

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA

DIVISION DE ESTUDIOS SUPERIORES



COMPONENTES DE SISTEMAS DE
CONTROL DE FLUJO Y TEMPERATURA
PARA APLICACIONES EN LA INDUSTRIA
DE LA FUNDICION

TRABAJO QUE PRESENTA
JUAN JOSE LEON SANDOVAL

EN OPCION AL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS DE ING. ELECTRICA

MONTERREY, N. L.

SEPTIEMBRE DE 1989

TM

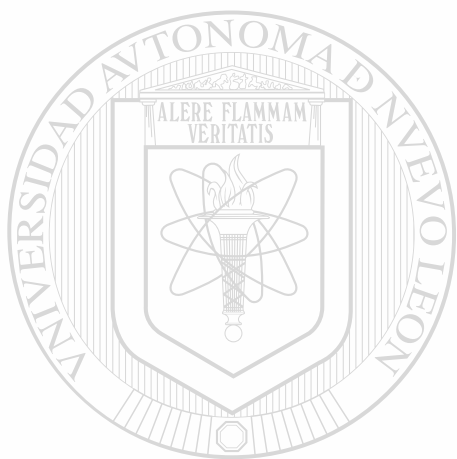
Z5853

.M2

FIME

1989

L4



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

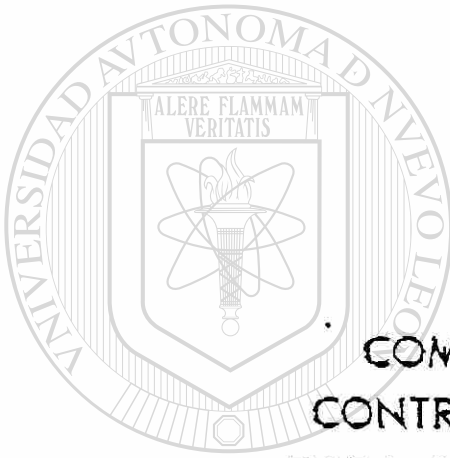


DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA

DIVISION DE ESTUDIOS SUPERIORES



COMPONENTES DE SISTEMAS DE
CONTROL DE FLUJO Y TEMPERATURA
PARA APLICACIONES EN LA INDUSTRIA

DE LA FUNDICION

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

TRABAJO QUE PRESENTA

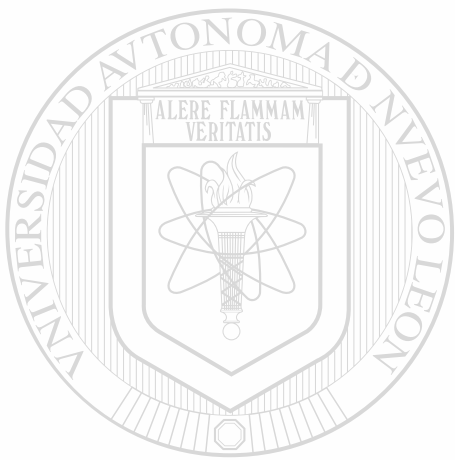
JUAN JOSE LEON SANDOVAL

EN OPCION AL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS DE ING. ELECTRICA

CONTENIDO

SEPTIEMBRE DE 1939

TM
Z5853
.M2
FINE
1989
L4



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

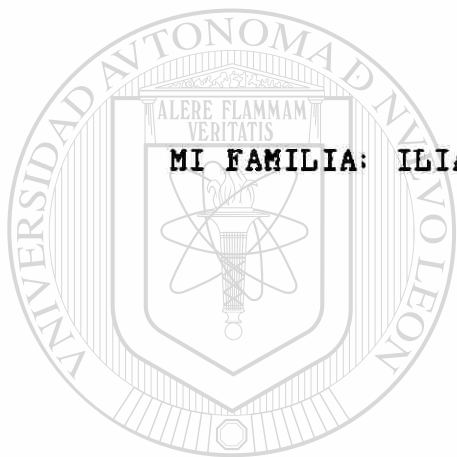


DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



162176

CON PROFUNDO CARÑO Y AGRADECIMIENTO A:



MI FAMILIA: ILIANA, GABY, ADRIAN Y EL HIJO QUE ESPERAMOS.

UANL

MIS PADRES: JOSE Y MA. DEL REFUGIO.

MIS HERMANOS: MA. EUGENIA, GERARDO, ALBERTO, JORGE Y RAUL.

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

MI ESCUELA Y MIS MAESTROS.



**COMPONENTES DE SISTEMAS DE
CONTROL DE FLUJO Y TEMPERATURA
PARA APLICACIONES EN LA INDUSTRIA
DE LA FUNDICION.**

UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

®

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

JUAN JOSE LEON SANDOVAL.

COMPONENTES DE SISTEMAS DE CONTROL DE FLUJO Y TEMPERATURA
PARA APLICACIONES EN LA INDUSTRIA DE LA FUNDICION.

PREFACIO.	(1)
1. INTRODUCCION A SISTEMAS DE CONTROL.	(2)
1.1 CONTROL DE LAZO ABIERTO.	(2)
1.2 CONTROL DE LAZO CERRADO.	(4)
1.3 CARACTERISTICAS DE SISTEMAS DE CONTROL.	(6)
2. CONTROLES ANALOGICOS Y DIGITALES.	(10)
2.1 DEFINICIONES.	(10)
2.2 CONTROL ANALOGICO.	(12)
2.2.1 CONTROL DE DOS POSICIONES.	(12)
2.2.2 CONTROL DE POSICIONES MULTIPLES.	(13)
2.2.3 CONTROL PROPORCIONAL.	(14)
2.2.4 CONTROL INTEGRAL.	(15)
2.2.5 CONTROL DERIVATIVO.	(17)
2.2.6 CONTROLADOR PROPORCIONAL.	(18)
2.2.7 CONTROLADOR PROPORCIONAL-INTEGRAL P-I.	(20)
2.2.8 CONTROLADOR PROPORCIONAL-DERIVATIVO P-D.	(21)
2.2.9 CONTROLADOR PROPORCIONAL-INTEGRAL-DERIVATIVO PID.	(22)
2.3 CONTROL DIGITAL.	(24)
2.3.1 ADQUISICION DE DATOS Y REGISTRO.	(24)
2.3.2 CONTROL DIGITAL DIRECTO.	(26)
2.3.3 CONTROL SUPERVISORIO.	(31)
2.3.4 CONCEPTO DE JERARQUIA DE COMPUTADORAS.	(34)
3. TRANSDUCTORES.	(35)
3.1 MECANICOS PARA MEDICION DE FLUJO TIPO DE ORIFICIO.	(35)
3.1.1 PRINCIPIOS TEORICOS.	(35)
3.1.2 TUBO VENTURI.	(53)
3.1.3 PLACA DE ORIFICIO.	(55)
3.2 TERMICOS.	(59)
3.2.1 TERMOPARES.	(59)
3.2.2 TERMOMETROS DE RESISTENCIA (RTD).	(66)
3.2.3 TERMISTORES.	(70)
4. ACONDICIONADORES DE SEÑAL Y SUBSISTEMAS DE ENTRADA.	(73)
4.1 TRANSMISORES DE FLUJO POR PRESION DIFERENCIAL.	(73)
4.2 SUBSISTEMA DE ENTRADA PARA SEÑALES DE TEMPERATURA.	(78)

5.	ACTUADORES.	(91)
5.1	VALVULAS DE CONTROL.	(91)
5.2	CALCULO DEL TAMAÑO DE VALVULAS.	(97)
5.3	CAIDA DE PRESION A TRAVES DE LAS VALVULAS.	(100)
6.	APLICACION. CONTROL DE TEMPERATURA EN UNA ZONA DE FUNDICION MEDIANTE EL CONTROL DE FLUJO DE COMBUSTIBLE Y COMBURENTE.	(102)
6.1	ESPECIFICACIONES BASICAS DE DISEÑO.	(102)
6.2	ESPECIFICACIONES DETALLADAS DEL SISTEMA DE CONTROL Y SU SELECCION.	(103)
6.2.1	CALCULO DE CONSUMO DE ENERGETICOS.	(104)
6.2.2	ARQUITECTURA PROPUESTA PARA EL SISTEMA.	(105)
6.2.3	SELECCION DEL SISTEMA DE CONTROL JERARQUICO.	(106)
6.2.4	SELECCION DE QUEMADORES.	(111)
6.3	CALCULO DE TRANSDUCTORES PRIMARIOS PARA MEDICION DE FLUJO TIPO DE ORIFICIO Y SELECCION DE TERMOPARES.	(112)
6.3.1	CALCULO DE PLACA DE ORIFICIO PARA MEDICION DE COMBUSTOLEO #6 DE 0 A 400 L/HR.	(112)
6.3.2	CALCULO DE PLACA DE ORIFICIO PARA MEDICION DE AIRE DE ATOMIZACION RELACION 280 AIRE:1 COMB.	(114)
6.3.3	CALCULO DEL TUBO VENTURI PARA MEDICION DE AIRE DE COMBUSTION EN RELACION 12000 A 1, 6 12 M ³ DE AIRE A 1 L DE COMBUSTOLEO.	(117)
6.3.4	SELECCION DE TERMOPARES.	(119)
6.4	SELECCION DE TRANSMISORES DE FLUJO Y TEMPERATURA.	(120)
6.4.1	SELECCION DE TRANSMISOR DE FLUJO PARA MEDICION DE COMBUSTOLEO.	(120)
6.4.2	SELECCION DE TRANSMISOR DE FLUJO PARA MEDICION DE AIRE DE ATOMIZACION.	(121)
6.4.3	SELECCION DE TRANSMISOR DE FLUJO PARA MEDICION DE AIRE DE COMBUSTION.	(122)
6.4.4	SELECCION DE TRANSMISORES DE TEMPERATURA.	(123)
6.5	SELECCION DE VALVULAS DE CONTROL.	(124)
6.5.1	SELECCION DE VALVULA DE CONTROL DE FLUJO DE COMBUSTOLEO #6 RANGO DE 0 A 400 L/HR.	(124)
6.5.2	SELECCION DE VALVULA DE CONTROL DE FLUJO DE AIRE DE ATOMIZACION RANGO DE 0 A 112 M ³ /HR.	(126)
6.5.3	SELECCION DE VALVULA DE CONTROL DE FLUJO DE AIRE DE COMBUSTION RANGO DE 0 A 4800 M ³ /HR.	(128)

PREFACIO

El objetivo de este trabajo es presentar los componentes - clásicos de lazos de control tanto analógicos como digitales y la panorámica general de un Sistema de Control, el ejemplo que se presentará, se encamina a la industria de la fundición, ya que ese ramo es uno de los más importantes.

Ante la imposibilidad de mencionar todas las opciones, nos - concentraremos en dispositivos específicos, si bien se pueden - presentar problemas de aplicación diferentes, este trabajo pue- de servir como una base de partida para hacer las modificaciones y elecciones convenientes.

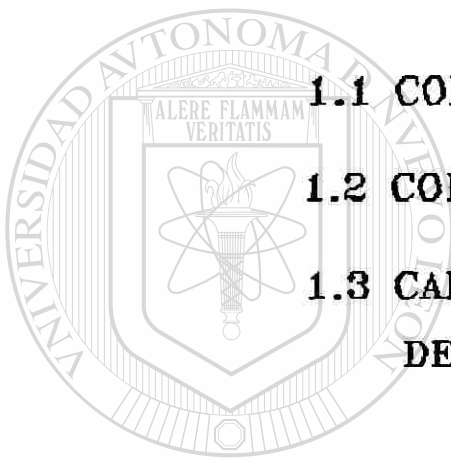
El estudio de los Componentes de un Sistema de Control permí - te enfocar el problema de Control de Procesos desde un punto - de vista mas sencillo y efectivo.

Con el alto costo de la Materia Prima y de los Energéticos, resulta cada vez mas crítico y viene a ser mas económico para nuestra Planta Productiva tener un Sistema de Control mas pre- ciso que nos permita alcanzar una alta eficiencia, además de una operación segura para el personal y la planta.

El sistema de unidades utilizado es el Sistema Métrico Deci- mal, aunque se hace referencia al Sistema Ingles cuando se con- sidera ilustrativo, ya que desafortunadamente algunas definicio- nes como el Cv de las válvulas existe como concepto en unidades inglesas y las tablas disponibles para cálculo estan en esas unidades, en selección de quemadores ocurre algo similar y las tablas de diseño estan en BTU's, en algunos conceptos utilizados en computadoras, existen términos en que aún no se tiene una traducción adecuada, que evite confusión y comunique lo que la palabra original quiere decir. Por lo que en este tra- bajo, se presentarán algunas unidades y cálculos indispensables en el Sistema Ingles, pero se llegará a resultados en el Sistema Métrico Decimal y se hará referencia a algunos términos en ingles como ilustración. Finalmente en el Apendice que ya no forma parte de esta tesis, se presenta como referencia hojas de catalogo y manuales de fabricantes tal y como las encontrará el Ingeniero que trabaje en esta área y que son indispensables pa- ra cálculo y selección de los componentes del sistema de control aquí presentado.

CAPITULO 1.- INTRODUCCION A SISTEMAS DE CONTROL.

1.1 CONTROL DE LAZO ABIERTO.	2
1.2 CONTROL DE LAZO CERRADO.	4
1.3 CARACTERISTICAS DE SISTEMAS DE CONTROL.	6



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



1. - INTRODUCCION A SISTEMAS DE CONTROL.

A medida que el hombre ha ido avanzando en la tecnología, para producir satisfactores de sus necesidades, ha requerido avanzar en la misma medida en el control de sus Procesos.

Primero el hombre controlaba manualmente sus procesos por observación, estos eran lazos manuales de control ya que el operador manipulaba sus salidas dependiendo de lo que percibía del proceso. Posteriormente la necesidad de resolver problemas de control, condujo al desarrollo de los primeros lazos automáticos cerrados (control ON-OFF, de posiciones, proporcional, etc.). Apareció el Controlador Analógico y el avance que se logró en la industria fue sorprendente, en terminos de Eficiencia, Seguridad, Consistencia, etc. Más recientemente apareció la Computadora y su aplicación en el control de procesos, ha sido exitosa, la tendencia indica que la mayoría de las plantas industriales serán controladas por sistemas computarizados, buscando obtener máxima eficiencia y rentabilidad.

Un sistema de Control se puede definir como un grupo de componentes que responden a una señal, la respuesta de ellos tendría como objetivo en la mayoría de los casos el control de una variable física, tal como velocidad, temperatura, flujo, presión, etc.

1.1 CONTROL DE LAZO ABIERTO.

Los sistemas de control de Lazo Abierto representan la forma más simple de dispositivo de control.

La Fig. 1.1.1 muestra un sistema de control simple del nivel de un tanque. Nosotros debemos de mantener el nivel del tanque h , dentro de límites razonablemente aceptables, las válvulas de flujo V_1 (salida) y V_2 (entrada), abren automáticamente controladas por las señales de dos relevadores previamente ajustados por tiempo, si el flujo que se gasta a través de V_1 es igual al flujo de agua que se repone a través de V_2 , el nivel h se mantiene, pero cualquier perturbación de flujo ocasionaría que fallara el nivel. Este sistema no es preciso puesto que no tiene la capacidad de medir la razón de flujo de salida a través de la válvula V_1 , la razón de flujo de entrada a través de la válvula V_2 o el nivel del tanque. La Fig. 1.1.2 muestra la relación que existe en este sistema entre la entrada (el nivel deseado del tanque) y la salida (el nivel real del tanque).

Esta representación de flujo de señales del sistema físico se conoce como un diagrama a cuadros, las flechas se usan para mostrar la entrada o valor deseado y la salida del sistema de control. Este sistema de control, no tiene ninguna retroalimentación para comprobación y el termino Lazo Abierto se usa para describir ésta ausencia.

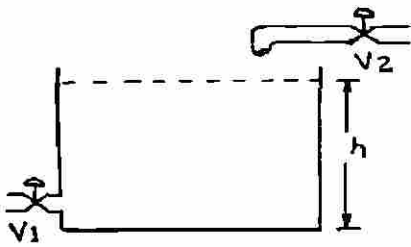


Fig. 1.1.1 Sistema de Control de Nivel del Tanque.

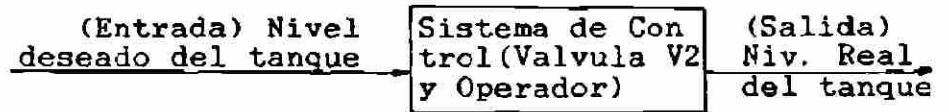


Fig. 1.1.2 Diagrama a cuadros del Sistema de Control de nivel del tanque.

La figura 1.1.3 ilustra un motor de corriente directa controlado por campo, que gira una rueda de corte a una velocidad constante. Cuando una pieza de madera se aplica a la superficie de la rueda de corte, actúa como un par perturbador al par de manejo del motor, como resultado se tiene una reducción de la velocidad de la rueda de corte, (considerando que la señal de control permanece constante). Esta situación se puede representar como se muestra en la Fig. 1.1.4. El símbolo que aparece entre el motor y la carga representa un substractor.

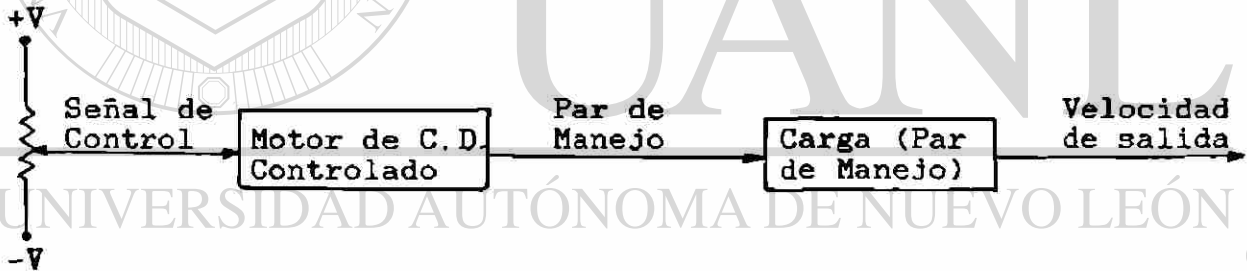


Fig. 1.1.3 Motor de C.D. controlado por campo.

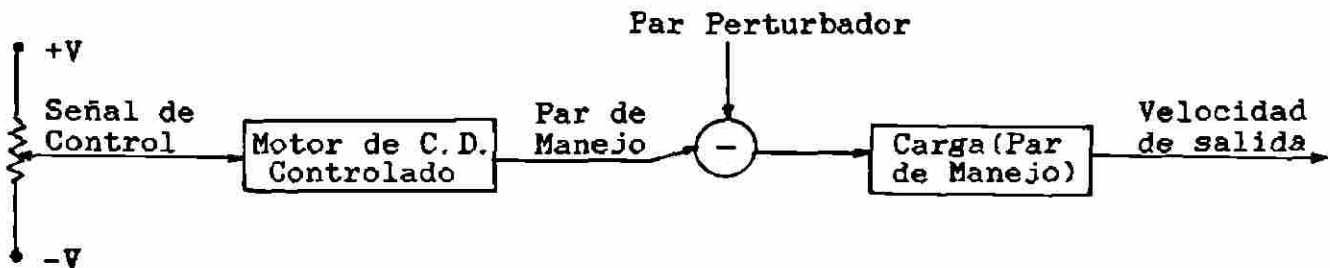


Fig. 1.1.4 Motor de C.D. controlado por campo que tiene un Par perturbador.

El efecto de Par perturbador u otras entradas secundarias, deterioran el funcionamiento correcto de un sistema de control de Lazo Abierto, puesto que no tiene forma de corregir automáticamente su salida, ya que no tiene retroalimentación de comparación. El control de una lavadora por tiempos, es otro ejemplo real de lazo abierto, no se tiene retroalimentación de como esta controlando el proceso y las acciones de control son independientes de dicha retroalimentación.

1.2 CONTROL DE LAZO CERRADO

Los Sistemas de Control de Lazo Cerrado derivan su valiosa exactitud de la retroalimentación de comparación. Un detector de error entrega una señal proporcional a la diferencia entre la referencia o ajuste y la retroalimentación de medición de la variable controlada. El sistema de control ajusta su salida hasta que se igualen referencia y retroalimentación y el error sea cero. Cualquier diferencia entre la salida real y la deseada producida por cambios en la carga, será automáticamente corregida en un sistema de control de Lazo Cerrado. Por medio de un diseño adecuado, el sistema puede hacerse relativamente independiente de entradas secundarias y cambios en características de componentes.

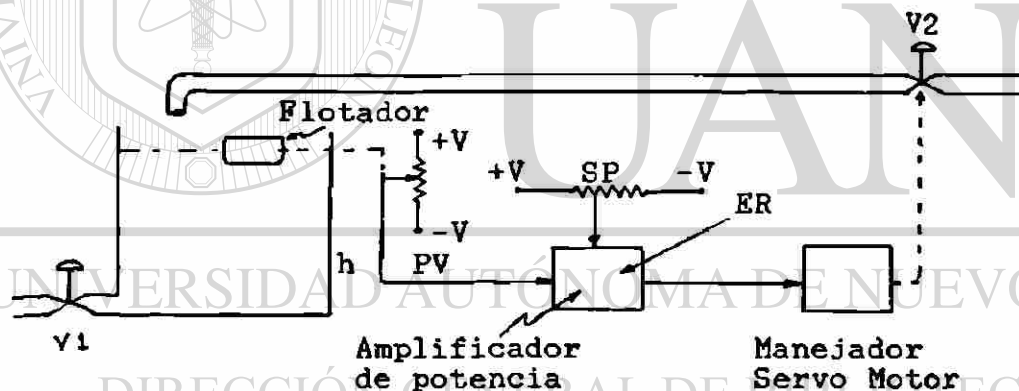


Fig. 1.2.1 Sistema Automático de Control de Nivel del tanque.

La Fig. 1.2.1 muestra la versión del control automático de nivel del tanque mostrado en la Fig. 1.1.1. Se puede mantener el nivel deseado "h" del tanque dentro de tolerancias, aunque la razón de flujo de salida a través de la válvula V1 se varíe. Si el nivel del tanque no es correcto, se presenta un voltaje de error. Este se amplifica y se emplea en alimentar un motor que posiciona la válvula V2 para ajustar la razón de flujo de entrada y restaurar el nivel del tanque deseado. Un diagrama a cuadros analógico a este sistema se muestra en la Fig. 1.2.2. Debido a que la comparación de retroalimentación esta presente, el termino Lazo Cerrado se usa para describir la operación del sistema, que comunmente se conoce como Control Automático.

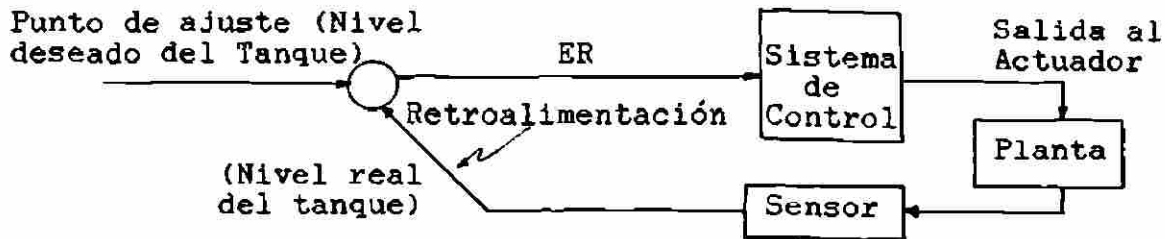


Fig. 1.2.2 Diagrama a cuadros de un Sistema de Lazo Cerrado.

Una versión de control de velocidad automática del motor de corriente directa controlado por campo, el cual se mostró en la Fig. 1.1.3 se muestra en la Fig. 1.2.3. Este sistema de retroalimentación tiene la capacidad de mantener la velocidad de salida relativamente constante, aunque se puedan presentar pares perturbadores. Un Tacómetro que funciona como transductor que transforma velocidad a voltaje, es el elemento de retroalimentación para este sistema de control. Si la velocidad de salida difiere de la velocidad deseada, el amplificador de diferencia desarrolla una señal de error, la cual ajusta la corriente de campo del motor, con objeto de restaurar la velocidad deseada a la salida. Los sistemas de control retroalimentados, usados para controlar posición, velocidad y aceleración son muy comunes y se les ha dado el nombre de Servo-mecanismos.

Con todas sus ventajas, los sistemas de retroalimentación tienen una muy seria desventaja, puesto que pueden inadvertidamente actuar como osciladores o volverse inestables, es decir pueden hacer que su salida se quede oscilando u oscile crecientemente, lo que sería sumamente perjudicial para cualquier proceso.

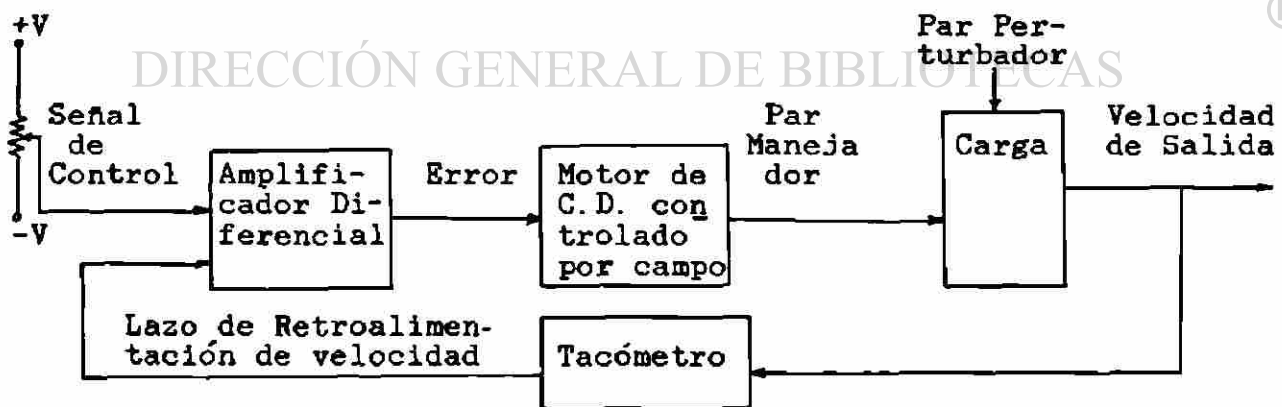


Fig. 1.2.3 Diagrama a cuadros del Control de Lazo Cerrado para un Motor de C.D. controlado por campo.

1.3 CARACTERISTICAS DE SISTEMAS DE CONTROL.

El controlador puede ser analógico o digital, pero en el controlador analógico, su estrategia de control debe ser tal que pueda implementarse físicamente, si se requieren modificaciones posteriores en la estrategia de control, se requerirían modificaciones físicas. La acción de control digital se representa por una fórmula. Las ecuaciones de Diferencia describen el funcionamiento de sistemas con entradas discretas y salidas discretas. En el análisis de sistemas discretos se utiliza la "Transformada Z" la cual es en muchos aspectos análoga al uso de la "Transformada de Laplace" para sistemas continuos. Los algoritmos utilizados por la Computadora para determinar la acción de control son en realidad ecuaciones de diferencia.

Los componentes que forman un Lazo de Control Analógico son: Transductores, Acondicionadores de Señal, Controladores, Actuadores y Planta.

Uno de los Lazos Típicos de Control Analógico sería:

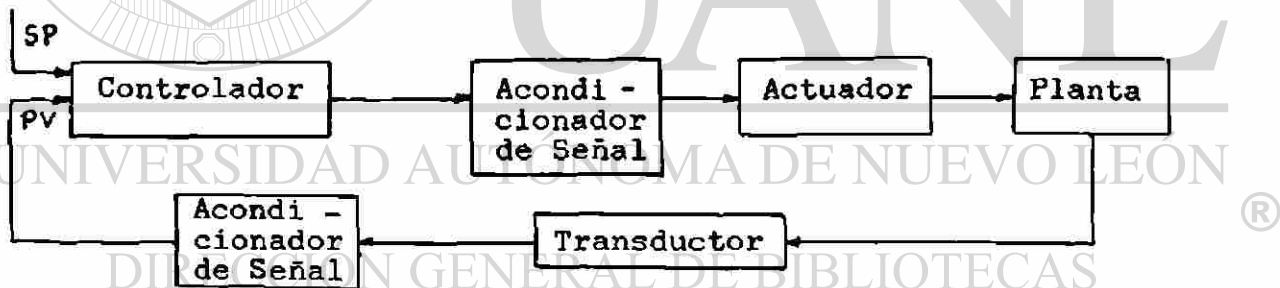


Fig. 1.3.1 Control de Lazo Cerrado Analógico.

El conjunto llamado Controlador involucra el Detector de -- Error, el Compensador, el Amplificador y en ocasiones acondicionadores de señal. Los Acondicionadores de señal se colocan en diferentes posiciones dependiendo de la aplicación, generalmente donde hay que transmitir información a distancia.

Los sistemas de Control Digital pueden ser: Directos cuando la computadora sustituye a los controladores analógicos (como se muestra en la Fig 1.3.2), Supervisorios cuando la computadora principal se comunica con los controladores analógicos y Jerárquico, cuando la computadora principal controla a otras computadoras de Control Digital Directo.

Los componentes que forman un Sistema de Control Digital son: Transductores, Subsistemas de Entrada, Subsistemas de Salida, Computadora, Controladores (si es control supervisorio) , Actuadores y Planta.

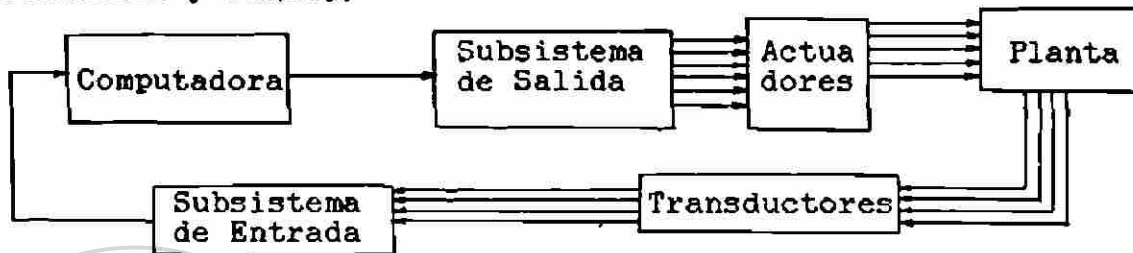


Fig. 1.3.2 Ejemplo de un Sistema de Control Digital Directo.

TRANSDUCTORES. -

Los transductores son los sensores primarios del proceso, son los dispositivos que efectúan la medición inicial y convierten la señal de una variable dinámica en una información proporcional eléctrica, neumática, mecánica, etc. adecuada para ser utilizada por los otros componentes del Lazo de Control.

Los transductores pueden ser:

Mecánicos	Flujo (Venturis, Placas de Orificio, Toberas, etc.) Presión (Tubo Bourdon, Diafragma, Fuelles) Posición (Potenciómetros, Capacitivos o de reluctancia variable) Esfuerzos (Celdas de Carga) Movimiento (Acelerómetros, etc.)
Térmicos	Termopares Termistores Detectores de Temperatura por Resistencia
Ópticos	Termómetros de Radiación Infrarroja Pirómetros de Comparación por colores Foto Detectores (Fotovoltaicos, Fotodiodo, -- Fototransistor)

En el capítulo #3 se analizarán los transductores mecánicos de orificio (Venturis y Placas de Orificio), se analizarán también los transductores térmicos (Termopares, Termistores y Detectores de Temperatura por Resistencia RTD).

ACONDICIONADORES DE SEÑAL.-

Son los componentes que adecúan la señal generada por él - sensor primario o por el controlador para ser transmitida a distancia y ser manejada por los otros elementos de control.

Por ejemplo pueden amplificar la señal primaria generada - por el transductor, y también pueden cambiar el tipo de va - riable, con el objeto de que pueda ser correctamente maneja - da por los demas dispositivos.

Si tenemos una placa de orificio para medir un flujo de - gas. Generando una presión diferencial en el rango de mm de Agua, entonces el transmisor que convierte el rango de mm de Agua en una señal de mA que pueda ser enviada a un cuarto de control donde se localice el controlador sería el acondicio - nador de señal y se colocaría entre el transductor y el de - tector de error, la señal en mamp. es mucho mas fácil y rápida de manejar que la señal en mm de Agua.

CONTROLADORES.-

Es una forma comercial de presentar las tres funciones Detección de Error, Compensación, y Amplifica - ción Primaria, en un sólo dispositivo. Al detector de error llegan por un lado la señal correspondiente al punto de ajuste ó de referencia y por otro lado la señal de campo o retroalimentación de la variable controlada, generalmente esta señal viene de un acondicionador de señal llamado transmisor el cual se conecta al transductor primario. Y tene - mos como salida una variable manipulada que será la que maneje los actuadores.

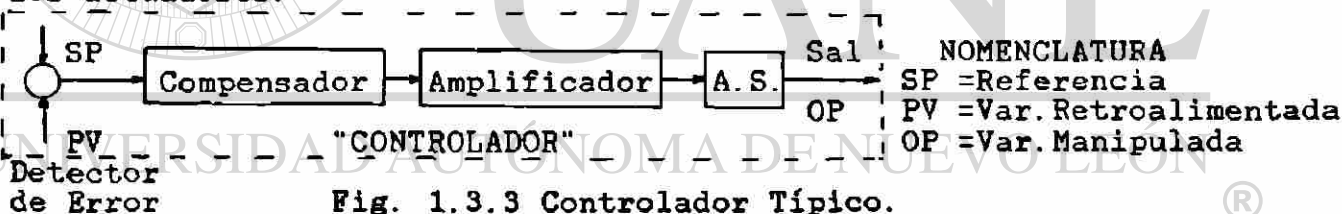


Fig. 1.3.3 Controlador Típico.

La salida del detector de error se conecta al Compensador, donde se encuentran generalmente Las Estrategias de Control, la salida del compensador ya afectada por la Estrategia de Control correspondiente pasa al amplificador.

El amplificador y el acondicionador de señal, simplemente - permiten que la salida al actuador tenga la energía y naturale - za necesaria para operar el resto del sistema.

ACTUADORES.-

Son los dispositivos que modifican el medio ambiente de la - planta para obligar a la variable controlada a llegar al valor de control que deseamos. En esta Tesis se enfatizará en vál - vulas de control, pero también existen pistones, motores, resisto - res eléctricos para calentamiento, compuertas manejadoras de - flujo, etc.

PLANTA. -

La Planta es el Medio Ambiente ó Entorno en el que se deja sentir la Acción de Control y que afecta a la variable Controlada. Asi por ejemplo si deseamos controlar la temperatura de un horno, la Planta es precisamente la parte del horno que afecta a la Variable a controlar (Temperatura).

SUBSISTEMAS DE ENTRADA Y SALIDA. -

Los Subsistemas de Entrada reciben señales de transductores de campo y envían señales a computadoras de control digital, los Subsistemas de salida reciben señales de la computadora y transmiten información a actuadores. Estos van más allá de acondicionadores sencillos de señal, ya que involucran microprocesadores, multiseleccionadores de señales, convertidores A/D (Analógico/Digital) y D/A (Digital/Analógico) y presentan señales totalmente adecuadas para ser utilizadas por la computadora digital ó los actuadores, estos dispositivos tienen la ventaja de comunicarse por cable sencillo, y ahorran un 90% del cable que se requeriría para cientos de sensores, ó actuadores finales.

COMPUTADORA DE CONTROL. -

Si la computadora está instalada en un Sistema de Control Supervisorio o Jerárquico, se comunica con los controladores, para manejar información general, llevar archivos de datos, tendencias etc. Si se encuentra en un Sistema de Control Digital Directo entonces actúa como los controladores del Sistema, y en ella se configuran las estrategias de control.

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

CAPITULO 2.- CONTROLES ANALOGICOS Y DIGITALES.

2.1 DEFINICIONES.	10
2.2 CONTROL ANALOGICO.	12
2.2.1 Control de dos posiciones	12
2.2.2 Control de Posiciones Multiples.	13
2.2.3 Control Proporcional.	14
2.2.4 Control Integral.	15
2.2.5 Control Derivativo.	17
2.2.6 Controlador Proporcional.	18
2.2.7 Controlador Proporcional Integral P-I .	20
2.2.8 Controlador Proporcional Derivativo P-D .	21
2.2.9 Controlador Proporcional Integral-Derivativo PID .	22
2.3 CONTROL DIGITAL.	24
2.3.1 Adquisición de Datos Y Registro .	24
2.3.2 Control Digital Directo.	26
2.3.3 Control Supervisorio.	31
2.3.4 Concepto de Jerarquía de Computadoras.	34

2.- CONTROLES ANALOGICOS Y DIGITALES.

Los sistemas de control pueden definirse como sistemas que regulan el flujo de energía u otros recursos, su arreglo, complejidad y apariencia varían con su finalidad y función. En general los sistemas de control pueden dividirse en sistemas Analógicos y Sistemas Digitales, la característica que distingue estos dos tipos es el uso de controladores analógicos sin computadora en el primer caso, y el uso de la computadora en forma supervisoria o como control directo en el segundo caso.

A través de un sistema adecuado, las ventajas de la retroalimentación, pueden utilizarse sin tener un sistema inestable .

El controlador es el dispositivo que con mediciones de entrada resuelve ciertas ecuaciones y calcula la salida adecuada. La ecuación necesaria para obtener el control se proporciona por un cálculo analógico o digital. Se suele llamar a estas ecuaciones: Los modos de operación del controlador. La naturaleza del proceso mismo y la variable particular a ser controlada determina que modo o modos de control serán usados y el valor de ciertas constantes en la ecuación.

2.1 DEFINICIONES.

- Variable de Proceso.

La Variable de Proceso (P.V.) es el valor medido de aquel parametro de una Planta o proceso, el cual esta siendo controlado por el sistema de control.

- Punto de referencia o de Ajuste.

El Punto de referencia o de Ajuste (Set Point S.P.) es el valor requerido de aquella propiedad de la Planta o proceso la cual está siendo controlada por el Sistema de Control. La acción de cualquier Lazo Cerrado de sistema de control será la causa de que la Variable de Proceso medida tienda a igualar el Nivel de Ajuste o Referencia.

- Error.

El error ER dentro de un Lazo cerrado se define como la diferencia entre la Variable de Proceso y el punto de referencia en cualquier momento.

Mas exactamente:

$$\text{Error} = \text{ER} = \text{SP} - \text{PV}$$

Esta es la fórmula del error convencional, también se utiliza el negativo del error el cual se conoce generalmente como PV - SP.

- Variable Manipulada.

La Variable manipulada es la salida (OP) de un controlador, la cual vá al actuador o elemento final de control despues de haber sido acondicionada, modifica el nivel de señal de salida que actúa sobre la planta, para que a su vez se modifique la variable controlada.

$$O P = f(ER)$$

Donde el algoritmo de control se representa como una función del error.

La variable manipulada no necesita tener las mismas unidades de energía que el Punto de Referencia ó la Variable de Proceso. Por ejemplo, en un Lazo de Control de Temperatura SP y PV podrian representar la temperatura medida en °C. La salida del controlador podría variar la corriente a través de elementos calentadores y podría por consiguiente presentarse en Amps o Watts.

- Límites de Variable Manipulada: Hi, Lo.

El nivel de salida de un controlador está generalmente limitado dentro de ciertos valores normales de corriente o voltaje como:

0-10 Volts, 1-5 Volts, o 4-20 mA.

En el caso de 0-10 Volts por ejemplo esta señal representa el valor de OP cuando varia de 0 a 100% la variable manipulada. En ciertos procesos puede ser peligroso operar dentro de un rango completo de 0 a 100% la salida y se limitan los valores de OP antes de aplicarse al dispositivo. Algunos controladores usan un Parametro Hi que sirve como un límite de salida alta, mientras que el Parametro Lo actua como el límite de salida bajo. Entonces en general:

$$0\% \leq Lo \text{ y } Hi \leq 100\%$$

Esto es OP esta siempre obligada a permanecer dentro de Lo-Hi lo cual se conoce como el rango de operacion del instrumento.

2.2 CONTROL ANALOGICO.

El control analógico es aquél en el que su estrategia de control es físicamente realizable estos dispositivos normalmente utilizan acondicionadores de señal para los transductores de entrada y para los actuadores en la salida.

2.2.1 CONTROL DE DOS POSICIONES.

El Modo más elemental de controlador, es el ON-OFF ó modo de dos posiciones. Este es un ejemplo de un modo Discontinuo. Es el más simple pero el más barato y a menudo suficiente cuando sus desventajas son toleradas, aunque una ecuación analítica no puede ser escrita podemos en general decir que su estrategia de control es:

$$\begin{aligned} OP &= 100\% & \text{Si } ER > 0 \\ OP &= 0\% & \text{Si } ER < 0 \end{aligned}$$

Esta relación muestra que cuando el valor medido excede al Punto de Referencia se obtiene la salida del controlador al 100%, cuando es menor que el (S.P), la salida del controlador es cero. Un calentador de agua es un ejemplo comun, si la temperatura cae abajo del Punto de Referencia, el calentador se enciende. Si por el contrario la temperatura esta arriba (del SP), se apaga.

- ZONA NEUTRA.

En la implementación practica, del controlador de dos posiciones, existe un traslape, cuando ER se incrementa de cero ó disminuye de cero, en este rango, ningún cambio en la salida del controlador ocurre. Esto se muestra mejor en la Fig. 2.2.1, la cual grafica OP contra ER para un controlador de dos posiciones. Aqui nosotros vemos que hasta que el error se incrementa por ΔER arriba de cero, la salida del control no cambiaría de estado. Al disminuir caera ΔER abajo de cero antes de que cambie el controlador a cero % de su salida. El rango $2 \Delta ER$ el cual es la Zona Neutra o Traslape Diferencial se diseña a menudo sobre una cierta cantidad mínima para prevenir un ciclaje excesivo. La existencia de tal Zona Neutra, es un ejemplo de Hysteresis deseable.

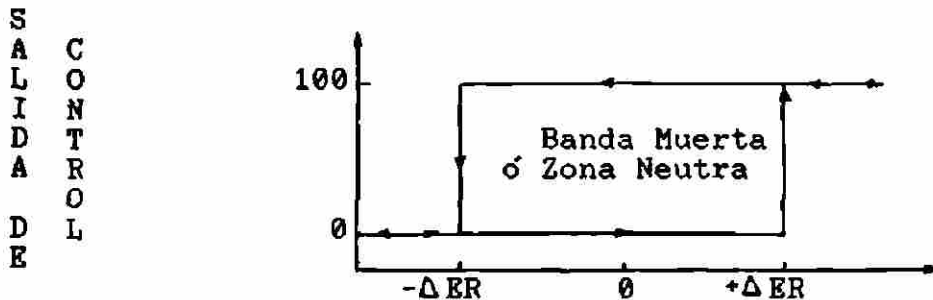


Fig. 2.2.1 Acción del controlador de dos posiciones con una zona neutra.

2.2.2 CONTROL DE POSICIONES MULTIPLES.

Una extensión lógica del modo de control previo de dos posiciones, es proporcionar varias salidas intermedias en lugar de solo dos. Este modo de control discontinuo, se usa en un intento de reducir el comportamiento cíclico del controlador de dos posiciones. Este modo está representado por:

$$OP = OP_i \quad \text{Si} \quad ER > E_i \quad \text{para} \quad i=1,2,3,\dots,n$$

El significado es que si el error excede ciertos límites de ajuste \pm , la salida del controlador se ajusta a valores prefijados OP_i , el ejemplo mas comun es el control de 3 posiciones donde:

$$OP = \begin{matrix} 100\% & ER > E_1 \\ 50\% & -E_1 < ER < E_1 \\ 0\% & ER < -E_1 \end{matrix}$$

Esto significa que tan pronto como el error este entre $-E_1$ y E_1 del Punto de Referencia, el controlador permanece en algún ajuste nominal indicado por la salida del controlador del 50%. Si el error excede del (SP) por mas de E_1 , entonces la salida se incrementa al 100%. Si el error negativo excede a $-E_1$ la salida del controlador se reduce a 0. La Fig. 2.2.2 ilustra este modo graficamente.

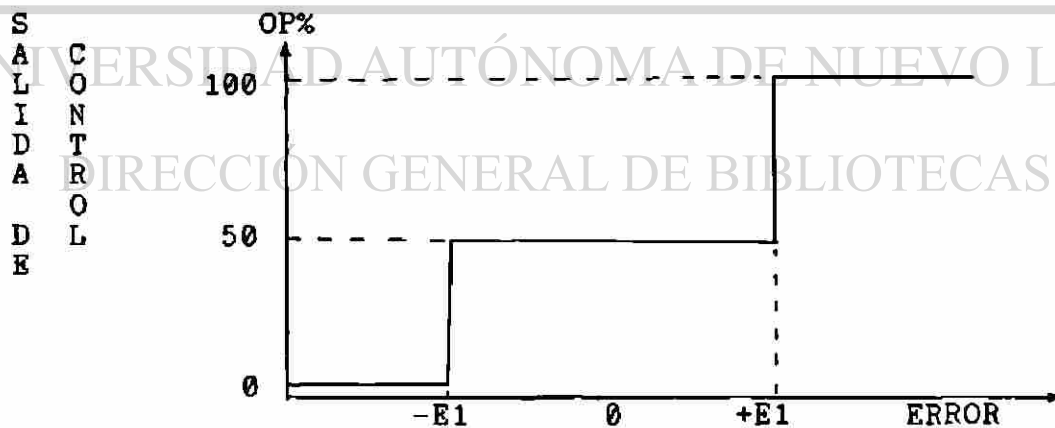


Fig. 2.2.2 Acción del controlador de tres posiciones.

2.2.3 CONTROL PROPORCIONAL.

El control que tenía el modo de dos posiciones daba una salida de 100% ó 0%, dependiendo de si el error era mayor o menor que la Zona Neutra. En el modo de Posiciones Múltiples más divisiones de las salidas del control contra el error se habían desarrollado. La extensión natural de este concepto, es el Modo Proporcional. Donde una suave relación lineal existe entre la salida del control y el error. Entonces sobre algunos rangos de error con respecto al Punto de Referencia, cada valor de error tiene un valor único de salida del controlador en correspondencia de 1 a 1. El rango de error para cubrir la salida del controlador de cero a 100% es la BANDA PROPORCIONAL, debido a que la correspondencia existe solo para errores en este rango, este modo puede expresarse por:

$$OP = K_p ER + OP(0)$$

Donde: K_p = Constante proporcional entre la salida del controlador y el error (%/%)

$OP(0)$ = Salida del controlador sin error (%)

La Banda Proporcional está dada en % ($100/K_p$). La salida del controlador para errores que exceden la Banda Proporcional se satura al 100% ó al 0% dependiendo del signo de error. En la Fig. 2.2.3 se muestra la gráfica de este modo de control. Notar que la constante proporcional determina la Banda Proporcional. El valor de $OP(0)$ a menudo se escoge como el 50% para dar igual salida al controlador para girar con errores que ocurran arriba y abajo del Set Point.

