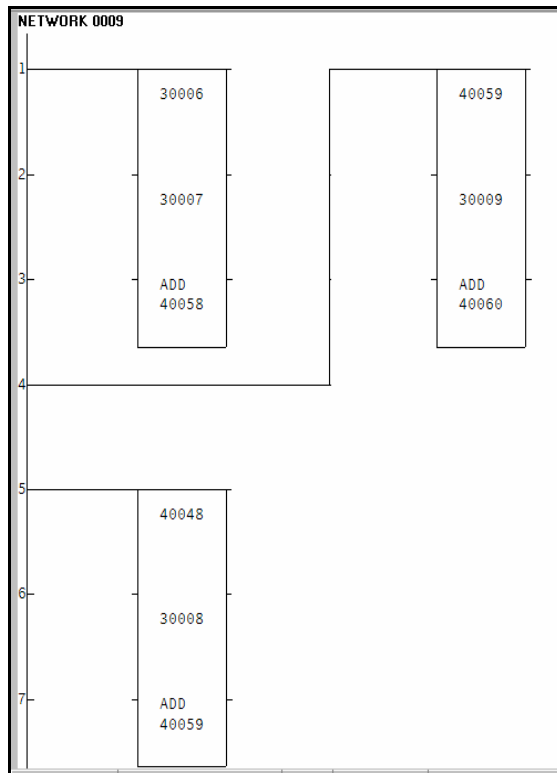


- Controladores PID (PC1, SC1, SC2, SC3, SC4), alarmas de baja presión y máxima velocidad

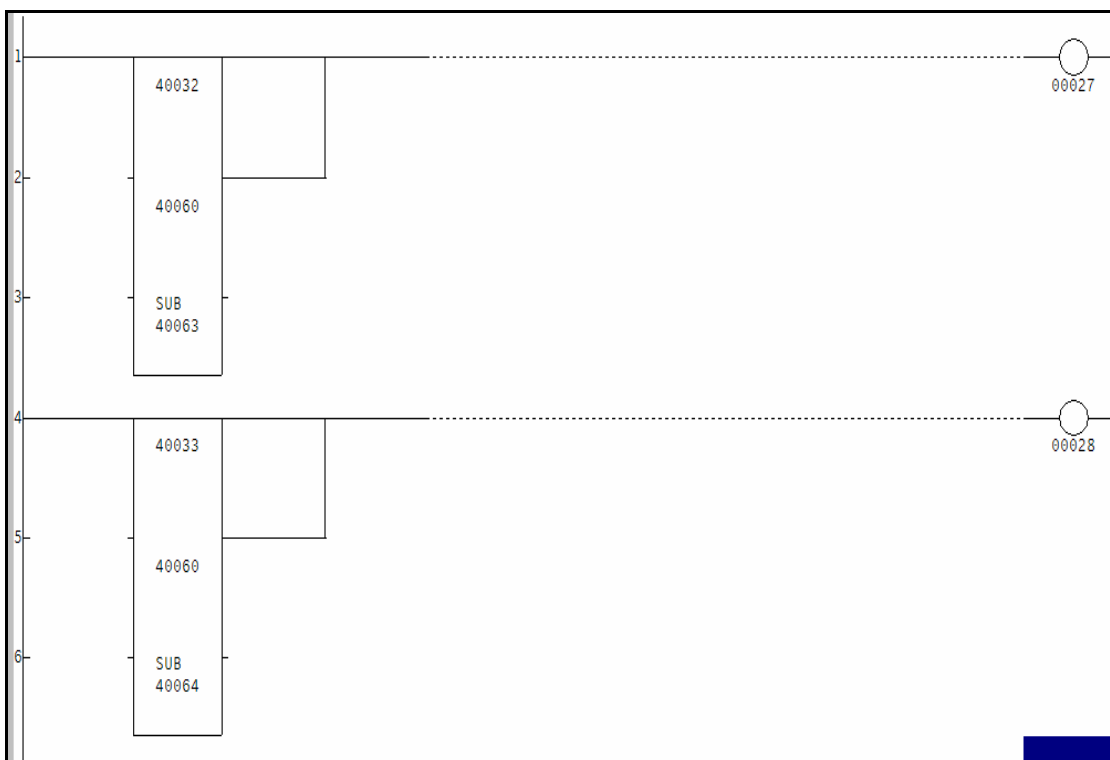
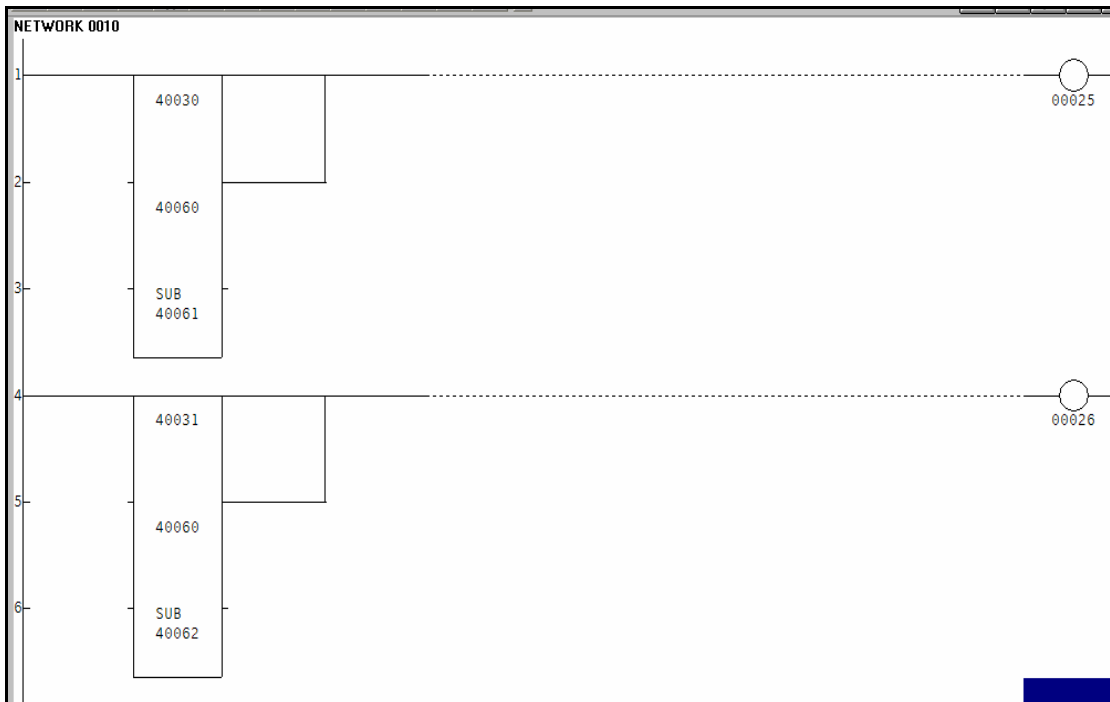




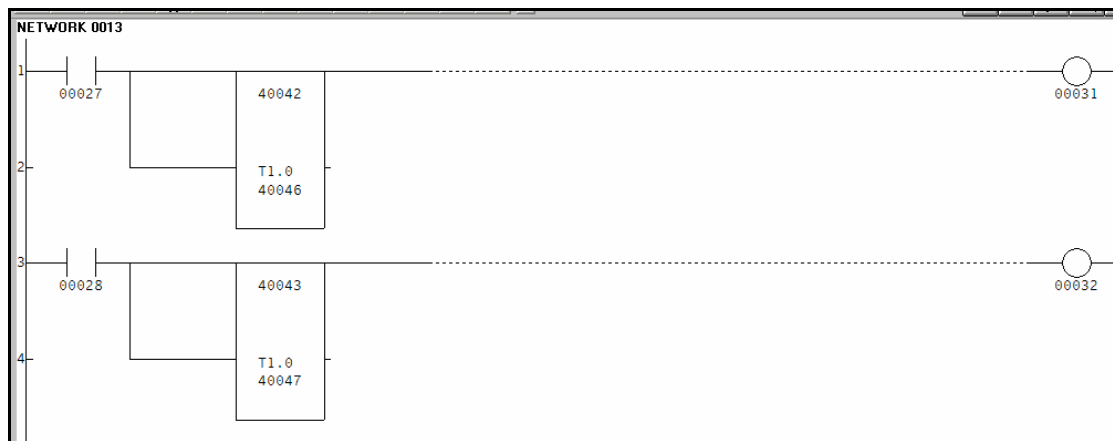
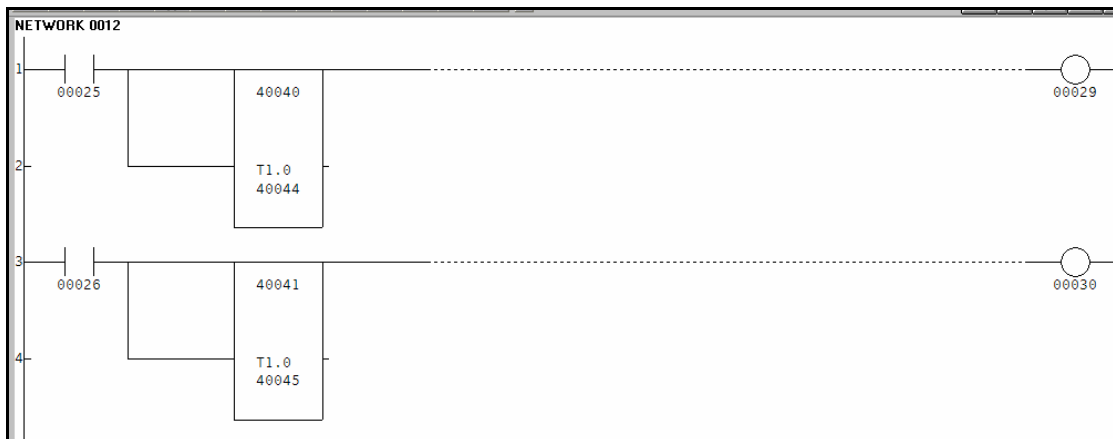
- Flujo total



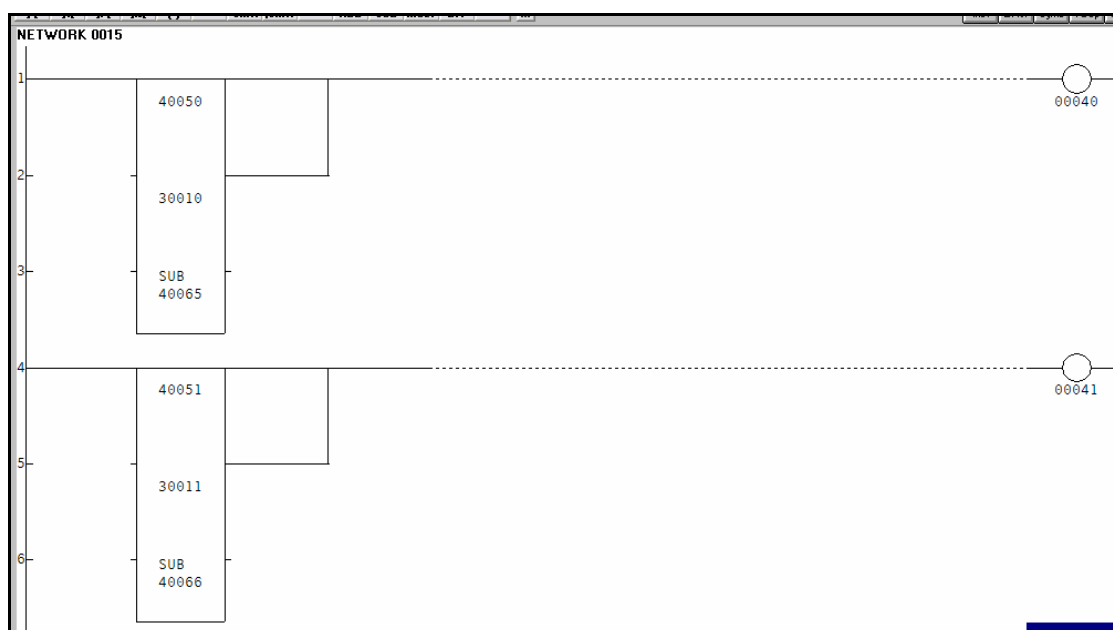
- Comparadores de flujo para las 4 bombas



- Estabilización del flujo en un tiempo determinado



- Comparadores de temperatura para las 4 bombas (parada de emergencia)



ANEXO 5

VARIADOR DE VELOCIDAD

LG Variable Frequency Drive(VFD) : Inverter

Starvert iG5



0.37 - 4.0kW (0.5 - 5.4HP) 1 and 3 phase 200 - 230 Volts, 3 phase 380 - 460 Volts





Contents

| | |
|-------------------------------------------------------|----|
| Overview | 02 |
| Features & Selection Guide | 04 |
| Specifications & Wiring | 06 |
| Terminal Configuration, Keypad & Parameter Navigation | 08 |
| Program Parameter Descriptions | 10 |
| Dimension | 12 |
| DB Resistor, Options & Peripheral Devices | 14 |



***Compact iG5,
is the best for a small and cost
effective configuration.***

Standard features

- kW / Voltage Ratings:
 - 0.5 ~ 2HP, 200-230VAC, 1phase
 - 0.5 ~ 5HP, 200-230VAC, 3phase
 - 0.5 ~ 5HP, 380-460VAC, 3phase
- Enclosure: IP00 ~ IP20
- Inverter Type: PWM with IGBT
- Control Method: Volts / Hertz with Space Vector Technology
- Built-in RS-485
- Built-in ModBus-RTU
- Built-in PID control
- Removable keypad (Able to read & write parameter)
- 150% torque at 0.5Hz
- Trip-free operation algorithm
- 8 preset speeds
- 3 jump(skip) frequencies
- 3 Multifunctional inputs
- 1 Multifunctional output
- Analog output (0~12V)
- PNP and NPN dual directional signals
- Speed search
- 3 wire operation
- 1 to 10 kHz carrier frequency
- Built-in Braking transistor
- Manual/Auto torque boost

Options

- Cable for Remote Keypad Operations(2,3 and 5 meters)
- DIN rail base for easy installation

Application

- | | |
|---------------------------|------------------------------|
| ■ Converting | ■ Commercial washing machine |
| ■ Fan | ■ Grinder |
| ■ Pump | ■ Textile machine |
| ■ Food processing machine | ■ Material handling machine |
| ■ Electric shutter | ■ Centrifuge |
| ■ Dryer | ■ Elevator door |
| ■ Running machine | ■ Tooling machine |
| ■ Overheat | |

Conformity to global standards

- UL and cUL listed for North America
- CE marked for Europe
- Quality process controlled by ISO9001, ISO14000



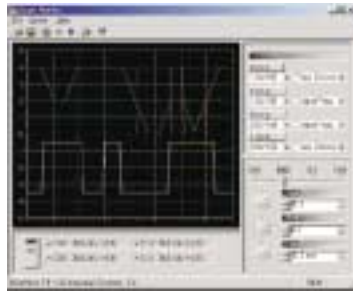
Reduced size

Enhancing its performance the iG5 shows much smaller size compares to the previous model, the iG series. Maximum 50% of total volume has been reduced in iG5 in order to mount it easily on smaller control panel and DIN rail with less weight. It allows more cost effective panel construction and system design.



Built-in communication interface and PC monitoring software

The iG5 has built-in the most popular communication interfaces such as Modbus-RTU and RS232/485. The iG5 has the small inverter features and standard medium drive features together. The "Driveview™" software offers Window® based computer monitoring tool through RS485 interface with graphic capture, keypad emulator, parameter edit and text monitor. It is applicable for all LG inverters.



RS - 485

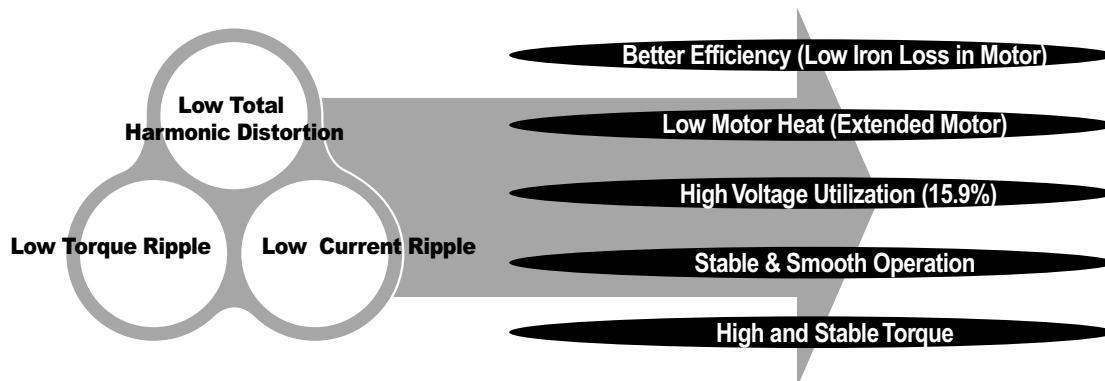
ModBus-RTU™

Built-in PID control

It is valuable in process control. The built-in PID controller controls flow, temperature, pressure, etc. through the proportional, integral and differential calculus between the feedback value and reference value in closed loop.

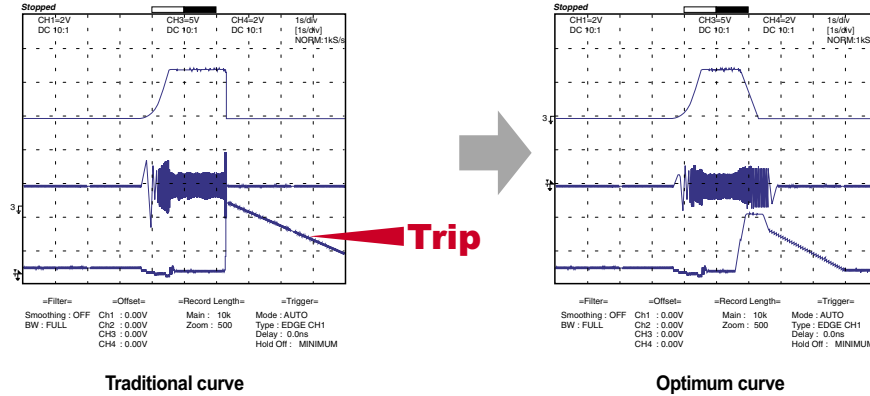
Space vector PWM technology

The Space vector technology is being adopted in all LG drives. It features outstanding performance in its control characteristics. It has low total harmonic distortion, low current ripple, low torque ripple, low motor temperature rise, and better voltage utilization. It is a basic control platform of the iG5 drive. The advantages of Space vector PWM technology are being proved in many applications.



Optimum acceleration and deceleration

To achieve a maximum torque during the acceleration and deceleration, "trip free" function is activated. The 32-bit DSP CPU monitors the current transition during the acceleration and deceleration to program an optimum curve that is under the trip-triggering level.



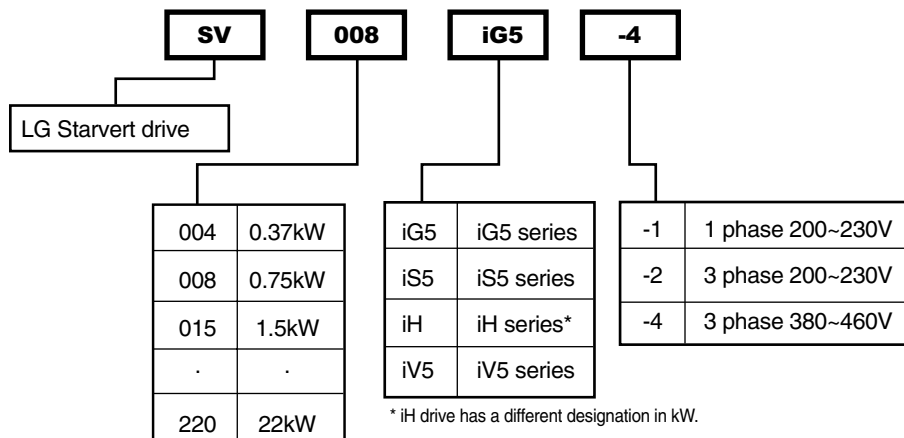
PNP and NPN switchable duals signals

The iG5 has both PNP and NPN signals in order to controlled by PLC or outside controller. Regardless the type of PLC or type of control signal, iG5 can work with positive 24Vdc and negative 24Vdc.

