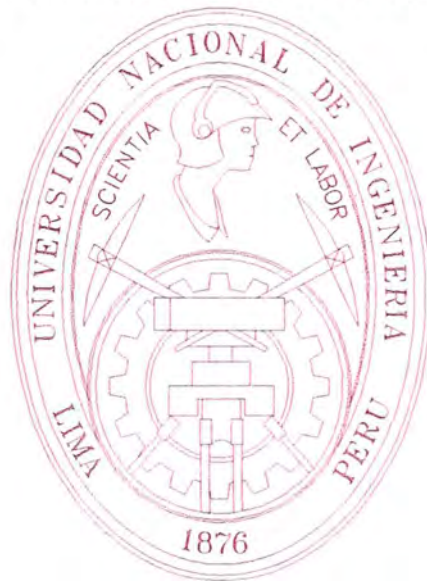


UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA



**“AUTOMATIZACIÓN DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN DE
LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA - YAUPI”**

INFORME DE SUFICIENCIA

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

ENRIQUE ELIAS RAMOS ROMÁN

PROMOCIÓN 1997-I

LIMA-PERÚ

2005

CONTENIDO

PRÓLOGO	1
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	4
1.1 Objetivo	4
1.2 Situación actual	5
1.3 Sistema propuesto	5
CAPÍTULO II: DESCRIPCIÓN DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA	7
2.1 La central hidroeléctrica de Yaupi	7
2.2 Despacho de carga	10
2.3 Principio de operación de la central hidroeléctrica	12
2.4 Características de las estructuras hidráulicas	13
2.4.1 Represa Yuncan	13
2.4.2 Bocatoma	13
2.4.3 Canal	13
2.4.4 Desarenador	14

CAPÍTULO III: PRINCIPIO DEL PROCESO DE REFRIGERACIÓN	15
3.1 Modo de operación manual	16
3.1.1 Proceso de vaciado del reservorio	16
3.1.2 Proceso de llenado del reservorio	17
CAPÍTULO IV: TEORÍA DE LA AUTOMATIZACIÓN	22
4.1 Control automático	23
4.2 Sistemas de control	23
4.3 Elementos del sistema de control	25
4.3.1 Sensor Elemento Primario de Medición	27
4.3.1.1 Tipos de Sensores	27
4.3.2 Controlador	28
4.3.3 Actuador Elemento Final de Control	29
4.3.3.1 Actuadores Eléctricos	30
4.3.3.2 Actuadores Neumáticos	30
4.3.3.3 Actuadores Hidráulicos	30
4.3.4 Proceso	30
4.3.4.1 Características Dinámicas de las Variables de Proceso	30
4.3.4.2 Respuesta de los procesos frente a una perturbación	31
4.4 El automatismo convencional en base a reles y como justificar la alternativa moderna el PLC	32
4.4.1 Tableros eléctricos de automatización en base a reles	32
4.4.2 El PLC como alternativa al automatismo	34
4.4.3 Ventajas de los PLCs respecto a la lógica convencional	35

4.4.4 Comparación técnico-económica de la automatización con PLC versus equipos convencionales	40
---	----

CAPÍTULO V: LA AUTOMATIZACIÓN APLICADA AL PROCESO

DE REFRIGERACIÓN	44
5.1 Diseño de una válvula motorizada	44
5.1.1 Diseño de engranajes cónicos de dientes rectos	44
5.1.1.1 Cálculo por fatiga superficial	46
5.1.1.2 Cálculo por resistencia a la fatiga	48
5.1.2 Diseño de engranajes cilíndricos de dientes rectos	49
5.1.2.1 Cálculo por fatiga superficial	51
5.1.2.2 Cálculo por resistencia a la fatiga	52
5.2 Filosofía de Control del Proceso de Refrigeración	53
5.2.1 Objetivo del sistema	53
5.2.2 Descripción del sistema	54
5.2.2.1 Modo de operación automática (PLC)	55
5.2.2.1.1 Proceso de vaciado del reservorio	55
5.2.2.1.2 Proceso de llenado del reservorio	56
5.3. Otras prestaciones	58
5.3.1 Amperaje y KW	58
5.3.2 Arranque de las bombas principales y auxiliares.	58
5.3.3 Reportes	58
5.4 Entradas y salidas del sistema	58

CAPÍTULO VI: EVALUACIÓN ECONÓMICA	66
6.1 Costo de la automatización convencional del proceso de refrigeración (manual)	67
6.2 Costo de la automatización por PLC del proceso de refrigeración	72
CONCLUSIONES	75
BIBLIOGRAFÍA	77
PLANOS	
ANEXOS	

PROLOGO

El Sistema de Refrigeración adolece en este momento de un Mandó Centralizado y Automático; la operación de cada uno de los componentes que conforman este Sistema se efectúa manualmente, con el riesgo de realizar malas maniobras por parte del Operador de turno.

El presente Informe consiste en diseñar el Proyecto de Automatización del Sistema de Refrigeración de la Central Hidroeléctrica de Yaupi, el cual está dirigido básicamente a darle mayor confiabilidad a la Operación del Sistema, teniendo en cuenta que esta Central Hidroeléctrica es la que suministra Energía Eléctrica a casi la mayoría de las Empresas Mineras del Centro del Perú, siendo su principal cliente Doe Run.

El proyecto está basado por un lado en motorizar las Válvulas tipo compuerta que se encuentran instaladas y por otro lado la instalación de sensores y PLC para centralizar el mando de los Equipos Eléctricos y Mecánicos que conforman este Sistema.

La salida de servicio de alguna Unidad de Generación por sobre temperatura, es una pérdida de dinero que la empresa deja de percibir por la venta de Energía Eléctrica, es por eso que urge la necesidad de hacer un replanteamiento del Sistema de Refrigeración de la Central Hidroeléctrica de Yaupi.

Es pues imperativo la implementación de Tecnología de Vanguardia (PLCs, sensores, etc.); esto va a permitir que los Operadores y Técnicos de la Central Hidroeléctrica adquieran los conocimientos suficientes para su instalación, Operación y Mantenimiento según sea el caso, para ello es necesario que todas las personas que integran la empresa estén comprometidos en la causa de sufrir cambios desde el nivel más alto hasta el de menor nivel; así por ejemplo la Dirección General tiene la responsabilidad de capacitar a su gente y de estar convencido que la inversión efectuada en la modernización de la empresa es con el objetivo de elevar la productividad y por consiguiente ser más rentable, porque puede competir e ingresar a cualquier mercado sin restricciones. Así mismo los trabajadores asumirán nuevos roles como consecuencia de un aumento de capacidad, esto significa que la Automatización es un Instrumento que se utiliza para optimizar la efectividad del personal en lugar de sustituirlo.

El presente trabajo da los lineamientos generales para la Automatización del Sistema de Refrigeración de la Central Hidroeléctrica de Yaupi, utilizando tecnología de punta en el campo del Control Industrial; para ello se ha dividido el tema en seis partes principales.

La primera parte aborda la Introducción en la que se explica el objetivo y la propuesta de automatización.

Una segunda parte comprende el fundamento teórico orientado a la información técnica de los componentes Eléctricos e Hidráulicos de la Central Hidroeléctrica.

La tercera parte está orientado al principio de funcionamiento de los sensores y PLCs, mencionando sus aplicaciones así como las ventajas y desventajas que éstos ofrecen.

La cuarta parte está dirigida a la selección de Motores Eléctricos para la apertura y cierre automática de las Válvulas Tipo compuerta del Circuito de Refrigeración.

La quinta parte describe el estudio del Proceso de Refrigeración en la que se describe paso a paso todos los procesos; llenado del Reservorio, vaciado del reservorio, marcha y parada de las Bombas principales, marcha y parada de las Bombas auxiliares, la aplicación de la Automatización al Proceso de Refrigeración de la Central Hidroeléctrica de Yaupi. En este capítulo se realiza un estudio minucioso que va desde la selección de sensores, PLCs y actuadores.

En cada caso se adjuntan esquemas generales del proceso, diagramas eléctricos de control, cableado de entradas y salidas a PLCs.

Finalmente se efectúa una evaluación económica del Proyecto de Automatización del Sistema de Refrigeración.

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1 OBJETIVO

El presente Informe tiene como objetivo lo siguiente:

- Dar mayor confiabilidad a la operación del Sistema de Refrigeración de la Central Hidroeléctrica de Yaupi
- Sentar las bases para la Automatización de toda la Central Hidroeléctrica de Yaupi, pues esto va permitir hacer un uso racional de los Recursos Hídricos con que se cuenta y conservar la ecología de la Zona en la que está inmersa la Central Hidroeléctrica.
- Evitar que el Sistema Interconectado colapse ante una falla en la Central Hidroeléctrica por causas de sobre temperatura. La salida de una C.H provoca oscilación de Potencia en la red eléctrica y si ésta no es controlada puede causar interrupción en el sistema interconectado
- Asegurar la Producción de las empresas Industriales y manufactureras con un suministro eficiente de energía eléctrica

- Asegurar el suministro de energía eléctrica a toda las Familias Escuelas, Entidades Públicas y Privadas de nuestra sociedad sin restricción alguna.
- Evitar cortes de Energía en ciertas localidades de nuestro país con la finalidad de Ahorrar energía eléctrica por falta de ésta.

1.2 SITUACIÓN ACTUAL

El actual Sistema de Refrigeración comprende Equipos Eléctricos y Mecánicos que se accionan manualmente con riesgos de efectuar malas maniobras y por consiguiente dejar fuera de servicio alguna Unidad de Generación o Transformador por sobrecalentamiento.

1.3 SISTEMA PROPUESTO

Teniendo el problema planteado se procede a la selección de los Motores Eléctricos que accionarán las Válvulas tipo compuerta, sensores y el Módulo de la adquisición – transmisión que controlará el proceso de refrigeración.

El Modulo de adquisición y Transmisión está basado en el uso de un PLC como el cerebro para el proceso a fin de llevar a cabo la Refrigeración de las Unidades de Generación y Transformadores en forma ininterrumpida.

Agradezco la desinteresada colaboración de los Técnicos e Ingenieros de la Empresa Electro Andes, a los que habiéndoles solicitado cooperación no han dudado en ayudarme con su experiencia en la consecución de aquellos conocimientos para poder elaborar este Proyecto

CAPÍTULO II

2. ASPECTOS GENERALES

2.1 LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA DE YAUPI

La Central Hidroeléctrica de Yaupi, está ubicada en el distrito de Ulcumayo, provincia y departamento de Junín, situado a una distancia de 399 Km de Lima, cuya carretera es asfaltada desde Lima hasta Carhuamayo y afirmada desde este punto hasta Yaupi. La ubicación geográfica de la Central es de 10° 30' de longitud Oeste, a una altura de 1348,796 m.s.n.m

(Ver Figura 2.1).

La construcción de la Central Hidroeléctrica se desarrolló en dos etapas; la primera etapa corresponde al montaje de las Unidades N° 1, 2 y 3 que fueron instalados en el año 1957, la segunda etapa comprende el montaje de las unidades N° 4 y 5 que fueron instalados en el año 1967

(Ver Figura 2.2).

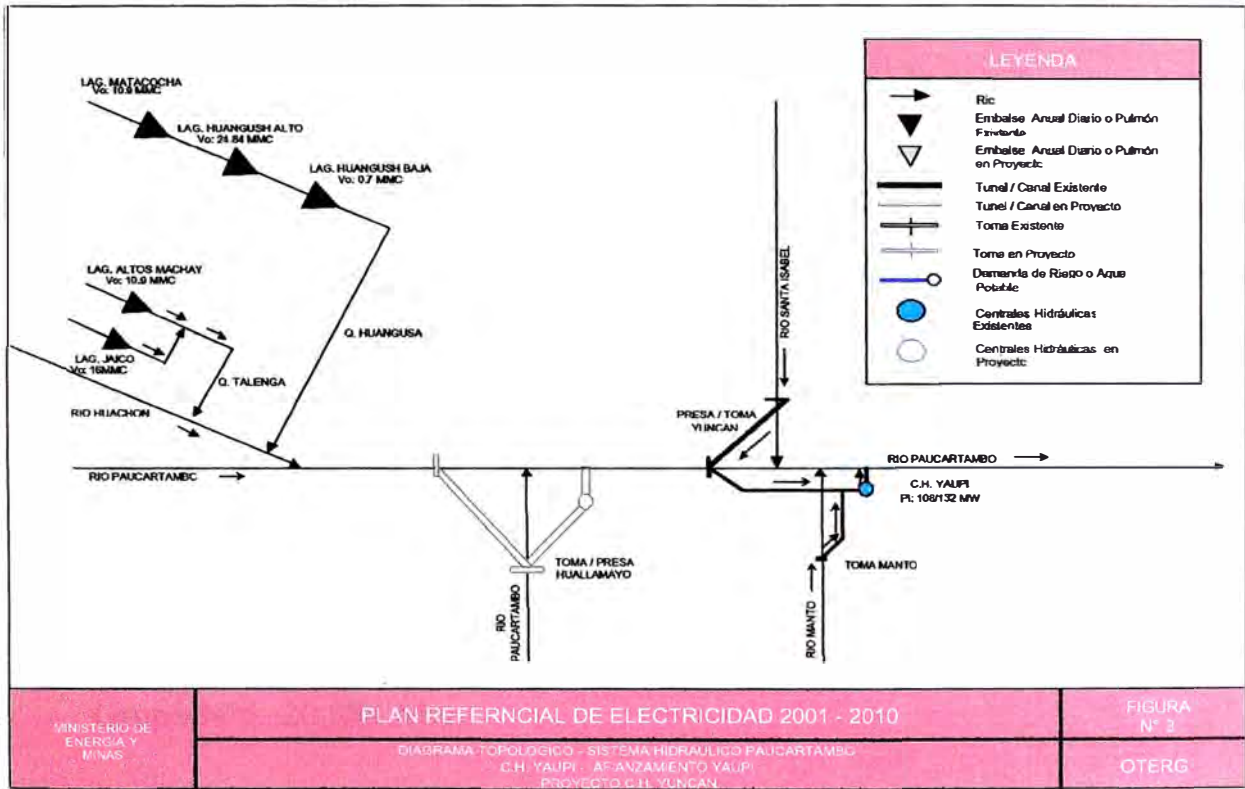
La Central tiene una Potencia Instalada de 108 Mw., cuenta con cinco Unidades de Generación que utilizan las aguas provenientes de los ríos Paucartambo, Huachón y afluentes. La altura bruta es de 526 m y el caudal de diseño es de 25 m³/s.

(Ver Plan Referencial de Electricidad 2001-2010).

La central cuenta con una represa, desarenadores, túnel de aducción, chimenea de equilibrio, cámara de válvulas, tubería de presión, gobernadores de velocidad, turbinas, generadores, excitatrices, reguladores de voltaje, tablero de señalización y mando y demás infraestructuras mecánicas, eléctricas y electrónicas.



Figura 2.1 (Central Hidroeléctrica – Yaupi)



Plan Referencial de Electricidad 2001-2010



Figura 2.2 (Sala de Máquinas de la Central Hidroeléctrica – Yaupi)

La central está interconectada al Sistema Interconectado Nacional mediante la línea de transmisión de 138 Kv que sale de la Sub estación Yaupi y va a la S.E Carhuamayo (Ver Figura 2.3)

Actualmente las unidades tienen las siguientes potencias efectivas.

Grupo N°1: 20,94 Mw.

Grupo N°2: 20,64 Mw.

Grupo N°3: 21,205 Mw.

Grupo N°4: 21,083 Mw.

Grupo N°5: 20,884 Mw.

Toda la Central Hidroeléctrica tiene una potencia efectiva de 104,9 Mw., la cual se puede lograr en épocas de avenida.

2.2 DESPACHO DE CARGA

El despacho de carga se realiza según la programación diaria que emite el COES a todos los centros de control de las empresas de generación (Ver Figura 2.4); cabe precisar que esta programación varía por razones de demanda, operación, estabilidad, mantenimiento, falla, etc. Este es el motivo por el cual el COES realiza un redespacho cada vez que hay una variación notable en la demanda. El Operador de la C.H Yaupi debe coordinar permanentemente con el Centro de Control de la Oroya, el que a la vez coordina con el COES para que se ejecute un despacho acorde a las condiciones que se presenta en tiempo real.



Figura 2.3 (Línea Yaupi – Carhuamayo en 138 Kv)



Figura 2.4 (Centro de Control de la Central Hidroeléctrica – Yaupi)

Las razones mencionadas son motivo fundamental para que se realice una correcta operación de las Unidades, razón por el cual es necesario conocer las maniobras de operación según las condiciones que se presente.

2.3 PRINCIPIO DE OPERACIÓN DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA

En toda Central Hidroeléctrica se procede a un despacho de carga, el cual está supeditado a las necesidades del Sistema (Demanda), la cual está variando constantemente y que tiene que ser abastecida por los Generadores. Ahora la única forma de controlar la potencia de salida de los grupos generadores, es variando el ingreso de agua en la turbina y esto se logra desplazando axialmente los inyectores que son controlados por el regulador de velocidad.

Por sus características de diseño la C.H Yaupi es una Central de Base, esto quiere decir que debe operar durante las 24 horas del día a su plena carga (en horas punta y fuera punta), pero por razones de estabilidad, operación del Sistema y por las ya mencionadas variaciones de la carga, la generación está variando durante el día. Esta variación de carga de Generación no se debe de efectuar en forma constante, ya que la C.H Yaupi no es una Central de Regulación.

La operación de una Central Hidroeléctrica es un proceso complejo, el cual se inicia desde el momento en que se verifican las condiciones previas a la puesta en servicio, para luego hacer girar la máquina en vacío a su velocidad nominal, excitar el Generador hasta la tensión nominal requerida, la sincronización del grupo al sistema, la toma gradual de carga, el control de la

carga y las tensiones que se reflejan en la frecuencia y potencia reactiva respectivamente y la posterior parada del grupo.

2.4 CARACTERÍSTICAS DE LAS ESTRUCTURAS HIDRÁULICAS

2.4.1 REPRESA YUNCAN

Presas de derivación mixta diseñada para un caudal de $750 \text{ m}^3/\text{s}$. con barraje fijo de concreto armado de 40,0 m de largo y altura de 15,5 m; barraje móvil consistente en dos compuertas metálicas radiales de sector de 15,24 m x 4,88 m.

Al extremo derecho se ubica un canal desripador de 30 m. de largo con compuerta de salida de 3,05m x 3,05 m. Hacia aguas abajo tiene un dissipador de energía de concreto armado de alta resistencia reforzado con rieles.

2.4.2 BOCATOMA

Caudal de toma máxima $26,5 \text{ m}^3/\text{s}$, conformada por cinco ventanas principales de 2,45 m de ancho x 4,7 m de alto y dos ventanas de emergencia de 2,45m de ancho x 6,60 m de alto, provistas de compuertas de regulación y rejillas metálicas para la retención de sólidos flotantes.

2.4.3 CANAL

Canal de conexión entre la bocatoma y el desarenador de una longitud de 120m y sección rectangular de 3,65 m de ancho x 2,16 m de alto, de concreto armado.

2.4.4 DESARENADOR

El desarenador consta de doble cámara con sistema de lavado intermitente. Cuenta con 2 compuertas metálicas de entrada de 3,65 m de ancho x 4,5 m de alto cada una; las dos cámaras de sedimentación son de 2,43 m de ancho x 106,68 m de largo cada una (Ver Figura 2.5).



Figura 2.5 (Desarenador de la Central Hidroeléctrica – Yaupi)

CAPÍTULO III

3. PRINCIPIO DEL PROCESO DE REFRIGERACIÓN ACTUAL

El sistema actual de refrigeración está compuesto por válvulas tipo compuerta accionadas manualmente y Bombas hidráulicas accionadas por motores de inducción.

Este conjunto de equipos son los que se encuentran trabajando bajo condiciones normales de operación y son encargadas de impulsar el agua desde el reservorio hacia la sala de máquinas y patio de llaves, para refrigerar el estator de los generadores, el aceite de las Chumaceras y el aceite dieléctrico de los Bancos de Transformadores.

(Ver Figuras 3.1, 3.2, 3.3 y 3.4).

3.1 Modo de operación manual

El modo de operación manual consiste en lo siguiente:

- Cuando se observa en el indicador de presión, (ubicado en la entrada de las válvulas de succión de las bombas principales) que la presión ha alcanzado el valor de 30 PSI, es una señal de que el agua contenida por el reservorio se encuentra turbia con gran depósito de lodo en su interior y que la canastilla de la tubería de succión de agua del reservorio se encuentra obstruido con gran cantidad de partículas de arena en suspensión, hojas y ramas de plantas silvestres.
- Entonces se procede a la limpieza del reservorio.

3.1.1 Proceso de vaciado del reservorio

Los pasos a efectuar son los siguientes.

- Se procede al cierre de las válvulas de llenado de agua al reservorio de las unidades N° 4, N° 5 para evitar el ingreso de agua al reservorio.
- Se para la bomba principal N° 1 y se procede a la apertura de la válvula de vaciado del reservorio con la finalidad de reducir el nivel de agua en el reservorio lentamente.
- Casi en forma simultánea a la operación anterior se apertura las válvulas de las unidades N° 2, N° 3 y se cierra la válvula principal de llenado de agua al reservorio de las unidades N° 1, 2 y 3. Luego se apertura las válvulas de succión de entrada de agua a las bombas auxiliares N° 1 y

2, se enciende la bomba auxiliar N° 1 para mantener constante el caudal de agua que circula en el circuito de refrigeración

- Terminada la operación anterior se para la otra Bomba Principal y simultáneamente se enciende la bomba auxiliar N° 2 con la finalidad de mantener constante nuevamente el caudal de agua que circula en el circuito de refrigeración.
- Terminado el vaciado del agua contenido en el reservorio se procede a efectuar la limpieza de los residuos de lodo, plásticos, piedras, hojas y ramas de plantas silvestres; para ello el mecánico de planta debe ingresar al reservorio con sus implementos de limpieza y hacer uso de manguera de agua para poder limpiar con eficacia y rapidez

3.1.2 Proceso de llenado del reservorio

Cuando el reservorio se encuentra totalmente vacío luego de efectuado el proceso de limpieza, se procede al llenado automático del Reservorio, los pasos a efectuar son las siguientes.

- Se procede a la apertura de las válvulas de llenado de agua al Reservorio de las unidades N° 4 y 5, hasta que el nivel de agua se encuentre en 4.0m.
- Se arranca la bomba principal N° 1 y se apaga la bomba auxiliar N° 1 con la finalidad de mantener constante el caudal de agua en el circuito de refrigeración.
- Simultáneamente a la operación anterior se arranca la siguiente Bomba principal y se para la bomba auxiliar N° 2.

- Luego se apertura la válvula principal de llenado de agua al reservorio de las unidades N° 1, 2 y 3, se cierra las válvulas de las unidades N° 2 y 3 y se mantiene abierto la válvula de la unidad N° 1.
- La operación anterior se efectúa con la finalidad de mantener constante el caudal de agua en el circuito de refrigeración y mantener el nivel de agua en el reservorio constante (3.0 m).

OBSERVACIONES

- La válvula principal de succión de agua del reservorio siempre se encuentra abierta.
- Las válvulas de succión y de descarga de las bombas principales se encuentran normalmente cerradas, esta se abren para el funcionamiento del sistema principal de refrigeración. Cuando el sistema auxiliar de refrigeración entra en funcionamiento estas se cierran para volver a sus condiciones iniciales.
- Las válvulas de succión y de descarga de las bombas auxiliares se encuentran normalmente cerradas, esta se abren para el funcionamiento del sistema auxiliar de refrigeración, concluido esta se normaliza las válvulas a sus condiciones iniciales.
- 30 PSI en la succión de las bombas principales, es un valor referencial que indica que el sistema principal de refrigeración podría colapsar. Este valor se ha adquirido a través de la experiencia y se ha transmitido de generación en generación a los operadores y mecánicos de planta de la central hidroeléctrica.

- Las válvulas de los filtros siempre se encuentran abiertas, cerrándose solamente cuando se va a efectuar un By Pass por mantenimiento del filtro
- Ver la automatización convecional en Plano: YAUPI-099-05-I-001-A3



Figura 3.1 (Vaciado de agua del reservorio de la C.H. – Yaupi)



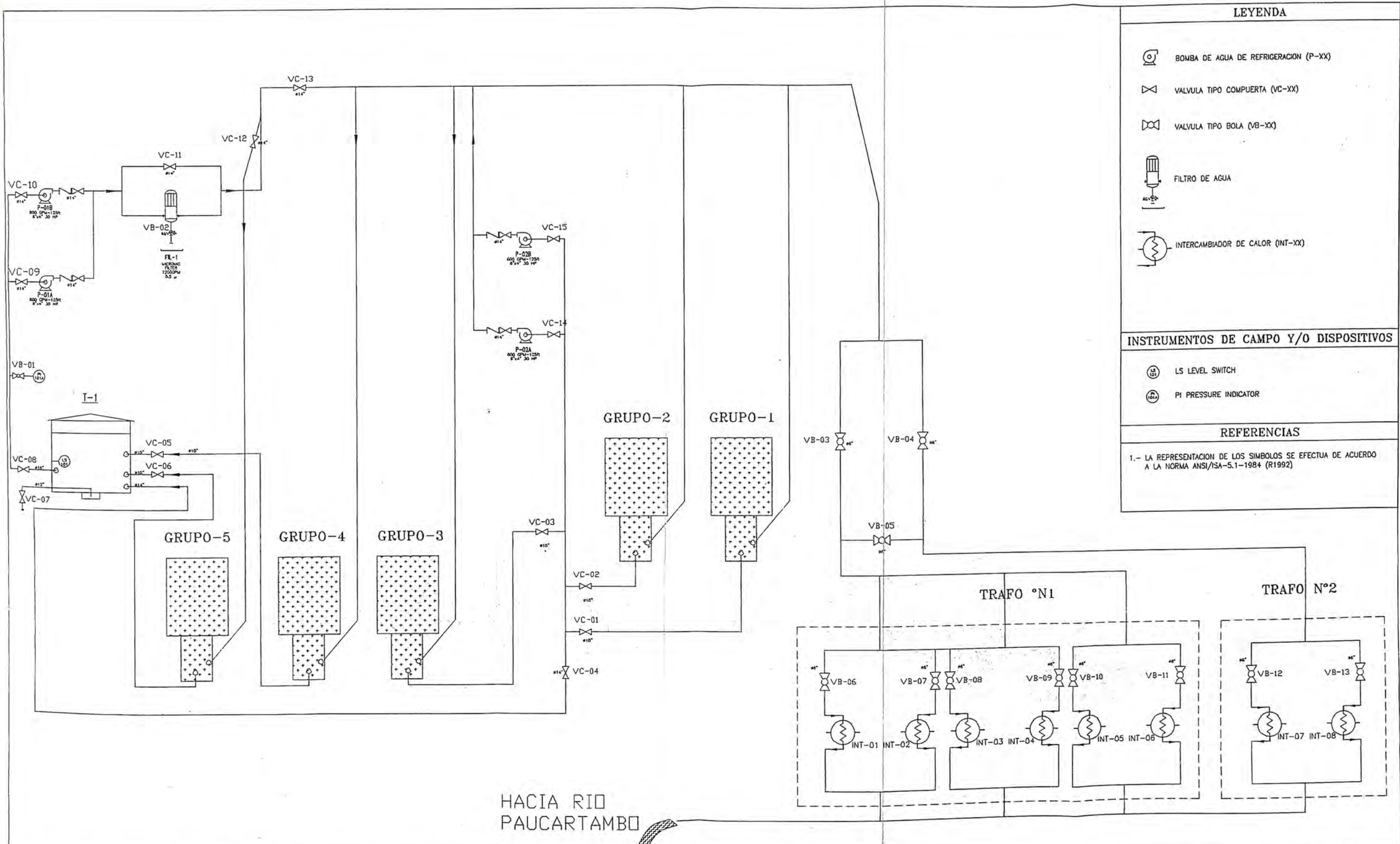
Figura 3.2 (Filtro de agua del sistema de refrigeración)



Figura 3.3 (Apertura de válvula tipo compuerta C.H. – Yaupi)



Figura 3.4 (Bombas principales del sistema de refrigeración C.H. – Yaupi)



LEYENDA

- BOMBA DE AGUA DE REFRIGERACION (P-XX)
- VALVULA TIPO COMPUERTA (VC-XX)
- VALVULA TIPO BOLA (VB-XX)
- FILTRO DE AGUA
- INTERCAMBIADOR DE CALOR (INT-XX)

INSTRUMENTOS DE CAMPO Y/O DISPOSITIVOS

- LS LEVEL SWITCH
- PI PRESSURE INDICATOR

REFERENCIAS

1.- LA REPRESENTACION DE LOS SIMBOLOS SE EFECTUA DE ACUERDO A LA NORMA ANSI/ISA-5.1-1984 (R1992)

HACIA RIO PAUCARTAMBO

NOTAS	REV.	FECHA	DESCRIPCION	DIB.	REV.1	REV.2	REV.3	APR.
	0	15-06-05	PARA APROBACION DEL JURADO	E.R.R.	E.R.R.			

ELECTROANDES

PROYECTO: AUTOMATIZACION CONVENCIONAL DEL SISTEMA DE REFRIGERACION DE C.H YAUPI

PLANO: DIAGRAMA DE TUBERIAS E INSTRUMENTACION

ESCALA: S/E ESCALA PLOTEO: 1/1 N° DE PROYECTO: INSP-099-05 N° DE PLANO: YAUPI-099-05-1-001-A3

INSPECTRA
www.inspectra.com
inspectra@inspectra.com

NOMBRE ARCHIVO: YAUPI0990510001A3

TODAS LAS MEDIDAS EN mm. EXCEPTO LAS ESPECIFICADAS

REV. 0

CAPÍTULO IV

4. TEORÍA DE LA AUTOMATIZACIÓN

A lo largo de la historia el hombre se ha sentido fascinado por maquinarias y dispositivos capaces de imitar las funciones y movimiento de los seres vivos.

En la era contemporánea la producción industrial se ha caracterizado principalmente por la optimización de los procesos empleando avances tecnológicos de la comunicación y el control a fin de lograr productos a bajo costo, alta calidad capaz de cumplir con los estándares exigidos por el mercado.

Las diversas formas de automatizar los procesos y servicios se realizan a través del uso de sensores, controladores y actuadores facilitando la producción y minimizando los recursos humanos.

La tecnología actual permite supervisar y controlar diversas industrias del tipo productivo o manufacturero en tiempo real. En nuestro país el control y la automatización a través de la electrónica han experimentado un cambio importante en la mayoría de las industrias, para ampliar y mantener su posición en los respectivos campos de acción.

4.1 CONTROL AUTOMÁTICO

Se entiende por control automático, el mantener estable una variable de proceso mediante un dispositivo, por lo general electrónico, cuyo valor deseado está almacenado en la memoria de éste y al recibir la señal de la variable controlada realiza los cálculos y estima la acción sobre la variable manipulada, corrigiendo y estabilizando el sistema de control.

Este dispositivo eléctrico conocido como controlador, se encuentra en el mercado bajo la denominación de PLC (Controlador Lógico Programable), controlador de lazo digital (microcontrolador) y PC (computadora personal).

4.2 SISTEMAS DE CONTROL

Para mostrar de una manera más fácil un sistema de control (Figura 4.1) se tomará como ejemplo un proceso típico de intercambio de calor.

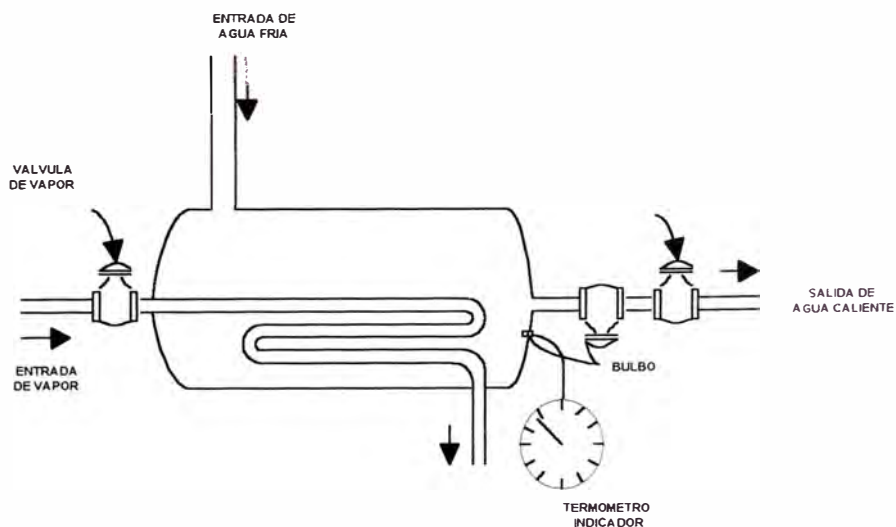


Figura 4.1 Intercambiador de Calor a ser controlado

Si el Intercambiador de Calor (proceso), fuese manejado solamente por un hombre; sería como se detalla en la figura 4.2.

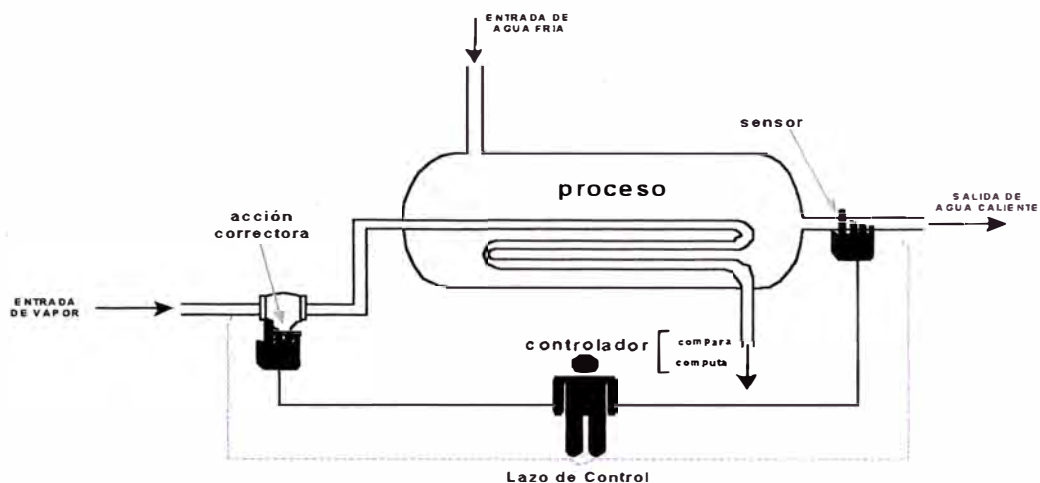


Figura 4.2. - Representación del control del intercambiador por una persona

Analizamos el control manual de la figura 4.2, donde el operador mide la temperatura de salida, compara el valor deseado, calcula cuanto más abrirá la válvula de vapor, y hace las correcciones correspondientes; así las funciones básicas del control manual realizado por un ser humano son:

- Medir
- Comparar
- Calcular
- Corregir

Luego los fundamentos de un sistema de control automático deben de provenir de las funciones básicas del control manual realizadas por un ser humano.

4.3 ELEMENTOS DEL SISTEMA DE CONTROL

Un sistema de control automático simple generalmente debe contar con los siguientes elementos: sensor, proceso, controlador y actuador, ver figura 4.3.

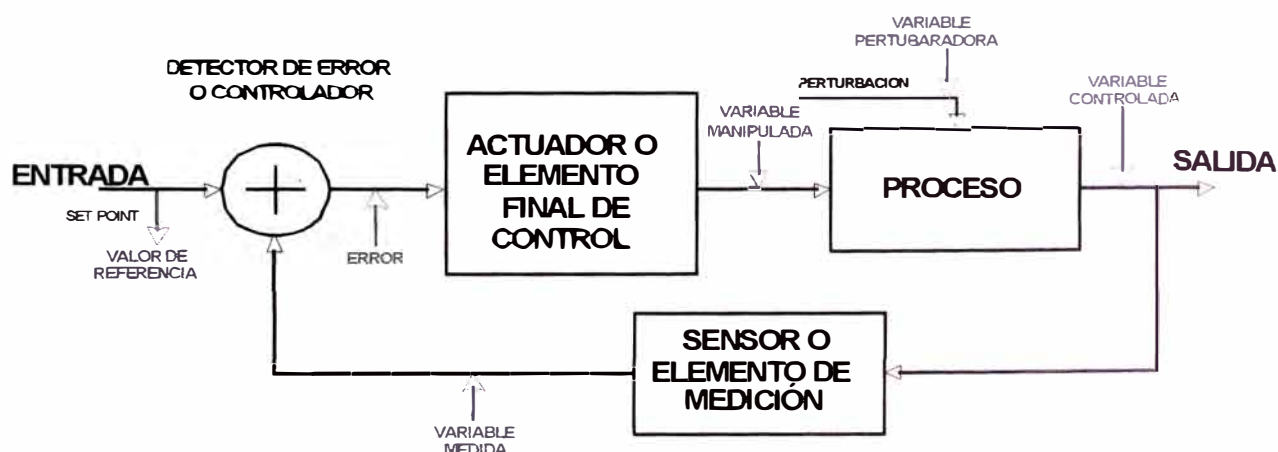


Figura 4.3. - Diagrama de Bloques General de un Control Automático

a. Variable Controlada

Es el parámetro más importante del proceso, debiéndose mantener estable (sin cambios), pues su variación alteraría las condiciones requeridas en el sistema, su monitoreo a través de un sensor es una condición importante para dar inicio al control.