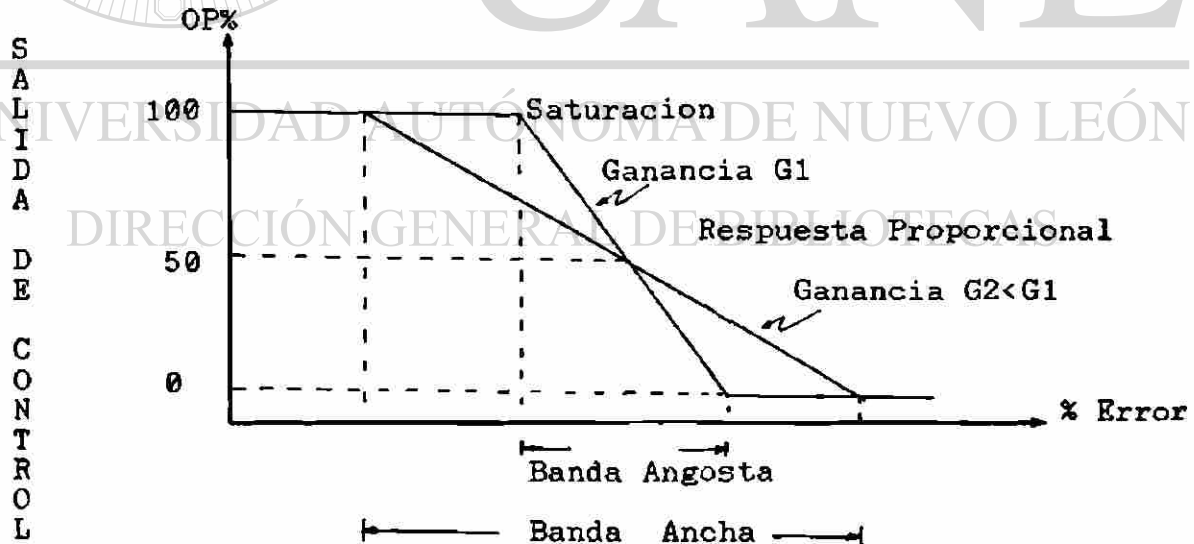


Fig. 2.2.3 La Banda Proporcional del Control depende de la ganancia en una relación inversa.

2.2.4 CONTROL INTEGRAL

Este modo presenta una extensión natural del principio de control flotante, produciendo cambio infinitesimal en la razón de salida del controlador, por cambio infinitesimal en el tiempo si el error permanece. En lugar de velocidad sencilla o aún multiples velocidades, nosotros tenemos un cambio continuo en velocidad de salida del controlador dependiendo del error. Este modo se conoce a menudo como Acción de Reajuste. Analíticamente, nosotros podemos escribir:

$$\frac{dOP}{dt} = K_i ER$$

Donde:

$\frac{dOP}{dt}$ = Razón de cambio de salida del controlador (%/s).

K_i = Constante que relaciona la razón de cambio al error (%/s/%)

Las unidades de K_i estan en porcentaje de salida del controlador por segundo por porcentaje de error. En algunos casos la inversa de K_i llamada el Tiempo Integral $T_i = 1/K_i$, se usa para describir el Modo Integral, con unidades en segundos.

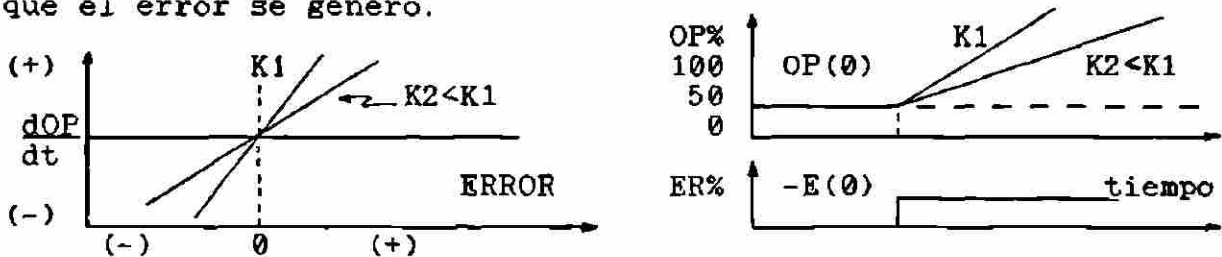
Si integramos podemos encontrar la aportación del modo integral a la salida del controlador en cualquier momento como:

$$OP(t) = K_i \int ER(t) dt + OP(0)$$

Donde $OP(0)$ = Salida del controlador en $t=0$.

Esta ecuación muestra que la salida real del controlador, $OP(t)$, depende de la historia del error de cuando la observación empezó en $t=0$.

Un valor grande de K_i significa que un error pequeño produce una razón grande de cambio de OP y viceversa. La Fig 2.2.4.1.a ilustra gráficamente la relación entre la razón de salida OP y el error ER para dos valores diferentes de K_i . La Fig 2.2.4.1.b, muestra como para un error fijo los valores diferentes de K_i producen valores diferentes de OP como una función del tiempo. Se vé que la razón mas rápida proporcionada por K_1 ocasiona una salida del controlador mayor en un tiempo particular despues de que el error se generó.



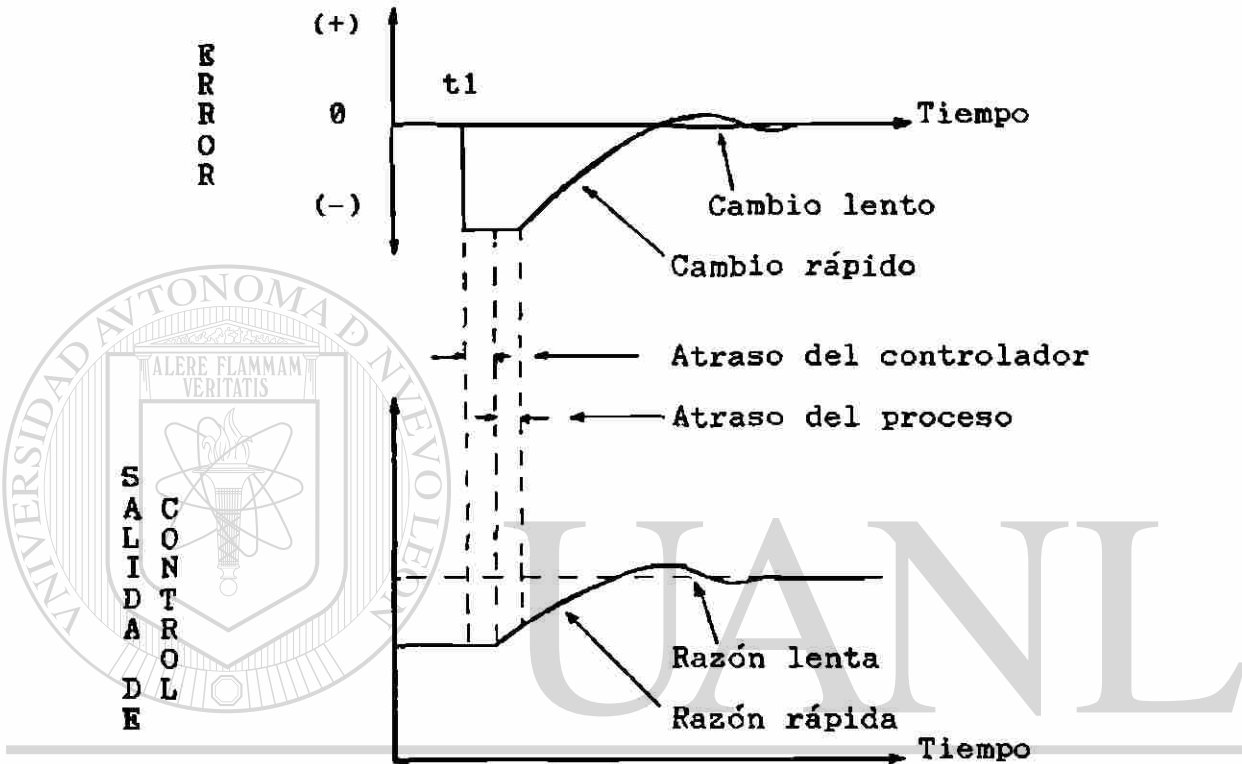
a) La razón de cambio de la salida depende del error.

b) Respuesta del modo integral a un error constante.

Fig. 2.2.4.1. Respuesta Teórica al modo de acción integral.

APLICACIONES.

La aplicación de este control puede entenderse usando la Fig 2.2.4.2 aquí un cambio de carga indujo que un error ocurriera en el tiempo $t(1)$. La posición adecuada de la válvula bajo la nueva carga para mantener el flujo constante, se muestra como una línea en la gráfica de la Fig 2.2.4.2.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
Fig. 2.2.4.2. Ilustración de la Salida Teórica de modo Integral VS el error. Se muestra el efecto del proceso y retrasos. ®

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

En el modo integral el valor de salida inicialmente empieza a cambiar muy rápidamente, cuando la válvula va abriendo, el error disminuye y la razón de abertura de la válvula también disminuye. El último efecto es que el sistema maneja el error a cero a una razón controlada. El efecto del proceso y el atraso de control se muestra como un simple retardo en el cambio de salida del controlador y en la reducción del error cuando la acción de control ocurre. Si los atrasos de proceso son demasiado largos, el error podría oscilar con respecto a cero y volverse cíclico. El Modo Integral no existe solo, complementa al Modo Proporcional, por lo que se aclara que la acción de control descrita es teórica y se da en la realidad combinandola con la acción proporcional, obteniendose de esta forma el control PI que se discutirá posteriormente.

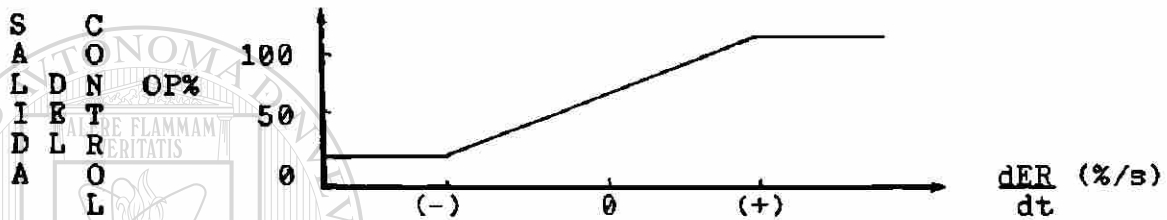
2.2.5 CONTROL DERIVATIVO.

Este tipo de control proporciona la salida del controlador dependiente de la razón de cambio del error. Este modo también se conoce como Control de Razón, o Control Anticipatorio. Este modo como el Integral, no puede utilizarse sólo, debido a que requiere combinarse con la Acción Proporcional, además si el error fuera constante, éste modo por si sólo no presentaría salida.

La expresión analítica es:

$$OP(t) = K_d \frac{dER}{dt} + OP(0)$$

Donde: K_d = Constante de ganancia derivativa (%) (seg)/(%)
 $(dER)/dt$ = Razón de cambio de error (%/seg)
 $OP(0)$ = Salida sin razón de error (%).



Razón de cambio de error.

Fig 2.2.5.1 Acción de Control de modo Derivativo donde una salida del 50% ha sido considerada para un estado de cero Derivativo.

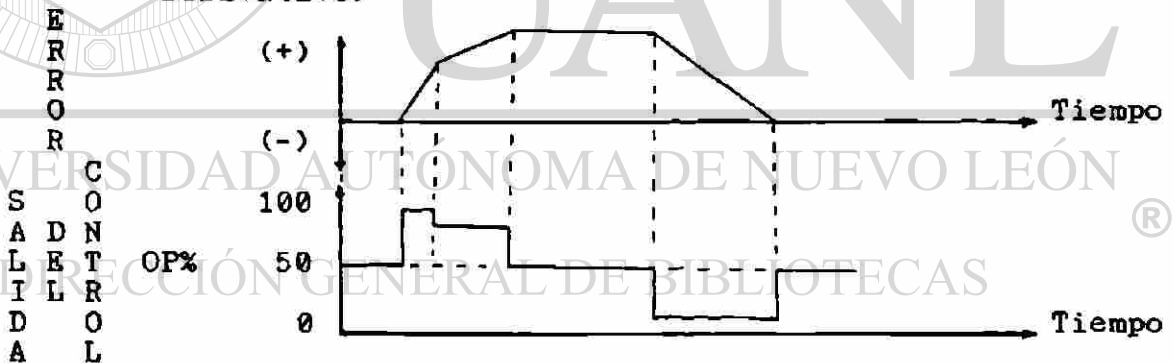


Fig 2.2.5.2. Acción de Control de modo Derivativo para señales de error diversas.

La constante de Ganancia Derivativa también se conoce como la Razón de Tiempo Derivativo y se expresa en min. o seg. La característica de éste dispositivo puede verse en la gráfica de la Fig 2.2.5.1 en la que se observa la salida del control para la razón de cambio de error. Esto muestra que para una razón dada de cambio de error, existe un valor único de salida del control.

La gráfica del error contra el tiempo y la respuesta del control muestra el comportamiento de este modo en la Fig 2.2.5.2. Notar que la salida del control depende de la razón a la cual éste error cambia y no del valor del error.

2.2.6 CONTROLADOR PROPORCIONAL.

Una característica importante del controlador de Modo Proporcional, es que produce un error residual o permanente en el punto de operación de la variable controlada cuando un cambio en carga ocurre. Este error se conoce como desajuste, y puede minimizarse seleccionando una constante k_p mas grande lo cual reduce la Banda Proporcional.

Para ver como se presenta el desajuste consideramos un sistema bajo carga nominal con el controlador al 50% y el error cero como se muestra en la Fig. 2.2.6. Si un error transitorio ocurre, el sistema responde cambiando la salida del controlador en correspondencia con el transitorio a efecto de regresarlo al error cero. Supongamos, sin embargo que un cambio de carga ocurre lo cual requiere un cambio permanente en la salida del controlador para producir el estado de error cero. Debido a la correspondencia que existe una a una entre la salida del controlador y el error es claro que una salida nueva del controlador para dar error cero nunca podría obtenerse. En lugar de ello el sistema produce un pequeño desajuste permanente al alcanzar una posición de compromiso de la salida del controlador bajo nuevas cargas.

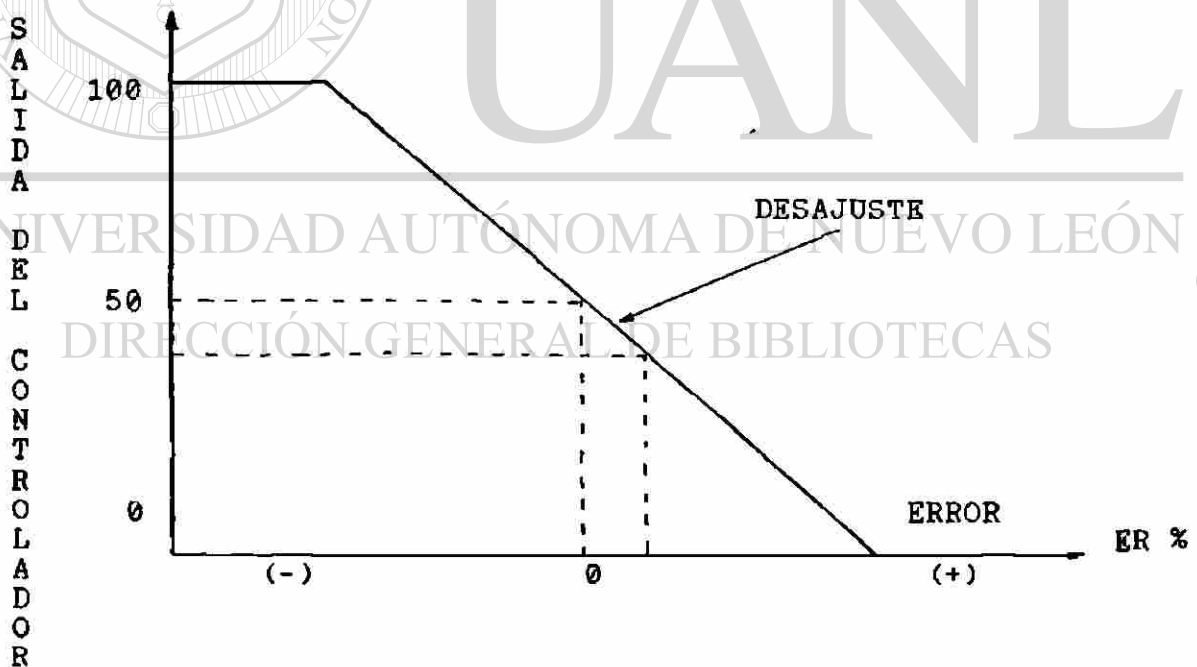
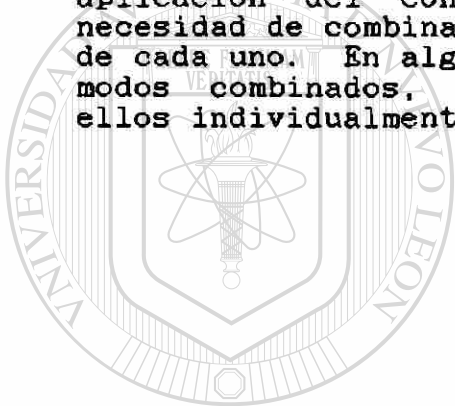


Fig. 2.2.6 Error por desajuste (OFF-SET).

El desajuste se presenta si un controlador proporcional requiere una salida nueva del controlador para dar seguimiento a un cambio de carga.

Los límites de error por desajuste limitan al controlador de modo proporcional a unos cuantos casos, particularmente aquellos donde un reajuste manual del punto de operación se puede dar para eliminarlo. El control Proporcional generalmente se usa en procesos donde cambios grandes de carga son indeseados o con moderación a procesos con pequeños retrasos del tiempo. Ya que si el retraso de tiempo de proceso es pequeño, la Banda Proporcional puede hacerse muy pequeña (k_p grande) lo cual reduce el error (OFF-SET).

Es muy común (en procesos complejos industriales) encontrar requerimientos de control que no satisfacen las normas de aplicación del controlador proporcional. Se ha encontrado la necesidad de combinar varios modos básicos, para ganar la ventaja de cada uno. En algunos casos, una ventaja adicional es que los modos combinados, tienden a eliminar algunas limitaciones que ellos individualmente poseen.



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

®

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

2.2.7 CONTROLADOR PROPORCIONAL INTEGRAL (PI).

Este controlador resulta de la combinación del modo Proporcional y el Integral. La expresión Analítica para éste control de proceso se encuentra de la combinación aditiva del modo Proporcional y el Integral.

$$OP(t) = K_p ER(t) + K_p K_i \int ER(t) dt + OP(0)$$

Donde: Todos los terminos ya se han definido previamente.

La ventaja principal de este modo de control compuesto, es que se dispone de la correspondencia uno a uno del modo Proporcional, y el modo Integral elimina el desajuste inherente. (OFF-SET).

Debe notarse que la ganancia Proporcional, por diseño, también cambia la ganancia neta de integración, pero la ganancia de integración K_i , puede ajustarse independientemente. Recordemos que el desajuste del Modo Proporcional, ocurrió cuando se presentó un cambio de carga que requería una nueva salida nominal del controlador y no podía ser proporcionada excepto para un error fijo del punto de ajuste. En el modo presente, la función Integral proporciona la salida nueva requerida, y por consiguiente, permite que el error sea cero después de un cambio de carga. La característica Integral efectivamente proporciona el punto de reajuste de operación cuando un cambio de carga ocurre. Esto puede verse en la Fig. 2.2.7.

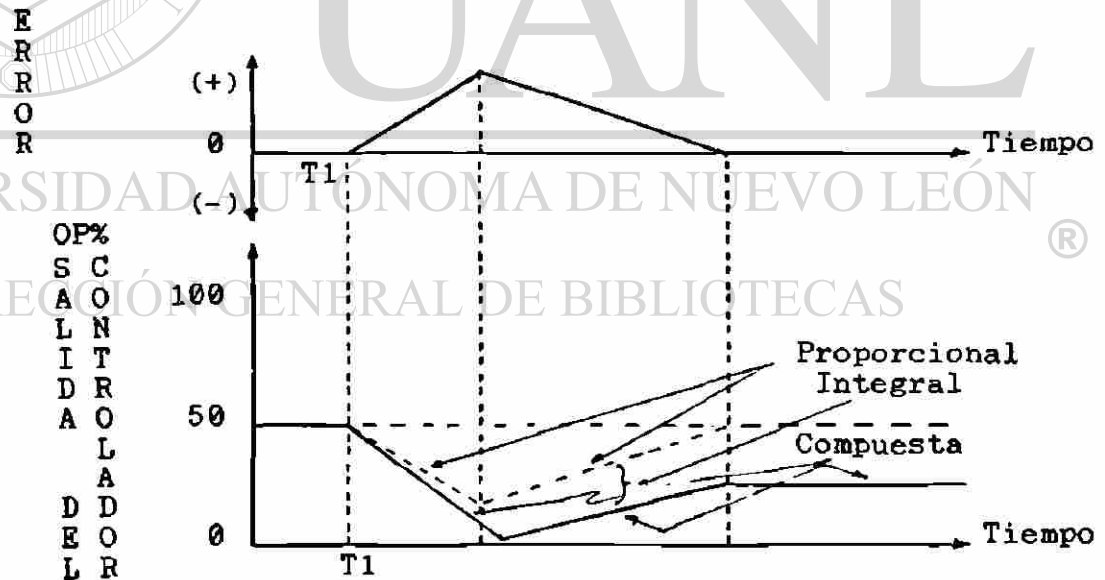


Fig. 2.2.7 Acción Proporcional-Integral que muestra la contribución de reajuste del modo Integral (se considera K_p negativa).

En la gráfica de la Fig. 2.2.7 en el tiempo t_1 ocurrió un cambio de carga, lo cual produjo el error mostrado. Para acomodarnos a la nueva condición de carga se requiere una salida nueva del controlador. Nosotros vemos que la salida del controlador se proporciona a través de una suma de acciones Proporcional mas Integral, lo cual finalmente lleva el error a cero. Se debe notar que la parte proporcional es obviamente una imagen del error.

2.2.8 CONTROLADOR PROPORCIONAL-DERIVATIVO (PD).

Una segunda combinación de modos de control que encuentra muchas aplicaciones industriales, involucra la serie (cascada) del uso de los Modos Proporcional y Derivativo. La expresión analítica para esta combinación, es la siguiente:

$$OP(t) = K_p ER(t) + K_p K_d \frac{dER}{dt} + OP(0)$$

Es claro que en éste sistema no puede eliminarse el desajuste corregido por el controlador Proporcional. Puede sin embargo manejar procesos rápidos con cambios de carga si el error por desajuste (OFF-SET) de estos cambios de carga es aceptable. Un ejemplo de la operación de este modo para un cambio de carga hipotético, se muestra en la Fig.2.2.8. Nótese el efecto de la acción derivativa al mover la salida del controlador en relación a la razón de cambio de error.

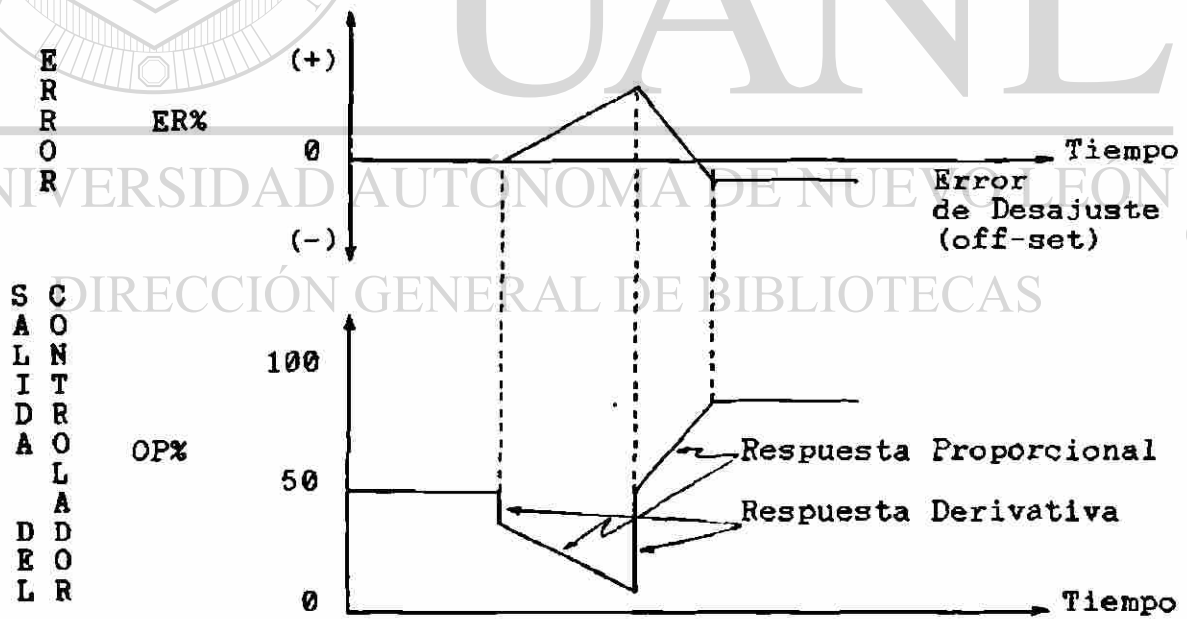


Fig. 2.2.8 Acción Proporcional-Derivativa que muestra el Error de desajuste (OFF-SET). (K_p negativa).

2.2.9 CONTROLADOR PROPORCIONAL INTEGRAL Y DERIVATIVO (PID).

Uno de los controladores mas poderosos, pero complejos, es aquel que combina el Modo Proporcional Integral y Derivativo. Este sistema puede usarse virtualmente para cualquier condicion de proceso, la expresion analitica es:

$$OP(t) = K_p ER(t) + K_p K_i \int ER dt + K_p K_d \frac{dER}{dt} + OP(0)$$

Este modo elimina el OFF-SET con el modo Proporcional y limita la tendencia hacia la oscilacion. En la Fig. 2.2.9.1 se muestra la respuesta del sistema de tres Modos a un error dado.

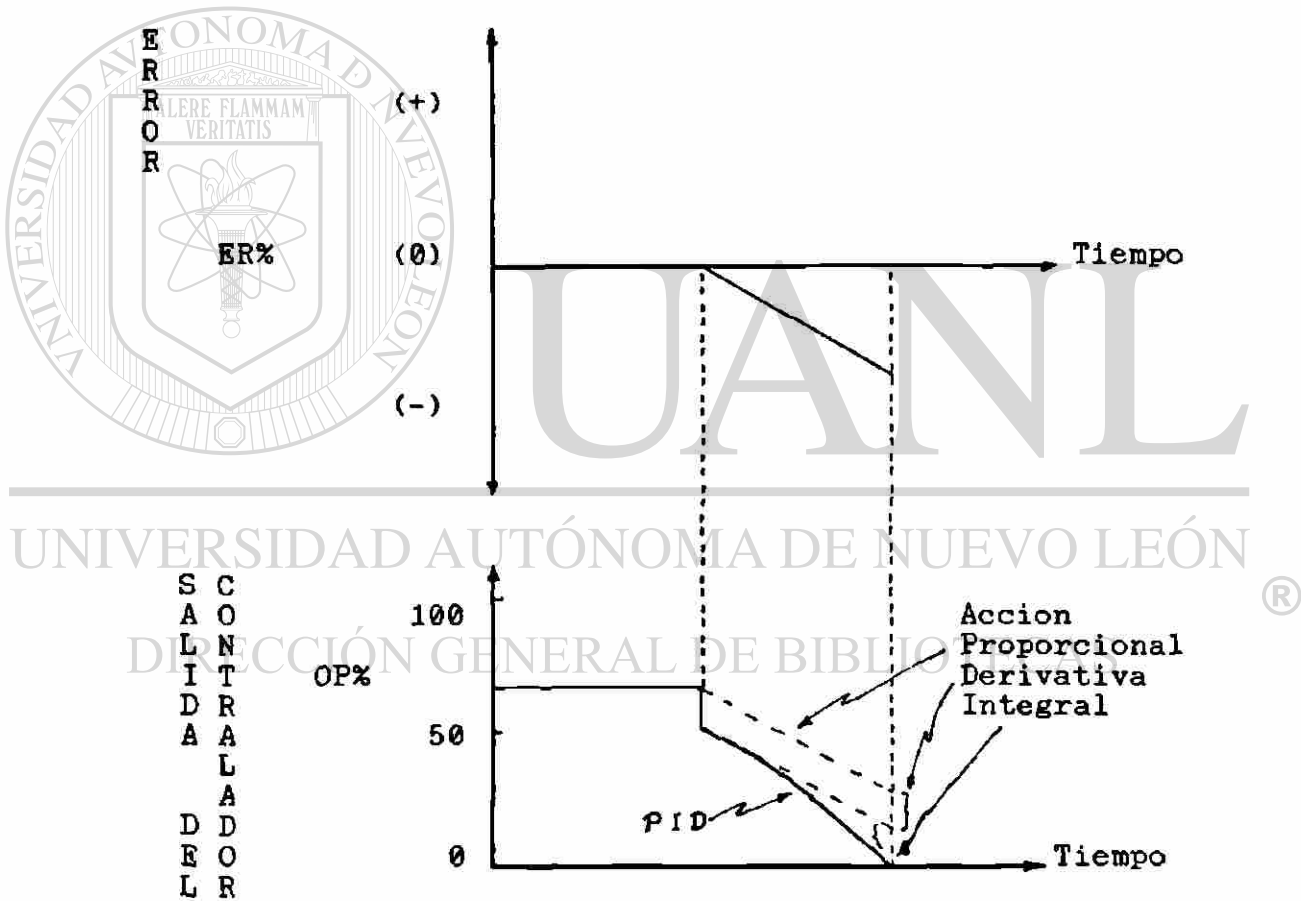


Fig. 2.2.9.1 Acción del Controlador de tres modos. (Acción Proporcional Integral y Derivativa).

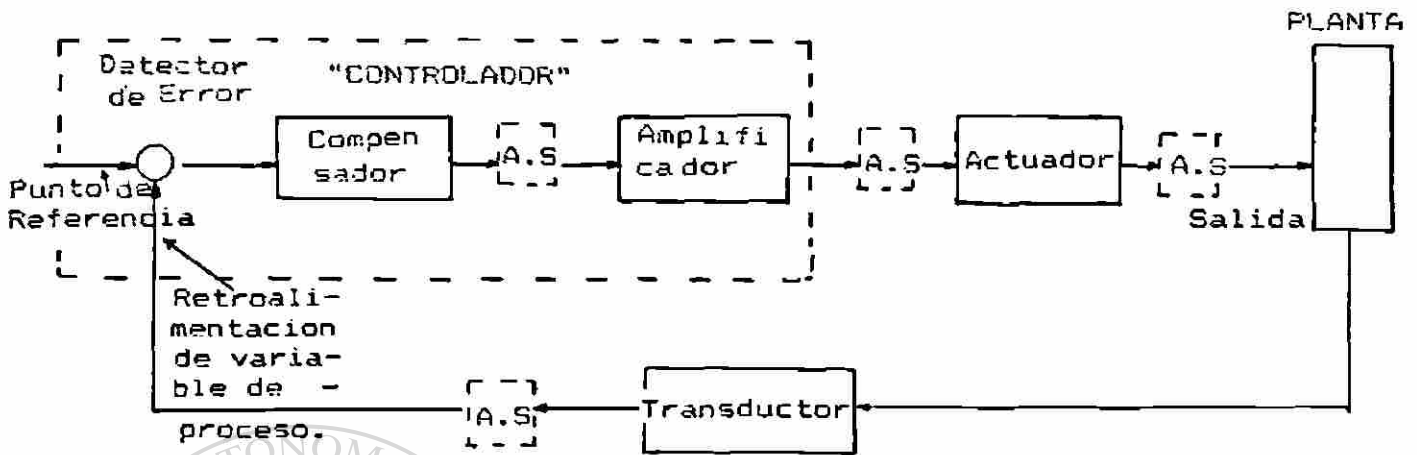


Fig 2.2.9.2 Lazo Convencional de Control Analógico.

El controlador analógico, nos proporciona un control automático del lazo, pero requiere intervención del operador para proporcionar decisiones que afectan al control, como fijar los puntos de referencia, ajustar límites de operación, etc. ®

Ahora bien, si la acción de control la realiza una persona en forma manual, se tiene una capacidad de decisión limitada, falta de consistencia, y lentitud de respuesta.

2.3 CONTROL DIGITAL.

La mayor fuerza del control digital estriba en que el proceso se puede considerar como un conjunto entero, más que una variedad de partes independientes. Con este panorama total el control computarizado es capaz de operar el proceso en su punto óptimo, otras ventajas son una mejor utilización del equipo, un cambio más rápido de parámetros, cuando se requiere modificar la operación, arranques y paros adecuados y mantenimiento de registros para finalidades de estadística.

Con las computadoras prácticamente se puede programar cualquier estrategia de control, y la mayoría de las modificaciones de la estrategia son cambios sencillos del programa.

El Control Digital inició utilizando la computadora para la adquisición de Datos del Proceso para fines estadísticos y de recomendaciones de control para el operador. Actualmente podría clasificarse en tres Grupos: Control Digital Directo, Control Supervisorio y Control Jerárquico.

2.3.1 ADQUISICION DE DATOS Y REGISTRO.

La adquisición de datos (Data logger) representó una de las primeras aplicaciones de las computadoras digitales en tiempo real para plantas industriales. Las funciones primarias de estos sistemas son monitoreo de estados, revisar alarmas y registro de datos.

El CPU constantemente barre un conjunto de entradas analógicas, las cuales describen el estado de ciertas variables en la planta tales como flujo, temperatura, posición, peso, presión, etc., la máquina también revisa el estado de las entradas digitales contra las lecturas previas, constantemente buscando cambios de estado. La alarma se presenta cuando la entrada analógica excede el conjunto de fronteras para ese punto particular, o cuando en una entrada digital ocurrió un cambio de estado indeseado. Normalmente al presentarse una alarma la computadora imprime un mensaje, enciende una luz, una alarma audible o ambas.

El registro de datos normalmente se da en unidades de ingeniería y el CPU puede manejar la información y hacer cálculos con todos los datos para dar una figura de merito y que el operador pueda obtener información rápida para ajustar el proceso.

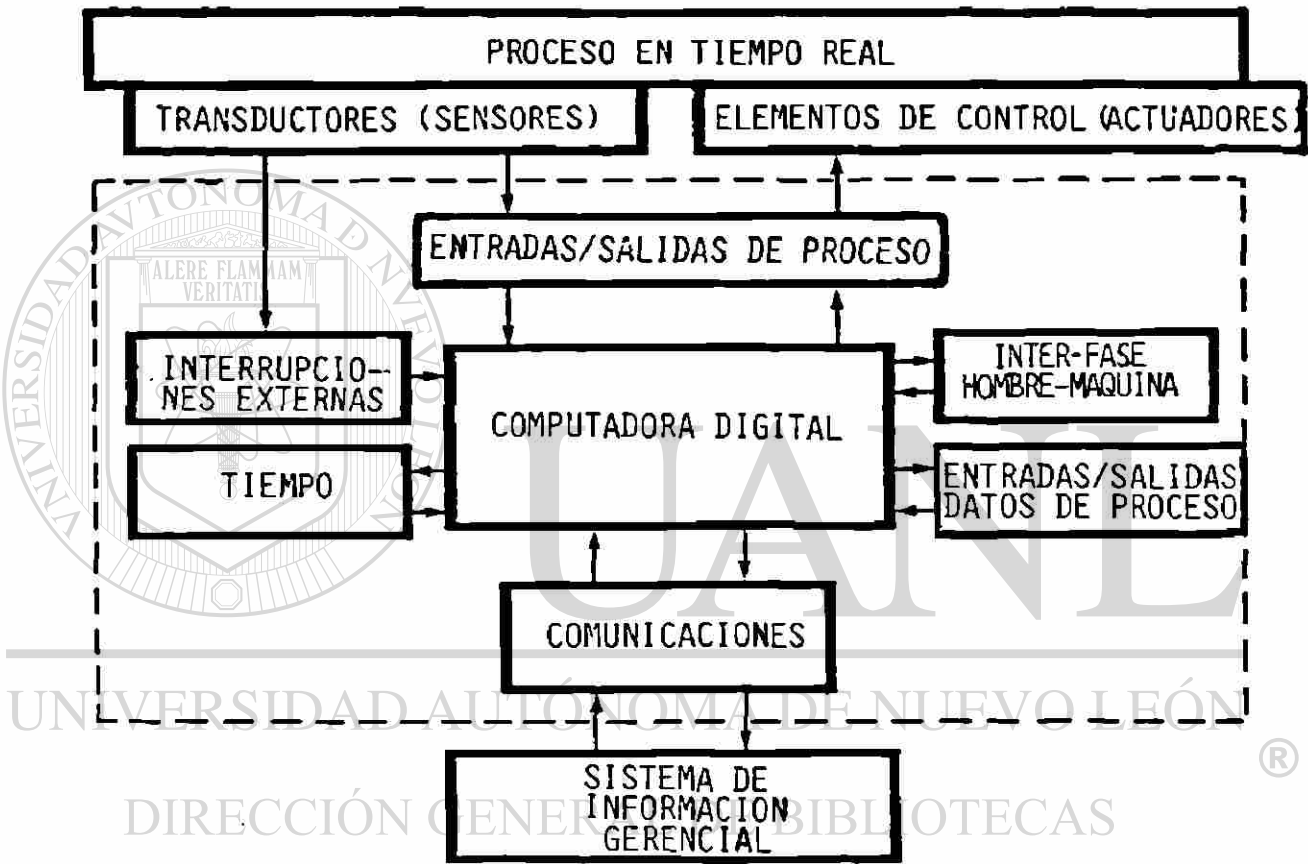


Fig. 2.3.1 Sistemas de Control y Adquisición de Datos.

2.3.2 CONTROL DIGITAL DIRECTO.

En este tipo de control, la computadora calcula los valores de las variables de salida (posición de válvulas, pistones, etc.) directamente de sus cálculos de error y otras mediciones de proceso. Las decisiones de la computadora se aplican directamente al proceso y de aquí su nombre. Ver Fig. 2.3.2.1.

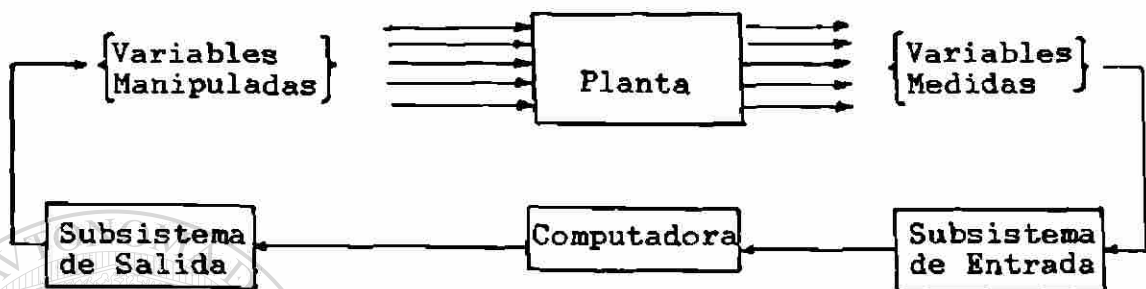


Fig. 2.3.2.1 Control Digital Directo.

En éstos sistemas se sustituyen los controladores individuales por la computadora, que por algoritmos de control calcula los valores de las variables manipuladas.

La computadora debe ser capaz de interpretar adecuadamente las señales de entrada y asegurar transiciones suaves de manual a automático.

Al principio se pensó en instalar éste sistema buscando ahorros económicos en la compra de equipos de Control, hoy en día lo que motiva estas instalaciones es conseguir estrategias de control más finas y exactas que las que se obtendrían con equipo analógico. Esto resulta en un control más preciso de los Procesos y más eficiente.

El inconveniente es que si falla la computadora se pierde el control de todo el proceso y aunque esto no es frecuente, representa para la mayoría de los procesos un riesgo muy elevado. Requiere pensar en controladores ó sistemas de soporte.

La Fig. 2.3.2.2 muestra un lazo de control básico de los varios que maneja la computadora que se utiliza en Sistemas de Control Digital Directo.

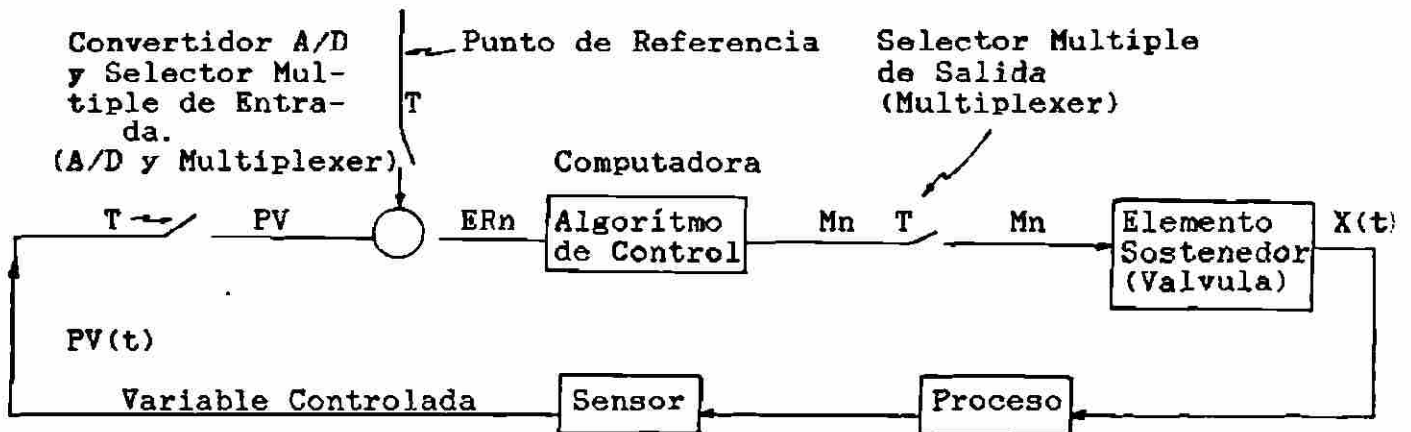


Fig. 2.3.2.2 Lazo Típico de Control Digital.

La función básica del selector múltiple de entrada es obtener valores de una función a ciertos intervalos, en una operación conocida como muestreo, normalmente a intervalos de tiempo regulares T . La salida del sensor es una función continua del tiempo $PV(t)$, la salida del selector múltiple de entrada es un número secuencial PV_n , $PV_1 = PV(T)$, $PV_2 = PV(2T)$, etc.

La computadora compara la salida del selector múltiple de entrada con un valor deseado o Punto de Referencia SP (de alguna localidad de almacenamiento dentro de la computadora misma). La diferencia de estos dos es el error.

$$ER = SP_n - PV_n$$

Utilizando un algoritmo adecuado de control, la computadora calcula un valor para la variable manipulada M_n a partir del error secuencial ER_n . El selector múltiple de salida transfiere el valor secuencial M_n al elemento sostenedor, cuya función es construir una señal continua $X(t)$ que llega a ser la entrada al proceso. Como el Proceso es típicamente continuo, no puede aceptar valores de M_n directamente. El sostenedor lógico normalmente usado es el de orden cero, el cual mantiene el último valor de salida durante el siguiente intervalo de tiempo.

$$x(t) = M_i \quad i \leq t \leq (i+1)T$$

Los sistemas de control digital directo, tendieron a ser

demasiado grandes, complejos, difíciles de programar y correr mantenían todo el control en un sólo dispositivo, tener sistemas duales (sistemas iguales de soporte) los hacía mas aceptables, pero aún así el número de instalaciones no fue muy grande.

Recientemente las microcomputadoras han permitido la implementación de sistemas mas pequeños que el usuario instala en cualquier parte del proceso, en lugar de tener un complejo sistema único.

Las industrias que utilizan el CDD no son sólo los procesos continuos tales como refineries, sino también procesos industriales semicontinuos que involucran el arranque de maquinarias y procesos, los cuales entonces trabajan por horas y finalmente paran. La computadora puede ayudar en esta transición con mensajes y monitoreo de las variables.

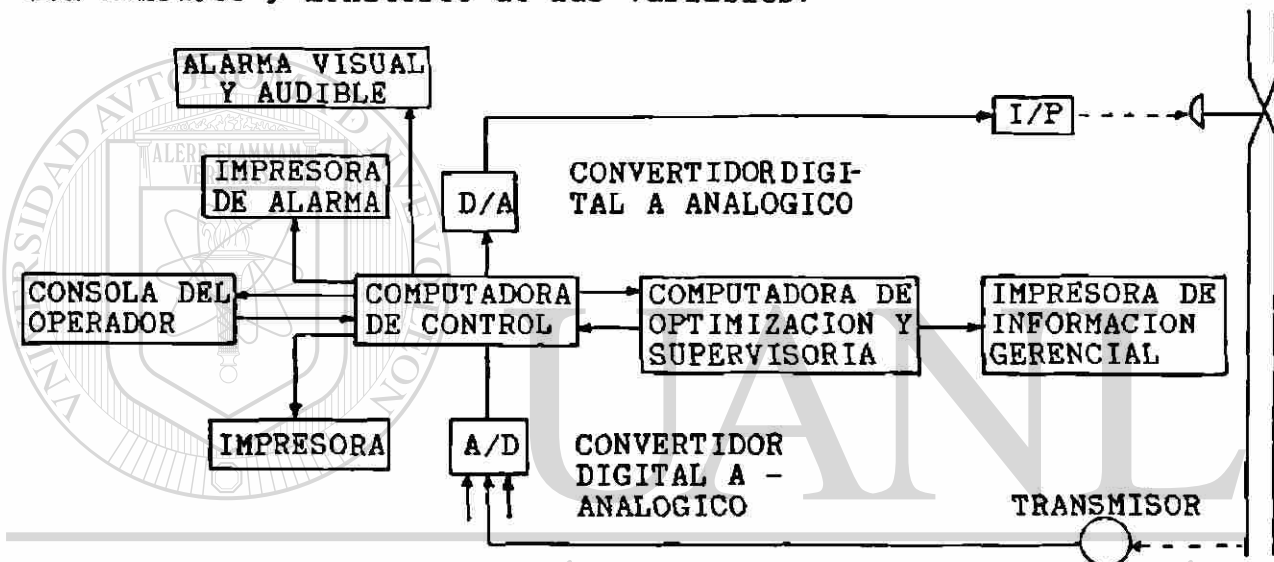


Fig. 2.3.3 Lazo de Control Configurado en Computadora CDD.