Inverter rating selection guide

| Application motor | | 200~230V | 200~230V | 380~460V |
|-------------------|-----|------------|------------|------------|
| kW | HP | 1 phase | 3 phase | 3 phase |
| 0.37 | 0.5 | SV004iG5-1 | SV004iG5-2 | SV004iG5-4 |
| 0.75 | 1 | SV008iG5-1 | SV008iG5-2 | SV008iG5-4 |
| 1.5 | 2 | SV015iG5-1 | SV015iG5-2 | SV015iG5-4 |
| 2.2 | 3 | | SV022iG5-2 | SV022iG5-4 |
| 3.7 | 5 | | SV037iG5-2 | SV037iG5-4 |
| 4.0 | 5.4 | | SV040iG5-2 | SV040iG5-4 |

Inverter type nomenclature



Specifications 200 ~230V Class(0.5~ 5.4 HP)

| Drive Type (SV_ _ _iG5-) | | 004-1 | 008-1 | 015-1 | 004-2 | 008-2 | 015-2 | 022-2 | 037-2 | 040-2 |
|-----------------------------------|------------------------------|---------------------------|-------|-------|---------|------------------------------------------------------------|--------------------|-------|-------|-------|
| Motor Rating ¹⁾ | [HP] | 0.5 | 1 | 2 | 0.5 | 1 | 2 | 3 | 5 | 5.4 |
| | [kW] | 0.37 | 0.75 | 1.5 | 0.37 | 0.75 | 1.5 | 2.2 | 3.7 | 4 |
| Output ratings | Capacity[kVA] ²⁾ | 1.1 | 1.9 | 3 | 1.1 | 1.9 | 3 | 4.5 | 6.1 | 6.5 |
| | FLA[A] | 3 | 5 | 8 | 3 | 5 | 8 | 12 | 16 | 17 |
| | Frequency | | | | | 0 ~ 400 Hz ³⁾ 200 ~ 230V ³⁾ | | | | |
| Input ratings | Voltage | 1 phase 200 ~ 230 V(±10%) | | | | 3 phase 200 ~ 230 V(±10%) | | | | |
| | Frequency | 50 ~ 60 Hz (±5%) | | | | 50 ~ 60 Hz (±5%) | | | | |
| Weight[kg] | | 1.2 | 1.8 | 2.1 | 1.2 | 1.2 | 1.8 | 2.1 | 2.2 | 2.2 |
| Braking torque | Braking circuit | | | | | On board | | | | |
| | Average braking torque | | | | | 20% (with optional external braking resistor : 100%, 150%) | | | | |
| | Max. continuous braking time | | | | | 15 seconds | | | | |
| Cooling method | | Forced air cooling | | | Natural | | Forced air cooling | | | |
| | Enclosure | IP00 | | | | | | | | |

Specifications 380 ~460V Class(0.5~ 5.4 HP)

| Drive Type (SV_ _ _iG5-) | | 004-4 | 008-4 | 015-4 | 022-4 | 037-4 | 040-4 |
|-----------------------------------|------------------------------|------------------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Motor Rating ¹⁾ | [HP] | 0.5 | 1 | 2 | 3 | 5 | 5.4 |
| | [kW] | 0.37 | 0.75 | 1.5 | 2.2 | 3.7 | 4 |
| Output ratings | Capacity[kVA] ²⁾ | 1.1 | 1.9 | 3 | 4.5 | 6.1 | 6.5 |
| | FLA[A] | 1.1 | 2.5 | 4 | 6 | 8 | 9 |
| | Frequency | 0 ~ 400 Hz ³⁾ 380 ~ 460V ³⁾ | | | | | |
| Input ratings | Voltage | 3 phase 380 ~ 460 V(±10%) | | | | | |
| | Frequency | 50 ~ 60 Hz (±5%) | | | | | |
| Weight[kg] | Weight [kg] | 1.7 | 1.7 | 1.8 | 2.1 | 2.2 | 2.2 |
| Braking torque | Braking circuit | On board | | | | | |
| | Average braking torque | 20% (with optional external braking resistor : 100%, 150%) | | | | | |
| | Max. continuous braking time | 15 seconds | | | | | |
| Cooling method | | Forced air cooling | | | | | |
| | Enclosure | IP00 | | | | | |

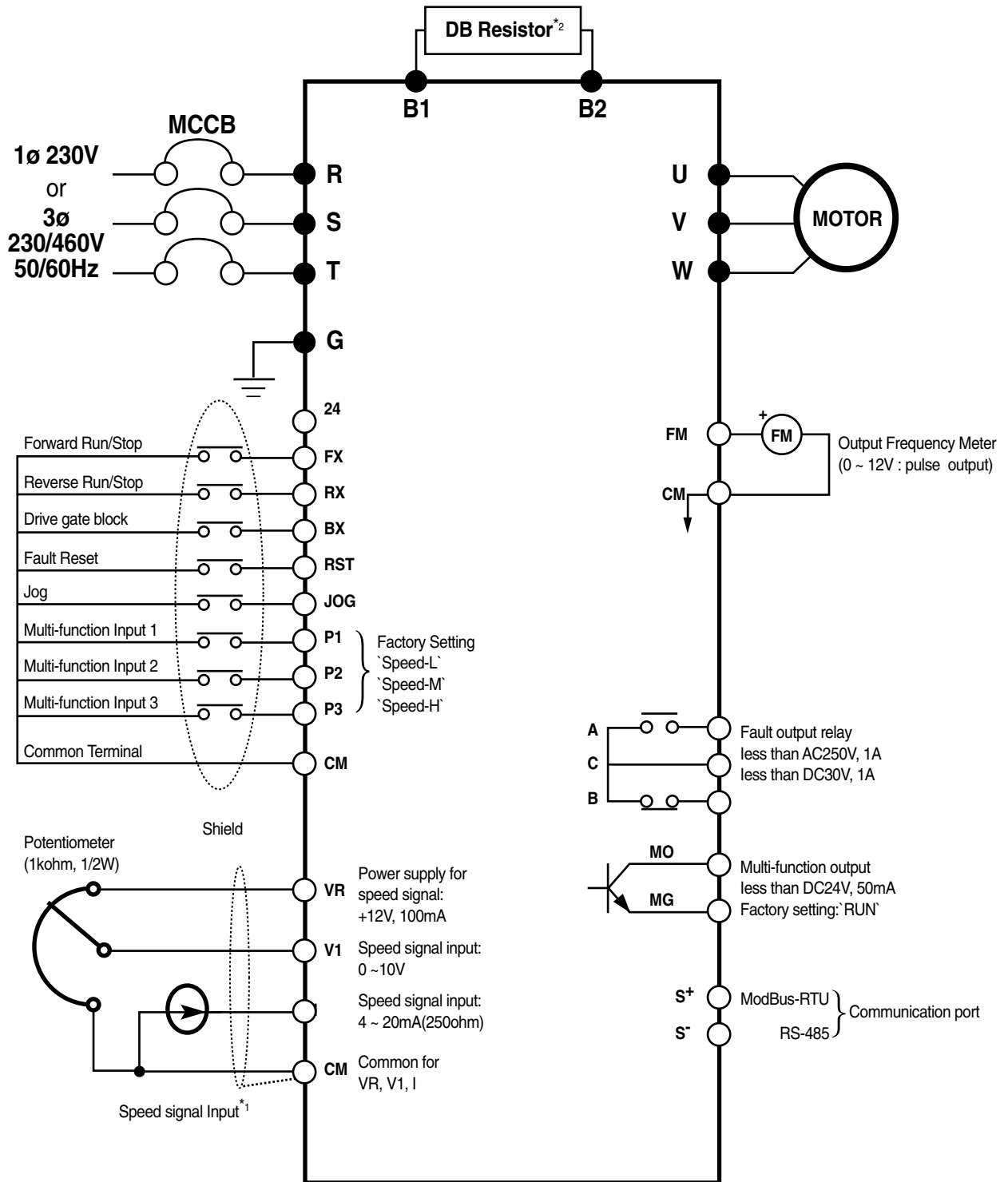
¹⁾ Indicates the maximum applicable capacity when using 4 pole LG standard motor.

²⁾ Rated capacity (√3V¹⁾) is based on 220V for 200V class and 440V for 400V class.

³⁾ Maximum output voltage will not be greater than the input voltage. Output voltage less than the input voltage can be set.

| | | | |
|----------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
| Control | Control method | V/F control | |
| | Frequency setting resolution | Digital reference : 0.01 Hz (below 100 Hz), 0.1 Hz (over 100 Hz) Analog reference : 0.03 Hz / 50 Hz | |
| | Frequency accuracy | Digital : 0.01% of max. output frequency Analog : 0.1% of max. output frequency | |
| | V/F ratio | Linear, Square pattern, User V/F | |
| | Overload capacity | 150 % of rated current for 1 min., 200% of rated current for 0.5 sec. (characteristic is inversely proportional to time) | |
| | Torque boost | Manual torque boost (0 ~ 15 %), Auto torque boost | |
| Operation | Operation method | Keypad / terminal / communication operation | |
| | Frequency setting | Analog : 0 ~ 10V / 4 ~ 20 mA Digital : keypad | |
| | Start signal | Forward, Reverse | |
| | Multi-step | Up to 8 speeds can be set (use multi-function terminal) | |
| | Multi-step accel/decel time | 0 ~ 6,000 sec, up to 8 types can be set and selected for each setting (use the multi- function terminal), Accel/Decel pattern : linear pattern, U pattern, S pattern, Optimum, Minimum | |
| | Emergency stop | Interrupts the output of the drive | |
| | Jog | Jog operation | |
| | Fault reset | Resets fault when protective function is active | |
| | Operation status | Frequency level detection, Overload alarm, stalling, overvoltage, undervoltage, drive overheating, running, stop, constant speed, speed searching | |
| | Fault output | Contact output (30A,30C,30B) - AC250V 1A, DC30V 1A | |
| Indicator | Choose 1 from output frequency, output current, output voltage, DC voltage (Output pulse: 500Hz, Output voltage: 0 ~ 10V) | | |
| Operation function | DC braking, frequency limit, frequency jump, second function, slip compensation, reverse rotation prevention, auto restart, PID control | | |
| Protective function | Drive trip | Overvoltage, undervoltage, overcurrent, drive overheating, motor over heating, input/output phase loss, input/output mis-wiring, overload protection, communication error, loss of speed command, hardware fault. | |
| | Inverter alarm | Stall prevention, overload alarm | |
| | Momentary power loss | Less than 15 msec : continuous operation, more than 15 msec : auto restart possible | |
| Display Keypad | Operation information | Output frequency, output current, output voltage, frequency value setting, operating speed, DC voltage | |
| | Trip information | Indicates the fault when the protection function activates, memorizes up to 5 faults | |
| Environment | Ambient temperature | -10 °C ~ 40 °C | |
| | Storage temperature | -20 °C ~ 65 °C | |
| | Ambient humidity | 90 % RH max.(Non condensing) | |
| | Altitude . Vibration | Below 1,000 m · below 5.9m/sec ² (=0.6g) | |
| | Application site | No corrosive gas, combustible gas, oil mist, or dust | |

Wiring



Note) *₁ display main circuit terminals, *₂ display control circuit terminals.
 1. Analog speed command can be set by Voltage, Current and both of them.
 2. DB resistor is optional.

Power terminal configuration

| Symbol | Function |
|----------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| R S T U V W | AC Line input (1 phase 200~230 Vac for "-1" units 3 phase, 200~230 Vac for "-2" units and 380~460 Vac for "-4" units) |
| B1 B2 | 3 phase output terminals to motor |
| B1 B2 | External additional dynamic braking resistor connection terminals. |
| G | Chassis ground (The ground terminal("G") may be located on heat sink instead of terminal strip depend on the model name) |

Control terminal configuration

| Type | Symbol | Name | Description |
|---------------|-------------------------------------------|----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Input signal | Starting Contact Function Slection | P1, P2, P3 | Multi function input 1,2,3 Used for multi function input. Factory default is set to step frequency 1, 2, 3. |
| | | FX | Forward run command Forward run when closed and stop when opened. |
| | | RX | Reverse run command Reverse run when closed and stop when opened. |
| | | JOG | Jog frequency reference Runs at jog frequency when the jog signal is on. The direction is set by the FX (or RX) signal. |
| | | BX | Drive gate block When the BX signal is ON, the output of the drive is cut off. When the motor uses an mechanical brake to stop, BX is used to cut off the output signal. When the BX signal, which does not cut off by latching, is OFF and the FX signal (or the RX signal) is ON, the motor keeps running, so be cautious. |
| | Analog Frequency Setting | RST | Fault reset Used to release the protective status when the protective circuit is active. |
| | | CM | Sequence common Used for the common terminal for contact input terminals. |
| | | VR | Frequency setting power(+12V) Used as power for the analog frequency setting. Maximum output is +12V, 100mA. |
| | | V1 | Frequency reference (Voltage) Used for frequency reference and uses 0-10V for input. Input resistance is 20 k |
| | | I | Frequency reference(Current) Used for frequency reference and uses DC 4-20mA for input. Input resistance is 250 |
| Output signal | Pulse | FM·CM | Analog/digital output (For external monitoring) Outputs one of the followings: output frequency, output current, output voltage, DC link voltage. Factory default is set to output frequency. Maximum output voltage and output current is 0-12V, 1mA. Output frequency is set to 500Hz. |
| | | 30A, 30C, 30B | Fault contact output Activates when the protective function is operating. AC250V 1A or less, DC30V 1A or less Fault : 30A-30C short (30B-30C open) Normal : 30A-30C short (30B-30C open) |
| | Contact | MO·MG | Multi-function output (Open collector output) Used for multi-function output |
| | | RS232 | S+, S- |

Keypad



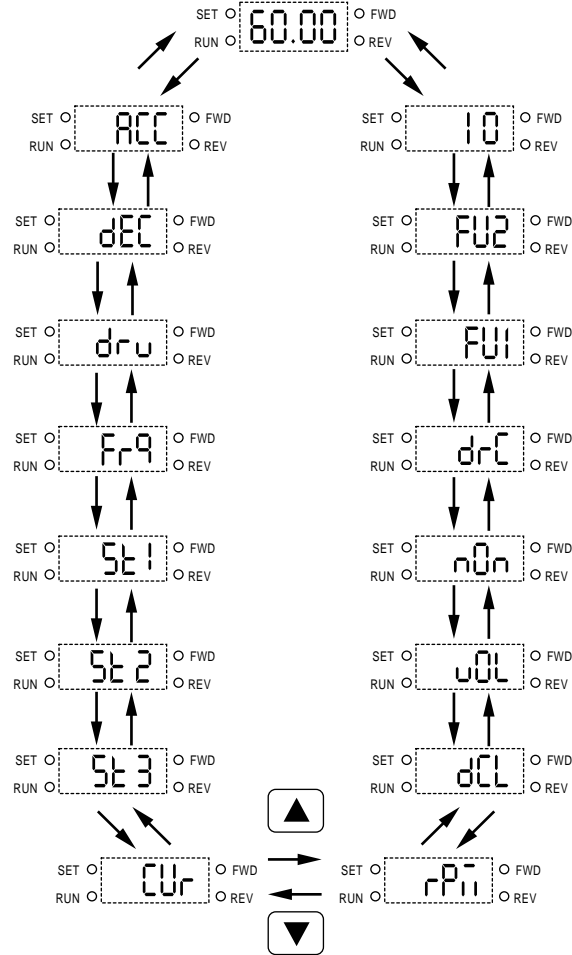
| Class | Display | Name | Description |
|-------|-------------------|----------------|---------------------------------------------------------------------------|
| KEY | FUNC | Program key | Press to change the parameter setting. |
| | ▲ UP | Up key | Press to move through codes or to increase the parameter values. |
| | ▼ DOWN | Down key | Press to move through codes or to decrease the parameter values. |
| | RUN | Run key | Use to operate the drive |
| | STOP/RESET | STOP/RESET key | Press to stop during operation. Press to reset when a fault has occurred. |
| LED | REV | Reverse run | During reverse run. |
| | FWD | Forward run | During forward run. |
| | SET | Setting | When the user is setting the parameters using the FUNC key |
| | RUN | Operating | When in constant speed and blinks when accelerating or decelerating. |

Parameter group

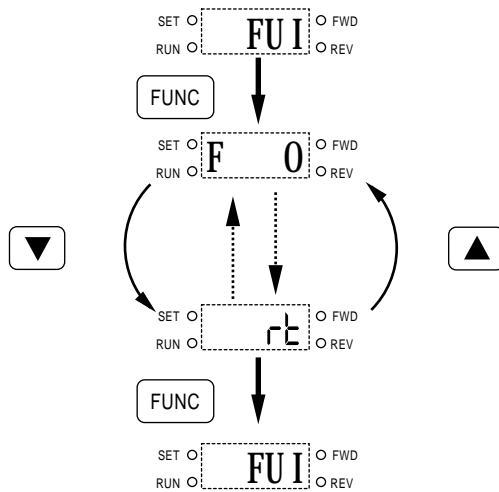
| Group name | Description |
|-----------------------------|------------------------------------------------------------------|
| Drive Group | Basic paramaters of Command frequency, Accel/Decel time etc. |
| Function 1 Group | Basic parameters of Max. Frequency, Torque boost etc. |
| Function 2 Group | Application parameters of Frequency jump, Frequency limit etc. |
| Input / Output Group | Multifunction terminal setting and Sequence operation parameters |

Parameter navigation

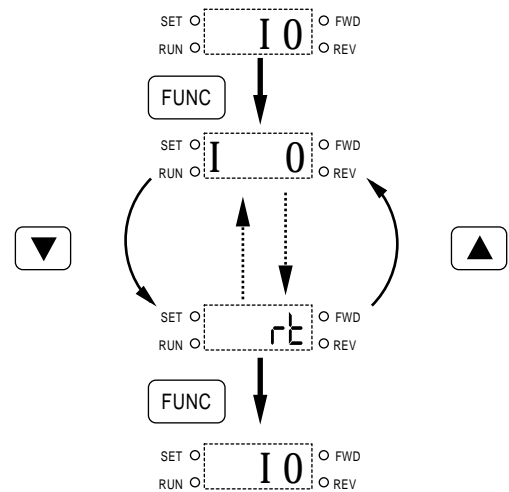
1. Drive Group



2. Function Group



3. I/O Group



Program parameter descriptions

1. Drive Group [DRV]

| Code | Description | Keypad Display | Setting Range | Units | Factory Default | Adjustable during run |
|---------------|------------------------------------------------------------------|----------------|-------------------------------------------------------------------------------|-------|-----------------|-----------------------|
| DRV-00 | Output Frequency during running, Reference Frequency during stop | 0.00 | 0 to Max. Freq. (FU1-20) | 0.01 | 60.00 [Hz]* | Yes |
| DRV-01 | Acceleration Time | ACC | 0 to 6000 [sec] | 0.1 | 10.0 [sec] | Yes |
| DRV-02 | Deceleration Time | dEC | 0 to 6000 [sec] | 0.1 | 10.0 [sec] | Yes |
| DRV-03 | Drive Mode (Run/Stop method) | d-r-u | 0 (Keypad) 1 (Keypad-2) 2 (Fx/Rx-2) 3 (ModBus-RTU) | - | 1 | No |
| DRV-04 | Frequency Mode (Freq. setting method) | F-r-9 | 0 [Keypad-1] 1 (Keypad-2) 2 (V1) 3 (I) 4 (V1+I) 5 (ModBus-RTU) | - | 0 | No |
| DRV-05 | Step Frequency 1 | St 1 | Starting freq (FU1-22) to Max. freq (FU1-20) | 0.01 | 10.00 [Hz] | Yes |
| DRV-06 | Step Frequency 2 | St 2 | | 0.01 | 20.00 [Hz] | |
| DRV-07 | Step Frequency 3 | St 3 | | 0.01 | 30.00 [Hz] | |
| DRV-08 | Output Current | dU-r | * [A] | - | - [A] | - |
| DRV-09 | Motor Speed | rP-r | * [rpm] | - | - [rpm] | - |
| DRV-10 | DC link Voltage | dCL | * [V] | - | - [V] | - |
| DRV-11 | User Display selection | uOL, POr, tOr | Selected in FU2-73 (User disp) | - | - | - |
| DRV-12 | Fault Display | nOn | - | - | nOn | - |
| DRV-13 | Motor Direction set | d-r-C | F (Forward) r (Reverse) | - | F | Yes |
| DRV-20 | FU1 Group selection | FU1 | | | | |
| DRV-21 | FU2 Group selection | FU2 | | | | |
| DRV-22 | I/O Group selection | I O | | | | |

2. Function Group1[FU1]

| | | | | | | |
|---------------|----------------------------------------------------------|-----|------------------------------------------------------------------------|------|-------------|-----|
| FU1-00 | Jump to desired code # | F0 | 1 to 99 | 1 | 3 | Yes |
| FU1-03 | Run Prevention | F3 | 0 (None) 1 (Forward Prev) 2 (Reverse Prev) | | 0 | No |
| FU1-05 | Acceleration Pattern | F5 | 0 (Linear) 1 (S-curve) 2 (U-curve) 3 (Minimum) 4 (Optimum) | | 0 | No |
| FU1-06 | Deceleration Pattern | F6 | 0 (Linear) 1 (S-curve) 2 (U-curve) 3 (Minimum) 4 (Optimum) | | 0 | No |
| FU1-07 | Stop Mode | F7 | 0 (Decel) 1 (DC-brake) 2 (Free-run) | | 0 | No |
| FU1-08 | DC Injection Braking Frequency | F8 | FU1-22 to 50 [Hz] | 0.01 | 5.00 [Hz] | No |
| FU1-09 | DC Injection Braking On-delay Time | F9 | 0 to 60 [sec] | 0.01 | 0.5 [sec] | No |
| FU1-10 | DC Injection Braking Voltage | F10 | 0 to 200 [%] | 1 | 50 [%] | No |
| FU1-11 | Starting DC Injection Braking Time | F11 | 0 to 60 [sec] | 0.1 | 1.0 [sec] | No |
| FU1-12 | Starting DC Injection Braking Voltage | F12 | 0 to 200 [%] | 1 | 50 [%] | No |
| FU1-13 | Starting DC Injection Braking Time | F13 | 0 to 60 [sec] | 0.1 | 0.0 [sec] | No |
| FU1-20 | Maximum Frequency | F20 | 40 to 400 [Hz] | 0.01 | 60.00 [Hz]* | No |
| FU1-21 | Base Frequency | F21 | 30 to FU1-20 | 0.01 | 60.00 [Hz]* | No |
| FU1-22 | Starting Frequency | F22 | 0.1 to 10 [Hz] | 0.01 | 0.50 [Hz] | No |
| FU1-23 | Frequency Limit selection | F23 | 0 (No) 1 (Yes) | - | | No |
| FU1-24 | Low Limit Frequency | F24 | FU1-22 to FU1-25 | 0.01 | 0.50 [Hz] | No |
| FU1-25 | High Limit Frequency | F25 | FU1-24 to FU1-20 | 0.01 | 60.00 [Hz]* | No |
| FU1-26 | Manual/Auto Torque Boost selection | F26 | 0 (Manual) 1 (Auto) | - | 0 | No |
| FU1-27 | Torque Boost in Forward Direction | F27 | 0 to 15 [%] | 0.1 | 5.0 [%] | No |
| FU1-28 | Torque Boost in Reverse Direction | F28 | 0 to 15 [%] | 0.1 | 5.0 [%] | No |
| FU1-29 | Volts/Hz Pattern | F29 | 0 (Linear) 1 (Square) 2 (User V/F) | - | 0 | No |
| FU1-30 | User V/F - Frequency 1 | F30 | 0 to FU1-32 | 0.01 | 15.00 [Hz]* | No |
| FU1-31 | User V/F - Voltage 1 | F31 | 0 to 100 [%] | 1 | 25 [%] | No |
| FU1-32 | User V/F - Frequency 2 | F32 | FU1-30 to FU1-20 | 0.01 | 30.00 [Hz]* | No |
| FU1-33 | User V/F - Voltage 2 | F33 | 0 to 100 [%] | 1 | 50 [%] | No |
| FU1-34 | User V/F - Frequency 3 | F34 | FU1-32 to FU1-20 | 0.01 | 45.00 [Hz]* | No |
| FU1-35 | User V/F - Voltage 3 | F35 | 0 to 100 [%] | 1 | 75 [%] | No |
| FU1-36 | User V/F - Frequency 4 | F36 | FU1-34 to FU1-20 | 0.01 | 60.00 [Hz]* | No |
| FU1-37 | User V/F - Voltage 4 | F37 | 0 to 100 [%] | 1 | 100 [%] | No |
| FU1-38 | Output Voltage Adjustment | F38 | 40 to 110 [%] | 0.1 | 100[%] | No |
| FU1-39 | Energy Save Level | F39 | 0 to 30 [%] | 1 | 0 [%] | Yes |
| FU1-50 | Electronic Thermal selection | F50 | 0 (No) 1 (Yes) | - | 0 | Yes |
| FU1-51 | Electronic Thermal Level for 1 minute | F51 | FU1-52 to 150 [%] | 1 | 150 [%] | Yes |
| FU1-52 | Electronic Thermal Level for continuous | F52 | 50 to FU1-51 | 1 | 150 [%] | Yes |
| FU1-53 | Electronic Thermal Characteristic selection (Motor type) | F53 | 0 (Self-cool) 1 (Forced-cool) | - | 0 | Yes |