Al analizar el ejemplo mostrado del intercambiador de calor se observa la intención de calentar agua a través del vapor, para lo cual se deberá tener en cuenta las diversas variables de proceso como son: los flujos de vapor y agua, las presiones de vapor y las temperaturas del agua; pero, lo más importante del sistema es la temperatura de salida del agua, por lo tanto la Variable Controlada.

b. Variable Manipulada

Es el parámetro a través del cual se debe corregir las perturbaciones del proceso, colocándose un actuador para lograr estabilizar el sistema.

En el ejemplo del intercambiador de calor, quien proporciona mayor o menor cantidad de energía al sistema es el ingreso de vapor, por lo tanto la variable a manipular será el flujo de ingreso de vapor.

c. Variable Perturbadora

Es el parámetro desestabilización del sistema por cambios repentinos afectando el proceso.

En el ejemplo, la variable perturbadora sería el flujo de entrada de agua fría, si por una baja de tensión se altera el funcionamiento de la bomba de suministro de agua, provocaría un menor ingreso de flujo al proceso originando la desestabilización del sistema.

d. Variable Medida

Es todo parámetro del proceso requerido para conocer su valor, por lo tanto deberá ser monitoreado; no siendo necesariamente la más importante para controlar el sistema, pero si para mantener un registro de data.

4.3.1 Sensor Elemento Primario de Medición

Los sensores son los elementos primarios de medición de variables del proceso, siendo algunos usados para lectura e indicación y otros para transformar la variable medida en una señal eléctrica, los más usados en la industria son los de nivel, de presión, de temperatura, de flujo, de proximidad entre otros.

Esta señal va hacia la entrada del controlador para ser comparada con el valor de referencia o “set point” determinando el error y la acción de control.

4.3.1.1 Tipos de Sensores:**a. De Contacto o No Contacto**

Los sensores pueden ser clasificados de diversas maneras, una forma común y simple es dividir los sensores en dos categorías: de contacto o no contacto. Los sensores de contacto realizan la medida “contacto físico” con el producto; por ejemplo los sensores de boyas para medir el nivel de un tanque.

Un sensor de no contacto se basa en las propiedades físicas de los materiales para realizar su medida, son menos propensos a fallas; su uso se ve limitado por la característica del material a medir o por la gran interferencia en el ambiente de instalación, ocasionando malas lecturas. Un ejemplo de este tipo de sensor es el medidor de flujo ultrasónico.

b. Digital o Analógico

Otra forma de clasificar los sensores es por el tipo de señales de salida, éstas pueden ser de tipo digital o analógico. Los sensores digitales son más fáciles de usar y trabajan como una computadora en forma binaria (unos y ceros), los sensores digitales trabajan en dos estados: encendido (**on**) o apagado (**off**). Muchas aplicaciones implican tener conocimiento de la ausencia o presencia de algo.

Los sensores analógicos proporcionan medidas continuas, pudiendo ser más utilizadas en diversos parámetros de operación, como son: el nivel, la presión, temperatura y el flujo, caracterizándose por funcionar en un rango de 4 a 20 mA.

4.3.2 Controlador

El controlador es un instrumento para detectar los desvíos existentes entre el valor medido por un sensor y el valor deseado o “set point”, programado por un operador; emitiendo una señal de corrección hacia el actuador como se observa en la figura 4.4.

Los controladores pueden ser del tipo: manual, neumático ó digitales; así como las computadoras con tarjetas de adquisición de datos y los PLC (Controladores Lógicos Programables).

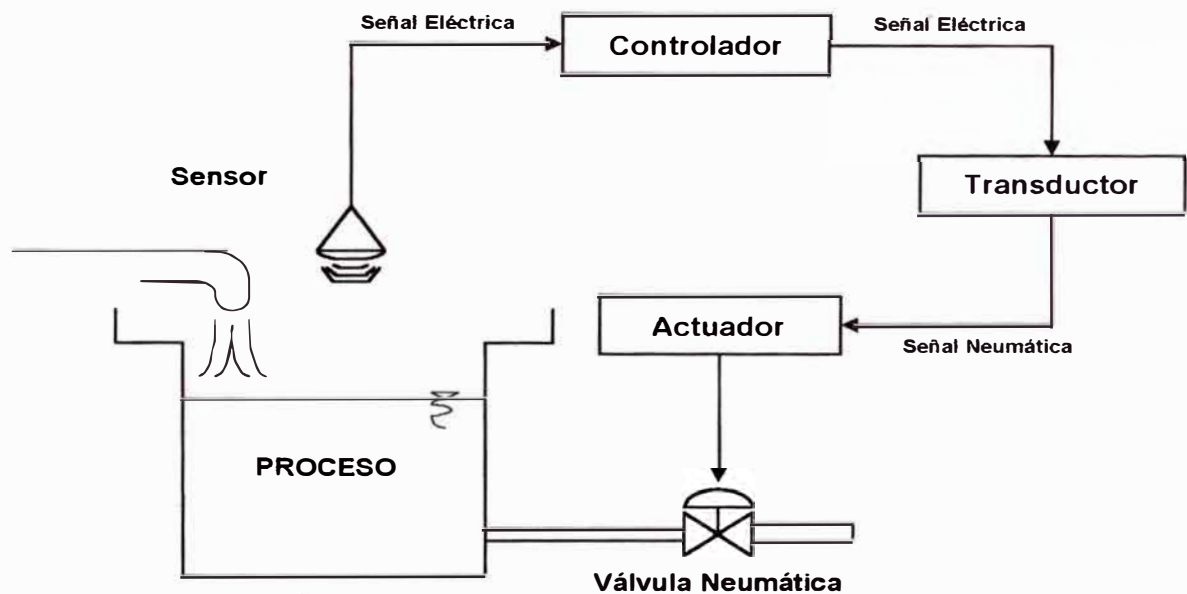


Figura 4.4. - Control Automático de nivel sencillo

4.3.3 Actuador o Elemento Final de Control

Los actuadores son los elementos finales de control, tienen por función alterar el valor de la variable manipulada con el fin de corregir o limitar la desviación del valor controlado, respecto al valor deseado. Los fabricantes actualmente proveen una serie de actuadores como: motores, válvulas, relés, y swiches. A continuación describiremos los actuadores más importantes:

4.3.3.1 Actuadores Eléctricos

Son usados en la industria y en aplicaciones comerciales para posicionar dispositivos de movimientos lineal o rotacional. Tales como swiches, relés, motores y otros.

4.3.3.2 Actuadores Neumáticos

Aceptan señales de presión pequeñas, desde los posicionadores neumáticos y mediante un diafragma convierten estas señales en movimientos mecánicos.

4.3.3.3 Actuadores Hidráulicos

Los actuadores hidráulicos operan en forma similar a los posicionadores neumáticos, pero con una mayor fuerza de acción, para ser usados en compuertas, grúas, elevadores y otros.

4.3.4 Proceso

El término proceso, para los fines de control significa el equipo a automatizar en donde se estabiliza la variable de control, a través de los sensores, actuadores y controladores.

4.3.4.1 Características Dinámicas de las Variables de Proceso

Es necesario conocer las características dinámicas de las variables de un proceso para conocer las perturbaciones que pueden desestabilizar el equipo.

a. Inercia

Es la Propiedad de los cuerpos tendientes a no variar del estado estacionario sin la intervención de una fuerza extraña; por ejemplo algunos sistemas de flujo de fluidos en los cuales la masa puede ser acelerada.

b. Resistencia y Capacidad

Las partes del proceso tendientes a almacenar masa o energía son denominadas *capacidad* y las partes con cualidades de resistir la transferencia de energía o masa son denominadas *resistencia*.

c. Atraso de Transporte

Otro factor importante para la dinámica de procesos incluye el movimiento de masas entre dos puntos y es denominado atraso de transporte o tiempo muerto.

4.3.4.2 Respuesta de los procesos frente a una perturbación

Las respuestas de un proceso a una determinada perturbación están casi siempre caracterizadas por dos constantes: una constante de tiempo (τ) y una ganancia estática. La ganancia es la amplificación o atenuación de la perturbación en el interior del proceso y no tiene interferencia con las características de tiempo de respuesta. La constante de tiempo, es la medida necesaria para ajustar un sistema de una perturbación en la entrada y puede ser expresada como producto: $\tau = \text{resistencia} \times \text{capacidad}$.

4.4 EL AUTOMATISMO CONVENCIONAL EN BASE A RELÉS Y COMO ALTERNATIVA MODERNA EL PLC

4.4.1 Tableros eléctricos de automatización en base a relés

Un tablero eléctrico de automatización constituido con equipos básicamente electromagnéticos tales como relés auxiliares, contadores, temporizadores neumáticos, etc. es denominado tablero eléctrico convencional; sin duda estos equipos aún constituyen en algunas empresas, el soporte para la automatización de sus procesos industriales, especialmente en países en desarrollo.

A continuación se sintetiza las ventajas y desventajas de los tableros eléctricos en base a relés.

Ventajas:

- La totalidad de sus componentes se pueden adquirir rápidamente.
- Su estudio, fabricación e instalación es muy difundido desde hace décadas.
- La adaptación de los responsables del mantenimiento es rápida debido a que todo es conocido.
- Es fácil encontrar personas para su instalación, mantenimiento y reparación.
- Se enseña en todas las universidades, institutos técnicos y escuelas técnicas.
- Existe gran cantidad de material de consulta tales como libros, revistas, catálogos, separatas, etc y aprender su lógica resulta sencilla.

- No existen inconvenientes en cuanto al lugar de su instalación, ya que todos los equipos son de ambiente industrial, salvo en aquellas zonas donde pueden existir fugas de gases explosivos.

Desventajas:

- El costo de estos tableros es alto, incrementando de acuerdo al tamaño del proceso a automatizar.
- Generalmente ocupan mucho espacio.
- Requiere mantenimiento periódico, debido a que gran parte de sus componentes están constituidos por piezas móviles sujetos a desgaste.
- Cuando se origina una falla es muy laboriosa su identificación y reparación, esto se debe a que son complejos en su lógica e instalación.
- No son versátiles, solamente se le pueden utilizar para una determinada aplicación.
- Con el tiempo disminuye su disponibilidad debido al incremento de la probabilidad de fallas.
- No es posible con equipos electromecánicos sensor señales de alta frecuencia, para ello se requiere el apoyo de la electrónica.
- En tableros grandes el consumo de energía es representativo.
- No permite una comunicación directa entre todos sus componentes, es necesario realizar varias modificaciones adquiriendo para ello equipos de interfases, elevando de esta forma su costo.

Analizando las desventajas que se han señalado de los tableros eléctricos convencionales, donde para muchas empresas no es tolerable aceptar algunas de ellas, es conveniente sobre todo en el aspecto económico discutir su uso.

Téngase presente que existen otras alternativas modernas que eliminan casi la totalidad de estas desventajas y por el contrario disponen de mayor capacidad para realizar más de lo necesario

4.4.2 El PLC como alternativa al automatismo

El PLC es la denominación dada al Controlador Lógico Programable y se define como : Un equipo electrónico inteligente diseñado en base a microprocesadores, que consta de unidades o módulos que cumplen funciones específicas; tales como, una unidad central de procesamiento que se encarga de casi todo el control del sistema, módulos que permiten recibir información de todos los sensores y comandar todos los actuadores del sistema, además es posible agregarle otros módulos inteligentes para funciones de pre-procesamiento y comunicación.

El PLC es utilizado para automatizar sistemas eléctricos, electrónicos, neumáticos e hidráulicos de control discreto y análogo. Las múltiples funciones que puede asumir estos equipos en el control, se debe a la diversidad de operaciones a nivel discreto y análogo con que se dispone para

realizar los programas lógicos sin la necesidad de contar con equipos adicionales.

Es importante resaltar, el bajo costo que representa comparado con la adquisición de una serie de equipos que puedan hasta cierto grado realizar estas funciones, tales como: Relés auxiliares, Temporizadores, Contadores, algunos tipos de controladores, etc. Pero no solamente el PLC está limitado a realizar este trabajo, sino muchos más.

A las diversas ventajas que tiene el PLC respecto a la alternativa convencional, se suma la capacidad que tiene para integrarse con otros equipos a través de redes de comunicación. Esta posibilidad cada día toma mayor aceptación en la industria, por lo que significa comunicarse con otros equipos y por el costo adicional razonable.

Son estas las razones que obligan a analizar antes de tomar una decisión cuando se requiere automatizar un sistema; sin duda hoy en día el PLC representa una buena alternativa para la automatización.

4.4.3 Ventajas de los PLCs respecto a la lógica convencional

Son muchas las ventajas que resaltan a simple vista el empleo de los PLCs para automatizar sistemas, desde aplicaciones básicas hasta sistemas muy complejos. Actualmente, su uso es tan difundido que ya no se requiere mucho análisis para decidir que técnica emplear, si la lógica cableada en base

a relés o la Lógica programada en base al PLC. Sin embargo, a continuación se fundamenta cada una de estas ventajas, con el propósito que el lector reconozca mejor el programa.

MENOR COSTO

Las razones que justifican una mayor economía a la alternativa del uso del PLC, especialmente en aplicaciones complejas, se da porque prescinde del uso de dispositivos electromecánicos y electrónicos tales como: Relés Auxiliares, Temporizadores, algunos controladores, contadores, etc; ya que estos dispositivos simplemente deben ser programados en el PLC sin realizar una inversión adicional. El costo que implica invertir en los equipos anteriormente señalados, es muy superior al costo del PLC, además de otras ventajas con que cuenta y no son cuantificadas.

MENOR ESPACIO

Un tablero de control que gobierna un sistema automático mediante un PLC, es mucho más compacto que si se controlara con dispositivos convencionales (relés, temporizadores, contadores, controladores, etc); esto se debe a que el PLC está en capacidad de asumir todas las funciones de control. La diferencia de espacio se hace muy notable, cuando por medios convencionales se cuenta con varios tableros de control.

CONFIABILIDAD

La probabilidad de que un PLC pueda fallar por razones constructivas es insignificante, exceptuando errores humanos que puedan surgir en algunas partes vulnerables (módulos de salida). Esto se debe como consecuencia que el fabricante realiza un riguroso control de calidad, llegando al cliente un equipo en las mejores condiciones; además dado que sus componentes son de estado sólido con pocas partes mecánicas móviles, hacen que el equipo tenga una elevada confiabilidad.

VERSATILIDAD

La versatilidad de estos equipos radica, en que es posible realizar grandes modificaciones en el funcionamiento de un sistema automático, con solo realizar un nuevo programa y mínimos cambios de cableado.

Además importante resaltar, que el tiempo empleado en realizar modificaciones comparado con la técnica por lógica cableada es significativo

POCO MANTENIMIENTO

Estos equipos por su constitución de ser bastantes compactos respecto a la cantidad de trabajo que pueden realizar y además porque cuenta con muy pocos componentes electromecánicos, no requiere un mantenimiento periódico, sino lo necesario para mantenerlo limpio y con sus terminales ajustados a los bornes y puesta a tierra.

FACILIDAD DE INSTALACION

Debido al cableado de los dispositivos tanto de entrada como de salida se realiza de la misma forma y de la manera más simple, además que no es necesario mucho cableado, su instalación resulta sumamente sencilla en comparación a la lógica convencional que si se requiere de conocimientos técnicos avanzados.

COMPATIBILIDAD CON DISPOSITIVOS SENSORES Y ACTUADORES

Actualmente las normas establecen que los sistemas y equipos sean diseñados bajo un modelo abierto, de tal manera que para el caso de los PLCs éstos puedan fácilmente conectarse con cualquier equipo sin importar la marca ni procedencia. Hoy en día casi todas las marcas de PLCs están diseñadas bajo este modelo.

INTEGRACIÓN EN REDES INDUSTRIALES

El avance acelerado de las comunicaciones ha conllevado a que estos equipos tengan capacidad de comunicarse vía una red LAN entre ellos y otros equipos y de este modo trabajar en sistemas jerarquizados o distribuidos, permitiendo un mejor trabajo en los niveles técnicos y administrativos de la planta.

DETECCIÓN DE FALLAS

La detección de una falla resulta sencilla porque dispone de los indicadores de diagnóstico tales como: estado de la CPU, batería, terminales de E/S etc. Además mediante el módulo de programación se puede acceder al modo dinámico del programa en representación gráfica o también recurrir a la memoria de errores ubicada en la CPU.

FÁCIL PROGRAMACIÓN

Programar los PLCs resulta fácil, por la sencilla razón que no es necesario conocimientos avanzados en el manejo de PCs, solamente es suficiente conceptos básicos. Por otro lado existen diversas representaciones de programación donde fácilmente el usuario se adapta a la representación que mejor se familiariza. Sus instrucciones y comandos son transparentes y entendibles, requiriendo poco tiempo para lograr ser un experto.

MENOR CONSUMO DE ENERGÍA

Como es de conocimiento cualquier equipo electromecánico y electrónico requiere un consumo de energía para su funcionamiento, siendo dicho consumo representativo cuando se tiene una gran cantidad de ellos; sin embargo el consumo del PLC es muy inferior, que en el tiempo se traduce en un ahorro sustancial de energía.

LUGAR DE INSTALACIÓN

Por las características técnicas que presenta en cuanto a los requisitos que debe cumplir para su instalación tales como: nivel de temperatura, humedad, ruido, variaciones de tensión, distancias permisibles, etc., fácilmente se encuentra un lugar en la planta donde instalarlo, aún en ambientes hostiles.

4.4.4 Comparación técnico-económica de automatización con PLC versus equipos convencionales

Con el objetivo de resaltar las ventajas de los aspectos técnico y económicos del PLC a continuación se comparan los costos aproximados de un supuesto caso de requerimiento de inversión para automatizar un sistema, ya sea empleando la alternativa de una automatización en base a la lógica convencional (relés) como también la alternativa en base a la lógica programada (PLC).

Supongamos que se desea automatizar un sistema de una planta industrial, compuesto de arrancadores directos estrella-triángulo, resistencias rotóricas, mandos secuenciales, etc., donde es necesario para su implementación los equipos tal como se detalla en la tabla 4.1 y 4.2 tanto para la alternativa por lógica convencional como para la programada respectivamente. Es importante señalar que solamente se ha considerado los equipos representativos en el costo total, no figurando otros tales como: conductores, terminales, canaletas, cintas de amarre, pernos etc.

TABLA 4.1 Requerimientos de equipos para un sistema automatizado por relés

N°	Descripción	Cantidad	Costo US\$	
			Unitario	Total
1	Contactador	100	60	6 000
2	Relé térmico	47	70	3 290
3	Relé auxiliar	52	25	1 300
4	Temporizador	47	80	3 760
5	Contador Electromecánico	3	40	120
6	Pulsadores NA/NC	36	15	540
7	Selector	10	20	200
8	Seccionador	16	40	640
9	Lámpara de señalización	24	18	432
10	Fusible y porta fusible	140	25	3 500
11	Transportador aislador 220/220V	3	150	450
12	Tablero 2200x1000x500 mm	3	800	2 400
			TOTAL	22 632

La zona sombreada de la tabla 4.1 indican los equipos que no se requieren o es necesario en una cantidad inferior cuando se automatiza mediante un PLC, ya que los dispositivos de lógica vienen integrados en el PLC.

TABLA 4.2 Requerimientos de equipos para un sistema automatizado por PLC

N°	Descripción	Cantidad	Costo US\$	
			Unitario	Total
1	PLC	1	3 500	3 500
2	Contactador	100	60	6 000
3	Rele térmico	47	70	3 290
4	Pulsadores NA/NC	36	15	540
5	Selector	10	20	200
6	Seccionador	16	40	640
7	Lámpara de señalización	24	18	432
8	Fusible y porta fusible	140	25	3 500
9	Transformador aislador 220/220V	1	150	150
10	Tablero 1000x500x200 mm	1	150	150
			TOTAL	18 402

Obsérvese que los equipos que proporcionan las señales de entrada (sensores), los equipos que proporcionan las señales de salida (actuadores) y otros como de protección, son los mismos para ambos casos de automatización. Por consiguiente si evaluamos los costos variables representados por los dispositivos de lógica, cantidad de transformadores, aisladores y cantidad de tableros, representa una diferencia de US\$ 3 930 de ahorro, un 17% aproximadamente del monto total para este caso particular.

Los márgenes de ahorro pueden ser mayores para algunos sistemas de regulación tales como controladores, registradores etc, que también en algunos casos puede ser asumido por un PLC.

CAPÍTULO V

5. LA AUTOMATIZACIÓN POR PLC DEL PROCESO DE REFRIGERACIÓN

5.1 DISEÑO DE UNA VÁLVULA MOTORIZADA

Las Figuras 5.8 y 5.9 corresponden a válvulas tipo compuerta, cuyo consumo máximo de potencia es de 4 HP, a la velocidad de 120 RPM. Con los datos que se indican se va a diseñar los engranajes cónicos y rectos.

Se va a asumir que la eficiencia de los contactos entre los dientes de los engranajes y la eficiencia de los apoyos es igual a 100%, la velocidad del motor eléctrico del actuador es 3 480 RPM.

5.1.1 Diseño de engranajes cónicos de dientes rectos

Para cada etapa de reducción vamos a repartir la misma relación de transmisión:

Velocidad de entrada : 3480 RPM

Velocidad de salida : 120 RPM

Reducción Total: $Mg = 3 \cdot 480/120 = 29$

Entonces la reducción en cada etapa será

$$Mg1 = 5,385$$

$$Mg2 = 5,385$$

Material: Fe fundido AGMA Grado 40, con 200 BHN, ambas ruedas talladas con fresa de roseta.

Factor de sobrecarga: $Co = 1,25$ Tabla 10 Choque moderado

(Ver Tabla en Anexo I)

Esfuerzos permisibles:

$$Satp = Satg = 4,9 \text{ Kgf/mm}^2$$

Tabla 14 Esfuerzos permisibles para

Engranajes cónicos

(Ver Tabla en Anexo I)

$$Sac = Sacg = 53 \text{ Kgf/mm}^2$$

Tabla 19 Esfuerzos permisibles de

Contacto

(Ver Tabla en Anexo I)

Determinación del número de dientes de los engranajes

Se asume $Zp = 21$ dientes entonces $Zg = 5,385 * 21 \cong 113$

$$Zg = 113 \text{ dientes}$$

Se asume $m = 4$ esto nos da el tamaño de los engranajes.

Diámetro de paso del Piñón

$$Dp = mZp$$

$$Dp = 4 * 21 = 84 \text{ mm } \varnothing$$

Diámetro de paso del Engranaje

$$D_p = mZ_g$$

$$D_p = 4 \cdot 113 = 452 \text{ mm } \varnothing$$

Velocidad del Engranaje:

$$N_g = 120 \text{ RPM}$$

Velocidad del Piñón:

$$N_p = 113/21 \cdot 120 = 645 \text{ mm } \varnothing$$

Relación de transmisión correcta:

$$M_g = 113/21 = 5,38$$

Velocidad tangencial del Piñón:

$$V = \pi \cdot 84 \cdot 645 / 60 \cdot 1000 = 2,83 \text{ m/s}$$

Carga Tangencial del Piñón:

$$W^t = 4 \cdot 76 / 2,83 = 107,42 \text{ Kg.F}$$

Ancho del diente del Piñón:

$$F = ?$$

Primero calculamos el ángulo de paso

$$T_{gyp} = 1/M_g = 21/113 \quad \text{entonces} \quad \gamma_p = 10,52^\circ$$

$$\gamma_g = 79,48^\circ$$

Generatriz del Cono

$$A_o = D_p/2 \cdot \sin \gamma_p = 184/2 \cdot \sin 10,52 = 230 \text{ mm}$$

$$F = 1/3 A_o = 1/3 \cdot 230 = 76,67 \text{ mm}$$

$$F = 10m = 10 \cdot 4 = 40 \text{ mm}$$

Adoptamos $F = 40 \text{ mm}$

5.1.1.1 Cálculo por fatiga superficial

$$C_o = 1,25$$

Tabla 10; Choque moderado

(Ver Tabla en Anexo I)

$$C_v = 0,65$$

Fig 18, Factor dinámico

(Curva engranajes tallados con fresa roseta)

(Ver Tabla en Anexo I)

$C_s = 1,0$	Para aplicaciones generales (Ver Tabla en Anexo I)
$C_m = 1,1$	Tabla N° 13 (Ver Tabla en Anexo I)
$C_f = 1,1$	Fig 32, para engranajes con acabado superficial Aceptable (Ver Tabla en Anexo I)
$C_l = 1,15$	Fig 32 Factor de vida (10^6 ciclos de operación) (Ver Tabla en Anexo I)
$C_t = 1,0$	Factor de temperatura ($T < 121^\circ\text{C}$) (Ver Tabla en Anexo I)
$C_r = 1,0$	Tabla N°20, 99% de confiabilidad (Ver Tabla en Anexo I)
$C_h = 1,0$	Fig 33, Siempre para engranajes cónicos (Ver Tabla en Anexo I)
$I = 0,1$	Fig 25 con $Z_p = 21$ y $Z_g = 113$; $\phi = 20$
$C_p = 48 * 1,225 = 58,8$	Tabla 18, Coeficiente elástico (Ver Tabla en Anexo I)

Potencia que puede transmitir el Engranaje

$$P = 6,96 * 10^{-7} \left(\frac{N_p * F * C_v * I}{C_o * C_s * C_m * C_f} \right) * \left(\frac{S_{ac} * D_p * C_l * C_h}{C_t * C_r * C_p} \right)^2$$

Reemplazando datos se tiene:

$$P = 6,96 * 10^{-7} \left(\frac{645 * 40 * 0,65 * 0,1}{1,25 * 1 * 1,1 * 1,1} \right) * \left(\frac{53 * 84 * 1,15 * 1}{1 * 1 * 58,8} \right)^2$$

$$P = 5,867 \text{ CV} > 4 \text{ HP}$$

Se puede disminuir el ancho del diente a $F = 30\text{mm}$

Recalculando se tiene:

$$P = 30/40 * 5,867 = 4,4 \text{ CV} > 4 \text{ HP} \quad \text{OK!}$$

5.1.1.2 Cálculo por resistencia a la fatiga

$K_o = 1,25$	Tabla 10; Choque moderado (Ver Tabla en Anexo I)
$K_v = 0,60$	Fig 1.0 Curva N° 4, Factor dinámico (Ver Tabla en Anexo I)
$K_s = 0,60$	Fig N° 2 Factor de tamaño para engranajes cónicos (Ver Tabla en Anexo I)
$K_m = 1,1$	Tabla N° 13 (Ver Tabla en Anexo I)
$J_p = 0,26$	Fig 14, Factor geométrico para el piñón (Ver Tabla en Anexo I)
$J_g = 0,24$	Fig 14, Factor geométrico para el engranaje (Ver Tabla en Anexo I)
$K_t = 1,0$	Temperatura normal (Ver Tabla en Anexo I)

$$K_r = 1,0$$

Tabla N° 16, Factor de seguridad respecto a la resistencia a la fatiga

(Ver Tabla en Anexo I)

Potencia que puede transmitir el Piñón

$$P = 6,96 * 10^{-7} \left(\frac{D_p * N_p * S_{at} * m * F * J * K_I * K_v}{K_s * K_m * K_t * K_r * K_o} \right) \text{ CV}$$

Reemplazando datos se tiene:

$$P = 6,96 * 10^{-7} \left(\frac{84 * 645 * 4,9 * 4 * 30 * 0,26 * 1,1 * 0,60}{0,60 * 1,1 * 1 * 1 * 1,25} \right) \text{ CV}$$

$$P = 4,447 \text{ CV} > 4 \text{ HP} \quad \text{OK!}$$

5.1.2 Diseño de engranajes cilíndricos de dientes rectos

$$P = 4 \text{ HP}$$

$$N_p = 3\,480 \text{ RPM}$$

$$N_g = 645 \text{ RPM}$$

$$C = 235 \text{ mm}$$

$$M_g = 3\,480/645 = 5,4$$

$$Z_{pmin} = 16 \quad \text{Tabla N° 17, Número mínimo de dientes del Piñón}$$

(Ver Tabla en Anexo I)

$$M_{max} = 2C/Z_p * (1 + M_g) = 2 * 235/16 * (1 + 5,4)$$

$$M_{max} = 4,58$$

Posibles Módulos: 4, 3, 2,1

M	Z_p + Z_g	Z_p	Z_g	M_g	C
4	117	16	101	6,31	235
	117	17	100	5,88	235
	117	18	99	5,5	235
	117	19	98	5,15	235

De la Tabla se concluye que:

$$M = 4$$

$$Z_p = 18 \quad \text{Entonces } D_p = M \cdot Z_p = 4 \cdot 18 = 72 \text{ mm}$$

$$Z_g = 99 \quad \text{Entonces } D_g = M \cdot Z_g = 4 \cdot 99 = 396 \text{ mm}$$

$$\text{Velocidad tangencial del Piñón: } V = \pi \cdot 72 \cdot 3480 / 60000 = 13,12 \text{ m/s}$$

$$\text{Carga Tangencial del Piñón : } W^t = 4 \cdot 76 / 13,12 = 27,8 \text{ Kg.F}$$

$$\text{Ancho del diente del Piñón: } F = 10M = 10 \cdot 4 = 40 \text{ mm}$$

Material: Fe fundido AGMA Grado 40, con 200 BHN, ambas ruedas talladas con fresa de roseta

Esfuerzos permisibles:

$$S_{atp} = S_{atg} = 4,9 \text{ Kg/mm}^2 \quad \text{Tabla 14 Esfuerzos permisibles para engranajes cilíndricos.}$$

(Ver Tabla en Anexo I)

$$S_{ac} = S_{acg} = 53 \text{ Kg/mm}^2 \quad \text{Tabla 19 Esfuerzos permisibles de contacto para engranajes cilíndricos}$$

(Ver Tabla en Anexo I)

5.1.2.1 Cálculo por fatiga superficial

$C_o = 1,25$	Tabla 10; Choque moderado (Ver Tabla en Anexo I)
$C_v = 0,32$	Fig 18, Curva N° 5 Factor dinámico (Ver Tabla en Anexo I)
$C_s = 1,0$	Para aplicaciones generales (Ver Tabla en Anexo I)
$C_m = 1,6$	Tabla N° 12 (Ver Tabla en Anexo I)
$C_f = 1,1$	Fig 32, para engranajes con acabado superficial aceptable (Ver Tabla en Anexo I)
$C_l = 1.15$	Fig 32 Factor de vida (10^6 ciclos de operación) (Ver Tabla en Anexo I)
$C_t = 1,0$	Factor de temperatura ($T < 121^\circ\text{C}$) (Ver Tabla en Anexo I)
$C_r = 1,0$	Tabla N°20, 99% de confiabilidad (Ver Tabla en Anexo I)
$C_h = 1,0$	Tabla N° 10 (Ver Tabla en Anexo I)
$I = 0,11$	Fig 23, Factor Geométrico (Ver Tabla en Anexo I)
$C_p = 48$	Tabla 18, Coeficiente elástico (Ver Tabla en Anexo I)

Potencia que puede transmitir el Engranaje

$$P = 6,96 * 10^{-7} \left(\frac{Np * F * Cv * I}{Co * Cs * Cm * Cs} \right) * \left(\frac{Sac * Dp * Cl * Ch}{Cl * Cr * Cp} \right)^2$$

Reemplazando datos se tiene:

$$P = 6,96 * 10^{-7} \left(\frac{3480 * 30 * 0,32 * 0,1}{1,25 * 1 * 1,6 * 1} \right) * \left(\frac{53 * 72 * 1,15 * 1}{1 * 1 * 48} \right)^2$$

$$P = 4,75 \text{ CV} > 4 \text{ HP} \quad \text{OK!}$$

5.1.2.2 Cálculo por resistencia a la fatiga

$K_o = 1,25$	Tabla 10; Choque moderado (Ver Tabla en Anexo I)
$K_v = 0,62$	Fig 1.0 Curva N° 4, Factor dinámico (Ver Tabla en Anexo I)
$K_s = 1,0$	Para aplicaciones (Ver Tabla en Anexo I)
$K_m = 1,6$	Tabla N° 12 (Ver Tabla en Anexo I)
$J_p = 0,35$	Fig 4, Cuando un solo par de dientes está en contacto (Ver Tabla en Anexo I)
$J_g = 0.40$	(Ver Tabla en Anexo I)
$K_l = 1,0$	Tabla N° 10 (Ver Tabla en Anexo I)

$K_t = 1,0$ Temperatura normal

(Ver Tabla en Anexo I)

$K_r = 1,0$ Tabla N° 16, Factor de seguridad respecto a la
resistencia a la fatiga

(Ver Tabla en Anexo I)

Potencia que puede transmitir el Piñón

$$P = 6,96 * 10^{-7} \left(\frac{D_p * N_p * S_{at} * m * F * J * K_l * K_v}{K_s * K_m * K_t * K_r * K_o} \right) \text{ CV}$$

Reemplazando datos se tiene:

$$P = 6,96 * 10^{-7} \left(\frac{72 * 3480 * 4,9 * 4 * 40 * 0,29 * 1 * 0,62}{1 * 1,6 * 1 * 1 * 1,25} \right) \text{ CV}$$

$$P = 5,28 \text{ CV} > 4 \text{ HP}$$

Se puede disminuir el ancho del diente a $F = 30 \text{ mm}$

Entonces recalculando

$$P = 30/40 * 5,28 = 4,2 \quad \text{OK!}$$

5.2 FILOSOFÍA DE CONTROL AUTOMÁTICO DEL PROCESO DE REFRIGERACIÓN

5.2.1 Objetivo del sistema

Este sistema tiene por objetivo el aseguramiento del suministro de agua a la red hidrante, considerando que la demanda será constante para los

cinco Grupos Generadores de la Central Hidroeléctrica. El sistema también tiene la función de generar señal de alarma en caso de emergencia.

El sistema de arranque lógico tiene por objetivo específico el control de arranque secuencial de las bombas principales y auxiliares del sistema de refrigeración de una variable de proceso como sigue:

- Presión dentro los límites de 0-30 PSI, rango a que deben trabajar las líneas y las válvulas del sistema a fin de operar en condiciones seguras sin turbidez.

5.2.1 Descripción del sistema

El sistema se compone de un PLC que está programado para ordenar el arranque o parada en forma secuencial de las bombas centrifugas principal y auxiliar de 583 M³/h.

Para dicho efecto recibirá la señal de un Transmisor de presión y la capacidad objetivo es de 30 PSI en la Línea de succión a las Bombas principales y ordenará la parada de éstas una por una.

También recibirá la señal de emergencia que se ubicará en la sala de control.

5.2.1.1 Modo de operación automática (PLC)

El modo de operación automática consiste en lo siguiente:

- Cuando el operador observa en la PC Scada la señal del transmisor de presión, (ubicado en la entrada de las válvulas de succión de las bombas principales) que la presión ha alcanzado el valor de 30 PSI, es una señal de que el agua contenida por el Reservorio se encuentra turbia con gran deposito de lodo en su interior y que la canastilla de la tubería de succión de agua del reservorio se encuentra obstruido con gran cantidad de partículas de arena en suspensión, hojas y ramas de plantas silvestres.
- Entonces se procede a la limpieza del Reservorio.

5.2.2.1.1 Proceso de vaciado del reservorio

Los pasos a efectuar son los siguientes.