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

CONTROL DIGITAL DIRECTO.

- * EL SISTEMA CALCULA NUEVAS POSICIONES DE VALVULAS.
- * PUEDE IMPLEMENTAR TECNICAS SOFISTICADAS DE CONTROL.
- * ELIMINA LA NECESIDAD DE CONTROLADORES ANALOGICOS.
- * DEBE TENER ALGUN EQUIPO DE SOPORTE.
- * MANEJA MULTITUD DE LAZOS.
- * SE PUEDE DISEÑAR EL PROGRAMA PARA QUE LA ESTRATEGIA DE CONTROL SE AUTO SINTONICE.

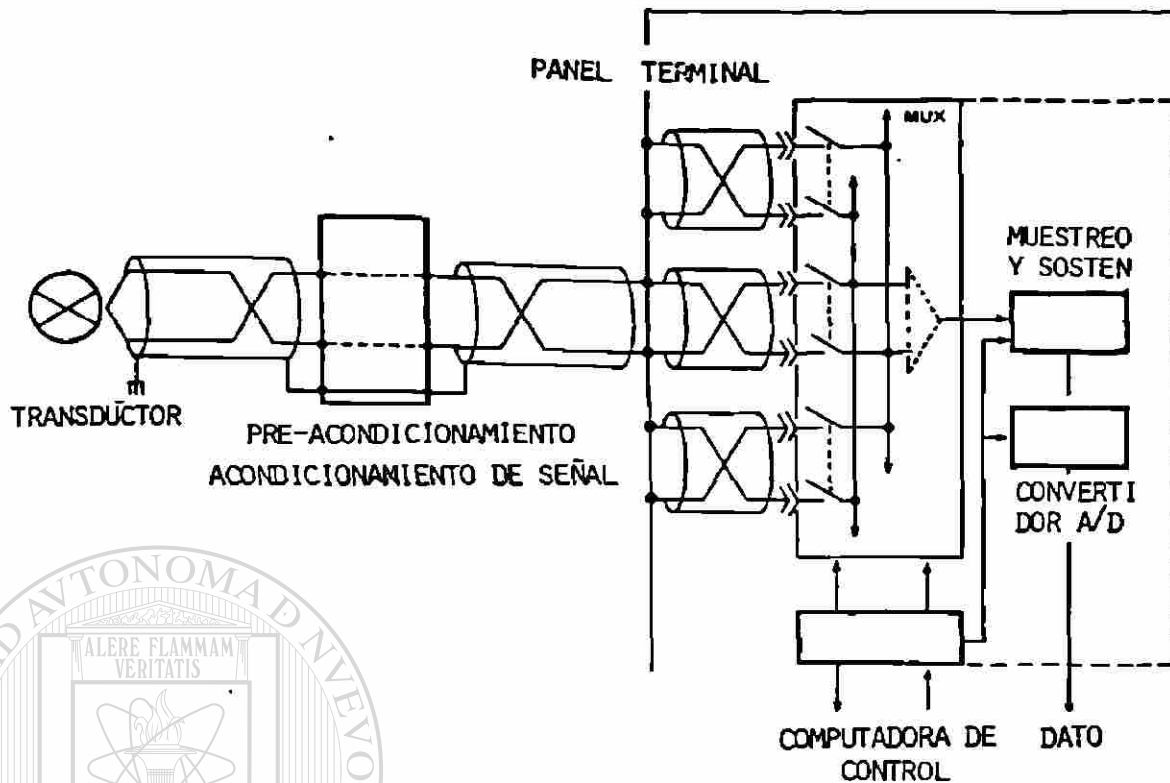


Fig. 2.3.4 Trayectoria de Entrada Analógica.

TRAYECTORIA DE ENTRADA.

Es aquella que una señal analógica típica sigue de su punto de origen el proceso, hasta que finalmente se presenta en la computadora en forma digital como se muestra en la Fig.2.3.4. Funcionalmente, las etapas en esta secuencia serán de alguna forma similares ya sea que las señales sean voltaje análogo o corriente, o un tren de pulsos, tal como aquel producido por un tacómetro digital. Los elementos en esta trayectoria pueden entonces categorizarse en:

- 1) **Transductores:** Generan una señal de salida, por ejemplo, presión, corriente, voltaje, o razón de pulsos, en respuesta a una variable de procesos tal como flujo, temperatura, nivel ó velocidad.

- 2) Transmisión: Movimiento de señales primarias de transductores a través de distancias. El medio portador es más comunmente, corriente eléctrica, voltaje, o tren de pulsos, señales de radio de frecuencia modulada, etc. Esta transferencia debe efectuarse con un mínimo de pérdida de señal o distorsión.
- 3) Preacondicionamiento y Acondicionamiento: Quita ruido - indeseado por medio de filtraje, ajusta los niveles de señal para tener compatibilidad con la computadora, puede involucrar conversión analógica a digital, conteo de pulsos, ú otros dispositivos de entrada al sistema.
El cable torcido mostrado en la Fig.2.3.4 tiene como objeto evitar ruido e interferencias.
- 4) Selección Multiple: Permite que muchas entradas del proceso puedan pasarse a través de un solo convertidor analógico a digital. La computadora normalmente por medio de programas, ordena la selección de todas las entradas. Se tienen selectores múltiples de alto y bajo nivel de tipo FET limitados a 10 Volts y relevación de bajo nivel (REED) limitado a 200 Volts.
- 5) Amplificación: Proporciona un incremento o disminución en el nivel de voltaje de entrada para balancear el rango del convertidor analógico a digital. La ganancia del amplificador está bajo control del programa.
- 6) Muestreadores y Sostenedores: Reciben señales discretas y mantienen el valor por un tiempo determinado, hasta que llegue la siguiente señal de muestreo. Reducen el error en la medición, reduciendo la abertura efectiva del convertidor analógico a digital.
- 7) Convertidor Analógico a Digital: Convierte señales análogas (voltajes) a señales compatibles con la computadora, datos binarios paralelos. Se utiliza ampliamente la técnica de aproximaciones sucesivas.

2.3.3 CONTROL SUPERVISORIO.

En este tipo de sistemas la computadora determina la estrategia óptima de operación, pero el sistema de control analógico todavía implementa las acciones. Entonces en muchos casos la computadora de control simplemente proporciona las señales de referencia para los lazos de control analógico, Fig.2.3.3.1. El sistema computarizado no reemplaza al controlador analógico.

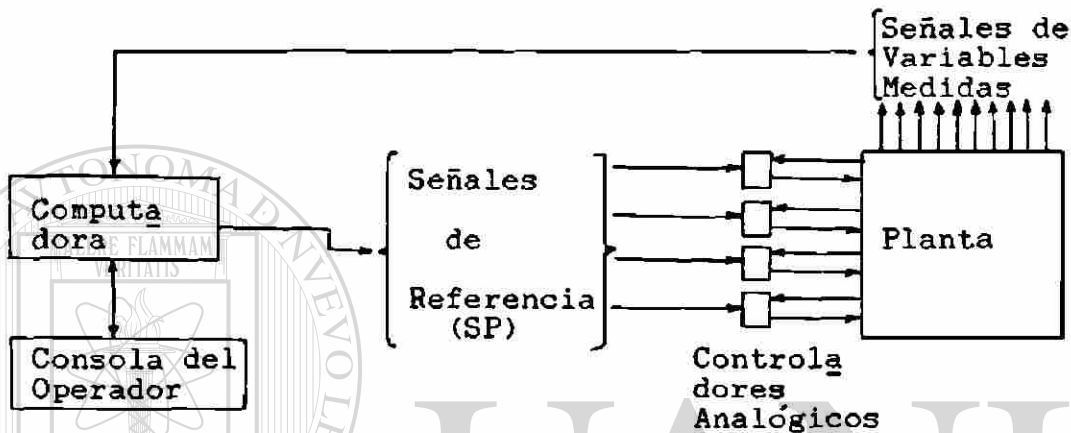


Fig 2.3.3.1 Sistema de Control Supervisorio.

En este sistema el problema de soporte no es crítico, ya que en caso de falla de la computadora los puntos de referencia simplemente permanecen en su valor anterior. Esto presenta una ventaja sobre el Control Digital Directo.

La justificación económica de este sistema se basa en mejorar la operación del proceso para justificar la inversión de la computadora. Por ejemplo en Plantas grandes, donde cualquier mejora genera un enorme retorno, en Plantas muy complejas donde la computadora es ideal para satisfacer el modelo matemático, en Plantas con disturbios frecuentes en las que los objetivos de operación deben ser modificados por otros, un trabajo para el cual la atención frecuente de la computadora será muy superior a la de los operadores. El obstáculo principal a la instalación de sistemas supervisorios es que no se tienen los modelos matemáticos de las Plantas con anticipación, y el esfuerzo para obtener este es considerable.

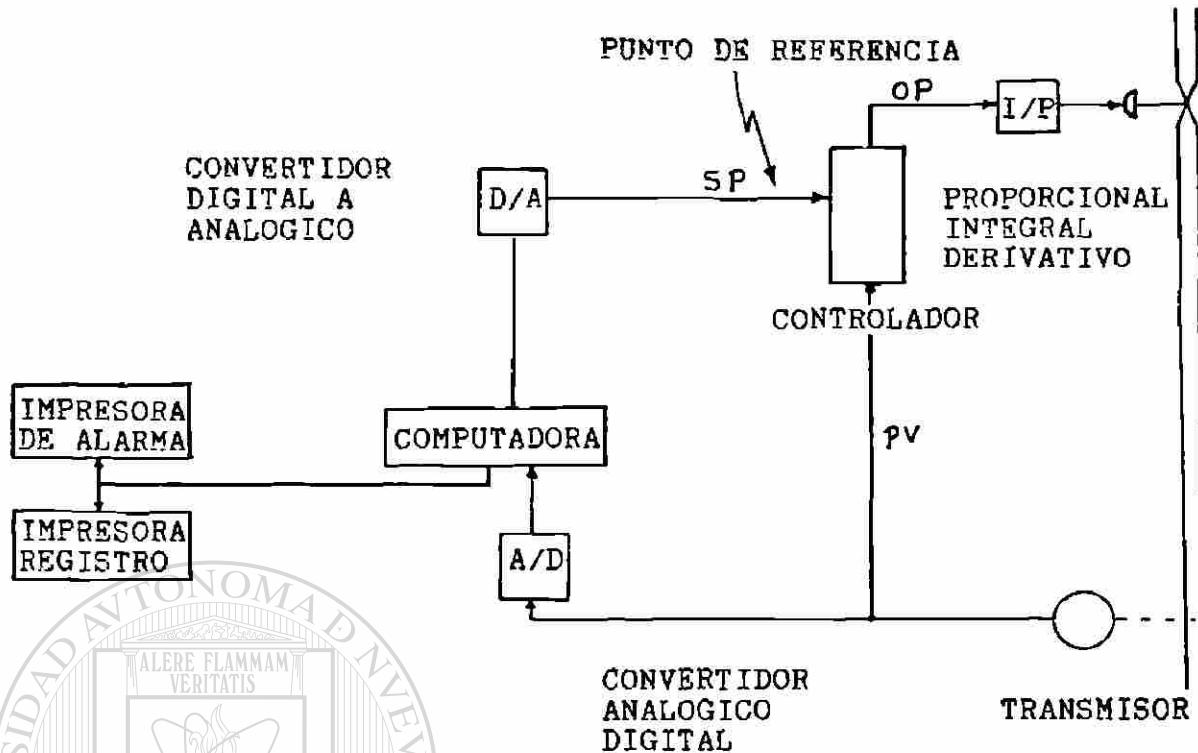


Fig. 2.3.3.2 Lazo de Control Configurado en Control Supervisorio.

- * EL SISTEMA AUTOMATICAMENTE SINTONIZA LOS PUNTOS DE REFERENCIA DE LOS CONTROLADORES ANALOGICOS.
- * PUEDE IMPLEMENTAR TECNICAS DE CONTROL SOFISTICADO.
- * REQUIERE MENOS INVERSION DE EQUIPO DE SOPORTE.

La tendencia actual en la industria está encaminada al Control Supervisorio, esto es los controladores analógicos ó computadoras de control digital directo son las que manejan directamente los actuadores finales de control en la Planta y la Computadora Principal se encarga de las estrategias de control y de mandar los puntos de referencia a los Controladores (Analógicos ó Digitales).

Pero para implementar un esquema de control supervisorio se requiere:

- 1) Desarrollar un modelo de Planta.
- 2) Optimizar las condiciones de Operacion.

Los sistemas de control supervisorio estan basados en modelos. El costo de desarrollo del modelo es generalmente una porción substancial del costo total del proyecto, y es difícil de estimarlo con anticipación. La mayoría de los controladores supervisorios contienen al menos uno de cada uno de los siguientes tipos de modelos.

MODELOS

- MODELO FISICO.

Consiste en la relación matemática entre las diferentes variables de operación, considera varios mecanismos de transferencia y relaciones cinéticas entre las variables de operación. Se deben considerar varios factores, por ejemplo si las relaciones serán dinámicas o de estado físico. Debe darse una aproximación analítica o empírica?, Cual es el objetivo del modelo?. Este modelo es complicado y requiere un amplio conocimiento no solo de las matemáticas involucradas sino fundamentalmente del Proceso mismo.

- MODELO DE PROCEDIMIENTO.

En muchos casos estos modelos se utilizan para instruir a la Computadora a duplicar las mismas funciones que de otra forma serían ejecutadas por el operador, esto mejora en mucho la consistencia de las operaciones, además éste modelo mejora las operaciones con seguridad, ya que la computadora puede ser instruida si encuentra una situación peligrosa para abortar funciones normales y seguir algunas instrucciones preasignadas de un modelo de procedimiento para asegurar que la Planta regrese a una región segura de operación, de tal manera que el personal y la Fábrica misma no sufran un accidente.

En el área de modelo de procedimiento, una buena relación entre el personal de operación de la Planta y el personal de Control puede dar muy buenos resultados.

- MODELO ECONOMICO.

Relaciona matemáticamente factores económicos más que variables del Proceso. Su objetivo básico es obtener máximas utilidades o minimizar los costos. Implementar éstos modelos resulta bastante complicado ya que muchos Procesos operan dentro de grandes complejos, y lo que para una Planta particular puede ser lo mejor, puede no serlo para la corporación completa. En algunos casos la producción está limitada por la capacidad de la planta, en otros por la situación del mercado. Las limitaciones del sistema deben ser reconocidas lo más temprano posible en el desarrollo del modelo, para simplificarlo y obtener resultados positivos, en tiempo, esfuerzo y exactitud.

2.3.4 CONCEPTO DE JERARQUIA DE COMPUTADORAS.

Este concepto aparece cuando en un sistema supervisorio la computadora principal se comunica con otras computadoras y estas sucesivamente con otras, hasta que en el ultimo escalafón se encuentran computadoras de control digital directo controlando los lazos de las Plantas.

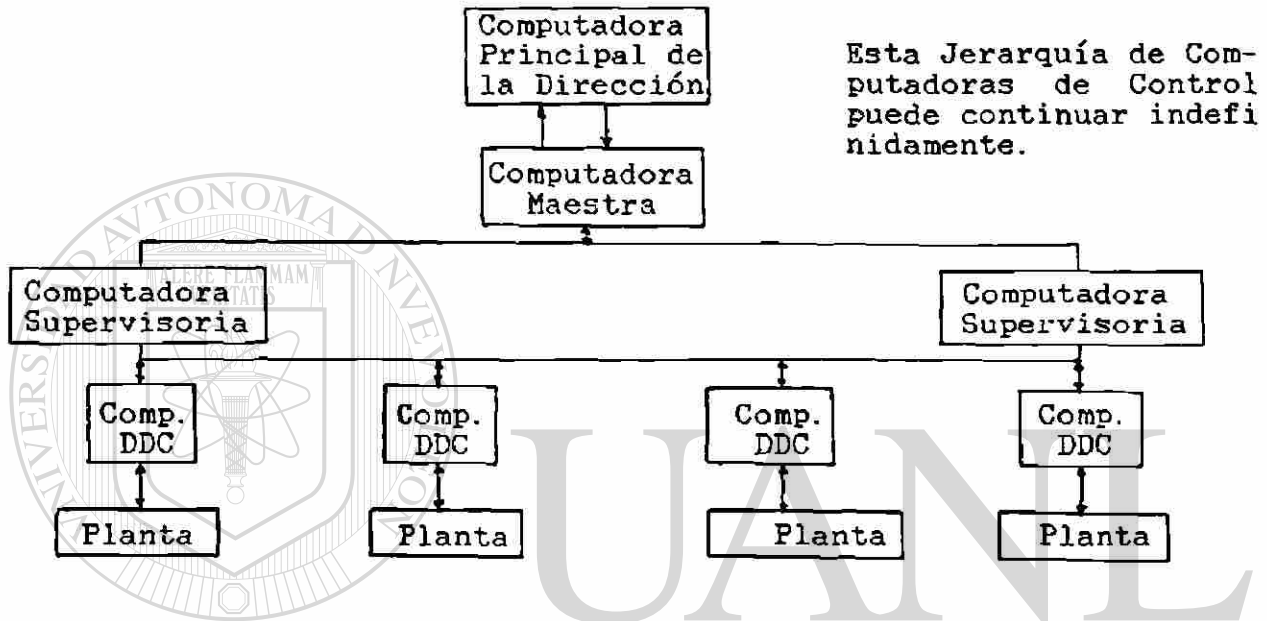


Fig. 2.3.4 Sistema de Control Jerárquico.

Este sistema es más atractivo porque:

- 1) La comunicación entre dos computadoras digitales es muy superior a la comunicación entre computadora y controladores analógicos.
- 2) El problema de soporte puede resolverse si la computadora supervisoria toma el control en caso de falla de la computadora de Control Digital Directo, o en caso de falla de las computadoras de mayor nivel, estas se encuentran respaldadas adecuadamente.

En los últimos sistemas más avanzados la computadora es responsable de coordinar un complejo entero de varias Plantas. En la cima de la escalera, la computadora es una parte importante del sistema de información para la dirección.

CAPITULO 3.- TRANSDUCTORES.

3.1 MECANICOS PARA MEDICION DE FLUJO. 35

3.1.1 Principios de operación. 35

3.1.2 Tubo Venturi. 53

3.1.3 Placa de Orificio. 55

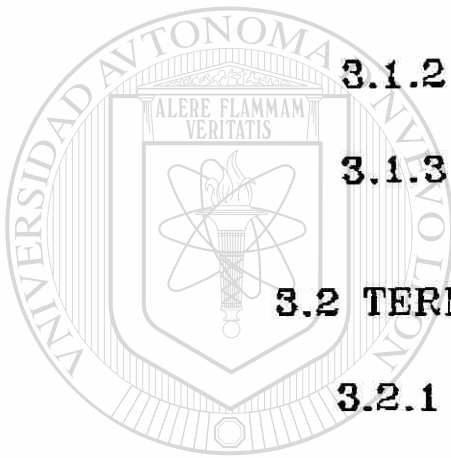
3.2 TERMICOS 59

3.2.1 Termopares. 59

3.2.2 Termómetros de 66

Resistencia (RTD).

3.2.3 Termistores. 70



U A N L

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

®

3.- TRANSDUCTORES

3.1 MECANICOS PARA MEDICION DE FLUJO TIPO DE ORIFICIO.

Los dispositivos primarios de orificio para medición de flujo entre los que destacan los tubos Venturis y las placas de orificio entre otros, producen una señal con -- una relación definida al flujo del fluido de acuerdo con leyes físicas conocidas que relacionan la interacción del fluido a la presencia del dispositivo primario.

3.1.1 PRINCIPIOS DE OPERACION.

Las ecuaciones de razón de flujo para los medidores de orificio se desarrollaron de consideraciones teóricas modificadas por factores de corrección basados en evidencia empírica y adicionalmente se alteraron basados en consideraciones geométricas.

ECUACION PARA LIQUIDO.

La Ec. Dinámica para flujo de fluidos incompresibles en una dimensión se deriva de aplicar la 2da. Ley de Newton. La suma de las tres fuerzas en la dirección del flujo se iguala a la masa del elemento por su aceleración. Las fuerzas externas que actúan sobre las partículas del fluido en la dirección del flujo son:

- 1.- Fuerza producida por la acción de la presión estática.
- 2.- Fuerza debida al peso de las partículas.
- 3.- Esfuerzo de corte por viscosidad que actúa en las partículas.

Además la energía a lo largo de la corriente del fluido incompresible , no viscoso permanece constante.

La Figura 3.1.1 muestra la aplicación de la Ec. de Bernoulli a una corriente convergente en un tubo. La densidad es constante en todas las secciones, la velocidad es uniforme a través de cada sección, y la suma de la energía de -- presión, energía cinética y la energía potencial es constante.

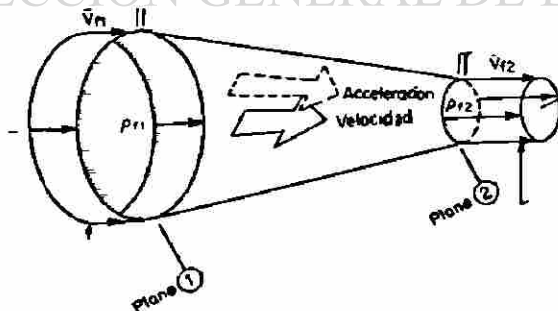


Fig.3.1.1 Secciones de un Venturi.

Si medimos la presión en estas dos posiciones la presión estática en el plano de mayor Area(1) sería mayor que la -

presión en el plano 2 (menor área). Considerando el centro de los planos 1 y 2 en un eje horizontal para que la altura promedio sea constante y se compense el efecto de peso por la acción de la fuerza de gravedad y considerando la densidad del fluido constante, la Ec. de Bernoulli se reduce a:

$$(P_{f1} - P_{f2}) / \rho_f = (V_{f2}^2 - V_{f1}^2) / 2gc \quad (\text{Ec. 3.1.1})$$

Donde :

- P_{f1} = Presión absoluta en la toma Plano 1 a condiciones de Flujo Kilo Pascals (kPa)
- P_{f2} = Presión absoluta en la toma Plano 2 a condiciones de flujo Kilo Pascals (kPa)
- ρ_f = Densidad a condiciones de flujo Kilogramo/metro cubico (kg/m³)
- V_{f2} = Velocidad de flujo en la toma del Plano 2 metros/segundos (m/s)
- V_{f1} = Velocidad de flujo en la toma del Plano 1 metros/segundos (m/s)
- gc = Constante de conversion dimensional=32.17405 kg. m/(N. s²)

Mediante manipulación matemática de esta Ec. se puede llegar a:

$$q_{mcs \text{ teorico}} = 3.512407 \times 10^{-5} \left(\frac{d^2}{\sqrt{1 - (d/D)^4}} \right) \sqrt{\Delta P \rho_f} \quad (\text{Ec. 3.1.2})$$

Donde:

- $q_{mcs \text{ teorico}}$ = Flujo teórico en metros cubicos/seg.
- ΔP = Presión Diferencial en Kilopascals (Kpa).
- d = Diámetro interior de la restricción - en mm.
- D = Diámetro interior de la tubería en mm.

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

ECUACION PARA GAS O VAPOR.

Para flujos de Gas o Vapor, la densidad de flujo no es constante entre los planos 1 y 2. Cuando la presión de gas disminuye para acomodar el incremento de energía cinética, la densidad disminuye, y la consideración de densidad constante ya no se aplica. Sólo para presiones diferenciales muy pequeñas se podrían aplicar con alguna exactitud las Ecs. 3.1.1 y 3.1.2. Con objeto de corregirlas se desarrolló un factor de expansión de gas de las Ecs. de Flujo termodinámicas, la cual expresa el balance de energía entre los planos 1 y 2, para un proceso adiabático, sin trabajo desarrollado ni diferencia de elevación, la ecuación para

gas se reduce a:

$$q_{\text{teorico}}(\text{mcs}) = 3.512497 \times 10^{-5} \frac{Y_1 d^2}{\sqrt{1 - (d/D)^4}} \sqrt{\frac{\Delta P}{\rho_{f1}}} \quad (\text{Ec. 3.1.3})$$

Y_1 = Factor de expansión adiabática, depende de la razón de diámetros, el exponente isoentropico y la razón de presiones medidas corriente abajo y corriente arriba.

De esta forma la Ec. de energía para flujo compresible (3.1.3) quedó similar a la Ec. de flujo másico (3.1.2) con la única diferencia del factor adicional Y_1 . La ecuación requiere determinar la densidad corriente arriba, por lo tanto la presión, temperatura y densidad se deben determinar también.

CORRECCIONES A LAS ECUACIONES.

Las ecuaciones de flujo teórico calculan la razón de flujo verdadero sólo cuando todas las consideraciones usadas para desarrollarlas son válidas. Esto es rara vez el caso, y el flujo verdadero es casi siempre menor que el valor teórico calculado. Que tan cerca se está del flujo verdadero, depende casi enteramente de la geometría de la contracción. Para un Venturi, donde la reducción del área es gradual. Fig. 3.1.1.2 el error esta dentro del 3%.

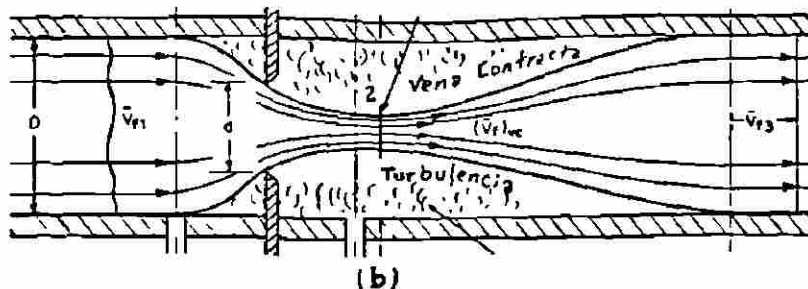
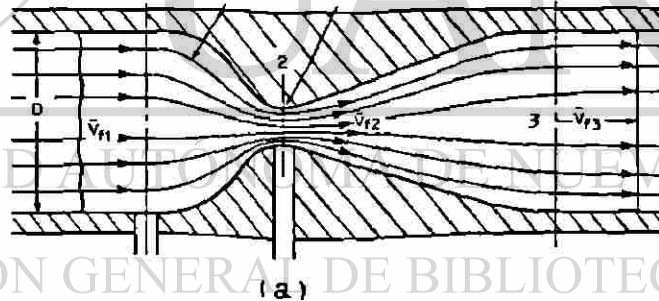


Fig. 3.1.1.2 Tipos de Contracción (a) Gradual (b) Abrupta.

Para una placa de orificio la reducción abrupta del área coloca el área de mínimo flujo corriente abajo de la placa en el plano de la vena contracta. Puesto que el diámetro de la vena contracta para un orificio no puede ser medido, la ecuación teórica incluye el orificio medido como el diámetro de correlación. También se incrementa la turbulencia corriente abajo, lo que resulta en una pérdida de energía que no se tomó en cuenta en la Ec. de Bernoulli, o en la Ec. Termodinámica de Energía para flujo constante. Estos dos factores ocasionan que el flujo verdadero venga a ser aproximadamente el 60% del valor teórico calculado. La ubicación de las dos tomas de medición es también importante debido a que establece la diferencial medida.

La Ec. Teórica se ajusta por estos efectos con dos correcciones empíricamente determinadas. La primera es el coeficiente de descarga C , el cual corrige por perfil de velocidad (número de Reynolds), localización de las tomas, y geometría de la contracción, el segundo es el factor de expansión térmica.

COEFICIENTE DE DESCARGA

Para un elemento primario dado, el coeficiente de descarga se deriva de datos de laboratorio relacionándolos a las razones de flujos verdaderos y teóricos. El flujo verdadero se determina pesando una colección volumétrica del fluido sobre un intervalo de tiempo medido, y la razón de flujo teórico se calcula con la Ec. 3.1.2. El coeficiente de descarga (C) se define como:

$$C = \text{Flujo Verdadero} / \text{Flujo Teórico} \quad \text{Ec. 3.1.4}$$

Se tienen gráficas de coeficiente de descarga, contra perfil de velocidad (Número de Reynolds).[®]

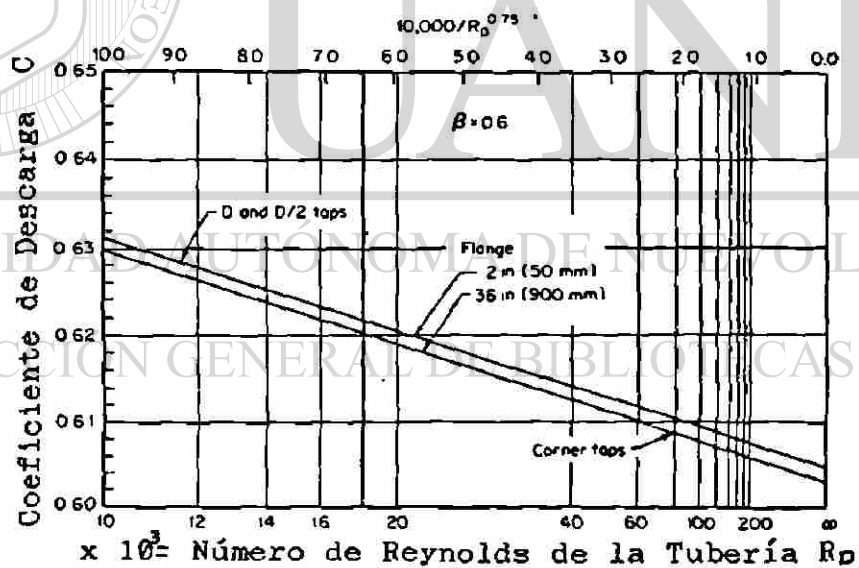
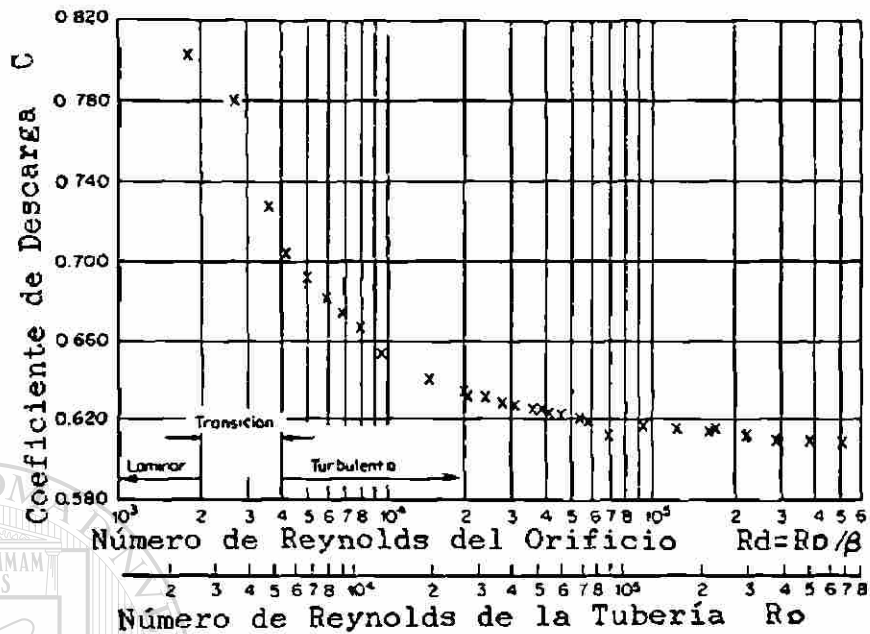


Fig. 3.1.1.3 Métodos de presentar gráficamente variaciones del coeficiente de descarga con el número de Reynolds de la tubería. a) Coeficiente de descarga de orificio para $D=4$ pulgadas $=100$ mm, $\beta = 0.73$ b) Curvas de Coeficiente de descarga, para diferentes tipos de toma de presión diferencial (Placa de orificio).

FACTOR DE EXPANSION TERMICA.

El material del elemento primario y la tubería se expanden o contraen contra la temperatura. Los diámetros de la tubería y del orificio se miden a temperaturas del laboratorio, pero serán mayores o menores cuando se usan a otras temperaturas. Un factor de expansión térmica (Fa) se ha desarrollado para corregir estas diferencias.

Cuando la tubería y el elemento primario son de materiales diferentes se tiene:

$$Fa = 1 + \frac{2}{1 - \beta^4} (\alpha_{pe} - \beta^4 \alpha_p) (T^{\circ}C - 20) \quad \text{Ec. 3.1.5}$$

Donde: α_{pe} = Coeficiente de expansión térmica del elemento primario mm/mm °C.

α_p = Coeficiente de expansión térmica de la tubería mm/mm °C.

β = Relación de diámetros = d/D.

Cuando $\alpha_{pe} = \alpha_p$ (lo cual es generalmente el caso)

$$Fa = 1 + 2\alpha_{pe} (T^{\circ}C - 20) \quad \text{Ec. 3.1.6}$$

Se tienen tablas con éstos coeficientes para los materiales mas comunes y figuras que representan Fa gráficamente.

FACTOR DE EXPANSION DE GAS PARA EL ORIFICIO.

Por conveniencia la Ec. de Energía Termodinámica para flujo constante para Gases se arregló en la forma de la Ec. de Líquidos, introduciendo el factor de expansión de Gas (Y1) para corregir cambios de densidad entre las tomas.

A presiones diferenciales pequeñas, el factor de expansión de gas (Y1) se aproxima a la unidad.

Para Venturis y Toberas la expansión de gas se considera puramente axial, y;

$$Y_1 = \left\{ \frac{[1 - (d/D)^4] [k/(k-1)] (P_{f2}/P_{f1})^{2/k} [1 - (P_{f2}/P_{f1})^{(k-1)/k}]}{[1 - (d/D)^4] (P_{f2}/P_{f1}) (1 - P_{f2}/P_{f1})} \right\}^{1/2} \quad \text{Ec. 3.1.7}$$

Para placas de Orificio, la expansión es axial y radial y una ecuación empírica se usa para calcular el factor de expansión de gas.

Para medición de Presión corriente arriba y localización de las tomas a menos de D/2 de la cara del orificio.

$$Y_1 = 1 - (0.41 + 0.35 \beta^4) \frac{\Delta P}{P_{f1} \cdot k} \quad \text{Ec. 3.1.8}$$

Para tomas (2 1/2D y 8D) la Ec. es:

$$Y_1 = 1 - [0.333 + 1.145(\beta^2 + 0.7\beta^5 + 12\beta^8)] \frac{\Delta P}{P_f 1 \cdot k}$$

Ec. 3.1.9

k = Coeficiente isoentrópico.

$$k = \frac{\text{Calor Específico a Presión constante}}{\text{Calor Específico a volumen constante}}$$

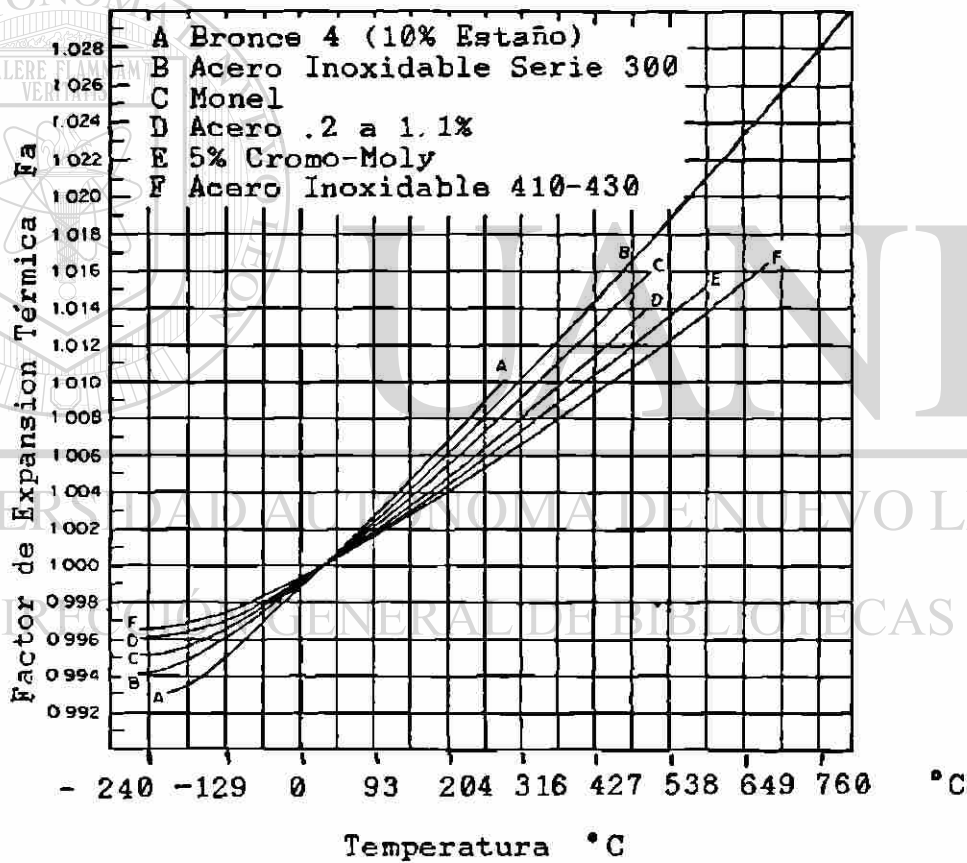


Fig. 3.1.1.4 Factor de Expansión Termica "Fa".

ECUACION FUNDAMENTAL PARA LIQUIDOS Y GASES.

La Ec. de razón de flujo másico verdadero para ambos - Líquidos y Gases (ó vapores) se obtiene de multiplicar la Ec. de flujo másico teórico 3.1.2 por el coeficiente de - descarga (C), el factor de expansión de gas Y1, y el factor de expansión térmica (Fa), La Ec. es entonces:

$$Q_{kps} = 3.512407 \times 10^{-5} \frac{CY_1 F_{ad}^2}{\sqrt{1 - \beta^4}} \sqrt{\Delta P \cdot \rho_{f1}} \quad \text{Ec. 3.1.10}$$

FACTOR N

Este factor se obtiene de las relaciones entre flujo -- másico y volumétrico a condiciones de flujo y a condiciones de referencia. Por lo tanto se tiene una Ec. para cada tipo de unidades (Sistema Metrico Decimal Internacional (SI) y Sistema Ingles (US)).

Las tres razones de Flujo que se usan son:

- 1.- Razón de Flujo másico (kilogramos masa/hr), o (libras masa/hr)
- 2.- Razón de flujo volumétrico (metros cúbicos/hr), o (pies cúbicos/hr)
- 3.- Razón de flujo volumétrico a presión y temperatura base standard (metros cúbicos/hr) o (pies cúbicos/hr) a (101.325 kPa) (14.69595 psia) y (15°C) (59°F)

En este trabajo nos referimos al sistema S. I. (Standard Internacional) las unidades que se utilizarán son como ya se mencionó, Pf y ΔP en (kpa), d y D en (mm), ρ (kg/m³) y Tk (Temperatura absoluta en Grados Kelvin °K).

A continuación se darán las tablas de Factores N para las diferentes Ecuaciones en sistema S. I. (Tablas 3.1.1 y 3.1.2).

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Tabla 3.1.1 factor N para Flujo Masico Unidades S. I.

Nmp Ecuación de Densidad, Liquido y gas (Vapor).

Tiempo	Kilogramos (kg)	Gramo (g)
s	0.00003512407	0.03512407
min	0.0021074444	2.1074444
h	0.1264467	126.4467
24 h	3.034720	3034.720

Nmg Ecuación de Gravedad Especifica, (Liquido)

Tiempo	Kilogramos (kg)	Gramo (g)
s	0.001110172	1.110172
min	0.06661032	66.61031
h	3.996619	3996.619
24 h	95.91886	95918.86

NmpT Ecuación pvT, gas (vapor)

Tiempo	Kilogramos (kg)	Gramo (g)
s	0.00006555517	0.06555517
min	0.003933310	3.933310
h	0.2359986	235.9986
24 h	5.663967	5663.967

Tabla 3.1.2 Factor N para Flujo Volumétrico Unidades S. I.

Nvp Ecuación de Gravedad Especifica (Liquido)

Nvg Ecuación de Densidad Liquido y Gas (Vapor)

Nvp			Nvg		
Tiempo	Metros Cubicos	Litros	Tiempo	Metros Cubicos	Litros
s	0.00003512407	0.03512407	s	0.00000111127	0.00111127
min	0.002107444	2.107444	min	0.00006667619	0.06667619
h	0.1264467	126.4467	h	0.004000571	4.000571
24 h	3.034720	3034.720	24 h	0.09601371	96.01371

Ecuación pvT, Gas (Vapor)

Base Seleccionada (NvpT)^b

Base estandard (NvpT)

Tiempo	Base Seleccionada (NvpT) ^b		Base estandard (NvpT)	
	Metros Cubicos	Litros	Metros Cubicos	Litros
s	0.00001881927	0.01881927	0.00005351861	0.05351861
min	0.001129156	1.129156	0.003211117	3.211117
h	0.06774938	67.74938	0.1926670	192.6670
24 h	1.625985	1625.985	4.624008	4624.008

FACTOR DE TAMAÑO S_m .

La Ec. fundamental 3.1.3 puede reescribirse en una forma general para cualquier conjunto de unidades de razón de flujo, usando el factor de conversión de unidades N .

$$q = \frac{NCFaYd^2}{\sqrt{1-\beta^4}} \cdot f(\rho) \sqrt{\Delta P} \quad \text{Ec. 3.1.11}$$

Donde la función de densidad $f(\rho)$ depende de la razón de flujo que se desea manejar, másico o volumétrico.

Inicialmente, el orificio se determina para satisfacer una razón de flujo de diseño, tamaño de tubería, y presión diferencial deseada. La razón de Ecuación de flujo se reescribe en terminos de estas cantidades conocidas introduciendo un factor de tamaño o S_m , definido como

$$S_m = \frac{CY\beta^2}{\sqrt{1-\beta^4}} \quad \text{EC. 3.1.12}$$

Puesto que $d = \beta D$ la Ec. 3.1.11 puede expresarse para líquidos y gases (vapores) como:

$$q = N S_m F_a D^2 f(\rho) \sqrt{\Delta P} \quad \text{Ec. 3.1.13}$$

Rearreglando esta Ec. para resolver para S_m en unidades SI:

$$S_m = \frac{q}{N F_a D^2 f(\rho) \sqrt{\Delta P}} \quad \text{Ec. 3.1.14}$$

El valor del factor S_m es constante sobre el rango de razón de flujo. Se calcula sustituyendo los datos de operación de diseño en el lado derecho de la Ec. 3.1.14. A continuación se da la Tabla 3.1.3 de Factores S_m para unidades de flujo SI.

Tabla 3.1.3 Ecuaciones de Factor de Tamaño S_m , para unidades de flujo S. I.

	Líquido	Gas (vapor)
RAZON DE FLUJO MASICO		
Densidad	$S_M = \frac{q_m}{N_{2p} F_2 D^{0.2} \sqrt{F_p} \sqrt{\rho_f^2} \sqrt{\Delta p^2}} \quad (a)$	$S_M = \frac{q_m}{N_{2p} F_2 D^{0.2} \sqrt{\rho_{f1}} \sqrt{\Delta p^2}} \quad (g)$
Gravedad Especifica	$S_M = \frac{q_m}{N_{2c} F_2 D^{0.2} \sqrt{F_p} \sqrt{G_f} \sqrt{\Delta p^2}} \quad (b)$	
Ecuación pvT		$S_M = \frac{\sqrt{Z_n} \sqrt{T_n} q_m}{N_{2p} F_2 D^{0.2} \sqrt{G} \sqrt{\Delta p^2} \rho_{f1}} \quad (h)$
RAZON DE FLUJO VOLUMETRICO A CONDICIONES DE FLUJO.		
Densidad	$S_M = \frac{\sqrt{F_p} \sqrt{\rho_f} q_v}{N_{2p} F_2 D^{0.2} \sqrt{\Delta p^2}} \quad (c)$	$S_M = \frac{\sqrt{\rho_{f1}} q_v}{N_{2p} F_2 D^{0.2} \sqrt{\Delta p^2}} \quad (i)$
Gravedad Especifica	$S_M = \frac{\sqrt{F_p} \sqrt{G_f} q_v}{N_{2c} F_2 D^{0.2} \sqrt{\Delta p^2}} \quad (d)$	
Ecuación pvT		$S_M = \frac{\sqrt{G} \sqrt{\rho_{f1}} q_v}{N_{2p} F_2 \sqrt{Z_n} \sqrt{T_n} D^{0.2} \sqrt{\Delta p^2}} \quad (j)$
RAZON DE FLUJO VOLUMETRICO A CONDICIONES BASE.		
Densidad	$S_M = \frac{\rho_b q_b}{N_{2p} F_2 D^{0.2} \sqrt{F_p} \sqrt{\rho_f^2} \sqrt{\Delta p^2}} \quad (e)$	$S_M = \frac{\rho_b q_b}{N_{2p} F_2 D^{0.2} \sqrt{\rho_{f1}} \sqrt{\Delta p^2}} \quad (k)$
Gravedad Especifica	$S_M = \frac{G_b q_b}{N_{2c} F_2 D^{0.2} \sqrt{F_p} \sqrt{G_f} \sqrt{\Delta p^2}} \quad (f)$	
Ecuación pvT		
Base Estandar		$S_M = \frac{\sqrt{Z_n} \sqrt{T_n} \sqrt{G} q_b}{N_{2p} F_2 Z_b D^{0.2} \sqrt{\Delta p^2} \rho_{f1}} \quad (l)$
Base Seleccionada		$S_M = \frac{\sqrt{Z_n} \sqrt{T_n} \sqrt{G} \rho_b q_b}{(N_{2p} F_2 Z_b T_n D^{0.2} \sqrt{\Delta p^2} \rho_{f1})} \quad (m)$

Tabla 3.1.4 Número de Reynolds relacionado a Razón de Flujo Unidades S. I.