Program Parameter Descriptions

| Code | Description | Keypad Display | Setting Range | Units | Factory Default | Adjustable during run |
|---------------|---------------------------------|----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|-----------------|-----------------------|
| FU1-54 | Overload Warning Level | F54 | 30 to 150 [%] | 1 | 150 [%] | Yes |
| FU1-55 | Overload Warning Hold Time | F55 | 0 to 30 [sec] | 0.1 | 10.0 [sec] | Yes |
| FU1-56 | Overload Trip selection | F56 | 0 (No) 1 (Yes) | - | 1 | Yes |
| FU1-57 | Overload Trip level | F57 | 30 to 200 [%] | 1 | 180 [%] | Yes |
| FU1-58 | Overload Trip Delay Time | F58 | 0 to 60 [sec] | 1 | 60.0 [sec] | |
| FU1-59 | Stall Prevention Mode selection | F59 | 000 - 111 (bit set) Bit 0: during Accel. Bit 1: during Steady speed Bit 2: during Decel. | bit | 000 | No |
| FU1-60 | Stall Prevention Level | F60 | 30 to 150 [%] | 1 | 150 [%] | No |
| FU1-99 | Return Code | rt | | - | - | - |

3. Function Group2 [FU2]

| | | | | | | |
|----------------------------------------|-----------------------------------------|------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|-------------|-----|
| FU2-00 | Jump to desired code # | H 0 | 1 to 99 | 1 | 30 | Yes |
| FU2-01 <input type="checkbox"/> | Previous Fault History 1 | H 1 | - | - | 0 | Yes |
| FU2-02 <input type="checkbox"/> | Previous Fault History 2 | H 2 | | | nOn | Yes |
| FU2-03 <input type="checkbox"/> | Previous Fault History 3 | H 3 | | | nOn | |
| FU2-04 <input type="checkbox"/> | Previous Fault History 4 | H 4 | | | nOn | Yes |
| FU2-05 <input type="checkbox"/> | Previous Fault History 5 | H 5 | | | nOn | |
| FU2-06 <input type="checkbox"/> | Erase Fault History | H 6 | 0 (No) 1 (Yes) | - | 0 | Yes |
| FU2-07 <input type="checkbox"/> | Dwell Frequency | H 7 | 0 to FU1-20 | 0.01 | 5.00 [Hz] | No |
| FU2-08 <input type="checkbox"/> | Dwell Time | H 8 | 0 to 10 [sec] | 0.1 | 0.0 [sec] | No |
| FU2-10 <input type="checkbox"/> | Frequency Jump selection | H 10 | 0 (No) 1 (Yes) | - | 0 | No |
| FU2-11 <input type="checkbox"/> | Jump Frequency 1 Low | H 11 | FU1-22 to FU2-12 | 0.01 | 0.00 [Hz] | No |
| FU2-12 <input type="checkbox"/> | Jump Frequency 1 High | H 12 | FU1-11 to FU2-20 | 0.01 | 0.00 [Hz] | No |
| FU2-13 <input type="checkbox"/> | Jump Frequency 2 Low | H 13 | FU1-22 to FU2-14 | 0.01 | 0.00 [Hz] | No |
| FU2-14 <input type="checkbox"/> | Jump Frequency 2 High | H 14 | FU2-13 to FU1-20 | 0.01 | 0.00 [Hz] | No |
| FU2-15 <input type="checkbox"/> | Jump Frequency 3 Low | H 15 | FU1-22 to FU2-16 | 0.01 | 0.00 [Hz] | No |
| FU2-16 <input type="checkbox"/> | Jump Frequency 3 High | H 16 | FU2-15 to FU1-20 | 0.01 | 0.00 [Hz] | No |
| FU2-19 <input type="checkbox"/> | Input/Output Phase Loss Protection | H 19 | 00 - 11 (bit set) Bit 0: Output phase loss protection Bit 1: Input phase loss protection | - | 00 | Yes |
| FU2-20 <input type="checkbox"/> | Power ON Start selection | H 20 | 0 (No) 1 (Yes) | - | 0 | Yes |
| FU2-21 | Restart after Fault Reset | H 21 | 0 (No) 1 (Yes) | - | 0 | Yes |
| FU2-22 <input type="checkbox"/> | Speed Search selection | H 22 | 0000 - 1111 (bit set) Bit 0: during Accel. Bit 1: after fault reset Bit 2: after instant power failure restart Bit 3: when FU2-20 is set to 1 (Yes). | - | 0000 | No |
| FU2-23 <input type="checkbox"/> | Current Limit Level during Speed Search | H 23 | 80 to 200 [%] | 1 | 100 [%] | Yes |
| FU2-24 | P Gain during Speed Search | H 24 | 0 to 9999 | 1 | 100 | Yes |
| FU2-25 <input type="checkbox"/> | I Gain during speed search | H 25 | 0 to 9999 | 1 | 1000 | Yes |
| FU2-26 <input type="checkbox"/> | Number of Auto Restart Attempt | H 26 | 0 to 10 | 1 | 0 | Yes |
| FU2-27 <input type="checkbox"/> | Delay Time before Auto Restart | H 27 | 0 to 60 [sec] | 0.1 | 1.0 [sec] | Yes |
| FU2-30 <input type="checkbox"/> | Rated Motor selection | H 30 | 0.4 (0.37kW) 0.8 (0.75kW) 1.5 (1.5kW) 2.2 (2.2kW) | - | | No |
| FU2-31 <input type="checkbox"/> | Number of Motor Poles | H 31 | 2 to 12 | 1 | 4 | No |
| FU2-32 <input type="checkbox"/> | Rated Motor Slip | H 32 | 0 to 10 [Hz] | 0.01 | | No |
| FU2-33 <input type="checkbox"/> | Rated Motor Current in RMS | H 33 | 0.1 to 99.9 [A] | 1 | | No |
| FU2-34 <input type="checkbox"/> | No Load Motor Current in RMS | H 34 | 0.1 to 99.9 [A] | 1 | | No |
| FU2-36 <input type="checkbox"/> | Motor Efficiency | H 36 | 50 to 100 [%] | 1 | | No |
| FU2-37 <input type="checkbox"/> | Load Inertia | H 37 | 0 to 2 | 1 | 0 | No |
| FU2-39 <input type="checkbox"/> | Carrier Frequency | H 39 | 1 to 10 [kHz] | 1 | 3 kHz | Yes |
| FU2-40 <input type="checkbox"/> | Control Mode selection | H 40 | 0 (V/F) 1 (Slip Compen) 2 (PID) | - | 0 | No |
| FU2-50 <input type="checkbox"/> | PID Feedback Signal selection | H 50 | 0 (I) 1 (V1) | - | 0 | No |
| FU2-51 <input type="checkbox"/> | P Gain for PID Control | H 51 | 0 to 9999 | 1 | 3000 | Yes |
| FU2-52 <input type="checkbox"/> | I Gain for PID Control | H 52 | 0 to 9999 | 1 | 300 | Yes |
| FU2-53 <input type="checkbox"/> | D Gain for PID Control | H 53 | 0 to 9999 | 1 | 0 | Yes |
| FU2-54 <input type="checkbox"/> | Limit Frequency for PID Control | H 54 | 0 to FU1-20 | 0.01 | 60.00 [Hz]* | Yes |
| FU2-70 | Reference Frequency for Accel and Decel | H 70 | 0 (Max Freq) 1 (Delta Freq) | - | 0 | No |
| FU2-71 <input type="checkbox"/> | Accel/Decel Time Scale | H 71 | 0 (0.01 sec) 1 (0.1 sec) 2 (1 sec) | - | 1 | Yes |
| FU2-72 | Power On Display | H 72 | 0 (Cmd. Freq) 1 (Acc. Time) 2 (Dec. Time) 3 (Drv mode) 4 (Freq mode) 5 (Step Freq 1) 6 (Step Freq 2) 7 (Step Freq 3) 8 (Current) 9 (Speed) 10 (DC link Vtg) 11 (User disp) 12 (Fault Display) 13 (Motor direction) | 1 | 0 | Yes |

| Code | Description | Keypad Display | Setting Range | Units | Factory Default | Adjustable during run |
|----------------------------------------|---------------------------------------------|----------------|----------------------------------------------------------------------|-------|-----------------------------------------------------|-----------------------|
| FU2-73 <input type="checkbox"/> | User Display selection | H73 | 0 (Voltage) 1 (Watt) 2 (Torque) | - | 0 | Yes |
| FU2-74 <input type="checkbox"/> | Gain for Motor Speed Display | H74 | 1 to 1000 [%] | 1 | 100 [%] | Yes |
| FU2-75 <input type="checkbox"/> | DB(Dynamic Braking)Resistor Mode selection | H75 | 0 [None] 1 [None] 2 (Ext.DB-R) | - | 0 | Yes |
| FU2-76 <input type="checkbox"/> | Duty of Dynamic Braking Resistor | H76 | 0 to 30 [%] | 1 | 10 [%] | Yes |
| FU2-79 <input type="checkbox"/> | Software Version | H79 | - | - | <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> E | - |
| FU2-81 <input type="checkbox"/> | 2nd Acceleration Time | H81 | 0 to 6000 [sec] | 0.1 | 5.0 [sec] | Yes |
| FU2-82 <input type="checkbox"/> | 2nd Deceleration Time | H82 | 0 to 6000 [sec] | 0.1 | 10.0 [sec] | Yes |
| FU2-83 <input type="checkbox"/> | 2nd Base Frequency | H83 | 30 to FU1-20 | 0.01 | 60.00 [Hz]* | No |
| FU2-84 <input type="checkbox"/> | 2nd V/F Pattern | H84 | 0 (Linear) 1 (Square) 2 (User V/F) | - | 0 | No |
| FU2-85 <input type="checkbox"/> | 2nd Forward Torque Boost | H85 | 0 to 15 [%] | 0.1 | 5.0 [%] | No |
| FU2-86 <input type="checkbox"/> | 2nd Reverse Torque Boost | H86 | 0 to 15 [%] | 0.1 | 5.0 [%] | No |
| FU2-87 <input type="checkbox"/> | 2nd Stall Prevention Level | H87 | 30 to 150 [%] | 1 | 150 [%] | No |
| FU2-88 <input type="checkbox"/> | 2nd Electronic Thermal Level for 1 minute | H88 | FU2-89 to 150 [%] | 1 | 150 [%] | Yes |
| FU2-89 <input type="checkbox"/> | 2nd Electronic Thermal Level for continuous | H89 | 50 to FU2-88(maximum 150%) | 1 | 100 [%] | Yes |
| FU2-90 <input type="checkbox"/> | 2nd Rated Motor Current | H90 | 0.1 to 99.9 [A] | 0.1 | 1.8 [A] | No |
| FU2-91 <input type="checkbox"/> | Read Parameters into Keypad from Inverter | H91 | 0 (No) 1 (Yes) | - | 0 | No |
| FU2-92 <input type="checkbox"/> | Write Parameters to Inverter from Keypad | H92 | 0 (No) 1 (Yes) | - | 0 | No |
| FU2-93 <input type="checkbox"/> | Initialize Parameter | H93 | 0 (No) 1 (All Groups) 2 (DRV) 3 (FU1) 4 (FU2) 5 (I/O) | - | 0 | No |
| FU2-94 <input type="checkbox"/> | Parameter Write Protection | H94 | 0 to 255 | 1 | 0 | Yes |
| FU2-99 <input type="checkbox"/> | Return Code | rE | - | - | 1 | Yes |

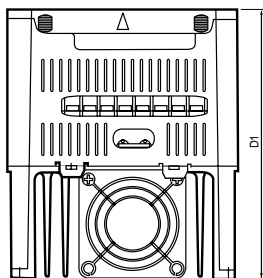
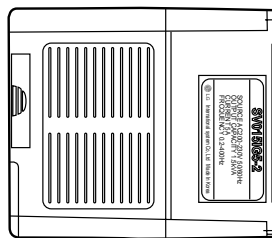
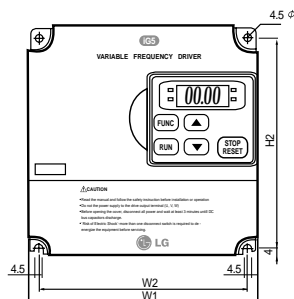
4.Input / Output Group [I/O]

| Code | Description | Keypad Display | Setting Range | Units | Factory Default | Adjustable during run |
|----------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|-----------------|-----------------------|
| I/O-00 <input type="checkbox"/> | Jump to desired code # | I 0 | 1 to 99 | 1 | 1 | Yes |
| I/O-01 <input type="checkbox"/> | Filtering Time Constant for V1 Signal Input | I 1 | 0 to 9999 [ms] | 1 | 1,000 [ms] | Yes |
| I/O-02 <input type="checkbox"/> | V1 Input Minimum Voltage | I 2 | 0 to I/O-04 | 0.01 | 0.00 [V] | Yes |
| I/O-03 <input type="checkbox"/> | Frequency corresponding to V1 Input Minimum Voltage | I 3 | 0 to FU1-20 | 0.01 | 0.00 [Hz] | Yes |
| I/O-04 <input type="checkbox"/> | V1 Input Maximum Voltage | I 4 | I/O-02 to 10 [V] | 0.01 | 10.00 [V] | Yes |
| I/O-05 <input type="checkbox"/> | Frequency corresponding to V1 Input Maximum Voltage | I 5 | 0 to FU1-20 | 0.01 | 60.00 [Hz]* | Yes |
| I/O-06 <input type="checkbox"/> | Filtering Time Constant for I Signal Input | I 6 | 0 to 9999 [ms] | 1 | 1,000 [ms] | Yes |
| I/O-07 <input type="checkbox"/> | I Input Minimum Current | I 7 | 0 to I/O-09 | 0.01 | 4.00 [mA] | Yes |
| I/O-08 <input type="checkbox"/> | Frequency corresponding to I Input Minimum Current | I 8 | 0 to FU1-20 | 0.01 | 0.00 [Hz] | Yes |
| I/O-09 <input type="checkbox"/> | I Input Maximum Current | I 9 | I/O-07 to 20 [mA] | 0.01 | 20.00 [mA] | Yes |
| I/O-10 <input type="checkbox"/> | Frequency corresponding to I Input Maximum Current | I 10 | 0 to FU1-20 | 0.01 | 60.00 [Hz]* | Yes |
| I/O-11 <input type="checkbox"/> | Criteria for Analog Input Signal Loss | I 11 | 0 (None) 1 (Half of x1) 2 (Below x1) | - | 0 | Yes |
| I/O-12 <input type="checkbox"/> | Multi-function Input Terminal 'P1' define 8,9, 15, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26(-Reserved-) | I 12 | 0 (Speed-L) 1 (Speed-M) 2 (Speed-H) 3 (XCEL-L) 4 (XCEL-M) 5 (XCEL-H) 6 (Dc-brake) 7 (2nd Func) 10 (Up) 11 (Down) 12 (3-Wire) 13 (Ext trip-A) 14 (Ext trip-B) 16 (Open-loop) 17 (Main-drive) 18 (Analog hold) 19 (XCEL stop) | - | 0 | No |
| I/O-13 <input type="checkbox"/> | Multi-function Input Terminal 'P2' define | I 13 | Same as above | - | 1 | No |
| I/O-14 <input type="checkbox"/> | Multi-function Input Terminal 'P3' define | I 14 | Same as above | - | 2 | No |
| I/O-15 <input type="checkbox"/> | Terminal Input Status | I 15 | 00000000 - 11111111 (bit set) | - | - | - |
| I/O-16 <input type="checkbox"/> | Terminal Output Status | I 16 | 0 - 1 (bit set) | - | - | - |
| I/O-17 <input type="checkbox"/> | Filtering Time Constant for Multi-function Input Terminals | I 17 | 2 to 50 | 1 | 15 | Yes |
| I/O-20 <input type="checkbox"/> | Jog Frequency setting | I 20 | FU1-22 to FU1-20 | 0.01 | 10.00 [Hz] | Yes |
| I/O-21 <input type="checkbox"/> | Step Frequency 4 | I 21 | FU1-22 to FU1-20 | 0.01 | 40.00 [Hz] | Yes |
| I/O-22 <input type="checkbox"/> | Step Frequency 5 | I 22 | FU1-22 to FU1-20 | 0.01 | 50.00 [Hz] | Yes |
| I/O-23 <input type="checkbox"/> | Step Frequency 6 | I 23 | FU1-22 to FU1-20 | 0.01 | 40.00 [Hz] | Yes |
| I/O-24 <input type="checkbox"/> | Step Frequency 7 | I 24 | FU1-22 to FU1-20 | 0.1 | 30.00 [Hz] | Yes |
| I/O-25 <input type="checkbox"/> | Acceleration Time 1 for Step Frequency | I 25 | 0 to 6000 [sec] | 0.1 | 20.0 [sec] | Yes |
| I/O-26 <input type="checkbox"/> | Deceleration Time 1 for Step Frequency | I 26 | 0 to 6000 [sec] | 0.1 | 20.0 [sec] | Yes |
| I/O-27 <input type="checkbox"/> | Acceleration Time 2 | I 27 | 0 to 6000 [sec] | 0.1 | 30.0 [sec] | Yes |
| I/O-28 <input type="checkbox"/> | Deceleration Time 2 | I 28 | 0 to 6000 [sec] | 0.1 | 30.0 [sec] | Yes |
| I/O-29 <input type="checkbox"/> | Acceleration Time 3 | I 29 | 0 to 6000 [sec] | 0.1 | 40.0 [sec] | Yes |
| I/O-30 <input type="checkbox"/> | Deceleration Time 3 | I 30 | 0 to 6000 [sec] | 0.1 | 40.0 [sec] | Yes |

| Code | Description | Keypad Display | Setting Range | Units | Factory Default | Adjustable during run |
|--------|-----------------------------------------------------------------|----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|-----------------|-----------------------|
| I/O-31 | Acceleration Time 4 | I 31 | 0 to 6000 [sec] | 0.1 | 50.0 [sec] | Yes |
| I/O-32 | Deceleration Time 4 | I 32 | 0 to 6000 [sec] | 0.1 | 50.0 [sec] | Yes |
| I/O-33 | Acceleration Time 5 | I 33 | 0 to 6000 [sec] | 0.1 | 40.0 [sec] | Yes |
| I/O-34 | Deceleration Time 5 | I 34 | 0 to 6000 [sec] | 0.1 | 40.0 [sec] | Yes |
| I/O-35 | Acceleration Time 6 | I 35 | 0 to 6000 [sec] | 0.1 | 30.0 [sec] | Yes |
| I/O-36 | Deceleration Time 6 | I 36 | 0 to 6000 [sec] | 0.1 | 30.0 [sec] | Yes |
| I/O-37 | Acceleration Time 7 | I 37 | 0 to 6000 [sec] | 0.1 | 20.0 [sec] | Yes |
| I/O-38 | Deceleration Time 7 | I 38 | 0 to 6000 [sec] | 0.1 | 20.0 [sec] | Yes |
| I/O-40 | FM (Frequency Meter) Output selection | I 40 | 0 (Frequency) 1 (Current) 2 (Voltage) 3 (DC link Vtg) | - | 0 | Yes |
| I/O-41 | FM Output Adjustment | I 41 | 10 to 200 [%] | 1 | 100 [%] | Yes |
| I/O-42 | Frequency Detection Level | I 42 | 0 to FU1-20 | 0.01 | 30.00 [Hz] | Yes |
| I/O-43 | Frquency Detection Bandwidth | I 43 | 0 to FU1-20 | 0.01 | 10.00 [Hz] | Yes |
| I/O-44 | Multi-function Output define (MO)15, 16, 18, 19, 20(-Reserved-) | I 44 | 0 (FDT-1) 1 (FDT-2) 2 (FDT-3) 3 (FDT-4) 4 (FDT-5) 5 (IOL) 6 (IOL) 7 (Stall) 8 (OV) 9 (LV) 10 (OH) 11 (Lost Command) 12 (Run) 13 (Stop) 14 (Steady) 17 (Search) | - | 12 | Yes |
| I/O-45 | Fault Output Relay setting (30A, 30B, 30C) | I 45 | 000 - 111 (bit set) Bit 0: LV Bit 1: All Trip Bit 2: Auto retry | - | 010 | Yes |
| I/O-46 | Inverter Number | I 46 | 1 to 32 | 1 | 1 | Yes |
| I/O-47 | Baud Rate I47 | I 47 | 0 (1200 bps) 1 (2400 bps) 2 (4800 bps) 3 (9600 bps) 4 (19200 bps) | - | 3 | Yes |
| I/O-48 | Operating selection at Loss of Freq. Reference | I 48 | 0 (None) 1 (FreeRun) 2 (Stop) | - | 0 | Yes |
| I/O-49 | Waiting Time after Loss of Freq. Reference | I 49 | 0.1 to 120 [sec] | 0.1 | 1.0 [sec] | Yes |
| I/O-50 | Communication Protocol selection | I 50 | 0 (LG- BUS) 1-6 (ModbusASCII) 7-9 (Modbus-RTU) | - | 7 | Yes |
| I/O-99 | Return Code | r | - | - | 1 | Yes |

Note: Parameters that are set by bit are ON (1) when the upper LED is lit. (F59, H19, H22, I15, I16, I45 are the parameters that are set by bit.)
Note: *marked default value changes depend on the main frequency setting in factory(50 / 60Hz)

Dimension : mm(inch)



| Inverter | HP | W1 | W2 | H1 | H2 | D1 |
|------------|-----|-----------|-----------|-----------|-------------|-------------|
| SV004iG5-1 | 0.5 | 100(3.94) | 88(3.46) | 128(5.04) | 117.5(4.63) | 130.9(5.15) |
| SV004iG5-2 | 0.5 | 100(3.94) | 88(3.46) | 128(5.04) | 117.5(4.63) | 130.9(5.15) |
| SV008iG5-1 | 1 | 130(5.12) | 118(4.65) | 128(5.04) | 117.5(4.63) | 150.9(5.94) |
| SV008iG5-2 | 1 | 100(3.94) | 88(3.46) | 128(5.04) | 117.5(4.63) | 130.9(5.15) |
| SV015iG5-1 | 2 | 150(5.90) | 138(5.43) | 128(5.04) | 117.5(4.63) | 155(6.10) |
| SV015iG5-2 | 2 | 130(5.12) | 118(4.65) | 128(5.04) | 117.5(4.63) | 150.9(5.94) |
| SV022iG5-2 | 3 | 150(5.90) | 138(5.43) | 128(5.04) | 117.5(4.63) | 155(6.10) |
| SV037iG5-2 | 5 | 150(5.90) | 138(5.43) | 128(5.04) | 117.5(4.63) | 155(6.10) |
| SV040iG5-2 | 5.4 | 150(5.90) | 138(5.43) | 128(5.04) | 117.5(4.63) | 155(6.10) |
| SV004iG5-4 | 0.5 | 130(5.12) | 118(4.65) | 128(5.04) | 117.5(4.63) | 150.9(5.94) |
| SV008iG5-4 | 1 | 130(5.12) | 118(4.65) | 128(5.04) | 117.5(4.63) | 150.9(5.94) |
| SV015iG5-4 | 2 | 130(5.12) | 118(4.65) | 128(5.04) | 117.5(4.63) | 150.9(5.94) |
| SV022iG5-4 | 3 | 150(5.90) | 138(5.43) | 128(5.04) | 117.5(4.63) | 155(6.10) |
| SV037iG5-4 | 5 | 150(5.90) | 138(5.43) | 128(5.04) | 117.5(4.63) | 155(6.10) |
| SV040iG5-4 | 5.4 | 150(5.90) | 138(5.43) | 128(5.04) | 117.5(4.63) | 155(6.10) |