- Se procede al cierre automático de las Válvulas de llenado de Agua al Reservorio de las Unidades N° 4, N° 5 para evitar el ingreso de agua al Reservorio.
- Se para la Bomba Principal N° 1 en forma automática y se procede a la apertura de la válvula de vaciado del reservorio con la finalidad de reducir el nivel de agua en el Reservorio lentamente.
- En forma automática simultáneamente a la operación anterior se apertura las válvulas de las unidades de generación N° 2, N° 3 y se cierra la válvula principal de llenado de agua al Reservorio de las unidades de generación N° 1, 2 y 3. Luego se arranca la Bomba Auxiliar N° 1 en

forma automática para mantener constante el caudal de agua que circula en el circuito de refrigeración

- Terminada la operación anterior se para la otra Bomba Principal N° 2 en forma automática y se arranca la Bomba auxiliar N° 2 también en forma automática con la finalidad de mantener constante nuevamente el caudal de agua que circula en el circuito de refrigeración.
- Terminado el vaciado del agua contenido en el reservorio se procede a efectuar la limpieza de los residuos de lodo, plásticos, piedras, hojas y ramas de plantas silvestres, para ello el Mecánico de Planta debe ingresar al Reservorio con sus implementos de limpieza y hacer uso de manguera de agua para poder limpiar con eficacia y rapidez

5.2.2.1.2 Proceso de llenado del reservorio

Cuando el reservorio se encuentra totalmente vacío luego de efectuado el proceso de limpieza, se procede al llenado automático del Reservorio, los pasos son los siguientes.

- Se aperturan las Válvulas de llenado de Agua al Reservorio de las Unidades N° 4 y 5 en forma automática, hasta que el nivel de agua se encuentre en 4,0m.
- Se arranca en forma automática la Bomba Principal N° 1 y se para la Bomba Auxiliar N° 1 también en forma automática con la finalidad de mantener constante el caudal de agua en la Red Hidrante de Refrigeración.

- Después de 5 seg. a la operación anterior se arranca la Bomba principal N° 2 en forma automática y se para la Bomba auxiliar N° 2 también en forma automática.
- Luego se apertura en forma automática la válvula principal de llenado de agua al Reservorio de las unidades N° 1, N° 2 y N° 3, se cierran las válvulas de las unidades N° 2 y N° 3 también en forma automática y se mantiene abierto la válvula de la Unidad N° 1.
- La operación anterior se efectúa con la finalidad de mantener constante el caudal de agua en el circuito de Refrigeración y mantener el nivel de agua en el Reservorio constante (3,0 m)

OBSERVACIONES

- La válvula principal de succión de agua del reservorio siempre se encuentra abierta.
- Las válvulas de succión y de descarga de las Bombas principales y auxiliares siempre se encuentran abiertas.
- Las válvulas de los filtros siempre se encuentran abiertas, cerrándose solamente cuando se va a efectuar un By Pass por mantenimiento del filtro. (Ver figura 5.10)
- Ver la Automatización por PLC en Plano: YAUPI-099-05-I-002-A3.

5.3 OTRAS PRESTACIONES

5.3.1 Amperaje y KW

El sistema será capaz de registrar el máximo amperaje y/o Kw. consumido por cada motor de bomba física, de preferencia como un porcentaje de la potencia o amperaje máximo de diseño.

5.3.2 Arranque de las bombas principales y auxiliares.

Reportará el número de arranques de las Bombas y duración de las mismas. Será una medida adicional para efectuar las labores de Mantenimiento preventivo

5.3.3 Reportes

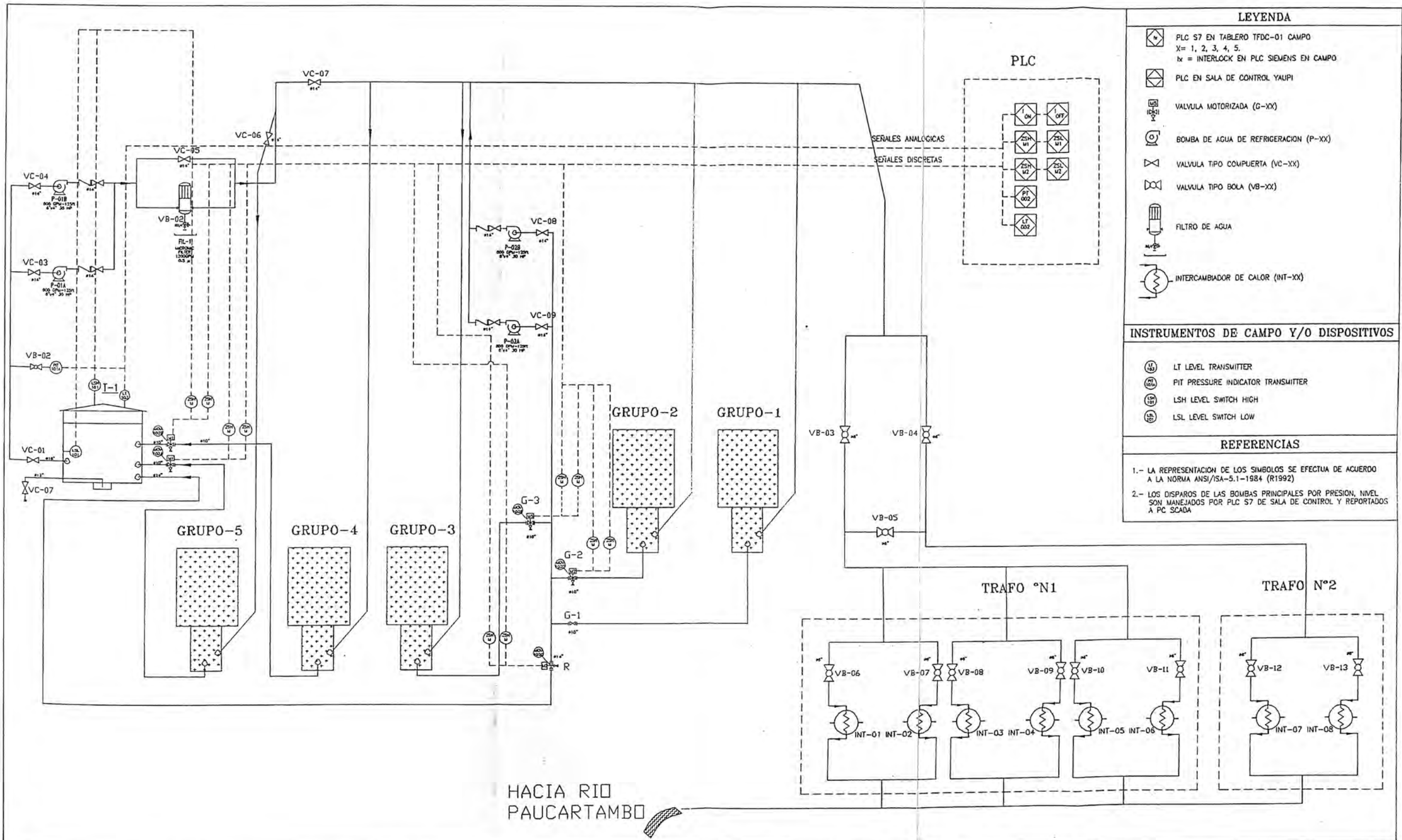
Alarmas generadas en el sistema cada vez que ocurren el Nivel Bajo y Nivel Alto de agua en el Reservorio, de igual forma el sistema generará alarma cuando la presión ha superado los 30 PSI en la succión de las bombas principales.

5.4 ENTRADAS Y SALIDAS DEL SISTEMA

El sistema tiene las siguientes entradas y salidas:

- Presión de succión de las bombas principales
- Nivel Alto y Bajo nivel de agua en el Reservorio

- Señal de confirmación de operación de los motores de las bombas principales y auxiliares
- Señal de apertura o cierre de las Válvulas motorizadas
- Señal de parada de una o más bombas del sistema de refrigeración para propósitos de mantenimiento o inspección
- Señal de activación a la sirena de emergencia a ser ubicada en la sala de control.



LEYENDA

- PLC S7 EN TABLERO TFDC-01 CAMPO
X= 1, 2, 3, 4, 5.
x = INTERLOCK EN PLC SIEMENS EN CAMPO
- PLC EN SALA DE CONTROL YAUPI
- VALVULA MOTORIZADA (G-XX)
- BOMBA DE AGUA DE REFRIGERACION (P-XX)
- VALVULA TIPO COMPUERTA (VC-XX)
- VALVULA TIPO BOLA (VB-XX)
- FILTRO DE AGUA
- INTERCAMBIADOR DE CALOR (INT-XX)

INSTRUMENTOS DE CAMPO Y/O DISPOSITIVOS

- LT LEVEL TRANSMITTER
- PIT PRESSURE INDICATOR TRANSMITTER
- LSH LEVEL SWITCH HIGH
- LSL LEVEL SWITCH LOW

REFERENCIAS

- 1.- LA REPRESENTACION DE LOS SIMBOLOS SE EFECTUA DE ACUERDO A LA NORMA ANSI/ISA-5.1-1984 (R1992)
- 2.- LOS DISPAROS DE LAS BOMBAS PRINCIPALES POR PRESION, NIVEL SON MANEJADOS POR PLC S7 DE SALA DE CONTROL Y REPORTADOS A PC SCADA

HACIA RIO PAUCARTAMBO

NOTAS	REV.	FECHA	DESCRIPCION	DIB.	REV.1	REV.2	REV.3	APR.	ELECTROANDES		
	0	15-06-05	PARA APROBACION DEL JURADO	E.R.R.	E.R.R.				PROYECTO: AUTOMATIZACION POR PLC DEL SISTEMA DE REFRIGERACION DE C.H YAUPI PLANO: DIAGRAMA DE TUBERIAS E INSTRUMENTACION ESCALA: S/E ESCALA PLTDO: 1/1 N° DE PROYECTO: INSP-099-05 N° DE PLANO: YAUPI-099-05-1-002-A3	NOMBRE ARCHIVO: YAUPI0990510001A3 TODAS LAS MEDIDAS EN mm. EXCEPTO LAS ESPECIFICADAS	
											REV. 0

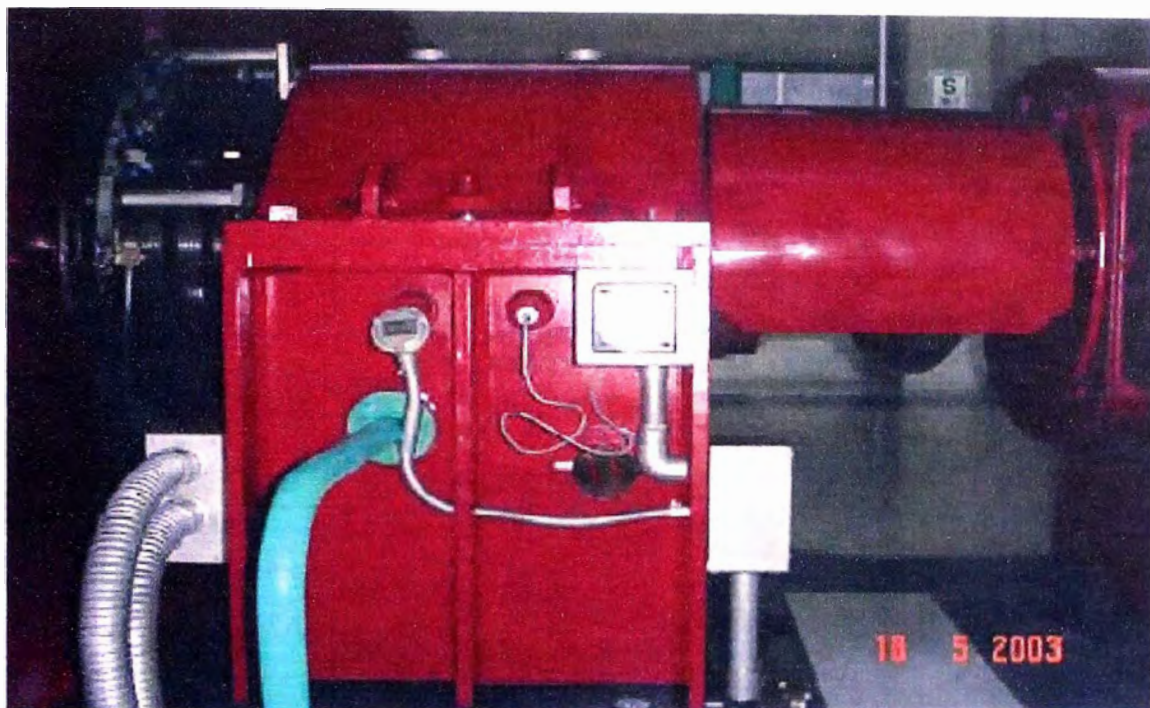


Figura 5.1 (Refrigeración de agua al Aceite de la Chumacera)



Figura 5.2 (Intercambiador de Calor Agua – Aceite de Lubricación)



Figura 5.3 (Intercambiador de Calor Agua – Aceite de Lubricación)



Figura 5.4 (Reservorio de Agua de Refrigeración de la C.H. – Yaupi)



Figura 5.5 (Reservorio de Agua de Refrigeración de la C.H. – Yaupi)



Figura 5.6 (Tablero de Bombas Principales de Agua la C.H. – Yaupi)



Figura 5.9 (Sala de Bombas Auxiliares de Refrigeración de la C.H. – Yaupi)

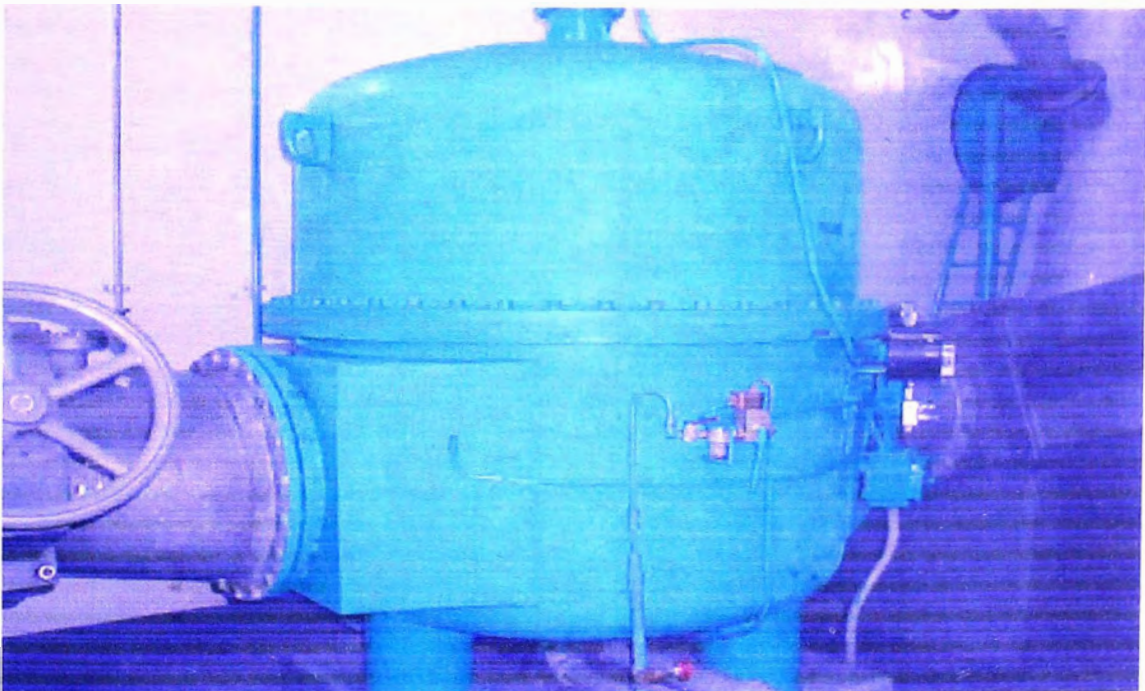


Figura 5.10 (Filtro de Agua del Sistema de Refrig. Principal de la C.H.– Yaupi)



Figura 5.7 (Tablero de Bombas Auxiliares de Agua la C.H. – Yaupi)



Figura 5.8 (Válvulas Tipo compuerta del Sistema Auxiliar de Refrigeración)

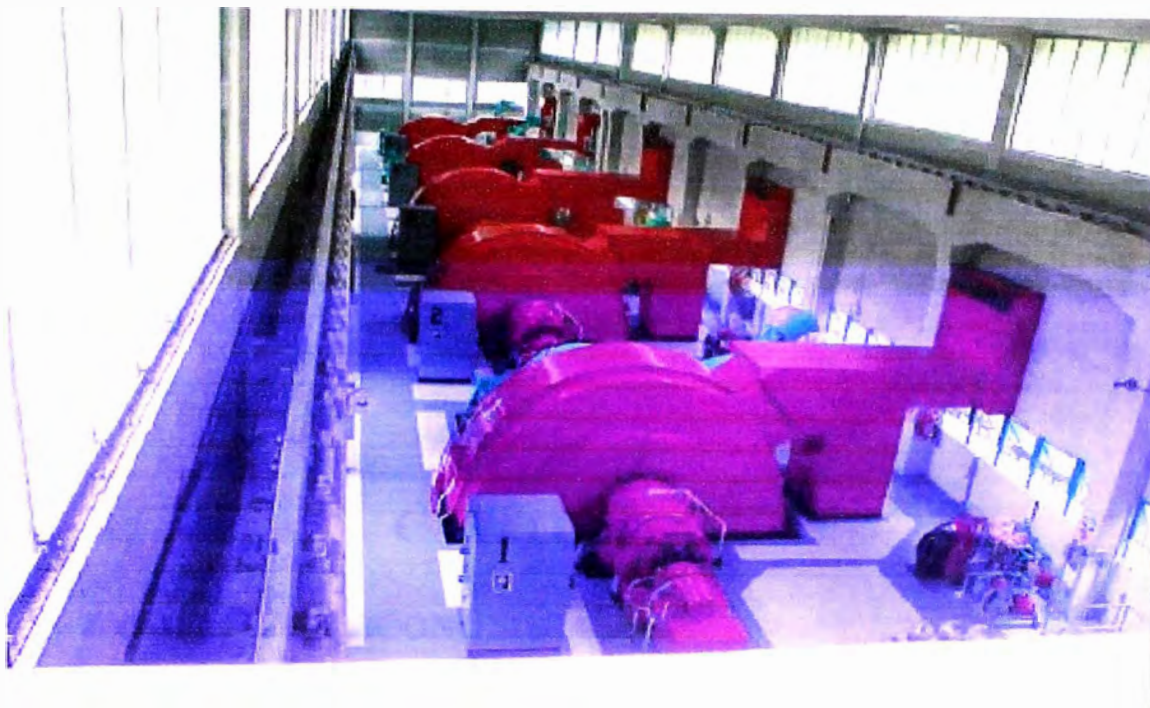


Figura 5.11 (Sala de Maquinas de la Central Hidroeléctrica – Yaupi)

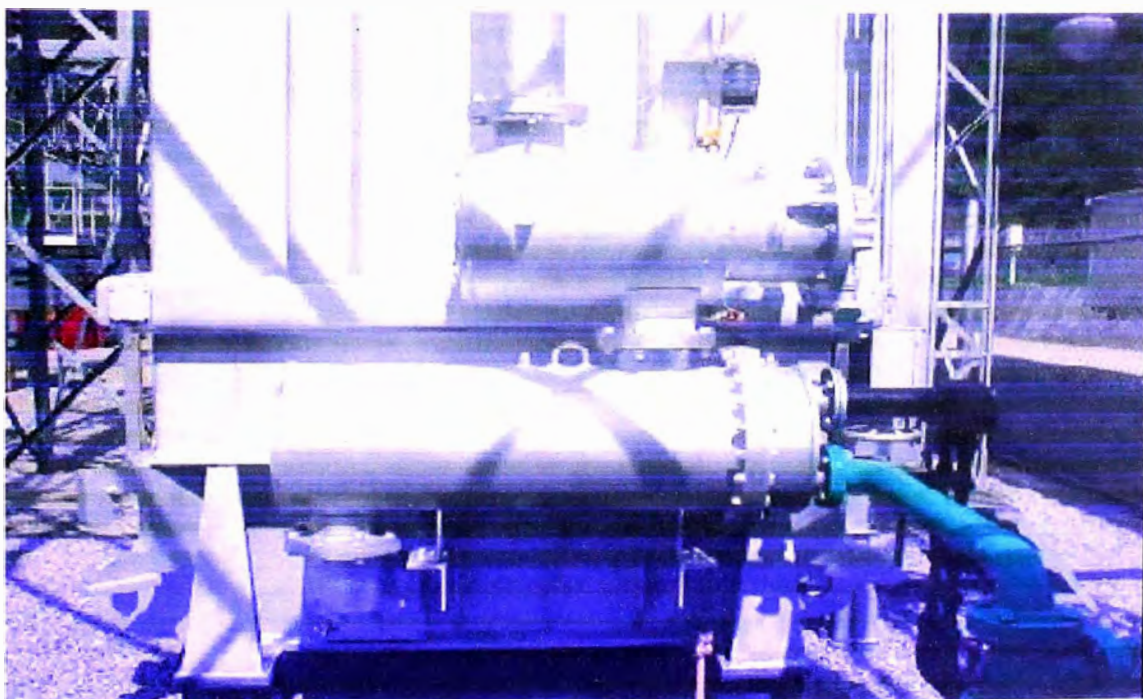


Figura 5.12 (Patio de llaves de la Central Hidroeléctrica – Yaupi)

CAPÍTULO VI

6. EVALUACIÓN ECONÓMICA

6.1 COSTO DE LA AUTOMATIZACION CONVENCIONAL DEL PROCESO DE REFRIGERACION (MANUAL)

Listado - Relación de Materiales eléctricos					
Item	Descripción e Especificación	Unidad	Cantidad	Precio Unitario(\$)	Precio Parcial(\$)
1	Pulsador Start Stop, selector L-D-A con lámpara señalizadora"	PZA	6	200,00	1 200,00
2	Cable de control 4x2.5 mm ² CCT-B	ML	250	0,80	200,00
3	Cable de control 7x2.5 mm ² CCT-B	ML	200	0,95	190,00
4	Cable de fuerza 3x2.5 mm ² -NYY	ML	150	1,27	190,50
5	Cable de fuerza 4x2.5 mm ² -NYY	ML	400	1,87	748,00
6	Cable de fuerza 3x10 mm ² -NYY	ML	230	3,18	731,40
7	Cable de fuerza 4x10 mm ² -NYY	ML	260	5,33	1 385,80
8	Cable de fuerza 3x4 mm ² -NYY	ML	253	1,80	455,40
9	Cable de fuerza 4x4 mm ² -NYY	ML	178	2,60	462,80
10	Cable de fuerza 4x16 mm ² -NYY	ML	436	7,37	3 213,32
11	Cable 2/0 AWG de Cu desnudo	ML	50	2,54	127,00
12	Conduits de PVC de 1"Ø PVCx 3mt. Sch 40	PZA	150	5,00	750,00
13	Conduits de PVC de 2"Ø PVCx3mt. Sch 40	PZA	400	8,00	3 200,00
14	Conduits de 3/4"Ø Fe.Ga. De 3mt. Con su cople	PZA	82	8,00	656,00
15	Conduits de 1"Ø Fe.Ga. De 3mt. Con su cople	PZA	210	12,00	2 520,00
16	Unión Universal Eléctrica de 3/4"Ø H-H	PZA	12	10,00	120,00
17	Unión Universal Eléctrica de 1"Ø H-H	PZA	16	18,00	288,00

Listado - Relación de Materiales eléctricos					
Item	Descripción e Especificación	Unidad	Cantidad	Precio Unitario(\$)	Precio Parcial(\$)
18	Tuerca Bushing de 3/4"NPT Cat. 1032 C.Hinds o similar	PZA	10	1,90	19,00
19	Tuerca Bushing de 1"NPT Cat. 1033 C.Hinds o similar	PZA	10	2,80	28,00
20	Tuerca Bushing de 1-1/2"NPT Cat. 1035 C.Hinds o similar	PZA	10	4,95	49,50
21	Tuerca Bushing de 2"NPT Cat. 1036 C.Hinds o similar	PZA	10	7,20	72,00
22	Contratuerca de 3/4" cat. SL-2 de C.Hinds o similar	PZA	10	1,00	10,00
23	Contratuerca de 1" cat. SL-3 de C.Hinds o similar	PZA	10	1,55	15,50
24	Contratuerca de 1 1/2" cat. SL-5 de C.Hinds o similar	PZA	10	3,10	31,00
25	Contratuerca de 2" cat. SL-6 de C.Hinds o similar	PZA	10	4,00	40,00
Total (\$)					19 198,22

Listado - Relación de instalación de Materiales Eléctricos

Item	Descripción e Especificación	Unidad	Cantidad	Precio Unitario(\$)	Precio Parcial(\$)
1	Instal. y conex. Gabinetes y/o Tableros eléctricos 440VAC	PZA	2,00	100,00	200,00
2	Instal. y conex. Gabinetes y/o Tableros eléctricos 220VAC	PZA	2,00	100,00	200,00
3	Cable de control 4x2.5 mm ² CCT-B	ML	250,00	0,38	95,00
4	Cable de control 7x2.5 mm ² CCT-B	ML	200,00	0,61	122,00
5	Cable de fuerza 3x2.5 mm ² -NYY	ML	150,00	0,26	39,00
6	Cable de fuerza 4x2.5 mm ² -NYY	ML	400,00	0,28	112,00
7	Cable de fuerza 3x10 mm ² -NYY	ML	230,00	0,50	115,00
8	Cable de fuerza 4x10 mm ² -NYY	ML	260,00	0,60	156,00
9	Cable de fuerza 3x4 mm ² -NYY	ML	253,00	0,38	96,14
10	Cable de fuerza 4x4 mm ² -NYY	ML	178,00	0,33	58,74
11	Cable de fuerza 4x16 mm ² -NYY	ML	436,00	0,70	305,20
12	Cable 2/0 AWG de Cu desnudo	ML	50,00	0,28	14,00
13	Instalación de pozos de tierra	PZA	2,00	120,00	240,00
14	Instalación de eléctrica Instrumentos de presión	PZA	2,00	30,00	60,00
15	Instalación de eléctrica Instrumento de nivel de agua SCI	PZA	1,00	40,00	40,00
16	Instalación de Eléctrica de Electrobombas de <40HP	PZA	4,00	70,00	280,00
17	Instalación gabinete banco de condensadores	PZA	1,00	200,00	200,00
18	Instalación eléctrica de Transformador de 100KVA	PZA	1,00	100,00	100,00

Listado - Relación de instalación de Materiales Eléctricos

Item	Descripción e Especificación	Unidad	Cantidad	Precio Unitario(\$)	Precio Parcial(\$)
19	Instalac.conduits de PVC Sch 40 de 1"Ø a 2"Ø (3m c/u)	PZA	550,00	1,50	825,00
20	Instalac.conduits de 0- 1"Ø Fe.Ga. De 3mt. Con su cople(3m c/u)	PZA	292,00	1,50	438,00
21	Medición de resistividad del terreno y pozos de tierra	GLB	1,00	200,00	200,00
22	Prueba de giro de motores	GLB	1,00	300,00	300,00
23	Pruebas de continuidad de cables y Aislamiento	GLB	1,00	250,00	250,00
Total (\$)					4 446,08

Listado - Relación de equipos eléctricos

Item	Descripción e Especificación	Unidad	Cantidad	Precio Unitario(\$)	Precio Parcial(\$)
1	Tablero de Fuerza y Control, 480VAC	PZA	2,00	1.500,00	3 000,00
2	Transformador, 100KVA, 480/220V, 3Φ, 60 HZ	PZA	1,00	1.800,00	1 800,00
3	Tableros de Fuerza, 220 VAC	PZA	2,00	600,00	1 200,00
4	Gabinete Corrector de Factor de Potencia	PZA	1,00	800,00	800,00
5	Tablero de Alimentador Instrumentos 24VDC	PZA	1,00	250,00	250,00
Total (\$)					7 050,00

SUB-TOTAL (\$)	30 694,300
IGV. 18%	5 524,974
TOTAL (\$)	36 219,274

6.2 COSTO DE LA AUTOMATIZACION POR PLC DEL PROCESO DE REFRIGERACION

Listado - Relación de Materiales eléctricos					
Item	Descripción e Especificación	Unidad	Cantidad	Precio Unitario(\$)	Precio Parcial(\$)
1	Tablero para Válvulas Motorizadas, según Plano PE4100903	UND	1	1 500,00	1 500,00
2	Tablero para Bombas Principales y Auxiliares de Refrigeración según Planos PE1200041 y PE120042	UND	2	1 000,00	2 000,00
3	Actuador de Válvulas Motorizadas Floserve Modelo Limitorque	UD	5	1 200,00	6 000,00
4	Sirenas de Alarma CAT. #HLUF25STA 16X5 DBK-220V General Electric, para instalación en poste o Equivalente	UND	2	280,00	560,00
5	Caja de paso forma LB de 3/4". Crs-Hinds. Cat. # GUAL26.	UND	1	33,00	33,00
6	Push Button CAT. # EDS215, START-STOP C. Hinds ó Equiv.	UND	1	90,00	90,00
7	Kit de pozo de tierra y accesorios (Tierra vegetal + Sanick Gel, Varilla Copperweld 5/8" Øx2.4mt.)	GLO	3	120,00	360,00
8	Unión eléctrica 3/4" Ø CAT# UNF 205 Crouse Hinds ó Equivalente.	UND	1	8,50	8,50
9	Sello eléctrico 3/4" Ø CAT# EYS 216 C. Hinds ó Equivalente.	UND	1	15,00	15,00
10	Conduit de PVC-Sch. 40; 3/4" Øx3mt.	PZA	8	3,20	25,60
11	Conduit de Fe. Ga, 1 " Øx3mt.	PZA	2	18,25	36,50
12	Conduit de Fe. Ga, 3/4" Øx3mt.	PZA	15	12,00	180,00
13	Tubería conduit flexible de acero forrado con PVC de 3/4" Ø	M	2	3,50	7,00
14	Cable 4x16 mm ² NYY	M	50	0,90	45,00
15	Cable 3x6 mm ² NYY	M	120	0,65	78,00
16	Cable 3x4 mm ² CCT-B	M	200	0,37	74,00
17	Cable desnudo 2/0 AWG de Cu.	M	50	2,60	130,00
18	Material Ferretero Eléctrico (U bolt, Stove bolt, soporte de conduit, etc	GLO	1	300,00	300,00
Total (\$)					11 442,60

Listado - Relación de instalación de Materiales Eléctricos					
Item	Descripción e Especificación	Unidad	Cantidad	Precio Unitario(\$)	Precio Parcial(\$)
1	Instalación y conexionado de para Válvulas Motorizadas, según Plano PE4100903	UND	2,00	80,00	160,00
2	Instalación y conexionado de Tableros de Bombas Principales y Auxiliares de Refrigeración según Planos PE1200041 y PE120042	UND	2,00	80,00	160,00
3	Instalación y conexionado de pulsadores Start-Stop	UND	1,00	20,00	20,00
4	Instalación de sirenas de alarma por Alto Nivel, Bajo nivel	UND	2,00	50,00	100,00
5	Instalación del pozo de protección de puesta a tierra eléctrico, con aditivos	UND	3,00	80,00	240,00
6	Instalación del pozo de protección de puesta a tierra, con aditivos según detalle que se indica en plano IN-9530-6-13-003-0	UND	3,00	80,00	240,00
7	Instalación de conduit de PVC-Sch. 40 ¾" Øx3mt.	PZA	8,00	1,20	9,60
8	Instalación de conduit de Fe. Ga, 1" Øx3mt.	PZA	2,00	2,50	5,00
9	Instalación de conduit de Fe. Ga, ¾" Øx3mt.	PZA	15,00	2,50	37,50
10	Instalación tubería flexible forrado con PVC de ½" Ø tipo flexible	ML	2,00	2,50	5,00
11	Instalación de cable 4x16 mm ² NYY	ML	50,00	0,50	25,00
12	Instalación de cable 3x6 mm ² NYY	ML	120,00	0,50	60,00
13	Instalación de cable 3x4 mm ² CCT-B	ML	200,00	0,50	100,00
14	Instalación de cable desnudo 2/0 AWG de Cu.	ML	50,00	0,80	40,00
15	Prueba de continuidad, sistema de Tierra y Protocolo de pruebas	GLO	1,00	250,00	250,00
Total (\$)					1 452,10

Listado - Relación de equipos eléctricos					
Item	Descripción e Especificación	Unidad	Cantidad	Precio Unitario(\$)	Precio Parcial(\$)
1	Interruptor de Nivel ON OFF(Alto Nivel), Contactos 1NO, 1NC 5A 125/250VAC rating; Pipe conection : 3/4" NPT, Instalación horizontal ; Fluido a medir : Agua 30°C	UND	1,00	357,00	357,00
2	Interruptor de Nivel ON OFF(Bajo Nivel), Contactos 1NO, 1NC 5A 125/250VAC rating; Pipe conection : 3/4" NPT, Instalación horizontal ; Fluido a medir : Agua 30°C	UND	1,00	357,00	357,00
3	Transmisor de Presión manométrica FOXBORO Modelo IGP10 Nema 4X, Salida: 4-20mA; Pipeconection : ½" NPT, Fluido: petróleo ,Aceite, Agua	UND	1,00	542,00	542,00
4	Transmisor de Nivel Nema 4X FOXBORO, Salida: 4-20mA; electric conection: ½" NPT; Presión Nominal: 1000lbs/pulg ² ; Pipeconection : ½" NPT, Fluido: petróleo ,Aceite a 60°C a 80°C	UND	1,00	728,00	728,00
5	Servicio de Instalación, configuración, programación y puesta en marcha el sistema	GLO	1,00	1 000,00	1 000,00
Total (\$)					2 984,00

SUB-TOTAL (\$)	15 878,700
IGV. 18%	2 858,166
TOTAL (\$)	18 736,866

CONCLUSIONES

- Después de haber realizado el presente informe se concluye que es conveniente automatizar en todos aquellos casos en los que se tienen que realizar trabajos de rutina que para el operador son aburridos, pesados, molestos o nocivos para la salud.
- Cuando se requieran en promedio cinco relays y temporizadores conviene automatizar dicho sistema utilizando como unidad de tratamiento de datos de PLC, que con el mismo precio ofrece múltiples ventajas frente a la automatización a través de relays.
- Luego de efectuar la evaluación económica, se concluye que para procesos complejos el costo de la implementación del PLC reduce el costo de la operación aproximadamente a la mitad del costo de la operación a través de la lógica convencional (relay, contactores, Temporizadores, Contadores etc..) del proceso de refrigeración.

- En conclusión con el uso del PLC se logra ventajas técnicas y económicas, inclusive para sistemas no muy complejos; donde el nivel de ahorro lo determina el sistema, siendo mayor cuando es necesario utilizar muchos dispositivos de lógica convencional.
- Por otro lado desde el punto de vista técnico un PLC además de reemplazar relés, temporizadores, contadores, etc., se le puede programar otras funciones que no podrían realizarse con lógica convencional, permitiendo automatizar sistemas muy complejos; además entre otras ventajas tenemos: un fácil diagnóstico ante fallas, poco mantenimiento, reducido espacio para su instalación, poco cableado, etc.

BIBLIOGRAFIA

1. Centrales Hidroeléctricas
Ing. Gilberto Enriquez Harper
Segunda Edicion-Editorial Limusa, S.A.
2. Apuntes de Clases de Centrales hidroeléctricas
Reynaldo Villanueva Ure – UNI
3. Instalaciones Eléctricas
Albert F. Spitta
Segunda Edicion-Editorial McGraw Hill Interamericana, S.A.
4. Catálogo de Cables
Indeco Peruana S.A.
5. Diseño de Elementos de Máquinas II
Ing. Fortunato Alva Dávila
Primera Edicion-FIM UNI

6. Diseño de Elementos de Máquina
 Ing. Juan J. Hori A
 Octava Edición- FIM UNI

7. Automatización y Control Industrial
 Centro de Extensión y Proyección Social – UNI

8. Automatización (Tópicos de Instrumentación y Control)
 Ing. Reymundo Carranza Noriega
 Segunda Edición- PUCP

9. Proteccion de Instalaciones Electricas y Comerciales.
 Ing. Gilberto Enriquez Harper
 Primera Edicion-Editorial Limusa, S.A.