	Líquido	Gas (vapor)
RAZON DE FLUJO MASICO.		
Densidad	$R_D = \left[44.72136 \frac{1}{\mu_{sp} D^* N_{Re}^*} \right] q_m \quad (a)$	$R_D = \left[44.72136 \frac{1}{\mu_{sp} D^* N_{Re}^*} \right] q_m \quad (g)$
Gravedad Específica	$R_D = \left[1413.515 \frac{1}{\mu_{sp} D^* N_{Re}^*} \right] q_m \quad (b)$	
Ecuacion pvT		$R_D = \left[83.46744 \frac{1}{\mu_{sp} D^* N_{Re}^*} \right] q_m \quad (h)$
RAZON DE FLUJO VOLUMETRICO A CONDICIONES DE FLUJO.		
Densidad	$R_D = \left[44.72136 \frac{\rho_l^*}{\mu_{sp} D^* N_{Re}^*} \right] q_v^* \quad (c)$	$R_D = \left[44.72136 \frac{\rho_{l1}^*}{\mu_{sp} D^* N_{Re}^*} \right] q_v^* \quad (i)$
Gravedad Específica	$R_D = \left[1413.515 \frac{F_p G_f}{\mu_{sp} D^* N_{Re}^*} \right] q_v^* \quad (d)$	
Ecuacion pvT		$R_D = \left[83.46744 \frac{G_p \rho_{l1}^*}{Z_{R1} T_{R1} \mu_{sp} D^* N_{Re}^*} \right] q_v^* \quad (j)$

	RAZON DE FLUJO VOLUMETRICO A CONDICIONES BASE.	
Densidad	$R_D = \left[44.72136 \frac{\rho_l^*}{\mu_{sp} D^* N_{Re}^*} \right] q_v^* \quad (e)$	$R_D = \left[44.72136 \rho_l^* \frac{1}{\mu_{sp} D^* N_{Re}^*} \right] q_v^* \quad (k)$
Gravedad Específica	$R_D = \left[1413.515 \frac{G_b}{\mu_{sp} D^* N_{Re}^*} \right] q_v^* \quad (f)$	
Ecuacion pvT Base Estandar		$R_D = \left[83.46744 \frac{G}{Z_b \mu_{sp} D^* N_{Re}^*} \right] q_v^* \quad (l)$
Ecuacion pvT Base Seleccionada		$R_D = \left[83.46744 \frac{G_p \rho_{l1}^*}{Z_b T_{Rb} \mu_{sp} D^* (N_{Re}^*)_b} \right] q_v^* \quad (m)$

TAMAÑO DEL ORIFICIO APROXIMACION β_0 .

Para rangos normales de operación para líquidos y gases (vapores), el coeficiente de descarga no varía significativamente con el número de Reynolds, y puede expresarse con seguridad razonable como:

$$C = k_1 + k_2 S_m \quad \text{Ec. 3.1.15}$$

Donde k_1 y k_2 son constantes que se obtienen considerando el coeficiente de descarga a un número infinito de Reynolds o, a un valor seleccionado dentro de un rango al cual se calcula S_m . Si el factor de expansión de gas Y es 1 se tiene la primera aproximación a β , como β_0 :

$$\beta_0 = \left[1 + \left(\frac{k_1 + k_2 S_m}{S_m} \right)^2 \right]^{-1/4} = \left[1 + \left(\frac{k_1}{S_m} + k_2 \right)^2 \right]^{-1/4} \quad \text{Ec. 3.1.16}$$

Esto simplifica los cálculos permitiendo calcular directamente del factor S_m . Y únicamente se requiere verificar el número de Reynolds (RD) de la tubería para asegurar que está arriba del mínimo. (Tabla 3.1.4)

La Tabla 3.1.5 da los límites de las variables para una exactitud en el tamaño del orificio entre 1 y 3%. La Tabla 3.1.6 muestra las Ecs. de Aproximación de β_0 . La Tabla 3.1.7 resume el procedimiento de cálculo para líquidos y la Tabla 3.1.8 el procedimiento para gas (vapor).

Tabla 3.1.5 Método de Límite de tamaño sobre β_0 para aproximación al 3% de seguridad.

	Líquido	Gas (vapor)
Número de Reynolds		
Placa de orificio	$R_D \geq 10,000$	$R_D \geq 10,000$
Tobera Venturi	$R_D \geq 100,000$	$R_D \geq 10,000$
Lo-Loss	$R_D \geq 100,000$	$R_D \geq 10,000$
Factor de Expansión $Y_1 = 1.0$		$\frac{h_w}{p_D} \leq 0.5; \frac{\Delta p^*}{p_{f1}} \leq 0.02$
	$Y_2 = 1.0$	$\frac{h_w}{p_D} \leq 1.0; \frac{\Delta p^*}{p_{f1}} \leq 0.04$

La razón de flujo se considera de 0.8 del límite superior y la Presión diferencial de 0.64 del límite superior.

Tabla 3.1.6 Ecuaciones para tamaño aproximado de β_0 .

SENSOR	ECUACION	
VENTURI		
Entrada Maquinada	$\beta_0 = \left[1 + \left(\frac{0.995}{S_M} \right)^2 \right]^{-1/4}$	(a)
Entrada Tosca	$\beta_0 = \left[1 + \left(\frac{0.984}{S_M} \right)^2 \right]^{-1/4}$	(b)
Lamina de hierro soldada	$\beta_0 = \left[1 + \left(\frac{0.985}{S_M} \right)^2 \right]^{-1/4}$	(c)
Tubo Venturi Universal	$\beta_0 = \left[1 + \left(\frac{0.9797}{S_M} \right)^2 \right]^{-1/4}$	(d)
Tubo Lo-loss	$\beta_0 = \left[1 + \left(\frac{0.92}{S_M} - 0.31 \right)^2 \right]^{-1/4}$	(e)
TOBERA		
Radio largo "ASME"	$\beta_0 = \left[1 + \left(\frac{0.9975}{S_M} \right)^2 \right]^{-1/4}$	(f)
ISA	$\beta_0 = \left[1 + \left(\frac{0.9944}{S_M} - 0.118 \right)^2 \right]^{-1/4}$	(g)
Tobera Venturi (Entrada ISA)	$\beta_0 = \left[1 + \left(\frac{0.989}{S_M} - 0.09 \right)^2 \right]^{-1/4}$	(h)
PLACA DE ORIFICIO		
Tomas de Esquina, Brida, D y D/2		
$R_D < 200,000$	$\beta_0 = \left[1 + \left(\frac{0.6}{S_M} + 0.06 \right)^2 \right]^{-1/4}$	(i)
$R_D > 200,000$	$\beta_0 = \left[1 + \left(\frac{0.6}{S_M} \right)^2 \right]^{-1/4}$	(j)
Tomas 2 1/2 D y 8D	$\beta_0 = \left[1 + \left(\frac{0.61}{S_M} + 0.55 \right)^2 \right]^{-1/4}$	(k)
Placa Excentrica	$\beta_0 = \left[1 + \left(\frac{0.607}{S_M} + 0.068 \right)^2 \right]^{-1/4}$	(l)
Placa Segmental	$\beta_0 = \left[1 + \left(\frac{0.634}{S_M} - 0.062 \right)^2 \right]^{-1/4}$	(m)
Cuadrante ($\beta \leq 0.6$)	$\beta_0 = \left[1 + \left(\frac{0.76}{S_M} + 0.26 \right)^2 \right]^{-1/4}$	(n)
Esquina, Conica ($\beta \geq 0.3$)	$\beta_0 = \left[1 + \left(\frac{0.734}{S_M} \right)^2 \right]^{-1/4}$	(o)

Tabla 3.1.7 PROCEDIMIENTO PARA OBTENER β_0 PARA LIQUIDOS.

PROCEDIMIENTO	PARAMETROS	REFERENCIA
1.-Seleccionar la razón de Flujo, Tamaño de la Línea, Diferencial de Presión, y la Ec. para factor Sm.		
a) Seleccionar el valor de la razón de flujo para el rango superior, la unidad de flujo puede ser masa o volumen.	qmax	
b) Seleccionar la Ec. para el factor Sm para líquidos o gases basados en las unidades de razón de flujo y el método de determinación de densidad ($\rho_f G_f$).	Sm	Tabla 3.1.3
c) Obtener el factor N para las unidades de razón de flujo deseadas.	N	Tablas 3.1.1 y 3.1.2
d) Seleccionar la diferencial de presión de rango superior, para la razón de flujo de rango superior, (Usar 25 Kpa si no se especifica otro valor).	ΔP_{max}	
e) Obtener el diámetro nominal de la tubería.	D	
2.-Escalar a la razón de flujo normal de operación.		
a) Multiplicar la razón de flujo máximo por 0.8 y usar este en todos los cálculos subsiguientes.	(q)n	
b) Multiplicar la diferencial de presión de rango superior por 0.64 y usar esta en todos los cálculos subsiguientes.	ΔP_n	
3.-Obtener las propiedades de los flujos.		
a) De la Ec. de factor seleccionado Sm, tabular las propiedades necesarias de flujo para resolver para Sm.	Sm	Tabla 3.1.3
b) Obtener la densidad o gravedad específica necesaria de mediciones, tablas, gráficas, o Ecs. de predicción.		

PROCEDIMIENTO	PARAMETROS	REFERENCIA
c) Obtener la viscosidad del fluido de mediciones, tablas ó gráficas convertir a centipoises si es necesario.	G_f, μ_{cp}	
d) Calcular el número de Reynolds de la tubería y asegurar que esté arriba del rango del mínimo número de Reynolds dado en la tabla.	R_D	Tabla 3.1.4
4.-Calcular el factor S_m .		
a) Ajustar el valor de compresibilidad F_p a 1.0 si es desconocido o considerado ser despreciable.	F_p	
b) Calcular u obtener gráficamente el factor de expansión térmica.	F_a	
c) Sustituir valores en la Ec. de factor S_m y resolverla para S_m .	S_m	Tabla 3.1.3
5.-Calcular β_0 . Para el dispositivo primario seleccionado, sustituir el valor de S_m en la Ec. de β_0 .		Tabla 3.1.6
6.-Calcular el diámetro de la restricción del elemento primario como $d = \beta_0 D$.	d	

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Tabla 3.1.8 PROCEDIMIENTO PARA OBTENER β_0 PARA GASES (VAPORES).

PROCEDIMIENTO	PARAMETROS	REFERENCIA
1.-Seleccionar la razón de Flujo, Tamaño de la Línea, Diferencial de Presión y Factor N.		
a) Seleccionar el valor de razón de flujo para el rango superior, y el mínimo suficiente para una lectura adecuada. La unidad de flujo - puede ser masa o volumen; - para volumen de flujo a condiciones base, usar (101.325 Kpa) y (15°C) como standard a menos que se especifiquen otras condiciones industriales como referencia o base-standard.	q_{max}	
b) Seleccionar el Factor N para las unidades de razón de flujo deseadas.	N	Tablas 3.1.1 y 3.1.2
c) Seleccionar la Presión Diferencial de rango superior, para razón de flujo máximo. (Usar 25 Kpa si no se especifica otro valor).	ΔP_{max}	
d) Limitar $\Delta P/P_f^2 < .04$ (Cuando esto sea posible).		
e) Obtener el Diámetro nominal de la tubería.	D	
<hr/>		
2.-Escalar a la razón de flujo -- normal de Operación.		
a) Multiplicar la razón de flujo máximo por 0.8 y usar -- este en todos los cálculos subsecuentes.	$(q)n$	
b) Multiplicar la presión diferencial de rango superior -- por 0.64 y usar esta en todos los cálculos subsecuentes.	$(\Delta P)n$	
<hr/>		
3.-Obtener las propiedades de los flujos.		
a) Obtener la densidad, para el fluido que se va a medir, de Tablas, Gráficas, o calcularla de las leyes de Gases (PVT).	ρ_f	

PROCEDIMIENTO	PARAMETROS	REFERENCIA
b) Para la Ec. PVT, seleccionar: Temperatura de Operacion Gravedad Especifica Factor de Compresibilidad	Tk G Zf	
c) Para la Ec. de Factores de Gas, calcular u obtener de Tablas los factores de multiplicación. Temperatura base (para base standard Ftb=1.0) Presion base (para base -- standard F=1.0) Temperatura de flujo Gravedad especifica Factor de Super compresibilidad.	Ftb Fpb Ftf Fg Fpv	
d) Obtener la viscosidad del fluido de mediciones, tablas o graficas; convertir a centipoises si es necesario.	μ_{cp}	
e) Calcular el número de Reynolds de la tubería para asegurar que está arriba del número mínimo dado en la tabla.	Rd	
4.- Calcular el factor Sm.		
a) Ajustar el factor de compresibilidad base Zb a -- 1.0 para la mayoría de las aplicaciones prácticas.	Zb	
b) Calcular o determinar gráficamente el factor de expansión térmica.	Fa	
c) Sustituir valores en la -- Ec. del factor Sm para determinarlo.	Sm	Tabla 3.1.3
5.- Calcular β_o : Para el dispositivo primario seleccionado, sustituir el valor de Sm en la -- Ec. de β_o .	β_o	Tabla 3.1.6
6.- Calcular el diámetro de la -- restricción del elemento primario como $d = \beta_o D$.	d	

3.1.2.- TUBO VENTURI.

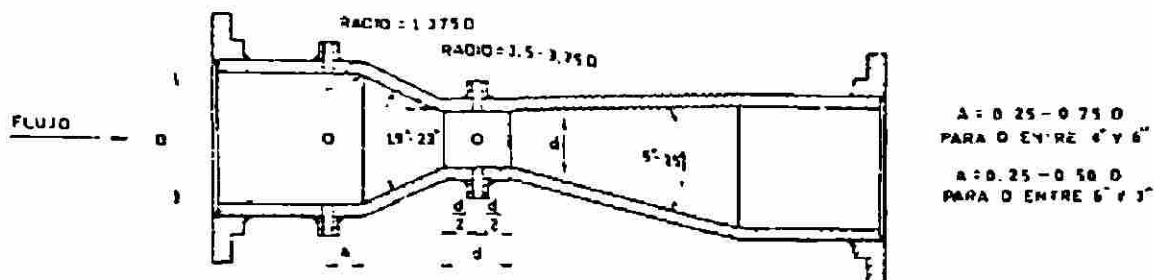


Fig. 3.1.2.1 Tipo Clásico.

El Tubo Venturi clásico consiste en un breve tramo de tubo recto de entrada unido a un cono truncado con un ángulo de 19° a 23° .

Este cono de entrada está, a su vez, unido a una sección cilíndrica de diámetro menor del tubo recto de entrada.

Esta sección es la restricción del Tubo Venturi y es denominada "Garganta".

A la garganta sigue, el cono difusor de salida, con un ángulo de 5° a 15° .

En algunos casos, después del cono de salida, se coloca un tramo recto de tubo.

Donde existe problema de espacio o por razones de economía, se puede conectar directamente el cono de salida a la línea.

Las tomas de presión de diferencial están localizadas: Las de alta presión en el tramo recto de entrada y las de baja presión en el centro de la garganta.

En algunos casos, con el objeto de promediar las presiones, las tomas son varias, distribuidas en el mismo diámetro y unidas con un anillo que se denomina "Anillo Piezométrico".

El Tubo Venturi se instala en la línea por medio de bridas o soldado.

Este elemento primario de flujo tiene ventajas y desventajas respecto a la Placa Orificio:

- Ventajas: - Menor pérdida de presión permanente.
- Tomas integrales.
 - Requiere menor longitud de tubo recto a la entrada.
 - No está sujeto a obstrucciones por solidos suspendidos en el fluido.
 - Se puede usar en una tuberia que no tiene bridas.
 - Su coeficiente de descarga es bien conocido.

Desventajas:

- Es el elemento primario de mayor costo.
- Es el de mayor peso y dimensiones.

Las características arriba descritas hacen que el Tubo Venturi sea particularmente recomendable cuando el fluido contiene grandes cantidades de solidos en suspensión y cuando es necesario tener una caída de presión muy baja.

También en el Tubo Venturi es importante observar las normas sobre el acabado de las tomas de presión, para obtener la máxima exactitud de la medición.

Del Tubo Venturi clasico, derivan varios elementos primarios de flujo, patentados, cuyas características sobresalientes son: menores dimensiones y menor pérdida permanente de presión, respecto al Venturi clasico. En estos, mencionamos: El tubo de flujo de baja pérdida, el tubo Dall y el tubo de flujo Foster.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

3.1.3.- PLACA DE ORIFICIO.

PLACA DE ORIFICIO CONCENTRICA CON ESQUINAS RECTAS.

Es el elemento primario que, por su bajo costo, debería tener prioridad, todas las veces que es compatible con el sistema. Esta constituido por un disco metalico pulido a espejo, de espesor relativamente pequeño. El diámetro exterior es tal que la Placa pueda montarse entre los tornillos de la Brida Porta-Placa.

Tiene una oreja, con los datos de flujo grabados, que en el montaje, sobresale de la Brida.

La restricción, que se denomina "Orificio", es circular y concentrica con el diámetro exterior. El orificio es maquinado recto, sin chaflanes. El diámetro del orificio se identifica en general con la letra "d" y la relación d/D , donde D es el diámetro interior de la línea, se denomina "Relación Beta".

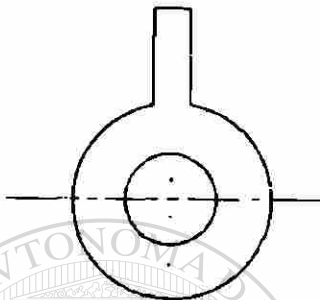


Fig. 3.1.3.1
Concentrica.

PLACA DE ORIFICIO EXCENTRICA

En este tipo de placa, el orificio es excéntrico respecto al diámetro exterior.

Se usa especialmente para fluidos que tienen solidos en suspensión. Se instala en forma tal que el borde inferior del orificio sea tangente con el orificio inferior del tubo.

En esta forma, se evita acumulación de sólidos en el lado de entrada de la Placa.

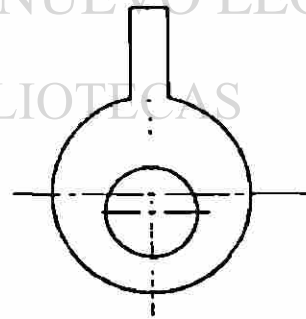


Fig. 3.1.3.2
Excentrica.

PLACA DE ORIFICIO SEGMENTAL.

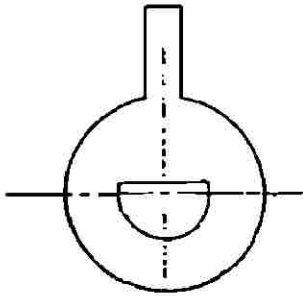
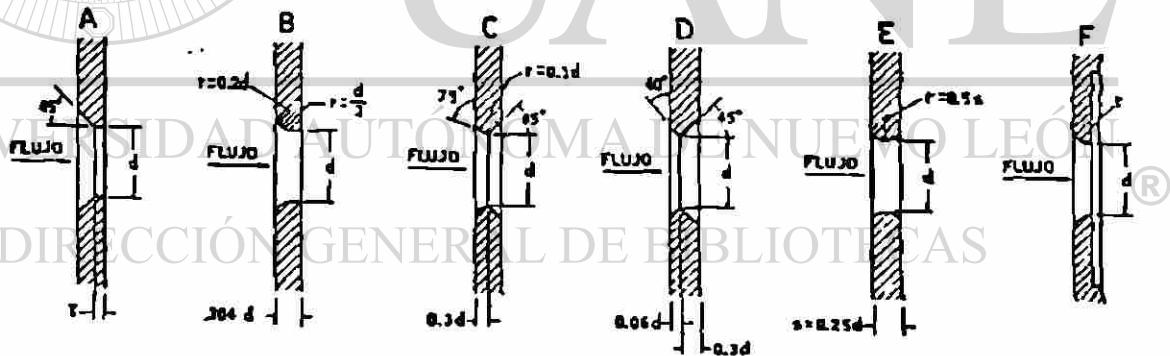


Fig. 3.1.3.3
Segmental.

En éste tipo de Placa, el orificio esta constituido por un segmento de circulo y es montada en forma tal, que la parte circular del segmento coincida con la superficie interior del tubo.

Este tipo es apropiado para flujos de gases y liquidos que contienen muchos sólidos porque previene la acumulacion de sólidos en el lado de entrada.

Para tratar de balancear los efectos de las variaciones de velocidad y viscosidad en las mediciones con bajo número de Reynolds, se han desarrollado varios perfiles especiales de orificio que minimizan éstos efectos:



El espesor de la placa debe ser despreciable, comparado con el diametro del orificio.

Fig. 3.1.3.4 Perfiles de Placa.

INSTALACION DE PLACAS ORIFICIO.

Después de la restricción representada por el orificio, normalmente el área de la corriente de fluido sigue disminuyendo hasta un valor mínimo y luego vuelve a aumentar, hasta alcanzar nuevamente el área total del tubo. La sección donde el área de la corriente tiene su valor mínimo se denomina "Vena Contracta".

Este es el punto que genera la máxima presión diferencial. De esto, se deduce la importancia de la localización de las tomas de presión diferencial (taps), respecto a la placa. Los métodos utilizados más frecuentemente para localizar las tomas de presión diferencial en placas orificios son:

TOMAS DE BRIDA

Las tomas de presión diferencial están localizadas a 1" -- de distancia, antes y después de las caras de la Placa Orificio.

Es aplicable a tuberías de 2" de diámetro y mayores.

Como las tomas son colocadas por el mismo fabricante de las bridas, este sistema elimina posibles errores de localización en el campo.

Es el método mayormente utilizado.

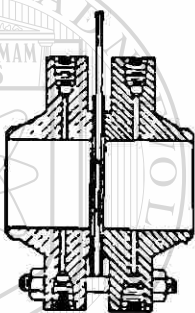


Fig. 3. 1. 3. 5

Tomas de Brida.

TOMAS DE ESQUINA.

Las tomas de presión diferencial están localizadas directamente e inmediatamente antes y después de las caras de la Placa Orificio.

Se utilizan en tuberías con diámetro menor de 2".

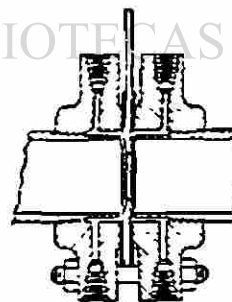
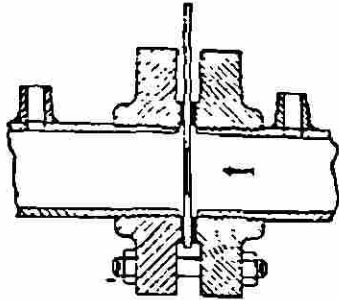


Fig. 3. 1. 3. 6

Tomas de Esquina.

TOMAS DE VENA CONTRACTA.

Las tomas de presión diferencial están localizadas, la de alta presión a una distancia igual a 1 diámetro de tubería y la de baja presión en el punto de mínima presión estática, o sea en la sección de "Vena Contracta".



Vena Contracta.

Fig. 3.1.3.7

Los taladros de las tomas de presión diferencial deben tener superficies lisas, ser ligeramente redondeados en los extremos y ser rectos desde la entrada por una longitud no inferior a 2 1/2 veces el diámetro de la toma.

La Placa Orificio debe ser instalada en forma tal que la cara de la oreja, grabada con los datos, mire hacia el lado antes de la Placa Orificio, respecto al flujo.

Esto asegura que el perfil del orificio quede en el lado correcto.

Además, la oreja debe ser alineada con las tomas de presión.

TUBO DE MEDICION.

Para el máximo de precisión en la medición de flujo con Placas Orificios, son disponibles Tubos de Medición, completamente prefabricados, hechos de tubos seleccionados, con bridas y tomas de presión exactamente instaladas.

Estos Tubos de Medición tienen la ventaja de ser fabricados por personal especializado, en los talleres bien equipados, así que los resultados son en general, más satisfactorios y, a la larga, más económicos de los que se obtienen con la fabricación en el campo.

El Tubo de Medición tiene una longitud mínima igual a 10 diámetros antes de la Placa Orificio y 5 diámetros después.

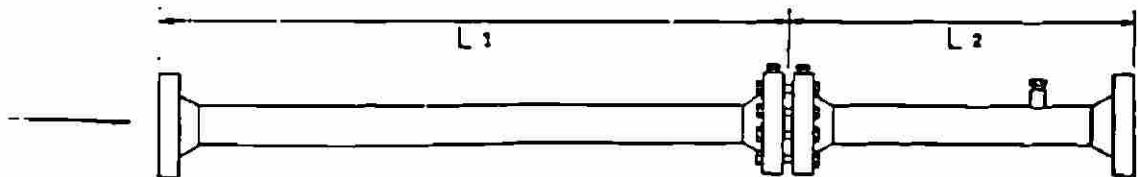


Fig. 3.1.3.8 Tubo de Medición.

3.2 TERMICOS .

Entre los sensores térmicos más aplicados en la industria se tienen los Termopares, Detectores de Temperatura por resistencia ó RTD, Termistores, Pirómetros de radiación, Pirómetros Ópticos, etc. A continuación se describirán los 3 primeros ampliamente.

3.2.1 TERMOPARES.

Un termopar es básicamente un elemento primario de medición, que consiste en dos metales distintos, tales como el hierro y el constantan que unidos producen una Fem cuando las uniones estan a diferentes temperaturas. La unión caliente o de medición es el extremo insertado en el medio donde la temperatura va a ser medida. La unión fría o de referencia es la parte normalmente conectada a las terminales de medición del instrumento.

La Fem de un termopar aumenta, cuando la diferencia en temperatura de las uniones aumenta. Por lo tanto, un instrumento sensible capaz de medir una Fem se puede usar para leer temperatura directamente.

UNION DE REFERENCIA. Las curvas de Fem vs. temperatura para termopares estan basadas en temperaturas de unión de referencia de 0°C , el termopar genera cero milivoltaje cuando ambas uniones, la de medición y la de referencia estan a la misma temperatura, además podría existir una variación no compensada en la temperatura de la unión de referencia, entonces habría un cambio correspondiente en el milivoltaje con un error resultante en la medición de temperatura.

No siempre es posible mantener la unión de referencia en una temperatura deseada, pero si la temperatura de la unión de referencia se mide o se conoce, es posible aplicar correcciones a la Fem observada, para efectuar una medición correcta. Cuando se trabajaba en laboratorios muy en el pasado la unión de referencia del termopar se colocaba en una botella al vacío, llena con hielo, este método daba un control cerrado de temperatura (dentro de una fracción de grado) y permitía una lectura segura.

Para asegurarse de tener lecturas seguras, los termopares estan ahora instalados en instrumentos, los cuales tienen una compensación automática. En muchos instrumentos, esto se realiza pasando una corriente através de un resistor que aumenta su valor de resistencia proporcionalmente con la temperatura la cual mide las variaciones en la temperatura de referencia, y automáticamente provee la Fem necesaria de compensación por medio de la caída de voltaje producida a través de él.

Las instalaciones industriales; consisten generalmente de un termopar con su cabeza de conexiones, la longitud necesaria de alambre de extensión y un indicador, registrador o controlador con compensación automática interna de la unión de referencia.

La interferencia eléctrica puede ser dañina si los alambres de extensión pasan cerca de conductores que llevan corriente de generadores, motores, circuitos, etc., una solución a esto es proteger el alambre con malla o quitar el alambre de su posición cercana a los conductores.

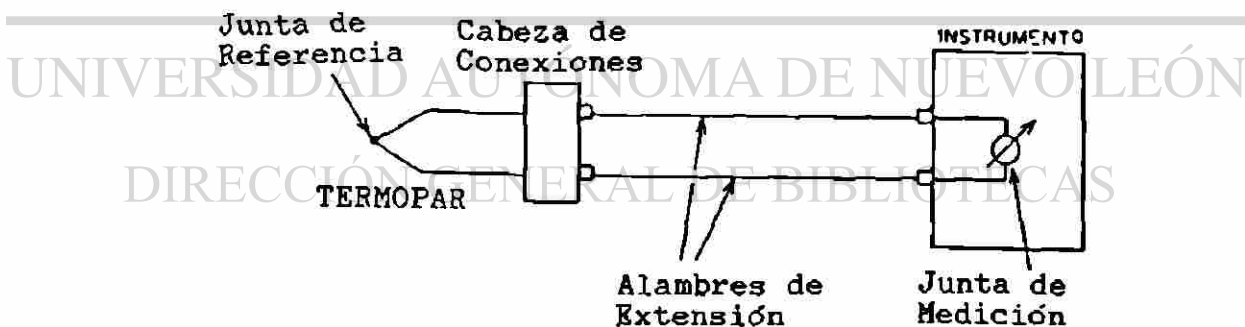
TIPOS COMUNES DE TERMOPARES.

Termopares de metal base

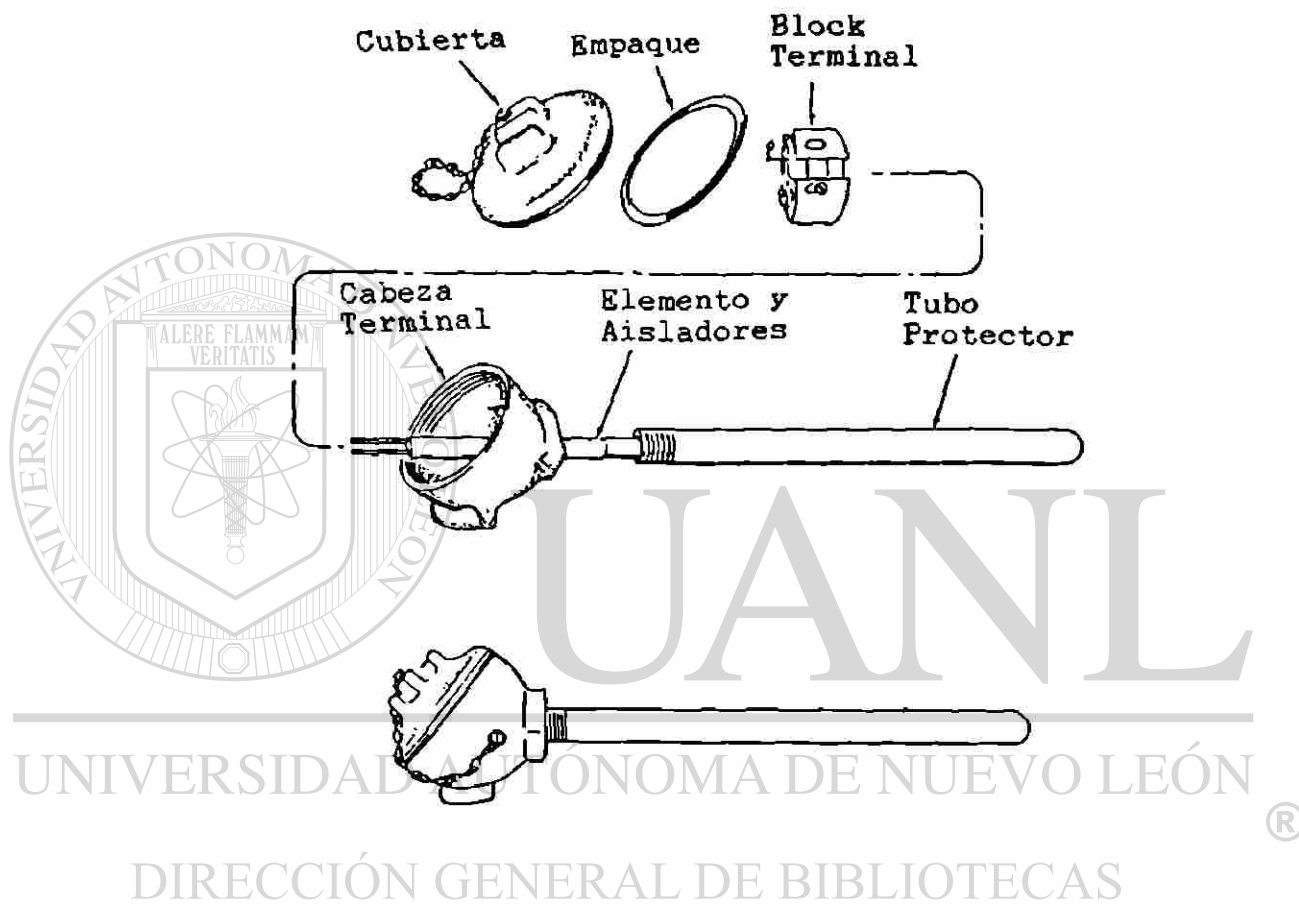
- a) Tipo T (cobre-constantan)
- b) Tipo J (hierro-constantan)
- c) Tipo K (chromel-alumel)

Termopares de metal noble

- d) Tipo R (platino-13% rodio platino)
- e) Tipo S (platino-10% rodio platino)



La Fig. 3.2.1.1 muestra la junta caliente y la fría o de referencia.



La Fig. 3.2.1.2 muestra el ensamble completo de un termopar típico.

Termopares tipo I (cobre constantan)

Estos termopares tienen como positivo un alambre de cobre puro y como negativo una aleación nickel cobre(constantan), son apropiados para medir temperaturas de -185°C a $+316^{\circ}\text{C}$ y son bajos de costo. Una ventaja es su alta resistencia a la corrosión debida a la humedad atmosférica o condensación de humedad, la cual ocurre al medir temperaturas de sub-cero. Pueden usarse en atmósfera oxidante o reductora a su rango recomendable.

Termopares Tipo J (hierro-constantan)

Estos termopares tienen como positivo hierro y como negativo el constantan, son aplicados normalmente para temperaturas de -30°C a 705°C , y son aplicados para atmósferas oxidantes y reductoras, son bajos de costo y populares en su rango.

Termopares Tipo K (chromel-alumel)

Estos termopares tienen una aleación de nickel-aluminio. Es generalmente recomendado para temperaturas de 300°C a 1100°C . Se obtiene un mejor servicio cuando se le utiliza en atmósfera oxidante, pero puede ser usado en atmósferas reductoras si está con tubos protectores, cuesta un poco más que el tipo J.

Termopares Tipo R y S (platino y platino rodio)

Estos termopares tienen como negativo platino, y como positivo una aleación de 87% platino y 13% rodio o una aleación de 90% platino y 10% rodio. Si está protegido adecuadamente son recomendables para medir temperaturas hasta de $1,690^{\circ}\text{C}$ en atmósferas oxidantes y cerca de $1,482^{\circ}\text{C}$ en atmósferas reductoras, se contaminan fácilmente, por tanto siempre deben usarse con tubo protector. El silicio así como el hidrógeno o vapores metálicos contaminan estos termopares (aun el rodio puede vaporizar algo y contaminar el platino a altas temperaturas). Para evitar esto, se deben usar aisladores de doble agujero sobre el par de alambres, por su costo comparativamente alto, y su baja fem producida, las aplicaciones prácticas industriales del tipo R y S se limitan a medición de temperaturas que son más altas que aquellas en las que se puede usar tipo K.

Aún con esto, los termopares de metal noble son usados extensamente debido a:

- 1) La reproducibilidad de sus curvas de calibración.
- 2) Efectividad de los metales en forma pura.
- 3) Estabilidad química de los metales, y
- 4) La alta precisión sobre un amplio rango de temperatura.

Son usados en forma estandar en temperaturas de 600°C a 1,600°C.

El calibre (espesor de las piernas de los termopares) recomendados varía de acuerdo con su temperatura y el tipo de termopar usado. En general, los tamaños mas pequeños son preferidos para altas velocidades de respuesta, debido a su pequeña masa. La vida de un termopar aumenta si el alambre es mas grueso, el cual resiste más contaminación a temperaturas elevadas y deterioro, factores que van causando una desviación en su calibración.

Alambre de extensión. El alambre de extensión se prepara generalmente en la forma de un par de conductores con un tipo de aislamiento diseñado según las necesidades de la instalación en particular. Básicamente el procedimiento más simple para fabricar los alambres de extensión sería usar los mismos tipos de alambre de que esta hecho el Termopar. Pero en las instalaciones reales sin embargo, donde algunas decenas de metros de extensión salen de un termopar y donde se usan muchos termopares llegaría a ser muy caro con el tipo K y prohibitivo con el tipo R, por ello se usan aleaciones de mas bajo costo y de características similares a los alambres del termopar.

Los cuales generan esencialmente el mismo milivoltaje que el termopar para aplicaciones hasta 204°C aproximadamente.

Aislamiento del alambre de extensión. Siempre que sea práctico, el alambre de extensión debera correr desde el termopar, dentro de un conduit y protegerlo de calor excesivo humedad, daños mecánicos e interferencia eléctrica. La variedad de condiciones a las cuales puede estar sujeto ha llevado al desarrollo de un número de diferentes tipos de aislamientos que pueden ser: Plastico polivinilo, forro de asbesto o revestimiento de plomo.

Tubos de protección. Como ha sido indicado, con pocas -- excepciones los termopares deben ser equipados con protección adecuada en la forma de tubo particularmente en altas temperaturas. El término tubo de protección se refiere a un tubo cerrado en un lado y por el otro diseñado para fijar la cabeza del termopar.

Se usa por las razones siguientes:

- 1) Protege al termopar de gases (oxidantes, reductores contaminados etc.).
- 2) Protege al termopar de líquidos corrosivos.
- 3) Protege al termopar de daños mecánicos
- 4) Soporta al termopar
Obviamente disminuye la sensibilidad de medición y aumenta el espacio requerido para instalación así como el costo.

Debe satisfacer las siguientes calidades:

- 1) Resistencia a altas temperaturas.
- 2) Resistencia a la acción de gases oxidantes y reductores.
- 3) Alta conductividad térmica para asegurar rápida transmisión de cambios de temperatura al termopar.
- 4) Resistencia al choque térmico causado por repentino cambio de temperatura.
- 5) Habilidad para soportar choques mecánicos.
- 6) Baja porosidad en temperaturas de operación (prevenir fugas de gas).
- 7) Resistencia a la erosión.

Aunque no es una regla se utilizan tubos de cerámica, esto depende de las condiciones del ambiente.

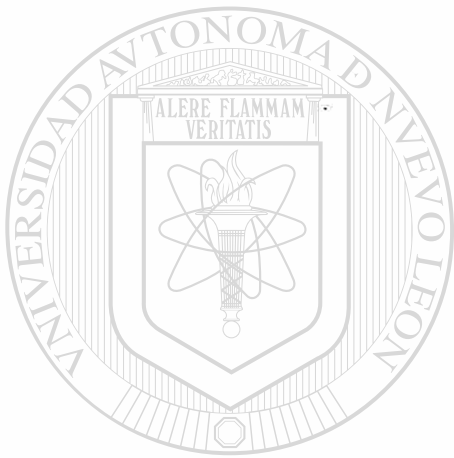
INSTALACION DE TERMOPARES

Hay numerosos factores prácticos que considerar al hacer una instalación propia y al conectar el alambre de extensión en el instrumento. Algunos son:

- 1) Seleccionar la localización y profundidad de inmersión en el proceso, con cuidado de áreas para que se puedan tener temperaturas representativas.
- 2) Cuidarse de temperaturas ocasionadas por flama directa sobre el tubo de protección, porque materialmente acortaría la vida del tubo, y las temperaturas no serían representativas.
- 3) Cuando se mide alta temperatura, instalar el termopar verticalmente donde sea posible para prevenir pandeo del tubo.

Los termopares instalados deben checarsse regularmente en un tiempo determinado por la experiencia, ya que es una parte vital del sistema y su vida es limitada.

Los termopares llegan por medio de las líneas de extensión a dispositivos transmisores de señal que convierten al pequeño voltaje generado por ellos, en una señal mas grande de 4 a 20 mili-amperes, mas fácil de manejar, y que a su vez se lleva a indicadores, reguladores o controladores de temperatura, también pueden llegar a dispositivos o cajas multiplexoras para de ahí salir en un sólo cable, una gran cantidad de señales de termopares individuales a una computadora de control.



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

®

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

3.2.2 TERMOMETROS DE RESISTENCIA (RTD).

El termómetro de resistencia esta basado en la propiedad de cambio de resistencia con la variación de temperatura exhibida por ciertos metales. La selección de un metal para usarse en esta aplicación depende de varios factores. Entre estos, los más importantes son la facilidad de obtener un metal puro y la capacidad de estirarlo en un alambre fino. Los requisitos adicionales son su habilidad para seguir cambios rápidos de temperatura, repetibilidad, linealidad y una relativamente alta razón de cambio de resistencia.

Los factores que afectan las mediciones del termometro de resistencia incluyen esfuerzo sobre los alambres, resistencia de las terminales, calentamiento propio del sensor debido al paso de corriente a través del alambre.

Por el momento cuatro metales son los comunmente usados: Platino, Nickel, Tungsteno y Cobre. Ocasionalmente se usan Iridio, Rodio, Plata, Hierro y Tantalio.

El platino cumple con los requisitos de alta pureza y ser capaz de estirarse en alambres muy finos. Además tiene un alto punto de fusión, resiste la oxidación y es químicamente estable, no volatiliza apreciablemente abajo de 1000 °C y es bastante lineal en su rango útil. Aunque puede contaminarse con gases en atmósferas reductoras y puede actuar como catalizador cuando estan presentes ciertos hidrocarburos; por consiguiente los buenos transductores de platino son generalmente encapsulados.

El nickel tambien es disponible en forma cercanamente para. Entre 0 °C y 100 °C tiene el mayor cambio de resistencia de cualquier metal, pero su sensibilidad disminuye abruptamente arriba de 288 °C y es bastante no lineal. Una aleacion de 70% Nickel y 30% Hierro tiene un coeficiente de variación de resistencia con la temperatura relativamente alto, y cuando se emplea en un circuito puente adecuado, dá salidas de varios volts para cambios de temperaturas de 100 °C. El tungsteno tiene un punto de fusion relativamente alto, como el iridio, lo cual lo haría útil a temperatura arriba de 1000 °C, tiene características bastante lineales, alta resistencia a la tensión (10 veces mas que el platino), lo cual lo hace bueno para tamaños de alambre pequeños y alta resistencia total y resistencia nuclear. El cobre se oxida rápidamente y pierde su pureza, lo que lo hace menos deseable que aquellos mencionados previamente, los puntos a su favor es que es fácilmente refinado y estirado en alambres uniformes y absorve calor uniformemente. A continuación se dá un sumario de coeficientes de resistencia.

TABLA 3.2.2.1

PROPIEDADES DE MATERIALES P/RTD

METAL	Coefficiente de Cambio de Resistencia por Temperatura Ohms/Ohms °C.
Platino	0.00392
Niquel	0.00672
Cobre	0.0038
Tungsteno	0.0045
Oro	0.0040
Plata	0.0041

Los sensores pueden ser contruidos con dos, tres o cuatro terminales, dependiendo de la aplicación. Cuatro conductores terminales se usan normalmente para incrementar la seguridad para mediciones de baja resistencia. Tres terminales se usan para medir alta resistencia. Y dos se utilizan para aplicaciones industriales. La medición en cuatro terminales es menos susceptible a pérdidas y cambios de resistencia en los conductores y terminales.

Los termómetros de resistencia para aplicaciones industriales que se usan en ambientes con vibración o choque mecánico deben estar protegidos para trabajo duro. El sensor en ocasiones esta devanado en un nucleo de ceramica, se calibran preliminarmente agregando alambres para dar las tolerancias deseadas en resistencia.

Los termómetros de resistencia tipo certificado por Bureau of Standards son de alambre de la mas alta pureza devanados sobre micas transversales. El alambre fino se devana de forma floja para prevenir esfuerzos. La resistencia se ajusta; el devanado se coloca en un tubo de vidrio o platino y se sella herméticamente. Algunas veces se utiliza un gas inerte en la capsula. Se proporcionan con cuatro conectores terminales. El bulbo se libera de esfuerzos. Se calibra a puntos fijos incluyendo el punto de oxigeno, punto de hielo, punto de vapor y punto de sulfuro.

Los termómetros industriales no se calibran tan estrictamente sin embargo se pueden encontrar con precisión de 1 °C, contra hasta .1 °C de los calibrados. La Fig.3.2.2.1 muestra RTD'S industriales.

Las lecturas se obtienen ordinariamente a través del uso del puente de Wheatstone en aplicaciones industriales. Rango de trabajo de -250°C a 1000°C.

La Fig.3.2.2.2 muestra la aplicación industrial del Puente de Wheastone.

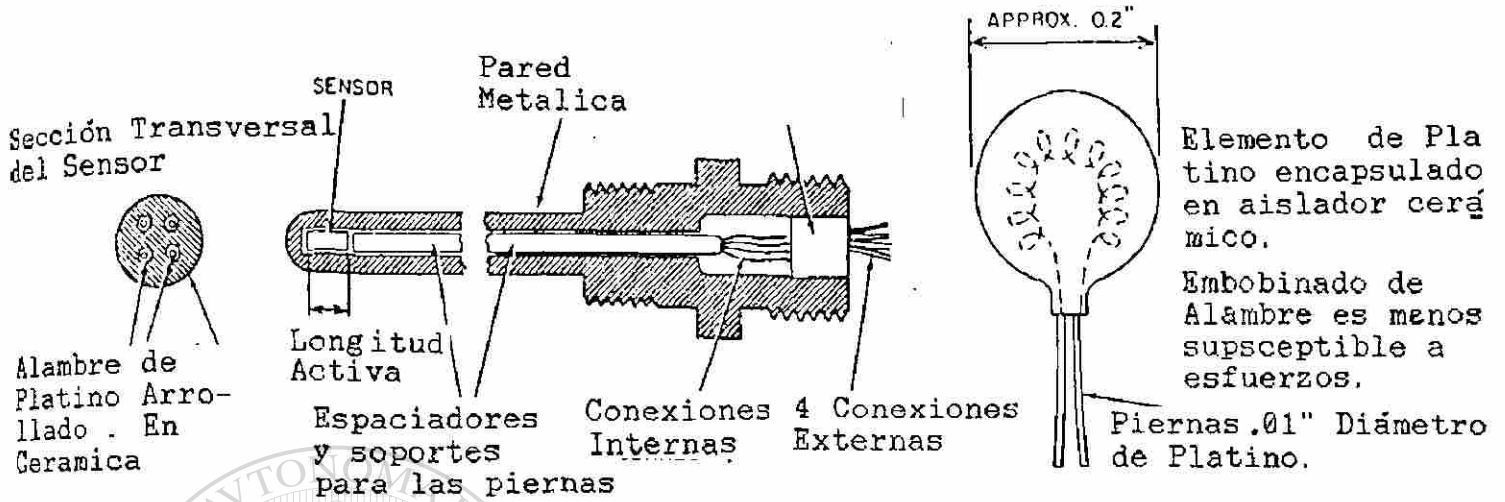
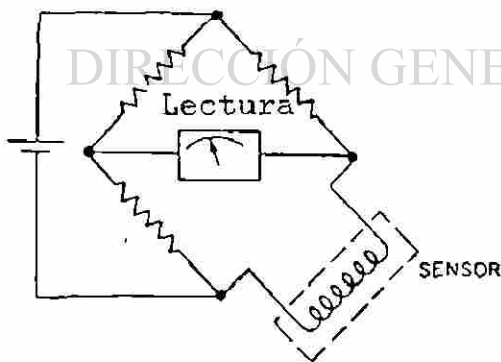
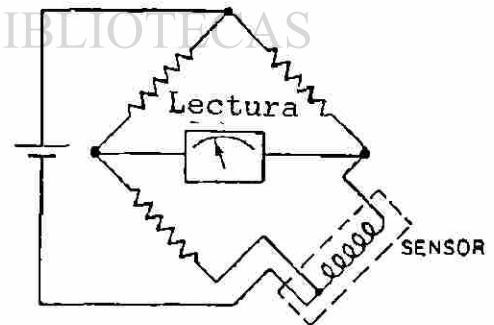


Fig. 3.2.2.1.a. Sensor Tipo RTD industrial con tubo de protección.