Dynamic Braking(DB) Resistors

1. Standard application

| Drive | Resistor capacity [W] | Resistor value [Ω] | Average braking torque[%] | Enable duty[%] | Continuous braking time[sec] |
|--------------|-----------------------|----------------------|---------------------------|----------------|------------------------------|
| SV004iG5-1 | 100 | 400 | 100 | 5 | 5 |
| SV008iG5-1 □ | 100 | 200 | 100 | 5 | 5 |
| SV015iG5-1 □ | 100 | 100 | 100 | 3 | 5 |
| SV004iG5-2 | 100 | 400 | 100 | 5 | 5 |
| SV008iG5-2 □ | 100 | 200 | 100 | 5 | 5 |
| SV015iG5-2 □ | 100 | 100 | 100 | 3 | 5 |
| SV022iG5-2 □ | 100 | 60 | 100 | 2 | 5 |
| SV037iG5-2 □ | 100 | 40 | 100 | 2 | 5 |
| SV040iG5-2 □ | 100 | 40 | 100 | 2 | 5 |
| SV004iG5-4 | 100 | 1800 | 100 | 5 | 5 |
| SV008iG5-4 □ | 100 | 900 | 100 | 5 | 5 |
| SV015iG5-4 □ | 100 | 450 | 100 | 3 | 5 |
| SV022iG5-4 □ | 100 | 300 | 100 | 2 | 5 |
| SV037iG5-4 □ | 100 | 200 | 100 | 2 | 5 |
| SV040iG5-4 | 100 | 200 | 100 | 2 | 5 |

2. When the braking magnitude is high

| Drive | Resistor capacity [W] | Resistor value [Ω] | Average braking torque[%] | Enable duty[%] | Continuous braking time[sec] |
|--------------|-----------------------|----------------------|---------------------------|----------------|------------------------------|
| SV004iG5-1 | 100 | 400 | 100 | 5 | 5 |
| SV008iG5-1 □ | 100 | 200 | 100 | 5 | 5 |
| SV015iG5-1 □ | 200 | 100 | 100 | 5 | 5 |
| SV004iG5-2 | 100 | 400 | 100 | 5 | 5 |
| SV008iG5-2 □ | 100 | 200 | 100 | 5 | 5 |
| SV015iG5-2 □ | 200 | 100 | 100 | 5 | 5 |
| SV022iG5-2 □ | 300 | 60 | 100 | 5 | 5 |
| SV037iG5-2 □ | 500 | 40 | 100 | 5 | 5 |
| SV040iG5-2 □ | 500 | 40 | 100 | 5 | 5 |
| SV004iG5-4 | 100 | 1800 | 100 | 5 | 5 |
| SV008iG5-4 □ | 100 | 900 | 100 | 5 | 5 |
| SV015iG5-4 □ | 200 | 450 | 100 | 5 | 5 |
| SV022iG5-4 □ | 300 | 300 | 100 | 5 | 5 |
| SV037iG5-4 □ | 500 | 200 | 100 | 5 | 5 |
| SV040iG5-4 | 500 | 200 | 100 | 5 | 5 |

| Drive | Resistor capacity [W] | Resistor value [Ω] | Average braking torque[%] | Enable duty[%] | Continuous braking time[sec] |
|--------------|-----------------------|----------------------|---------------------------|----------------|------------------------------|
| SV004iG5-1 | 150 | 300 | 150 | 5 | 5 |
| SV008iG5-1 □ | 150 | 150 | 150 | 5 | 5 |
| SV015iG5-1 □ | 300 | 60 | 150 | 5 | 5 |
| SV004iG5-2 | 150 | 300 | 150 | 5 | 5 |
| SV008iG5-2 □ | 150 | 150 | 150 | 5 | 5 |
| SV015iG5-2 □ | 300 | 60 | 150 | 5 | 5 |
| SV022iG5-2 □ | 400 | 50 | 150 | 5 | 5 |
| SV037iG5-2 □ | 600 | 33 | 150 | 5 | 5 |
| SV040iG5-2 □ | 600 | 33 | 150 | 5 | 5 |
| SV004iG5-4 | 150 | 1200 | 150 | 5 | 5 |
| SV008iG5-4 □ | 150 | 600 | 150 | 5 | 5 |
| SV015iG5-4 □ | 300 | 300 | 150 | 5 | 5 |
| SV022iG5-4 □ | 400 | 200 | 150 | 5 | 5 |
| SV037iG5-4 □ | 600 | 130 | 150 | 5 | 5 |
| SV040iG5-4 | 600 | 130 | 150 | 5 | 5 |

Options

| Option | Description |
|------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
| DIN Rail base | Din rail mounting plate |
| Remote keypad mounting fixture and cable | 2 meter, 3 meter and 5 meter cable and mounting fixture. |

Peripheral devices

| Drive Models | kW | MCCB, ELB | Magnetic Contactor | Wire, mm2(AWG) | | | AC Input | AC Reactor | DC Reactor |
|--------------|------|---------------|--------------------|----------------|---------|---------|----------|--------------|---------------|
| | | | | R,S,T | U,V,W | Ground | | | |
| SV004iG5-1 | 0.37 | ABS33a, EBS33 | SMC-10P | 2(14) | 2(14) | 3.5(12) | 10A | 2.13mH, 5.7A | 7.00mH, 5.4A |
| SV008iG5-1 □ | 0.75 | ABS33a, EBS33 | SMC-10P | 2(14) | 2(14) | 3.5(12) | 10A | 2.13mH, 5.7A | 7.00mH, 5.4A |
| SV015iG5-1 □ | 1.5 | ABS33a, EBS33 | SMC-10P | 2(14) | 2(14) | 3.5(12) | 10A | 2.13mH, 5.7A | 7.00mH, 5.4A |
| SV004iG5-2 | 0.37 | ABS33a, EBS33 | SMC-10P | 2(14) | 2(14) | 3.5(12) | 10A | 2.13mH, 5.7A | 7.00mH, 5.4A |
| SV008iG5-2 □ | 0.75 | ABS33a, EBS33 | SMC-10P | 2(14) | 2(14) | 3.5(12) | 10A | 2.13mH, 5.7A | 7.00mH, 5.4A |
| SV015iG5-2 □ | 1.5 | ABS33a, EBS33 | SMC-10P | 2(14) | 2(14) | 3.5(12) | 15A | 1.20mH, 10A | 4.05mH, 9.2A |
| SV022iG5-2 □ | 2.2 | ABS33a, EBS33 | SMC-15P | 2(14) | 2(14) | 3.5(12) | 25A | 0.88mH, 14A | 2.92mH, 13A |
| SV037iG5-2 □ | 3.7 | ABS33a, EBS33 | SMC-20P | 3.5(12) | 3.5(12) | 3.5(12) | 40A | 0.56mH, 20A | 1.98mH, 19A |
| SV040iG5-2 □ | 4 | ABS33a, EBS33 | SMC-20P | 3.5(12) | 3.5(12) | 3.5(12) | 40A | 0.56mH, 20A | 1.98mH, 19A |
| SV004iG5-4 | 0.37 | ABS33a, EBS33 | SMC-10P | 2(14) | 2(14) | 2(14) | 6A | 8.63mH, 2.8A | 28.62mH, 2.7A |
| SV008iG5-4 □ | 0.75 | ABS33a, EBS33 | SMC-10P | 2(14) | 2(14) | 2(14) | 6A | 8.63mH, 2.8A | 28.62mH, 2.7A |
| SV015iG5-4 □ | 1.5 | ABS33a, EBS33 | SMC-10P | 2(14) | 2(14) | 2(14) | 10A | 4.81mH, 4.8A | 16.14mH, 4.6A |
| SV022iG5-4 □ | 2.2 | ABS33a, EBS33 | SMC-20P | 2(14) | 2(14) | 2(14) | 10A | 3.23mH, 7.5A | 11.66mH, 7.1A |
| SV037iG5-4 □ | 3.7 | ABS33a, EBS33 | SMC-20P | 2(14) | 2(14) | 2(14) | 20A | 2.34mH, 10A | 7.83mH, 10A |
| SV040iG5-4 | 4 | ABS33a, EBS33 | SMC-20P | 2(14) | 2(14) | 2(14) | 20A | 2.34mH, 10A | 7.83mH, 10A |

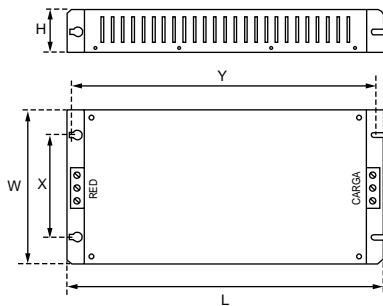
RFI Filters

| IG5 Series | | | Footprint Filter | | | | | | | |
|---------------------|-------|-------------|------------------|-----------------|-----------------|--------------------|--------------|--------|-------|---------------|
| Drive Models | Power | Code | Current | Tension Voltage | Leakage Current | Dimensions L W H | Mounting Y X | Weight | Mount | Output Chokes |
| <i>SINGLE PHASE</i> | | | (max.) | | | | | | | |
| SV004iG5-1 | 0.4kW | FFG5-M010-1 | 10A | 250VA | 3.5A | 173.5 X 103.5 X 40 | 159.5 X 80 | | M4 | FS-1 |
| SV008iG5-1 | 0.8kW | FFG5-M011-1 | 11A | 250VA | 3.5A | 173.5 X 133.5 X 40 | 159.5 X 110 | | M4 | FS-1 |
| SV015iG5-1 | 1.5kW | FFG5-M020-1 | 20A | 250VA | 3.5A | 173.5 X 153.5 X 40 | 159.5 X 130 | | M4 | FS-2 |
| <i>THREE PHASE</i> | | | (max.) | | | | | | | |
| SV004iG5-2 | 0.4kW | FFG5-T005-1 | 5A | 250VA | 0.3A 18A | 173.5 X 103.5 X 40 | 159.5 X 80 | | M4 | FS-1 |
| SV008iG5-2 | 0.8kW | | | | | | | | | |
| SV015iG5-2 | 1.5kW | FFG5-T012-1 | 12A | 250VA | 0.3A 18A | 173.5 X 133.5 X 40 | 159.5 X 110 | | M4 | FS-2 |
| SV022iG5-2 | 2.2kW | | | | | | | | | |
| SV037iG5-2 | 3.7kW | FFG5-T020-1 | 20A | 250VA | 0.3A 18A | 173.5 X 153.5 X 40 | 159.5 X 130 | | M4 | FS-2 |
| SV040iG5-2 | 4.0kW | | | | | | | | | |
| SV004iG5-4 | 0.4kW | | | | | | | | | |
| SV008iG5-4 | 0.8kW | FFG5-T006-1 | 6A | 380VAC | 0.5A 27A | 173.5 X 133.5 X 40 | 159.5 X 110 | | M4 | FS-1 |
| SV015iG5-4 | 1.5kW | | | | | | | | | |
| SV022iG5-4 | 2.2kW | | | | | | | | | |
| SV037iG5-4 | 3.7kW | FFG5-T011-1 | 11A | 380VAC | 0.5A 27A | 173.5 X 133.5 X 40 | 159.5 X 130 | | M4 | FS-2 |
| SV040iG5-4 | 4.0kW | | | | | | | | | |

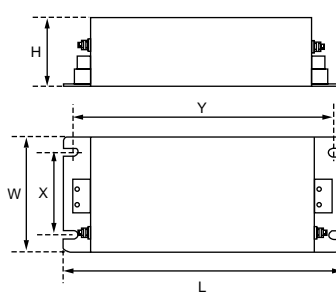
| IG5 Series | | | Standard Filter | | | | | | | |
|---------------------|-------|---------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|--------------|--------|-------|---------------|
| Drive Models | Power | Code | Current | Tension Voltage | Leakage Current | Dimensions L W H | Mounting Y X | Weight | Mount | Output Chokes |
| <i>SINGLE PHASE</i> | | | (max.) | | | | | | | |
| SV004iG5-1 | 0.4kW | FEG5-T010-(X) | 10A | 250VA | 3.5A | 150.5 X 55 X 45 | 140 X 45 | | --- | FS-1 |
| SV008iG5-1 | 0.8kW | | | | | | | | | |
| SV015iG5-1 | 1.5kW | FEG5-T015-(X) | 15A | 250VA | 3.5A | 150.5 X 55 X 45 | 140 X 45 | | --- | FS-2 |
| <i>THREE PHASE</i> | | | (max.) | | | | | | | |
| SV004iG5-2 | 0.4kW | FEG5-T006-(X) | 6A | 250VA | 0.3A 18A | 250 X 110 X 60 | 238 X 76 | | --- | FS-2 |
| SV008iG5-2 | 0.8kW | | | | | | | | | |
| SV015iG5-2 | 1.5kW | FEG5-T012-(X) | 12A | 250VA | 0.3A 18A | 250 X 110 X 60 | 238 X 76 | | --- | FS-2 |
| SV022iG5-2 | 2.2kW | | | | | | | | | |
| SV037iG5-2 | 3.7kW | FEG5-T020-(X) | 20A | 250VA | 0.3A 18A | 270 X 140 X 60 | 258 X 106 | | --- | FS-2 |
| SV040iG5-2 | 4.0kW | | | | | | | | | |
| SV004iG5-4 | 0.4kW | | | | | | | | | |
| SV008iG5-4 | 0.8kW | FEG5-T006-(X) | 6A | 380VAC | 0.5A 27A | 250 X 110 X 60 | 238 X 76 | | --- | FS-2 |
| SV015iG5-4 | 1.5kW | | | | | | | | | |
| SV022iG5-4 | 2.2kW | | | | | | | | | |
| SV037iG5-4 | 3.7kW | FEG5-T012-(X) | 12A | 380VAC | 0.5A 27A | 250 X 110 X 60 | 238 X 76 | | --- | FS-2 |
| SV040iG5-4 | 4.0kW | | | | | | | | | |

(X) (1) Industrial environment EN 50081-1 (A class)
 (2) Domestic and industrial environment EN 50081-1 (B class)

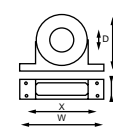
FF Series (Footprint)



FE Series (Standard)

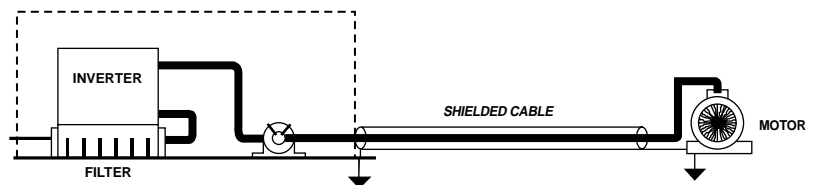


FS Series (output chokes)

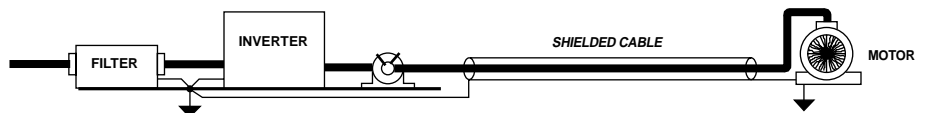


| Type | D | W | H | X | O |
|------|------|-----|-----|----------|---|
| FS-1 | 21 | 85 | 46 | 70 | 5 |
| FS-2 | 28.5 | 105 | 62 | 90 | 5 |
| FS-3 | 48 | 150 | 110 | 125 x 30 | 5 |
| FS-4 | 58 | 200 | 170 | 180 x 45 | 5 |

FF Series (Footprint)



FE Series (Standard)





*LG constantly endeavor to improve
our products so that information
in this catalog is subject to
change without notice.*



LG Industrial Systems Co., Ltd.

■ **HEAD OFFICE**

LG TWIN TOWERS, 20 Yoido-dong, Youngdungpo-gu, Seoul, 150-721, Korea.
Tel.(82-2)3777- 4640 ~ 4649
Fax.(82-2)3777- 4648
<http://www.lgis.com>
<http://www.fasolution.com>

■ **OVERSEAS BRANCHES**

| | |
|------------|--------------------------------------------|
| Beijing | Tel.86-10-6462-3254, 3256, 3259, 6464-8637 |
| Shanghai | Tel.86-21-6252-3367, 3795, 6240-3477 |
| Hanoi | Tel.84-4-882-0222 |
| Dalian | Tel.86-411-730-6495, 730-7580 |
| Tokyo | Tel.81-3-3582-9126 |
| Jakarta | Tel.62-21-897-4311 |
| New Jersey | Tel.1-201-816-2982 |

ANEXO 6

TRANSMISOR DE PRESIÓN

ST 3000 Smart Transmitter Series 900 Gauge Pressure Models

| | | |
|--------|----------------|--------------|
| STG944 | 0 to 500 psi | 0 to 35 bar |
| STG94L | 0 to 500 psi | 0 to 35 bar |
| STG974 | 0 to 3000 psi | 0 to 210 bar |
| STG97L | 0 to 3000 psi | 0 to 210 bar |
| STG98L | 0 to 6000 psi | 0 to 415 bar |
| STG99L | 0 to 10000 psi | 0 to 690 bar |

Specification and Model Selection Guide

Introduction

In 1983, Honeywell introduced the first Smart Pressure Transmitter—the ST 3000®. In 1989, Honeywell launched the first all digital, bi-directional protocol for smart field devices. Today, its ST 3000 Series 900 In-line, Gauge Pressure Transmitters continue to bring proven “smart” technology to a wide spectrum of pressure measurement applications. Typical applications include high-pressure measurement in boilers, fuel feeds, and high-pressure reaction vessels in the petrochemical and hydrocarbon recovery industries – any location where accuracy and reliability are crucial to safe, economical operation. As with the rest of the line of Honeywell transmitters, the in-line transmitters offer the ability to be installed in a wide variety of hazardous environments for accurate repeatable pressure measurement.

All ST 3000 transmitters can provide a 4-20 mA output, Honeywell Digitally Enhanced (DE) output, HART® output, or FOUNDATION™ Fieldbus output. When digitally integrated with Honeywell’s Process Knowledge System™, EXPERION PKS™, ST 3000 instruments provide a more accurate process variable as well as advanced diagnostics.

Honeywell’s cost-effective ST 3000 S900 transmitters lead the industry in reliability and stability:

- Stability = +/-0.01% per year
- Reliability = 470 years MTBF



Figure 1—Series 900 Gauge Pressure Transmitters feature proven piezoresistive sensor technology.

The devices provide comprehensive self-diagnostics to help users maintain high uptime, meet regulatory requirements, and attain high quality standards. S900 transmitters allow smart performance at analog prices. Accurate, reliable and stable, Series 900 transmitters offer greater turndown ratio than conventional transmitters.

"Honeywell transmitters operating in the digital mode using Honeywell’s Digitally Enhanced (DE) protocol make diagnostics available right at the control system’s human interface. Equally important, transmitter status information is continuously displayed to alert the operator immediately of a fault condition. Because the process variable (PV) status transmission precedes the PV value, we are guaranteed that a bad PV is not used in a control algorithm. In addition, bi-directional communication provides for remote transmitter configuration directly from the human interface, enabling management of the complete loop."

Maureen Atchison, DuPont
Site Electrical & Instrumentation Leader

Description

The ST 3000 transmitter can replace any 4 to 20 mA output transmitter in use today and operates over a standard two-wire system.

The measuring means is a piezoresistive sensor, which actually contains three sensors in one. It contains a differential pressure sensor, a temperature sensor, and a static pressure sensor.

Microprocessor-based electronics provide higher span-turndown ratio, improved temperature and pressure compensation, and improved accuracy.

The transmitter's meter body and electronics housing resist shock, vibration, corrosion, and moisture. The electronics housing contains a compartment for the single-board electronics, which is isolated from an integral junction box. The single-board electronics is replaceable and interchangeable with any other ST 3000 Series 100 or Series 900 model transmitter.

Like other Honeywell transmitters, the ST 3000 features two-way communication between the operator and the transmitter through our Smart Field Configurator (SFC). You can connect the SFC anywhere that you can access the transmitter signal lines.

The SCT 3000 Smartline[®] Configuration Toolkit provides an easy way to configure instruments using a personal computer. The toolkit enables configuration of devices before shipping or installation. The SCT 3000 can operate in the offline mode to configure an unlimited number of devices. The database can then be loaded downline during commissioning.

Features

- Choice of linear or square root output conformity is a simple configuration selection.
- Direct digital integration with Experion PKS and other control systems provides local measurement accuracy to the system level without adding typical A/D and D/A converter inaccuracies.
- Unique piezoresistive sensor automatically compensates input for temperature and static pressure. Added "smart" features include configuring lower and upper range values, simulating accurate analog output, and selecting preprogrammed engineering units for display.
- Smart transmitter capabilities with local or remote interfacing means significant manpower efficiency improvements in commissioning, start-up, and ongoing maintenance functions.

Specifications

Operating Conditions – All Models

| Parameter | Reference Condition (at zero static) | | Rated Condition | | Operative Limits | | Transportation and Storage | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|-----------------|-------------|--------------------|--------------|----------------------------|------------|
| | °C | °F | °C | °F | °C | °F | °C | °F |
| Ambient Temperature | 25 ±1 | 77 ±2 | -40 to 70 | -40 to 158 | -40 to 85 | -40 to 185 | -55 to 125 | -67 to 257 |
| Meter Body Temperature | 25 ±1 | 77 ±2 | -40 to 110* | -40 to 230* | -40 to 125** | -40 to 257** | -55 to 125 | -67 to 257 |
| Humidity %RH | 10 to 55 | | 0 to 100 | | 0 to 100 | | 0 to 100 | |
| Vacuum Region - Minimum Pressure | | | | | | | | |
| mmHg absolute | atmospheric | | 25 | | 2 (short term ***) | | | |
| inH ₂ O absolute | atmospheric | | 13 | | 1 (short term ***) | | | |
| Supply Voltage, Current, and Load Resistance | Voltage Range: 10.8 to 42.4 Vdc at terminals Current Range: 3.0 to 21.8 mA Load Resistance: 0 to 1440 ohms (as shown in Figure 2) | | | | | | | |
| Maximum Allowable Working Pressure (MAWP) (ST 3000 products are rated to Maximum Allowable Working Pressure) | STG944 and STG94L = 500 psi, 35 bar STG974 and STG97L = 3000 psi, 210 bar STG98L = 6000 psi, 415 bar STG99L = 10,000 psi, 690 bar Units can withstand overpressure of 1.5X MAWP without damage. | | | | | | | |

* For model 944 with CTFE fill fluid, the rating is -15 to 70°C (5 to 158°F); for model 98L with CTFE fill fluid, the rating is -15 to 110°C (5 to 230°F).