10. Controladores lógicos programables
 Ing. Elmer Ramírez Quiroz
 Primera Edicion-Concytec Peru 1997

PLANOS

PLANOS

Plano 1 **YAUPI-099-05-I-001-A3**

Plano 2 **YAUPI-099-05-I-002-A3**

Plano 3 **PE1200041**

Plano 4 **PE1200042**

Plano 5 **PE4100903**

Plano 6 **PE7100098A**

Plano 7 **PE7100098B**

Plano 8 **PE7100098C**

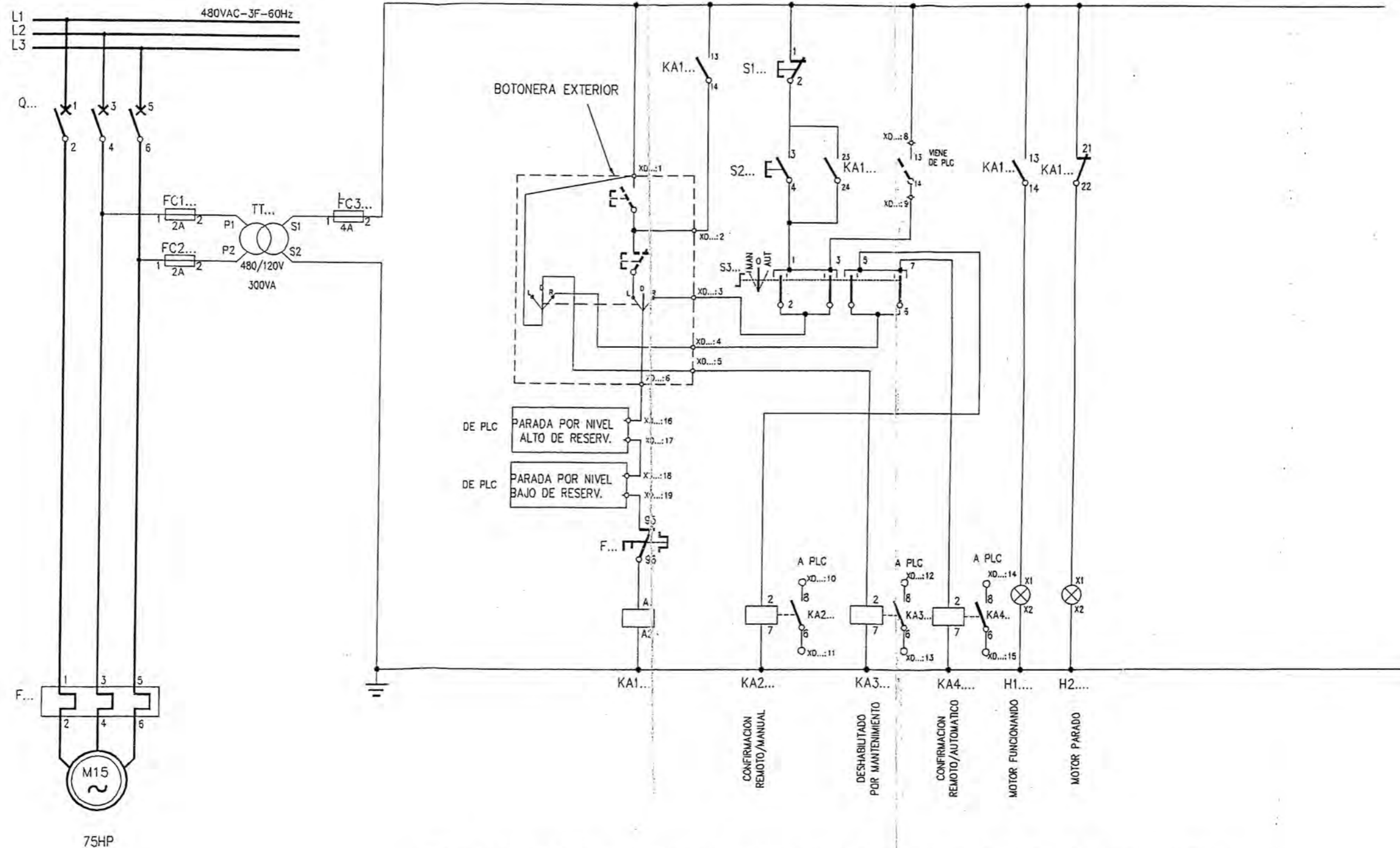
Plano 9 **PE7100098D**

Plano 10 **PE7100098E**

Plano 11 **PE7100098F**

Plano 12 **PE7100098G**

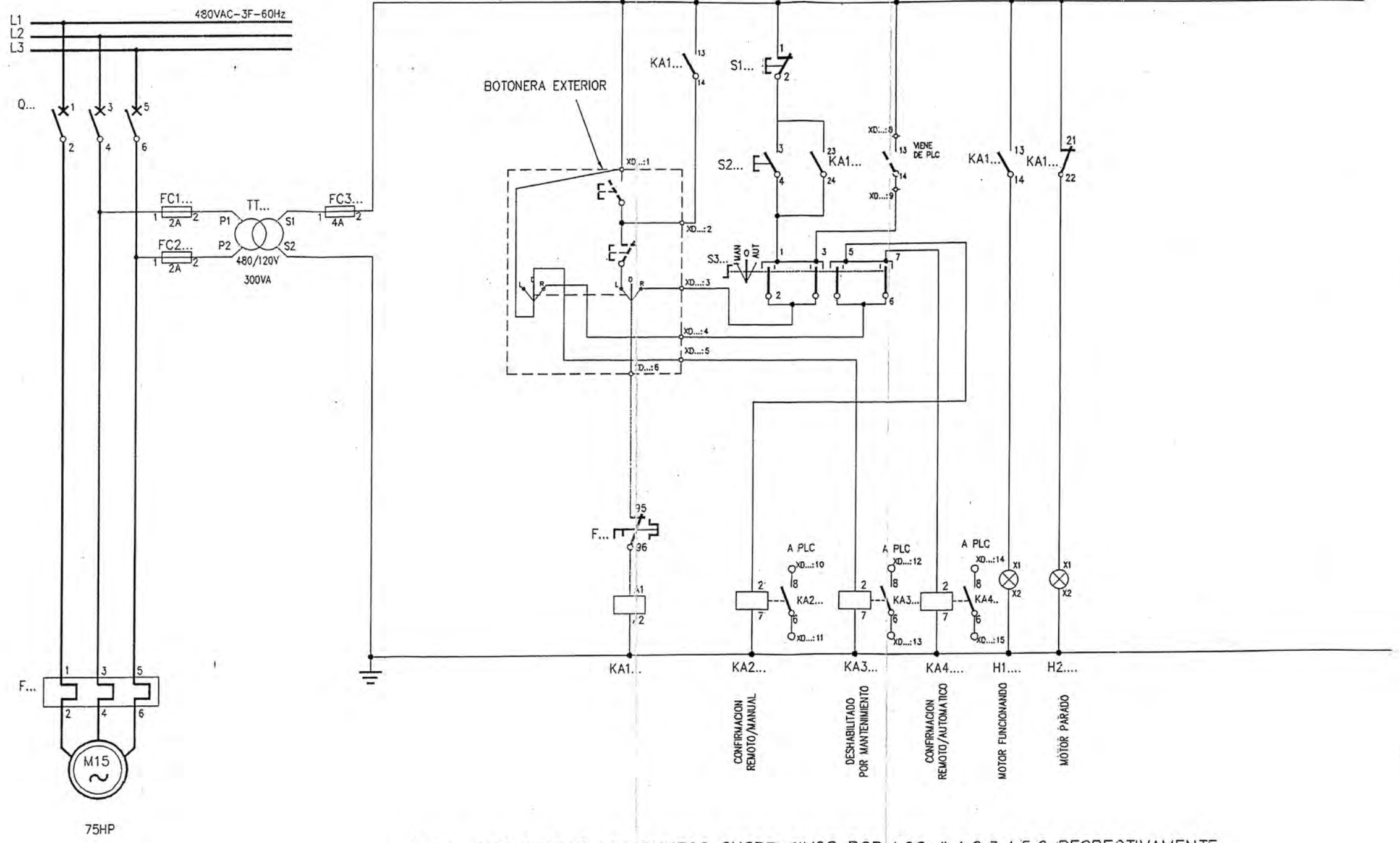
Plano 13 **0253R0875**



NOTA: REEMPLAZAR LOS PUNTOS SUSPENSIVOS POR LOS # 1,2,3,4,5,6 RESPECTIVAMENTE

EDICION	FECHA	REV.	V. B.	DESCRIPCION

	DEPARTAMENTO TCO. COMERCIAL	<table border="1"> <thead> <tr> <th>NOMBRE</th> <th>FIRMA</th> <th>FECHA</th> <th>DESCRIPCION :</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>ING. M. VASQUEZ</td> <td>M.V.</td> <td>01/03/05</td> <td rowspan="3">CIRCUITO DE CONTROL BOMBA DE AGUA PRINCIPAL</td> </tr> <tr> <td>ING. H. ESTACIO</td> <td>H.E.</td> <td>07/04/05</td> </tr> <tr> <td>ING. L. MAS</td> <td>L.M.</td> <td>07/04/05</td> </tr> </tbody> </table>			NOMBRE	FIRMA	FECHA	DESCRIPCION :	ING. M. VASQUEZ	M.V.	01/03/05	CIRCUITO DE CONTROL BOMBA DE AGUA PRINCIPAL	ING. H. ESTACIO	H.E.	07/04/05	ING. L. MAS	L.M.	07/04/05	USO :	TABLERO TFG-1 480V-60Hz-3Ø ELECTROANDES	H. / R 3170
	NOMBRE	FIRMA	FECHA	DESCRIPCION :																	
	ING. M. VASQUEZ	M.V.	01/03/05	CIRCUITO DE CONTROL BOMBA DE AGUA PRINCIPAL																	
	ING. H. ESTACIO	H.E.	07/04/05																		
ING. L. MAS	L.M.	07/04/05																			
LIMA PERU				CANT/PLANO 1/8																	
				N° PLANO PE1200041																	



NOTA: REEMPLAZAR LOS PUNTOS SUSPENSIVOS POR LOS # 1,2,3,4,5,6 RESPECTIVAMENTE

EDICION FECHA REV. V. B. DESCRIPCION



MANUFACTURAS
ELECTRICAS S.A.

DEPARTAMENTO
TCO. COMERCIAL
LIMA PERU

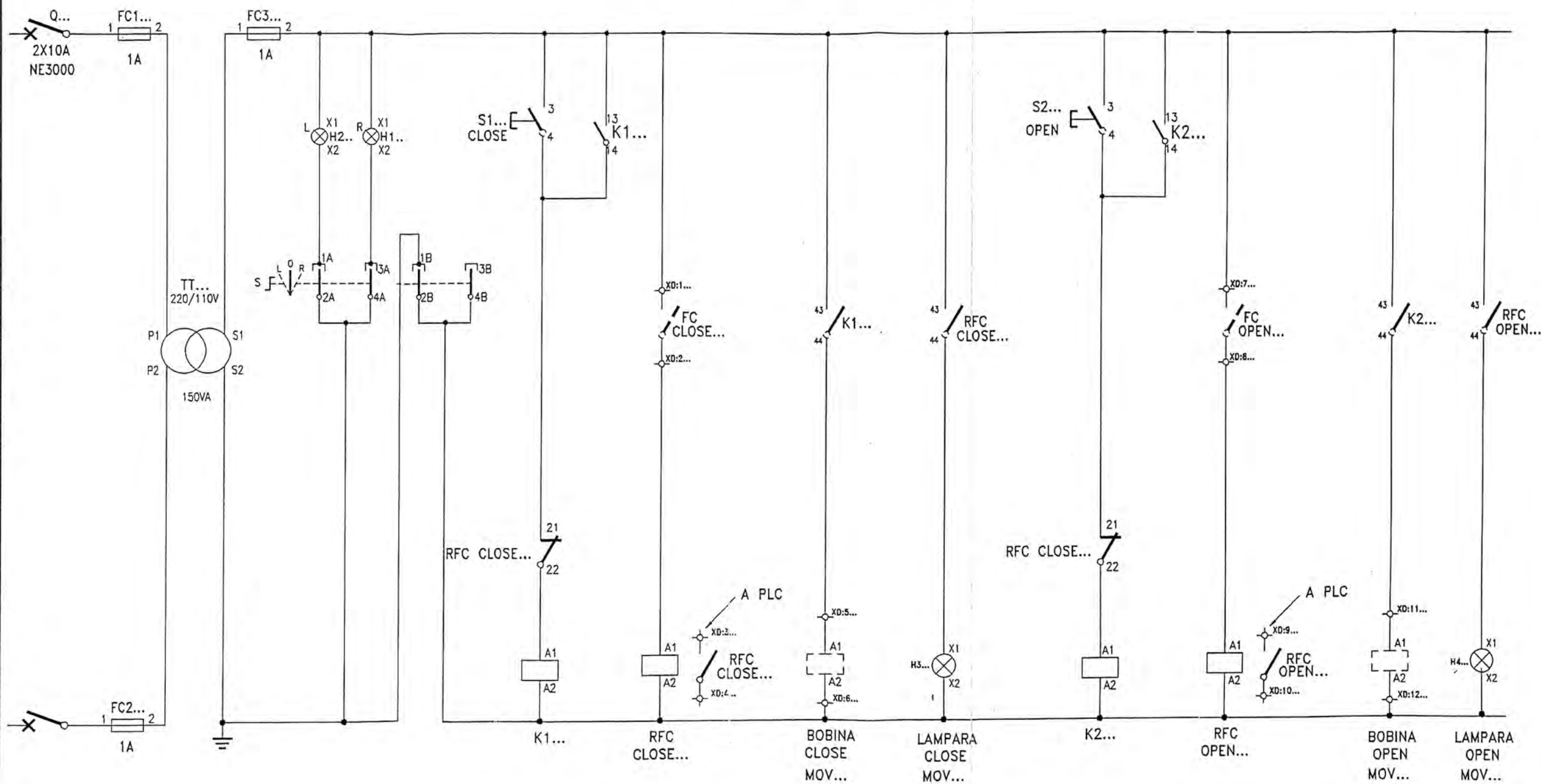
	NOMBRE	FIRMA	FECHA
DISEÑADO	ING. M. VASQUEZ	M.V.	01/03/05
REVISADO	ING. H. ESTACIO	H.E.	07/04/05
APROBADO	ING. L. MAS	L.M.	07/04/05

DESCRIPCION :
CIRCUITO DE CONTROL
BOMBA DE AGUA AUXILIAR.

USO :
TABLERO TFG-2
480V-60Hz-3Ø
ELECTROANDES

H / R	3170
CANT/PLANO	1/8
N° PLANO	PE1200042

CIRCUITO DE CONTROL TIPICO DE MOVS



* REEMPLAZAR LOS PUNTOS SUSPENSIVOS POR LOS # 1,2,3,4,5,6,7,8.

DESCRIPCION
EDICION
FECHA
REV.
V. B.

MANUFACTURAS
ELECTRICAS S.A.

DEPARTAMENTO DE
INGENIERIA
LIMA PERU

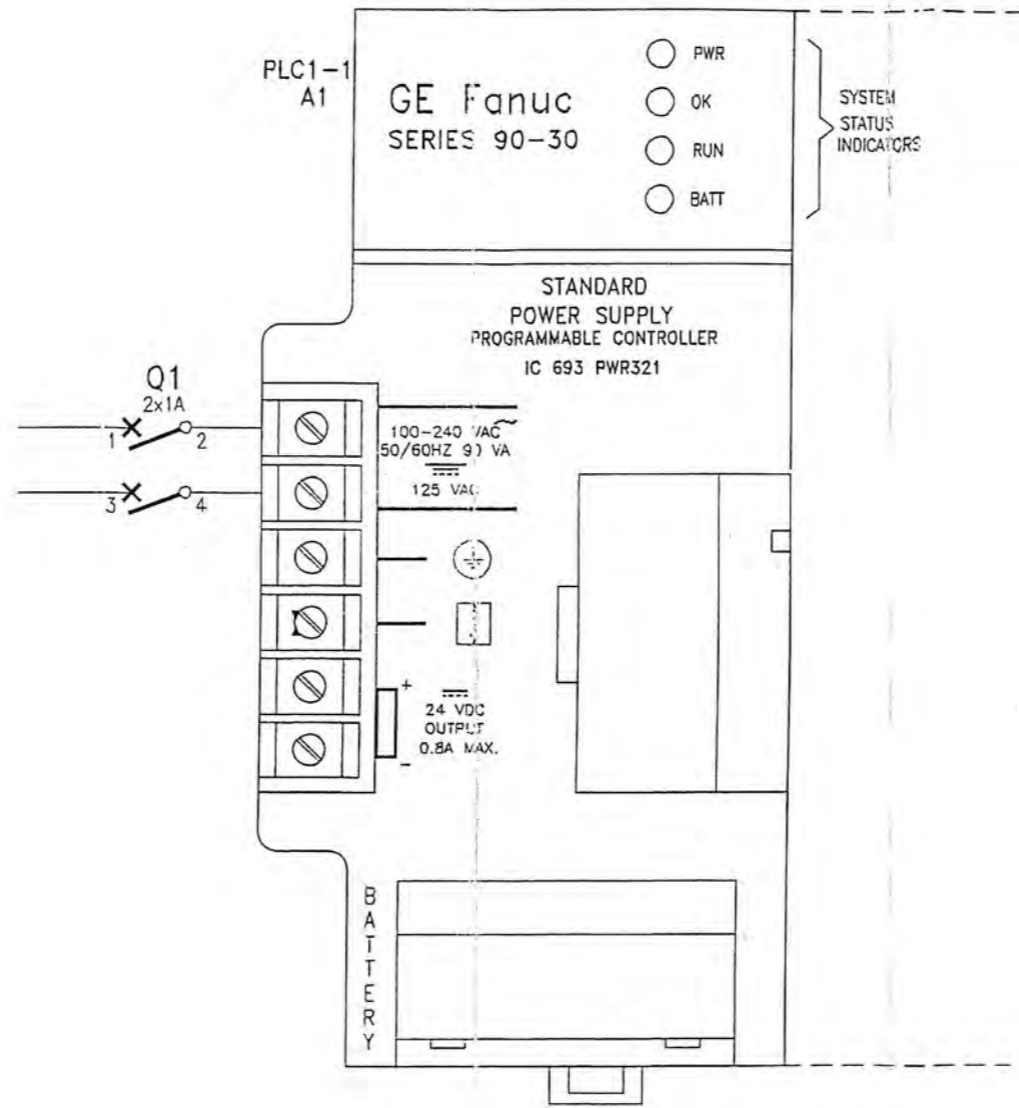
	NOMBRE	FIRMA	FECHA
DISEÑADO	ING. M.VASQUEZ	M.V.	30/12/04
REVISADO	ING. H. ESTACIO	H.E.	07/04/05
APROBADO	ING. L. MAS	L.M.	07/04/05

DESCRIPCION :
DIAGRAMA UNIFILAR

USO :
TABLERO DE CONTROL TABC-MOV
220V-60Hz-1Ø
ELECTROANDES

H / R	3170
CANT/PLANO	2/.
N° PLANO	PE4100903

VIENE DE LA SALIDA DEL
INTERR. GEN. QG (PAG.N°1/2)
220VAC



EDICION	FECHA	REV.	V. B.	DESCRIPCION
0	07/04/05	H.E.	L.M.	CONFORME A FABRICADO
A	07/02/05	H.E.	L.M.	EMITIDO PARA APROBACION



DEPARTAMENTO DE INGENIERIA
LIMA PERU

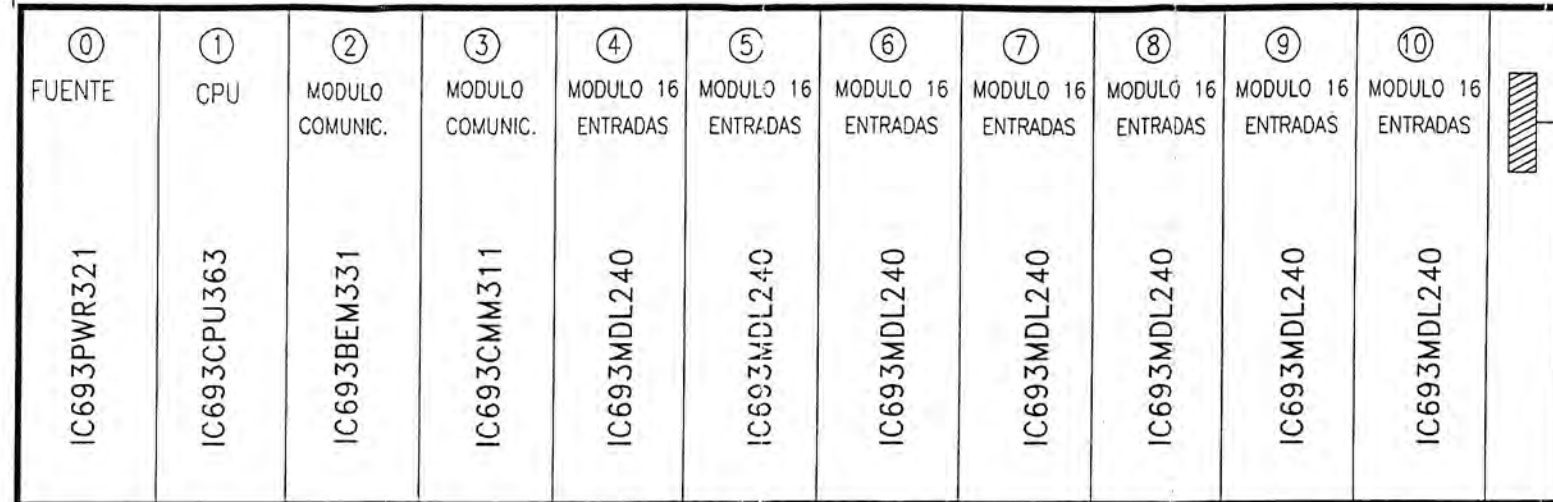
	NOMBRE	FIRMA	FECHA
DISEÑADO	ING. H. ESTACIO	H.E.	02/02/05
REVISADO	ING. A. CAREAJAL	A.C.	07/04/05
APROBADO	ING. L. MAS	L.M.	07/04/05

DESCRIPCION : ESQUEMA ELECTRICO

USO : TABLERO CON PLC'S
220-120VAC
ELECTROANDES

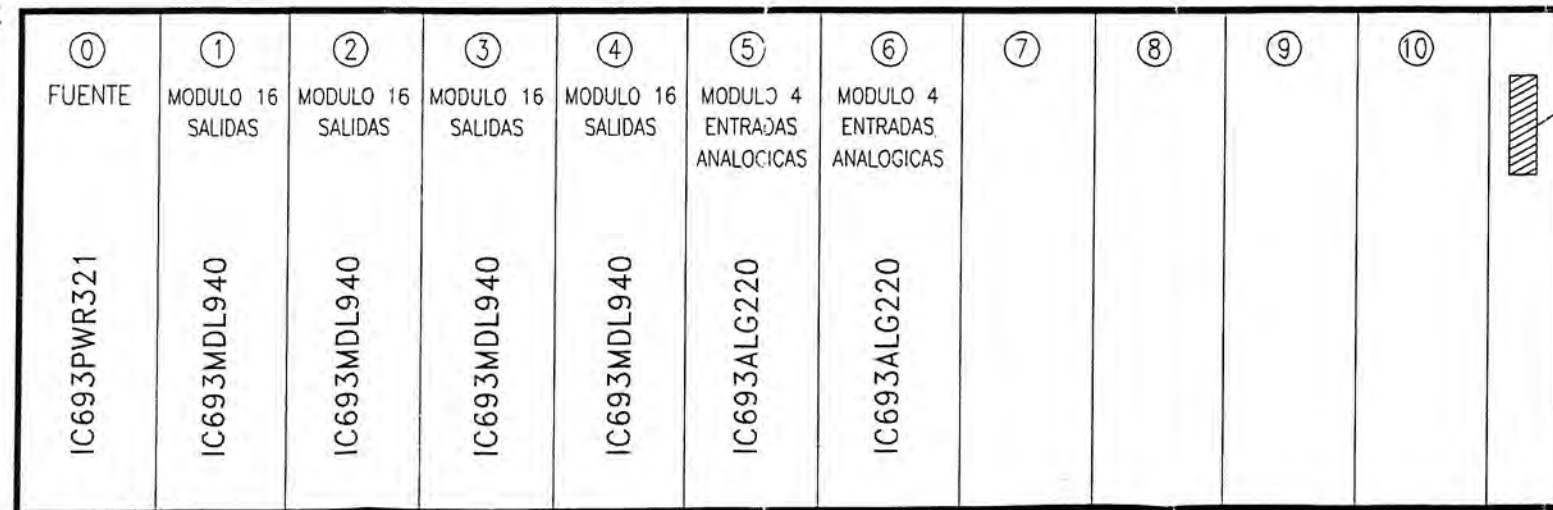
H / R	3171
CANT/PLANO	3/4
N° PLANO	PE7100098A

PLC1-1
A1



BASE, 10 SLOTS, IC693CHS391

PLC1-2
A2



BASE DE EXPANSION, 10 SLOTS, IC693CHS392

CABLE IC693CBL300

0	07/04/05	H.E.	L.M.	CONFORME A FABRICADO
A	07/02/05	H.E.	L.M.	EMITIDO PARA APROBACION
EDICION	FECHA	REV.	V. B.	DESCRIPCION



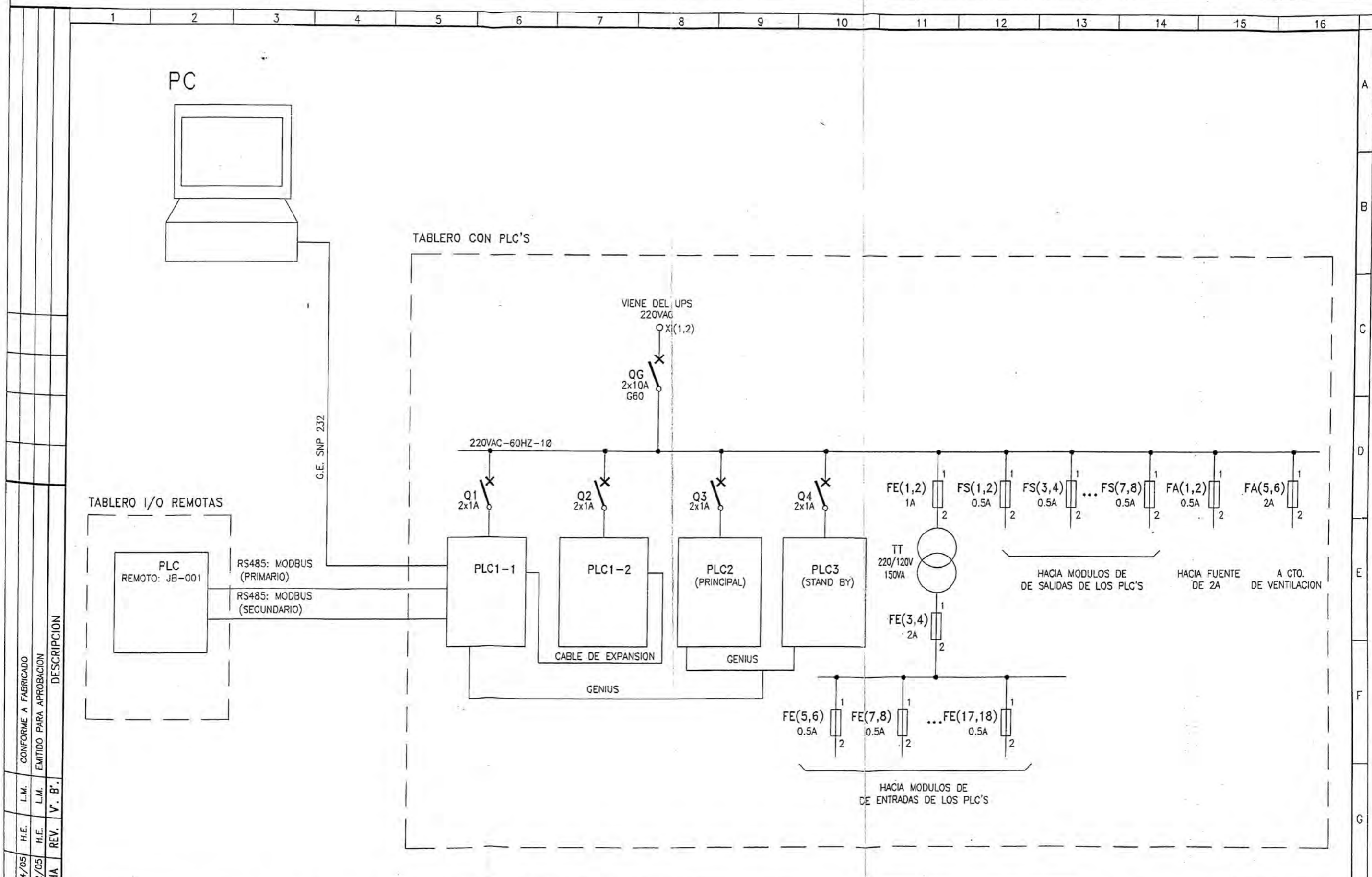
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA
LIMA PERU

	NOMBRE	FIRMA	FECHA
DISEÑADO	ING. H. ESTACIO	H.E.	02/02/05
REVISADO	ING. A. CARBAJAL	A.C.	07/04/05
APROBADO	ING. L. MAS	L.M.	07/04/05

DESCRIPCION : ESQUEMA ELECTRICO

USO : TABLERO CON PLC'S 220-120VAC ELECTROANDES

H / R	3171
GANT/PLANO	2/3
N° PLANO	PE7100098B



0	07/04/05	H.E.	L.M.	CONFORME A FABRICADO
A	07/02/05	H.E.	L.M.	EMITIDO PARA APROBACION
		REV.	V. B.	DESCRIPCION

MANUFACTURAS ELECTRICAS S.A.
LIMA PERU

DEPARTAMENTO DE INGENIERIA

	NOMBRE	FIRMA	FECHA
DISEÑADO	ING. H. ESTACIO	H.E.	02/02/05
REVISADO	ING. A. CARBAJAL	A.C.	07/04/05
APROBADO	ING. L. MAS	L.M.	07/04/05

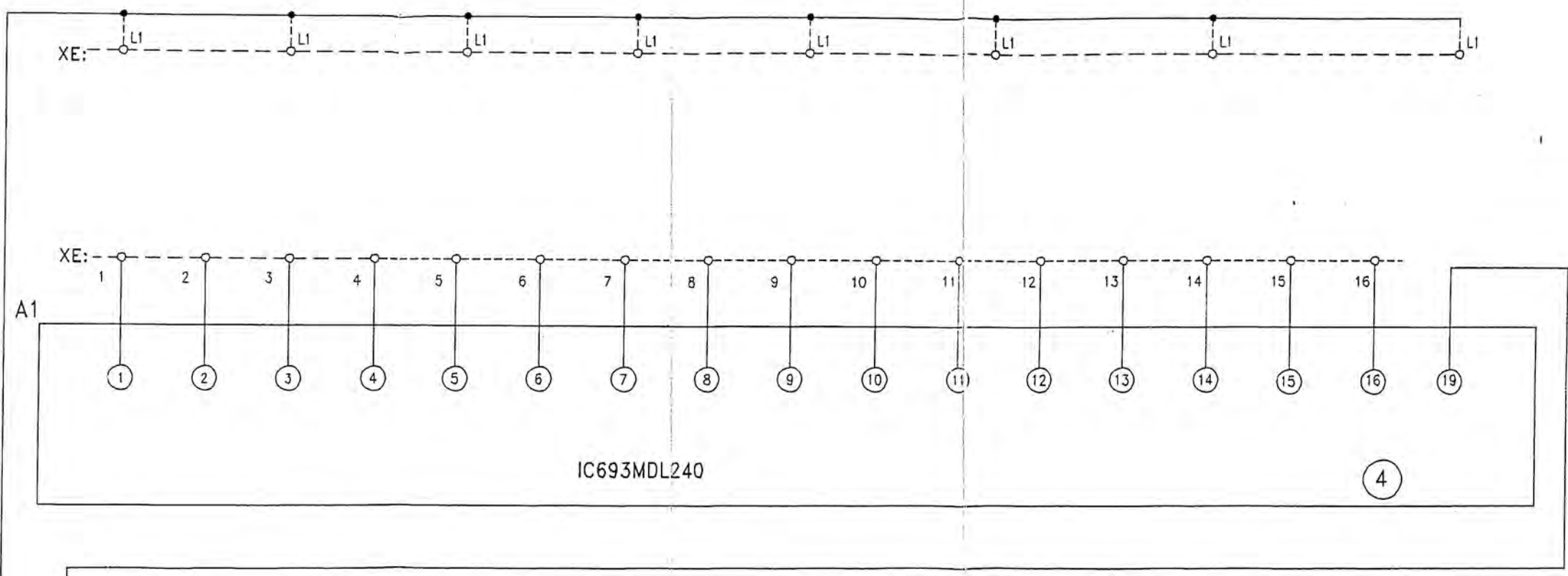
DESCRIPCION : **ESQUEMA ELECTRICO**

USO : **TABLERO CON PLC'S 220-120VAC ELECTROANDES**

H / R	3171
CANT/PLANO	1/2
N° PLANO	PE7100098C

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16

02-LSH-101 TANK T-1 HIGH LEVEL LEVEL SWITCH
 02-LSL-101 TANK T-1 LOW LEVEL LEVEL SWITCH
 XS-01 MOV-101A STATUS CLOSE
 XS-02 MOV-102A STATUS CLOSE
 XS-03 MOV-103A STATUS CLOSE
 XS-04 MOV-104A STATUS CLOSE
 XS-05 MOV-105A STATUS CLOSE
 XS-06 MOV-101A STATUS OPEN
 XS-07 MOV-102A STATUS OPEN
 XS-08 MOV-103A STATUS OPEN
 XS-09 MOV-104A STATUS OPEN
 XS-10 MOV-105A STATUS OPEN



VIENE DE LA SALIDA DE LOS FUSIBLES FE3 Y FE4 (PAG. N°1/2) 120VAC

CONFORME A FABRICADO	
EMITIDO PARA APROBACION	
DESCRIPCION	
L.M.	L.M.
H.E.	H.E.
07/04/05	07/02/05
FECHA	REV.
0	A



MANUFACTURAS ELECTRICAS SA

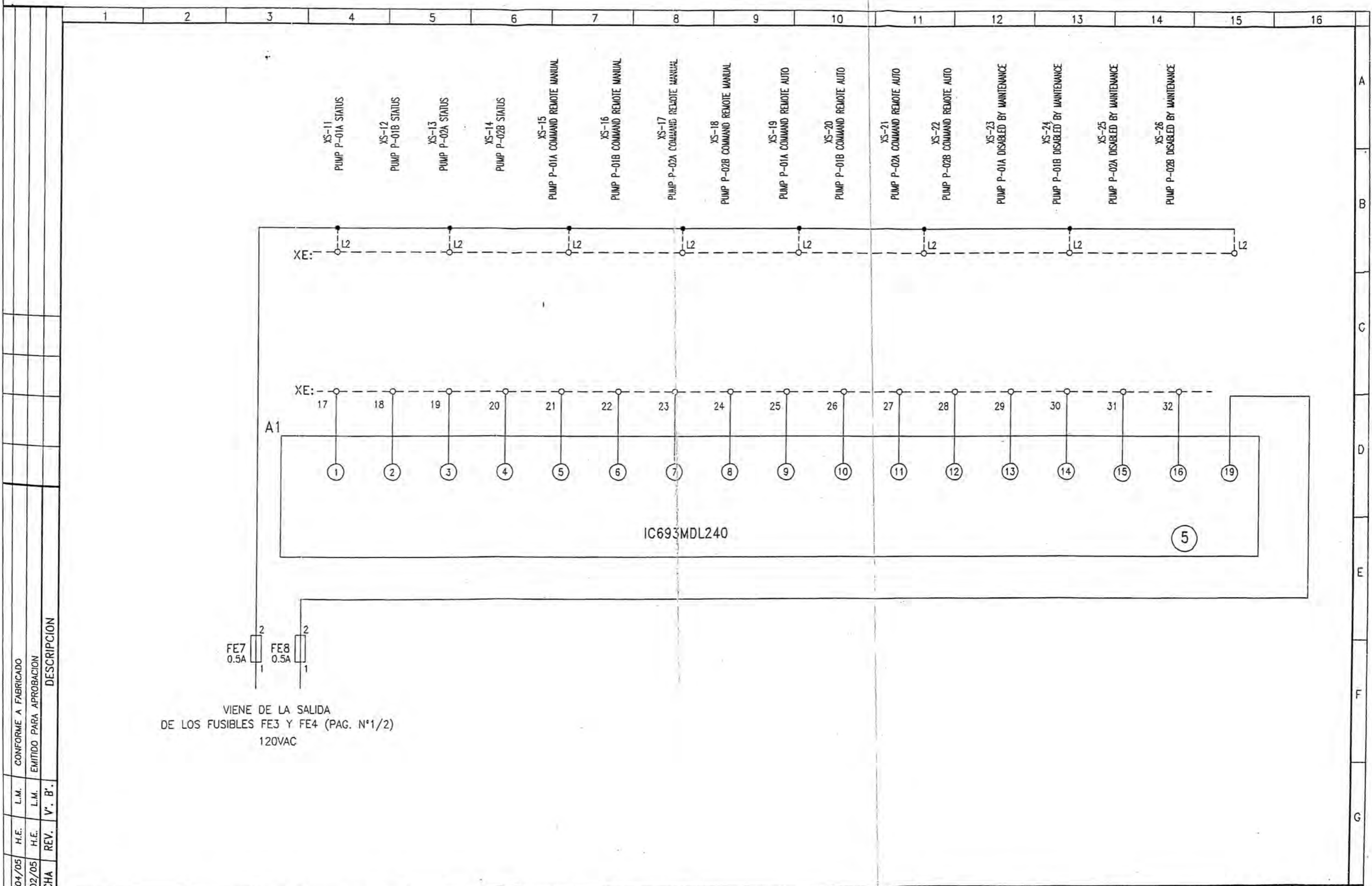
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA
LIMA PERU

	NOMBRE	FIRMA	FECHA
DISEÑADO	ING. H. ESTACIO	H.E.	02/02/05
REVISADO	ING. A. CARBAJAL	A.C.	07/04/05
APROBADO	ING. L. MAS	L.M.	07/04/05

DESCRIPCION : ESQUEMA ELECTRICO

USO : TABLERO CON PLC'S 220-120VAC
EXXON MOBIL AVIACION PERU S.A.