Fig. 3.2.2.1.b. Sensor Tipo RTD de superficie.



(2 Terminales)



(3 Terminales)

Fig.3.2.2.2 Puentes de Wheatstone.

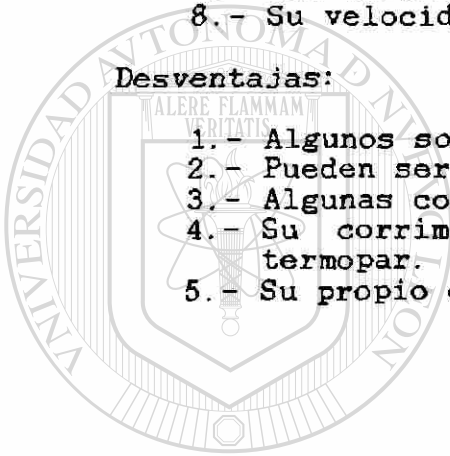
Los Termómetros de Resistencia tienen las siguientes ventajas y desventajas:

Ventajas:

- 1.- En un sistema es capaz de alta exactitud.
- 2.- Se pueden medir rangos muy angostos (5°C).
- 3.- Su reproducibilidad no se afecta por cambios de temperatura.
- 4.- Su reproducibilidad a corto plazo es mejor que la de un termopar.
- 5.- No requiere compensación.
- 6.- Puede manejar fácilmente rangos con cero suprimido.
- 7.- Son disponibles en tamaños relativamente pequeños.
- 8.- Su velocidad de respuesta es rápida.

Desventajas:

- 1.- Algunos son frágiles
- 2.- Pueden ser caros.
- 3.- Algunas configuraciones son difíciles de montar.
- 4.- Su corrimiento a largo plazo excede al de un termopar.
- 5.- Su propio calentamiento puede ser problemático.



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Mediciones de Temperatura muy exactas se pueden hacer con un circuito diferencial Fig.3.2.3.4. Con dos termistores en localidades diferentes en un puente, el desbalance será determinado por la diferencia de resistencias causadas por la diferencia de temperaturas de los sensores. Con amplificadores de alta ganancia, se puede medir diferenciales de 0.001°C .

Se ha hablado principalmente de termistores de coeficiente negativo, puesto que son los mas ampliamente usados. Sin embargo, Termistores con coeficientes positivos de temperatura tambien se usan, para proteger motores de sobre calentamiento, para limitadores de corriente, para mediciones a altas temperaturas, y medidores de flujo.

Las Ventajas y Desventajas de los termistores se pueden enlistar como sigue:

Ventajas:

- 1.- Los tamaños pequeños dan una respuesta rápida.
- 2.- Con el coeficiente de temperatura negativo, el sensor exhibe una mayor sensibilidad a las caidas de temperatura.
- 3.- Muy buenos para rangos de temperatura angostos.
- 4.- La resistencia es una funcion de la temperatura absoluta, asi que la compensacion de junta fria es innecesaria.
- 5.- No se tiene problemas de polaridad.
- 6.- El 90% de los fallas se presentan en la primera semana.
- 7.- La estabilidad incrementa con la edad.
- 8.- Bajo costo.

Desventajas:

- 1.- Curva bastante no lineal de Temperatura contra resistencia.
- 2.- Intercambiar los termistores puede ser problemático.
- 3.- Estabilidad a temperaturas mayores de 320°C es problemático.
- 4.- No son adecuados para rangos amplios.
- 5.- Se les puede presentar interferencia por líneas de potencia.

**CAPITULO 4.- ACONDICIONADORES DE
SEÑAL Y SUBSISTEMAS
DE ENTRADA.**

4.1 TRANSMISORES DE FLUJO 73

POR PRESION DIFERENCIAL.

4.2 SUBSISTEMA DE ENTRADA PARA 78

SEÑALES DE TEMPERATURA.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

4.- ACONDICIONADORES DE SEÑAL Y SUBSISTEMAS DE ENTRADA.

De los diferentes tipos de acondicionadores de señal y subsistemas de entrada que existen, se discutirán solamente un ejemplo de cada uno, estos son dispositivos que adecúan la señal generada por sensores primarios de flujo y temperatura, para poderla transmitir a distancia, sin ellos sería prácticamente imposible llevar la señal del transductor de medición, hasta el detector de error o la computadora, normalmente muy alejados de los sensores. Por esta razón estos acondicionadores de señal y subsistemas de entrada trabajan como transmisores de señal.

4.1.- TRANSMISORES DE FLUJO POR PRESION DIFERENCIAL.

Estos transmisores se usan principalmente, con transductores tipo placas de orificio y tubo venturi, y en general para sensar diferencias de presión.

Un ejemplo de estos transmisores son aquellos que usan la tecnología del alambre de resonancia, la cual proporciona una alta estabilidad y exactitud, también proporcionan un funcionamiento excelente bajo cambios en temperatura ambiente y presión estática.

Miden presiones diferenciales en rangos entre 1.2 y 180 kPa, 5 y 750 pulg de Agua, o 12 y 1800 mbar. Con cubiertas y ensambles que soportan hasta 40 MPa (6000 libras/pulg², 400 bar o kg/cm². Tienen salidas en rangos de 4-20 o 10-50 miliamp C.D.

PRINCIPIO DE OPERACION.

El principio básico de operación es tener un alambre resonando a su frecuencia natural, y convertir los cambios en presión diferencial en cambios de su frecuencia de resonancia. La aplicación de este principio se ilustra en la Fig.4.1.1.

Un alambre bajo tensión se localiza en el campo de un iman permanente. El alambre es una parte integral de un circuito oscilador el cual permite que el alambre resuene continuamente.

Un extremo del alambre se conecta al extremo cerrado de un tubo metálico el cual esta sujeto al cuerpo del sensor cerca del diafragma de alta presión. El otro extremo del alambre se conecta al diafragma de baja presión. Los resortes de tensión inicial aplican esta al alambre.

Los espacios entre los diafragmas y las placas soporte, el puerto de transferencia de fluido, y el tubo estan llenos con aceite de silicio perfluorinado. Un incremento en la presión diferencial a través del ensamble sensor ocasiona que el diafragma de alta presión se mueva hacia su placa soporte. El fluido de llenado entonces se desplaza a través del puerto de transferencia de fluido y tiende a empujar el diafragma del lado de baja presión hacia afuera de su placa soporte. Esto incrementa la tensión en el alambre, elevando por consiguiente su frecuencia de resonancia.

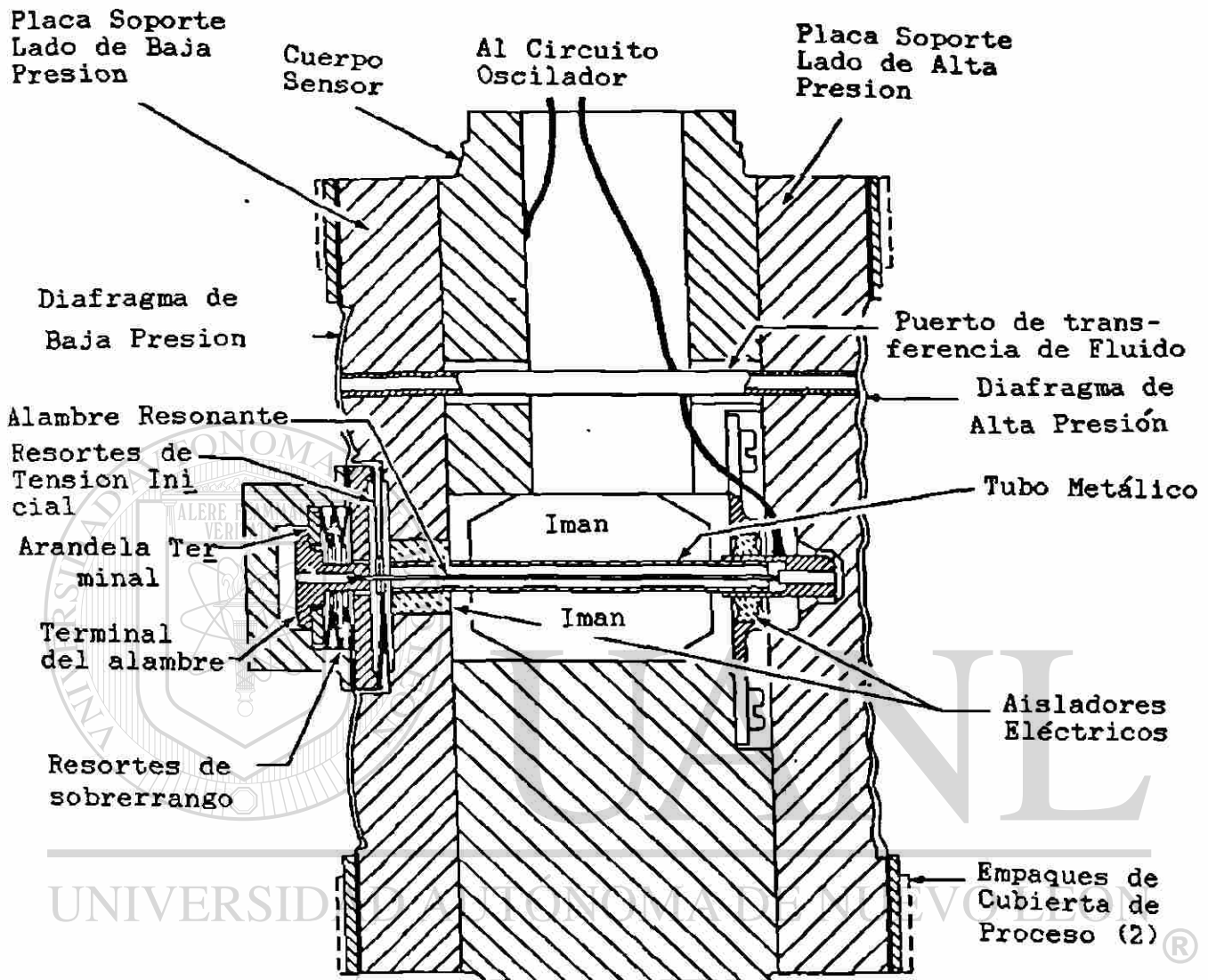


Fig. 4.1.1 Diagrama Esquemático del Sensor.

La frecuencia de resonancia de un alambre ideal es una función de la longitud, la raíz cuadrada de la tensión, y la masa del alambre.

Puesto que la longitud y la masa del alambre son constantes, se puede decir que : $f^2 \propto \text{tension}$.

El circuito electrónico efectúa una operación cuadrática sobre la frecuencia de resonancia para desarrollar una señal de salida proporcional a la presión diferencial.

Se debe notar que la tensión en el alambre resonante puede aplicarse en una sola dirección, esto es, jalando el alambre. En la práctica esto significa que el lado de alta presión del transmisor se conecta generalmente a la mayor de las dos presiones medidas. Esto es especialmente importante al tratar con aplicaciones de rango de cero elevado.

GENERACION DE LA SEÑAL DE SALIDA.

Un diagrama a cuadros de los circuitos electrónicos para las versiones de salida de corriente se muestra en la Fig.4.1.2.

Como ya se mencionó el alambre resonante es parte del circuito oscilador, y este circuito mantiene un movimiento continuo del alambre a su frecuencia de resonancia, el balance de las componentes que se muestra en la Fig 4.1.2 monitorea los cambios de frecuencia a la salida del oscilador y los convierte en una señal standard de 4 a 20 o 10-50 miliamp. de C.D.

La frecuencia de salida del circuito oscilador es la entrada a un circuito formador de pulsos. Este circuito produce dos señales complementarias las cuales se aplican en cascada a dos etapas convertidoras de frecuencia.

Cada convertidor da una salida la cual es proporcional al producto de la frecuencia aplicada y un voltaje de entrada. El voltaje de salida del segundo convertidor es proporcional al cuadrado de la frecuencia y por lo tanto es proporcional a la tensión del alambre.

Este voltaje, directamente proporcional a la presión diferencial se convierte a una señal de 4-20 mA o 10 a 50 mA c.d. en el amplificador de salida.

Un circuito regulador de voltaje se incluye también para estabilizar voltajes internos y proporcionar voltajes de referencia estables para las etapas de conversión.

Todos estos circuitos, incluyendo el oscilador, están encapsulados en un modulo sencillo, que se muestra en la Fig.4.1.3.

AJUSTES (CALIBRACION).

Varios ajustes del transmisor se muestran en la Fig.4.1.2.

CERO.

El potenciómetro de cero se ajusta externamente por medio de un desarmador, accesible quitando la cubierta.

RANGO.

El ajuste de rango se obtiene colocando un puente en una de tres posiciones, el cual es accesible quitando la cubierta del modulo electrónico. Existen tres posiciones: N (angosta), M (mediana), y W (amplia).

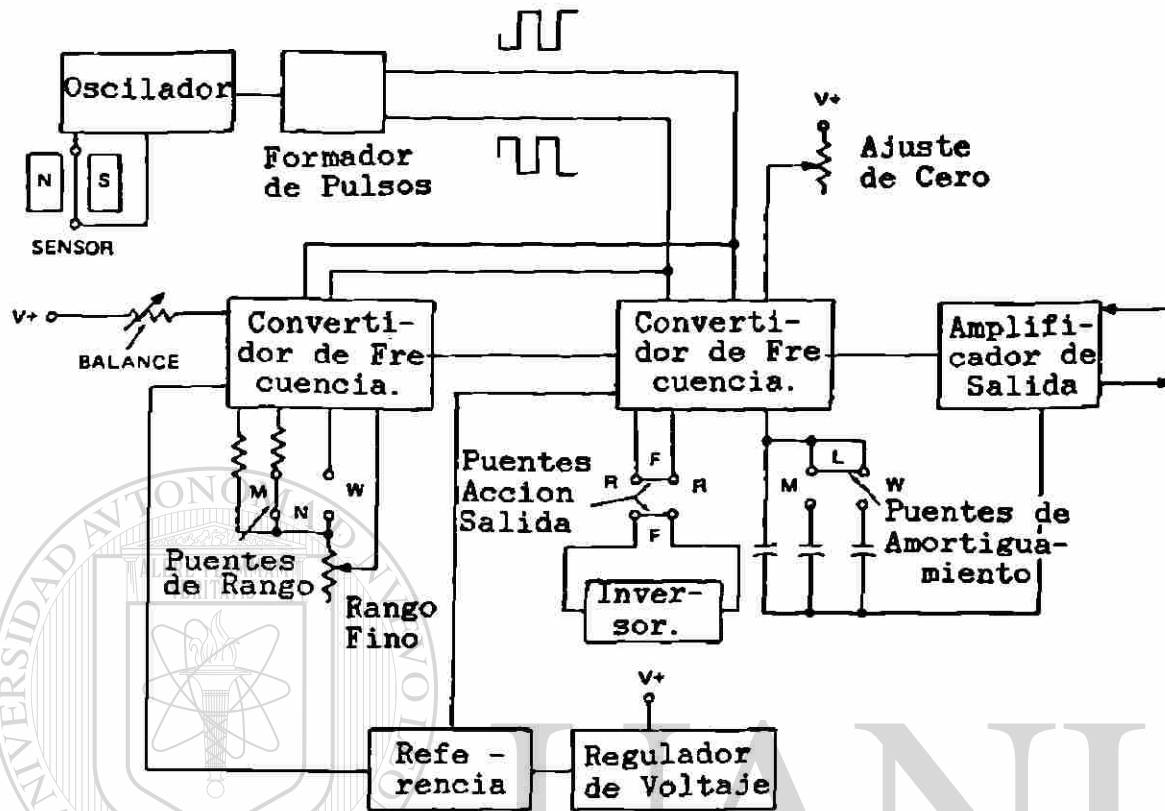


Fig. 4.1.2 Diagrama a Cuadros de los Circuitos Electrónicos del Transmisor de Presión Diferencial.

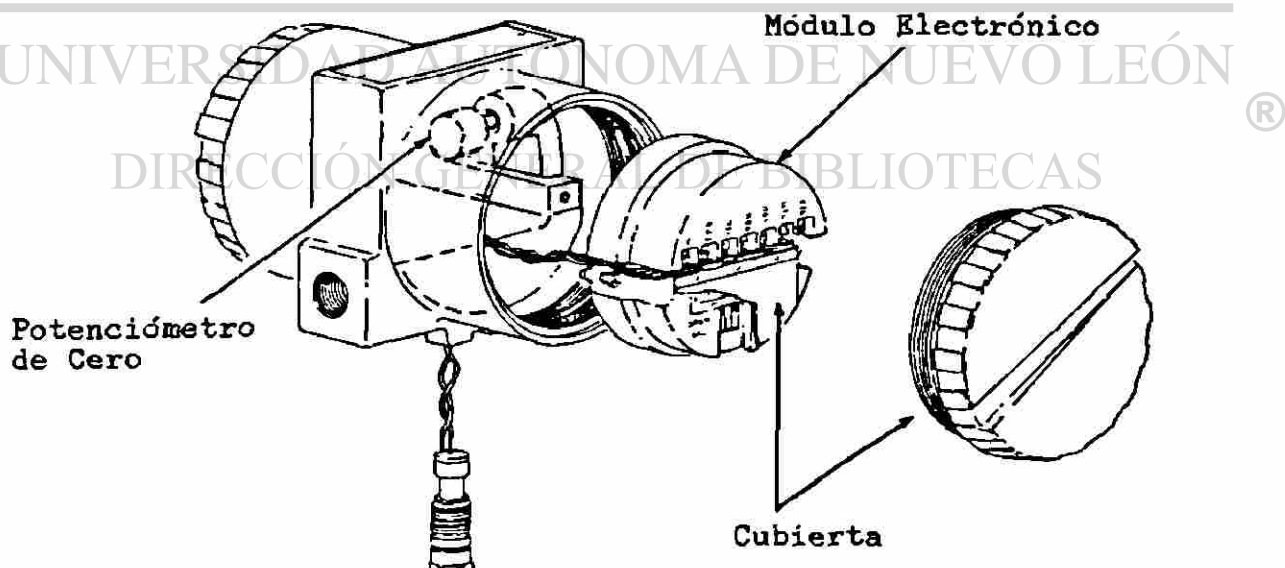


Fig. 4.1.3 Ensamble Típico del Transmisor de Flujo de Presión Diferencial.

POSICION DEL PUENTE.

La posición adecuada del puente se selecciona de acuerdo al rango que se desea calibrar.

RANGO FINO.

Este es un ajuste de desarmador y se localiza próximo al ajuste de balance en el módulo electrónico.

BALANCE.

El potenciómetro de balance, se localiza bajo las cubiertas en el módulo electrónico, se usa para compensar electrónicamente variaciones menores que ocurren de sensor. Esto habilita un óptimo ajuste basado en la linealidad del transmisor.

ACCION DE SALIDA.

Se puede seleccionar acción directa o inversa por medio de puentes, acción inversa significa que la señal de mA disminuye al aumentar la presión diferencial.

PROTECCION DE SOBERRRANGO.

El alambre resonante se protege de soberrrango en ambas direcciones. Refiriendonos a la Fig.4.1.1 la protección de soberrrango positivo se proporciona por medio de resortes, si se presentara una sobre-presión positiva, estos resortes se flexionarían para prevenir que se aplicara excesiva tensión al alambre. Para soberrrango negativo, los extremos terminales del alambre se deslizan fuera de su arandela terminal para prevenir que el alambre se coloque en compresión.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

4.2.- SUBSISTEMA DE ENTRADA PARA SEÑALES DE TEMPERATURA.

Existen en el mercado una gran variedad de transmisores de temperatura, el ejemplo que se describirá a continuación, es una interfase de proceso para bajo nivel de energía, conocido por sus iniciales en ingles como LEPIU (Low Energy Process Interfase Unit). Esta unidad es todo un subsistema de entrada para acondicionar la señal de termopares y RTD'S maneja hasta 254 entradas que seran multiplexadas y transmitidas a distancia.

CARACTERISTICAS DE OPERACION.

Este sistema transmisor acondicionador (LEPIU) es de construcción modular, consta de un ensamble común de tarjetas por sus iniciales en ingles CCFA (Common Card File Assembly) y hasta 16 cajas multiplexoras (ver Fig.4.2.1). El CCFA se comunica y proporciona potencia de operación a cada caja remota, via cables dedicados hasta una distancia de 1525 metros.

Cada caja multiplexora contiene una tarjeta de entrada para manejar hasta 16 termopares o RTD'S, una tarjeta con relevación para multiplexar las señales (reed relays) y lógica CMOS.

La unidad de Interfase de Proceso (PIU) se controla por medio de microprocesador (μ P). El programa del μ P y las tablas de constantes se almacenan en memorias PROM. Todos los datos variables se almacenan en memoria RAM. Todas las funciones de computación y control involucradas en el rastreo, selección de ganancia de amplificación, y conversión se efectúa por el μ P. La PIU esta diseñada para una expansión sencilla desde 1 hasta 16 cajas remotas las que acomodarán desde 1 hasta 16 entradas. El lazo de comunicación entre la unidad central CCFA y las cajas remotas (Multiplexoras) es por medio de bits en serie. La longitud de palabra es de 15 bits y la razon de bit es 1 kbps. ®

La Unidad de Interfase de Proceso (PIU) tambien:

- Amplifica las entradas cuando se requiera a una ganancia óptima.
- Convierte a valor digital y efectúa verificación de rango.
- Prueba termopares abiertos, y corrige su lectura por compensación de junta fria.
- Lineariza Termopares, RTD'S, y Radiómetros (Pirómetros de radiación Infrarroja).
- Normaliza valores digitales (conteos) a porcentaje (%) de rango de operación.

Reporta valores actualizados de puntos seleccionados sobre demanda (Lectura) de otros dispositivos sobre el transportador de datos.

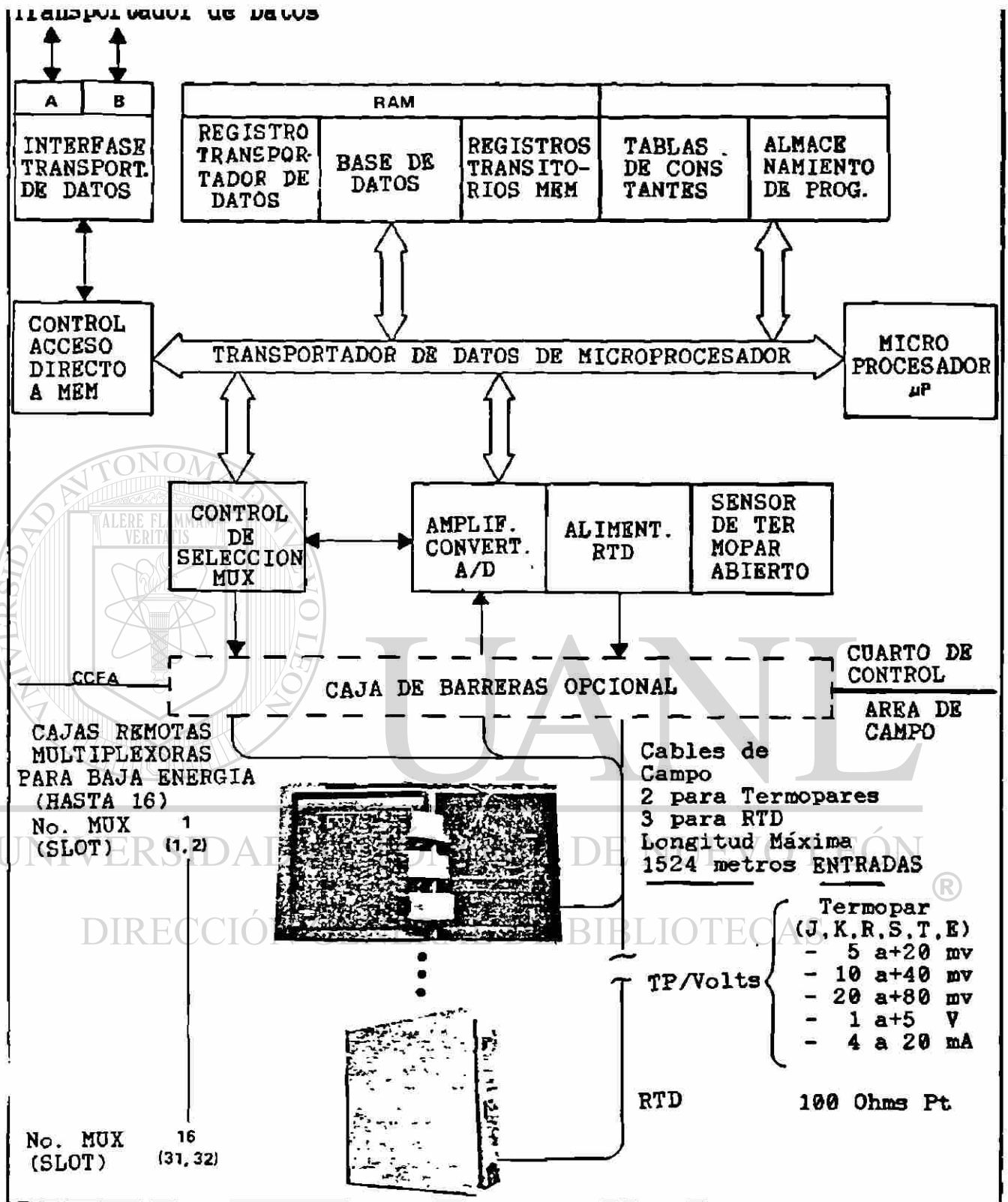


Fig. 4.2.1 CONSTRUCCION MODULAR DE LA UNIDAD DE INTERFASE DE PROCESO DE BAJA ENERGIA

Efectúa autodiagnosticos y revisa estados, errores y alarmas. La PIU responde a palabras de comandos y de datos, el lazo de comunicación digital entre esta y otros dispositivos en el transportador de datos es un cable coaxial en el que se transmiten los datos en serie (bits serie).

Las palabras de comando contienen información de la operación a efectuarse, la identidad del dispositivo (entrada determinada de una caja multiplexora específica), identidad del dispositivo que requiere la lectura, y la dirección de la palabra de memoria, dentro de la base de datos del PIU que identifica la función o tabla de memoria involucrada. El trafico de datos en el transportador se monitorea y se controla por la computadora.

OPERACION.

Todos los circuitos funcionales (Lógicos y memoria) se montan en tarjetas. La Fig.4.2.2 muestra el arreglo de tarjetas para ambos, CCFA y la caja seleccionadora (MUX Multiplexora de campo), la Fig.4.2.3 muestra un diagrama a cuadros de la LEPIU el cual define la función de cada tipo de tarjeta. El Transportador de datos es un cable coaxial, de hasta 6000 metros, el cual conecta la PIU con la computadora.

Una breve descripción de cada tarjeta, comenzando con la CCFA, se da a continuación.

REGULADOR DE POTENCIA DE CCFA.

Convierte el voltaje nominal de 24 volts C.D. del suministro de potencia a los voltajes regulados requeridos por las otras tarjetas en el CCFA. También proporciona la señal de falla de potencia al microprocesador y una señal de restablecimiento a todas las tarjetas del CCFA para asegurar la inicialización al encendido de potencia.

INTERFASE PARA TRANSPORTADOR DE DATOS.

Efectúa la conversión entre las señales paralelas TTL usadas en la PIU y los datos serie transmitidos en el Transportador de Datos (Cable coaxial de 75 Ohms). Utiliza acceso directo a memoria (DMA) para pasar datos "a" y "de" la memoria a través de Registros RAM dedicados.

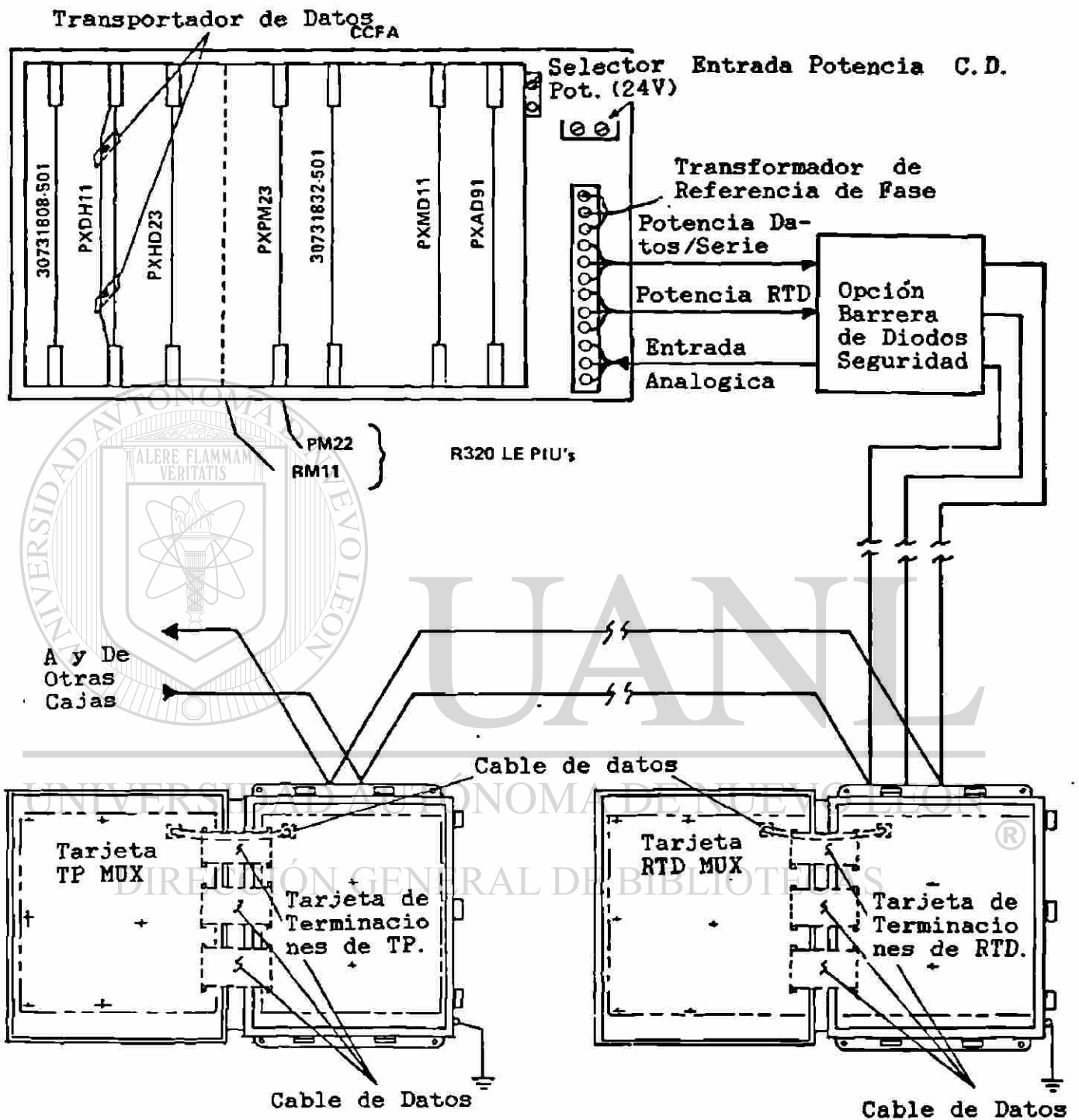


Fig 4.2.2 COMPONENTES DE LA UNIDAD DE INTERFASE DE PROCESO DE BAJA ENERGIA.

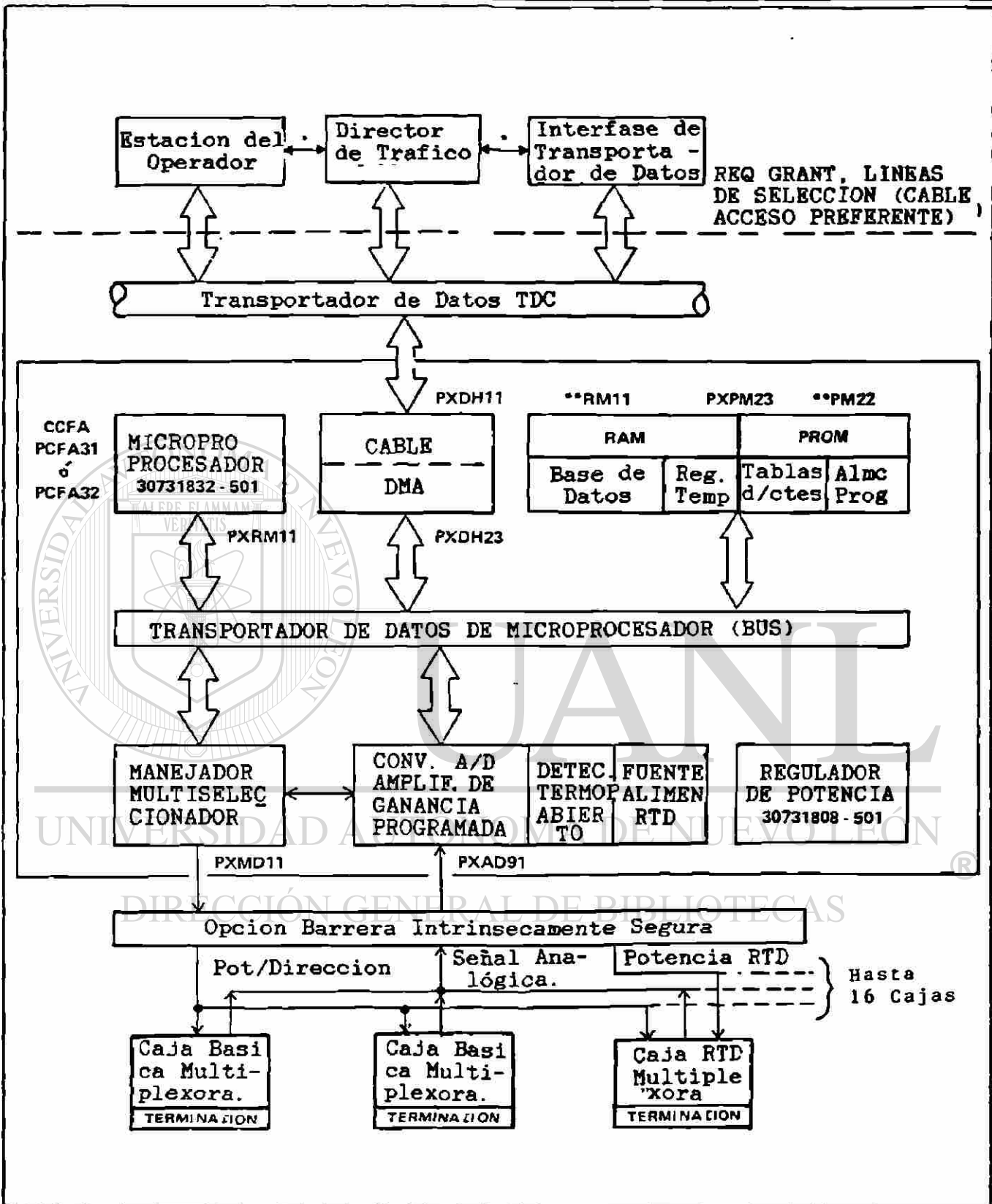


Fig 4.2.3 DIAGRAMA A CUADROS DE LA UNIDAD DE INTERFASE DE PROCESO DE BAJA ENERGIA.

TARJETA DE MEMORIA (PROM/RAM).

Contiene ambos tipos de memoria de acceso aleatorio (RAM) y programable de sólo lectura (PROM). La base de datos se acomoda en 64 palabras de RAM por espacio (slot). Se consideran dos espacios (slots) para cada caja (Seleccionadora MUX), las entradas análogas requieren 8 palabras por punto.

El comando de lectura accesa una palabra sencilla de la información en la base de datos para transferencia al dispositivo especificado en el campo de dirección fuente.

El comando escritura precede al dato que va a ser almacenado en RAM. El dato se transfiere en palabras sencillas o en bloques de hasta 64 palabras.

El PROM se utiliza para almacenar las instrucciones del microprocesador y constantes usadas en ciertos algoritmos de procesos, tales como tablas para construcción de curvas de calibración de sensores térmicos.

El diagrama a cuadros de la Fig. 4.2.4 muestra el arreglo de esta tarjeta. El dato se lee de la memoria y se carga directamente en el registro de dirección de la tarjeta microprocesador, durante la instrucción de dirección directa. La tarjeta incluye 16 indicadores (diodos emisores de luz), los cuales muestran mensajes de estados y error del microprocesador y la base de datos.

MICROPROCESADOR.

La tarjeta Microprocesador efectúa los cálculos y el control involucrados en interfases con procesos. Mantiene el control total de el convertidor A/D y las tarjetas seleccionadoras (Multiplexoras).

Como se muestra en el diagrama a cuadros de la Fig. 4.2.5, la tarjeta se configura alrededor del circuito MOS LSI (CP1600).

La generación de pulsos de reloj proporciona las señales de tiempo básicas para el CPU. El sistema de reloj también proporciona señales para sincronía fuera del microprocesador, para uso general. Las 16 líneas sensoras externas se están muestreando periódicamente para verificar estados de líneas. Un indicador (diodo emisor de luz) se incluye en el microprocesador, como una indicación de que está trabajando, si una condición de bloqueo ocurriera, el diodo se apagaría. El procesador se podría reanunciar con un comando de CPU de reanunciar, en el transportador de datos.

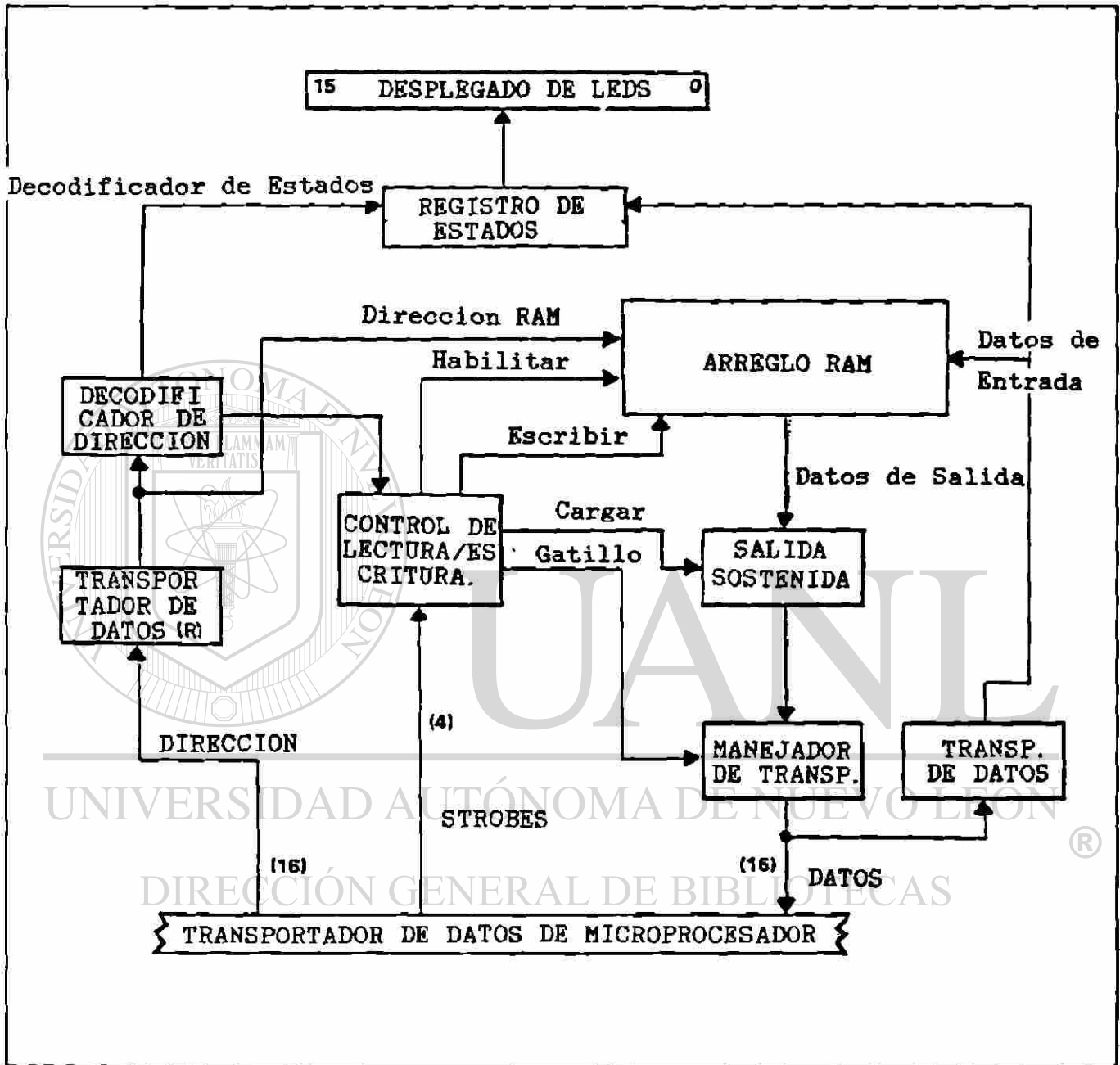


Fig.4.2.4 Diagrama a cuadros de la Tarjeta PROM/RAM .

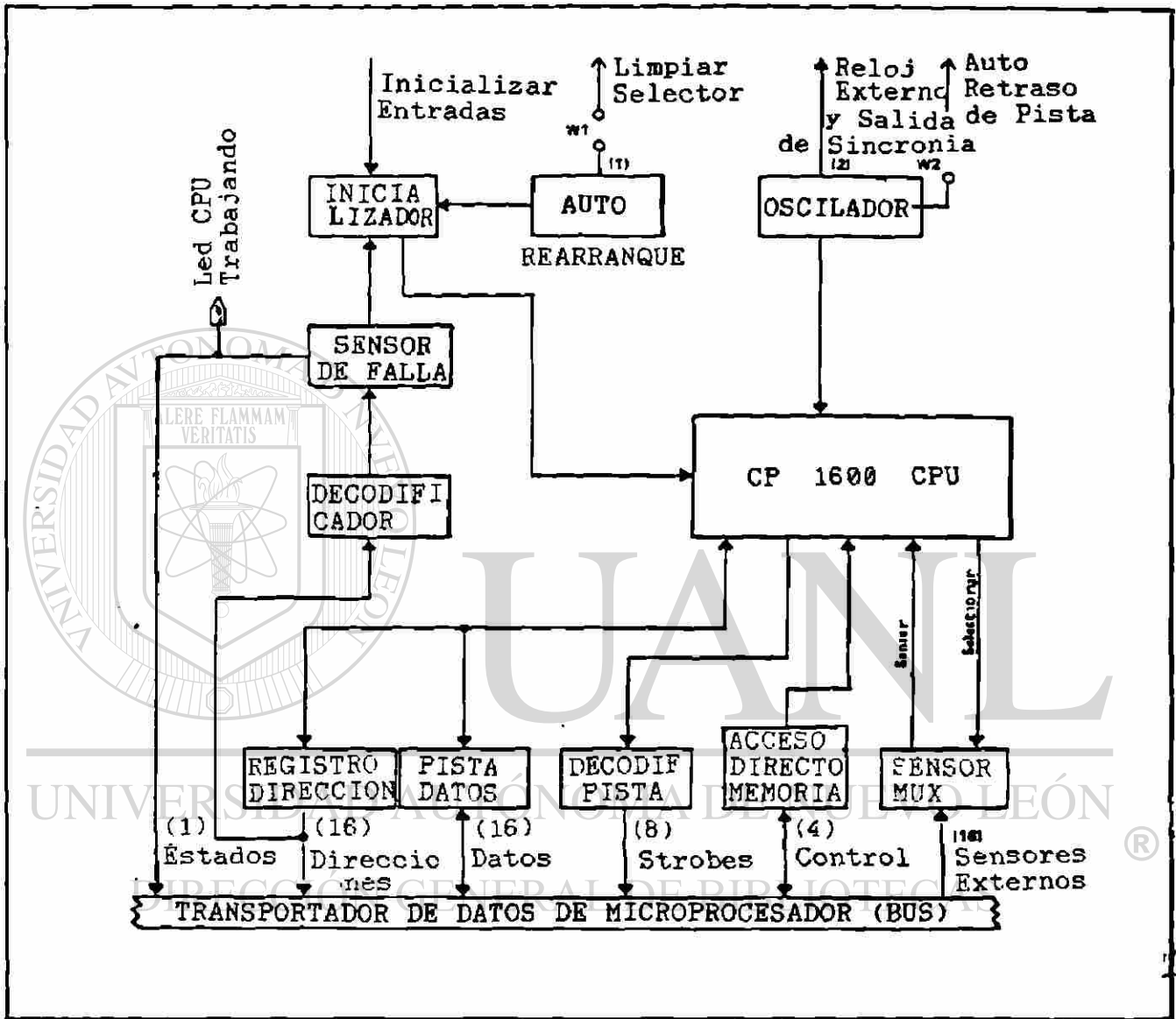


Fig. 4.2.5 Diagrama a cuadros de la Tarjeta Microprocesador

TARJETA MANEJADORA DE MUESTREO (MULTIPLEXER, MUX DRIVER)

Esta tarjeta interconecta el Microprocesador, el Convertidor Analógico a Digital (A/D), y las cajas seleccionadoras (Multiplexoras) (ver Fig.4.2.3). Cuando recibe un requerimiento de barrido, escribe la dirección en el transportador de datos del Microprocesador. La dirección del punto se envía en serie a la caja multiplexora. La tarjeta de muestreo (Mux Driver), monitorea el flujo de corriente de salida para asegurarse que el relevador de un punto responde en una de las cajas. Cuando no esta transmitiendo la dirección de un punto, esta tarjeta suministra potencia de alimentación a las cajas de muestreo sobre sus líneas de dirección.

CONVERTIDOR A/D.

Descarga la señal de la línea justo antes de una conversión y efectúa una verificación de tierras abiertas. Amplifica el voltaje de entrada a una ganancia especificada por el microprocesador y la convierte a un conteo digital. Durante la conversión se verifica que no exista señal excesiva. El convertidor A/D tiene una fuente de corriente, de potencia constante para sensores RTD y otra fuente de corriente que se usa para probar entradas de contactos y termopares abiertos.

SELECCION DE PUNTO.

Salida serie.