** For Models STG94L, STG97L, and STG98L, STG99L the upper limit is 110°C (230°F).

*** Short term equals 2 hours at 70°C (158 °F)

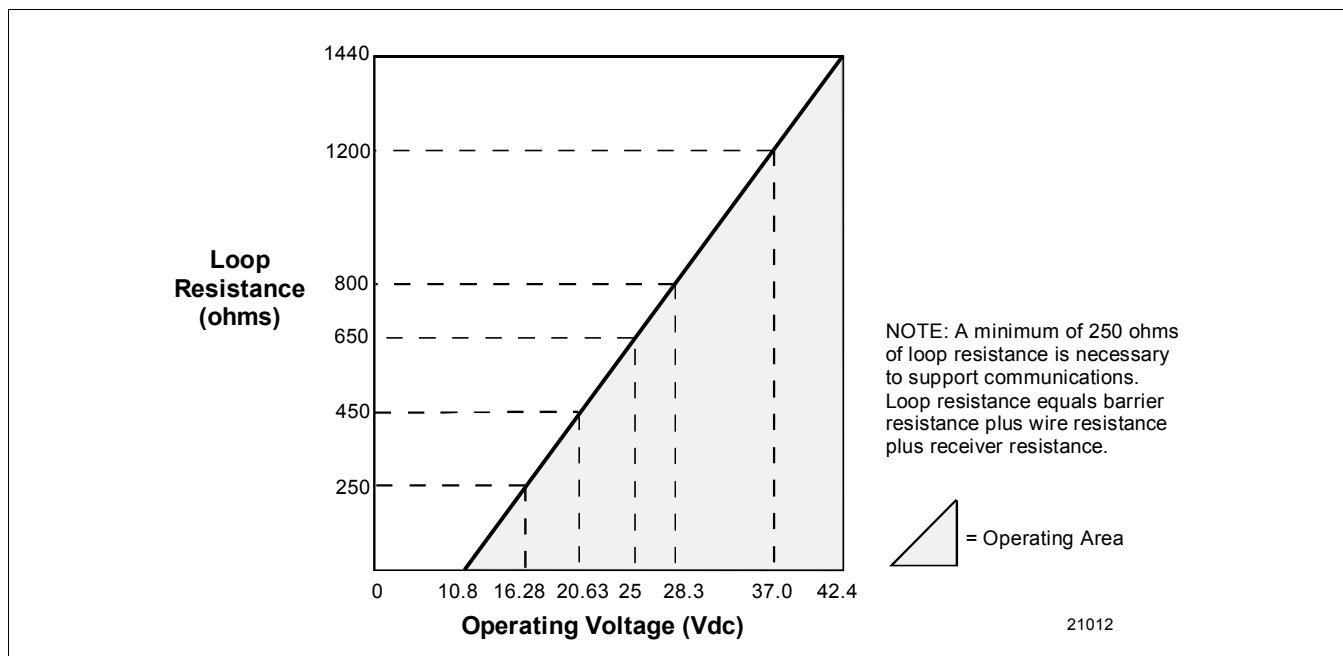


Figure 2—Supply voltage and loop resistance chart.

Performance Under Rated Conditions* - Models STG944 & 94L (0 to 500 psi/35 bar)

| Parameter | Description |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Upper Range Limit psi bar | 500 35 |
| Minimum Span psi bar | 20 1.4 |
| Turndown Ratio | 25 to 1 |
| Zero Elevation and Suppression | No limit except minimum span from absolute 0 (zero) to +100% URL. Specifications valid over this range. |
| <p>Accuracy (Reference – Includes combined effects of linearity, hysteresis, and repeatability)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Accuracy includes residual error after averaging successive readings. • For FOUNDATION Fieldbus use Digital Mode specifications. For HART use Analog Mode specifications. | <p>In Analog Mode: ±0.075% of calibrated span or upper range value (URV), whichever is greater, terminal based.</p> <p>For URV below reference point (20 psi), accuracy equals:</p> $\pm \left[0.025 + 0.05 \left(\frac{20 \text{ psi}}{\text{span psi}} \right) \right] \text{ or } \pm \left[0.025 + 0.05 \left(\frac{1.4 \text{ bar}}{\text{span bar}} \right) \right] \text{ in \% of span}$ <p>In Digital Mode: ±0.0625% of calibrated span or upper range value (URV), whichever is greater, terminal based.</p> <p>For URV below reference point (20 psi), accuracy equals:</p> $\pm \left[0.0125 + 0.05 \left(\frac{20 \text{ psi}}{\text{span psi}} \right) \right] \text{ or } \pm \left[0.0125 + 0.05 \left(\frac{1.4 \text{ bar}}{\text{span bar}} \right) \right] \text{ in \% of span}$ |
| Zero Temperature Effect per 28°C (50°F) | <p>In Analog Mode: ±0.1625% of span.</p> <p>For URV below reference point (50 psi), effect equals:</p> $\pm \left[0.0125 + 0.15 \left(\frac{50 \text{ psi}}{\text{span psi}} \right) \right] \text{ or } \pm \left[0.0125 + 0.15 \left(\frac{3.5 \text{ bar}}{\text{span bar}} \right) \right] \text{ in \% of span}$ <p>In Digital Mode: ±0.15% of span.</p> <p>For URV below reference point (50 psi), effect equals:</p> $\pm 0.15 \left(\frac{50 \text{ psi}}{\text{span psi}} \right) \text{ or } \pm 0.15 \left(\frac{3.5 \text{ bar}}{\text{span bar}} \right) \text{ in \% of span}$ |
| Combined Zero and Span Temperature Effect per 28°C (50°F) | <p>In Analog Mode: ±0.25% of span.</p> <p>For URV below reference point (50 psi), effect equals:</p> $\pm \left[0.10 + 0.15 \left(\frac{50 \text{ psi}}{\text{span psi}} \right) \right] \text{ or } \pm \left[0.10 + 0.15 \left(\frac{3.5 \text{ bar}}{\text{span bar}} \right) \right] \text{ in \% of span}$ <p>In Digital Mode: ±0.225% of span.</p> <p>For URV below reference point (50 psi), effect equals:</p> $\pm \left[0.075 + 0.15 \left(\frac{50 \text{ psi}}{\text{span psi}} \right) \right] \text{ or } \pm \left[0.075 + 0.15 \left(\frac{3.5 \text{ bar}}{\text{span bar}} \right) \right] \text{ in \% of span}$ |
| Stability | ±0.015% of URL per year |

* Performance specifications are based on reference conditions of 25°C (77°F), 10 to 55% RH, and 316L Stainless Steel barrier diaphragm.

Performance Under Rated Conditions* - Models STG974 & 97L (0 to 3000 psi/210 bar)

| Parameter | Description |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Upper Range Limit psi bar | 3000 210 |
| Minimum Span psi bar | 300 21 |
| Turndown Ratio | 10 to 1 |
| Zero Elevation and Suppression | No limit except minimum span from absolute 0 (zero) to +100% URL. Specifications valid over this range. |
| <p>Accuracy (Reference – Includes combined effects of linearity, hysteresis, and repeatability)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Accuracy includes residual error after averaging successive readings. • For FOUNDATION Fieldbus use Digital Mode specifications. For HART use Analog Mode specifications. | <p>In Analog Mode: ±0.10% of calibrated span or upper range value (URV), whichever is greater, terminal based. For URV below reference point (750 psi), accuracy equals:</p> $\pm \left[0.05 + 0.05 \left(\frac{750 \text{ psi}}{\text{span psi}} \right) \right] \text{ or } \pm \left[0.05 + 0.05 \left(\frac{52 \text{ bar}}{\text{span bar}} \right) \right] \text{ in \% of span}$ <p>In Digital Mode: ±0.075% of calibrated span or upper range value (URV), whichever is greater, terminal based. For URV below reference point (300 psi), accuracy equals:</p> $\pm \left[0.025 + 0.05 \left(\frac{750 \text{ psi}}{\text{span psi}} \right) \right] \text{ or } \pm \left[0.025 + 0.05 \left(\frac{52 \text{ bar}}{\text{span bar}} \right) \right] \text{ in \% of span}$ |
| Zero Temperature Effect per 28°C (50°F) | <p>In Analog Mode: ±0.2125% of span. For URV below reference point (500 psi), effect equals:</p> $\pm \left[0.0125 + 0.20 \left(\frac{500 \text{ psi}}{\text{span psi}} \right) \right] \text{ or } \pm \left[0.0125 + 0.20 \left(\frac{35 \text{ bar}}{\text{span bar}} \right) \right] \text{ in \% of span}$ <p>In Digital Mode: ±0.20% of span. For URV below reference point (500 psi), effect equals:</p> $\pm 0.20 \left(\frac{500 \text{ psi}}{\text{span psi}} \right) \text{ or } \pm 0.20 \left(\frac{35 \text{ bar}}{\text{span bar}} \right) \text{ in \% of span}$ |
| Combined Zero and Span Temperature Effect per 28°C (50°F) | <p>In Analog Mode: ±0.325% of span. For URV below reference point (500 psi), effect equals:</p> $\pm \left[0.125 + 0.20 \left(\frac{500 \text{ psi}}{\text{span psi}} \right) \right] \text{ or } \pm \left[0.125 + 0.20 \left(\frac{35 \text{ bar}}{\text{span bar}} \right) \right] \text{ in \% of span}$ <p>In Digital Mode: ±0.30% of span. For URV below reference point (500 psi), effect equals:</p> $\pm \left[0.10 + 0.20 \left(\frac{500 \text{ psi}}{\text{span psi}} \right) \right] \text{ or } \pm \left[0.10 + 0.20 \left(\frac{35 \text{ bar}}{\text{span bar}} \right) \right] \text{ in \% of span}$ |
| Stability | ±0.03% of URL per year |

* Performance specifications are based on reference conditions of 25°C (77°F), 10 to 55% RH, and 316L Stainless Steel barrier diaphragm.

Performance Under Rated Conditions* - Model STG98L (0 to 6000 psi/415 bar)

| Parameter | Description |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Upper Range Limit psi bar | 6000 415 |
| Minimum Span psi bar | 500 35 |
| Turndown Ratio | 12 to 1 |
| Zero Elevation and Suppression | No limit except minimum span from absolute 0 (zero) to +100% URL. Specifications valid over this range. |
| <p>Accuracy (Reference – Includes combined effects of linearity, hysteresis, and repeatability)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Accuracy includes residual error after averaging successive readings. • For FOUNDATION Fieldbus use Digital Mode specifications. For HART use Analog Mode specifications. | <p>In Analog Mode: ±0.10% of calibrated span or upper range value (URV), whichever is greater, terminal based. For URV below reference point (1500 psi), accuracy equals:</p> $\pm \left[0.05 + 0.05 \left(\frac{1500 \text{ psi}}{\text{span psi}} \right) \right] \text{ or } \pm \left[0.05 + 0.05 \left(\frac{104 \text{ bar}}{\text{span bar}} \right) \right] \text{ in \% of span}$ <p>In Digital Mode: ±0.075% of calibrated span or upper range value (URV), whichever is greater, terminal based. For URV below reference point (1500 psi), accuracy equals:</p> $\pm \left[0.025 + 0.05 \left(\frac{1500 \text{ psi}}{\text{span psi}} \right) \right] \text{ or } \pm \left[0.025 + 0.05 \left(\frac{104 \text{ bar}}{\text{span bar}} \right) \right] \text{ in \% of span}$ |
| Zero Temperature Effect per 28°C (50°F) | <p>In Analog Mode: ±0.2125% of span. For URV below reference point (1500 psi), effect equals:</p> $\pm \left[0.0125 + 0.20 \left(\frac{1500 \text{ psi}}{\text{span psi}} \right) \right] \text{ or } \pm \left[0.0125 + 0.20 \left(\frac{104 \text{ bar}}{\text{span bar}} \right) \right] \text{ in \% of span}$ <p>In Digital Mode: ±0.20% of span. For URV below reference point (1500 psi), effect equals:</p> $\pm 0.20 \left(\frac{1500 \text{ psi}}{\text{span psi}} \right) \text{ or } \pm 0.20 \left(\frac{70 \text{ bar}}{\text{span bar}} \right) \text{ in \% of span}$ |
| Combined Zero and Span Temperature Effect per 28°C (50°F) | <p>In Analog Mode: ±0.325% of span. For URV below reference point (1500 psi), effect equals:</p> $\pm \left[0.125 + 0.20 \left(\frac{1500 \text{ psi}}{\text{span psi}} \right) \right] \text{ or } \pm \left[0.125 + 0.20 \left(\frac{104 \text{ bar}}{\text{span bar}} \right) \right] \text{ in \% of span}$ <p>In Digital Mode: ±0.30% of span. For URV below reference point (1500 psi), effect equals:</p> $\pm \left[0.10 + 0.20 \left(\frac{1500 \text{ psi}}{\text{span psi}} \right) \right] \text{ or } \pm \left[0.10 + 0.20 \left(\frac{104 \text{ bar}}{\text{span bar}} \right) \right] \text{ in \% of span}$ |
| Stability | ±0.03% of URL per year |

* Performance specifications are based on reference conditions of 25°C (77°F), 10 to 55% RH, and 316L Stainless Steel barrier diaphragm.

Performance Under Rated Conditions* - Model STG99L (0 to 10000 psi/690 bar)

| Parameter | Description |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Upper Range Limit psi bar | 10000 690 |
| Minimum Span psi bar | 500 35 |
| Turndown Ratio | 20 to 1 |
| Zero Elevation and Suppression | No limit except minimum span from absolute 0 (zero) to +100% URL. Specifications valid over this range. |
| Accuracy (Reference – Includes combined effects of linearity, hysteresis, and repeatability) <ul style="list-style-type: none"> • Accuracy includes residual error after averaging successive readings. • For FOUNDATION Fieldbus use Digital Mode specifications. For HART use Analog Mode specifications. | <p>In Analog Mode: ±0.10% of calibrated span or upper range value (URV), whichever is greater, terminal based.</p> <p>For URV below reference point (2500 psi), accuracy equals:</p> $\pm \left[0.05 + 0.05 \left(\frac{2500 \text{ psi}}{\text{span psi}} \right) \right] \text{ or } \pm \left[0.05 + 0.05 \left(\frac{172 \text{ bar}}{\text{span bar}} \right) \right] \text{ in \% of span}$ <p>In Digital Mode: ±0.075% of calibrated span or upper range value (URV), whichever is greater, terminal based.</p> <p>For URV below reference point (2500 psi), accuracy equals:</p> $\pm \left[0.025 + 0.05 \left(\frac{2500 \text{ psi}}{\text{span psi}} \right) \right] \text{ or } \pm \left[0.025 + 0.05 \left(\frac{172 \text{ bar}}{\text{span bar}} \right) \right] \text{ in \% of span}$ |
| Zero Temperature Effect per 28°C (50°F) | <p>In Analog Mode: ±0.2125% of span.</p> <p>For URV below reference point (2500 psi), effect equals:</p> $\pm \left[0.0125 + 0.20 \left(\frac{2500 \text{ psi}}{\text{span psi}} \right) \right] \text{ or } \pm \left[0.0125 + 0.20 \left(\frac{172 \text{ bar}}{\text{span bar}} \right) \right] \text{ in \% of span}$ <p>In Digital Mode: ±0.20% of span.</p> <p>For URV below reference point (2500 psi), effect equals:</p> $\pm 0.20 \left(\frac{2500 \text{ psi}}{\text{span psi}} \right) \text{ or } \pm 0.20 \left(\frac{172 \text{ bar}}{\text{span bar}} \right) \text{ in \% of span}$ |
| Combined Zero and Span Temperature Effect per 28°C (50°F) | <p>In Analog Mode: ±0.325% of span.</p> <p>For URV below reference point (2500 psi), effect equals:</p> $\pm \left[0.125 + 0.20 \left(\frac{2500 \text{ psi}}{\text{span psi}} \right) \right] \text{ or } \pm \left[0.125 + 0.20 \left(\frac{172 \text{ bar}}{\text{span bar}} \right) \right] \text{ in \% of span}$ <p>In Digital Mode: ±0.30% of span.</p> <p>For URV below reference point (2500 psi), effect equals:</p> $\pm \left[0.10 + 0.20 \left(\frac{2500 \text{ psi}}{\text{span psi}} \right) \right] \text{ or } \pm \left[0.10 + 0.20 \left(\frac{172 \text{ bar}}{\text{span bar}} \right) \right] \text{ in \% of span}$ |
| Stability | ±0.03% of URL per year |

* Performance specifications are based on reference conditions of 25°C (77°F), 10 to 55% RH, and 316L Stainless Steel barrier diaphragm.

Performance Under Rated Conditions - General for all Models

| Parameter | Description |
|-----------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Output (two-wire) | Analog 4 to 20 mA or DE digital communications mode. Options available for FOUNDATION Fieldbus and HART protocol. |
| Supply Voltage Effect | 0.005% of span per volt. |
| Damping Time Constant | Adjustable from 0 to 32 seconds digital damping. |
| CE Conformity (Europe) | 89/336/EEC, Electromagnetic Compatibility (EMC) Directive. |
| NAMUR NE 43 Compliance Option | Transmitter failure information is generated when the measuring information is invalid or no longer present. Failure information is transmitted as a current signal but outside the normal 4-20 mA measurement signal level. Transmitter failure values are: ≤ 3.6 mA and ≥ 21.0 mA. The normal signal range is ≥ 3.8 mA and ≤ 20.5 mA. |
| Lightning Protection Option (Code "LP") | Leakage Current: 10 microamps max. @ 42.4 VDC, 93°C Impulse Rating: 10/20 μ sec. 5,000 Amps (50 strikes) 10,000 Amps (20 strikes) (rise/decay) 10/1000 μ sec. 250 Amps (1000 strikes) 500 Amps (400 strikes) |

Physical and Approval Bodies

| Parameter | Description |
|-----------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Barrier Diaphragm Material | Dual-Head Meter Body: 316L SS, Hastelloy C-276, Monel 400, Tantalum In-Line Meter Body: 316L SS, Hastelloy C-276 |
| Process Head Material | Dual-Head Meter Body: Carbon Steel (zinc-plated), 316 SS, Hastelloy C-276, Monel. [Standard reference head is Carbon Steel (zinc-plated). Optional reference head is 316 SS.] In-Line Meter Body: 316L SS process interface. |
| Head Gaskets | Teflon is standard. Viton is available. |
| Meter Body Bolting | Carbon Steel (Zinc plated) standard. Options include 316 SS, NACE A286 SS bolts with 304 SS nuts, and B7M. |
| Mounting Bracket | Carbon Steel (Zinc-plated) or Stainless Steel angle bracket or Carbon Steel flat bracket available. |
| Fill Fluid | Silicone oil or CTFE (Chlorotrifluoroethylene) |
| Electronic Housing | Epoxy-Polyester hybrid paint. Low Copper-Aluminum. Meets NEMA 4X (watertight) and NEMA 7 (explosion proof). 316 SS optional. |
| Process Connections | Dual-Head Meter Body: 1/4-inch F-NPT and DIN 19213 are standard. 1/2-inch F-NPT with optional adapter flange. In-Line Meter Body: 1/2-inch F-NPT, 1/2 inch M-NPT, 9/16 AMINCO, DIN 19213 |
| Wiring | Accepts up to 16 AWG (1.5 mm diameter). |
| Mounting | Can be mounted in virtually any position using the standard mounting bracket. Bracket is designed to mount on 2-inch (50 mm) vertical or horizontal pipe. See Figure 3 for dual-head models, and Figure 4 for in-line models. |
| Dimensions | See Figures 5 and 6. |
| Net Weight | With Dual-Head Meter Body: 9 pounds (4.1 Kg) With In-Line Meter Body: 4.5 pounds (2.0 Kg) |
| Approval Bodies Hazardous Areas | Approved as explosion proof and intrinsically safe for use in Class I, Division 1, Groups A, B, C, D locations, and nonincendive for Class I, Division 2, Groups A, B, C, D locations. Approved EEx ia IIC T4, T5, T6 and EEx d IIC T5, T6 per ATEX standards. See attached Model Selection Guide for options. |
| Canadian Registration Number (CRN) | All ST 3000 model designs, except STG19L, STG99L, STG170, STG180, have been registered in all provinces and territories in Canada and are marked CRN: 0F8914.5C. |
| Pressure Equipment Directive (97/23/EC) | The ST 3000 pressure transmitters listed in this Specification have no pressurized internal volume or have a pressurized internal volume rated less than 1,000 bar (14,500 psig) and/or have a maximum volume of less than 0.1 liter. Therefore, these transmitters are either; not subject to the essential requirements of the directive 97/23/EC (PED, Annex 1) and shall not have the CE mark, or the manufacturer has the free choice of a module when the CE mark is required for pressures > 200 bar (2,900 psig). |

NOTE: Pressure transmitters that are part of safety equipment for the protection of piping (systems) or vessel(s) from exceeding allowable pressure limits, (equipment with safety functions in accordance with Pressure Equipment Directive 97/23/EC article 1, 2.1.3), require separate examination.