H / R	3171
CANT/PLANO	4/5
N° PLANO	PE7100098D



0	07/04/05	H.E.	L.M.	CONFORME A FABRICADO
A	07/02/05	H.E.	L.M.	EMITIDO PARA APROBACION
	FECHA	REV.	V. B.	DESCRIPCION

VIENE DE LA SALIDA
DE LOS FUSIBLES FE3 Y FE4 (PAG. N°1/2)
120VAC



MANUFACTURAS ELECTRICAS SA
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA
LIMA PERU

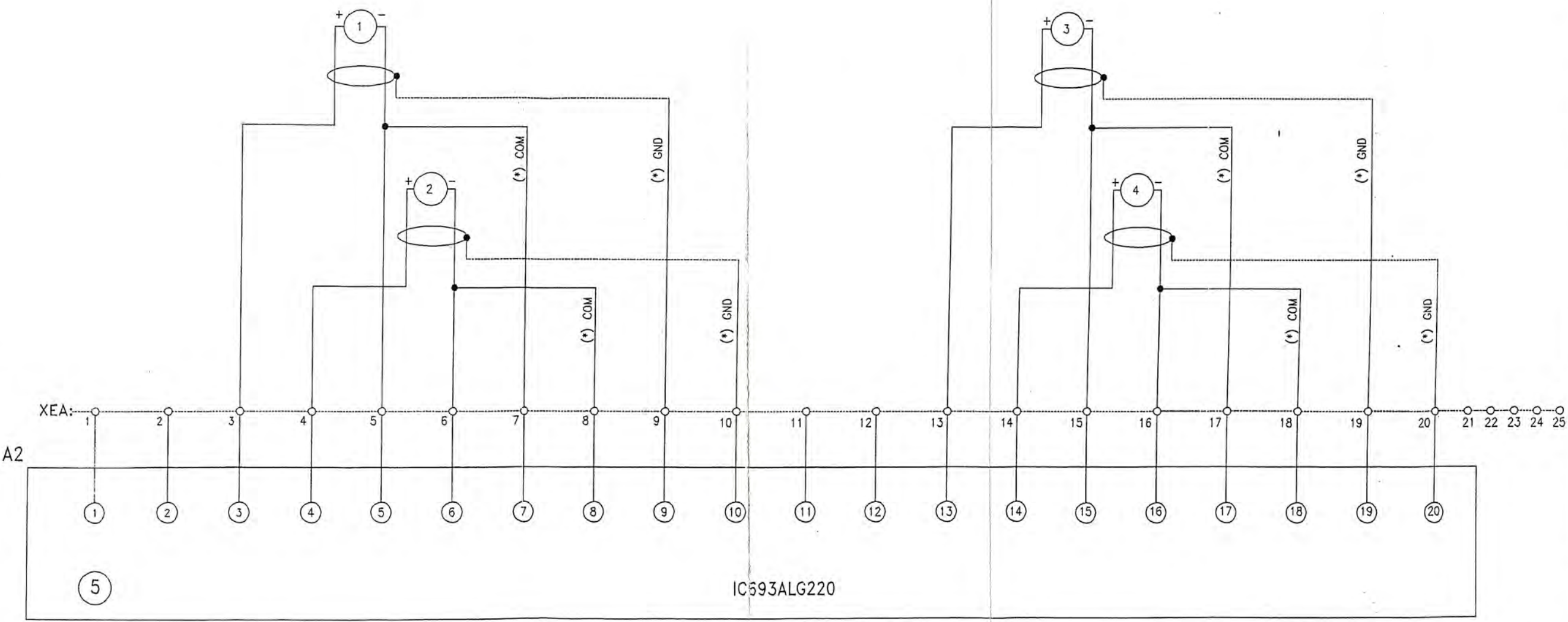
	NOMBRE	FIRMA	FECHA	DESCRIPCION :
DISEÑADO	ING. H. ESTACIO	H.E.	02/02/05	ESQUEMA ELECTRICO
REVISADO	ING. A. CARBAJAL	A.C.	07/04/05	
APROBADO	ING. L. MAS	L.M.	07/04/05	

USO :
TABLERO CON PLC'S
220-120VAC
EXXON MOBIL AVIACION PERU S.A.

H / R	3171
CANT/PLANO	5/6
N° PLANO	PE7100098E

03-LT-103
WATER LEVEL RATE
LEVEL TRANSMITTER

03-PT-101A
WATER TOTAL PRESSURE
PRESSURE TRANSMITTER



(* CONEXIONES OPCIONALES

MEMBERIA A EXHIBIR	DESCRIPCION
EMITIDO PARA APROBACION	
F.V. L.M.	
H.E. REV. V. B.	
FECHA	



**MANUFACTURAS
ELECTRICAS S.A.**

DEPARTAMENTO DE
INGENIERIA
LIMA PERU

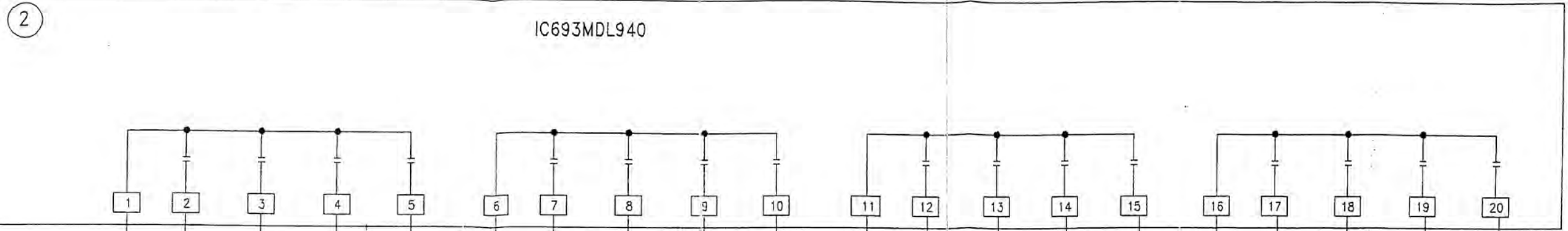
	NOMBRE	FIRMA	FECHA
DISEÑADO	ING. H. ESTACIO	H.E.	02/02/05
REVISADO	ING. A. CARBAJAL	A.C.	07/04/05
APROBADO	ING. L. MAS	L.M.	07/04/05

DESCRIPCION : **ESQUEMA ELECTRICO**

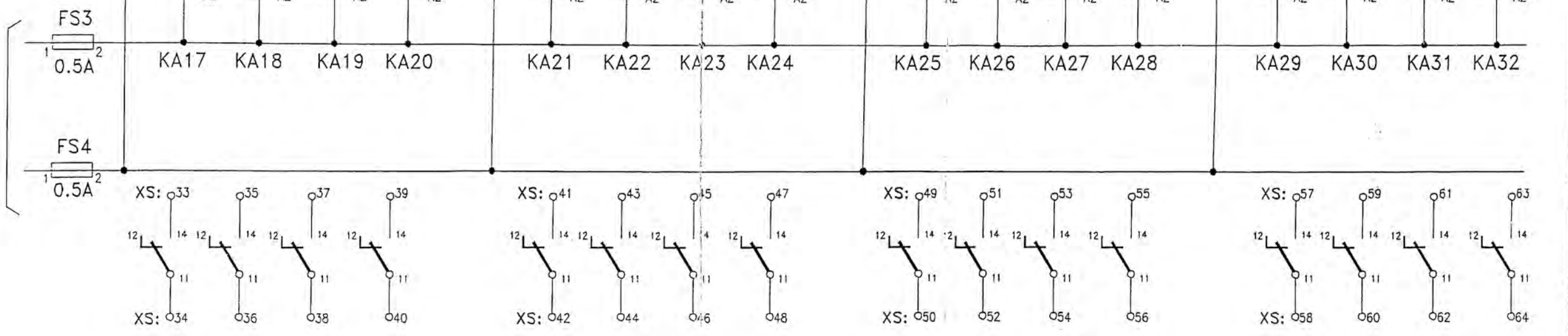
USO : **TABLERO CON PLC'S
220-120VAC
ELECTROANDES**

H / R	3171
CANT/PLANO	16/17
N° PLANO	PE7100098F

A2



VIENE DE LA SALIDA DEL
INTERR. GEN. QG (PAG. N°1/2)
220VAC



- XS-01 PUMP P-01A START/STOP COMMAND
- XS-02 PUMP P-01B START/STOP COMMAND
- XS-03 PUMP P-02A START/STOP COMMAND
- XS-04 PUMP P-02B START/STOP COMMAND
- ALARM HIGH LEVEL
- ALARM HIGH PRESSURE

REVISION	FECHA	REV.	V. B.	DESCRIPCION
A	07/02/05			CONEXIONES Y FABRICACION EMITIDO PARA APROBACION

M MANUFACTURAS ELECTRICAS SA.

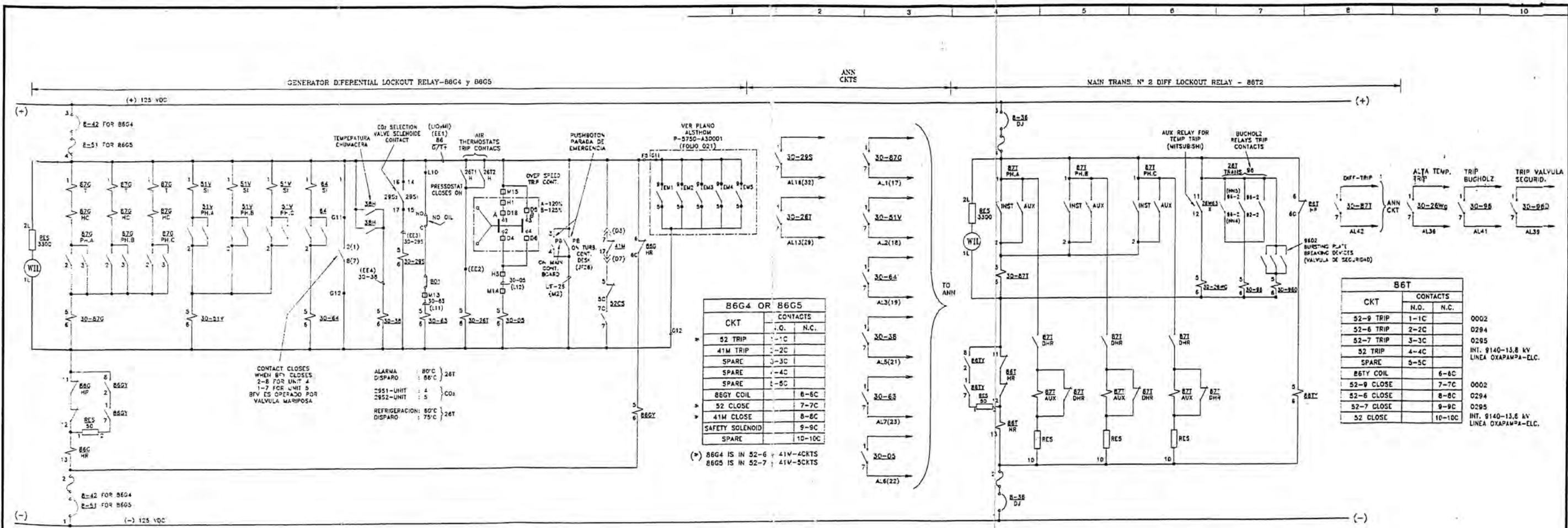
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA
LIMA PERU

	NOMBRE	FIRMA	FECHA
DISEÑADO	ING. H. ESTACIO	H.E.	02/02/05
REVISADO	ING. A. CARBAJAL	A.C.	07/04/05
APROBADO	ING. L. MAS	L.M.	07/04/05

DESCRIPCION : ESQUEMA ELECTRICO

USO :
TABLERO CON PLC'S
220-120VAC
ELECTROANDES

H / R	3171
CANT/PLANO	13/14
N° PLANO	PE7100098G



N°	Fecha	REVISIONES	Por	Aprob	Firma	Fecha
1	Nov. 2000	Revisión general	G. O.			

Aprob: _____
 Rev: G. O.
 Dis: A. M.
 Dib: A. M.

ELECTROANDES S.A.
 CENTRAL HIDROELECTRICA YAUPI
DIFERENTIAL LOCKOUT RELAY CKTS

Archivo: _____
 Plano N°: **0253R0875**
 Arch. CAD: 80815-3.DWG

ANEXOS

ANEXOS

Anexo 1	<u>Tabla de Diseño de elementos de Maquinas</u>
Anexo 2	<u>Transmisor de Nivel 4-20 mA</u>
Anexo 3	<u>Actuador de Válvula Motorizada</u>
Anexo 4	<u>Transmisor de Presion 4-20 mA</u>
Anexo 5	<u>Interruptor de Alto y Bajo Nivel</u>

Anexo 1

Factor de vida: de la tabla 18: $K_L = 1,00$, para una duración de 10^7 ciclos

Factor de seguridad : de la tabla 19: $K_R = 1,00$ para una confiabilidad de 99%

Factor de temperatura: $K_T = C_T = 1.00$

Potencia que podrá transmitir: Solamente se calculará para el engranaje, en razón de que ambas ruedas tienen el mismo material y el factor geométrico del engranaje, es menor que del piñón.

$$P = 6,98 \times 10^{-7} \left(\frac{D_p \cdot \eta_p \cdot S_{at} \cdot m \cdot F \cdot J \cdot K_L \cdot K_v}{K_T \cdot K_R \cdot K_S \cdot K_m \cdot K_O} \right) CV$$

$$P = 6,98 \times 10^{-7} \frac{63 \times 500 \times 4,9 \times 3 \times 30 \times 0,234 \times 0,75}{0,59 \times 1,15} CV$$

$$P = 2,51 CV > 2,0 CV$$

Por consiguiente, los datos considerados son correctos.

TABLA N° 1
PROPORCIONES DE LOS DIENTES DE ENGRANAJES
CILINDRICOS RECTOS, HELICOIDALES Y BI-HELICOIDALES

ITEMS	SÍMBOLO	SISTEMA DE DIENTES		
		"OBSOLETO" 14,5°, 20°	RECORTADO 20° SD	ACTUAL 20°, 25°
Adendum	A	m	0,8 m	m
Dedendum	b	1,57 m	m	1,25 m
Altura de diente	h_t	2,157 m	1,8 m	2,25 m
Altura de trabajo	h_k	2 m	1,6 m	2 m

m = Módulo del diente en mm / diente

TABLA N° 2
MODULOS Y PASOS DIAMETRALES NORMALIZADOS

MODULO NORMALIZADO	EQUIVALENCIA EN PASO DIAMETRAL
1	25,4
1,125	22,57778
1,25	20,32
1,375	18,47273
1,5	16,93333
1,75	14,51429
2	12,7
2,25	11,28889
2,5	10,16
2,75	9,23636
3	8,46667
3,5	7,255714
4	6,35
4,5	5,64444
5	5,08
5,5	4,61818
6	4,23333
7	3,62857
8	3,175
9	2,82222
10	2,54
11	2,30909
12	2,11667
14	1,81429
16	1,5875
18	1,41111
20	1,27
22	1,15455
25	1,016

PASO EQUIVALENCIA DIAMETRAL NORMALIZADO	EN MODULO
1	25,4
1 1/4	20,32
1 1/2	16,9333
1 3/4	14,511429
2	12,7
2 1/4	11,28889
2 1/2	10,16
3	8,46667
4	6,35
5	5,08
6	4,23333
7	3,62857
8	3,175
9	2,82222
10	2,54
11	2,30909
12	2,11667
14	1,81429
16	1,5875
18	1,41111
20	1,27
22	1,15455
24	1,05833

Nota: De preferencia usar los módulos y pasos diametrales impresos en caracteres más gruesos

TABLA N° 3
NUMERO MINIMO DE DIENTES DE PIÑONES DE ENGRANAJES
CILINDRICOS PARA EVITAR EL RECORTADO DE LOS DIENTES

ANGULO HELICE (ψ)	ANGULO DE PRESION NORMAL (ϕ_n)			
	14.5°	20° F.D	20° SD	25°
0	32	17	14	12
15	29	16	13	11
16	29	16	13	11
17	28	16	12	10
18	28	15	12	10
19	28	15	12	10
20	27	15	12	10
21	27	15	12	10
22	26	14	12	10
23	26	14	11	9
24	25	14	11	9
25	24	13	11	9
30	22	12	10	8
31	21	12	9	8
32	20	11	9	8
33	20	11	9	8
34	19	11	9	7
35	18	10	8	7
36	18	10	8	7
37	17	10	8	7
3	17	9	8	7
39	16	9	7	6
40	15	9	7	6
41	15	8	7	6
42	14	8	7	6
43	14	8	6	5
44	13	7	6	5
45	12	7	6	5

TABLA N° 4
NUMERO MINIMO DE DIENTES DEL PIÑÓN Y ENGRANAJE CONICOS PARA
UN ANGULO DE PRESION DE 20°

RECTOS		ESPIRALES		ZEROL	
PIÑÓN	ENGR.	PIÑÓN	ENGR.	PIÑÓN	ENGR.
16	16	17	17	17	17
15	17	16	18	16	20
14	20	15	19	15	25
13	30	14	20		
		13	22		
		12	26		

TABLA N° 5
PROPORCIONES DE LOS DIENTES DE ENGRANAJES CONICOS

ITEMS	SÍMBOLO	RECTOS	ESPIRALES	ZEROL
ANGULO DE PRESION	\emptyset	20° STD	20° STD	20° BASICO
ALTURA DE TRABAJO	h_k	2m	1,7m	2m
ALTURA DE DIENTE	h_i	2,188m	1,888m	2,188m+0,05
ADENDUM DEL ENGRANAJE	a_g	$\left(0,54 + \frac{0,46 \cos \gamma_g}{m_g \cos \gamma_p} \right) m_i$	$\left(0,46 + \frac{0,390 \cos \gamma_g}{m_g^2} \right) m_i$	$\left(0,54 + \frac{0,46 \cos \gamma_g}{m_g \cos \gamma_p} \right) m_i$
ADENDUM DEL PIÑÓN	a_p	$h_k - a_g$	$h_k - a_g$	$h_k - a_g$
RANGO DE MODULO USADO	m	-----	2	8
ANCHO DE FLANCO	F	$\geq 2A_0/3$ ó ≤ 10 m	$\leq 0,3A_0$ ó ≤ 10 m	$\leq 0,25A_0$ ó ≤ 10 m
ANGULO DE ESPRAL		-----	35°	0°
MINIMO NUMERO DE DIENTES POSIBLES	Z_p	13	12	13

TABLA N° 6
COMBINACIONES TÍPICAS DE DUREZA PARA PIÑONES Y ENGRANAJES

BHN PIÑÓN	BHN ENGRANAJE
210	180
245	210
265	225
285	245
300	255
315	270
335	285
350	300

TABLA N° 7
NUMERO MINIMO DE DIENTES DEL PIÑÓN POR EFECTO DE INTERFERENCIA

RELACION DE TRANSMISIÓN	ANGULO DE PRESION, ENGRADOS			
	14,5° FD	20° FD	20° SD	25° FD
1,000 - 1,062	23	13	10	9
1,063 - 1,136	23	13	11	9
1,137 - 1,265	24	13	11	9
1,266 - 1,350	24	14	11	9
1,351 - 1,481	25	14	11	9
1,482 - 1,626	25	14	11	10
1,627 - 1,682	26	14	11	10
1,683 - 1,866	26	14	12	10
1,857 - 1,994	26	15	12	10
1,995 - 2,512	27	15	12	10
2,513 - 3,033	28	15	12	10
3,034 - 3,239	28	16	13	10
3,240 - 3,295	28	16	13	11
3,296 - 4,616	29	16	13	11
4,617 - 6,317	30	16	13	11
6,318 - 7,324	30	17	13	11
7,325 - 8,348	31	17	13	11
8,349 - 16,026	31	17	14	11
∞	32	18	14	12

TABLA N° 8
EJEMPLOS TÍPICOS DE LAS CARACTERÍSTICAS LAS MAQUINAS

FUENTE DE PODER:	
Uniforme	Motor eléctrico, turbina
Choques pequeños	motores de combustión interna multicilíndricos.
Choque medianos	Motor de combustión interna de un cilindro.
CARGAS EN LAS MAQUINAS MOVIDAS:	
Uniforme	Ventiladores centrífugos, agitadores de líquidos, transportadores de fajas con alimentación uniforme.
Choques moderados	Sopladores lobulares, agitador de líquido - sólido, transportador de faja con alimentación variable.
Choques fuertes	Chancadores de minerales, compresor de un solo cilindro, transportadores reciprocantes.

TABLA N° 9
FACTORES DE SOBRECARGA K_0, C_0

FUENTE DE PODER	CARGA EN LA MAQUINA MOVIDA		
	UNIFORME	CHOQUE MODERADO	CHOQUE FUERTE
Uniforme	1,00	1,25	≥ 1,75
Choques pequeños	1,25	1,50	≥ 2,00
Choques medianos*	1,50	1,75	≥ 2,25

**TABLA N° 10
FACTORES DE SERVICIO DE MAQUINAS ACCIONADOS
CON MOTOR ELECTRICO**

APLICACIÓN	10* HRS	24 HRS
Agitadores de:		
Líquidos puros.....	1,00	1,25
Líquidos y sólidos.....	1,25	1,50
Líquidos de densidad variable.....	1,25	1,50
Alimentadores:		
De mandil ó faja.....	1,25	1,50
De discos.....	1,00	1,25
Reciprocantes.....	1,75	1,75
De tornillos.....	1,25	1,50
Bombas:		
Centrífugas.....	1,00	1,25
De dosaje.....	1,25	1,50
Reciprocantes:		
De efecto simple, 3 ó más cilindros.....	1,25	1,50
De doble efecto, 2 ó más cilindros.....	1,25	1,50
De efecto simple, 1 ó más cilindros.....	+	+
De doble efecto, un cilindro.....	+	+
Comprensoras:		
Centrífugas.....	1,00	1,25
De lóbulos.....	1,25	1,50
Reciprocantes:		
De un cilindro.....	1,75	1,75
Multicilíndricos.....	1,25	1,50
Chancadoras de:		
Minerales ó piedras.....	1,75	1,75
Azúcar.....	--	1,50
Elevadores:		
De canguilones cargados uniformemente.....	1,00	1,25
De canguilones fuertemente cargado.....	1,25	1,50
Continuos de canguilones.....	1,00	1,25
Con descarga centrífugo.....	1,00	1,25
Escaleras.....	1,00	1,25
Montacargas.....	1,25	1,50
Máquinas herramientas:		
Accionamientos auxiliares.....	1,00	1,25
Accionamiento principal.....	1,25	1,50
Prensas.....	1,75	1,75

APLICACIÓN	10* HRS	24 HRS
Molino de bolas, secadores rotatorios, horno de cemento.....	---	1,50
Hornos rotatorios.....	1,25	1,50
Molinos de Tambor.....	1,75	1,75
Sopladores:		
Centrífugos.....	1,00	1,25
De lóbulos.....	1,25	1,50
Turbo sopladores.....	1,00	1,25
Transportadores uniformemente cargados o alimentados: de mandil, fajas, de cadenas, de tornillos.....	1,00	1,25
Transportadores pesados con alimentación variable de: mandil, faja, cadena, tornillo.....	1,25	1,50
Transportadores extrapesados:		
De rodillos.....	+	+
Reciprocantes ó sacudidores.....	1,75	1,75
Ventiladores:		
Centrífugo.....	1,00	1,25
Para torres de enfriamiento con tiro forzado ó Inducido.....	+	+
Para tiro inducido.....	1,25	1,50
Grandes (minerías, etc).....	1,25	1,50
Grandes para uso industrial.....	1,25	1,50
Pequeños (diámetro pequeño).....	1,00	1,25
Zarandas rotatorias para piedras ó Piedras chancadas.....	1,00	1,25

Los factores de servicios nominales son: 0,80 , 1,00 , 1,25 , 1,50 , 1,75 , 2,00.

* Para servicio intermitente (3 horas diarias), usar como factor de servicio el valor próximo inferior consignado en la tabla.

Para servicios esporádicos (0,5 horas diarias) s e debe hacer un estudio particular según sea el caso.

* Los valores de los factores esporádicos (0,5 horas diarias) se debe hacer un estudio particular según sea el caso.

NOTA: MAQUINAS MOTRICES. Para máquinas multicilíndricas, usar el valor próximo superior de lo que corresponde en la tabla. Para máquinas de un solo cilindro se requiere hacer un estudio particular y generalmente son mayores que para multicilíndricas, ya que, el sistema puede estar sometido a vibraciones torsionales críticas.

TABLA N° 11

NUMEROS DE CALIDAD DE ENGRANAJES AGMA
RECOMENDADOS PARA VARIAS APLICACIONES

APLICACIÓN	Qv
Transmisión del tambor de mezclador de cemento	3 - 5
Horno de cemento	5 - 6
Transmisiones de acerías	5 - 6
Cosechadora de maíz	5 - 7
Grúas	5 - 7
Prensa troqueladora	5 - 7
Transportador de minas	5 - 7
Máquina de cajas de papel	6 - 8
Mecanismo medidor de gas	7 - 9
Taladro mecánico pequeño	8 - 10
Lavadora de ropa	9 - 11
Impresora	10 - 11
Mecanismo de computadora	10 - 11
Transmisión de antena de radar	10 - 12
Transmisión de propulsión de marina	10 - 12
Transmisión de motor aeronave	10 - 13
Giroscopio	12 - 14

TABLA N° 12
NUMEROS DE CALIDAD DE ENGRANES RECOMENDADOS
PARA LA VELOCIDAD EN LA LINEA DE PASO

VELOCIDAD DE PASO v, en m/s	Qv
0 - 4	6 - 8
4 - 10	8 - 10
10 - 20	10 - 12
Más de 20	12 - 14

TABLA N° 13
FACTORES DE DISTRIBUCIÓN DE CARGA K_m, C_m PARA
ENGRANAJES RECTOS Y HELICOIDALES (Valores entre paréntesis)

CONDICION DEL SOPORTE	ANCHO DE CARA F, en (mm)			
	≤ 50	150	225	≥ 400
Montaje exacto, juego pequeño de cojinetes , deflexiones mínimas, engranajes de precisión.	1,3 (1,2)	1,4 (1,3)	1,5 (1,4)	1,8 (1,7)
Montajes menos rígidos, engranajes menos Precisos, contacto a todo el ancho de la cara.	1,6 (1,5)	1,7 (1,6)	1,8 (1,7)	2,0 (2,0)
Exactitud y montaje de modo que exista contacto incompleto con la cara.	> 2,0 [2,0]			

TABLA N° 14
FACTOR DE DISTRIBUCIÓN DE CARGA PARA ENGRANAJES
CONICOS, K_m, C_m

APLICACION	LAS DOS RUEDAS MONTADAS ENTRE APOYOS	UNA DE LAS RUEDAS MONTADA ENTRE APOYO	NINGUNA DE LAS RUEDAS MONTADAS ENTRE APOYOS
Industrial, en general	1,00 - 1,10	1,10 - 1,25	1,25 - 1,40
Automotriz	1,00 - 1,10	1,10 - 1,25	1,25 - 1,50
Aviación	1,00 - 1,25	1,10 - 1,40	1,25 - 1,50

NOTA: Frecuentemente, las limitaciones de espacio son las que determinan el tipo de soporte que determinada instalación. Normalmente, una de las ruedas puede ser montada entre apoyos, pero no siempre es factible hacerlo para las dos ruedas. Las ruedas soportadas en voladizo puede ser una buena solución. En general, se requiere que los soportes sean lo suficientemente rígidos.

TABLA N° 15
RESISTENCIA A LA FLEXION AGMA, S_{at} (MP_a)

$\div 10 = \text{kgf}/\text{cm}^2$

MATERIAL	CLASE AGMA	DESIGNACIÓN COEMRCIAL	TRATAMIENTO TERMICO	DUREZA MINIMA EN LA SUPERFICIE	S _t
Acero	De A1 a A5	-----	Templado y revenido	180 BHN 240 BHN 300 BHN 360 BHN 400 BHN	170-230 210-280 250-320 280-360 290-390
			Endurecido por inducción con patrón de tipo A	50-54 HRC	310-380
		Endurecido por inducción con patrón de tipo B		150	
		Carburizado y endurecido en la superficie	55 HRC 60 HRC	380-450 380-480	
		AISI 4140 AISI 4340 Nitalloy 135M 2 ½ % de cromo	Nitrurizado * Nitrurizado * Nitrurizado * Nitrurizado *	48 HRC 46 HRC 60 HRC 50-60 HRC	230-310 250-325 260-330 380-450
		Fierro fundido	20 30 40		Según es fundido Según es fundido Según es fundido
Fierro modular (dúctil)	A7-a A7-c A7-d A7-e	60-40-18 80-55-06 100-70-03 120-90-02	Recocido, Templado y revenido	140 BHN 180 BHN 230 BHN 270 BHN	90-100% de S _t para acero de la misma dureza
Hierro maleable (perlítico)	A8-c A8-e A8-f A8-i	45007 50005 53007 80002	----- ----- ----- -----	165 BHN 180 BHN 195 BHN 240 BHN	70 90 110 145
Bronce	Bronce 2	AGMA 2C	Fundido en molde de arena Fundido en molde de arena	Resistencia (última) mínima a la tensión (275 Mpa)	40

Fuente: AGMA 218 - 01

TABLA 16
RESISTENCIA A LA FATIGA EN LA SUPERFICIE AGMA, S_{ac} (MP_a)

$\div 10 = \text{kgf}/\text{mm}^2$

MATERIAL	CLASE AGMA	DESIGNACIÓN COMERCIAL	TRATAMIENTO TERMICO	DUREZA MINIMA EN LA SUPEFICIE	S _{ac}		
Acero	De A1 a A5	-----	Templado completo y revenido	180 BHN y menor 240 BHN 300 BHN 360 BHN 400 BHN	590-660 720-790 830-930 1000-1100 1100-1200		
			Endurecido por flameo o por inducción	50 HRC 54 HRC	1200-1300 1200-1300		
		Carburizado y endurecido en superficie	55 HRC 60 HRC	1250-1400 1400-1550			
		AISI 4140 AISI 4340 Nitalloy 135 M 2 ½ % de cromo 2 ½ % de cromo	Nitrurizado Nitrurizado Nitrurizado Nitrurizado Nitrurizado	48 HRC 46 HRC 60 HRC 54 HRC 60 HRC	1100-1250 1050-1200 1170-1350 1100-1200 1300-1500		
		Hierro fundido	20 30 40		Según es fundido Según es fundido Según es fundido	--- 175 BHN 200 BHN	340-410 450-520 520-590
		Hierro modular (dúctil)	A7-a A7-c A7-d A7-e	60-14-18 80-55-06 100-70-03 120-90-02	Recocido templado y revenido	140 BHN 180 BHN 230 BHN 270 BHN	90-100% del valor S _c del acero con la misma dureza
Hierro maleable (perlítico)	A8-c A8-e A8-i	45007 50005 53007 80002	---- ---- ---- ----	165 BHN 180 BHN 195 BHN 240 BHN	500 540 570 650		
Bronce	Bronce 2	AGMA 2C	Fundido en molde de arena	Resistencia(última) Mínima a La tensión (275 Mpa)	205		
	Al/Br 3	ASTM B-148-52 aleación 9C	Tratado térmicamente	Resistencia mínima a la tensión (620 Mpa)	450		

Fuente: AGMA 218-01

TABLA N° 17

RESISTENCIAS AGMA A LA FLEXION Y A LA FATIGA SUPERFICIAL PARA ENGRANAJES CONICOS

MATERIAL	CONDICION	DUREZA MINIMA	RESISTENCIA A LA FLEXION S_{at} , (MPa)	RESISTENCIA EN LA SUPERFICIE S_{ac} , (MPa)	
Acero	Normalizado	40 Bhn	76		
	Q&T	180 Bhn	96	586	
	Q&T	300 Bhn	131	827	
	Q&T	450 Bhn	172	1000	
	Carburiza en Superficie	55 R _c	189	240	
	Carburiza en Superficie	60 R _c	207	1380	
Fierro fundido	AGMA #20		19	345	
	AGMA #30	175 Bhn	32	448	
	AGMA #40	200 Bhn	48	517	
Fierro modular:					
	60-40-18	Recocido	165 Bhn	55	517
	100-70-03	Normalizado	210 Bhn	96	606
	120-90-02	Q&T	255 Bhn	127	648
Bronce	10-12% estaño	$S_{ut} = 40$ Kpsi	21	207	
Bronce de Aluminio	9C-H.T.	$S_{ut} = 90$ kpsi	83	448	

*Mínimo de un intervalo de valores.
Fuente: AGMA 215.01, 225.01.

TABLA 18
FACTOR DE VIDA, K_L

NUMERO DE CICLOS	ENGRANAJES RECTOS, HELICOIDALES Y BI-HELICOIDALES				ENGRANAJES CONICOS CAPA DURA CARBURIZAD.*
	160 BHN	250 BHN	450 BHN	CAPA DURA CARBURIZAD.*	
10^3	1,6	2,4	3,4	2,7	4,6
10^4	1,4	1,9	2,4	2,0	3,1
10^5	1,2	1,4	1,7	1,5	2,1
10^6	1,1	1,1	1,2	1,1	1,4
10^7	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
10^8	1,0-08	1,0-0,8	1,0-0,8	1,0-0,8	1,0

TABLA N° 19

FACTOR DE SEGURIDAD O CONFIABILIDAD

K_R, C_R	
CONFIABILIDAD	K_R, C_R
0,90	0,85
0,99	1,00
0,999	1,25
0,9999	1,50

TABLA N° 20
FACTOR DE SEGURIDAD RESPECTO AL ESFUERZO DE FLUENCIA, K_R, C_R

REQUERIMIENTO	K_R, C_R
Alta confiabilidad	$\geq 3,00$
Diseño normal	1,33

TABLA N° 21
COEFICIENTE ELÁSTICO AGMA C_p ($\sqrt{\text{Kgf/mm}^2}$)

Material Piñón	E (Kgf/mm ²)	MATERIAL DEL ENGRANAJE					
		Acero	Fierro maleable	Fierro nodular	Fierro Fundido	Bronce al aluminio	Bronce al estaño
Acero	2,10x10 ⁴	61	58	57	55	52	50
Fierro maleable	1,70x10 ⁴	58	55	55	54	50	49
Fierro nodular	1,70x10 ⁴	57	55	54	53	50	49
Fierro fundido	1,50x10 ⁴	55	54	53	52	49	48
Bronce al aluminio	1,20x10 ⁴	52	50	50	49	46	45
Bronce al estaño	1,10x10 ⁴	50	49	49	48	45	44

* Fuente: Estándar 2001-B88 de AGMA. Los valores de E_p de esta tabla son aproximados, y se aplicó: $\nu = 0,3$ como aproximación del coeficiente de Poisson para todos los materiales.