La Fig. 4.2.6 es un diagrama a cuadros simplificado de los circuitos de la Tarjeta de Salida Serie Manejadora de Muestreo (Multiplexer). Una palabra de requerimiento de barrido luce como:

15 14 13 12 11 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0[®]

X X O P C A J A P U N T O C Z G

Codigo de operación

10 = Lectura de punto

11 = Lectura Especial

Dirección de la caja Seleccionadora (Multiplexer)

Dirección del Punto

Encender Fuente de Corriente

ZCHK (Corta entrada al convertidor
para diagnostico Auto Prueba)

Rango de Ganancia

00 = 5V

01 = 80 mV

10 = 40 mV

11 = 20 mV

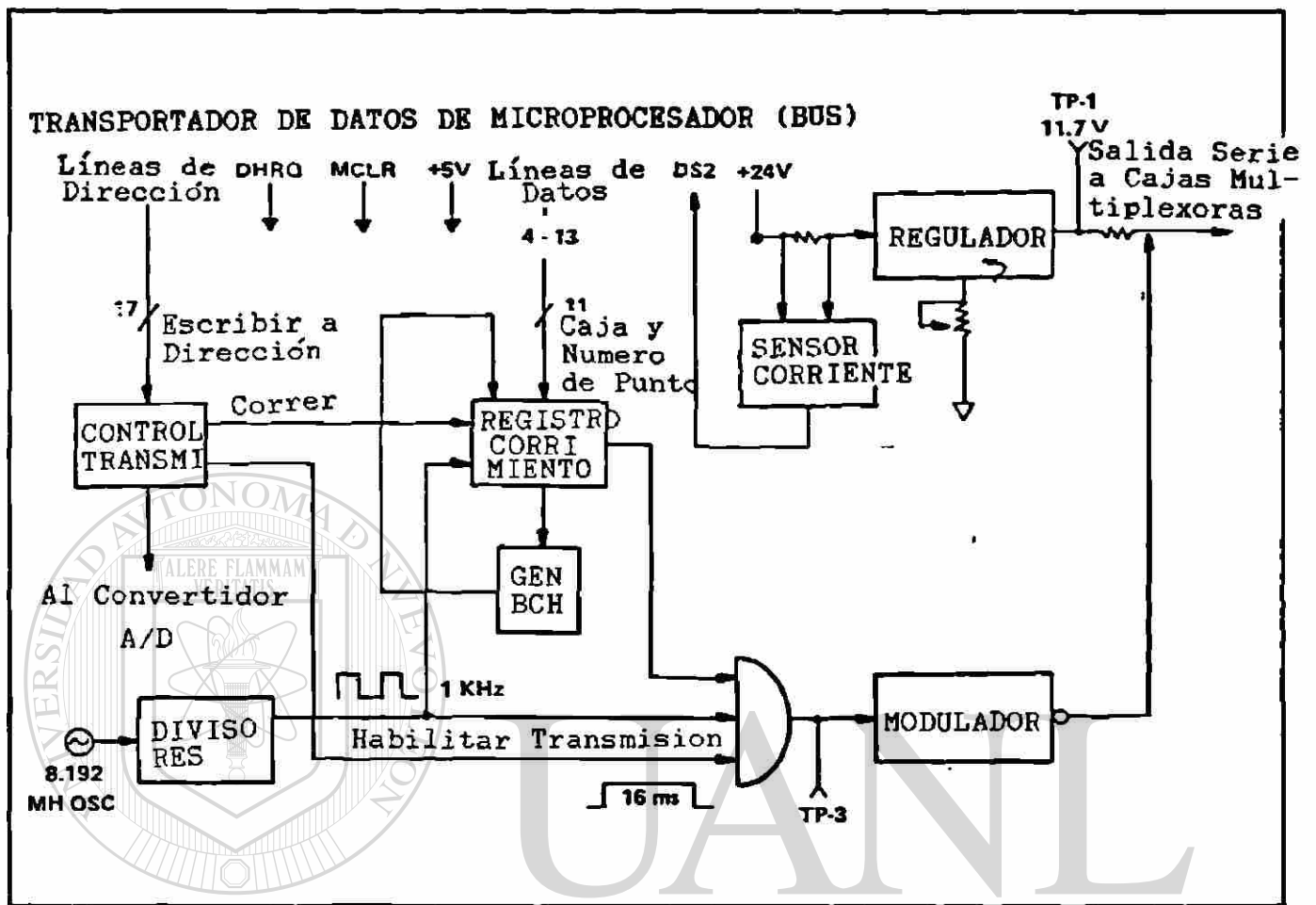


Fig. 4.2.6 Salida Serie.

Los bits de datos 4-13 del transportador del Microprocesador se cargan en un registro de corrimiento con un bit de arranque. Estos datos especifican la dirección de la caja seleccionadora (Multiplexer) (MUX), dirección del punto y código de función. El código de función especifica que grupo de relevadores van a ser direccionados, puntos de entrada del usuario o relevadores de funciones especiales. El circuito de control de transmisión habilita al registro de corrimiento y pulsos de reloj de 1 KHz empiezan a mover datos en serie al modulador. El voltaje de 24 volts se regula bajando a 11.7 volts c.d. Cuando se tiene modulación de datos serie, un bit cero lleva estos 11.7 v a tierra durante 0.5 mseg de tiempo. La potencia permanece alta durante 1 mseg cuando se envía un bit uno.

Diez y seis milisegundos después del requerimiento de barrido, todos los datos serie han sido transmitidos a una caja MUX, donde la potencia se aplica al relevador específico. La

carga del relevador puede llevar la línea de salida serie tan bajo como 4.5 volts mientras esté energizado, cuando el relevador se suelta aproximadamente 30 ms despues, el circuito sensor de carga prueba que exista un cambio de corriente. Si un relevador falla de energizar o de soltar, no se presentará cambio de corriente. El microprocesador puede sensar esta situación y tomar acción.

OPERACION DEL PAQUETE MUESTREADOR (MULTIPLEXER).

La Fig.4.2.7 es un diagrama a cuadros simplificado de una caja MUX para termopares, la Fig 4.2.8 muestra un diagrama similar para una caja MUX de RTD'S. Ambas son muy similares excepto que la caja para RTD'S no tiene referencia de junta fria y utiliza contactos extra para la aplicación de potencia a RTD'S.

Todas las cajas MUX en un FIU reciben el mensaje, pero estan en estado de alta impedancia y solo una no lo está y es aquella que tiene la dirección adecuada para responder.

El bit de arranque prepara la lógica para el resto del mensaje y sincroniza el circuito de control. Quince pulsos de 1 mseg mueven el mensaje en un registro de corrimiento y generan sus cuatro bits de código. El circuito de control inhibe corrimiento adicional por los siguientes 30 mseg. Si esta es la caja MUX seleccionada y el código de prueba coincide con el código regenerado, uno de los dos decodificadores se habilita. La función del código de dos bits es seleccionar un punto de entrada por relevación o una función especial. Los relevadores de funciones especiales son:

- Un punto en corto
- Relevadores para desconectar cajas
- Punto de Referencia de Junta Fria (Caja Básica)

La salida del registro de corrimiento se decodifica por el decodificador que selecciona la potencia que se aplica a un relevador durante los siguientes 30 mseg. Antes de que cualquier punto de relevador se pueda usar, los relevadores de desconexión deben cerrarse. Estos son de enclave magnético y se mandan cerrar en el momento de arranque. Si una caja dejara de trabajar adecuadamente, el microprocesador puede abrir sus relevadores de desconexión y llevar la caja fuera de servicio.

Cuando se cierra el relevador de cualquier punto, lleva el voltaje de entrada de proceso a las terminales de salida en TB2. Un par de alambres torcidos y blindados llevan la señal de TB2 al convertidor analógico a digital en el ensamble común de tarjetas (CCFA), todas las señales de salida de las cajas seleccionadoras (MUX) se conectan en paralelo.

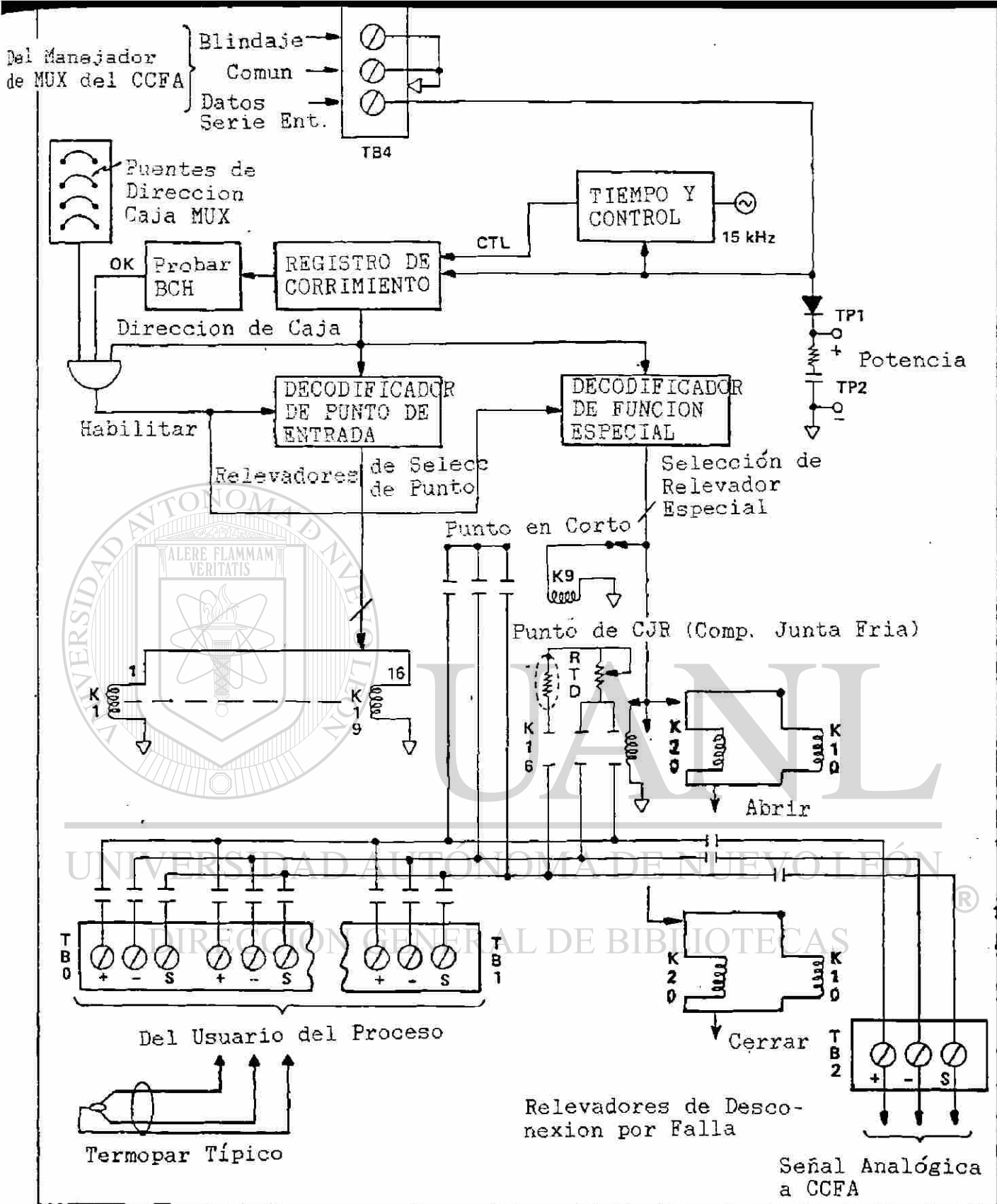


Fig. 4.2.7 Caja Seleccionadora (Multiplexer) para Termopares.

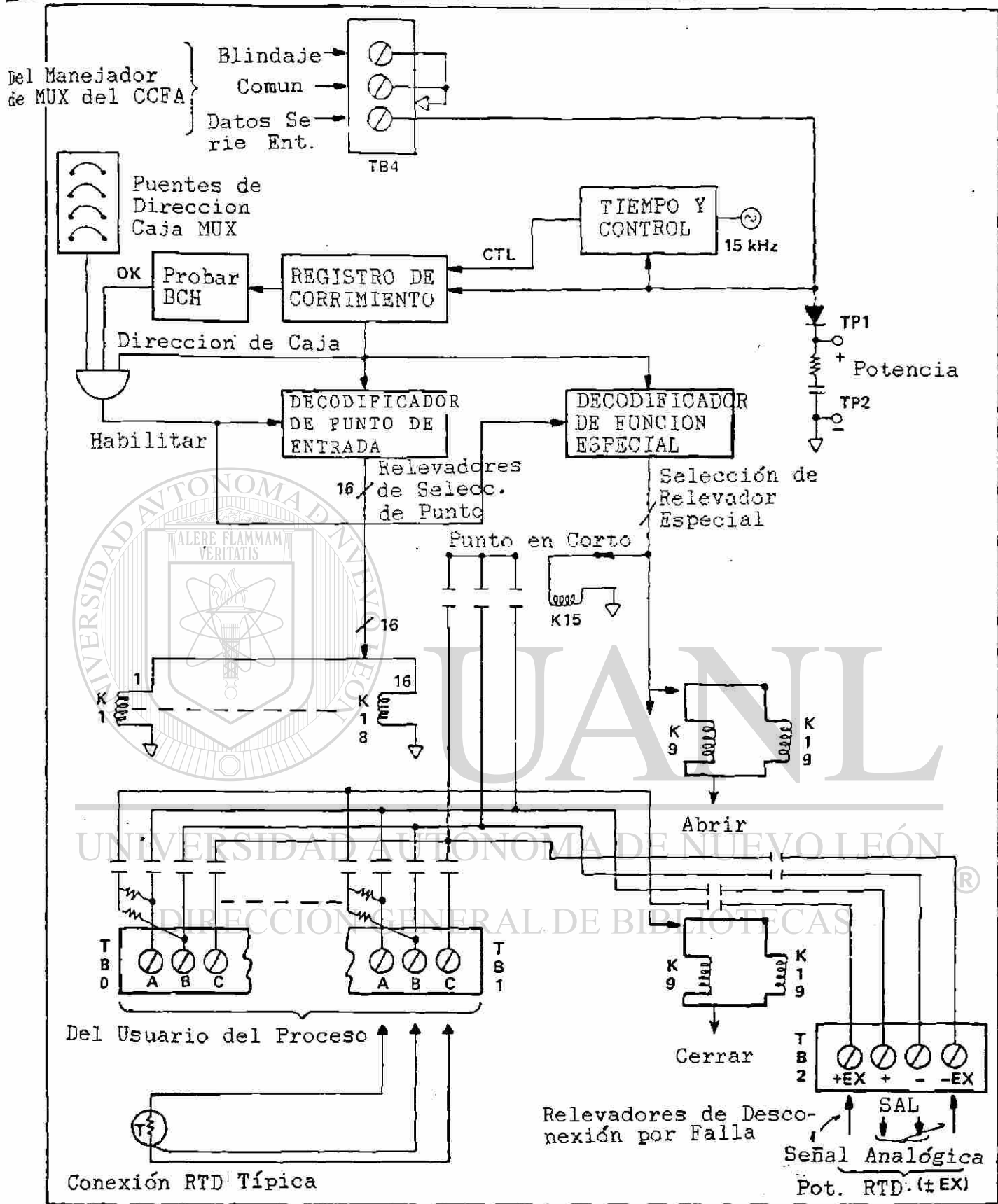


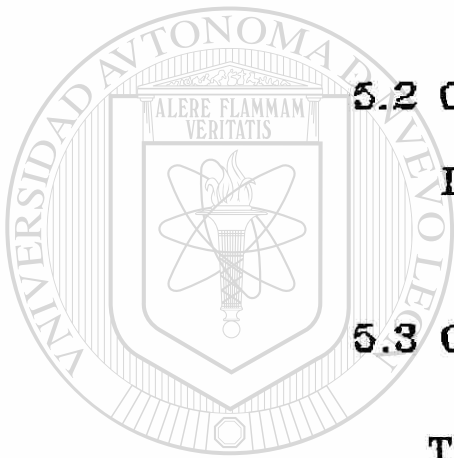
Fig. 4.2.8 Caja Seleccionadora (Multiplexer) para RTD'S

CAPITULO 5.- ACTUADORES.

5.1 VALVULAS DE CONTROL. 91

5.2 CALCULO DEL TAMAÑO
DE VALVULAS. 97

5.3 CAIDA DE PRESION A
TRAVES DE LAS VALVULAS. 100



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



5.- ACTUADORES.

Un actuador es el dispositivo final de control, cuya actuación en base a la variable manipulada, hace que se modifique el medio ambiente de la Planta, obligando así a la variable controlada a llegar a su valor de control. Esto es que la variable controlada iguale el punto de referencia o ajuste (PV=SP). En el caso de las válvulas de control, ellas ajustan el fluido controlado, por la modificación de la sección transversal del área de flujo, lo cual se logra variando su posición o carrera entre el 0 y 100%.

5.1 VALVULAS DE CONTROL.

El lazo de control se complementa con una válvula de control adecuadamente seleccionada para ser utilizada como actuador. Se tiene disponible una amplia variedad de modelos, tamaños y diseños entre los que destacan las válvulas de Igual Porcentaje, las Lineales, de Aguja, las Saunders y las de Mariposa entre otras.

Básicamente la válvula de control consta de dos componentes principales, el posicionador de vástago que puede ser de 3 Tipos: Eléctrico, Hidráulico y Neumático. Y el subensamble de la válvula. El posicionador de diafragma debe posicionar la válvula internamente de una forma rápida y precisa para responder con cambio de posición a cualquier cambio de la presión neumática que le llegue. El diafragma y el resorte se diseñan para dar la carrera completa de la válvula, para el rango especificado de presión de entrada a ella. La mayoría de los ajustes de resortes, se hacen para que la válvula opere completamente sobre un cambio de señal neumática de 3 a 15 psig o 0.2 a 1 Kg/cm². Para rango completo de carrera.

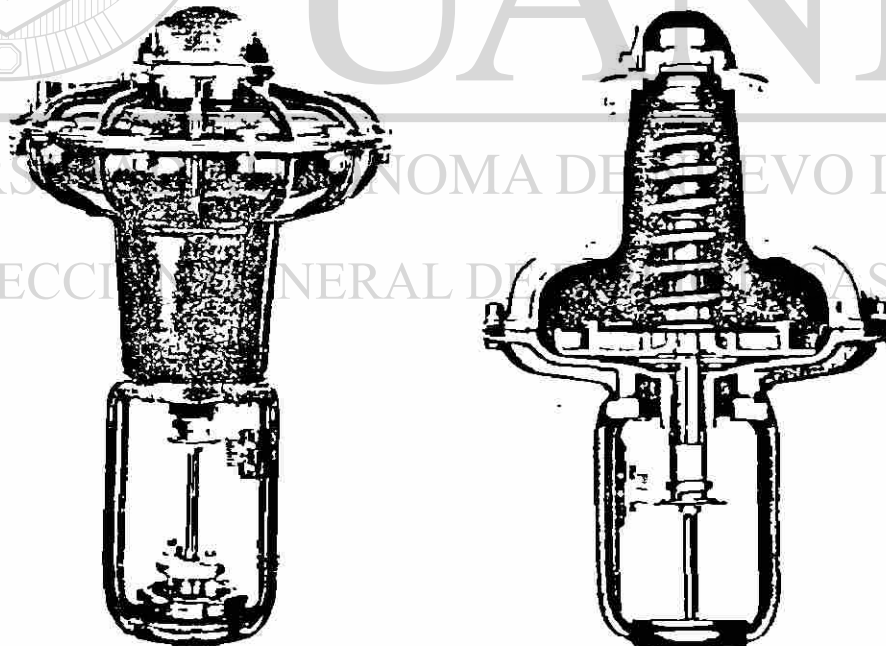


Fig. 5.1 Válvulas Neumáticas Reversibles con Actuadores Neumáticos.

Las válvulas pueden ser de aire para abrir, o aire para cerrar.

Como resultado de años de experiencia de aplicación ha sido casi universalmente aceptado que los procesos que necesitan rango de control proporcional deben tener válvulas de control con dos características de respuesta.

- 1.- Características de Igual Porcentaje o Lineal.
- 2.- Amplia Rangeabilidad.

VALVULA DE IGUAL PORCENTAJE.

Esta válvula esta diseñada de tal forma que sus aberturas producirán iguales cambios de porcentaje en flujo con respecto al flujo anterior para iguales cambios de carrera de la válvula. Para una válvula ideal la sensibilidad o ganancia sería :

$$dF/dX=kF ; \Delta F/\Delta X=kF \text{ si } k=4.8$$

y consideramos incrementos del 10% de Carrera $\Delta X=0.1$

$$\Delta F= k(\Delta X)F = 4.8 \times .1 \times F=.48 \text{ (Flujo)}$$

Cuando las características de diseño se grafican en coordenadas semilogarítmicas la relación flujo carrera produce una línea recta como se aprecia en la fig. 5.3. En esta fig. se aprecia que por cada incremento de 10% en carrera de la válvula el flujo a través de ella se incrementa un 48% del flujo previo.

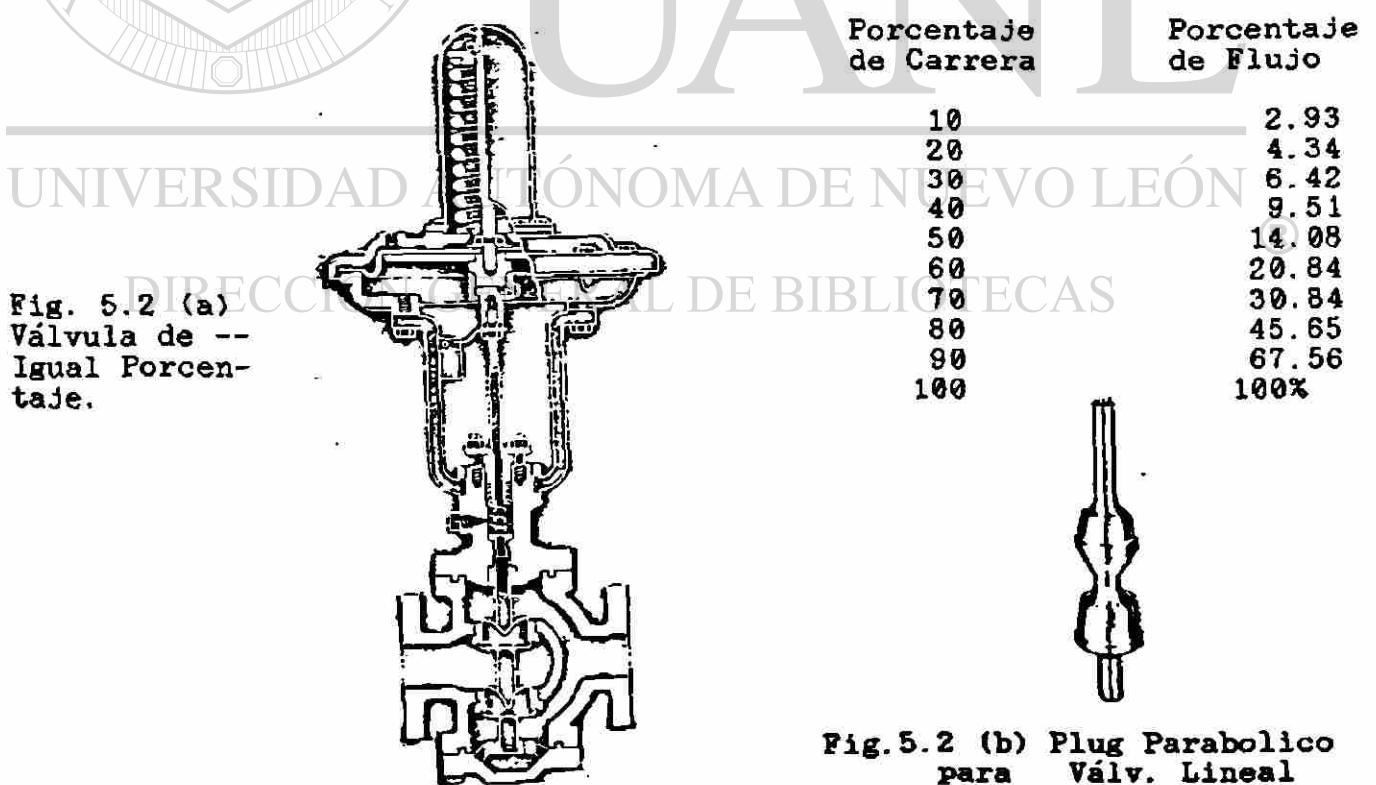


Fig. 5.2 (a)
Válvula de --
Igual Porcentaje.

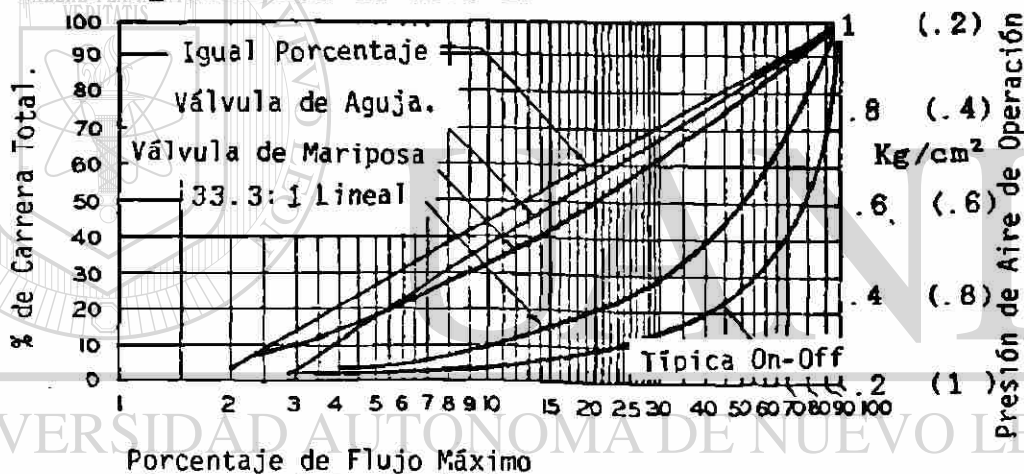
Fig.5.2 (b) Plug Parabolico para Válv. Lineal

El diseño de la válvula de Igual Porcentaje permite controlar el flujo de 2 a 100% de capacidad, de esta forma se tiene una rangeabilidad de 50:1.

VALVULA LINEAL.

Esta válvula fue diseñada para que todas las aberturas de la válvula produzcan iguales cambios en flujo para iguales cambios de carrera, bajo condiciones de caída de presión constante. Cuando su característica se grafica en coordenadas lineales, la relación flujo-carrera produce una línea recta, como se observa en la Fig. 5.4. Por ejemplo cualquier cambio en la carrera del 10% produciría un cambio de flujo de 10% del total.

El diseño de la válvula lineal permite control de flujo del 3 al 100% de la capacidad, con la característica de línea recta, una rangeabilidad de 33.3:1.



Porcentaje de Flujo Máximo
Fig. 5.3 Relación Flujo-Carrera Graf. Semí Log.

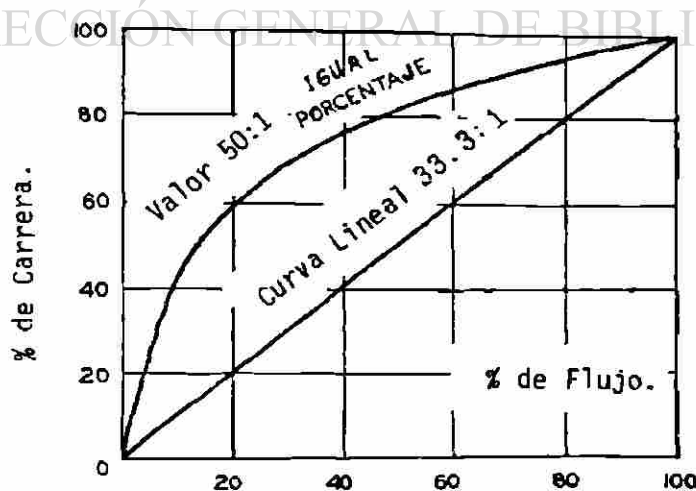


Fig. 5.4 Relación Flujo-Carrera. Graf. Lineal.

La Fig. 5.5 muestra una válvula proporcional, tipo jaula con actuador arreglado de acción aire para abrir. El resorte en el actuador del diafragma cerrará la válvula si la presión del aire fallara. La acción de la válvula se especifica de acuerdo a las condiciones del proceso, esto es aire para abrir o aire para cerrar para salvaguardar el equipo, y prevenir una falla mayor del proceso en el caso de pérdida de la presión de aire de instrumentos. Las válvulas proporcionales Tipo Globo se obtienen en tamaño estándar de 12.5 a 150 mm. Los materiales estándares para las válvulas son hierro, bronce, acero, etc. El material de los asientos de la válvula normalmente se pide en acero inoxidable aunque puede ser del mismo material de la válvula.

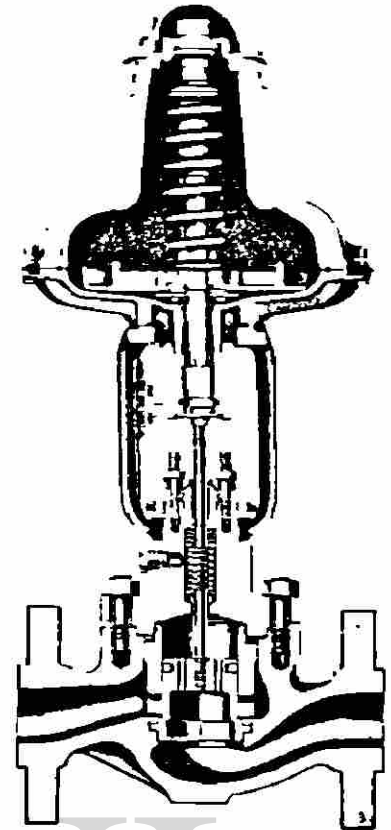


Fig. 5.5 Válvula Tipo Proporcional

VALVULA TIPO AGUJA.

La Fig. 5.6 muestra una válvula de aguja con actuador reversible. Las válvulas de este diseño son usadas ampliamente en aplicaciones de baja razón de flujo, y que se requiera mucha exactitud en el manejo de fluido, donde los tamaños efectivos requeridos son pequeños, como por ejemplo son de 12.5, 19, y 25 mm.

Esta válvula puede tener conexiones roscadas y manejar Cv desde .0026 hasta 6.25 a condiciones de operación de 0 a 230 °C y 20 MPa, su posicionador de diafragma puede operar con aire para abrir o aire para cerrar, el rango de la señal actuadora puede ser 3 a 15 o 75 a 300 mm, sus características de flujo son de igual porcentaje, el material del cuerpo de la válvula puede ser acero al carbón o acero inoxidable 316.

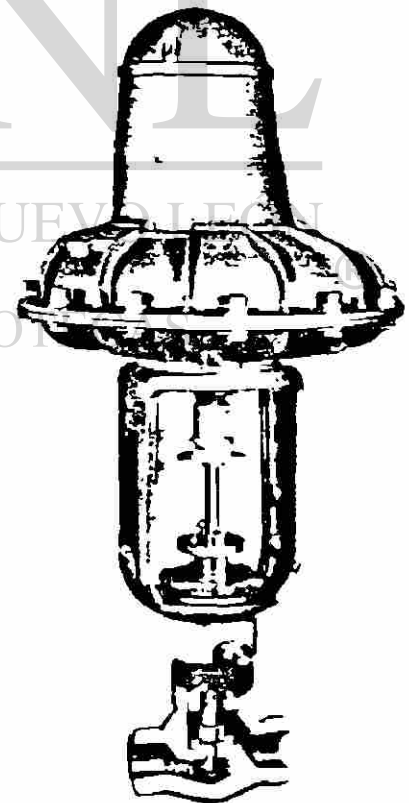


Fig. 5.6 Válvula Tipo Aguja

VALVULA SAUNDERS.

Este tipo de válvula es bastante adecuada para controlar substancias tales como, desechos químicos, tinturas y ácidos.

Se dispone de una amplia variedad de materiales para los cuerpos y diafragmas que resistan efectivamente la corrosión.

Estas válvulas se han usado en plantas -- químicas ya que reducen la necesidad de usar materiales de aleaciones caras. El cuerpo tiene baja resistencia al flujo, e inhibe el estancamiento de solidos en suspensión.

Su mayor deficiencia ha sido, su inhabilidad de ofrecer una buena característica regulatoria, especialmente en rangos altos y bajos de la curva de flujo.

Es deseable tener estas válvulas operando a cerca del 60% de su carrera de control. Si la válvula es muy grande el diafragma operará muy cercano al asiento con la posibilidad de estancar materiales suspendidos, estas -- válvulas proporcionan solo rangeabilidad limitada. Estan disponibles en tamaño de 12.5 a 300 mm generalmente las de 1/2 a 6" son operadas por actuadores de diafragma, mientras que las de 3 a 12" pueden utilizar cilindros posicionadores de aire. Son capaces de controlar flujos a temperaturas de de 100 °C y presiones de 10 Kg/cm².

La única parte de la válvula sujeta a reemplazo ocasional es el diafragma . Se fabrican en acero al carbon, bronce, acero inoxidable, etc. Sus conexiones pueden ser roscadas o de brida, y el material de sus diafragmas , usualmente es neopreno.

VALVULA MARIPOSA.

Las válvulas mariposa se usan en líneas de grandes diámetros a relativamente baja presión, para controlar flujos que contienen pulpa o materiales semisólidos, los cuales bloquearían otro tipo de válvulas. Otro uso comun de estas válvulas, es para controlar flujo de aire para combustión a baja presión, en el orden de 250 milímetros de agua de presión estatica.

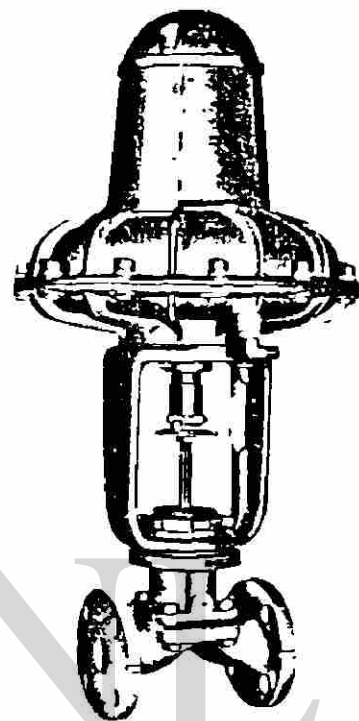


Fig.5.7 Válvula Tipo Saunders

Las válvulas de mariposa, se encuentran en tamaños estandares de 50 a 500 mm de diámetro, y se pueden fabricar sobre pedido especial en tamaños de hasta 1320 milímetros diámetro.

Su construcción es robusta, para uso rudo, son económicas y de larga vida. Su temperatura de operación va de -18 a $+120$ °C. El diafragma posicionador puede tener acción de aire para abrir o de aire para cerrar, con rango nominal de .2 a 1 Kg/cm² o 20 a 100 KPa, tiene característica de flujo de aproximadamente igual porcentaje. El material típico utilizado en la construcción del cuerpo de la válvula es hierro fundido, el disco se fabrica en bronce o acero inoxidable, el vastago en acero al carbón o acero inoxidable y el asiento en buna n.

TIPOS ESPECIALES. VALVULA DE TRES VIAS.

Se tienen tres estilos en este tipo de válvula, que se han desarrollado para manejar aplicaciones de proceso común: Control Proporcional de Flujo Dividido, Control Proporcional de Mezclado, y Control Dentro-Fuera (on-off) hacia dos destinos.

El modelo que se muestra en la Fig. 5.9 incorpora dos asientos de anillo y doble puerto en V. La finalidad de esta válvula es combinar dos corrientes de flujo. Cuando se usa el mezclado proporcional, el puerto de mano izquierda es el puerto de descarga común, con dos corrientes de entrada para mezclarse, admitidas de los puertos de mano derecha y de la base.

Fig. 5.8 Válvula
Tipo Mariposa

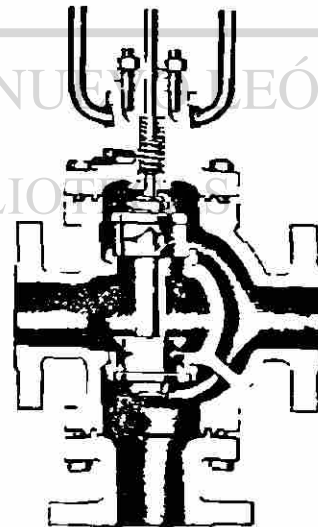
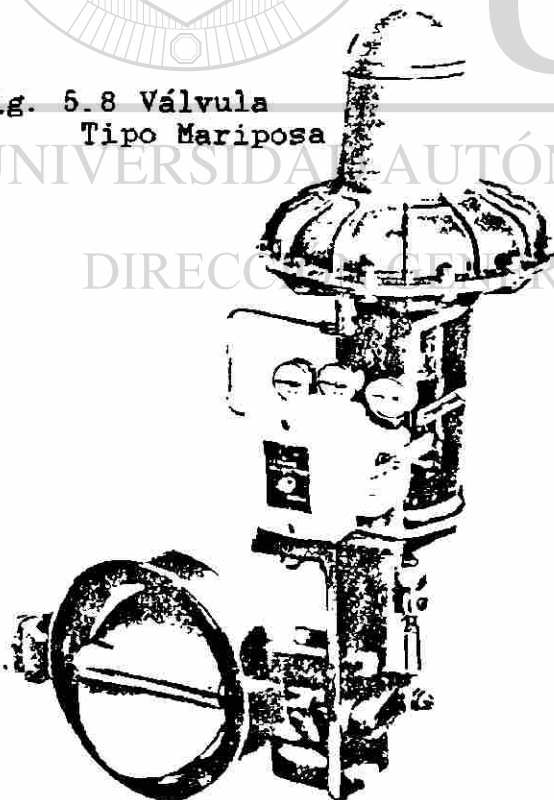


Fig. 5.9 Válvula
de Tres Vias.

5.2 CALCULO DEL TAMAÑO DE LAS VALVULAS.

El método actual aceptado por la ISA (Sociedad de Instrumentistas de America), es uno basado en la determinación del Cv el cual, es una expresión de la capacidad de la válvula, definido como el número de galones por minuto, de agua descargada a través de la válvula totalmente abierta, con una caída de presión de 1 lb/pulg² a través de ella.

El Cv nos permite comparar tamaños en varios estilos y escoger el adecuado para nuestro proceso, y de acuerdo a este seleccionar de las tablas la válvula adecuada.

Si se selecciona una válvula demasiado pequeña, no pasará el flujo requerido, si se selecciona demasiado grande, además de ser mucho más cara de lo necesario, la acción de control -- será deficiente y la válvula trabajará casi cerrada ocasionando altas velocidades de fluido, cavitación en los asientos por el uso de tuberías demasiado grandes para el flujo, las cuales producen zonas de vacío y poco rango de control.

Las fórmulas usuales básicas para cálculo de Cv son las siguientes:

1.- Líquido:
$$Cv = Q \sqrt{\frac{G}{\Delta P}}$$

2.- Gases:
$$Cv = \frac{Q}{1360} \sqrt{\frac{Tf \cdot G}{\Delta P (P2)}}$$

3.- Vapor:
$$Cv = \frac{W}{63.3} \sqrt{\frac{V}{\Delta P}}$$

Donde:

Q ó W = Razón de Flujo Líquidos (gpm) gases (scfh), vapor - (lb/h).

G = Peso Específico (ver tablas)

Tf = Temperatura de Flujo en Grado Rankine (°F + 460)

ΔP = Caída de Presión en psi (P1-P2)

P1 = Presión de entrada a la válvula psia

P2 = Presión de descarga de la válvula psia

V = Volumen específico de descarga ft³/lb

CAVITACION Y FLASHEO.

La válvula de control presenta una restricción al paso del flujo, y por lo tanto se tiene una caída de presión a través de ella, esta presión en su punto mas bajo se conoce como vena contracta, un poco más adelante la presión del fluido se recupera parcialmente y la presión en la línea se incrementa, como se muestra en la Fig. 5.10.

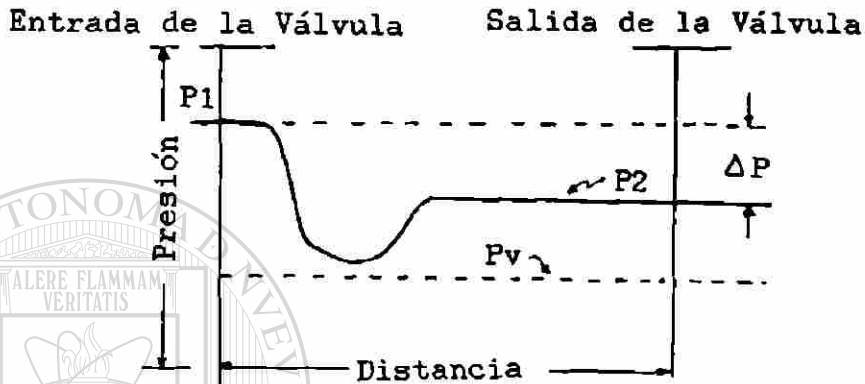


Fig. 5.10 Condiciones Normales.

En este caso el fluido es un líquido y permanece líquido cuando pasa a través de la válvula y P_2 es la presión a la salida de la válvula.

Cuando un líquido entra a la válvula y la presión en la vena contracta cae a menos que la presión de vapor del fluido, se presenta la condición de Flasheo. Esta condición se muestra en Fig. 5.11.

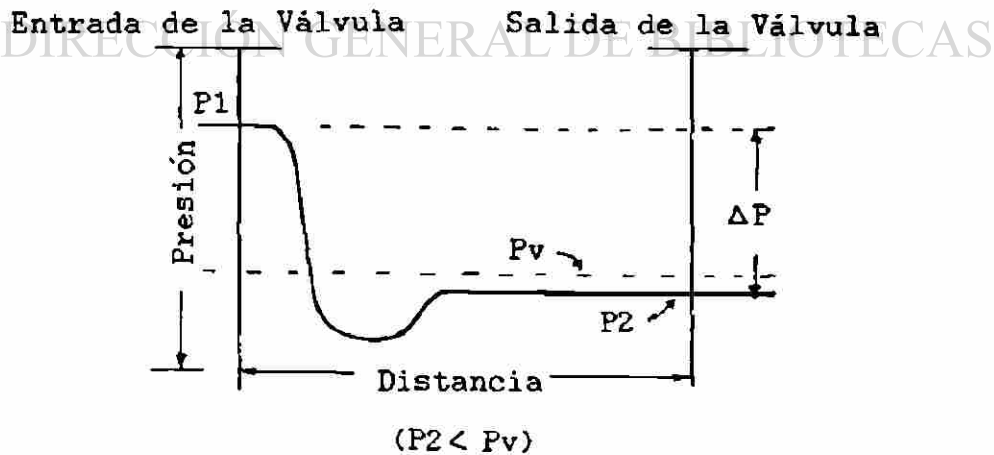


Fig. 5.11 Condición de Flasheo.

La Fig. 5.12 ilustra la tercera condición llamada Cavitación, la cual ocurre en una válvula cuando la caída de presión a través del orificio primero resulta abajo de la presión de vaporización y después se recobra arriba de la presión de vaporización. Este recobre de presión causa una implosión, o colapso de las burbujas de vapor formadas en la vena contracta.

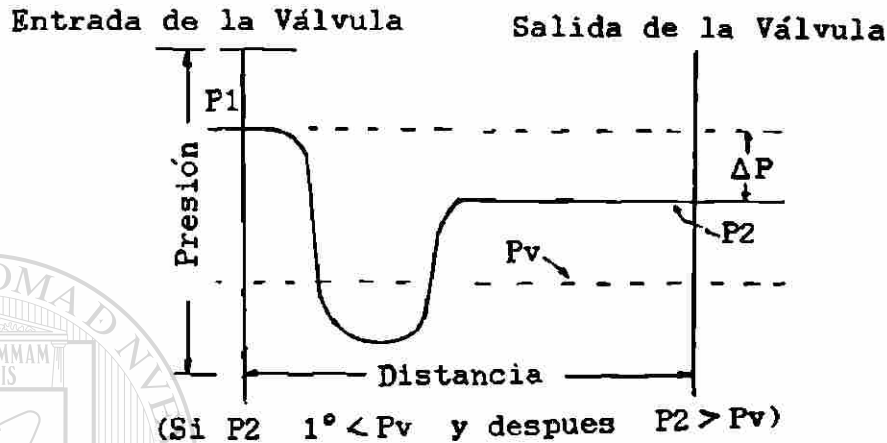


Fig. 5.12 Condición de Cavitación.

El Flasheo y la Cavitación deben tomarse en cuenta para asegurar una adecuada selección del tamaño de la válvula que le permita evitar sus efectos, ya que la presencia de estos dos fenómenos en válvulas con un Cv menor al que se requería, traerán consigo un rápido deterioro de la válvula y problemas para manejar ese fluido.

El siguiente cálculo se puede realizar para prevenir condiciones de flasheo o cavitación.

$$\Delta P \text{ (permitida)} = FL^2 (P_1 - P_v)$$

Donde:

FL = Coeficiente de Recobre de la Válvula.

P1 = Presión de Entrada a la Válvula psia.

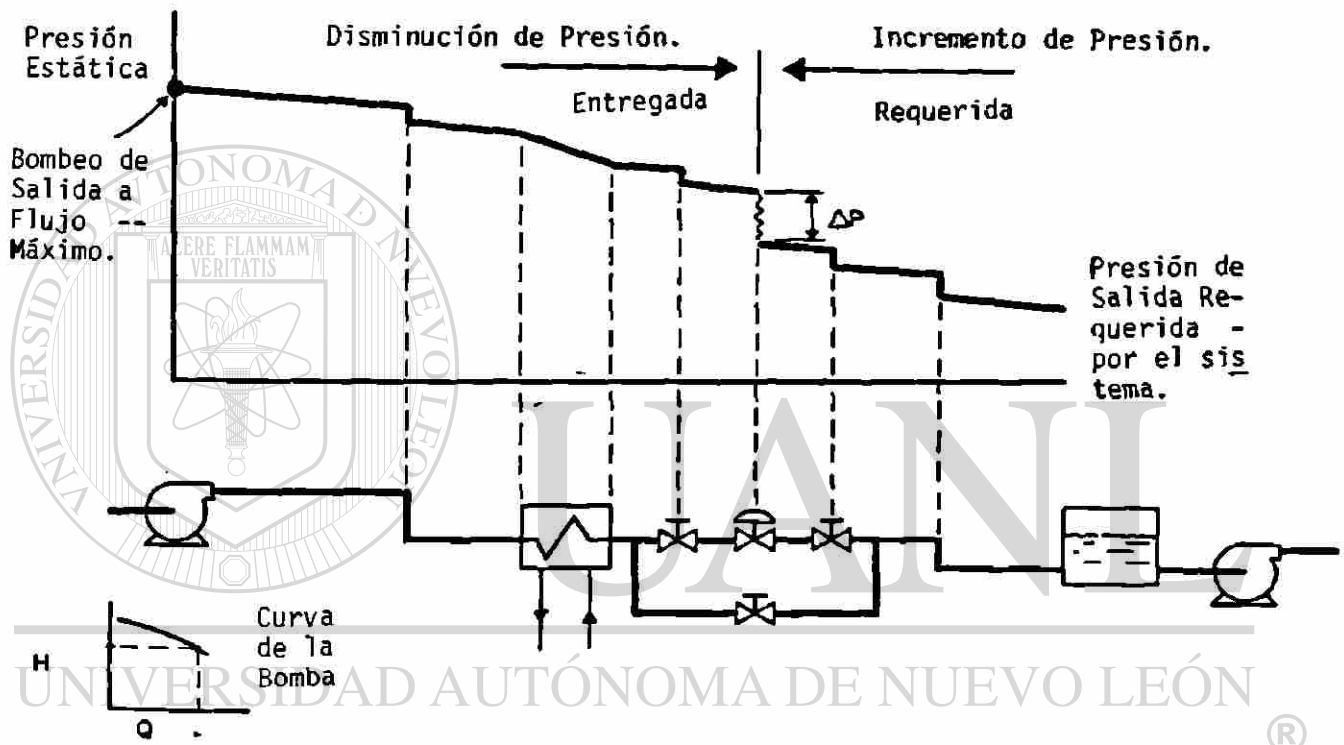
Pv = Presión de Vapor del Fluido a la Temperatura de Entrada psia.