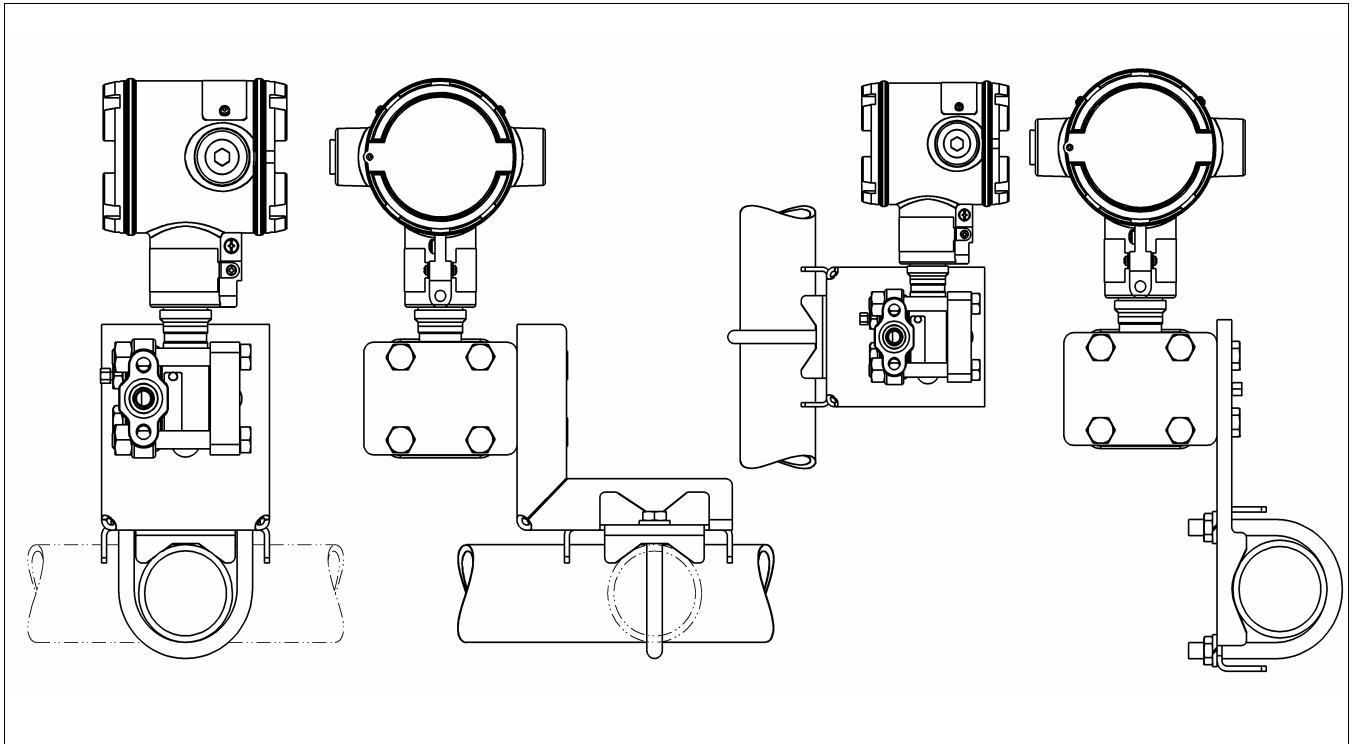


Figure 3—Examples of typical mounting positions for dual-head models STG944 and STG974

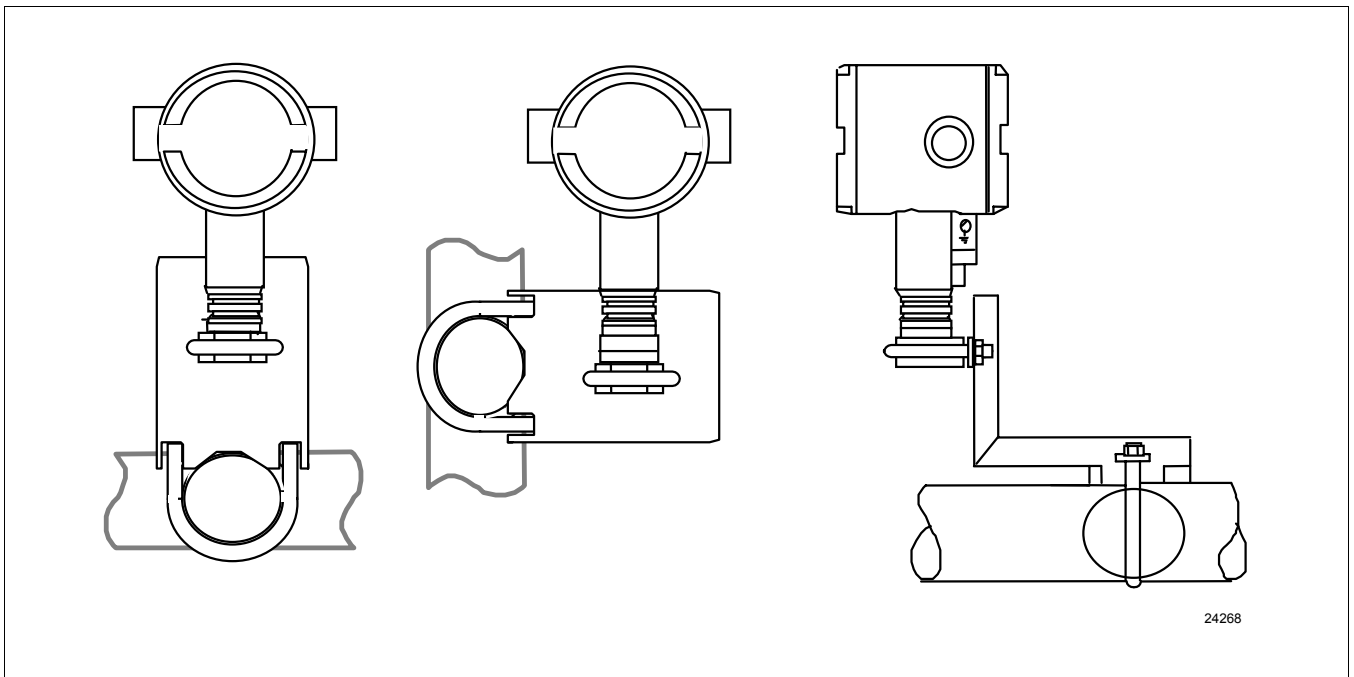


Figure 4—Examples of typical mounting positions for in-line models STG94L, STG97L, STG98L, and STG99L. Note that a mounting bracket is not required for in-line models.

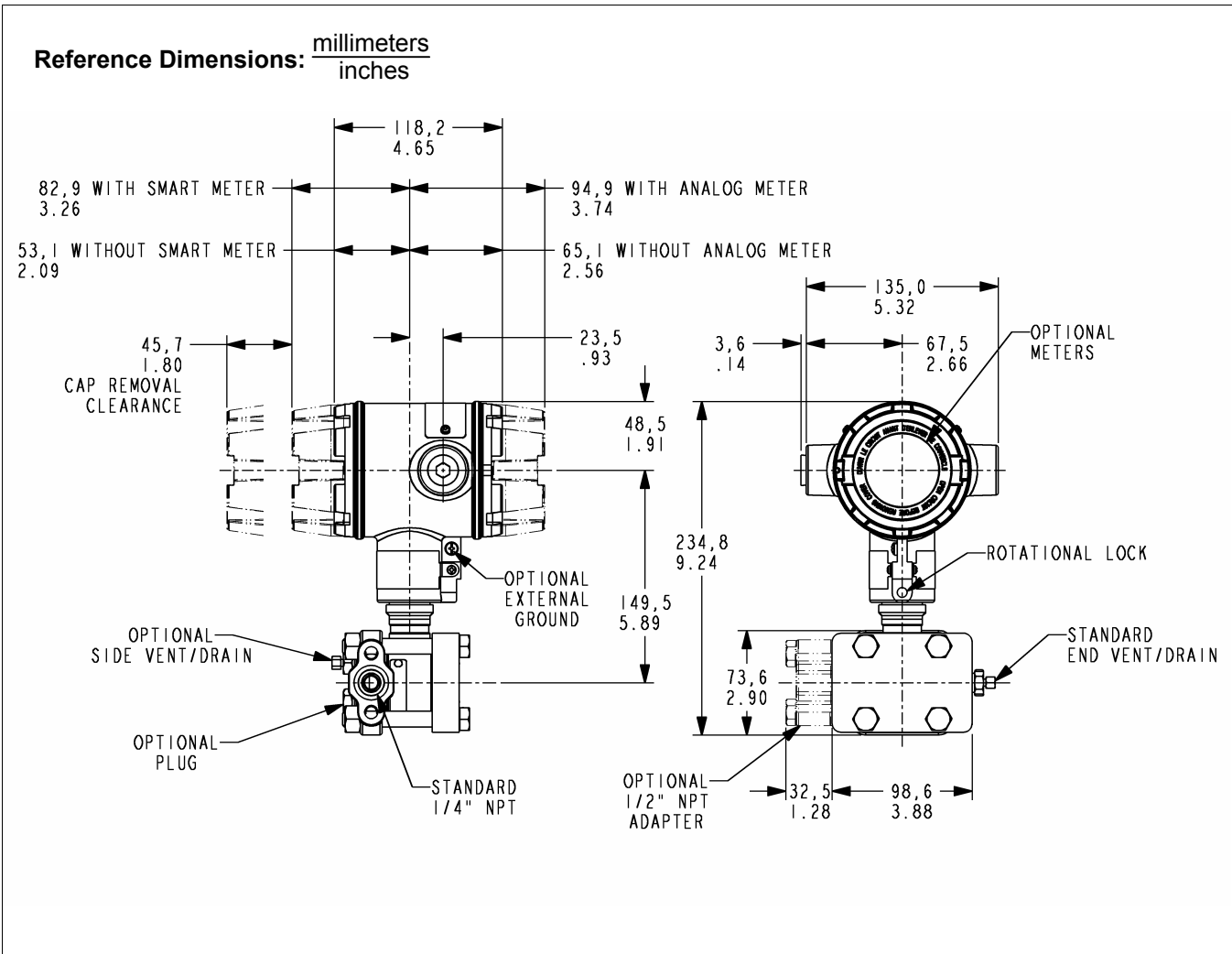


Figure 5—Typical mounting dimensions for dual-head models STG944 and STG974 for reference

ANEXO 7

TRANSMISOR DE FLUJO

Model IDP10 Differential Pressure Transmitter

Application Versatility
Rugged Dependability
Superior Performance
Choice of Electronics Modules
LCD Indicator / Pushbutton Configurator
NEMA 4X / IP66 Protection
CENELEC, CSA, FM and SAA Approval
Choice of Electronics Modules

General Description

The Foxboro I/A Series transmitters are a complete family of differential pressure, gauge pressure, and absolute pressure transmitters. Remote seals and flanged versions are available.

IDP10 series intelligent two-wire DP cell transmitters measure the difference between two pressures and transmit a proportional or square root (flow) electrical signal, in either analogue or digital mode.

Functional Specifications

Output Signal and Configuration

| Version | Output Options | Configure From |
|---------|------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| -A | Analogue 4-20 mA | Standard push buttons |
| -I | Analogue 4-20 mA | Standard push buttons |
| -T | HART/4-20 mA | HART 275 Communicator (Foxboro HT991) Windows Software (Foxboro PC20) Optional push buttons |
| -D | Digital FOXCOM or Analogue 4-20 mA | I/A Series Workstation Hand-Held Terminal (Foxboro HHT) Windows Software (Foxboro PC20) Optional push buttons |

Span and Range Limits

| Span Limit Code | Span Limits | | | Range Limits | | |
|-----------------|--------------|--------------------|---------------------------|---------------|--------------------|---------------------------|
| | kPa | inH ₂ O | mbar | kPa | inH ₂ O | mbar |
| A | 0.12 and 7.5 | 0.5 and 30 | 1.2 and 75 | -7.5 and +7.5 | -30 and +30 | -75 and +75 |
| B | 0.87 and 50 | 3.5 and 200 | 8.7 and 500 | -50 and +50 | -200 and +200 | -500 and +500 |
| C | 7.0 and 210 | 28 and 840 | 70 and 2100 | -210 and +210 | -840 and +840 | -2100 and +2100 |
| | MPa | psi | bar or kg/cm ² | MPa | psi | bar or kg/cm ² |
| D | 0.07 and 2.1 | 10 and 300 | 0.7 and 21 | -0.21 and 2.1 | -30 and +300 | -2.1 and +21 |
| E | 0.7 and 21 | 100 and 3000 | 7 and 210 | -0.21 and 21 | -30 and +3000 | -2.1 and +210 |



IDP10 Differential Pressure Transmitter

Maximum Static and Overrange Ratings

25 MPa, 3625 psi, 250 bar or kg/cm². (Either side may be higher pressure during overrange). Note that this value may be reduced when IDP10 is ordered with certain options.

Suppressed and Elevated Zero

Suppressed or elevated zero ranges are acceptable as long as the span and range limits are not exceeded.

Electrical Classification

Various certifications are available, including EExia IIC Intrinsically Safe Zone 0, EExd IIC Flameproof Zone 1 and ExN Non Sparking Zone 2.

Supply Voltage - mA Output

11.5 to 42 VDC

Relative Humidity

0 to 100%

Sensor Body Temperature

Silicone Fill Fluid : -46 to +121°C
 Fluorinert Fill Fluid : -29 to +121°C

Electronics Temperature

Without Indicator : -40 to +85°C
 With Indicator : -29 to +85°C

LCD Indicator and Push Buttons

Standard for IDP10-A and IDP10-I, optional for IDP10-D and IDP10-T. The indicator provides two lines; 5 numeric characters on the top line and 7 alphanumeric characters on the bottom line.

The pushbuttons allow for configuration of:

- linear or square root output
- adjustable damping
- forward or reverse output
- failsafe output (upscale or downscale)
- re-ranging without applying pressure (not -I)

Optional External Zero Adjustment

External zero adjustment makes it easier to zero the transmitter in the field, especially in hazardous locations.

Physical Specifications

Process Cover and Sensor Materials

A wide range of process cover/sensor material combinations is available. Process cover materials include Carbon Steel, 316 S/S, Monel® and Hastelloy® C. Sensor materials include Cobalt-Nickel-Chromium, 316L S/S, Gold Plated 316L S/S, Monel®, Hastelloy® C and Tantalum.

Process Cover Bolts and Nuts

ASTM A193 B7 and ASTM A194 2H bolts and nuts are standard. Options include NACE Class B7M, 17-4 PH S/S and 316 S/S.

Process Connections

A range of different process connections is available, including ¼" NPT and ½" NPT

Sensor Fill Fluids

Silicone Oil or Fluorinert.

Environmental Protection

The transmitter is dust-tight and weatherproof per IEC IP66 and provides the environmental

and corrosion resistant protection of NEMA Type 4X.

Mounting Position

The transmitter may be mounted in any orientation. Any zero effect caused by the mounting position can be eliminated by re-zeroing.

Approximate Mass

Without process connectors - 3.5 kg
 With process connectors - 4.2 kg
 With LCD indicator - Add 0.2 kg

Performance Specifications

Accuracy

| Version | Configured Output Signal | Accuracy in % of Calib. Span |
|-------------------|--------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|
| IDP10-D & IDP10-T | Digital Linear Digital Square Root 4-20 mA Linear 4-20 mA Square Root | ±0.07 ±0.10 ±0.10 ±0.13 |
| IDP10-I & IDP10-A | 4-20 mA Linear 4-20 mA Square Root | ±0.20 ±0.20 |

Includes Linearity, Hysteresis and Repeatability. Not valid for small spans.

Stability

Long term drift is less than ±0.1% of upper range limit over a 12-month period.

Ambient Temperature Effect

Less than ±0.2% of upper range limit for a 55°C change.

Further Information

For more comprehensive specifications, please refer to the following Foxboro Product Specification Sheets:-

- IDP10-A : PSS 2A-1C14C
- IDP10-I : PSS 2A-1C14C
- IDP10-T : PSS 2A-1C14B
- IDP10-D : PSS 2A-1C14A

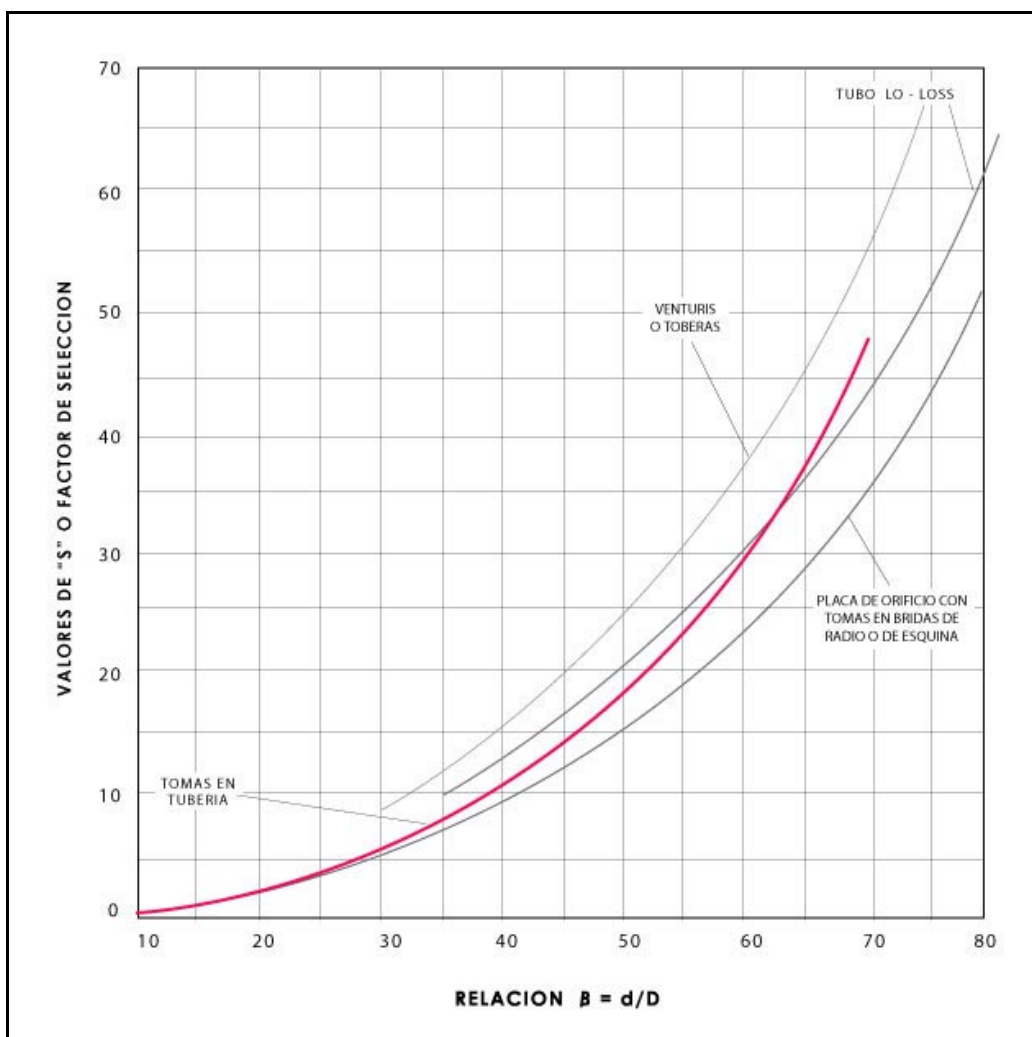
These are available from Thermocouple Instruments Ltd, on request.



ANEXO 8

TABLA PARA CÁLCULO DE PLACA DE ORIFICIO

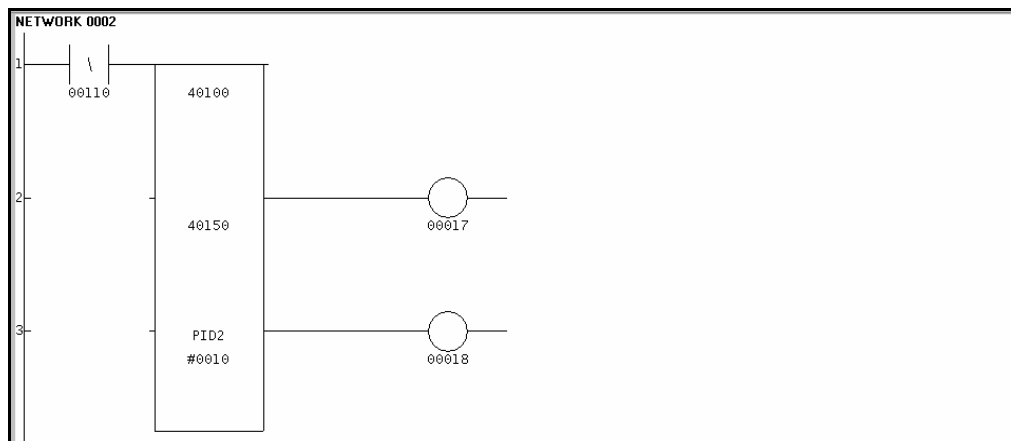
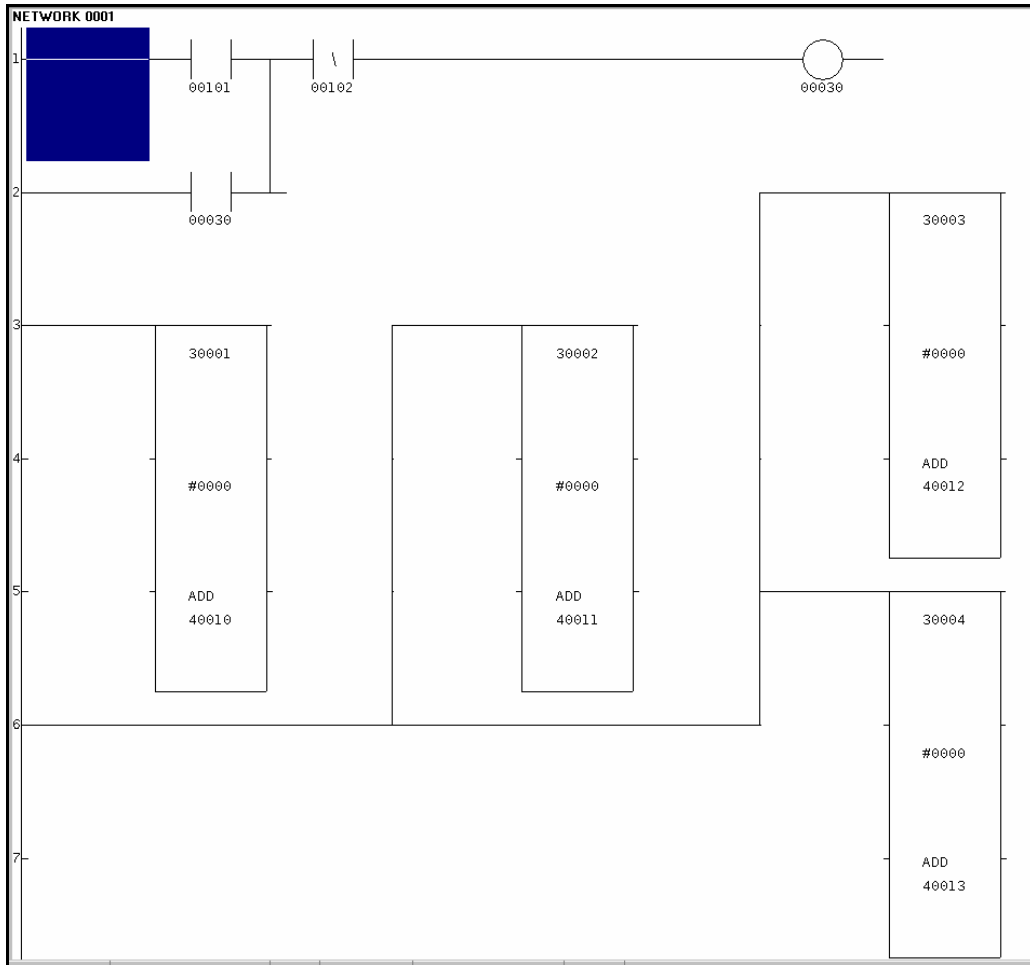
TABLA PARA CALCULO DE PLACA DE ORIFICIO