TABLA N° 22
VALORES DEL COEFICIENTE ELÁSTICO C_p EN UNIDADES ($\sqrt{\text{Kgf/mm}^2}$) PARA ENGRANAJES CONICOS Y OTROS CON CONTACTO LOCALIZADO*

MATERIAL DEL PIÑÓN	MODULO DE ELASTICIDAD Kgf/mm ²	MATERIAL DEL ENGRANAJE			
		ACERO	FIERRO FUNDIDO	BRONCE DE ALUMINIO	BRONCE DE ESTAÑO
Acero	2.10 x 10 ⁴	74	65	64	62
Fierro fundido	1.31 x 10 ⁴	65	59	58	57
Bronce de aluminio	1.21 x 10 ⁴	64	58	57	56
Bronce de estaño	1.10 x 10 ⁴	62	57	56	54

Fuente: AGMA 212-02 para $\mu = 0,30$

TABLA N° 23
TOLERANCIA EN LA DISTANCIA ENTRE CENTROS (MICRAS)

DISTANCIA ENTRE CENTROS (mm)	ENGRANAJE COMERCIAL	ENGRANAJE PRECISION	ENGRANAJE DE ALTA PRECISION
< 25	50	12	2
25 - 150	75	25	5
150 - 300	125	50	5
300 - 600	250	50	7
> 600	0,8 μ / mm	0,16 μ / mm	0,04 μ / mm

TABLA N° 24
JUEGO ENTRE DIENTES (BACKLASH) PERMISIBLE PARA ENGRANAJES CILINDRICOS DE DIENTES RECTOS Y HELICODALES (En mm)

MODULO m	DISTANCIA ENTRE CENTROS (mm)				
	≤ 125	125 - 250	250 - 500	500 - 760	760 - 1270
1,25	0,10				
1,5	0,10	0,13			
2	0,10	0,18			
2,5	0,13	0,18	0,25		
3	0,15	0,20	0,30	0,43	
4	0,20	0,25	0,38	0,51	0,63
5	0,25	0,32	0,44	0,57	0,70
6		0,41	0,51	0,63	0,76
8		0,46	0,56	0,68	0,81
10			0,60	0,72	0,85
12			0,63	0,76	0,89
16				0,81	0,94
25				0,89	1,01

TABLA N° 25
JUEGO ENTRE DIENTES (BACKLASH) RECOMENDADO PARA ENGRANAJES CONICOS (En mm)

MODULO	JUEGO	MODULO	JUEGO
≤2	0,02-0,07	6	0,15 -0,20
2,5	0,05-0,10	8	0,20-0,28
3	0,07-0,12	10	0,25-0,33
4	0,10-0,15	12	0,30-0,40
5	0,13-0,18	16	0,40-0,55
		20	0,46-0,66

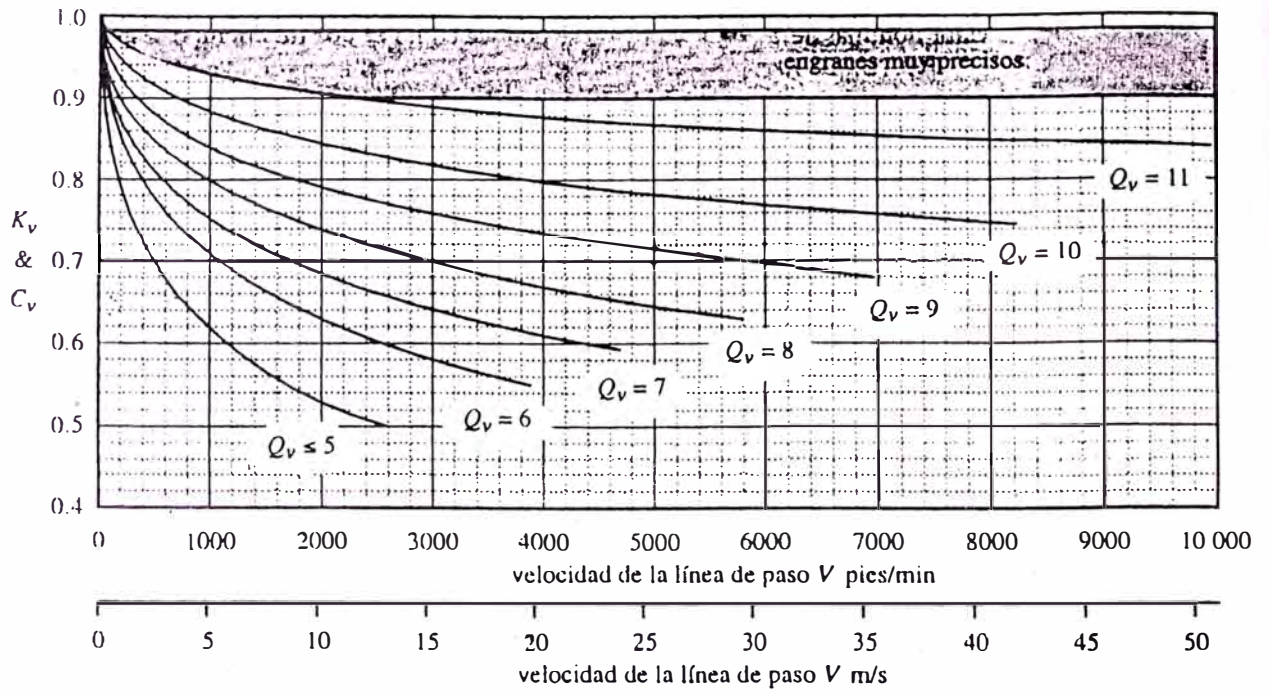


FIG. 1: FACTORES DINAMICOS K_v Y C_v DE AGMA

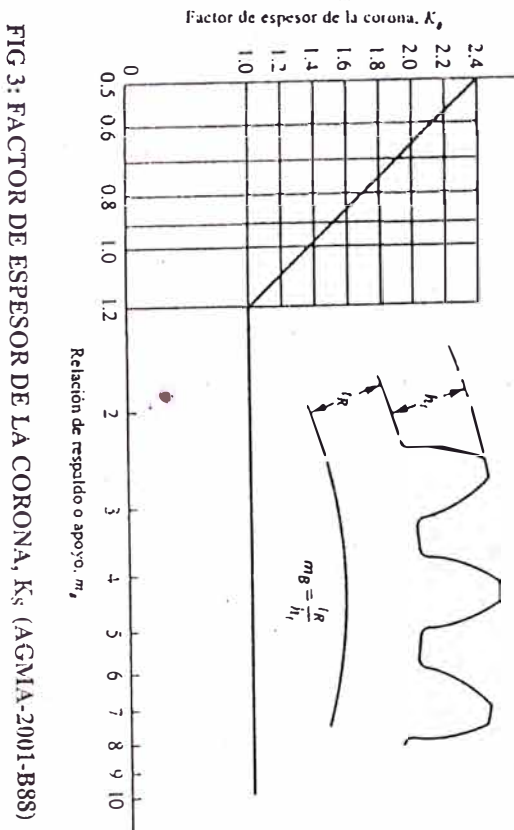


FIG. 3: FACTOR DE ESPESOR DE LA CORONA, K_s (AGMA-2001-B88)

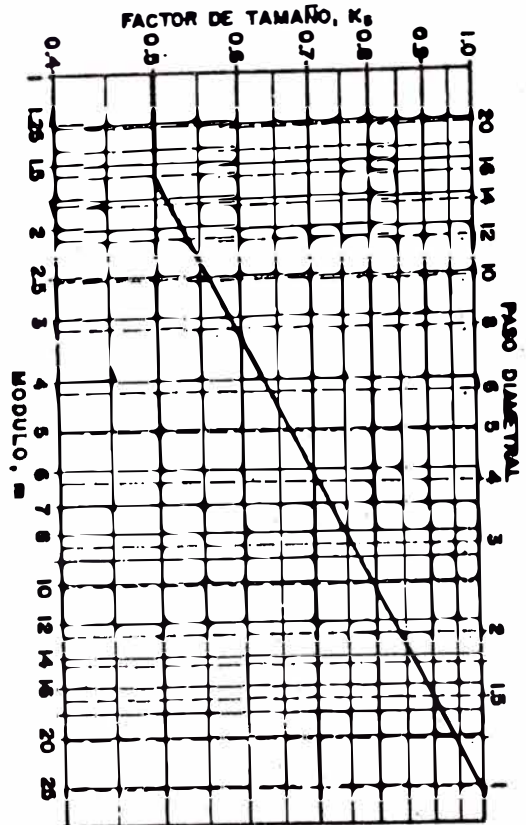


FIG. 2: FACTOR DE TAMAÑO PARA ENGRANAJES CONICOS, K_t

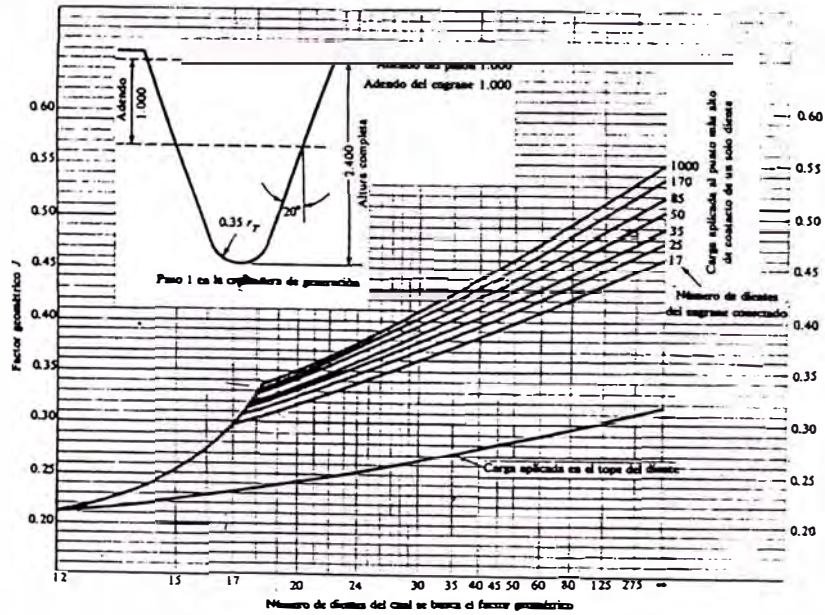


FIG 4: FACTORES GEOMÉTRICOS J, PARA ENGRANAJES RECTOS (Fuente: AGMA 218.01)

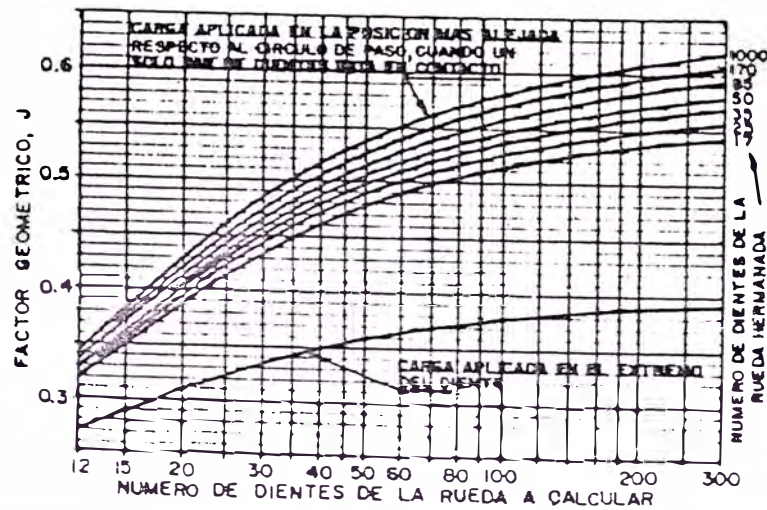


FIG 5: FACTORES GEOMÉTRICOS J, PARA ENGRANAJES CILINDRICOS DE DIENTES RECTOS, $\phi = 25^\circ$

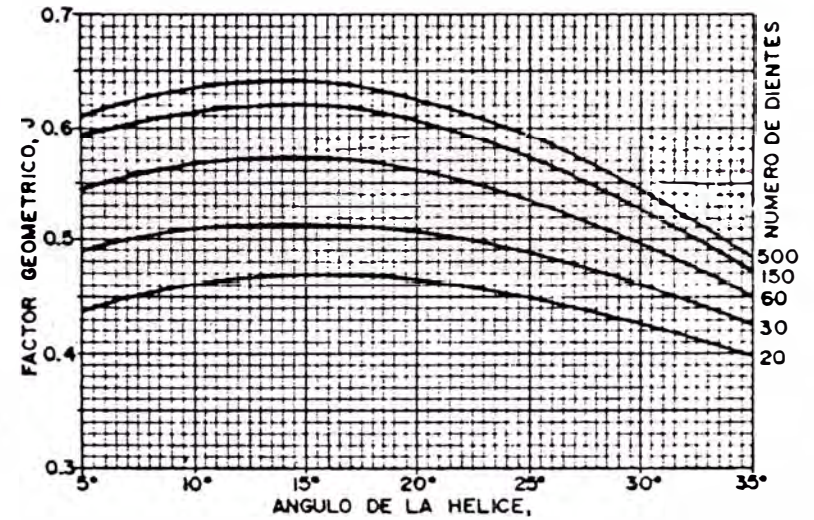


FIG. 6: FACTOR GEOMÉTRICO, J, $\phi_n = 20^\circ$, ALTURA COMPLETA, CORTADOS CON FRESA MADRE Y LUEGO AFEITADO, ENGRANADO CON RUEDA DE 75 DIENTES.

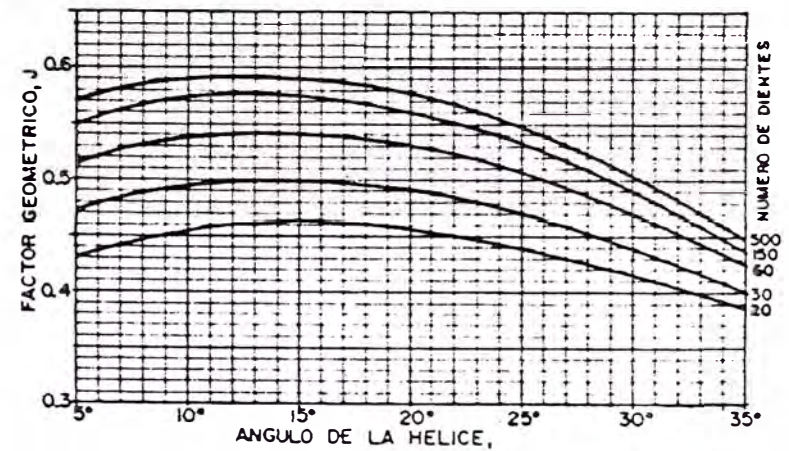


FIG. 7: FACTOR GEOMÉTRICO, J, PARA $\phi_n = 20^\circ$, ALTURA COMPLETA, DIENTES CORTADOS Y ACABADOS CON FRESA MADRE, ENGRANADO CON RUEDA DE 75 DIENTES.

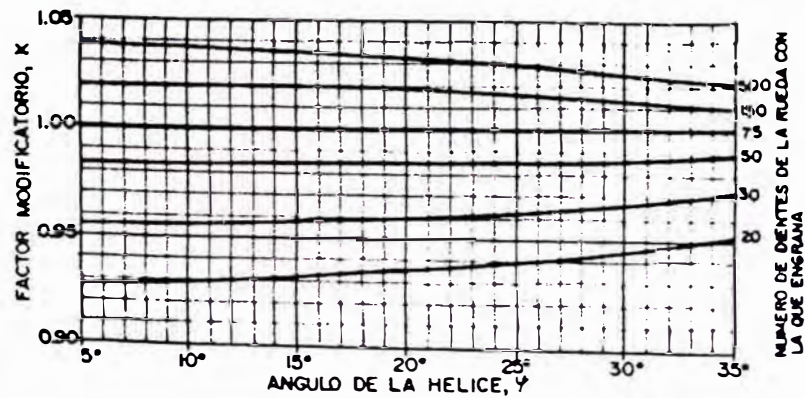


FIG. 8: FACTOR MODIFICATORIO DEL FACTOR GEOMÉTRICO, J, PARA $\phi_n = 20^\circ$ Y ENGRANE CON RUEDA DIFERENTE DE 75 DIENTES.

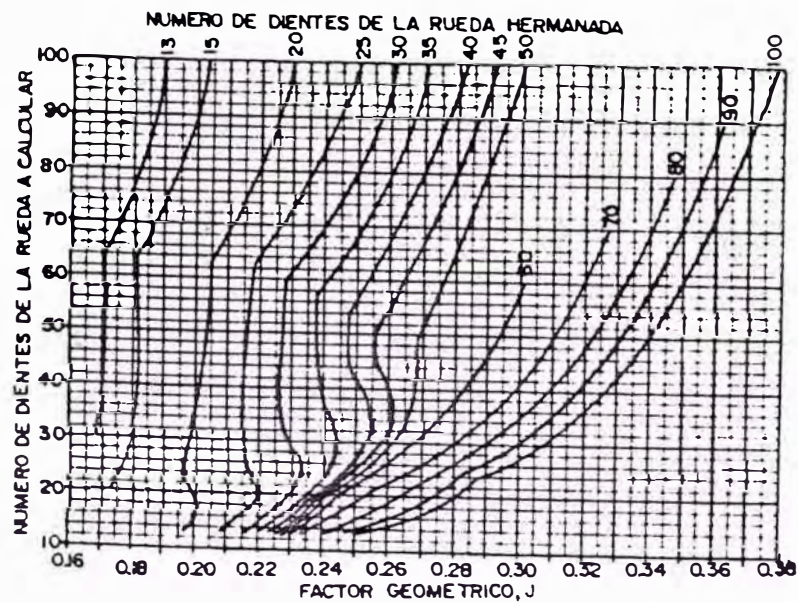


FIG. 9: FACTOR GEOMÉTRICO, J, PARA ENGRANAJES CONICOS DE DIENTES RECTOS, $\phi = 20^\circ$, ANGULO ENTRE LOS EJES = 90° .

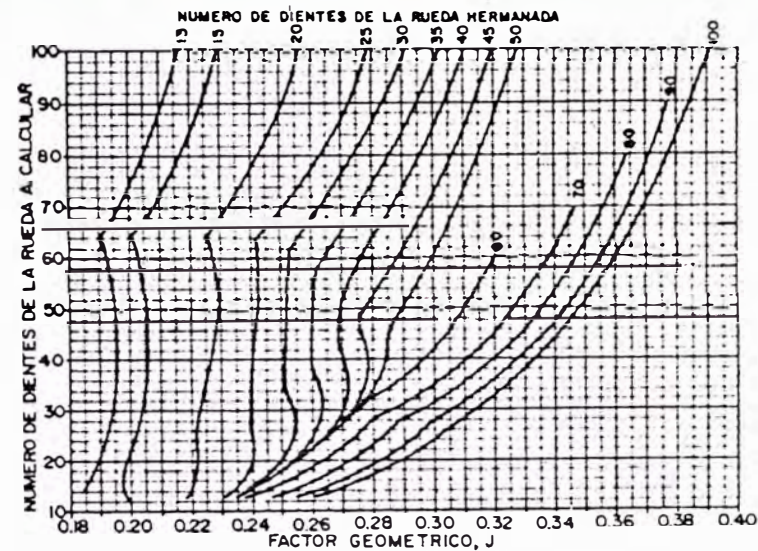


FIG. 10: FACTOR GEOMÉTRICO, J, PARA ENGRANAJES CONICOS DE DIENTES RECTOS, $\phi_n = 25^\circ$, ANGULO ENTRE EJES = 90° .

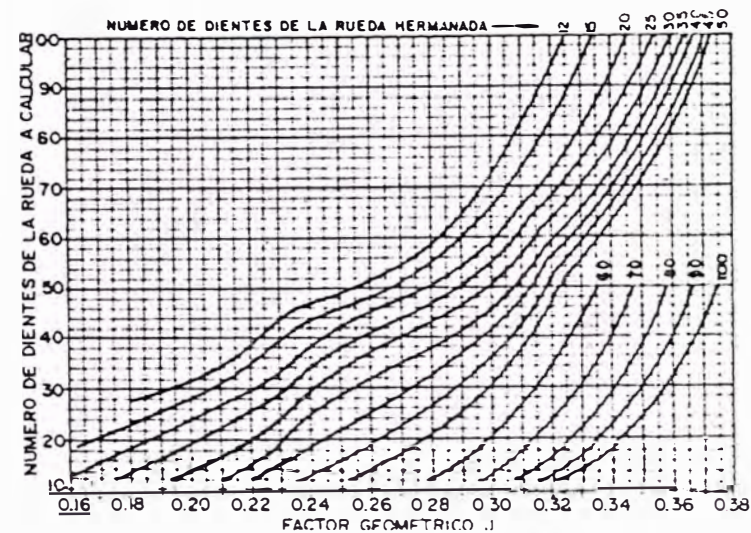


FIG. 11: FACTOR GEOMÉTRICO, J, PARA ENGRANAJES CONICOS DE DIENTES ESPIRALES, $\phi = 20^\circ$, ANGULO DEL ESPIRAL = 35° , ANGULO ENTRE EJES = 90° .

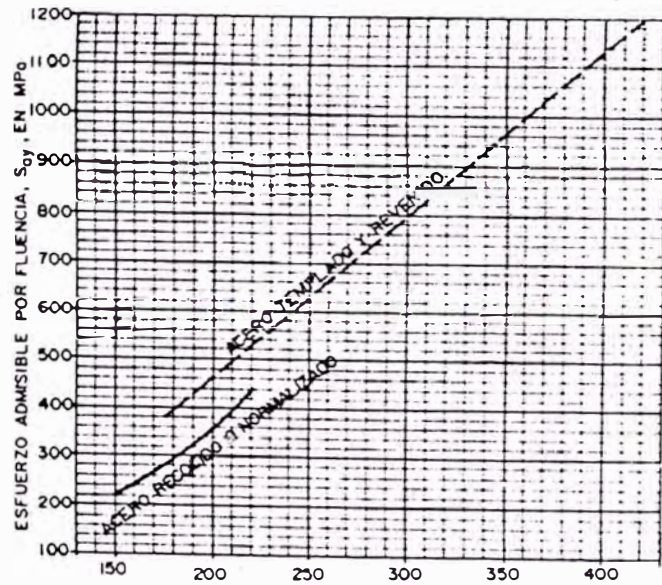


FIG. 12: ESFUERZOS ADMISIBLES, S_{07} , PARA CALCULOS POR FLUENCIA.

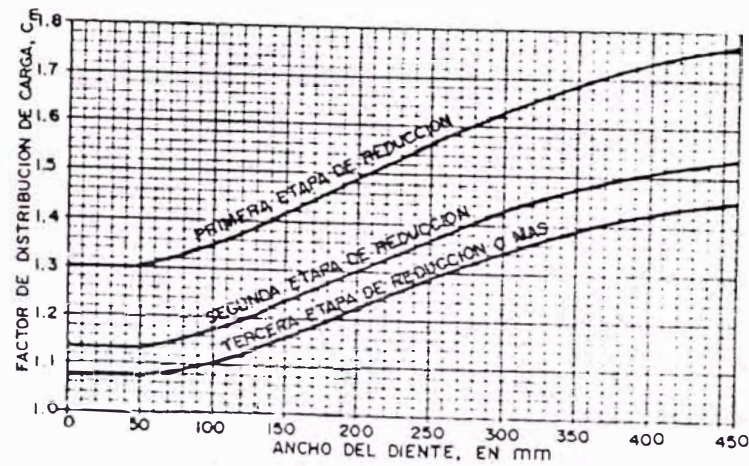


FIG. 13: FACTOR DE DISTRIBUCIÓN DE CARGA, C_m , PARA ENGRANAJES CILINDRICOS DE DIENTES RECTOS Y HELICOIDALES.

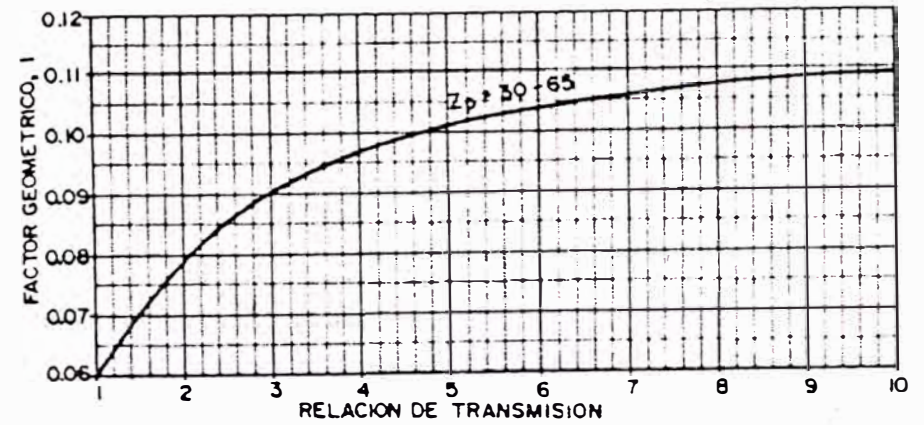


FIG. 14: FACTOR GEOMÉTRICO, I , PARA ENGRANAJES CILINDRICOS DE DIENTES RECTOS, $\phi = 14.5^\circ$.

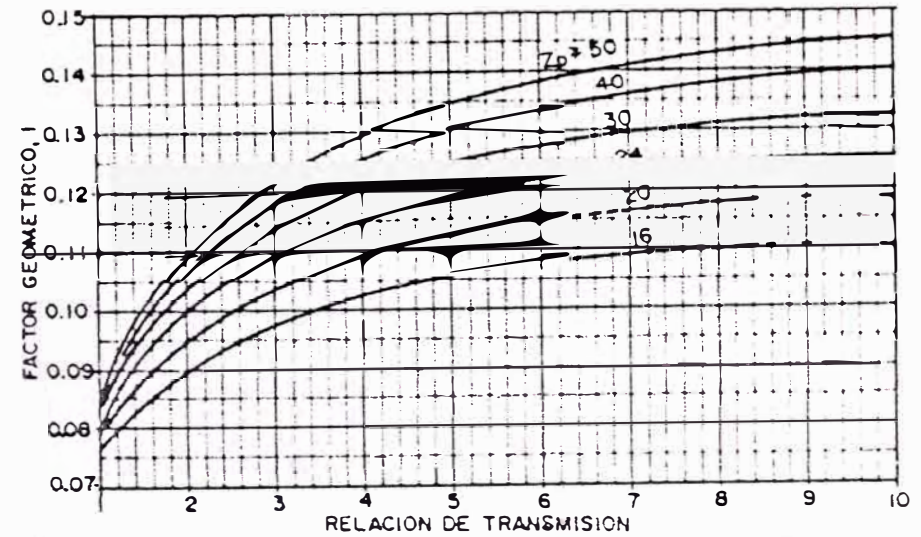


FIG. 15: FACTOR GEOMÉTRICO, I , PARA ENGRANAJES CILINDRICOS DE DIENTES RECTOS, $\phi = 20^\circ$.

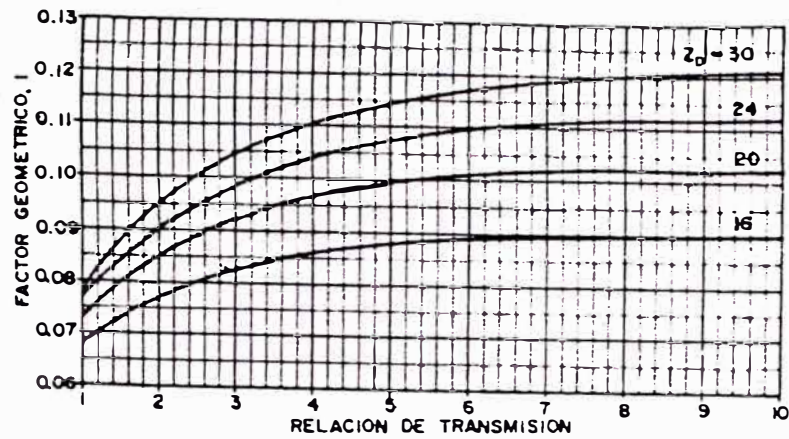


FIG. 16: FACTOR GEOMÉTRICO, I , PARA ENGRANAJES CILINDRICOS DE DIENTES RECTOS, $\phi = 20^\circ$ S.D. (DIENTES DE ALTURA RECORTADA)

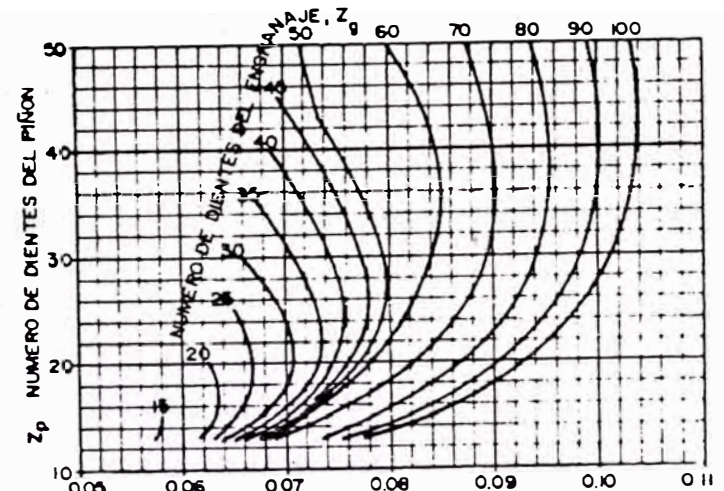


FIG. 18: FACTOR GEOMÉTRICO, I , PARA ENGRANAJES CONICOS DE DIENTES RECTOS Y ZEROL, $\phi = 25^\circ$, ANGULO ENTRE EJES = 90° .

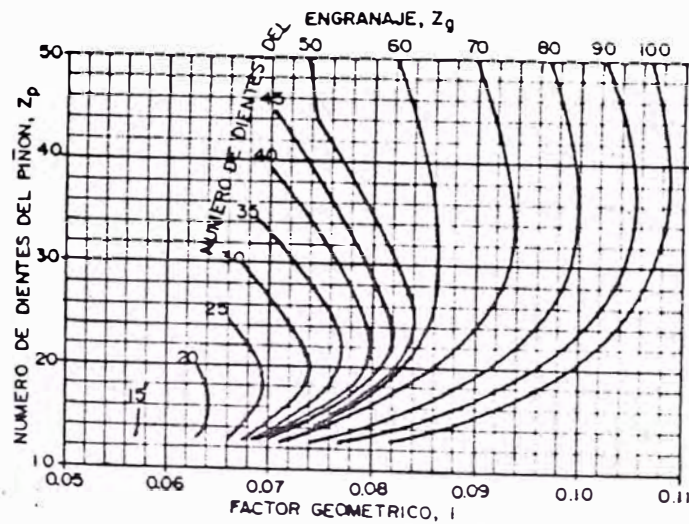


FIG. 17: FACTOR GEOMÉTRICO, I , PARA ENGRANAJES CONICOS DE DIENTES RECTOS Y ZEROL, $\phi = 20^\circ$, ANGULO ENTRE EJES = 90° .

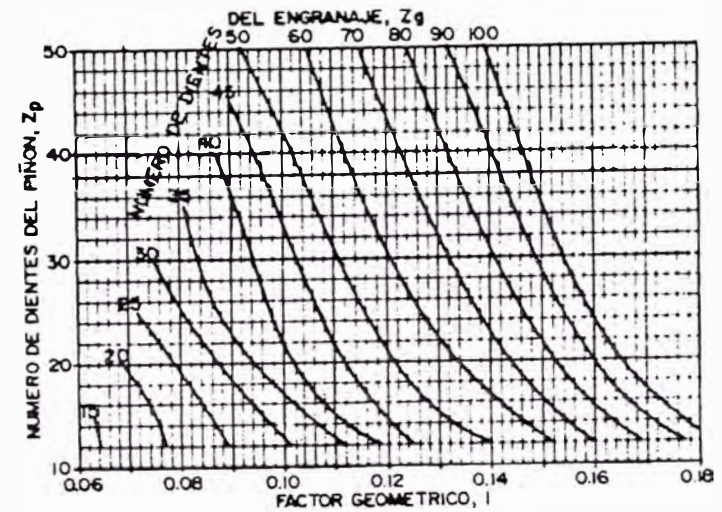
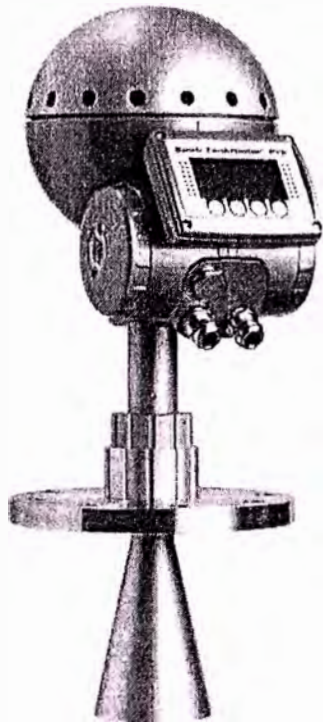


FIG. 19: FACTOR GEOMÉTRICO, I , PARA ENGRANAJES CONICOS DE DIENTES ESPIRALES, $\phi = 20^\circ$, ANGULO DEL ESPIRAL = 35° , ANGULO ENTRE EJES = 90° .

Anexo 2

Saab TankRadar® PRO

A technical breakthrough that will change your mind



- State-of-the-art radar level gauge
- Developed for the process industry
- Accurate and extremely reliable
- Easy to install and to use

Imagine a revolutionary radar level gauge that is accurate and extremely reliable in a wide variety of applications and environments. Compact, easy to install and use, maintenance-free (everything you would expect from a state-of-the-art Saab solution) – at an affordable price.

Right, you've just thought of one of the most advanced innovations from Saab Rosemount Tank Control – Saab TankRadar Pro. The most versatile generation of radar level gauges from the world's leading manu-

facturer of radar level gauging equipment.

Saab TankRadar Pro is smaller, lighter and more flexible than its predecessors, yet it is smarter and has higher sensitivity making it more reliable too.

This is the product that will definitely change your mind about level gauging.



If you have the application, we have the solution

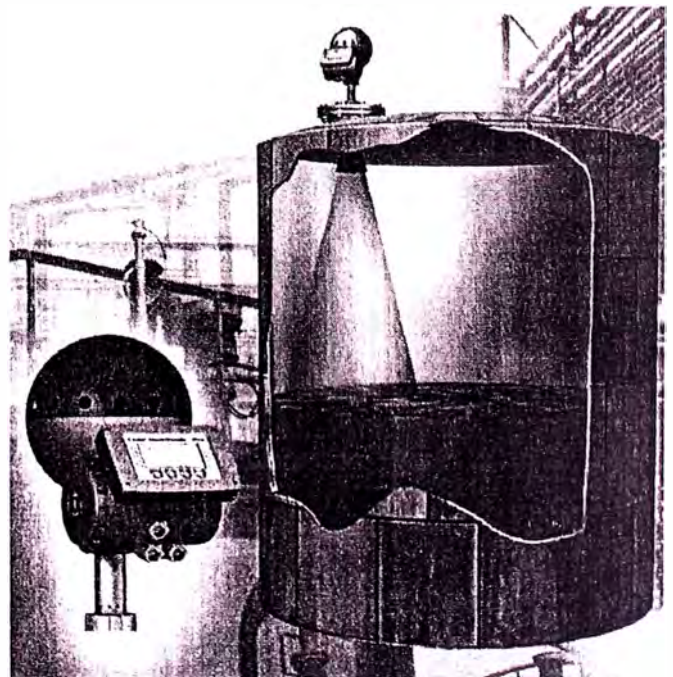
Three basic Saab TankRadar Pro versions – Lite, Standard and Gold – offer complete coverage of most level measuring applications. And of course you can get your own customized version for very special requirements. The choice has never been easier.

Saab TankRadar Pro – Lite

Designed for tanks without internal structures outside hazardous areas, for example storage tanks.

Saab TankRadar Pro – Lite uses Fast Fourier Transformation (FFT), one of the most widely used signal processing techniques, to ensure rapid level measurements level with an accuracy of ± 10 mm.

The Lite version can optionally be equipped with Saab's echofixer, FFAST™ for increased accuracy and MET™, as well as various antennas.