Si la caída real de presión en la válvula sobrepasa la ΔP -- permitida según el cálculo anterior, se tendrán presentes estos fenómenos, por lo que debiera cambiarse a otra válvula con un Cv mayor que cuando menos fuera:

$$C_v = Q \sqrt{G / \Delta P \text{ (permitida)}}$$

5.3 CAIDA DE PRESION A TRAVES DE LAS VALVULAS.

La Fig. 5.13 muestra la caída de presión en un sistema neumático con válvula de control.



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS
Caída de Presión a través de Válvulas de Control a Flujo Máximo.

Fig. 5.13 Bombeo a Flujo Máximo.

Para saber si una válvula es adecuada o no para el circuito se debe graficar la presión suministrada y remanente de izquierda a derecha y parar en la válvula y después graficar la presión requerida de derecha a izquierda y de nuevo parar en la válvula. La diferencia entre estos puntos finales es la caída de presión que la válvula no debe sobrepasar a flujo máximo.

Un análisis similar debe hacerse para flujo mínimo. Ver -
Fig. 5.14

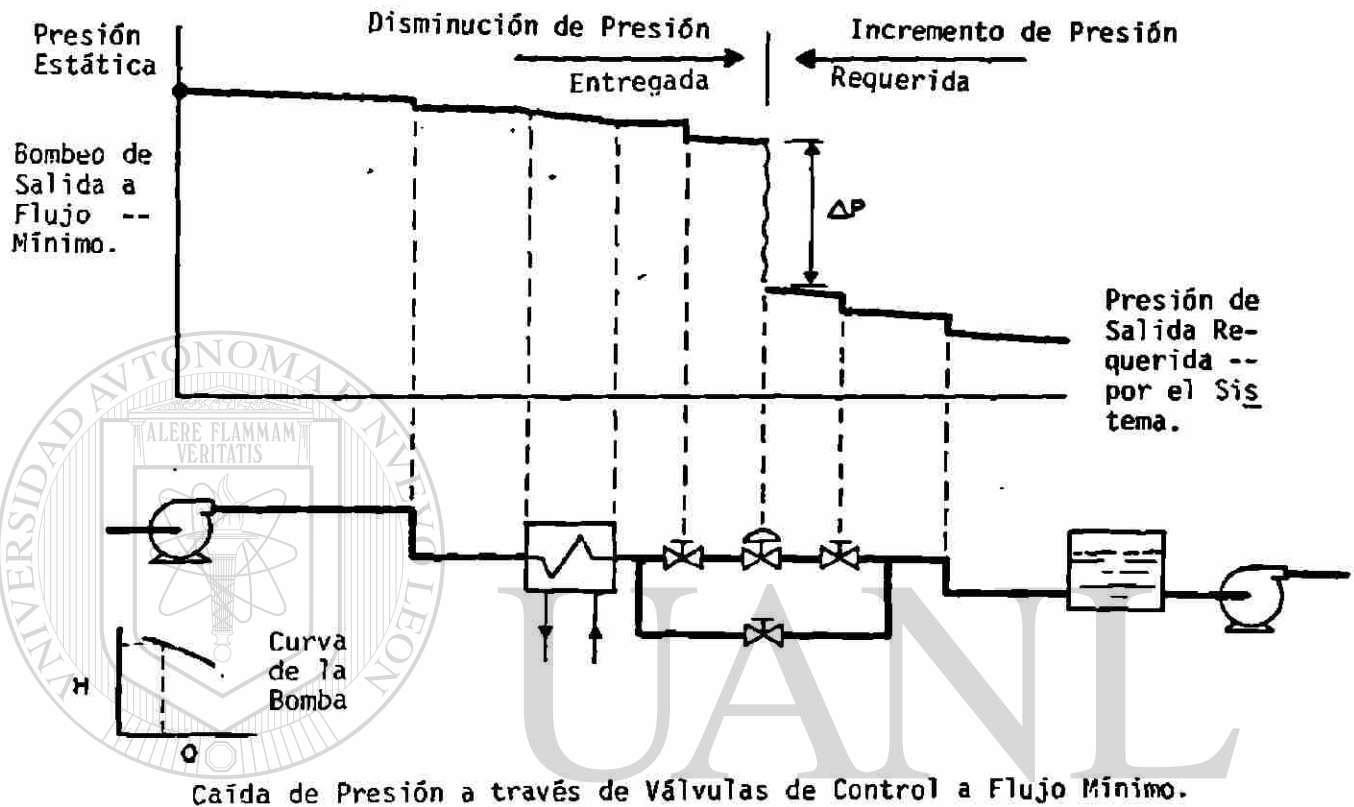


Fig. 5.14 Bombeo a Flujo Mínimo.

Cuando las bombas trabajan a menor flujo, se producen menos caídas de presión en la tubería, debido a la menor velocidad de fluido. Como resultado la caída de presión la cual debe mantenerse a través de la válvula es mucho mayor que a flujo máximo. Las pérdidas totales de presión a través del sistema completo a flujos máximo y mínimo, excluyendo la válvula de control, puede sumarse a la presión que se requiere a la salida del sistema.

Estos totales, se restan de la presión de salida de la bomba a la razón de flujo máximo y mínimo y esto nos dará respectivamente los valores de caída de presión mínima y máxima respectivamente para seleccionar adecuadamente el tamaño de válvula de control.

CAPITULO 6. APLICACION. CONTROL DE TEMPERATURA EN UNA ZONA DE FUNDICION MEDIANTE EL CONTROL DE FLUJO DE COMBUSTIBLE Y COMBURENTE.

6.1 ESPECIFICACIONES BASICAS DE DISEÑO.	102
6.2 ESPECIFICACIONES DETALLADAS DEL SISTEMA DE CONTROL Y SU SELECCION.	103
6.2.1 Cálculo de Consumo de Energéticos.	104
6.2.2 Arquitectura propuesta para el Sistema.	105
6.2.3 Selección del Sistema de Control Jerárquico.	106
6.2.4 Selección de Quemadores.	111
6.3 CALCULO DE TRANSDUCTORES PRIMARIOS PARA MEDICION DE FLUJO TIPO DE ORIFICIO Y SELECCION DE TERMOPARES.	112
6.3.1 Cálculo de Placa de Orificio para medición de Combustible #6 de 0 a 400 L/Hr.	112
6.3.2 Cálculo de Placa de Orificio para medición de Aire de Atomización Relación 280 Aire : 1 Comb.	114

6.3.3 Cálculo del Tubo Venturi para medición de Aire de Combustión en Relación de 12000 a 1, o 12 M ³ de Aire a 1 L de Comb.	117
6.3.4 Selección de Termopares.	119
6.4 SELECCION DE TRANSMISORES DE FLUJO Y TEMPERATURA.	120
6.4.1 Selección de Transmisor de Flujo para medición de Combustoleo.	120
6.4.2 Selección de Transmisor de Flujo medición de Aire de Atomización.	121
6.4.3 Selección de Transmisor de Flujo medición de Aire de Combustión.	122
6.4.4 Selección de Transmisores de Temperatura.	123
6.5 SELECCION DE VALVULAS DE CONTROL.	124
6.5.1 Sel. de Válvula de Control Flujo de Combustoleo #6.Ran.0 a 400 L/Hr.	124
6.5.2 Sel.de Válvula de Control Aire de Atomización Rango 0 a 112 M ³ /Hr.	126
6.5.3 Sel. de Válvula de Control Aire de Combustión Rango 0 a 4800 M ³ /Hr.	128

6.- APLICACION. CONTROL DE TEMPERATURA EN UNA ZONA DE FUNDICION MEDIANTE EL CONTROL DE FLUJO DE COMBUSTIBLE Y COMBURENTE.

Los conceptos discutidos en los capitulos anteriores,deberán ser utilizados como apoyo cuando se requiere diseñar y más adelante especificar a detalle los componentes de los sistemas de control o la instrumentación de una fábrica, el ejemplo que se presentará será real, se especificarán a detalle los componentes, pero sin profundizar en modelos de operación ni características del horno a discutir por razones de confidencialidad, además el diseño de un horno, por su grado de dificultad sería tema de otro trabajo.

6.1 ESPECIFICACIONES BASICAS DE DISEÑO.

Se desea especificar las necesidades de una sección de fundición con las siguientes características:

Se requiere fundir 1320 Toneladas/semana de materia prima (Arena Ceramica).

Eficiencia de fundición	120 Termas/Tonelada.
No. de Puertos de Combustion	4
No. de Quemadores/ Puerto	2
Control de Combustible	Combustoleo No. 6.
Control de Comburente	Aire de Combustión
Relación Aire - Combustoleo	8000 a 12000 - 1
Atomización de Combustoleo por medio de Aire	Relacion 280 - 1
Control de Temperatura de Combustoleo	Rango 0 - 150 °C
Control de Presion de Aire de Atomización	Rango 0 - 10 Kg/cm ²
Medición de Temperaturas en 12 Pos. Techo	Rango 1200-1450 °C
Medición de Temperaturas en 12 Pos. Piso	Rango 1000-1400 °C
Medición de Temperaturas en 8 Pos. Laterales	
4 Lado Izquierdo y 4 Lado Derecho	Rango 800-1300 °C.

El sistema deberá ser capaz de registrar los valores promedios de las Temperaturas, Flujos de Combustoleo, Aire de Combustión y Aire de Atomización, y generar Reportes con promedios horarios cada fin de turno (8 hrs).

El Aire de Combustión debe controlarse automáticamente en relación con el combustoleo, de tal manera que el operador fije la relación deseada Combustoleo-Aire de Combustión y sólo ajuste el punto de referencia (Set Point) del Combustoleo y el Aire lo siga por relación automática.

El aire de atomización se controlará automáticamente, y estará relacionado con el flujo de combustoleo para atomizarlo en relación aproximada de 280 a 1 en volumen,ajustable por el operador, y si cae su presion abajo de 3 Kg/cm² por protección del equipo deben cerrar las válvulas de combustoleo. En el alcance de este trabajo, se considera el Horno ya diseñado.

6.2 ESPECIFICACIONES DETALLADAS DEL SISTEMA DE CONTROL Y SU SELECCION.

La zona de fundición a controlar es una parte del proceso total, el cual consta de varias zonas que interactúan entre si, cada una de ellas maneja de 10 a 30 lazos de control y decenas de termopares, tambien utilizan estrategias de control para tomar decisiones dependiendo del estado de ciertos eventos. Asi que el total manejado seria del orden de 140 lazos de control y 230 termopares, además de decenas de entradas analógicas (variables solo medidas) entradas digitales (señales de relevación, interruptores límite, etc) y salidas digitales (señales a relevadores, y dispositivos para arranque y paro de motores, lámparas indicadoras, etc).

Al tener que operar decenas de lazos de control, el operador puede perder la visión total en un momento determinado y alguna o algunas variables podrían salirse de control, realmente es muy difícil para una persona no perder detalle de la operación de mas de 100 controladores individuales, se requiere llevar registro de tendencias de las variables mas críticas, al menos 90 de ellas consideradas las más relevantes, esto se sugiere hacer en disco flexible y por mes, de tal manera que en un solo disco de 5 1/2 " o 3 1/4 " se lleve este registro así, si en un momento determinado se requiere analizar la información de cualquier día del año, de las cualesquiera 90 variables, sólo se recurre al disco del mes específico y se puede analizar la o las variables requeridas.

En la actualidad se está enfatizando en la operación eficiente y segura de las fábricas, por lo que es muy importante que el Control del Proceso sea confiable, el elevado costo de los recursos materiales y el énfasis en la protección de los seres humanos que de alguna forma están relacionados con el Proceso, ya sea por operación, mantenimiento, o simplemente por vivir en la vecindad, lleva a que la selección del Sistema de Control sea una etapa crítica del Diseño Total del Proceso, las experiencias actuales en la industria están demostrando que para el control de procesos de este grado de complejidad, la opción más confiable es el Control Computarizado Jerárquico. Por lo que, en el presente trabajo se considerará que el Control es un Sistema Computarizado Jerárquico.

Después de decidir el Sistema Jerárquico como el control más adecuado para nuestro proceso (apoyado en los argumentos anteriores), el siguiente paso es identificar las necesidades, y en base a ellas establecer la arquitectura del sistema propuesto.

6.2.1 CALCULO DE CONSUMO DE ENERGETICOS.

Si la necesidad es fundir 1320 Toneladas/semana, a 120 Termas/Tonelada, el proceso requiere 158,400 Termas/semana.

Se requieren 15,840 MegaBTU's/sem. Ya que 1 Terma = 0.1 MBTU

Otra especificación básica del proceso, es que tiene 4 Puertos de Combustión con 2 Quemadores/Puerto, o sea un total de 8 Quemadores, por lo que cada quemador deberá ser capaz de suministrar $(15,840/8)$ (MBTU/sem) = 1,980 MBTU/sem = $1,980/(7 \times 24)$

Capacidad de c/quemador = 11.7857 MBTU/Hr.

Se requiere entonces de quemadores con capacidad mínima de 11.8 MBTU/Hr, preferentemente de 14.63 MBTU/Hr, para tener un margen del 24% arriba de la capacidad requerida.

Considerando que la capacidad calorífica del Combustoleo es de 0.138 MBTU/Galon, se requiere en cada quemador un flujo de:

$$(14.63 \text{ MBTU/Hr}) / (0.138) = 106 \text{ Gal/Hr} = 401 \text{ Litros/Hr.}$$

El Proceso entonces necesita 8 Quemadores de 14.63 MBTU/Hr. Y se requieren 8 Lazos de Control PID para flujo de Combustoleo #6 en un rango de 0 a 400 L/Hr.

8 Lazos de control similares para flujo de aire de atomización en relación 280 a 1, o sea 112,000 L/Hr = 112 M³/Hr. a 6 Kg/cm² absolutos (85 psia).

Asimismo se utilizará de comburente aire, en una relación variable de 8,000 a 12,000 a 1, consideraremos la máxima relación de 12,000 a 1 y tenemos un rango de 4,800,000 L/Hr = 4,800 M³/Hr, por lo que necesitamos 8 Lazos de Control de Aire de Combustión. ®

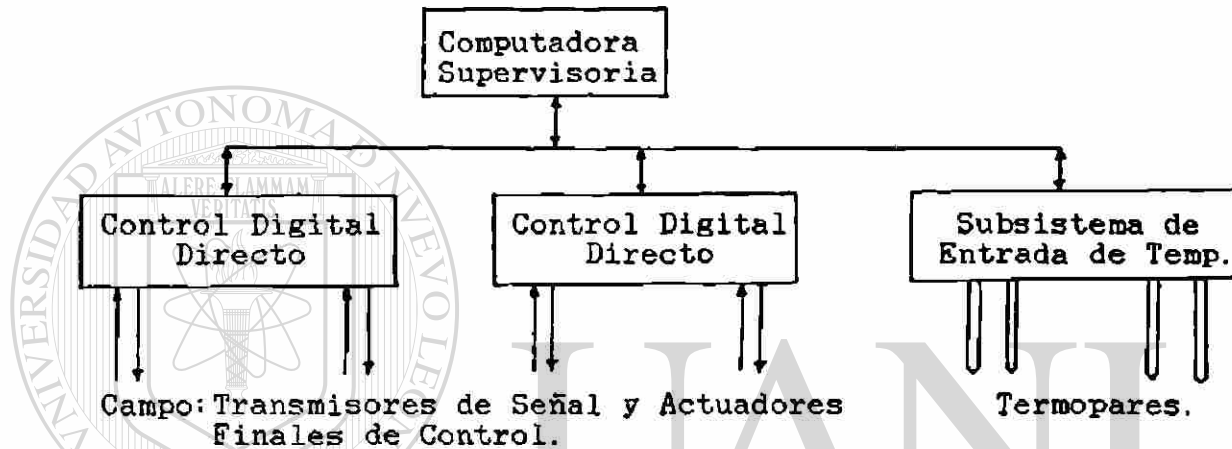
Por lo tanto agregando a estos, el Lazo de Control de Temperatura del Combustoleo, y el Lazo de Control de Presión de Aire de Atomización, se requiere para este Proceso de 26 Lazos de Control PID, 32 Indicaciones de Temperatura, además de señales digitales de entrada y salida para energizar bombas, motores, etc.

6.2.2 ARQUITECTURA PROPUESTA PARA EL SISTEMA.

Como ya se mencionó al inicio del capítulo se decidió instalar un Sistema de Control Computarizado Jerárquico.

Ya que el equipo de campo se encuentra retirado del Cuarto de Control, es muy conveniente que las computadoras de control digital directo y transmisores, se localicen en el sitio y que su comunicación a la computadora supervisora sea por cable coaxial, de esta manera evitamos, que multitud de cables sean enviados de campo a cuarto de control.

Se establece la siguiente arquitectura de control:



Una vez identificadas las necesidades del proceso y definida la arquitectura del sistema, debemos seleccionar los equipos que conformaran el sistema de control.

El Ingeniero que toma esta decisión, debe basarse a mi manera de pensar en 4 puntos que son:

- 1.- Satisfacer las necesidades del Proceso. Esto significa, que el equipo propuesto cumpla con los requerimientos de diseño y arquitectura propuestos para el sistema.
- 2.- Opciones de crecimiento a futuro. Si el proceso crece y requiero incrementar las operaciones, hasta donde me limita o me permite el equipo propuesto.
- 3.- Permanencia de la Compañía Proveedor en el Mercado. Que tantos años tiene de experiencia en el Mercado, Capacidad de Operaciones incluyendo Servicio Especializado en Mantenimiento, Ingeniería de Sistemas, Configuración, Instalación, Refacciones, etc, en su País de origen, en el nuestro, y en nuestra localidad.
4. Costo del Equipo de Control. Se debe tomar en cuenta el Costo de las diferentes alternativas para finalizar el análisis. Este punto aunque importante no es definitivo ya que antes se deben cumplir los 3 puntos anteriores.

6.2.3 SELECCION DE EQUIPO DE CONTROL JERARQUICO.

En el caso que se analiza, el listado de especificaciones detalladas de diseño, (primer paso) lo cumplen ampliamente varios proveedores como son General Eléctric, Honeywell, Leeds & Northrup, Foxboro, y otros fabricantes mas pequeños como Research Inc, y Warren Inc. Todos ellos admiten opciones de crecimiento muy amplias, hasta varios cientos de lazos de control y cientos de entradas y salidas analógicas y digitales. (Punto No.2).

El Punto No.3 permanencia de la Cia. Provedora, Honeywell resulto ser la mas confiable y segura de las opciones analizadas, demostró tener la mayor cantidad de especialistas en México y en la Zona Local y una Estructura de Ingeniería y Configuración muy fuerte. Esto le permite al cliente la tranquilidad de saber que en cualquier problema que se presente, contará con personal calificado para que le soporte y con existencia de refacciones.

Finalmente en el punto 4 aunque se vieron diferencias de precio en las marcas analizadas estas no son tan relevantes, como para inclinar la decisión hacia un lado u otro, y creo que en este caso influyó considerablemente la experiencia tenida en el pasado con la marca Honeywell, y la poderosa estructura de apoyo y soporte tanto local, como nacional e internacional. Cabe mencionar en justicia que actualmente otras compañías como Leeds & Northrup y Foxboro estan presentando equipos de muy alta tecnología y estan apoyando el soporte a nivel nacional por lo que creo que en un futuro próximo, estarán compitiendo muy fuertemente con Honeywell por el mercado nacional del control de procesos por medio de sistemas computarizados jerárquicos.

El Sistema de Control seleccionado para este proyecto es el Sistema Multifuncional, que forma parte del Sistema Integral de Control Jerárquico TDC-3000 Honeywell. Puede ser instalado a lo largo del proceso en forma distribuida, y de esos lugares puede conectarse a la computadora supervisoria que se encuentra en el cuarto de control, esto se hace por medio de un transportador de datos (bus), que es simplemente un cable coaxial, esto permite al operador acceso a cualquier información del proceso.

La arquitectura del Sistema propuesto está compuesta por el siguiente equipo:

Controladores Multifuncionales (MC). Que son realmente Computadoras de Control Digital Directo (CDD).

Unidades de Interfase de Proceso de Baja Energia (LEPIU). (Para señales de Termopares).

Estaciones de Operador (EOS). Computadora de mayor nivel o jerarquía que se comunica con los Controladores, y las Interfases de Proceso para el manejo de información a un nivel mas alto, además de tener la capacidad de tomar decisiones de control sobre los controladores multifuncionales, modificando su referencia.

El control lo efectúan los Controladores Multifuncionales que se encuentran distribuidos en la planta, realizando el continuo procesamiento de los lazos de control. Los Controladores cuentan con la electrónica necesaria para recibir entradas analógicas, digitales y de contadores de los dispositivos de campo, realizan los cálculos de control de acuerdo al algoritmo y secuencia de control asignado, y proveen las salidas digitales y analógicas resultantes a los dispositivos de campo, cada controlador multifuncional puede manejar hasta 16 lazos de control, pero sólo 8 salidas analógicas, pero en cada controlador se pueden agregar 1 o 2 ensamblajes auxiliares cada uno acepta de 1 a 8 tarjetas de entradas y salidas analógicas o digitales (apendice, boletín Honeywell BC-03-01 pag 9).

Adicionalmente el Controlador provee un método muy conveniente de establecer secuencias, este método funciona de una forma similar a un programa de alto nivel orientado al usuario en una computadora personal, utiliza instrucciones de tipo nemónico en idioma inglés para estructurar dichas secuencias. Las instrucciones pueden establecerse desde la estación del operador y se escriben por el usuario en un lenguaje denominado SOPL (Sequence Oriented Procedural Language). Un programa escrito en este lenguaje es una descripción de la secuencia de operación que puede interpretarse fácilmente paso a paso, ya que el lenguaje se adapta a la experiencia de la mayoría de los ingenieros de proceso. El programa se escribe a partir del diagrama de flujo, el cual representa a su vez el proceso a controlar.

Características importantes del Lenguaje SOPL del Sistema Multifuncional.

Definición de la Unidad de Proceso por el usuario.

Capacidad de manejo de Unidades Múltiples.

Capacidad de manejo de Subrutinas.

Capacidad de Cálculo.

Capacidad de manejo de Mensajes.

Capacidad de manejo de Condiciones Anormales (Seguridad).

Amplia variedad de Algoritmos de Control Configurables.

La comunicación entre el Sistema Distribuido conectado al proceso (Controladores Multifuncionales) y el cuarto de control (Estación del Operador), se realiza por medio del transportador (bus) de datos, proporcionando un enlace de comunicaciones bidireccionales a través de las cuales pueden manipularse o desplegarse cualesquiera de los puntos de control, el tráfico del transportador de datos (bus), se controla con un protocolo de comunicaciones que incluye pruebas de direccionamiento a nivel dispositivo y códigos de seguridad BCH. Siendo este sistema de comunicaciones redundante (cable coaxial), esto es si por alguna razón se perdiera un transportador de datos (bus), automáticamente entraría en operación el redundante y se tendría una señal de falla de (bus), pero el proceso no se vería afectado en absoluto.

Otra característica importante que apoya esta selección es que se puede implementar, el control automático ininterrumpido con un solo Controlador Multifunción que, en caso de falla de cualquiera de hasta 8 Controladores, el de soporte tomaría el lugar del que hubiera fallado, y se generaría un mensaje de alerta, pero el proceso no se enteraría de la falla. Otros equipos dan el mismo soporte pero en una relación de uno a uno lo cual eleva el precio de la instalación drásticamente. Y en el presente análisis no se justificaba esta duplicidad de control. En procesos de mucho mayor riesgo, como por ejemplo una planta nuclear, el concepto podría ser otro y aunque fuera más caro se solicitaría el control con respaldo 1 a 1.

La Estación del Operador Mejorada es un paquete completo, que incluye una pantalla (CRT), un teclado interactivo para el control del proceso y llamado de despliegues y todos los dispositivos electrónicos y de almacenaje requeridos para una funcionalidad completa.

La Estación incorpora como características de norma: Tendencias, Promedios por hora, Alarmas, Acción de arranque/paro, Impresiones y Diagnósticos del Sistema. Cada Estación es capaz de operar independientemente de cualquier otra, y no involucran memorias, minicomputadoras u otros dispositivos externos a la Estación. Desde ella, el usuario puede desarrollar programas para ser usados por los Controladores Multifuncionales, o para generar puntos de cálculo (C-Points). La programación del Sistema se hace en la Estación, pero la información se carga en el Controlador Multifunción y el ejecuta el Control del Proceso.

La Estación del Operador es la ventana por medio de la cual el operador se comunica con el proceso, fija puntos de ajuste en los controladores, observa las variables del proceso y en caso de falla, los Controladores Multifunción siguen controlando en sus puntos previamente fijados.

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

NOTA: DE AQUI EN ADELANTE TENDREMOS QUE UTILIZAR DATOS DE LOS FABRICANTES, QUE SE MENCIONAN EN BOLETINES PARTICULARES Y QUE SE ANEXAN EN EL APENDICE, PARA REFERIRNOS A ELLOS SE AGREGARAN LAS LETRAS "A" (Apendice), - LA LETRA INICIAL DEL PROVEEDOR QUE ELABORO EL BOLETIN "C" (Combustion Tec), "H" (Honeywell), "G" (Gordon), "F" (Foxboro), "N" (Newport) - SEGUIDO DEL NUMERO PARTICULAR DEL BOLETIN - FINALMENTE EL NUMERO DE PAGINA DE DONDE SE EXTRAE EL DATO.

SELECCION DE LA ESTACION DEL OPERADOR.

La pag. A-H-BE-2 muestra un diagrama a cuadros con opciones que puede tener la Estación del Operador. Se puede seleccionar entre una Estación Básica (pag. A-H-BE-5) y una Estación Mejorada (A-H-BE-6 y BE-7). La básica solo maneja lazos PID, sin poder implementar funciones lógicas o secuenciales, la Estación Mejorada nos permite todas las funciones previamente mencionadas.

Por lo tanto el primer paso fue seleccionar un paquete de Estación Mejorada (MA-OS535) que incluye: Electrónica de la Estación Mejorada (C-DSB68), CRT de Color 19" (A-VMD33), Kit de Software EOS III R535 DISKETTES (P-DK535), Tee-Coax(2 Pzas) (C-KCA01) Cable y Conectores, Fuente de Poder de C A (51110325-100), Electrónica, Ventilador, Etc (P-EMH11).

El segundo paso fue la selección del teclado, se tiene las opciones entre teclas (FULL TRAVEL KYBD), o Membrana (MEMBRANE KYBD), al de membrana si le cae un líquido no lo penetra, ni tampoco lo daña el polvo, pero si falla un caracter se debe cambiar toda la unidad y si se va a realizar todo el trabajo de programación con el, es más incomodo de operar, por estas razones se seleccionó, teclas individuales (FULL TRAVEL) (P-DSG55).

El tercer paso fue la selección de la unidad de disco, se tienen tres opciones (todas en disco flexible): Unidad de disco sencillo, unidad de doble disco, y unidad de disco sencillo-sencillo para dos estaciones de operador. Se seleccionó la segunda opción, unidad de doble disco (MP-DFDDL5), ya que sólo se va a adquirir una Estación de Operador y la opción doble nos da la seguridad de un respaldo, si falla un manejador, se puede usar el segundo del sistema dual. (pag AH-BE6).

El cuarto y último paso fue la selección del gabinete, aquí la opción considerada fue (MP-FMSPO5) que tiene en su parte inferior espacio para acomodar todas las tarjetas electrónicas de la Estación Mejorada del Operador (Computadora Supervisoría de los Controladores Multifuncionales (que a su vez son computadoras de control digital directo)), también tiene una mesa para acomodar el teclado del operador, al frente tiene el espacio para el CRT de color de 19" y en la parte superior se puede instalar la unidad dual de disco. (pag A-H-BE-9).

Fuera de la Estación, pero indispensables para la operación son los Diskettes Operativos y de Configuración (pag. A-H-BE-6), J-DBK15, 25, 35, y 45.

También se requiere la Interfase para impresora sencilla (C-DSP01) y la impresora (C-DSP40) (pag. A-H-BE-7).

SELECCION DEL CONTROLADOR MULTIFUNCION.

Como ya se mencionó en la sección 6.1, se requieren 26 Lazos de Control, por lo que dos (MC's) con capacidad de hasta 16 c/u, son suficientes, el Controlador Multifuncional acepta 16 Entradas analógicas pero solo dá 8 Salidas, por lo que se requiere agregar un ensamble auxiliar de hasta 8 tarjetas, las cuales se seleccionarán apoyandonos en la pag. (A-H-BC 03 01 - 9), observamos que se requieren 2 tarjetas de salidas analógicas PX-OA21 cada una con 4 puntos de salida, para completar las 8 que le faltaban al (MC). También requerimos una tarjeta de entradas analógicas PXIA32 con 8 puntos de entrada, para poder medir señales analógicas de entrada. Finalmente seleccionaremos 1 tarjeta de entradas digitales PXID11 para 16 puntos de 24 Volts CD y 1 tarjeta de salidas digitales de 8 puntos PXOD31 salida a relevador máximo 125 Volts .4 Amp por punto. Se requieren en total 5 tarjetas auxiliares que se pueden acomodar en un solo ensamble auxiliar, por lo que el paquete seleccionado es el de dos Controladores Multifuncionales cuyo número de configuración es MS-MNR202 (pag. A-H-DM-18) con un ensamble auxiliar de tarjetas entrada/salida (I/O FILE), cada uno.

SELECCION DE LA UNIDAD DE INTERFASE DE PROCESO DE BAJA ENERGIA (LEPIU).

Esta Unidad viene siendo el Subsistema de Entrada para recibir las señales de termopares. Para esta Zona de Fundición se van a utilizar 32 termopares.

En el apéndice (A-H-PI-26 y PI-27) tenemos la información de las cajas de campo multiseleccionadoras de termopares (Multiplexer Box) dependiendo de la cantidad de termopares, será el número de cajas, (cada caja acepta 16 termopares). La pag AH-PI26 muestra los modelos para seguridad intrínseca en normas europeas (FM), americanas (PTB), canadienses (CSA), y alemanas (BASEEFA). En nuestro caso no se requiere esta seguridad ya que las cajas no se ubicarán en lugares explosivos. En la pag A-H-PI-27 se encuentran los modelos sin seguridad intrínseca únicamente en las normas americanas.

Seleccionaremos el modelo P-OIM31 que es la caja completa tipo NEMA con sus 2 tarjetas, lógica y de terminales para termopares (TC) ya que también existen para RTD y el modelo es diferente.

Finalmente para la electrónica común, se seleccionará de la pag A-H-PI-28 el ensamble electrónico (P-CFA39) que se puede montar en el tablero del Controlador Multifunción (TDC), ya que la otra opción P-CFA61 involucraba gabinetes separados y esto no se justifica, ya que cabe perfectamente en el módulo del Controlador.

6.2.4 SELECCION DE QUEMADORES.

Refiriendonos al boletin (A-C-03F), (Apendice, Combustion Tec, 03F), se selecciona el Quemador de Combustoleo a presión media (5 a 40 psig.), el cual tiene flamas largas y luminosas que pueden ser ajustables, esta diseñado para quemar combustoleos pesados precalentados para obtener una viscosidad de 150 SSU o menos = 32 centistokes o menos.

De acuerdo a nuestros datos, del combustoleo suministrado a nuestra planta esperamos tener a 130°C una viscosidad $\mu_{cp} = 19$ centipoises ≈ 20.15 centistokes, con una Gravedad = 0.943.

Por lo que este Quemador cumple con buen rango de mejora nuestras necesidades de viscosidad. Ademas esta construido para trabajar con mínimo mantenimiento y larga vida.

Las capacidades del Quemador estan especificadas a 40 psig., para el aire de atomización y el combustoleo, pero puede trabajar a presiones de operación de 125 psig., las correcciones para aire de atomización deberán hacerse en flujo al cambiar la presión de operación, no en combustoleo por ser líquido y ser considerado no compresible.

Del mencionado boletin (A-C-03F), pag. 4 Tabla 3 se selecciona el modelo, M(G)15, ya que tiene una capacidad de 15 MBTU's/Hr.

El número completo del quemador seleccionado es:

03F No. de Serie Quemador Combustion Tec.
- M(G) Tamaño del Quemador.
E Estilo del Quemador Fig.5 Tabla 6 Pag. 7 .
Quemador de Atomización en el extremo y aire en línea de centro.
- 15 Capacidad del Quemador 15 MBTU/HR. Tab 3
B Quemador extremo Venturi.

Modelo : 03F - M(G)E - 15B

Como se puede observar del apendice (A-C-03F-4) Tabla 3 . El Quemador seleccionado M(G)15 maneja un máximo de 108 Gal/Hr = 409 Litros/Hora por lo que nuestro rango especificado de 400 L/Hr coincide perfectamente, y maneja 86 scfm (pies cubicos estandard por minuto) a 40 psig de aire de atomización, como nuestras especificaciones marcan presión de 85 psia. se debe hacer la conversión y este rango corresponde a :

$$\text{Flujo de Aire de Atomización} = 86 \sqrt{(55)/(85)} = 69.2 \text{ pies /min} \\ = 117.6 \text{ M}^3/\text{min.}$$

Por lo que el rango de flujo de aire que acepta el quemador cumple tambien con los requerimientos de nuestras especificaciones que son de 112 M³/min.

De aqui se concluye que este Quemador es una buena solución a nuestras necesidades.

6.3 CALCULO DE TRANSDUCTORES PRIMARIOS PARA MEDICION DE FLUJO TIPO DE ORIFICIO Y SELECCION DE TERMOPARES.

Se seleccionarán los transductores Placas de Orificio y Tubo Venturi, y se seleccionarán los termopares para esta zona de fundición.

Placa de Orificio para medición de Combustoleo # 6 en un rango de 0 a 400 L/Hr.

Placa de Orificio para medición de Aire de Atomización del combustoleo en la relacion 280 a 1.

Tubo Venturi para medición de Aire de Combustión en relación de 12000 a 1. (Ambas relaciones a una parte de combustoleo).

Las unidades de presión diferencial se dan en milímetros de columna de Agua = mm H2O.

6.3.1 CALCULO DE PLACA DE ORIFICIO PARA MEDICION DE COMBUSTOLEO # 6 DE 0 A 400 L/HR.

Las principales variables involucradas en este cálculo son tres: La razón máxima de flujo, el diámetro del orificio interior y el rango de presión diferencial.

Si cualesquiera dos de estas variables se conocen, la tercera se puede calcular con las ecuaciones y tablas del capítulo 3 y apéndice.

De cálculos de tuberías no discutidos en este trabajo se utiliza para Combustoleo # 6 y 400 Lt/Hr, tubería de 1/2" cedula 40.

DATOS DE DISEÑO.

Fluido	Combustoleo # 6
Flujo Rango Maximo	(q max)= 400 L/Hr
Temperatura Condicion Base	(Tb)= 15 °C
Flujo Normal	(q n)= .8 (q max)= 320 L/Hr
Gravedad Especifica a Temp base	(Gb)= 0.982 @ 15°C
Gravedad Especifica a Temp de flujo	(Gf)= 0.943 @ 130°C
Temperatura de Flujo	(Tf)= 130°C
Factor de Compresibilidad (Liquidos)	(Fp)= 1
Factor Tabla 3.1.2 (pag 43) para Lt/Hr	Nvg = 4.000571
Factor de Expansion Termica	(Fa)= 1.0038
(Fa obtenido de la Fig 3.1.1.4 (pag 41) para Tf=130°C=266°F y Placa de Orificio de Acero Inoxidable Serie 300).	
Diámetro Interior de Tubería 1/2" Cedula 40 (D)=15.8 mm	(Apéndice Foxboro pag # 5)
Viscosidad a Temp de flujo (dato Pemex)	μ_{cp} = 19 cp

De la Ec. 3.1.11 (pag 44) tenemos:

$$q = \frac{N C F_a Y d^2 \sqrt{\Delta P} \cdot f(P)}{\sqrt{1 - \beta^4}}$$

Donde f(P) depende de la razón de flujo que se desea manejar másico o volumétrico, en el caso presente por tamaño de tubería y tipo de flujo a manejar se seleccionó un transmisor de presión diferencial Foxboro con orificio integral IFOA donde se sustituye

Y $f(\rho)$ por $(\sqrt{F_p} \sqrt{G_f}) / (G_b)$ de Cálculos Experimentales de Laboratorios Foxboro. La Ec. 3.1.11 queda para este caso:

$$q = \frac{(Nvg) C F_a d^2 \sqrt{F_p} \sqrt{G_f} \sqrt{\Delta P}}{\sqrt{(1 - \beta^4)} (G_b)} \quad \text{(Litros/Hora)} \quad \text{Ec. 6.3.1.1}$$

Flujo Volumétrico de Líquido a Condiciones Base (Gravedad Específica)

Despejando $\sqrt{\Delta P}$:

$$\sqrt{\Delta P} = \frac{q}{Nvg (C) (F_a) d^2 \sqrt{F_p} \sqrt{G_b}} \sqrt{(1 - \beta^4)} (G_b) \quad \text{Ec. 6.3.1.2}$$

El orificio interior seleccionado es uno estandar de 0.25 pulgadas = 6.35 mm.

$$\beta = d/D = (.25) (25.4 \text{ mm}) / (15.8 \text{ mm}) = .4018987$$

$$\beta^4 = .0260895 \therefore \sqrt{1 - \beta^4} = .986869$$

Para evaluar $\sqrt{\Delta P}$, podemos observar en la Ec. 6.3.1.2 que el único parametro que nos falta evaluar es C (Coeficiente de descarga), para lo cual aplicaremos la Ec. (f) Tabla 3.1.4 (pag 46) que nos da R_D , y con este numero de Reynolds vamos al apendice (pag AF #8) que relaciona C con R_D .

$$R_D = \frac{(1413.515) (G_b) (q)}{(\mu_{cp}) (D) (Nvg)} \quad \text{Ec. 6.3.1.3}$$

$$R_D = \frac{(1413.515) (.982) (400)}{(19) (15.8) (4.000571)} = 462.32$$

Del apendice (pag AF # 8) interpolando β y R_D obtenemos C.

$$C \approx 0.69$$

$$\sqrt{\Delta P} = \frac{(400) (.986869) (.982)}{(4.000571) (.69) (1.0038) (40.3225) (1) (.9710818)}$$

$$\sqrt{\Delta P} = 3.5728 \quad \Delta P = 12.764899 \text{ Kpa}$$

$$\Delta P = \frac{12.764899 \text{ Kpa}}{.009791}$$

$$\Delta P = 1303.738 \text{ mm H}_2\text{O}$$

Con esto se dá por concluido el cálculo, ya que se ha obtenido el tercer factor que es la presión diferencial, y ya se conocían el rango de flujo, y el diámetro del orificio integral.

6.3.2. CALCULO DE LA PLACA DE ORIFICIO PARA MEDICION DE AIRE DE ATOMIZACION RELACION 280 AIRE : 1 COMB.

Para este cálculo, como en el anterior consideraremos conocidas dos de las tres variables más relevantes, la razón de flujo máximo, y la presión diferencial deseada, así sólo se calcula la relación y el diámetro del orificio de la placa. Notar que en el cálculo anterior se consideró un orificio dado y se calculó la presión diferencial, ahora se considerará dada la presión diferencial y se calculará el diámetro del orificio, quien esta calculando el sistema escoge los parametros que le convienen de acuerdo a su experiencia, y la disponibilidad del mercado.

DATOS DE DISEÑO

Fluido	Aire de Atomización
Flujo Rango Máximo = 280 x 400Lt/Hr=	112000 Lt/Hr= 112 M ³ /Hr
Factor de Compresibilidad del gas	(Zf1)= 1.000
Temperatura de Flujo Absoluta	(Tk1)= 40°C = 313.15°K
	$\sqrt{Tk1}$ = 17.696044
Gravedad Específica del gas (Aire)	(G) = 1.0
Presión Base Absoluta (ver pag 42)	(Pb)= 101.325 KPa
Factor N para Presión y Temperatura (Nvpt)b=	0.06774938
Base Seleccionada/Tabla 3.1.2 (pag 43).	
Factor de corrección por expansión termica Fig 3.1.1.4 (pag 41) Tf=40°C=104°F Placa acero inox.	(Fa)= 1.0007
Factor de Compresibilidad del gas a Temperatura y Presión Base.	(Zb)= 1.000
Temperatura Base Absoluta para el gas	(Tkb)= 15°C =288.15°K
Diámetro Int. de la tubería 1" Ced 40 (pag AF #5 Tabla 2)	(D)= 26.64 mm (D) ² = 709.6896
Presión Diferencial deseada (ΔP)= 2500 x .009791 (pag AF # 22)	(ΔP)= 2500/mm H2O (ΔP)= 24.4775 KPa $\sqrt{\Delta P}$ = 4.9474741
Presión Absoluta a condiciones de flujo (Suministrada por el compresor) = 100 (pag AF # 22)	(Pf1)= 100 psia x 6.895 = 689.5 KPa $\sqrt{Pf1}$ = 26.258332
Viscosidad Absoluta a Temp de flujo	μ_{cp} = 0.019 cp

De la Tabla 3.1.3 (pag 45) tenemos el factor de tamaño Sm para flujo de gas volumétrico a condiciones base seleccionada (Ec. m).

$$Sm = \frac{\sqrt{Zf1} \sqrt{Tk1} \sqrt{G} (Pb) (qvb)}{(Nvpt)b (Fa) (Zb) (Tkb) D^2 \sqrt{\Delta P} \sqrt{Pf1}}$$

$$Sm = \frac{(1) (17.696044) (1) (101.325) (112)}{(.06774938) (1.0007) (1) (288.15) (709.6896) (4.9474741) (26.25833)}$$

$$S_m = \frac{200.821.78}{1\ 801,134.90} = .1114973$$

Ahora se requiere verificar el número de Reynolds del flujo volumétrico gas (aire) a condiciones base seleccionada. Tabla 3.1.4 (pag 46).

$$R_D = \left[83.46744 \frac{(G) (P_b)}{(Z_b) (T_{kb})} \times \frac{1}{\mu_{cp} D (N_{vpt}) b} \right] q_{vb}$$

$$R_D = 83.46744 \frac{(1) (101.325) (1) (112)}{(1) (288.15) (.019) (26.64) (.06774938)}$$

(De la Tabla 3.1.6 pag 48) Para placas de orificio tomas de brida y $R_D > 10,000$:

$$\beta_o = \left[1 + \left(\frac{.6}{S_m} + .06 \right)^2 \right]^{-1/4} \quad (\text{Ec. i})$$

$$\beta_o = \left[1 + \left(\frac{.6}{.1114973} + .06 \right)^2 \right]^{-1/4} = \frac{1}{\sqrt{30.6}}$$

$$\beta_o = \frac{1}{2.3521103}$$

$$\beta_o = .4251501$$

$$d = (\beta_o) (D)$$

$$d = 11.325998 \text{ mm}$$

$$d = 11.326 \text{ mm}$$

Con esto se puede dar por concluido el cálculo y la Placa de Orificio, se mandará construir con el diámetro interior (d) y diámetro exterior (D).

En el ejercicio anterior se consideró trabajar a presión y temperatura base seleccionada, ahora bien como estos valores seleccionados corresponden con los estándares internacionales SI, (Pb= 101.325 KPa y Tb= 15°C= 288.15 °K), podemos aplicar la fórmula para base internacional (Tabla 3.1.3 Formula 1 pag 45):

$$S_m = \frac{\sqrt{Z_f} \sqrt{T_k} \sqrt{G} (q_v)}{(N_{vpt}) (F_a) (Z_b) (D)^2 \sqrt{\Delta P} \sqrt{P_f}}$$

$$S_m = \frac{(1) (17.696044) (1) (112)}{(.1926670) (1.0007) (1) (709.6896) (4.9474741) (26.25833)}$$

$$S_m = .1114972$$

Ahora se requiere verificar el número de Reynolds del flujo volumétrico gas (aire) a condiciones base estandar.

$$R_D = \left[83.46744 \frac{(G) (q_v)}{(Z_b) (\mu_{cp}) (D) (N_{vpt})} \right]$$

$$R_D = \frac{83.46744 (1) (112)}{(1) (.019) (26.64) (.192667)}$$

$$R_D = 95,860.585$$

Observamos que S_m y R_D corresponden perfectamente con el cálculo anterior y por lo tanto " β_o " y " d " están perfectamente calculados para esta Placa de Orificio de Aire de Atomización de Combustoleo.

6.3.3 CALCULO DEL TUBO VENTURI PARA MEDICION DE AIRE DE COMBUSTION EN RELACION DE 12,000 a 1 o 12 M³ de AIRE a 1 L. de COMBUSTOLEO.

Para este cálculo, consideraremos conocido el rango de flujo máximo, y la presión diferencial deseada, así sólo se calculará la relación " β_0 " y el diámetro de la garganta "d" del Tubo Venturi.