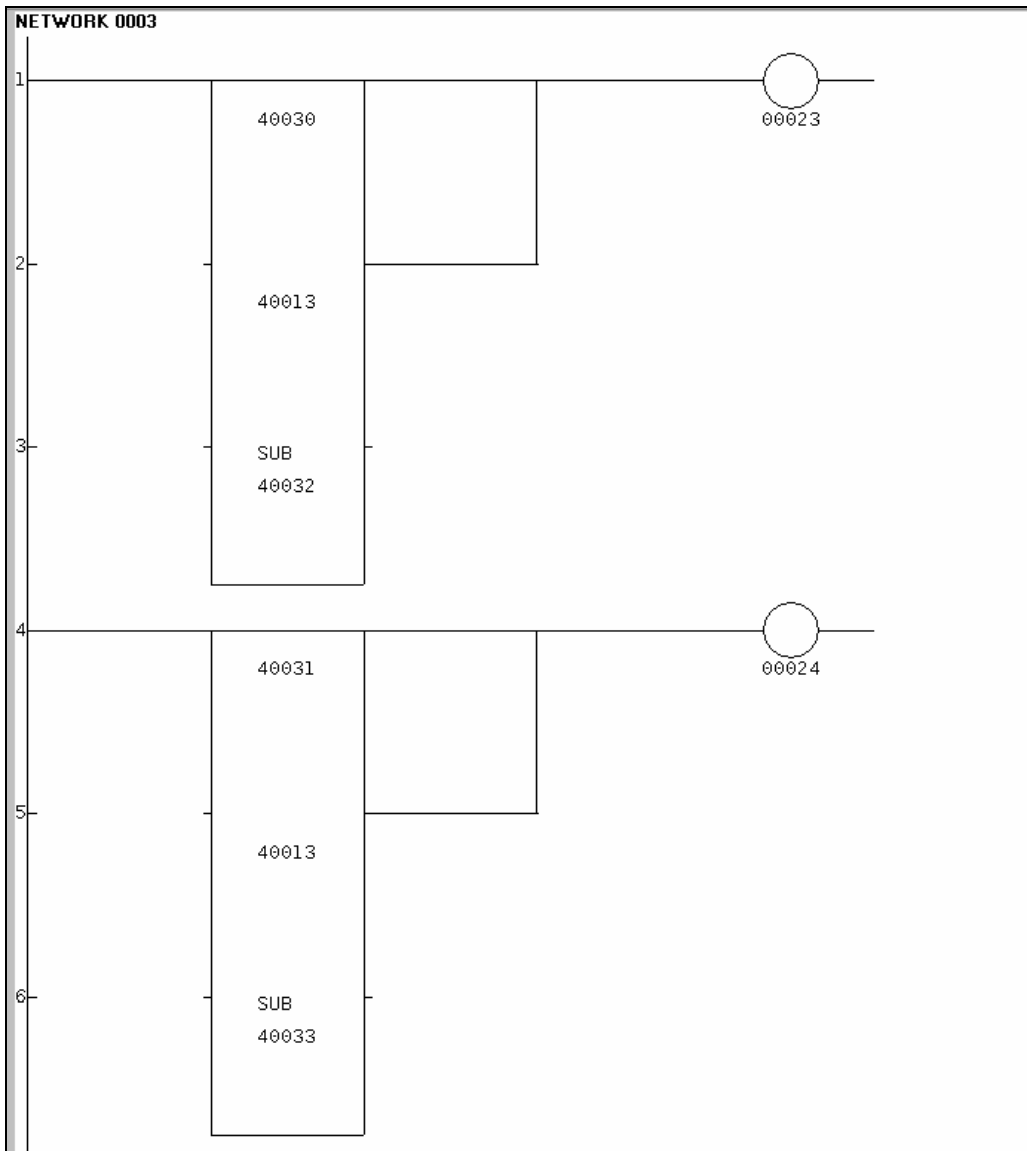
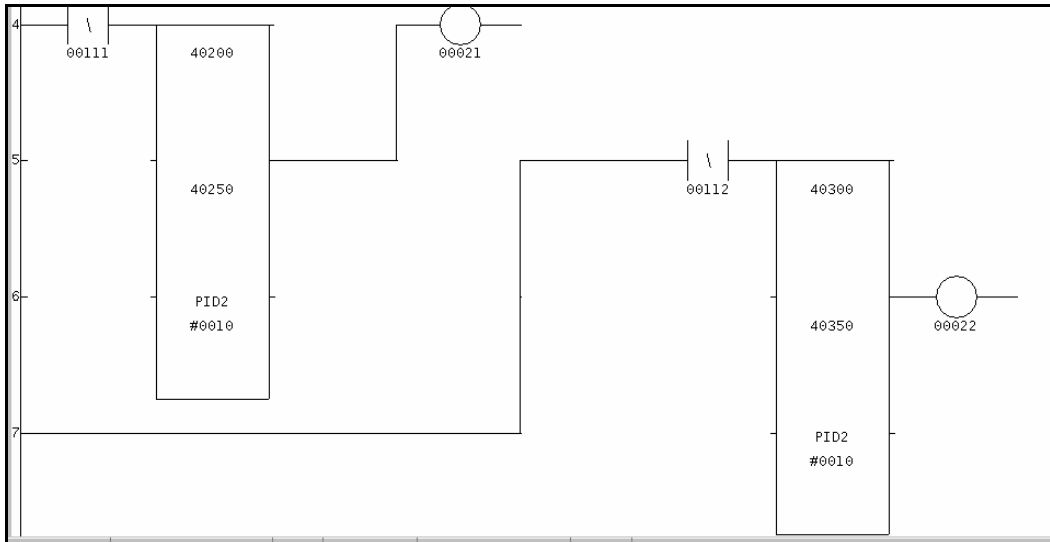


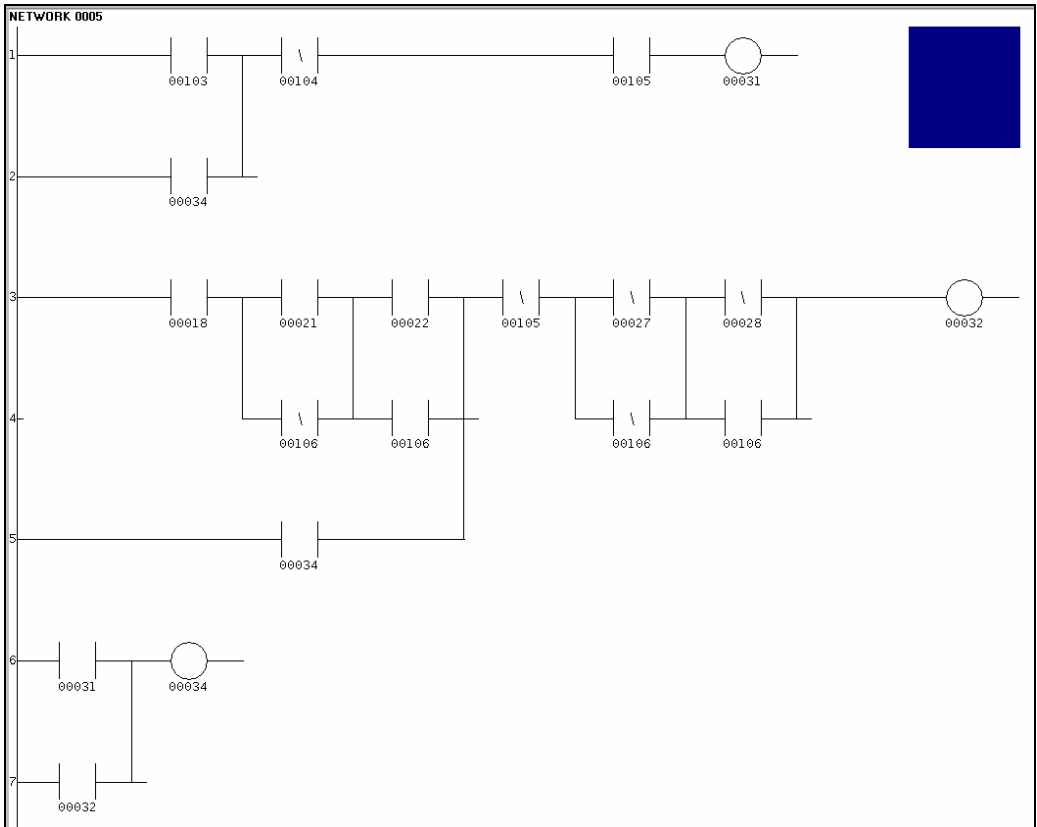
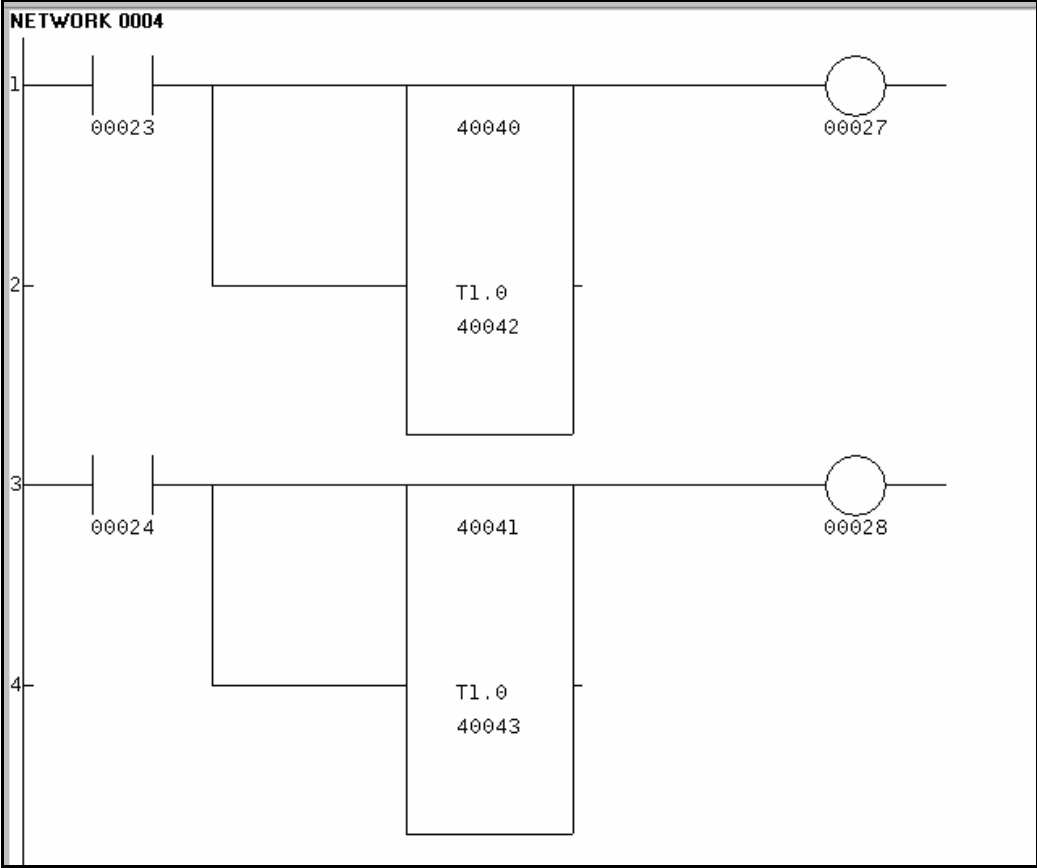
ANEXO 9

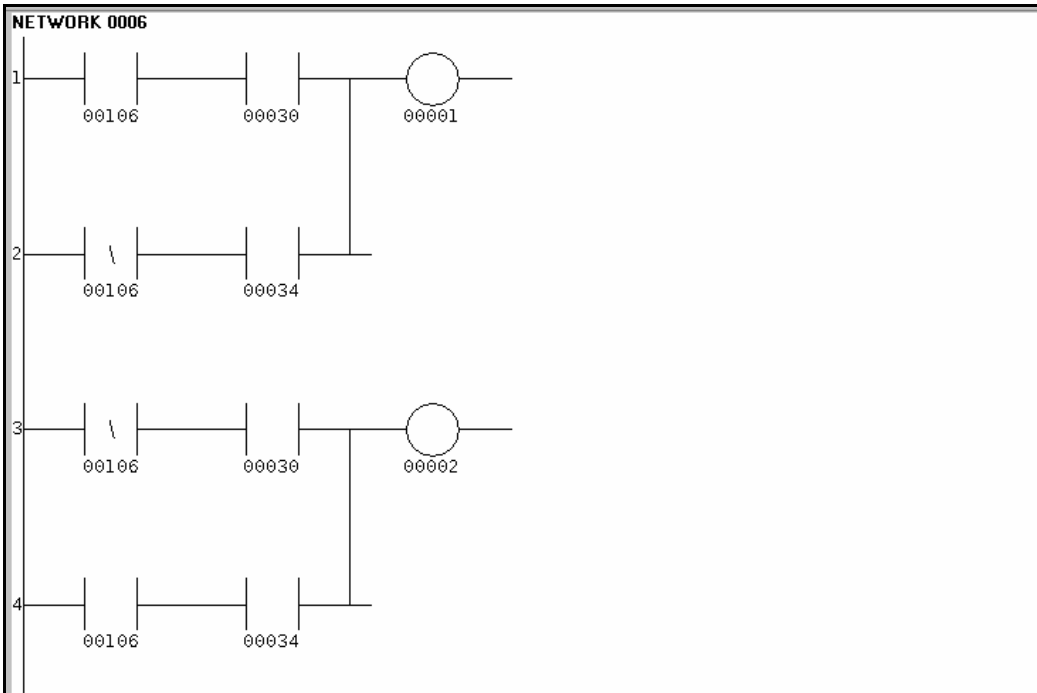
SOFTWARE DE CONTROL PARA SIMULACIÓN

SOFTWARE DE CONTROL DESARROLLADO PARA LA SIMULACIÓN









| | | | | | | |
|---|--|---------------|--|---------------|--|---------------|
| 5 | | 40010 | | 40011 | | 40012 |
| 6 | | 40113 | | 40213 | | 40313 |
| 7 | | BLKM #0001 | | BLKM #0001 | | BLKM #0001 |

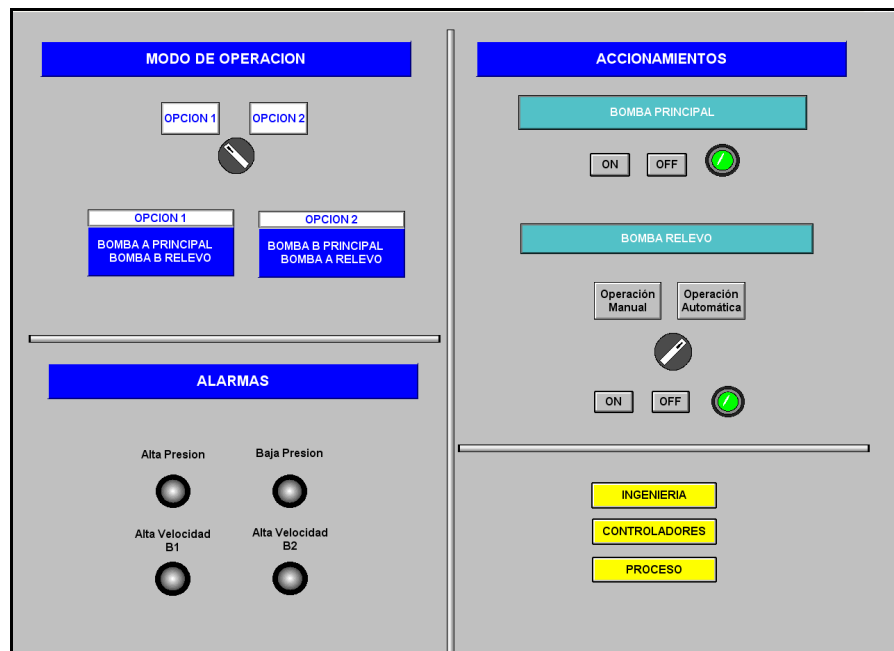
ANEXO 10

MANUAL DE USUARIO

MANUAL DE USUARIO

La interfaz desarrollada consta de 4 pantallas que son:

- ACCIONAMIENTO

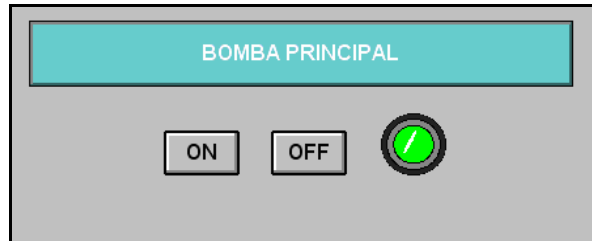


Esta pantalla se encuentra dividida en cuatro partes:

1. Modo de operación: que da la posibilidad mediante un switch de escoger entre dos opciones, las mismas que se especifican en pantalla.



2. Bomba Principal: desde la botonera mostrada se puede arrancar o detener la bomba, además se cuenta con un indicador que ayuda a visualizar el estado de operación.



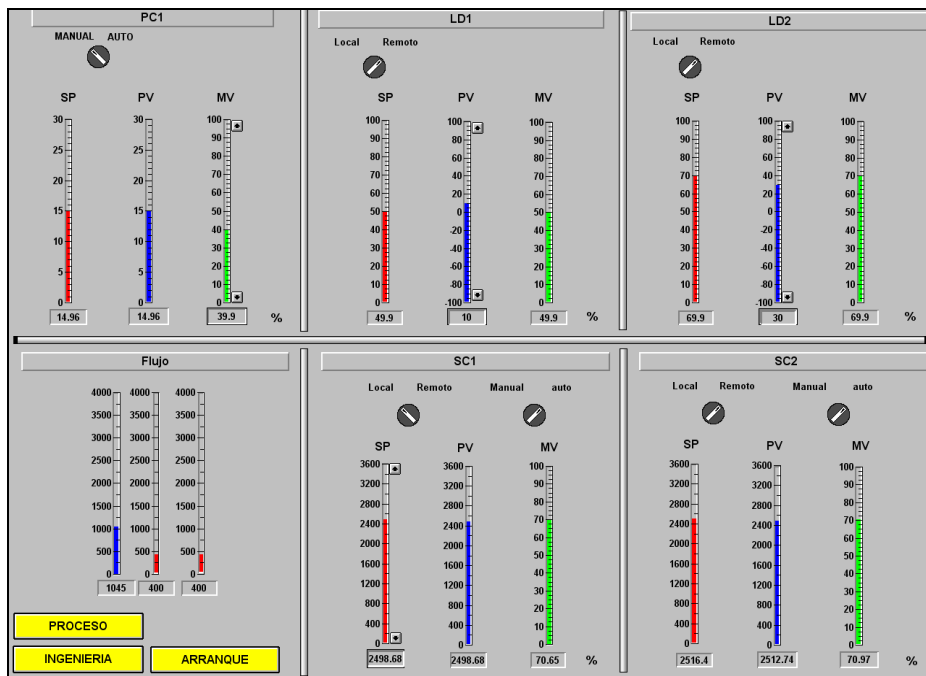
3. Bomba Relevo: en primer lugar se cuenta con un switch para escoger el tipo de operación (automático/manual). En caso de que la opción manual sea seleccionada se habilitan los botones de ON/OFF, mientras que si la operación es automática el sistema se encarga de controlar el estado de la bomba. En ambos casos se cuenta con un indicador del estado de operación.



4. Alarmas: En esta parte del panel se cuenta con indicadores que muestran cualquier anomalía en el sistema

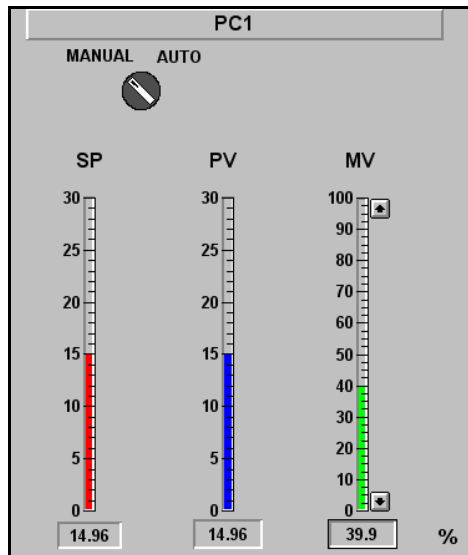


- CONTROLADORES

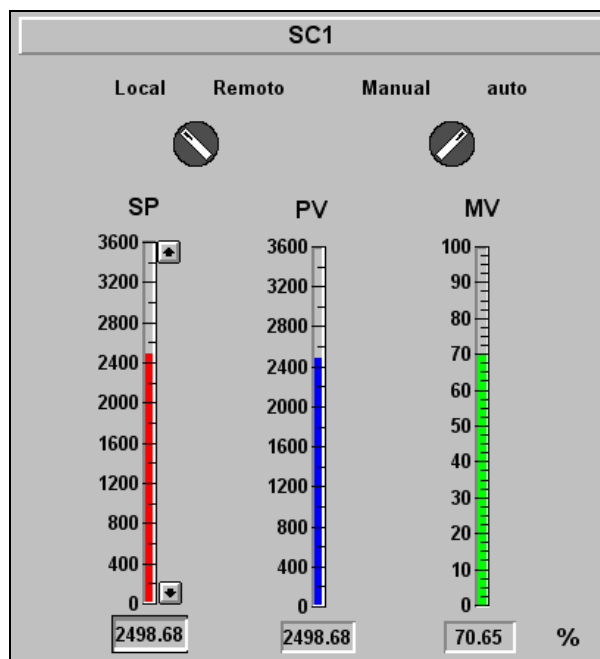


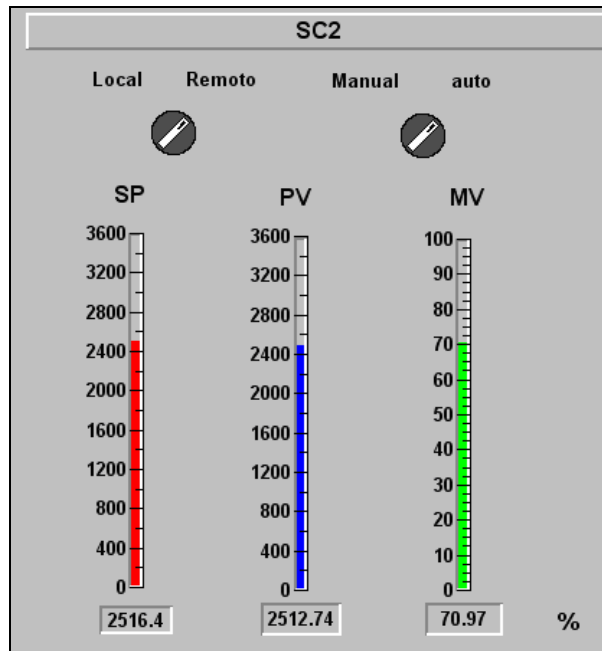
En este panel se visualizan el controlador de presión (PC1), los controladores de velocidad (SC1 y SC2), los distribuidores de carga (LD1 y LD2) y los valores de flujo. Para los controladores se registran los valores de set point (SP), variable controlada (PV) y variable manipulada (MV)

PC1: este controlador puede funcionar de forma manual o automática para lo que cuenta con un switch de selección. En modo manual el operador determina el valor de la señal de control mientras que en automático depende del controlador

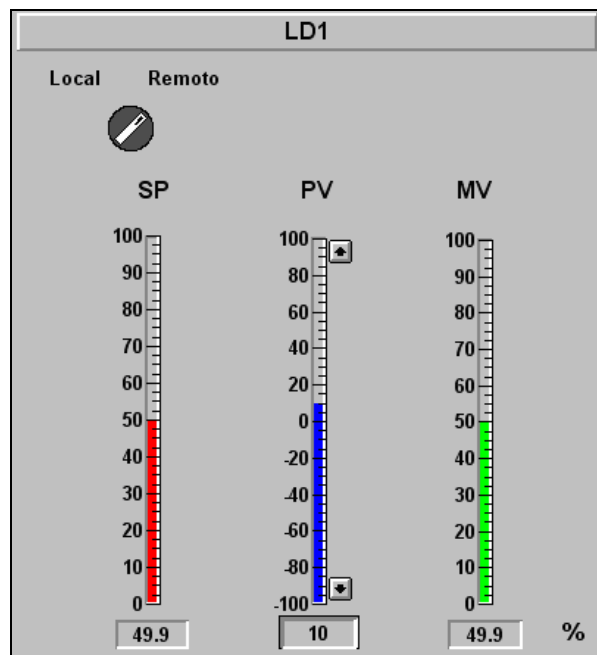


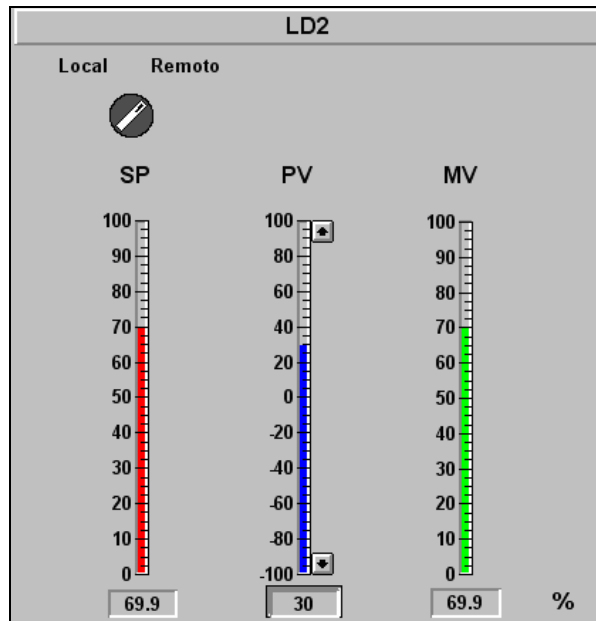
SC1 y SC2: Estos controladores pueden funcionar de modo local o remoto. En modo remoto trabajan en cascada con el controlador de presión PC1. Por otro lado en modo local trabaja de manera independiente y el operador puede elegir entre operación manual o automática, si se trabaja en modo manual el operador determina el valor de la señal de control mientras que en automático la señal de control depende del controlador.