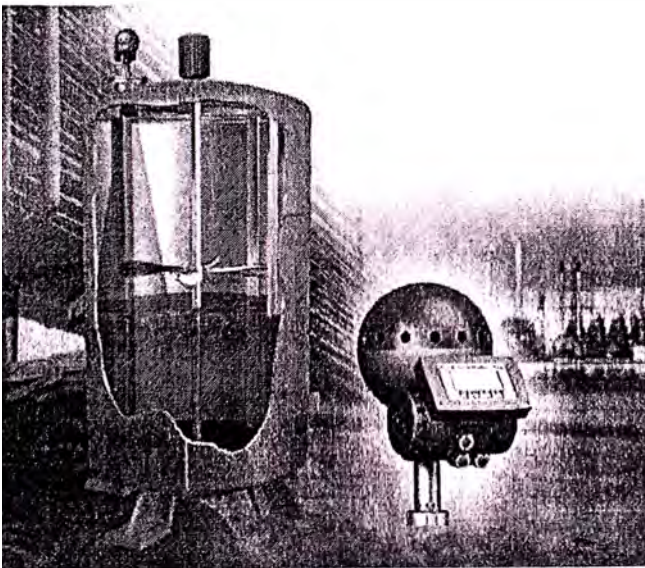


Saab TankRadar Pro – Lite. Perfect for storage tanks.

Saab TankRadar Pro – Standard

The Standard version of Saab TankRadar Pro is suitable for most tanks, even those with echo-disturbing internal structures, for example tanks with agitators or baffles. It is also suitable for spherical and bullet tanks.

This version uses FFT with the addition of Saab's echofixer. Saab's echofixer is a package that continuously maps out all radar interference sources. This gives a reliable level measurement also in agitated tanks.



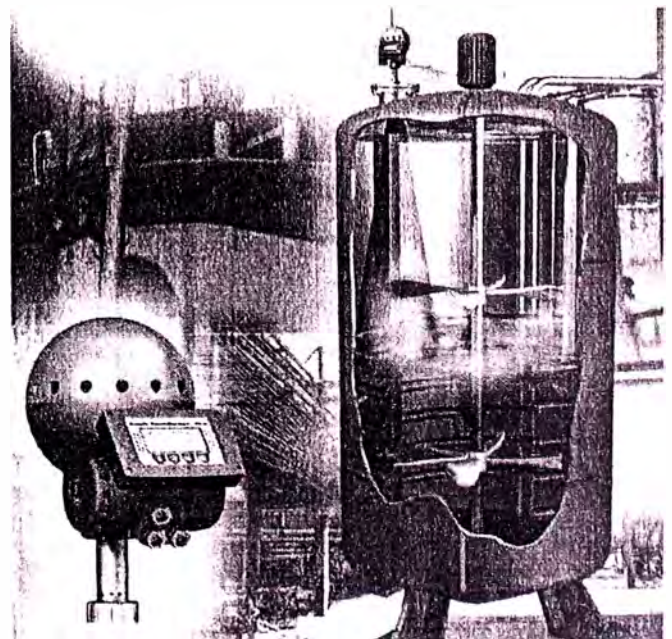
Saab TankRadar Pro – Standard. Perfect for agitated tanks.

Saab TankRadar Pro – Gold

The Gold version of Saab TankRadar Pro is the most advanced version with an operating accuracy of ± 3 mm. It is suitable for

most tanks, also tanks with multiple agitators, beams, heating coils and other sources of false echoes that can seriously compromise level gauging accuracy. For example in agitated batch tanks, and other tanks where higher accuracy and resolution is required.

Saab TankRadar Pro – Gold includes FFT, Multiple Echo Tracking (MET™), Saab's echofixer and FFAST™ as standard. An agitator can present a complicated series of false echoes when the liquid is at the same level as the agitator. In such a situation the MET™ enhancement enables the sensor to consistently identify the correct echo. MET™ further increases the radar echo resolution around the disturbing echoes.



Saab TankRadar Pro – Gold performs accurate measurements in tanks with agitators, and with improved resolution around disturbances.

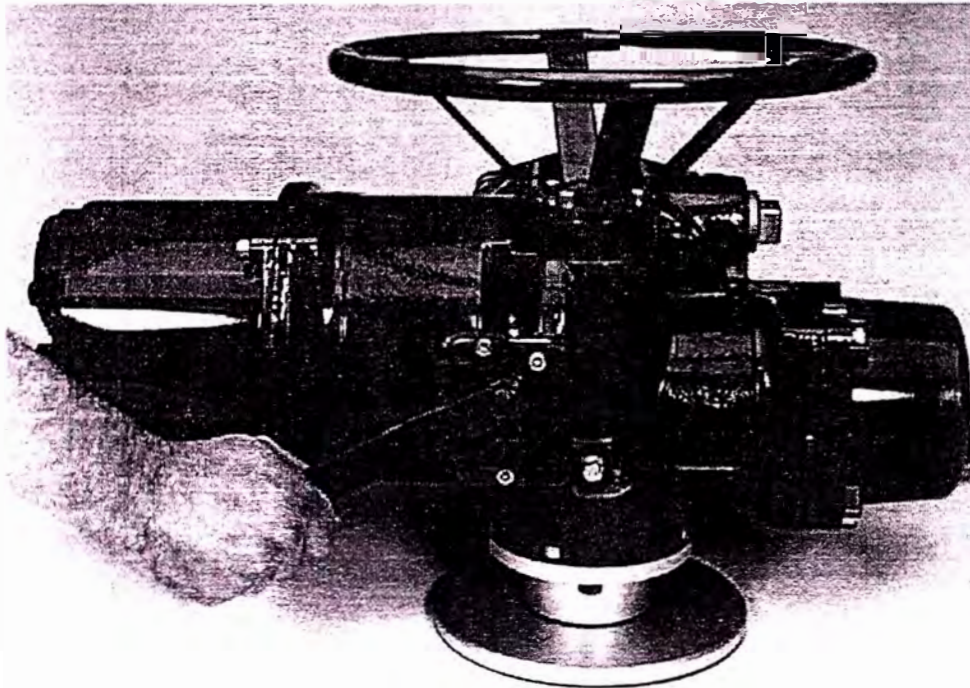


Anexo 3

3.5 Operating the MX Actuator

3.5.1 Manual Operation

Figure 3.25 – Declutch lever shows direction of engagement (MX-05 shown)

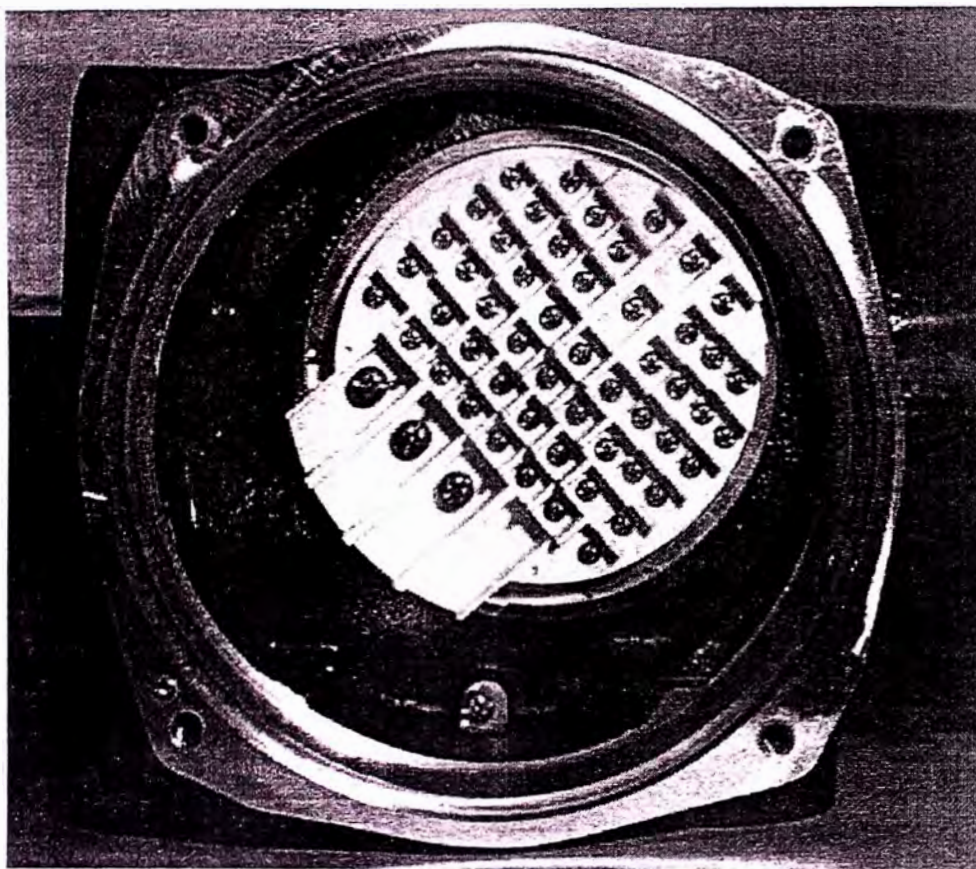


Operate the actuator with the handwheel as follows:

1. Depress the declutch lever and, at the same time, slowly rotate the handwheel until the clutch is fully engaged.
2. Release the lever and it will return to its original position. The clutch will be retained in the handwheel mode by spring-loaded latches.

Manual operation is now possible and the actuator can only be returned to motor operation by energizing the motor. Energizing the motor will trip the spring-loaded latch and allow the clutch to disengage from the handwheel and re-engage with the gear drive. To prevent unauthorized manual operation of the actuator, the declutch lever may be padlocked in “**MOTOR**” mode. A ½ inch size padlock is recommended.

Figure 3.13 – View of terminal block



6. Connect the network cables to the MX actuator terminal block as shown in Figure 3.19. Table 3.5 details a connection for the loop topology.

Figure 3.19 — Connecting network cable to MX terminal block

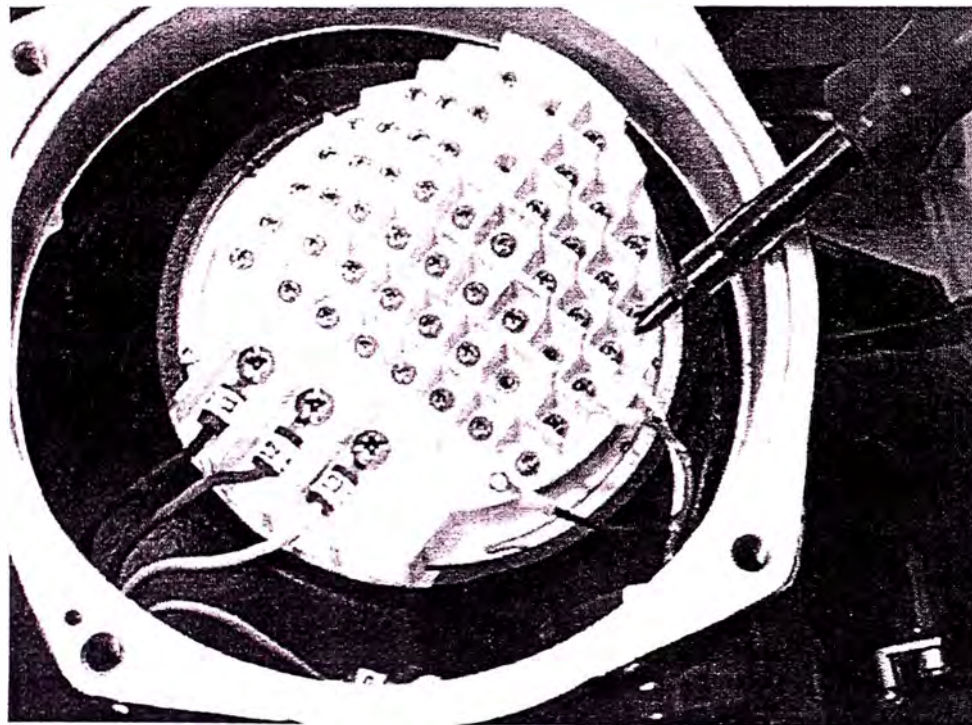


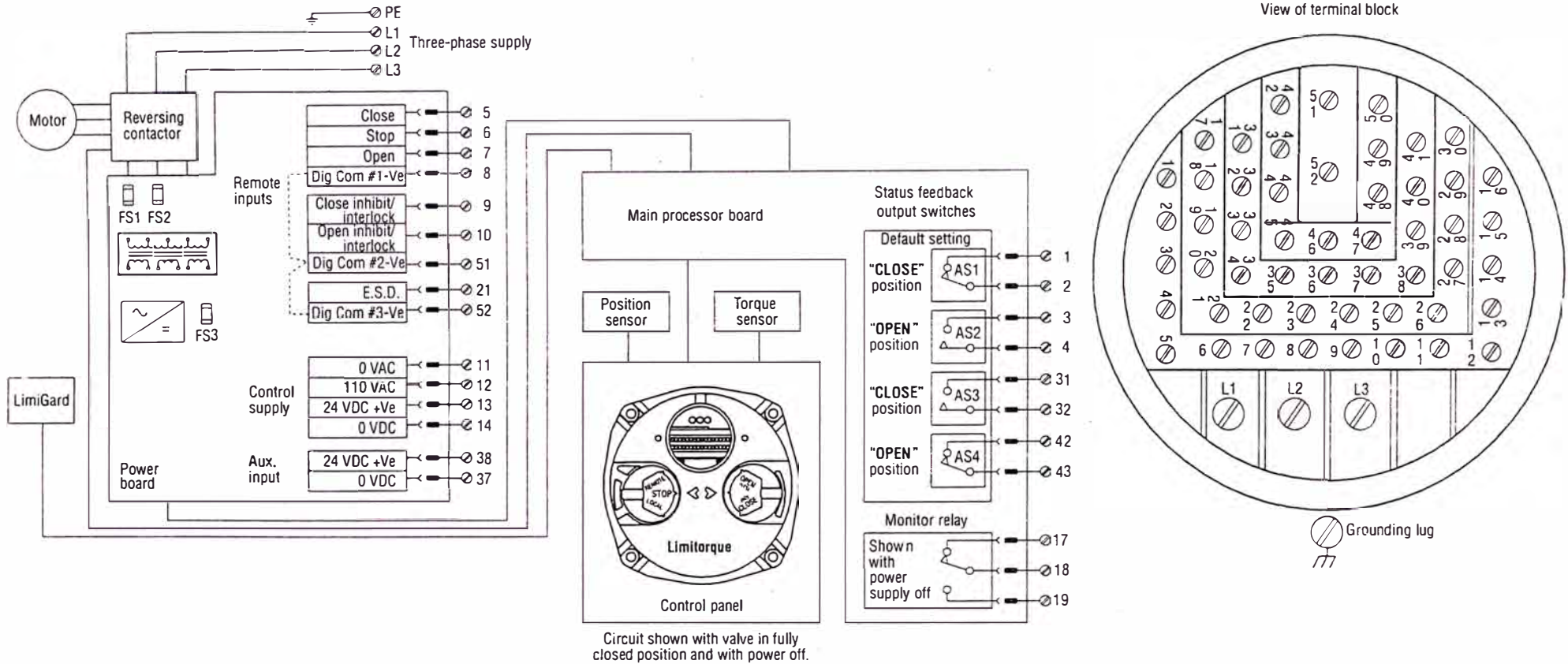
Table 3.5 – Loop topology connections

Terminal Block Number	DDC
15	DATA-A1* (+)
16	DATA-A1 (-)
29	DATA-A2* (+)
41	DATA-A2 (-)
30	Surge Protection

In terms of voltage, DATA is positive with respect to DATA*.

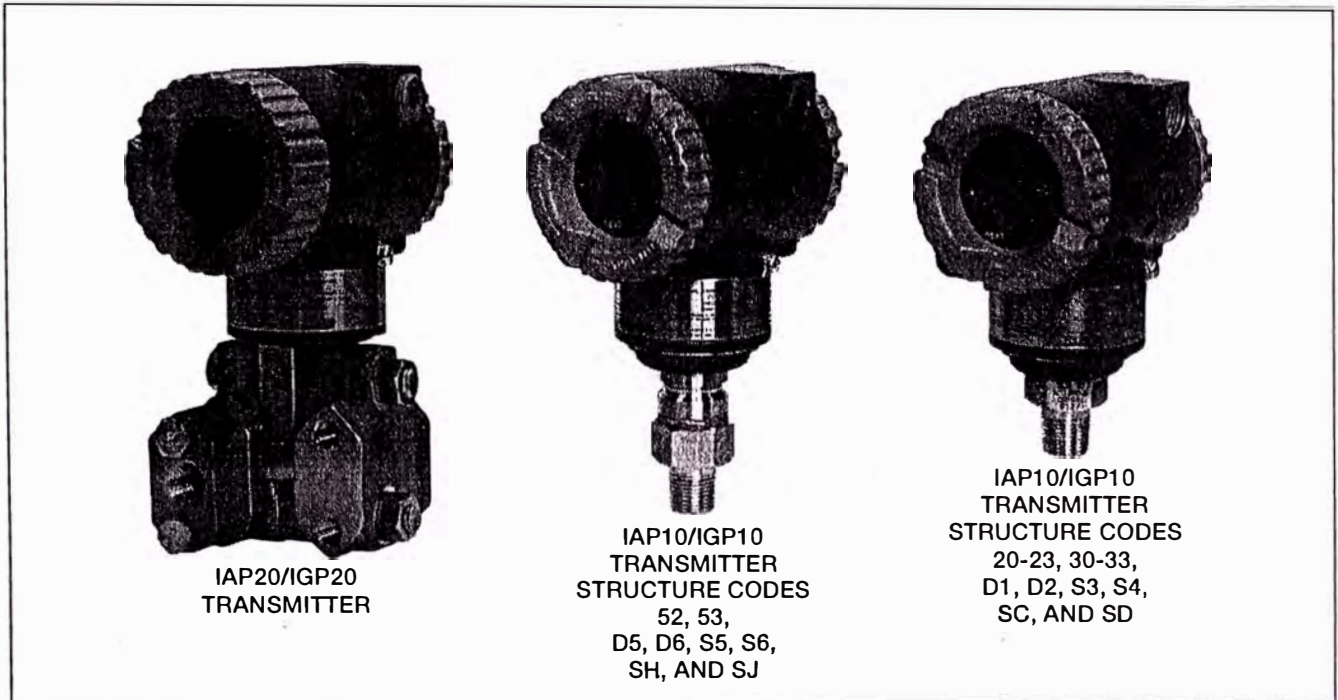
NOTE: Ground each segment of the cabling at only one point to prevent ground loops, which can affect system performance. Verify the actuator is properly grounded.

Figure 3.14 – Standard wiring diagram



Anexo 4

I/A Series® Electronic Pressure Transmitters with 4 to 20 mA Analog Output for Absolute and Gauge Pressure Measurement



The IAP10, IGP10, IAP20, and IGP20 Series of electronic analog output, two-wire transmitters provide precise, reliable measurement of absolute or gauge pressure, and transmit a 4 to 20 mA output signal.

HIGH DEPENDABILITY

- Simple, elegant sensor packaging uses very few parts to achieve exceptionally high reliability
- NEMA® 4X and IEC IP66 durable epoxy-coated aluminum, or 316 ss housings.
- Co-Ni-Cr, 316L ss, and Hastelloy® sensor materials for all transmitters; additional materials available for IAP20/IGP20 Transmitters.
- Can be provided with numerous configurations of direct connect or remote mount seals.
- Integral process connections for sanitary, and pulp/paper installations with IAP10/IGP10.
- CE marked; complies with applicable EMC, ATEX, and PED European Union Directives.
- Meet numerous Agency requirements for hazardous locations. Versions available to meet Agency flameproof and zone requirements.
- Standard 2-year warranty; 5-year optional.

INTELLIGENT TRANSMITTER FEATURES AT AN ECONOMICAL PRICE

When you want the flexibility and performance of a configurable, intelligent transmitter but you don't need a digital output signal, these transmitters provide exceptional benefits at a very affordable price:

- Liquid Crystal Display (LCD) digital indicator with on-board pushbuttons
- Pushbutton configuration and calibration:
 - Zero and Span Settings
 - Adjustable Damping
 - Forward or Reverse Output
 - Failsafe Output; Upscale or Downscale
 - Reranging without applying pressure
- Easily upgradeable to FoxCom™, HART®, FOUNDATION® fieldbus, or PROFIBUS® fully intelligent versions

I/A Series® PRESSURE TRANSMITTER FAMILY

The I/A Series Electronic Pressure Transmitters are a complete family of d/p Cell®, gauge, absolute, multirange, multivariable, and premium performance transmitters, as well as transmitters with remote or direct connect pressure seals, all using field-proven silicon strain gauge sensors and common topworks.

MODULAR ELECTRONICS

A common 4 to 20 mA output electronics module is used with these transmitters. Also, because all configuration and calibration data is stored in the sensor, you can replace this module with another like module without transmitter reconfiguration or recalibration.

Furthermore, if your needs change, the transmitter modular design allows easy migration to other standards, including FoxCom, HART, FOUNDATION Fieldbus, PROFIBUS, and 1 to 5 V dc.

ELECTRONICS VERSION -A TRANSMITTER

This 4 to 20 mA analog output transmitter is a very cost effective analog output transmitter. It provides full configuration capability and represents Invensys Foxboro advancements in providing the greatest functionality for the largest number of applications at the least possible cost to you.

The transmitter even provides the ability to rerange to new calibrated ranges, using the LCD Indicator, without the need to apply calibration pressure.

These transmitters are explosionproof for use in Division 1 hazardous areas and comply with Division 2 requirements. They also provide the flameproof certification for use in Zone 1 hazardous areas.

HIGH PERFORMANCE

Both direct-connected and bracket-mounted transmitters utilize microprocessor-based correction to achieve excellent accuracy and ambient temperature compensation.

EASE OF INSTALLATION

Rotatable Topworks allows transmitter installation in tight places, allows indicator to be positioned in preferred direction, and eases field retrofit.

Two Conduit Entrances offer a choice of entry positions for ease of installation and self-draining of condensation regardless of mounting position and topworks rotation.

Wiring Guides and Terminations provide ease of wire entry and support, plenty of space to work and store excess wire, and large, rugged, rugged screw terminals for easy wire termination.

STANDARD LCD DIGITAL INDICATOR

A two-line digital indicator with on-board pushbuttons displays the measurement with a choice of units. The pushbuttons allow zero and span adjustments as well as local configuration without the need for a PC-based Configurator.

When local process indication is not required or desired, an optional blind (solid) cover can be substituted for the standard window cover.

CHOOSE MOUNTING CONFIGURATION NEEDED

Direct Connected Transmitter (Figure 1)

Light weight and easy-to-install. Uses 316L ss or Hastelloy C process connections and a choice of either 316L ss, Cobalt-Nickel-Chrome, or Hastelloy C for the sensing diaphragm. See Direct-Connected Transmitters on next page.

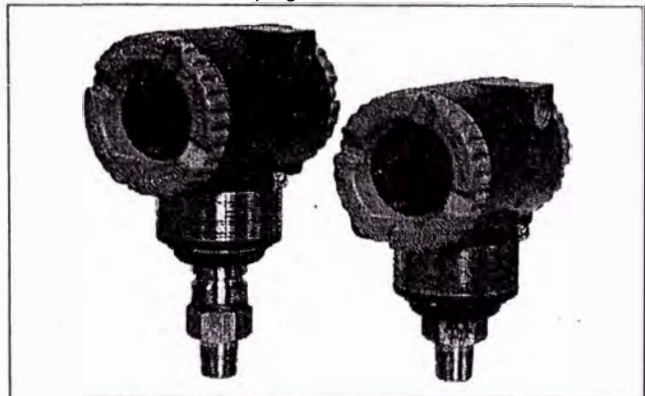


Figure 1. Direct Connected Transmitter (Flameproof Version on Left)

Bracket-Mounted Transmitter (Figure 2)

A large selection of corrosion resistant materials; suitable for applications requiring low spans, vacuum service, and high overrange pressure. See Bracket-Mounted Transmitters on next page.

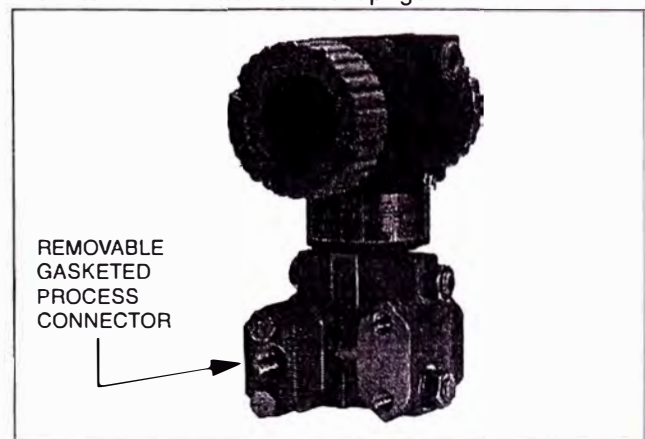


Figure 2. Bracket-Mounted Transmitter with Conventional Process Connector

DIRECT-CONNECTED TRANSMITTERS — IAP10 AND IGP10 (See Figure 1)

EXCEPTIONAL VALUE

The combination of small size, light weight, direct mounting, standard materials, and wide measurement capability with high performance makes these transmitters an exceptionally cost effective solution for process pressure measurement.

DIRECT PROCESS MOUNTING

Because of their light weight and external threaded connection, these transmitters can be installed directly on process piping without mounting brackets. However, for unique requirements, an optional bracket is offered and connection can be made to the standard 1/4 NPT internal thread.

WIDE RANGEABILITY

Three absolute pressure versions are offered to allow spans from 7 to 21 000 kPa (1 to 3000 psi), and four gauge pressure versions are offered to allow spans from 7 to 42 000 kPa (1 to 6000 psi). Refer to the IGP20 Transmitter section below for gauge pressure vacuum service.

316L ss, HASTELLOY C, AND Co-Ni-Cr PROCESS WETTED PARTS

With process connection of 316L ss or Hastelloy C, and sensor diaphragm available in either 316L ss, Hastelloy C, or highly corrosion resistant Co-Ni-Cr, this transmitter is an excellent choice for the vast majority of process pressure measurements.

HIGH GAUGE PRESSURE VERSIONS

Three high gauge pressure versions with URLs of 52, 105, and 210 MPa (7500, 15 000, and 30 000 psi) are available in the IGP10 line. See PSS 2A-1C13 F.

SANITARY AND PULP AND PAPER VERSIONS

These transmitters are also available with integral process connections for use in sanitary and pulp and paper installations. See PSS 2A-1C13 K and PSS 2A-1C13 L, respectively.

FLAMEPROOF DESIGN

The IAP10 and IGP10 flameproof versions are designed to meet Agency flameproof and zone requirements.

BRACKET-MOUNTED TRANSMITTERS — IAP20 AND IGP20 (See Figure 2)

SENSOR CORROSION PROTECTION

Choice of Co-Ni-Cr, 316L ss, Gold-Plated 316L ss, Hastelloy C, Monel, or Tantalum materials. High corrosion resistance of Co-Ni-Cr (TI 037-038) means long service life in many difficult applications without the extra cost for exotic materials. Also see TI 37-75b for process application with Co-Ni-Cr and other wetted parts materials.

WIDE RANGEABILITY

Gauge pressure measurement spans may be as low as 0.12 kPa (0.5 inH₂O) to as high as 21 MPa (3000 psi) by choosing one of only five sensors, and absolute pressure spans may be as low as 0.87 kPa (3.5 inH₂O) to as high as 21 MPa (3000 psi) by choosing one of only four sensors. This provides exceptional measurement range capability with a minimum of versions.

EASE OF MOUNTING TWO-VALVE MANIFOLD

Optional two-valve manifold, to isolate transmitter and to vent pressure, is easily mounted directly to the transmitter.

VACUUM SERVICE

A lower range limit of -100 kPa (-14.7 psi, -1 bar or kg/cm²) means that vacuum measurements are easily handled with the versatile IGP20 Gauge Pressure transmitter.

FLAMEPROOF DESIGN

The transmitters are designed to meet Agency flameproof and zone requirements.

PROCESS CONNECTOR

Removable, gasketed process connector (Figure 3) allows a wide range of selections, including 1/4 NPT, 1/2 NPT, Rc 1/4, Rc 1/2, and weld neck connections.

For highly corrosive chemical processes, a 1/2 NPT pvdf (Kynar[®]) insert is installed in the HI-side 316 ss cover and is used as the process connector. In these applications, tantalum is used as the sensor diaphragm material.

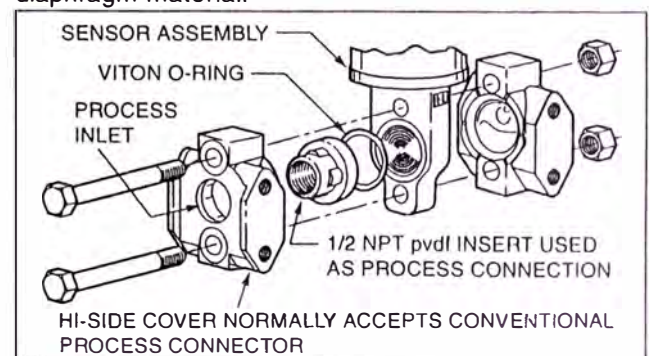


Figure 3. Bracket-Mounted Transmitter Shown with 1/2 NPT pvdf Insert Installed in HI-Side Cover

PRESSURE SEALS

Pressure seals are used with the IAP10, IGP10, IAP20, and IGP20 Series Transmitters when it is necessary to keep the transmitter isolated from the process. A sealed system is used for a process fluid that may be corrosive, viscous, subject to temperature extremes, toxic, sanitary, or tend to collect and solidify.

Tables 1 and 2 list the various seals that can be used with these transmitters. To order a transmitter with seals, both a Transmitter Model Number and Seal Model Number are required. See PSS 2A-1Z11 A for a complete listing of pressure seal models and specifications. Also see Figure 4 for typical pressure seal configurations.

Table 1. Pressure Seals Used with IAP10, IGP10, IAP20, and IGP20 Transmitters

Direct Connect Pressure Seal Assemblies		
Seal Model	Seal Description	Process Connections
PSFLT	Flanged, Direct Connect (Flanged Level), Flush or Extended Diaphragm	ANSI Class 150/300/600 flanges and BS/DIN PN 10/40, 10/16, 25/40 flanges
PSFAD	Flanged, Direct Connect, Recessed Diaphragm	ANSI Class 150, 300, 600, 1500 flanges
PSTAD	Threaded, Direct Connect, Recessed Diaphragm	1/4, 1/2, 3/4, 1, or 1 1/2 NPT internal thread
PSISD	In-Line Saddle Weld, Direct Connect, Recessed Diaphragm	Lower housing of seal is in-line saddle welded to nominal 3- or 4-inch (and larger) Pipe
PSSCT	Sanitary, Direct Connect (Level Seal), Flush Diaphragm	Process Connection to Sanitary Piping with 2- or 3-inch Tri-Clamp
PSSST	Sanitary, Direct Connect (Level Seal), Extended Diaphragm	Process Connection to 2-in Mini Spud or 4-in Standard Spud; Tri-Clamp
Remote Mount, Capillary-Connected Pressure Seal Assemblies		
Seal Model	Seal Description	Process Connections
PSFPS	Flanged, Remote Mount, Flush Diaphragm	ANSI Class 150/300/600 flanges and BS/DIN PN 10/40 flanges
PSFES	Flanged, Remote Mount, Extended Diaphragm	ANSI Class 150/300/600 flanges and BS/DIN PN 10/40, 10/16, 25/40 flanges
PSFAR	Flanged, Remote Mount, Recessed Diaphragm	ANSI Class 150/300/600/1500 flanges
PSTAR	Threaded, Remote Mount, Recessed Diaphragm	1/4, 1/2, 3/4, 1, or 1 1/2 NPT internal thread
PSISR	In-Line Saddle Weld, Remote Mount, Recessed Diaphragm	Lower housing of seal is in-line saddle welded to nominal 3- or 4-inch (and larger) Pipe
PSSCR	Sanitary, Remote Mount, Flush Diaphragm	Process Connection secured with a Tri-Clamp to a 2- or 3-inch pipe
PSSSR	Sanitary, Remote Mount, Extended Diaphragm	Process Connection to 2-in Mini Spud or 4-in Standard Spud; Tri-Clamp

Table 2. I/A Series Pressure Transmitters and Applicable Pressure Seals

Transmitter Model	Used with Pressure Seal Model: (a)												
	FLT	FAD	TAD	ISD	SCT	SST	FPS	FES	FAR	TAR	ISR	SCR	SSR
IAP10	-	✓	✓	✓	-	-	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
IGP10	-	✓	✓	✓	-	-	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
IAP20	-	-	-	-	-	-	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
IGP20	✓	-	-	-	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

(a) Pressure Seal models are shown with an abbreviated code; all seal codes have a PS prefix; for example, FLT is really PSFLT.

FUNCTIONAL SPECIFICATIONS (Cont.)

Maximum Overrange and Proof Pressure Ratings for IAP 20 and IGP20 Transmitters (a)

Transmitter Configuration (See Model Code for Description of Options)	Overrange Pressure Rating			Proof Pressure Rating (b)		
	MPa	psi	bar or kg/cm ²	MPa	psi	bar or kg/cm ²
Standard or with Option -B2, -D3, or -D7	25	3625	250	100	14500	1000
With Option -B3	20	2900	200	70	11150	700
With Option -D1	16	2320	160	64	9280	640
With Option -B1 or -D5	15	2175	150	60	8700	600
With Option -D2, -D4, -D6, or -D8	10	1500	100	40	6000	400
With Structure Codes 78 and 79 (pvdf insert)	2.1	300	21	8.4	1200	84

(a) Refer to Model Code section for application and restrictions related to the items listed in the table.

(b) Proof pressure ratings meet ANSI/ISA® Standard S82.03-1988. Unit may become nonfunctional after application of proof pressure.

Impact of Certain Options on IAP20/IGP20 Span and Range Limits (a)

Option	Description (Also see Model Code)	Span and Range Limits Derated to:
-B3	B7-M Bolts and Nuts (NACE)	20 MPa (2900 psi, 200 bar, or kg/cm ²)
-D1	DIN Construction	16 MPa (2320 psi, 160 bar or kg/cm ²)
-D5 or -B1	DIN Construction or 316 ss Bolting	15 MPa (2175 psi, 150 bar or kg/cm ²)
-D2, -D4, -D6, or -D8 (a)	DIN Construction (a)	10 MPa (1500 psi, 100 bar or kg/cm ²) (a)

(a) Refer to Model Code section for application and restrictions related to the items listed in the table.

Output Signal

4 to 20 mA, Linear

Field Wiring Reversal

No transmitter damage

Supply Voltage Requirements and External Loop Load Limitations (Figure 5)

Minimum supply voltage is 11.5 V dc. This can be reduced to 11 V dc using a plug-in jumper in the field wiring compartment terminal block as shown in the "Physical Specifications" section.

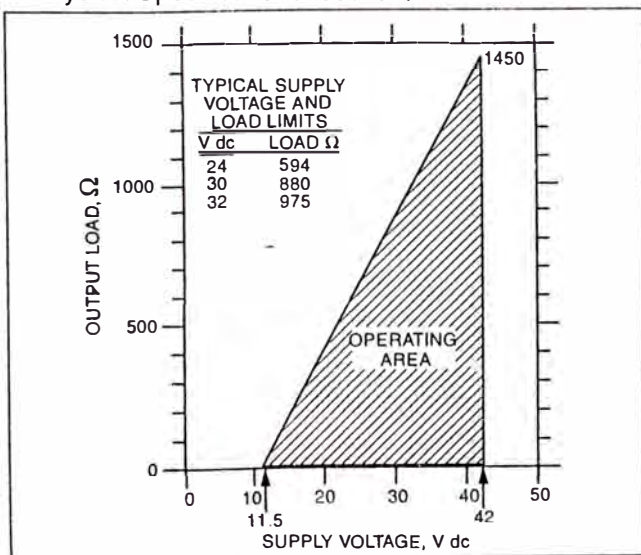


Figure 5. Supply Voltage vs. Output Load

Suppressed Zero and Elevated Zero

Suppressed or elevated zero ranges are acceptable as long as the Span and Range Limits are not exceeded (elevated zero applicable to IGP20 only).

Zeroing for Nonzero-Based Ranges

Dual Function Zeroing is provided to allow zeroing with the transmitter open to atmosphere, even when there is a nonzero-based range. This greatly simplifies position effect zeroing on many pressure and level applications. It applies to the standard LCD Indicator, and External Zero Adjustment option.

Zero and Span Adjustments (See Figure 8)

Zero and span adjustments can be accomplished using the pushbuttons on the LCD indicator.

Optional External Zero Adjustment (See Figure 8)

An external zero pushbutton mechanism is isolated from the electronics compartment and magnetically activates an internal reed switch through the housing. This eliminates a potential leak path for moisture or contaminants to get into the electronics compartment. The external zero adjustment can be disabled by a configuration selection.

Write Protect Jumper

Can be positioned to lock out all configurators from making database changes. This makes transmitter suitable for Safety Shutdown System Applications that require this feature.

FUNCTIONAL SPECIFICATIONS (Cont.)

Adjustable Damping

Transmitter response time is normally 0.75 s, or the electronically adjustable setting of 0 (none), 2, 4, or 8 seconds, whichever is greater, for a 90% recovery from an 80% input step per ANSI/ISA S51.1. (For 63.2% recovery, 0.5 s with sensors B to F, and 0.6 s with sensor A.)

Minimum Allowable Absolute Pressure vs. Transmitter Temperature

WITH SILICONE FILL FLUID

Full vacuum: up to 121°C (250°F)

WITH FLUORINERT® FILL FLUID (FIGURE 6.)

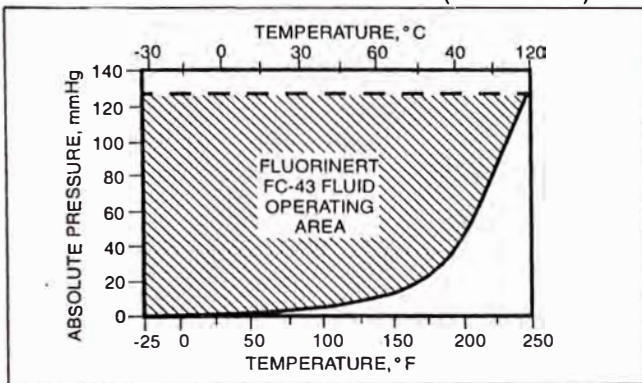


Figure 6. Minimum Allowable Absolute Pressure vs. Transmitter Temperature, Fluorinert FC-43, 2.6 cSt at 25°C (77°F)

European Union Directives

- Complies with Electromagnetic Compatibility Requirements of European EMC Directive 89/336/EEC by conforming to the following CENELEC and IEC Standards: EN 50081-2, EN 50082-2, and IEC 801-2 through 801-6.
- Transmitter Complies with NAMUR Part 1 Interference Immunity Requirement (EMC)
- Transmitter Conforms to Applicable European Union Directives ("CE" Logo marked on product).

Configuration and Calibration Data, and Electronics Upgradeability

All factory characterization data and user configuration and calibration data are stored in the sensor (Figure 7). This means that the electronics module may be replaced, with one of like type, without the need for reconfiguration or recalibration.

Although module replacement can affect accuracy by a maximum of 0.20% of span, this error can be removed by an mA trim without application of pressure.

Changing module types (e.g., from one protocol to another protocol) may require reconfiguration and recalibration, as well as a different terminal block, but all factory characterization data is retained.

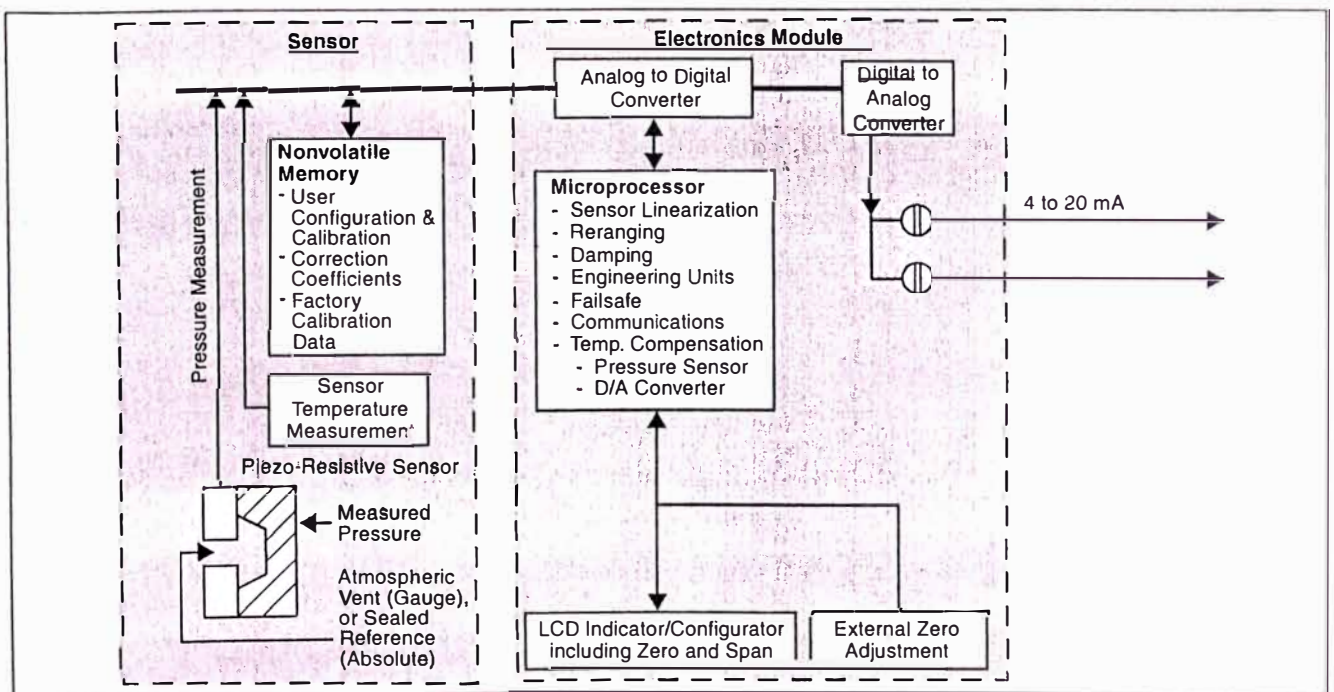


Figure 7. Transmitter Functional Block Diagram

FUNCTIONAL SPECIFICATIONS (Cont.)

Standard LCD Indicator with On-Board Pushbuttons (Figure 8) Provides:

- Two lines; four numeric characters on top line, and seven alphanumeric characters on bottom line.
- Measurement Readout; value on top line and units label on bottom line.
- Configuration and Calibration Prompts.

Optional Custom Configuration (Option -C2)

For the transmitter to be custom configured by the factory, the user must fill out a data form. If this option is not selected, a standard default configuration will be provided. See Tables 3 and 4.

Table 3. Example of Option -C2

Parameter	Standard (Default) Configuration	Example of Custom Configuration Option -C2
Calibrated Range		
• Pressure EGU	per S.O.(a)	KG/CM2 (a)
• LRV	per S.O.	0
• URV	per S.O.	1
Output Direction	Forward	Forward
Damping	None	2
Failsafe Action	Upscale	Downscale
Ext. Zero Option	Enabled	Disabled
Other		
• Label (2nd line)	(b)	KG/CM2 (b)
• Display LRV	(c)	0 (c)
• Display URV	(c)	1 (c)

(a) Select from list in Table 4 below.

(b) Same as pressure units used for calibrated range, or percent.

(c) Same as calibrated range or 0 and 100 for percent.

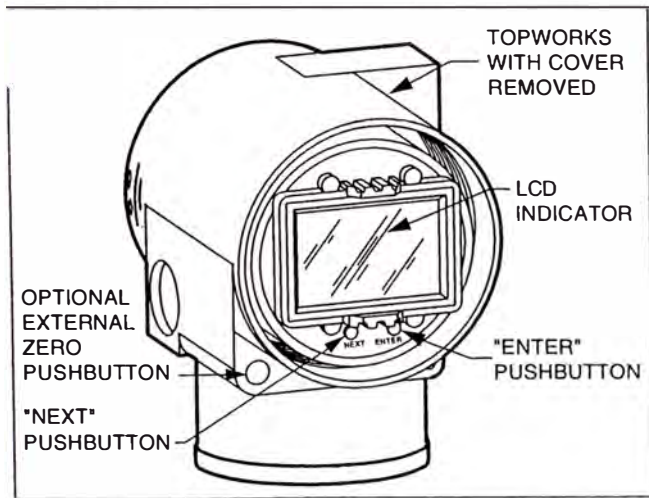


Figure 8. Standard LCD Indicator with Pushbuttons

Table 4.

Available Pressure Units in Calibrated Range (a)

inH ₂ O	inHg	kPa	mbar	kg/cm ²
ftH ₂ O	mmHg	MPa	bar	psi
mmH ₂ O	Pa	torr	g/cm ²	atm

(a) Absolute or gauge pressure units, as applicable.

NOTE

There is a maximum of 4 digits for entering range values.

OPERATING, STORAGE, AND TRANSPORTATION CONDITIONS

Influence	Reference Operating Conditions	Normal Operating Conditions (a)	Operative Limits (a)	Storage and Transportation Limits
Process Connection Temp. • with Silicone Fill Fluid • with Fluorinert Fill Fluid	• 24 ±2°C (75 ±3°F) • 24 ±2°C (75 ±3°F)	• -29 to + 82°C (-20 to +180°F) • -29 to + 82°C (-20 to +180°F)	• -46 and +121°C (b) (-50 and +250°F) (b) • -29 and +121°C (-20 and +250°F)	• Not Applicable • Not Applicable
Electronics Temperature • with LCD Indicator (Note c)	• 24 ±2°C (75 ±3°F) • 24 ±2°C (75 ±3°F)	• -29 to + 82°C (-20 to +180°F) • -20 to + 82°C (-4 to +180°F)	• -40 and +85°C (b) (-40 and +185°F) (b) • -29 and +85°C (-20 and +185°F)	• -54 and +85°C (-65 and +185°F) • -54 and +85°C (-65 and +185°F)
Relative Humidity (Note d)	50 ±10%	0 to 100%	0 and 100%	0 and 100% Noncondensing
Supply Voltage - mA Output	30 ±0.5 V dc	11.5 to 42 V dc (e)	11.5 and 42 V dc (e)	Not Applicable
Output Load - mA Output	650 Ω	0 to 1450 Ω	0 and 1450 Ω	Not Applicable
Vibration	1 m/s ² (0.1 "g")	6.3 mm (0.25 in) Double Amplitude: from 5 to 15 Hz with Aluminum Housing and from 5 to 9 Hz with 316 ss Housing ----- 0 to 30 m/s ² (0 to 3 "g") from 15 to 500 Hz with Aluminum Housing; and 0 to 10 m/s ² (0 to 1 "g") from 9 to 500 Hz with 316 ss Housing	11 m/s ² (1.1 "g") from 2.5 to 5 Hz (in Shipping Package)	
Mounting Position	Upright (f)	Upright (f)	No Limit	Not Applicable

(a) Temperature limits are derated as follows:

IAP20 and IGP20 Transmitters:

to -7 and +82°C (20 and 180°F) when Structure Codes 78/79 (pdf inserts) are used, and
to 0 and 60°C (32 and 140°F) when DIN Construction Options D2/D4/D6/D8 are used.

(b) Selection of Option -J extends the low temperature limit of transmitters with silicone filled sensors down to -50°C (-58°F).

(c) Although the LCD will not be damaged at any temperature within the "Storage and Transportation Limits", updates will be slowed and readability decreased at temperatures outside the "Normal Operating Conditions".

(d) With topworks covers on and conduit entrances sealed.

(e) 11.5 V dc can be reduced to 11 V dc by using a plug-in shorting bar; see "Physical Specifications" sections.

(f) Sensor process wetted diaphragms in a vertical plane for IAP20 and IGP20 Transmitter.

PERFORMANCE SPECIFICATIONS

Zero-Based Calibrations; Cobalt-Nickel-Chromium or Stainless Steel Sensor with Silicone Fluid;
 Under Reference Operating Conditions unless otherwise specified;
 URL = Upper Range Limit, and Span = Calibrated Span

Accuracy (includes Linearity, Hysteresis, and Repeatability)

±0.20% of Span

Small Span Accuracy for Spans <5% and <6.7% of URL

See Table 5 below.

Table 5. Accuracy with Small Spans

For Span Code (a)	If Span is:	Then Small Span Accuracy in % of Span is:
B	<5% of URL	$\pm \left[(0.10) + (0.005) \left(\frac{URL}{Span} \right) \right]$
A, C, D, E, and F	<6.7% of URL	$\pm \left[(0.10) + (0.0067) \left(\frac{URL}{Span} \right) \right]$

(a) See Model Code for Span Codes applicable to each transmitter.

Stability

Long term drift is less than ±0.05% of URL per year over a 5-year period.

Power-Up Time

Less than 5 seconds for output to reach first valid measurement.

Supply Voltage Effect

The output changes less than 0.005% of span for each 1 V change within the specified supply voltage requirements. See Figure 5.

Position Effect

The transmitter may be mounted in any position. Any zero effect caused by the mounting position can be eliminated by rezeroing. There is no span effect.

RFI Effect

The output error is less than 0.1% of span for radio frequencies in the range of 27 to 1000 MHz and field intensity of 30 V/m when the transmitter is properly installed with shielded conduit and grounding, and housing covers are in place. (Per IEC Std. 801-3.)

Vibration Effect

Total effect: ±0.2% of URL per “g” for vibrations in the frequency range of 5 to 500 Hz; with double amplitudes of 6.35 mm (0.25 in) in the range of 5 to 15 Hz, or accelerations of 3 “g” in the range of 15 to 500 Hz, whichever is smaller, for transmitters with aluminum housings; and with double amplitudes of 6.35 mm (0.25 in) in the range of 5 to 9 Hz, or accelerations of 1 “g” in the range of 9 to 500 Hz, whichever is smaller, for transmitters with 316 ss housings.

Switching and Indirect Lightning Transients

The transmitter can withstand a transient surge up to 2000 V common mode or 1000 V normal mode without permanent damage. The output shift is less than 1.0%. (Per ANSI/IEEE C62.41-1980 and IEC Std. 801-5.)

Ambient Temperature Effect

Total effect for a 28°C (50°F) change within Normal Operating Condition limits is:

FOR THE IAP10 AND IGP10 TRANSMITTERS

Span Code (a)	Ambient Temperature Effect
C, D, E, and F	±(0.08% URL + 0.1% Span)

(a) Span Code F applicable to IGP10 Transmitter only.

FOR THE IAP20 AND IGP20 TRANSMITTERS

Span Code	Ambient Temperature Effect
A (a)	±(0.18% URL + 0.15% Span)
B and C	±(0.03% URL + 0.20% Span)
D	±(0.05% URL + 0.18% Span)
E	±(0.08% URL + 0.15% Span)

(a) Span Limit Code A applicable to IGP20 Transmitter only.

NOTE

For additional ambient temperature effect when pressure seals are used, see PSS 2A-1Z11 A.

PHYSICAL SPECIFICATIONS

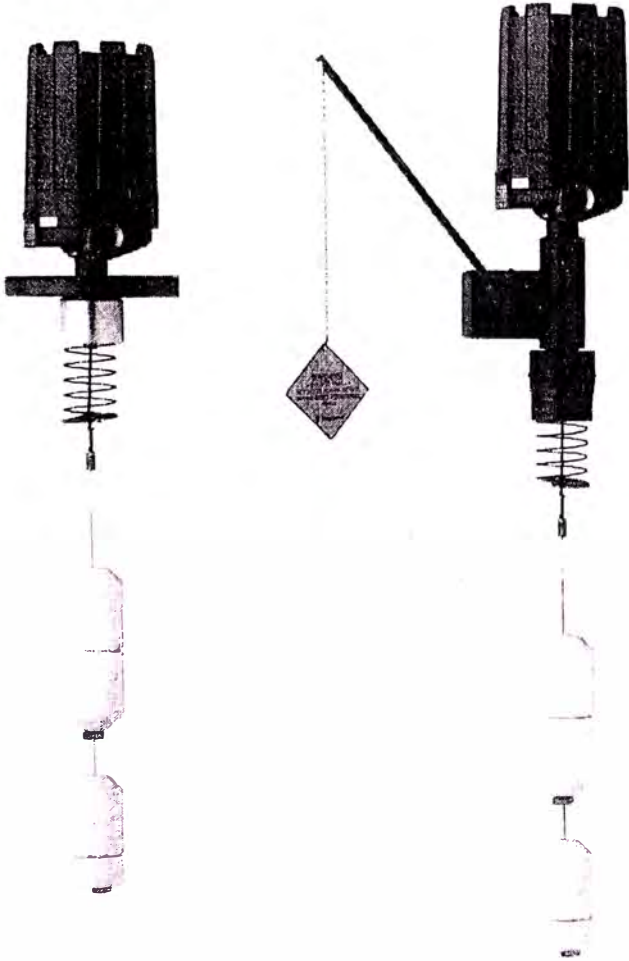
Description	Direct Connected Absolute and Gauge Pressure Transmitters IAP10 and IGP10	Bracket-Mounted Absolute and Gauge Pressure Transmitters IAP20 and IGP20
Process Wetted Parts Mat'ls. (High Pressure Side) <ul style="list-style-type: none"> • Process Connection • Gaskets • Sensor Diaphragm 	<ul style="list-style-type: none"> • 316L ss or Hastelloy C • Not Applicable • 316L ss, Co-Ni-Cr, or Hastelloy C 	<ul style="list-style-type: none"> • Carbon Steel, 316 ss, Hastelloy C, Monel, or pvdf (Kynar®) • Glass-filled ptfе (Chemloy®), Viton® • Co-Ni-Cr, 316L ss, Gold-plated 316L ss, Monel, Hastelloy C, or Tantalum
Reference Side Materials (Atmospheric Pressure Side)	IGP10 Transmitter: <ul style="list-style-type: none"> • Silicon, Pyrex, RTV, and 316 ss IAP10 Transmitter: <ul style="list-style-type: none"> • N/A 	Sensor Diaphragm: <ul style="list-style-type: none"> • Same as specified for High Pressure side process wetted material. Cover: <ul style="list-style-type: none"> • 316 ss
Sensor Fill Fluid	Silicone or Fluorinert	Silicone or Fluorinert
Bolts and Nuts for Process Cover and Connector	N/A	Standard Bolting: <ul style="list-style-type: none"> • ASTM A193, Grade B7 Bolts • ASTM A194, Grade 2H Nuts Optional Bolting: <ul style="list-style-type: none"> • 316 ss, Type 17-4 ss, or B7M (NACE)
Electrical Housing and Housing Covers	Two compartments to separate electronics from field connections. Material is low copper (1% maximum) die-cast aluminum alloy with epoxy finish; or 316 ss.	
Environmental Protection	Dusttight and weatherproof per IEC IP66 and NEMA 4X.	
Electronics Module	Printed wiring assemblies are conformally coated for moisture and dust protection.	
Electrical Connections	1/2 NPT or PG 13.5 entrances on both sides of electronics housing, as specified. Unused entrance must be plugged to ensure moisture and RFI protection (aluminum or 316 ss plug supplied by Invensys Foxboro).	
Mounting Position	The transmitter may be mounted in any orientation.	
Approximate Mass (a)	Standard Transmitter 1.5 kg (3.3 lb) With 316 ss Housing Add 1.1 kg (2.4 lb)	With Process Connectors 4.2 kg (9.2 lb) Without Process Connectors 3.5 kg (7.8 lb) With 316 ss Housing Add 1.1. kg (2.4 lb)
Field Terminal Connections	<p>EARTH (GROUND) TERMINAL SCREW, 0.164-32</p> <p>(+) AND (-) POWER TERMINAL SCREWS, 0.164-32</p> <p>RECEPTACLES (3) FOR STANDARD BANANA PLUGS (TOP ONE UNUSED AND PLUGGED)</p> <p>TERMINAL BLOCK LOCATED IN FIELD TERMINAL SIDE OF TRANSMITTER</p> <p>USED TO CHECK TRANSMITTER OUTPUT 4 TO 20 mA</p> <p>OPTIONAL SHORTING BAR (SB-11) REDUCES MINIMUM VOLTAGE FROM 11.5 V dc TO 11 V dc</p>	

(a) LCD Indicator is standard with these transmitters. For approximate mass with pressure seals, see PSS 2A-1Z11 A.

Anexo 5

Displacer Type

Installation and Operating Manual



*Liquid
Level
and
Proof-er[®]
Switches*

Read this Manual Before Installing

This manual provides information on the External Cage Displacer Liquid Level Switch. It is important that all instructions are read carefully and followed in sequence. Detailed instructions are included in the Installation section of this manual.

Conventions Used in this Manual

Certain conventions are used in this manual to convey specific types of information. General technical material, support data, and safety information are presented in narrative form. The following styles are used for notes, cautions, and warnings.

Notes

Notes contain information that augments or clarifies an operating step. Notes do not normally contain actions. They follow the procedural steps to which they refer.

Cautions

Cautions alert the technician to special conditions that could injure personnel, damage equipment, or reduce a component's mechanical integrity. Cautions are also used to alert the technician to unsafe practices or the need for special protective equipment or specific materials. In this manual, a caution box indicates a potentially hazardous situation which, if not avoided, may result in minor or moderate injury.

Warnings

Warnings identify potentially dangerous situations or serious hazards. In this manual, a warning indicates an imminently hazardous situation which, if not avoided, could result in serious injury or death.

Safety Messages

Follow all standard industry procedures for servicing electrical equipment when working with or around high voltage. Always shut off the power supply before touching any components.

WARNING! Explosion hazard. Do not connect or disconnect equipment unless power has been switched off or the area is known to be non-hazardous.

Low Voltage Directive

For use in Installation Category II, Pollution Degree 2. If equipment is used in a manner not specified by the manufacturer, protection provided by the equipment may be impaired.

Notice of Trademark, Copyright, and Limitations

Copyright © 2005 Magnetrol International, Incorporated. All rights reserved.

Magnetrol reserves the right to make changes to the product described in this manual at any time without notice. Magnetrol makes no warranty with respect to the accuracy of the information in this manual.

Warranty

All Magnetrol/STI mechanical level and flow controls are warranted free of defects in materials or workmanship for five full years from the date of original factory shipment.

If returned within the warranty period; and, upon factory inspection of the control, the cause of the claim is determined to be covered under the warranty; then, Magnetrol/STI will repair or replace the control at no cost to the purchaser (or owner) other than transportation.

Magnetrol/STI shall not be liable for misapplication, labor claims, direct or consequential damage or expense arising from the installation or use of equipment. There are no other warranties expressed or implied, except special written warranties covering some Magnetrol/STI products.

Quality Assurance

The quality assurance system in place at Magnetrol/STI guarantees the highest level of quality throughout the company. Magnetrol/STI is committed to providing full customer satisfaction both in quality products and quality service.

Magnetrol's quality assurance system is registered to ISO 9001 affirming its commitment to known international quality standards providing the strongest assurance of product/service quality available.



Displacer Type Liquid Level and Proof-er® Switches

Table of Contents

1.0 Introduction	
1.1 Principle of Operation.....1	
1.1.1 Displacer Controls.....1	
1.2 Operating Cycle1	
1.3 Operating Cycle — Proof-er Control Option.....1	
2.0 Installation	
2.1 Unpacking.....2	
2.2 Mounting2	
2.3 Wiring.....3	
3.0 Preventive Maintenance	
3.1 What to do.....5	
3.1.1 Keep control clean5	
3.1.2 Inspect switch mechanisms, terminals, and connections monthly5	
3.2 What to avoid6	
4.0 Reference Information	
4.1 Troubleshooting.....7	
4.1.1 Check switch mechanism.....7	
4.1.2 Test control's performance8	
4.1.3 Proof-er9	
4.2 Agency Approvals10	
4.3 Specifications.....10	
4.3.1 Basic Electrical Ratings10	
4.3.2 Pressure/Temperature Ratings10	
4.3.3 Model A10 Dimensional Data and Actuating Levels.....11	
4.3.4 Model A15 Dimensional and Actuating Levels.....12	
4.3.5 Model B10 Dimensional Data.....13	
4.3.6 Model B10 Actuating Levels.....14	
4.3.7 Model B15 Dimensional Data.....21	
4.3.8 Model B15 Actuating Levels.....22	
4.3.9 Model C10 Dimensional Data23	
4.3.10 Model C10 Actuating Levels24	
4.3.11 Model C15 Dimensional Data27	
4.3.12 Model C15 Actuating Levels28	
4.3.13 Proof-er Dimensional Data.....29	
4.3.14 Proof-er Replacement Parts.....29	
4.4 Replacement Parts30	
4.4.1 Displacer Replacement Parts.....30	
4.5 Model Numbers31	
4.5.1 A10 & A15 Single Switch Models31	
4.5.2 B10 & B15 Dual Switch Models.....33	
4.5.3 C10 & C15 Triple Switch Models.....35	

1.0 Introduction

Displacement type level switches offer the industrial user a wide choice of alarm and control configurations. These units utilize simple buoyancy principle and are well suited for simple or complex applications.

1.1 Principle of Operation

1.1.1 Displacer Controls

The design of displacer operated level switches is based upon the principle that a magnetic field will not be affected by non-magnetic materials such as 316 stainless steel. In this case, the displacer moves a magnetic attraction sleeve within a non-magnetic enclosing tube and actuates a magnetic switch mechanism. The enclosing tube provides a pressure seal to the chamber and, therefore, to the process.

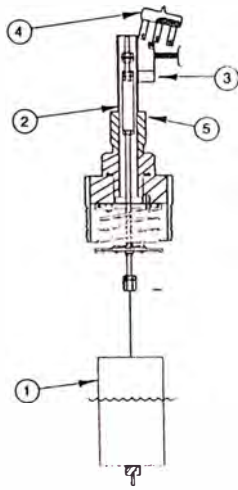


Figure 1
Switch position
on rising level

1.2 Operating Cycle

A spring is loaded with a weighted displacer ① which is heavier than the liquid. Immersion of the displacers caused by rising liquid level imparts buoyancy forces on the displacer allowing the spring to compress. The attraction sleeve ② attached to the spring, moves upward into the field of a permanent magnet ③. The movement of the magnet toward the sleeve causes the switch ④ to actuate. A non-magnetic barrier tube ⑤ provides a static pressure boundary between the switch mechanism and the displacer assembly. As the liquid level falls, the displacer lowers, causing the spring to extend, and moving the attraction sleeve out of the magnetic field of the switch mechanism. This allows the switch to again change position and to break or make. See Figures 1 and 2.

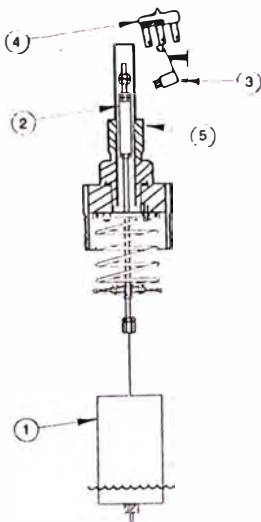


Figure 2
Switch position
on falling level

1.3 Operating Cycle — Proof-er Control Option

The purpose of the Proof-er is to check the operation of a displacer control without having to raise the level in the tank. This is accomplished by pulling downward on the Proof-er cable. This causes the spring loaded lever arm to lift the switch actuator, simulating a high or high-high level condition. When the cable is released, the Proof-er returns the actuator to its original position resuming normal operation.

2.0 Installation

Caution: If equipment is used in a manner not specified by manufacturer, protection provided by equipment may be impaired.

2.1 Unpacking

Top mounting displacer units are shipped from the factory with the displacer and cable assembly removed from the head assembly and packed separately in the same container.

Caution: If reshipping to another location, displacer assembly must again be removed from the control to prevent damage.

Unpack the instrument carefully. Inspect all units for damage. Report any concealed damage to carrier within 24 hours. Check the contents of the packing slip and purchase order. Check and record the serial number for future reference when ordering parts.

Caution: The threaded connection link and stem protruding from the head assembly are extremely fragile. DO NOT handle or place control in a position so that any amount of force is placed on the stem. Proper operation of the control requires that the stem is not damaged or bent.

Caution: Displacer spring and stem are fragile. DO NOT drop displacers into tank. Hand feed cable into position to avoid bending stem.

2.2 Mounting

Caution: This instrument is intended for use in Installation Category II, Pollution Degree 2.

Adjust the displacers on the displacer cable for the desired switch actuating levels (instruction tag is attached to cable). Screw displacer cable fitting to threaded connection link protruding from the underside of control.

Be sure there are no tubes, rods, or other obstacles in the tank or vessel to interfere with the operation of the displacers. No guides into the tank are necessary unless liquid turbulence is excessive, in which case a guide pipe or tube should be at least 1 inch larger than the displacer diameter, open at the bottom end, and with several vent holes located above the maximum high level of the liquid.

Check the installation of pipe or tube to be certain it is plumb.

Caution: Before attaching Magnetrol control to tank or vessel, using a level, check to see that tank mounting flange is within 3° of horizontal in all directions. Proper operation of the control depends on the switch housing being plumb.

2.3 Wiring

Caution: Level controls are shipped from the factory with the enclosing tube tightened and the middle set screw, on the housing base, locked to the enclosing tube. Failure to loosen the set screw prior to repositioning the conduit connection may cause the enclosing tube to loosen, resulting in the possible leakage of the process liquid or vapor.

NOTE: If control is equipped with pneumatic switch mechanism, disregard these instructions and refer to instruction bulletin on mechanism furnished for air (or gas) connections.

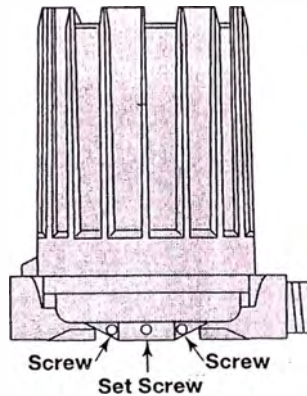


Figure 2
NEMA 4X, NEMA 4X/7/9,
NEMA 4X/7/9 Group B

Most switch enclosures are designed to provide 360° positioning of the conduit outlet by loosening the set screw(s) located at the bottom of the switch housing base. To rotate conduit entry:

1. Loosen set screw(s) at base of switch housing. Refer to Figure 2.
2. Rotate switch housing so that conduit entry is positioned as desired.
3. Tighten set screws at base of housing.

At the factory, terminal blocks are positioned next to the conduit entry to facilitate wiring. If repositioning of the switch mechanisms is desired:

1. Unscrew and remove switch housing cover. The threads have been lubricated to facilitate removal.
2. Loosen the frame mounting screw on each switch mechanism. Refer to Figure 3.
3. Carefully rotate the baffle plate and all switch mechanisms together until the terminal blocks are in the desired position.

NOTE: On dual and triple stage controls the correct spacing of the mechanisms is maintained using brackets that connect the mechanisms. Take care when rotating the baffle plate and mechanisms to rotate them as a unit and not one at a time. This will ensure that the brackets and mechanisms will not be damaged during repositioning.

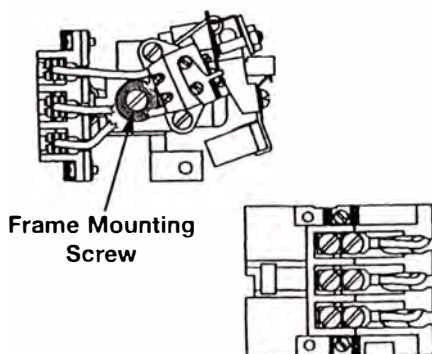
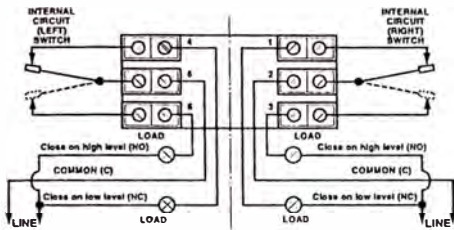


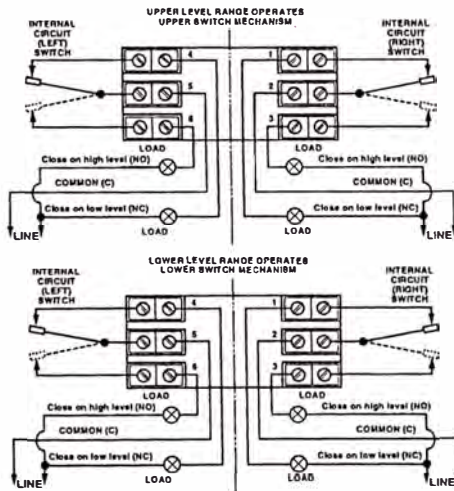
Figure 3
Switch Mechanism

4. Ensure that the terminal blocks are aligned vertically to prevent stress on the brackets and mechanisms.
5. Tighten the frame mounting screw on each switch mechanism.



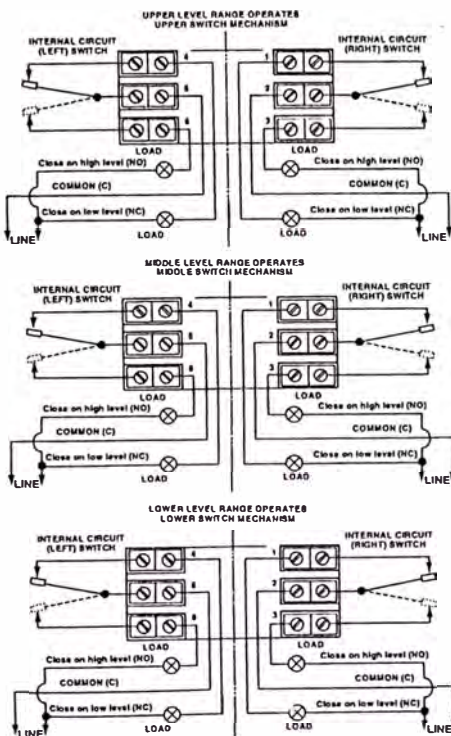
NOTES: 1. Double pole action is obtained by simultaneous operation of the right and left side single pole switches
 2. Rising Level Closes Contacts 5 & 6 and 2 & 3
 3. Falling Level Closes Contacts 4 & 5 and 1 & 2.

Figure 4 – Single Stage with DPDT contacts



NOTES: 1. Double pole action is obtained by simultaneous operation of the right and left side single pole switches
 2. Rising Level Closes Contacts 5 & 6 and 2 & 3
 3. Falling Level Closes Contacts 4 & 5 and 1 & 2.

Figure 5 – Dual Stage with DPDT contacts



NOTES: 1. Double pole action is obtained by simultaneous operation of the right and left side single pole switches
 2. Rising Level Closes Contacts 8 & 9 and 5 & 6
 3. Falling Level Closes Contacts 7 & 8 and 4 & 5

Figure 6 – Triple Stage with DPDT contacts

NOTE: On high temperature applications above +250° F (+121° C), high temperature wire should be used between control and first junction box located in a cooler area. On non-hazardous applications, flexible conduit may be used between the control and the first junction box.

- Bring supply wires through conduit entry. Route extra wire around enclosing tube under baffle plate, and connect then to the appropriate terminals. Refer to Figures 4–9 for wiring diagrams, or refer to wiring information in specific switch manuals. Switch instruction manual numbers are as follows:

Switch Series Letter	Description	Bulletin No.
A, T	Standard Mercury Switch	42-683
B, C, D, O, Q	Dry Contact Switch	
E, N	Vibration Resistant Mercury Switch	42-694
HS	Hermetically Sealed Snap Switch	42-685
J	Bleed Type Pneumatic Switch	42-686
K	Non-Bleed Type Pneumatic Switch	42-686

NOTE: For models with a Series HS switch with high temperature lead wire, the leads are routed out through the conduit opening by the factory. A suitable conduit box should be provided for the connection of the leads to the control wiring.

- Dress wiring to ensure no interference or contact with tilt of switch, or replacement of switch housing cover.

NOTE: Observe all applicable electrical codes and proper wiring procedures.

Prevent moisture seepage into the enclosure by installing approved seal-drain fittings in the conduit run leading into the unit.

Caution: In hazardous areas, do not power the unit until the conduit is sealed and the enclosure cover is screwed down securely.

- Test switch action by varying liquid level or manually moving displacers.
- Replace housing cover.
- If control has been furnished with an explosion proof or moisture proof (gasketed) switch housing, it must be sealed at the conduit outlet with a suitable compound or non-hardening sealant to prevent entrance of air.

NOTE: If switch mechanism fails to function properly, check vertical alignment of control housing and consult installation bulletin on switch mechanism furnished.