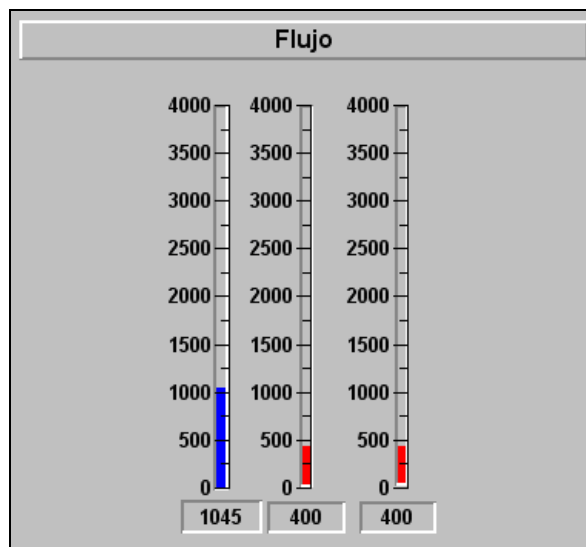


LD1 Y LD2: los distribuidores de carga pueden trabajar de manera local o remota, para lo que se cuenta con un switch de selección. En local, el operador puede ingresar un valor de señal que le será asignado al set point de SC, con lo cual PC1 no toma parte del lazo de control. En modo remoto esta señal es la suma de la señal de control de PC1 con un bias ingresado en esta pantalla.

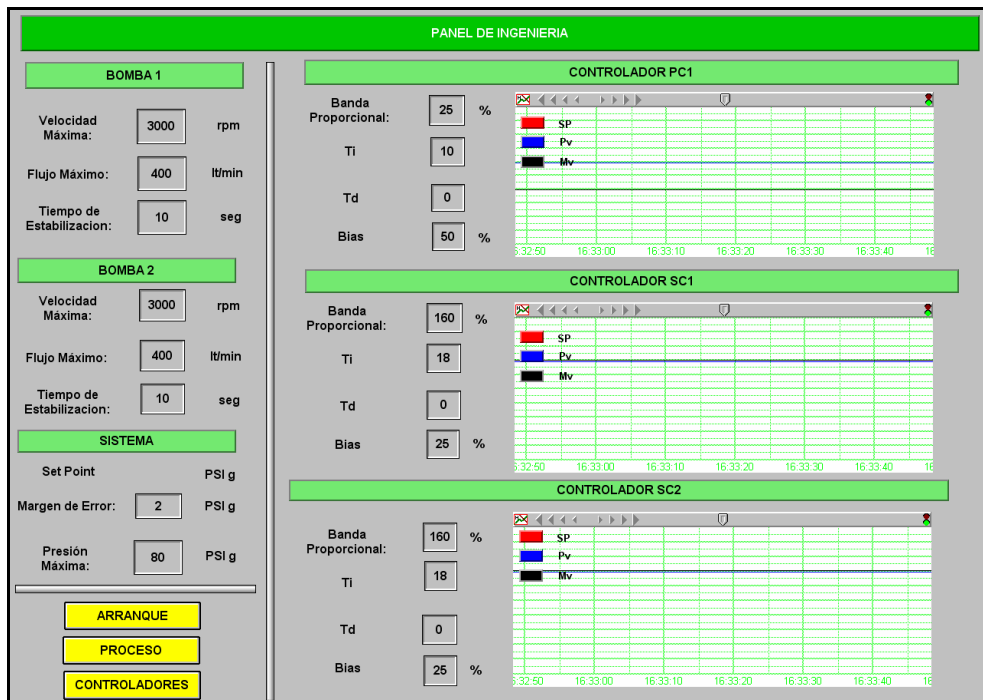




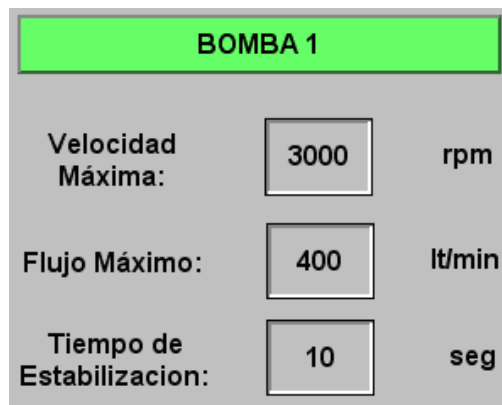
Flujo: en esta sección se observan tres barras, la primera representa el flujo total medido en el sistema; las otras dos barras corresponden al flujo nominal de cada bomba. Con lo cual se puede tener una comparación visual de la demanda del sistema y la capacidad de cada bomba.



- INGENIERÍA

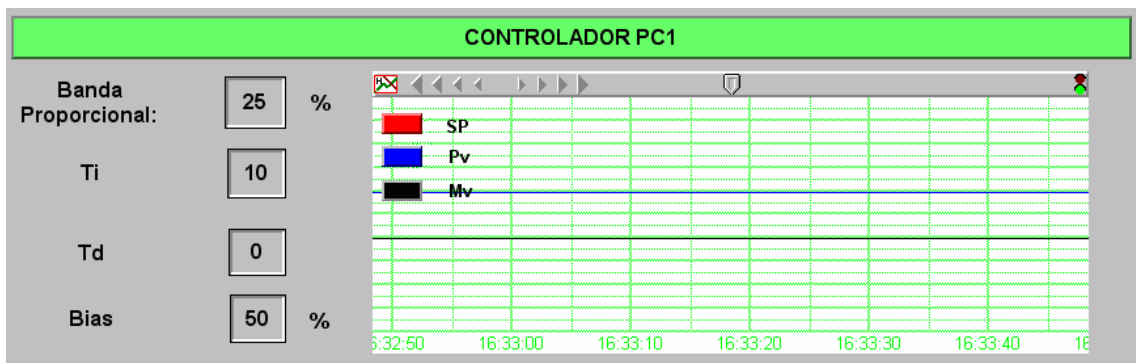


En la pantalla de ingeniería se setean características propias de las bombas y del sistema, como se observa a continuación:



| SISTEMA | | |
|------------------|---------------------------------|-------|
| Set Point | | PSI g |
| Margen de Error: | <input type="text" value="2"/> | PSI g |
| Presión Máxima: | <input type="text" value="80"/> | PSI g |

En esta pantalla, se permite setear los parámetros de sintonización del control PID del proceso.



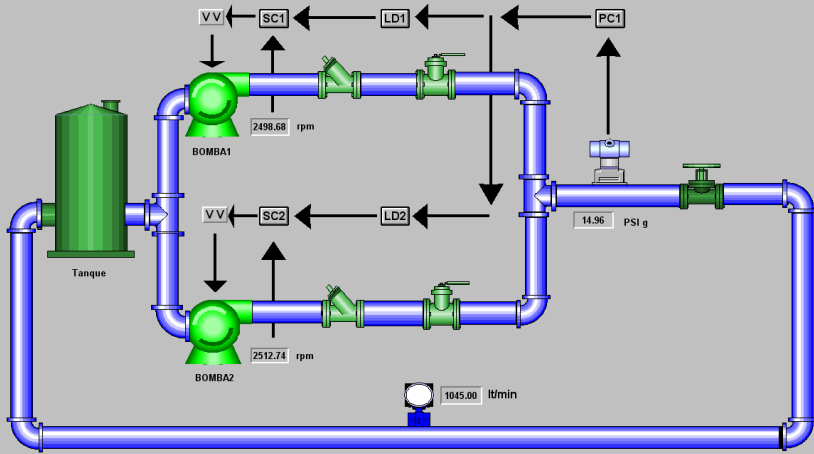
Haciendo click sobre el cuadro de texto se despliega la siguiente ventana donde se ingresa el valor deseado.

The dialog box is titled 'Enter new value for PB:'. It contains a text input field with the value '22' entered. Below the input field, there are three buttons: 'OK', 'Cancel', and 'Keypad >>'. The dialog also displays the range 'Maximum: 500' and 'Minimum: 5'.

- PROCESO

Esta pantalla sirve para comprender mejor lo que está ocurriendo en el proceso porque nos permite visualizar de forma gráfica el accionamiento de las bombas, así como monitorear todas las variables del proceso.

MONITOREO DEL PROCESO



CONTROLADORES

ARRANQUE

INGENIERIA

INDICE DE FIGURAS

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura. 1.1. Vista panorámica de Refinería Estatal Esmeraldas | 1 |
| Figura. 1.2. Proceso de generación de vapor | 6 |
| Figura. 1.3. Instalación año 1976 | 8 |
| Figura. 1.4. Instalación año 1981 | 9 |
| Figura. 1.5. Instalación año 1988 | 9 |
| Figura. 1.6. Instalación año 1991 | 10 |
| Figura. 1.7. Instalación año 1997 | 10 |
| | |
| Figura. 2.1. La densidad del líquido influye en la altura de una columna del líquido | 13 |
| Figura. 2.2. Sistema básico de bombeo | 14 |
| Figura. 2.3. Efecto de la cavitación en la capacidad de la bomba | 19 |
| Figura. 2.4. Curvas características de una bomba centrífuga | 21 |
| Figura. 2.5. Curva de fricción del sistema | 21 |
| Figura. 2.6. Curva de carga del sistema | 22 |
| Figura. 2.7. Punto de operación de una bomba | 22 |
| Figura. 2.8. Aplicación de una bomba | 23 |
| Figura. 2.9. Bomba centrífuga | 24 |
| Figura. 2.10. Partes de una bomba centrífuga | 27 |
| Figura. 2.11. Funcionamiento de bombas en paralelo | 27 |
| Figura. 2.12. Vista externa de un caldero fuego-tubular y acua-tubular | 29 |
| Figura. 2.13. Esquema básico de un caldero acua-tubular | 30 |
| Figura. 2.14. Circulación del agua en un caldero acua-tubular | 31 |
| | |
| Figura. 3.1. Instalación actual del Sistema de alimentación de agua a calderos | 36 |
| Figura. 3.2. Control de nivel de agua en el domo del caldero | 38 |
| Figura. 3.3. Problema de diferencia de cabezas en las bombas | 39 |
| Figura. 3.4. Curvas de carga- capacidad de la bomba | 41 |
| Figura. 3.5. Análisis de desperdicio de energía | 42 |
| Figura. 3.6. Variación de la curva de carga del sistema | 45 |
| Figura. 3.7. Variación de la curva de carga-capacidad de la bomba | 46 |
| Figura. 3.8. Esquema de control | 47 |
| Figura. 3.9. Diseño propuesto | 50 |
| Figura. 3.10. Diagrama eléctrico | 52 |
| Figura. 3.11. Magnetic Pickup | 54 |
| | |
| Figura. 4.1. Diagrama de bloques de la lógica de control | 61 |
| Figura. 4.2. Operación automática de una bomba | 64 |
| Figura. 4.3. Operación de bombas en paralelo | 65 |
| Figura. 4.4. Lógica del distribuidor de carga | 65 |
| Figura. 4.5. Operación del control de velocidad | 66 |
| Figura. 4.6. Identificación de bomba principal y relevo | 67 |
| Figura. 4.7. Pantalla de Accionamientos | 69 |
| Figura. 4.8. Pantalla de controladores | 70 |
| Figura. 4.9. Lazo de control | 70 |
| Figura. 4.10. Pantalla de Ingeniería 1 | 71 |
| Figura. 4.11. Pantalla de Ingeniería 2 | 72 |
| Figura. 4.12. Pantalla de Proceso | 73 |

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura. 5.1. PLC Modicon Micro 61200 | 75 |
| Figura. 5.2. PLC Esquema del circuito de entradas analógicas | 76 |
| Figura. 5.3. PLC Esquema del circuito de salidas analógicas | 76 |
| Figura. 5.4. Variador de velocidad | 77 |
| Figura. 5.5. Conexiones básicas | 78 |
| Figura. 5.6. Conexiones de potencia | 78 |
| Figura. 5.7. Transmisor de presión | 79 |
| Figura. 5.8. Transmisor de presión diferencial | 80 |
| Figura. 5.9. Esquema del proceso | 83 |
| Figura. 5.10. Modulo de simulación | 83 |
| Figura. 5.11. Función PID2 | 84 |
| Figura. 5.12. Diagrama de bloques de la lógica de control | 88 |
| Figura. 5.13. Operación automática de una bomba | 91 |
| Figura. 5.14. Operación de bombas en paralelo | 92 |
| Figura. 5.15. Lógica del distribuidor de carga | 92 |
| Figura. 5.16. Operación del control de velocidad | 93 |
| Figura. 5.17. Identificación de bomba principal y relevo | 94 |
| Figura. 5.18. Pantalla de Accionamientos | 95 |
| Figura. 5.19. Pantalla de Controladores | 96 |
| Figura. 5.20. Pantalla de Ingeniería | 98 |
| Figura. 5.21. Pantalla del Proceso | 98 |
| | |
| Figura. 6.1. Bomba a presión máxima | 100 |
| Figura. 6.2. Flujo máximo a presión de operación | 101 |
| Figura. 6.3. Punto normal de operación - Pantalla de controladores | 102 |
| Figura. 6.4. Punto normal de operación - Pantalla de Ingeniería | 103 |
| Figura. 6.5. Sistema implementado | 103 |
| Figura. 6.6. Reducción de la demanda de flujo - Pantalla de Ingeniería | 104 |
| Figura. 6.7. Reducción de la demanda de flujo - Pantalla de Controladores | 105 |
| Figura. 6.8. Aumento de la demanda de flujo - Pantalla de ingeniería. | 106 |
| Figura. 6.9. Aumento de la demanda de flujo - Pantalla de Controladores | 107 |
| Figura. 6.10. Monitoreo del proceso cuando arranca la bomba de relevo | 108 |
| Figura. 6.11. Comportamiento del sistema cuando arranca la bomba de relevo | 109 |
| Figura. 6.12. Bombas trabajando en paralelo- Pantalla de Controladores | 110 |
| Figura. 6.13. Esquema de control | 111 |
| Figura. 6.14. Bombas en paralelo a distinta velocidad | 111 |
| Figura. 6.15. Comportamiento del sistema ante el cambio de velocidad de una de las bombas | 112 |
| Figura. 6.16. Comportamiento del sistema cuando se desactiva el relevo | 113 |
| Figura. 6.17. Sistema operando con una sola bomba. | 114 |
| Figura. 6.18. Sistema operando con bombas en paralelo. | 115 |
| | |
| Figura. 7.1. Muestra de la demanda de flujo durante un T=1 mes | 117 |
| Figura. 7.2. Curva característica de la bomba YP | 118 |
| Figura. 7.3. Resultados obtenidos con el software para el cálculo de ahorro de energía | 118 |

INDICE DE TABLAS

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabla. 1.1. Condiciones de diseño de los generadores de vapor | 11 |
| Tabla. 1.2. Capacidad de generación de vapor de los calderos | 11 |
| Tabla. 3.1. Características de las bombas de alimentación de agua a calderos | 34 |
| Tabla. 3.2. Características de los motores de las bombas A y C | 34 |
| Tabla. 3.3. Características de las turbinas de las bombas B y D | 35 |
| Tabla. 3.4. Requisitos de los variadores de velocidad | 51 |
| Tabla. 5.1. Características de los variadores de velocidad | 77 |
| Tabla. 5.2. Características del transmisor de presión | 79 |
| Tabla. 5.3. Características del transmisor de flujo | 81 |
| Tabla. 6.1. Bomba a presión máxima | 100 |
| Tabla. 6.2. Presión máxima y de operación de una bomba | 100 |
| Tabla. 6.3. Flujo máximo a presión de operación | 102 |
| Tabla. 6.4. Punto normal de operación | 103 |
| Tabla. 6.5. Comparación de funcionamiento de las bombas entre demanda normal y disminución de demanda | 105 |
| Tabla. 6.6. Comparación de funcionamiento de las bombas entre demanda normal y aumento de demanda | 107 |
| Tabla. 6.7. Comparación de funcionamiento de las bombas entre demanda normal y operación de dos bombas en paralelo | 110 |
| Tabla. 6.8. Operación de dos bombas en paralelo con distribuidor de carga | 112 |
| Tabla. 6.9. Operación de dos bombas en paralelo y de una sola bomba para satisfacer una misma demanda de flujo | 115 |
| Tabla. 7.1. Inversión inicial | 116 |
| Tabla. 7.2. Ahorro energético | 119 |
| Tabla. 7.3. Costos por paralización de planta | 119 |
| Tabla. 7.3. Calculo de FC | 120 |

GLOSARIO DE TÉRMINOS

Carga o columna

Una columna de agua u otro líquido en un tubo vertical desarrolla una cierta presión (fuerza/unidad de área) sobre la superficie horizontal en el fondo del tubo. La altura de la columna del líquido que produce la presión en cuestión se conoce como carga y el peso del líquido que actúa sobre la superficie es lo que produce la presión.

NPSH

El NPSH (Carga neta positiva de succión), es la diferencia entre la presión del líquido a bombear referida al eje del impulsor y la presión de vapor del líquido a la temperatura de bombeo, referida en metros. Existen dos tipos de NPSH:

NPSH Requerido (NPSHr) es un dato básico de cada tipo de bomba, variable según modelo, tamaño y condiciones de servicio; siendo un dato a facilitar por el fabricante el cual lo ha obtenido a través de ensayos.

NPSH Disponible (NPSHa): Es una característica del sistema en el que trabaja una bomba centrífuga, y depende de la carga de succión o elevación, la carga de fricción y la presión de vapor del líquido manejado a la temperatura de bombeo.

Cavitación

La cavitación tiene lugar cuando el líquido acelera al pasar a través del rodete. El aumento de energía cinética debido a esta aceleración se traduce en una disminución de la presión estática.

Las más evidentes manifestaciones de cavitación en una bomba son el ruido y las vibraciones a las que siguen la pérdida de caudal o , en casos graves, la destrucción del rodete de la bomba.

Factor de potencia:

Factor de potencia [$\cos \Phi$] se define como la razón que existe entre Potencia Real [P] y Potencia Aparente [S], siendo la potencia aparente el producto de los valores eficaces de la tensión y de la corriente:

$$\cos \Phi = \frac{P}{S}$$

El factor de potencia nunca puede ser mayor que la unidad, regularmente oscila entre 0.8 y 0.85. En la práctica el factor de potencia se expresa, generalmente, en tanto por ciento, siendo el 100% el factor máximo de potencia posible. Un factor de potencia bajo es una característica desfavorable de cualquier carga.

Factor de servicio:

El factor de servicio de un motor se obtiene considerando la aplicación del motor, para demandarle más, o menos potencia, y depende directamente del tipo de maquinaria impulsada:

$$P = [\#F(E)I(\eta)F.P.]$$

$$Pr = P(F.S.) \therefore F.S. = \frac{Pr}{P}$$

Desaireadores

Se conocen como desaireadores (desgasificadores) aquellos dispositivos mecánicos empleados para liberar los gases contenidos en el agua de alimentación (aire, oxígeno, anhídrido carbónico y otros gases).

Su funcionamiento consiste en dividir el agua de alimentación en finas gotitas, calentándolas a continuación para transformarlas en vapor dentro

del desaireador, y separar el aire, anhídrido carbónico y otros gases del vapor a medida que este se va condensando. En los desaireadores el fluido calorífico acostumbra a ser el vapor, a presiones comprendidas entre valores altos hasta otros inferiores a la presión atmosférica.

Protocolo Modbus

En su definición inicial Modbus era una especificación de tramas, mensajes y funciones, utilizada para la comunicación con los PLCs Modicon.

Debido a que fue incluido en los PLCs de la prestigiosa firma Modicon en 1979, ha resultado un estándar de facto para el enlace serie entre dispositivos industriales.

Modbus puede implementarse sobre cualquier línea de comunicación serie y permite la comunicación por medio de tramas binarias o ASCII con un proceso interrogación-respuesta simple. Modbus Plus define un completo bus de campo basado en técnica de paso de testigo. Se utiliza como soporte físico el par-trenzado o fibra óptica.

Set Point (SP)

Denominado también como punto de ajuste, punto de control o punto de referencia, es el valor que se desea que tenga la variable controlada.

Variable controlada (PV)

Es la variable que se debe mantener o controlar dentro de algún valor deseado.

Variable manipulada (MV)

Es la variable que se utiliza para mantener la variable controlada en el punto de control.

Sangolquí, Marzo del 2006

ELABORADO POR:

Srta. Norma Daniela Granja Toledo

Sr. Nelson Enrique Altuna Guevara

AUTORIDADES:

Sr. Ing. Xavier Martínez C.

Tnt. Crnl. Estado Mayor

Decano de la Facultad de Ingeniería Electrónica

Sr. Dr. Jorge Carvajal

Secretario Académico de la Facultad de Ingeniería Electrónica