DATOS DE DISEÑO

Fluido	Aire de Combustión
Flujo Rango máximo (qvb max)=Relacion x Flujo de Combustoleo (qvb max)= 12,000 x 400 L./Hr= 4 800,000 L./Hr = 4 800 M ³ /Hr	
Factor de Compresibilidad del gas	(Zf)= 1.000
Temperatura de Flujo Absoluta	(Tk)= 50°C = 323.15°K
Gravedad Específica del gas (Aire)	(G)= 1.000
Presión Base Absoluta	(Pb)= 101.325 KPa
Temperatura Base Absoluta	(Tb)= 15°C = 288.15°K
Factor N para Presión y Temperatura Base Estandar (Tabla 3.1.2 pag 43)	(Nvpt)= 0.1926670
Factor de Corrección por Expansión Térmica (Fig 3.1.1.4 pag 41 a Tf=50°C=122°F lamina de acero)	(Fa)= 1.0008
Factor de Compresibilidad del gas a Temperatura y presión base.	(Zb)= 1.000
Diámetro interior de la tubería 16"	(D)= 406.4 mm (D) ² = 165,160.96 mm ²
Presión Diferencial deseada 5" H2O (pag AF # 22) 127 x .009791	(ΔP)= 127 mm H2O (ΔP)= 1.243457 KPa √ΔP = 1.115104
Presión Barométrica Local	(Pbl)= 702 mm Hg
Presión Estática del Ventilador	(Pev)= 8" H2O
Presion Absoluta a condiciones (Pf1)= 93.5766 + 1.9896	(Pf1)=(702 x .1333) + (8 x .2487) (Pf1)= 95.5662 KPa √Pf1 = 9.7757966
Viscosidad Absoluta de operación	μcp= 0.019 cp

De la Tabla 3.1.3 (pag 45) tenemos el factor de tamaño Sm para flujo de gas volumétrico a condiciones base estandar (Ec.1)

$$S_m = \frac{\sqrt{Z_{f1}} \sqrt{T_{k1}} \sqrt{G}}{(N_{vpt}) (F_a) (Z_b) (D)^2 \sqrt{\Delta P} \sqrt{P_{f1}}} \cdot q_v$$

$$S_m = \frac{(1) \times (17.976373) \times (1) \times (4800)}{(0.192667) (1.0008) (1) (165,160.96) (1.115104) (9.7757966)}$$

$$S_m = \frac{86,286.59}{347,159.86}$$

$$S_m = .24855$$

Ahora verificaremos el número de Reynolds de flujo volumétrico de gas (Aire) a condiciones base estandard Tabla 3.1.4 (pag46) (Ec. 1).

$$R_D = \left[83.46744 \frac{(G) \times (qv)}{(Zb) (\mu_{cp}) (D) (Nvpt)} \right]$$

$$R_D = \left[83.46744 \frac{(1) \times (4800)}{(1) (.019) (406.4) (.192667)} \right]$$

$$R_D = 269,304.54$$

Ya que R_D es suficientemente grande (ver pag 47) la fórmula (a) (pag 48), para un Tubo Venturi de Entrada Maquinada es apropiada.

$$\beta_o = \left[1 + \left(\frac{0.995}{S_m} \right)^2 \right]^{-1/4} = \left[1 + \left(\frac{0.995}{.24855} \right)^2 \right]^{-1/4}$$

$$\beta_o = 0.4922926$$

El diámetro de la garganta es : $d = (\beta_o)(D)$

$$d = 0.4922926 \times 406.4 \text{ mm}$$

$$d = 200.0677 \text{ mm}$$

Como una ayuda para quien requiere calcular, o verificar un cálculo de esta naturaleza de una manera rapida, Foxboro proporciona un nomograma similar, a aquellas reglas de calculo usadas para operaciones aritmeticas antiguamente. Esta regla sirve para cálculos de Placas de Orificio, Tubo Venturi, Tobera de Flujo y Tubo Pitot, y también para cálculo de Cv de Válvulas.

Como ejemplo se rectificará el cálculo del Tubo Venturi para Flujo de Aire de Combustión.

PASOS A SEGUIR :

- 1o. Se coloca en la Escala Q el Flujo 4800 M³/Hr (movimiento de cursor).
- 2o. Se hace coincidir con este punto la Presion Diferencial 127 mm H₂O Escala D (movimiento de regleta).
- 3o. (Mov. de cursor) a Gravedad Especifica (1.0 Aire).
- 4o. (Mov. de regleta) a Presión Absoluta a condiciones de flujo (aprox. 1 Kg/cm² abs.).
- 5o. (Mov. de cursor) a Temperatura de flujo Escala T (50°C).
- 6o. (Mov. de regleta) a un Punto Fijo conocido como (d/D Reference).
- 7o. (Mov. de cursor) a Diametro Interior de la tuberia Escala A (406.4 mm).
- 8o. Bajo el cursor en la Escala de Tobera de Flujo o Venturi se encuentra la relacion β_o , aproximadamente = .51

Lo cual valida nuestro calculo mas preciso de $\beta_o = .4923$.

En el Apendice se muestra una copia de esta regla de cálculo

6.4 SELECCION DE TRANSMISORES DE FLUJO Y TEMPERATURA.

Estos dispositivos son realmente acondicionadores de la señal primaria de los transductores de campo a los equipos de control, los transmisores de flujo y temperatura que se seleccionan, pueden conectarse a controladores analógicos, o controles digitales como es el caso del presente Control Jerárquico.

Nuevamente existen varias opciones disponibles, en el caso de transmisores de flujo de presión diferencial, se seleccionó el equipo Foxboro, por que fué el que pudo satisfacer los requerimientos del proceso plenamente y al mejor precio del mercado, para los transmisores individuales de temperatura, se considero Newport, por las mismas razones anteriores, ambos son equipos de muy alta calidad y confiabilidad.

6.4.1 SELECCION DE TRANSMISOR DE FLUJO PARA MEDICION DE COMBUSTOLEO.

DATOS DE DISEÑO:

Fluido	Combustóleo #6.
Presión de Flujo en el lado de alta	(Pf1) = 10 Kg/cm ² a. (142 psia)
Presión Diferencial máxima	(ΔP) = 1303.738 mm H ₂ O
Temperatura de Flujo	(Tf) = 130 °C
Temperatura Ambiente	(Ta) = 0 a 45 °C
Voltaje de Alimentación	(Va) = 24 Volts C. D.

Refiriendonos al Apéndice, (Boletín Foxboro PSS2A 1A3A), que trata de especificaciones del producto, localizamos el Transmisor o Celda de Presión Diferencial 823 d/p.

Este transmisor acepta una temperatura de proceso o de flujo de -40 a +120°C, nuestro rango de +130°C máxima temperatura de operación queda prácticamente en el límite alto, y el proveedor garantizó una buena operación, por las tolerancias que tiene su producto, la temperatura ambiente que acepta este transmisor es de -40 a +80°C, y humedad relativa de 0-100%, voltaje de alimentación +30 Volts c.d.

Entrega una señal de 4 a 20 miliamp c.d. a una carga de salida de 650 Ohms, o de 10 a 50 miliamp a una carga de 600 Ohms.

En cuanto al rango de presión diferencial y presión estática máxima tenemos opciones. En nuestro caso refiriendonos a la pag. (A-F-PSS2A 1A3A-6) Seleccionamos.

823 DP= Transmisor

-I 4 a 20 mA cd de señal de salida

3S Presión estática 21 MPa, cubierta acero inox 316

1 Fluido para llenar el sensor aceite de silicio.

S Partes del sensor en contacto con fluido AI-316

M Rango (ΔP) entre 6 y 36 KPa, o 25 y 150 pulg H₂O

1 Conexiones de proceso 1/4 NPT

-B Indicador con escala cuadrática de 0 a 100 %

CS-E/FD-A- Clasif. certificado no incendiable

El número de modelo completo para los transmisores de flujo de Combustóleo en el rango de 0 a 400 L./Hr es:

823DP-I3S1SM1-B CS-E/FD-A Foxboro.

6.4.2 SELECCION DE TRANSMISOR DE FLUJO PARA MEDICION DE AIRE DE ATOMIZACION.

DATOS DE DISEÑO:

Fluido	Aire de Atomización.
Presión de Flujo lado de alta	(Pf1)= 7 Kg/cm ² a. (100 psia)
Presión Diferencial Maxima	(ΔP)= 2500 mm H ₂ O (ΔP)= 24.4775 KPa
Temperatura de Flujo	(Tf)= 40 °C
Temperatura Ambiente	(Ta)= 50 °C
Voltaje de Alimentación	(Va)= 24 Volts c d

Refiriendonos al apendice (Boletin Foxboro PSS2A-1A15A) (Especificaciones de Producto) encontramos el Transmisor o Celda de Presión Diferencial 843 d/p.

Este Transmisor acepta una Temperatura de Proceso o de Flujo de -45 °C a +120 °C, una Temperatura Ambiente de -50 °C a +80 °C, Humedad Relativa de 0 a 100%, voltaje de alimentacion de +12.5 a +36 Volts de c d y su carga de salida puede ir de 0 a 1175 Ohms. Tambien acepta un sobrerango de presión diferencial y Presión Estática Máxima de hasta 14 MPa . Y el modelo H tiene como limites de rango de Presión Diferencial 19 y 75 KPa, por lo que nuestra ΔP de 24.4775 KPa requerida, cae perfectamente en este rango. Por lo tanto, el Transmisor requerido para esta aplicación cumple perfectamente las especificaciones de funcionamiento del 843.

El modelo completo del Transmisor seleccionado se obtiene de la pag. (AF-PSS2A 1A15A-3), siendo este:

843 - Celda Transmisora de Presion Diferencial

DP - Configuración estándar
(El área donde se aplicara no requiere a prueba de explosión).

H - Rango de operación ΔP entre 19 y 75 KPa
(24.4775 KPa requeridos).

1 - Conectores de proceso 1/4 NPT

M - Selección opcional Set de Montaje

CS-E/FN-A (Clasificación Eléctrica
certificada FM Clase 1,
Division 2)

El número de Modelo completo para los transmisores de Aire de Atomización en el rango de 0 a 112 M³/Hr es:

843-DP-H-1-M-CS-E/FN-A Foxboro.

6.4.3 SELECCION DE TRANSMISOR DE FLUJO PARA MEDICION DE AIRE DE COMBUSTION.

DATOS DE DISEÑO:

Fluido	Aire de Combustión.
Presión de Flujo lado de alta	(Pfl) = 95.6 KPa
Presión Diferencial máxima	(ΔP) = 127 mm H ₂ O
	(ΔP) = 5 pulg H ₂ O
Temperatura de Flujo	(Tf) = 50 °C
Temperatura Ambiente	(Ta) = 45 °C
Voltaje de Alimentación	(Va) = 24 Volts cd

Para la selección de este equipo nuevamente nos referimos al Boletín (A-F-PSS2A 1A3A), y encontramos el transmisor o Celda de Presión Diferencial Foxboro 823 d/p.

Este transmisor acepta una Temperatura de Proceso o de Flujo de -40 a +120°C, nuestro rango de 50°C cae prácticamente al centro de estos límites, la Temperatura Ambiente que acepta este transmisor es de -40 a +80°C, de nuevo cumple perfectamente los requisitos de nuestro proceso, en cuanto a voltaje de suministro acepta hasta 30 V cd, y su humedad relativa esta en el rango de 0 a 100 %, entrega una señal de 4 a 20 mA. a una carga de 650 Ohms.

En cuanto al rango de Presión Diferencial y Presión Estática máxima, tenemos opciones. En este caso refiriendonos a la pag (A-F-PSS2A 1A3A-6) Seleccionamos:

823DP = Transmisor

-I Señal de Salida 4 a 20 mA cd

-1P Presión Estática hasta 4 MPa

1 Fluido para llenar el sensor aceite de silicio
N Partes del sensor en contacto con el fluido
Aleación Cobalto-Nickel-Cromo (standard)

L Rango de Presión Diferencial entre (1.2 y 7.2 KPa) ó (5 y 30 pulg de H₂O)

1 Conectores de Proceso 1/4 NPT

-B Indicador con escala cuadrática de 0-100%
CS-E/FD-A Clasificación Eléctrica
Certificado no Incendiable.

El número de modelo completo para los transmisores de flujo de Aire de Combustión en el rango de 0 a 4800 M³/Hr es:

823DP-I1P1NL1-B CS-E/FD-A Foxboro.

6.4.4 SELECCION DE TRANSMISORES DE TEMPERATURA.

Para los lazos de control de temperatura, se requiere que la señal del termopar se acondicione de la señal proporcionada por estos en milivolts a una señal análoga de 4 a 20 miliamperes proporcional a la entrada de milivoltaje.

El Controlador Multifuncional (C.D.D.) seleccionado, acepta estas entradas (de 4 a 20 mA) en cualquier curva de termopar, y en cualquier rango, y proporciona al acondicionador de señal ó transmisor, voltaje de alimentación de 24 Volts cd en el sistema de alimentación y medición de 2 hilos, esto significa que las líneas de alimentación de potencia se utilizan también como líneas de señal, lo cual simplifica el alambrado de campo, eliminando la necesidad de líneas separadas de potencia y alimentación.

Refiriendonos al Apendice, Boletin Newport 1989/90 Data Book encontramos en la sección 14, el transmisor aislado para termopares, en dos hilos, de 4 a 20 miliamperes, Modelo 502-A.

Este excelente transmisor tiene la facilidad de configurar y calibrar supresión de cero y rango de operación, con el ajuste de potenciómetros de precisión de 15 vueltas y seleccionando puentes adecuados (selectores), por lo que prácticamente se puede configurar cualquier rango de operación.

Se considerará como ejemplo de selección del transmisor, el que se conectará al termopar del lazo de control de temperatura del combustóleo (cuyo punto de referencia de control es 130 °C), y al cual se le seleccionará un rango de operación de 0 a 200 °C.

Con referencia a la pagina (A-N-1989/90 DATA BOOK 14 - PAG 8 A 10), seleccionamos el transmisor:

502A - Transmisor de Termopar de 4 a 20 mA.

- J Tipo de Termopar rango nominal 0 a 500 °C.

- * Indicador de Termopar abierto sobrerango (25mA)

- MDT1 Montaje en riel tipo DIN.

OPCIONES: - FS Escala 0°C-4 mA 200°C-20 mA.

- CBP1 Aislamiento en cubierta.

El modelo completo del transmisor seria:

502A-J-*-MDT1-FS-CBP1 Newport.

6.5 SELECCION DE VALVULAS DE CONTROL.

- 1) Flujo de Combustoleo # 6 Rango de 0 a 400 L /Hr.
- 2) Flujo de Aire de Atomización Rango de 0 a 112 M³/Hr.
- 3) Flujo de Aire de Combustión Rango de 0 a 4800 M³/Hr.

Existen varias opciones disponibles en estos dispositivos finales de control, entre las que destacan Foxboro, Honeywell, Fisher Governor, Jamesbury, etc, nuevamente para la selección de una marca en particular se imponen los criterios mencionados en la sección 6.2 en el caso actual se selecciona la marca Foxboro, por que satisface plenamente las necesidades, y la experiencia que ellos tienen en equipos neumáticos ya es una garantía, cabe mencionar que Foxboro ha contado con investigadores que han hecho contribuciones muy valiosas a la tecnología de medición y control neumático. El costo de estas valvulas fue compatible con otras marcas y presento una mayor seguridad en cuanto a servicio y experiencia local.

6.5.1 SELECCION DE VALVULA DE CONTROL DE FLUJO DE COMBUSTOLEO # 6. RANGO 0 - 400 L /HR.

Como primer paso se debe calcular el Cv de la valvula:

DATOS DE DISEÑO

Fluido	Combustóleo # 6.
Presión de Flujo a la entrada de la valvula (Pf1)	= 135 psia
Presión de Flujo a la salida de la valvula (Pf2)	= 125 psia
Diferencial de Presión en la valvula (ΔP)	= 10 psi
Flujo máximo requerido (qv)	= 400 L /Hr = 1.72 Gal/min
Temperatura de operación (Tf)	= 90 °C
Gravedad Específica del Combustoleo (G)	= 0.943
Tamaño de la valvula requerido para líquidos = (Cv1)	

$$Cv1 = qv \sqrt{\frac{G}{\Delta P}} = 1.72 \times \sqrt{\frac{.943}{10}} = 0.5282$$

Asi que el tamaño requerido de la valvula o Cv es igual a 0.5282, esto quiere decir que si encontráramos una válvula exactamente con este Cv, y se cumplieran todas las condiciones de presión, gravedad, etc con una caída de presión de 10 psi en la válvula y 100% de abertura circularían a travez de ella los 400 L /Hr deseados, obviamente se debe dar alguna tolerancia y se escoge un Cv mayor al calculado.

En el apendice Boletin Foxboro GS-4-1A1 encontramos el modelo de la Válvula de Control Stabilflo Serie V1, Tipo Globo.

Para esta aplicación se selecciona un modelo lineal, y en la tabla 1 vemos información de válvulas desde 1/2 " hasta 1 " pasando por 3/4 ". La diferencia de precio entre las tres no es muy grande, sin embargo la válvula de 1/2 " es la más económica y tiene la ventaja de que se le puede cambiar el tamaño del asiento (trim) y con esto tenemos variedad de Cv's desde 1 hasta 5.

De esta manera si fuera necesario incrementar la razón de flujo a través de la válvula, con solo cambiar el asiento que es un aditamento económico y de fácil reemplazo se modificaría el Cv de la válvula. Por esta razón se selecciona la válvula de 1/2 " con asiento de 1/4 " para dar un Cv = 1 , que es el mínimo disponible, pero que cumple perfectamente con el .5282 calculado.

La presión de suministro de aire seleccionada es 20 psi.

El Actuador seleccionado es el P250 ya que en este rango manejamos presión al cierre de 0 a 675 y 0 a 900 psi, así que los 135 psi de operación no afectan al control. Se agrega información en el Apéndice (Boletín Foxboro TI 31-7a sobre selección de Actuadores).

La acción de la válvula se selecciona de Aire para abrir, así a falla de aire de suministro, la válvula cierra que es la operación segura.

Carrera 3/4 ". (Única carrera disponible en este tamaño).

Límites de temperatura de operación 0 a 208 °C.

Cuerpo : Acero al Carbon.

Asiento (Trim) 1/4 " Acero Inox. 316.

Esta válvula se complementa con el posicionador Corriente a Neumático E69P (Apéndice Boletín Foxboro PSS4-10A2A). El cual convierte la entrada de corriente directa nominal de 4 a 20 mA a una señal neumática de 0.2 a 1 Kg/cm², con retroalimentación de posición de válvula.

El número completo de este posicionador (se obtiene del apéndice (A) Boletín Foxboro (F)-PSS4-10A2A pag 2).

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

E69P - T Aplicación en área no explosiva.

- I Rango de señal de entrada 4 a 20 mA.
- 1 Señal de salida 20 psi ó 140 KPa.
- S Válvula serie V1 Actuador P-25.

Posicionador : E69P-T-I-1-S Foxboro.

6.5.2 SELECCION DE VALVULA DE CONTROL DE FLUJO DE AIRE DE ATOMIZACION RANGO DE 0 - 112 M³/HR.

Como primer paso calcularemos el Cv de la Valvula:

DATOS DE DISEÑO

Fluido Aire de Atomización
Presión de Flujo a la entrada de la válvula (Pf1)= 90 psia
Presión de Flujo a la salida de la válvula (Pf2)= 88 psia
Diferencial de Presión en la válvula (ΔP)= 2 psig
Flujo máximo requerido = (qv) = 112 M³/Hr = 493.14 Gal/min
Gravedad Específica del Aire (G)= 1.0
Temperatura Absoluta del flujo (Tf)= 50 °C= 582 °R
Tamaño de la valvula requerido para gases = (Cvg)

$$Cvg = \frac{qv}{1360} \sqrt{\frac{(Tf)(G)}{(\Delta P)(Pf2)}} = \frac{493.14}{1360} \sqrt{\frac{(582)(1)}{(2)(87)}} = 0.6631$$

Así que el tamaño de la válvula requerido ó Cvg= 0.6631 .

Para esta aplicación como en el caso anterior se selecciona un modelo lineal, por que si recordamos de la Teoría de Válvulas de Control, la válvula lineal presenta un flujo proporcional a su salida y como el Cv requerido es muy pequeño, el mínimo disponible es 1 esta válvula trabajará alrededor del 66% de abertura a flujo máximo, lo cual es un rango adecuado de operación, en cambio en igual porcentaje la válvula con el mismo Cv, trabajaría mucho mas cerrada ocasionando desgaste innecesario del asiento y un control deficiente.

En el apendice (Boletín Foxboro GS-4-1A1) encontramos el modelo de Valvula de Control Stabilflo Serie V1. Cuerpo de Globo.

En la Tabla 1 observamos las opciones que van de válvulas de 1/2" a 1", seleccionamos la Válvula Lineal de 1/2" con asiento (Trim de 1/4") para un Cv=1 que cumple perfectamente con el .6631 calculado.

La Presión de alimentación seleccionada es 20 psi que es el valor nominal en la fábrica, y el Actuador es de nuevo el P250, ya que en este rango manejamos presión al cierre de 0 a 675 y de 0 a 900 psi, así que las 90 psi de operación del Aire de Atomización no afectan al control. (Apendice Boletín Foxboro T131-7a Actuadores).

La acción de la Valvula se selecciona Aire para Cerrar, así que en caso de una falla del suministro de Aire, la válvula se abre completamente, que es la operación segura, en el caso anterior (Válvula de Combustoleo, en caso de falla de suministro, la válvula cierra, porque utiliza aire para abrir).

Carrera 3/4 pulgada.

Límites de Temperatura de Operación 0 a 208 °C.

Cuerpo : Acero al Carbon.

Asiento (Trim) 1/4" Acero Inoxidable 316.

Esta válvula se complementa con el posicionador Corriente a Neumático E69P (Apendice Boletín Foxboro PSS4-10A2A). El cual convierte la entrada de corriente directa estándar 4 a 20 mA a una señal neumática con retroalimentación de posición de la válvula.

El número completo se obtiene de (A-F-PSS4-10A2A Pag 2)

E69P - T Aplicación en área no explosiva.
- I Rango de Señal de entrada 4 a 20 mA.
- 1 Señal de salida 20 psig o 140 KPa.
- S Válvula serie V1 Actuador P-25.

Por lo que el número completo del posicionador viene a ser:

E69P-T-I-1-S Foxboro.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

6.5.3 SELECCION DE VALVULA DE CONTROL DE FLUJO DE AIRE DE COMBUSTION RANGO DE 0 A 4800 M³ / HR.

Como primer paso calcularemos el Cv de la válvula:

DATOS DE DISEÑO:

Fluido	Aire de Combustión.
Presión de Flujo Entrada de la válvula	(Pf1)= 4" H2O
Presión de Flujo Salida de la válvula	(Pf2)= 3.6" H2O
(Pf2)= (3.6) x (0.03606) + 14.71 psi	= 14.83 psia
Diferencial de Presión en la válvula	(ΔP)= .4" H2O
(ΔP)= (0.4) x (0.03606)	= 0.014424 psig
Flujo Máximo requerido (qv)	= 4800 M ³ /Hr = 21136 Gal/min
Gravedad Específica del Aire	(G)= 1
Temperatura absoluta de flujo	(Tf)= 60°C= 600°R
Tamaño de la válvula requerida para gases	(Cvg)

$$Cvg = \frac{qv}{1360} \sqrt{\frac{(Tf)(G)}{(\Delta P)(P2)}} = \frac{21136}{1360} \sqrt{\frac{(600)(1)}{(0.014424)(14.83)}} = 823$$

Así que el tamaño de la válvula requerido, Cv es igual a 823.

En el Apendice (Boletín Foxboro TI031-016), encontramos el modelo de Válvula de Control de Mariposa Serie V3000, y en la pag 2 se especifica que esta valvula se debe seleccionar para operar en el rango entre 30 y 60 grados de abertura y la válvula que cumple mejor es la de 10 pulgadas de diametro.

La presión de suministro seleccionada para estandarizar será de 20 psig y el Actuador seleccionado es el Foxboro modelo P110 requerido para valvulas de 10, 12, y 16 pulgadas. (A-F-TI031-016 pag 2).

Cuerpo de la válvula Acero al Carbon para operar a altas temperaturas (limite 200°C).

POSICIONADOR referirnos a (A-F- PSS4-10A2A pag 2) :

E69P - T Aplicacion en área no explosiva.

- I Rango de Señal de entrada 4 a 20 mA.

- 1 Señal de Salida 20 ó 35 psi ó 140 ó 240 KPa.

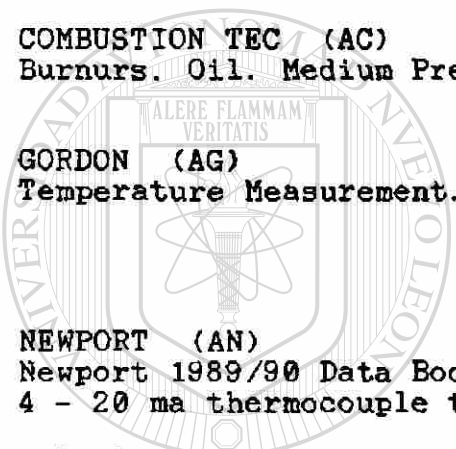
- R Válvula No. V1 o V9000 o V9300 Actuador P110.

El número completo del posicionador sera:

E69P-T-I-1-R Foxboro.

APENDICE. Datos de Fabricantes.

<u>FABRICANTE</u>	<u>BOLETIN</u>	<u>INDICE</u> <u>PAG.</u>
HONEYWELL (AH)	BE	2
Basic/Enhanced Operator Stations	"	5
	"	6
	"	7
	"	9
	"	11
Multifunction Controller	DM	18
Process Interface Units LEPIU	PI	25
	"	26
	"	27
	"	28
Multifunction Controller	BC-03-01	9
COMBUSTION TEC (AC)		
Burners. Oil. Medium Pressure Atomizing	03F	3
	"	4
	"	7
GORDON (AG)		
Temperature Measurement.	Thermocouples	2
	"	3
	"	6
	"	8
	"	9
NEWPORT (AN)		
Newport 1989/90 Data Book(Sec 14) Isolated, two wires,		8
4 - 20 ma thermocouple transmitter Model 502 A.		9
		10
FOXBORO (AF)		
Dimensional Data	TI03-087	5
	"	8
	"	22
Nomograma Foxboro		
823DP d/p Cell Transmitter	PSS2A-1A3A	1
	"	2
	"	6
	"	7
843 d/p Cell Transmitter	PSS2A-1A15A	1
	"	2
	"	3
	"	4
V1 Series Stabilflo Control Valves	GS4-1A1B	1
	"	2
	"	3
	"	4
E69P Current to Pneumatic Valve Positioner	PSS.4-10A2 A1	1
	"	2
V3000 Series Butterfly Control Valves	TI031-016	1
	"	2
Diaphragm Valve Actuators P25,30,50,60,110	TI.31-7a	1
	"	2
	"	3



UANL

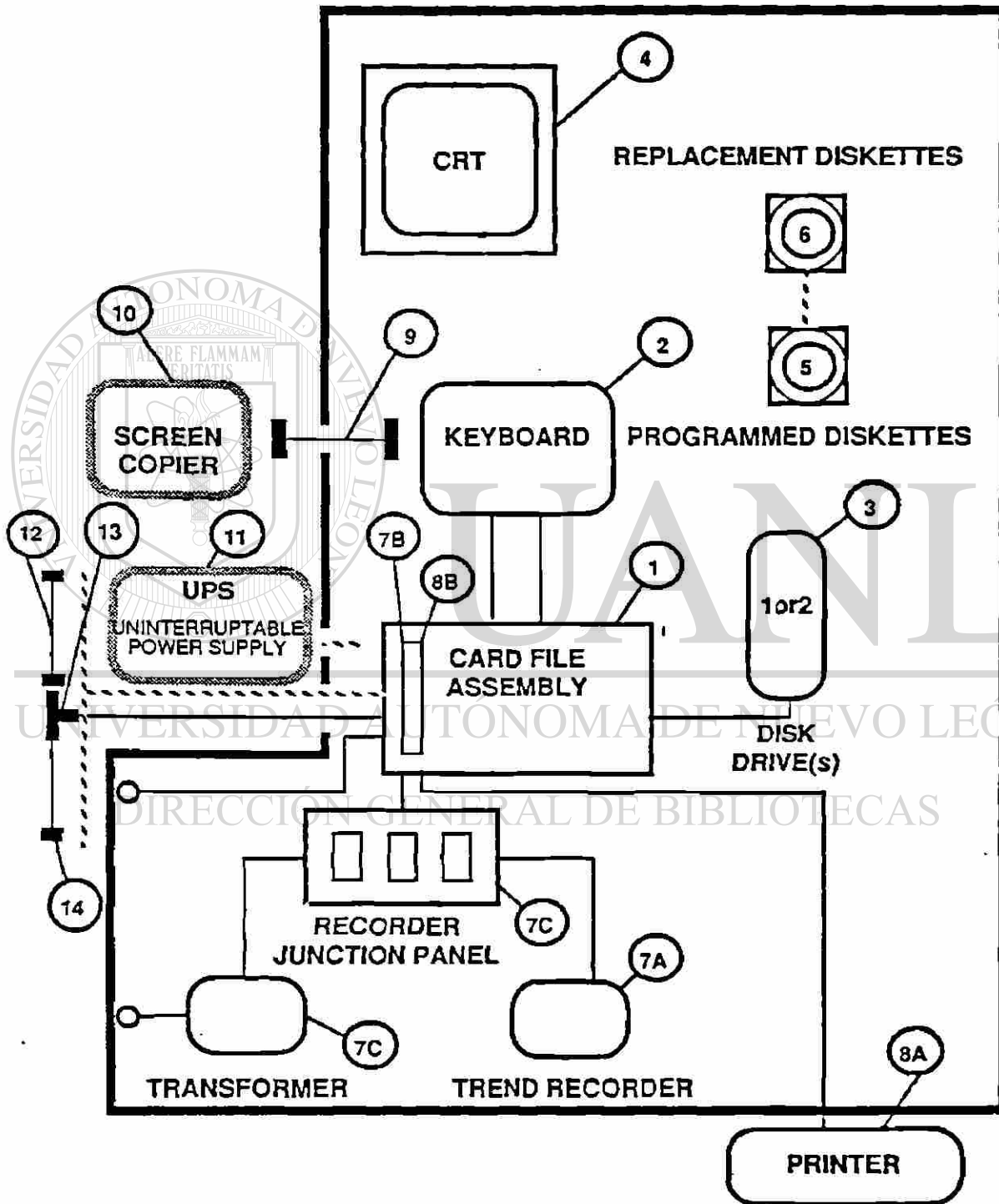
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



BASIC/ENHANCED OPERATOR STATIONS

BASIC AND ENHANCED OPERATOR STATIONS GENERAL CONFIGURATION GUIDELINES



BASIC/ENHANCED OPERATOR STATIONS

MODEL NUMBER DESCRIPTION

BASIC OPERATOR STATION

For each Basic Station, perform a minimum of two steps to document two model numbers.

1. SELECT THIS BASIC STATION BASE PACKAGE :

MA-OS616 BASIC OP STA BASE PKG W/FULL TVL KB, W/O FDD

QTY	MODEL #	DESCRIPTION
1	C-DSB56	BASIC OP STA ELECTRONICS FOR US FURN MOUNT
1	A-VMD33	19" COLOR CRT, 50/60HZ FOR US FURN MOUNT
1	P-DSG56 *	FULL TRAVEL KYBD FOR BASIC OP STA-FURN MT
1	P-DK616	R616 5 1/4" FDD PROGRAM MEDIA KIT
1	C-KCA01	COAX TEE (QTY 2)
1	P-EMH11	ELEC. MTG HDWR, FAN REAR DOOR, KB TRAY

2. SELECT ONE FLOPPY DISK STYLE:

MP-DFDSN5	SINGLE FDD (1), ANY SGL BAY MTG FOR 1 OP STA
MP-DFDDL5	DUAL FDD (2), ANY SGL BAY MTG FOR 1 OP STA
MP-DFSSN5	SINGLE/SINGLE FDD (2), ANY SGL BAY MTG FOR 2 OS

BASIC OPERATOR STATION MODULES

C-DSB56	BASIC OP STA ELECTRONICS FOR US FURN MOUNT
A-VMD33	19" COLOR CRT, 50/60HZ FOR US FURN MOUNT
* P-DSG56	FULL TRAVEL KYBD FOR BASIC OP STA-US FURN MT
P-DK616	R616 5 1/4" FDD PROGRAM MEDIA KIT
P-DD705	R616 5 1/4" FDD DIAGNOSTIC MEDIA KIT
C-KCA01	COAX TEE (QTY 2)
P-EMH11	ELEC. MTG HARDWARE, FAN REAR DOOR, KB TRAY

* NOTE: A plastic cover is available for the Basic Operator Station Keyboard to protect the internals from liquid spillage. This cover is pliable and the keys retain their full travel operation. The cover should be procured by the Customer directly from the manufacturer:

C. Sharkey Keyboard Covers, Inc.
 10016 Sandmeyer Lane
 Philadelphia, PA 17116
 (215) 969-8783

Two versions of the cover are available (listed with manufacturer's part #)

4185	Cover placed under the bezel and key caps
4195	Cover placed over the top of the key caps

BASIC/ENHANCED OPERATOR STATIONS

MODEL NUMBER	DESCRIPTION
-----------------	-------------

ENHANCED OPERATOR STATION (III) PACKAGES

For each EOS, perform a minimum of three steps to document three model numbers.

1. SELECT THIS EOS BASE PACKAGE:

MA-OS535	ENH OP STA BASE PKG, W/O KB, W/O FDD
----------	--------------------------------------

QTY	MODEL #	DESCRIPTION
1	C-DSB68	ENHANCED OP STA ELECTRONICS
1	A-VMD33	19" COLOR CRT, 50/60;HZ FOR US FURN MOUNT
1	P-DK535	EOS III R535 SOFTWARE KIT, 5 1/4". DISKETTES
1	C-KCA01	COAX TEE (QTY 2)
1	51110325-100	AC POWER CABLE W/CONNECTOR
1	P-EMH11	ELEC. MTG HDWR, FAN REAR DOOR, KB TRAY

2. SELECT ONE KEYBOARD STYLE:

P-DSG55	FULL TRAVEL KYBD FOR ENHANCED OP STA-US FURN
P-DSG54	MEMBRANE KYBD FOR ENHANCED OP STA-US FURN

3. SELECT ONE FLOPPY DISK STYLE:

MP-DFDSN5	SINGLE FDD (1), ANY SGL BAY MTG FOR 1 OP STA
MP-DFDDL5	DUAL FDD (2), ANY SGL BAY MTG FOR 1 OP STA
MP-DFSSN5	SINGLE/SINGLE FDD (2), ANY SGL BAY MTG FOR 2 OS

ENHANCED OPERATOR STATION MODULES

C-DSB68	ENHANCED OP STA ELECTRONICS
A-VMD33	19" COLOR CRT, 50/60HZ FOR US FURN MOUNT
P-DK535	EOS III R535 SOFTWARE KIT, 5 1/4" DISKETTES
J-DD535	R535 OP STATION & HTWAY DIAGNOSTIC DISKETTES
C-KCA01	COAX TEE (QTY 2)
P-EMH11	ELEC. MTG HARDWARE, FAN REAR DOOR, KB TRAY

*** ENHANCED OPERATOR STATION DATA BASE DISKETTES - 5 1/4" FDD**

J-DBK15	DATA BASE CONFIG. DISKETTES (BOX OF 10)
J-DBK25	TREND DATA BASE DISKETTES (BOX OF 10)
J-DBK35	SOPL DATA BASE DISKETTES (BOX OF 10)
J-DBK45	RECIPE DATA BASE DISKETTES (BOX OF 10)

BASIC/ENHANCED OPERATOR STATIONS

MODEL NUMBER	DESCRIPTION
* ENHANCED OPERATOR STATION DATA REPLACEMENT DISKETTES - 5 1/4" FDD	
82116406-001	REPLACEMENT CONFIGURATION PROGRAM DISKETTE
82116404-001	REPLACEMENT OPERATING PGM DISKETTE (NO RECIPE)
82116405-001	REPLACEMENT OPERATING PGM DISKETTE (W/RECIPE)
82116410-001	REPLACEMENT UTILITY DISKETTE (INCLUDES DATA BASE PRINT AND COPY)
82409484-001	REPLACEMENT DHP CONFIGURATION DISKETTE

NOTE: For 8" FDD replacement media for previous releases, refer to your appropriate Regional Center.

BASIC/ENHANCED OPERATOR STATIONS OPTIONS

ONLY ONE EXTERNAL I/F FROM:

C-DSP01	SINGLE PRINTER INTERFACE
J-DSP02	MULTI-PRINTER INTERFACE
* C-DSR01	RECORDER INTERFACE
C-DSP40	PRINTER
C-DSP41	PRINTER WITH PEDESTAL
P-VHC21	VIDEO COPIER 60HZ FOR BASIC/ENHANCED OP STA
P-VHC22	VIDEO COPIER 50HZ FOR BASIC/ENHANCED OP STA
P-VHC25	VIDEO COPIER, COMBINATION, 60HZ
P-VHC26	VIDEO COPIER, COMBINATION, 50HZ
P-KHC12	VIDEO COPIER CABLE (FOR BASIC/ENH STA) 25'

ENHANCED OPERATOR STATION OPTION

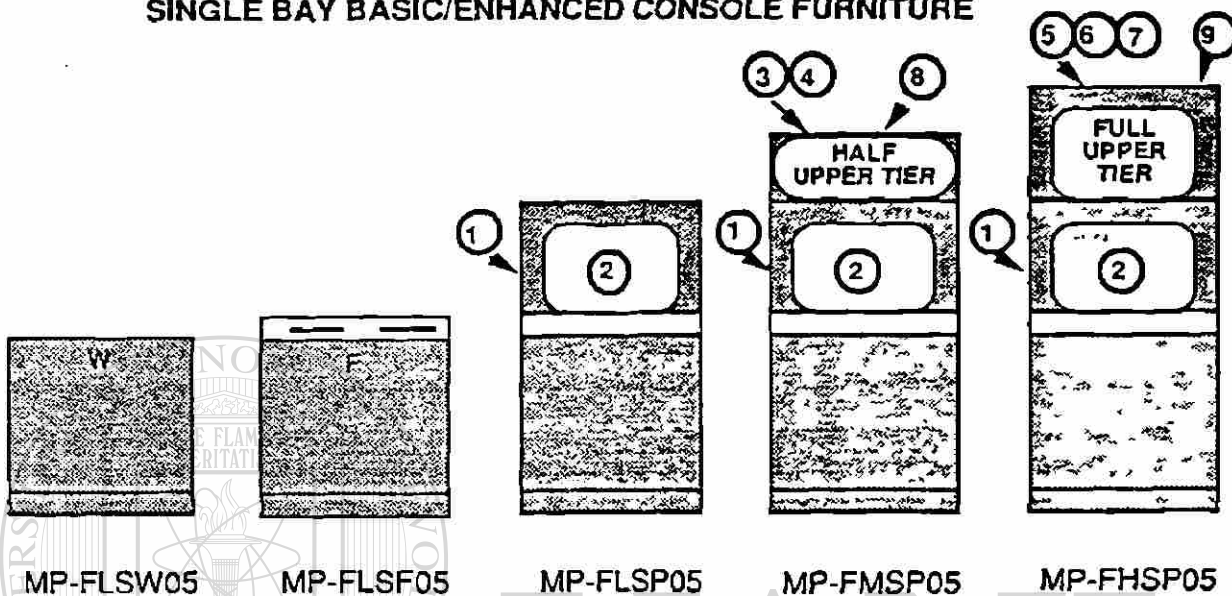
J-DST53 DOT TREND GENERATOR

* NOTE: The Recorder Interface does not include Recorders or furniture mounting. These must be specified separately. Refer to the Basic section (BA-) for a list of the available Honeywell manufactured recorders.

BASIC/ENHANCED OPERATOR STATIONS

CONFIGURATION GUIDE

SINGLE BAY BASIC/ENHANCED CONSOLE FURNITURE



OPTIONS:

1. MP-MMEP05 REAR DOOR AND BLANK TABLE TOP FOR EMPTY CONSOLE
2. P-EPB11 LOWER TIER POD BLANK PANEL
3. P-EFK11 1/2 U.T. BEZEL AND FLOPPY MOUNT BAS/ENH
4. P-EPK11 1/2 U.T. BEZEL AND BLANK PANEL
5. P-EPB15 FULL U.T. BEZEL AND BLANK PANEL
6. P-EPB16 FULL U.T. BEZEL ONLY
7. P-EPB17 FULL U.T. BEZEL AND FLOPPY MOUNT BAS/ENH
8. MP-TRPH09 * 8 PEN (3REC) TR MTG PKG, 1/2 U.T. BAS/ENH
9. MP-TRPH17 * 16 PEN (6 REC) TR MTG PKG, FULL U.T. BAS/ENH
10. MA-CBB01 CIRCUIT BREAKER BOX PACKAGE

* NOTE:

The Trend Recorder mounting package options do not include the Recorders or the Interface Card (C-DSR01). These must be specified separately. Refer to the Basic section (BA-) for a list of the available Honeywell manufactured recorders.

BASIC/ENHANCED OPERATOR STATIONS

MODEL NUMBER	DESCRIPTION
FURNITURE	
MP-FLSW05	SINGLE BAY TABLE TOP Console Base Assembly (No Power Entry) Plain Table Top
MP-FLSF05	SINGLE BAY TABLE TOP WITH FLOPPY MOUNT Console Base Assembly Floppy Mount Table Top
MP-FLSP05	SINGLE BAY SCREEN LOWER TIER Console Base Assembly Pod Assembly
MP-FMSP05	SINGLE BAY SCREEN WITH HALF UPPER TIER Console Base Assembly Pod Assembly W/Upper Tier Upper 1/2 Height Pod Assembly
MP-FHSP05	SINGLE BAY SCREEN WITH FULL UPPER TIER Console Base Assembly Pod Assembly W/Upper Tier Upper Full Height Pod Assembly

FURNITURE OPTIONS

MP-MMEP05	REAR DOOR AND BLANK TABLE TOP FOR EMPTY CONSOLE
P-EPB11	LOWER TIER POD BLANK PANEL
P-EFK11	1/2 U.T. BEZEL AND FLOPPY MOUNT BAS/ENH
P-EPK11	1/2 U.T. BEZEL AND BLANK PANEL
P-EPB15	FULL U.T. BEZEL AND BLANK PANEL
P-EPB16	FULL U.T. BEZEL ONLY
P-EPB17	FULL U.T. BEZEL AND FLOPPY MOUNT BAS/ENH
MA-CBB01	CIRCUIT BREAKER BOX PACKAGE
MP-TRPH09*	8 PEN (3 REC) TR MTG PKG, 1/2 U.T. BAS/ENH
MP-TRPH17*	16 PEN (6 REC) TR MTG PKG, FULL U.T. BAS/ENH

* NOTE: The Trend Recorder Mounting Package options do not include the Recorders or the Interface Card (C-DSR01). These must be specified separately. Refer to the Basic section (BA-) for a list of the available Honeywell manufactured Recorders.

MULTIFUNCTION

MULTIFUNCTION CONTROLLER PDL (NON UAC)
HIGH DENSITY TERMINAL PANELS
CONFIGURATION TABLE

# OF CTRLS	PDL CONFIGURATION NUMBER	# OF I/O FILES/CTLR		HARDWARE PACKAGE IDENTIFIERS
		2	1	
1	MS-MNR101	0	1	1E
	MS-MNR110	1	0	3E
2	MS-MNR202	0	2	2E
	MS-MNR211	1	1	16
	MS-MNR220	2	0	33
3	MS-MNR303	0	3	21
	MS-MNR312	1	2	23
	MS-MNR321	2	1	33-5E
	MS-MNR330	3	0	33-6E
4	MS-MNR404	0	4	12-5E
	MS-MNR413	1	3	23-5E
	MS-MNR422	2	2	33-4E
	MS-MNR431	3	1	33-56
	MS-MNR440	4	0	33-36
5	MS-MNR505	0	5	22-5E
	MS-MNR514	1	4	23-2E
	MS-MNR523	2	3	33-14
	MS-MNR532	3	2	33-14
	MS-MNR541	4	1	33-36-5E
	MS-MNR550	5	0	33-36-3E
6	MS-MNR606	0	6	22-2E
	MS-MNR615	1	5	12-23
	MS-MNR624	2	4	23-23
	MS-MNR633	3	3	33-65-2E
	MS-MNR642	4	2	33-36-2E
	MS-MNR651	5	1	33-36-16
	MS-MNR660	6	0	33-36-36

PROCESS INTERFACE UNITS

LOW ENERGY PIU DETAILED SYSTEM CONFIGURATOR

5. Common Card Files and Control Room Cabinets

Frequently the common card files will be mounted in other cabinets; therefore, 2 mounting forms are offered. The control room cabinet contains a bulk power supply. There is power and space available for three common card files.

The standard cabinets are 24"x24"x70" and 24"x24"x77"; the 'Phoenix 30"' is also available. -All other arrangements are special (RPQ/RDO). The 30" cabinet includes power entry and cable ladders.

6. Phase Reference Transformer

If the line frequency varies more than +/- 0.1% of 50 or 60 HZ, a phase reference transformer is required in order to meet the common mode and normal mode rejection ratio specifications. Only one phase reference transformer is required per cabinet.

7. Top Entry

This option provides for entry of the I/O cables only through the top of the cabinet.

8. Intrinsic Safety Option

Three types of barrier boxes are offered to meet the requirements of FM, PTB and CSA Certification Agencies. Each box has enough barriers for one common card file with both basic and RTD multiplexers. Wiring details are shown in the PIU Installation Manual, PI-09-01. This box is free standing and is to be mounted by the customer.

9. Accessories

Scaling resistors may be connected across input terminals by the customer to convert current inputs to voltage as required.

10. Maximum Scan Rate Table

To determine the maximum scanning capability use the following table:

Number of analog inputs @ 60 sec scan	=	_____
Number of analog inputs @ 15 sec scan x 4	=	_____
Number of analog inputs @ 5 sec scan x 12	=	_____
Number of mux boards w/inputs that require CJRx2	=	_____
A/D offset readings		4

TOTAL MUST NOT EXCEED 960

PROCESS INTERFACE UNITS

**LOW ENERGY PIU
INTRINSICALLY SAFE
SYSTEM CONFIGURATION**

	MODEL NUMBER	DESIRED QTY OF POINTS	DESCRIPTION	DIVIDE BY*	QTY
IS MUX BOARD SETS	P-FIM14		FM TC W/NEMA Box	16	
	P-FIM24		FM RTD - 100 Ohm W/NEMA Box	16	
	P-OIM14		PTB TC W/NEMA Box	16	
	P-OIM24		PTB RTD - 100 Ohm W/NEMA Box	16	
	P-CIM14		CSA TC W/NEMA Box	16	
	P-CIM24		CSA RTD - 100 Ohm W/NEMA Box	16	
	P-BIM14		BASEEFA TC W/NEMA	16	
	P-BIM24		BASEEFA RTD W/NEMA	16	
SPLIT SHIPMENTS ARE NOT I. S. QUALIFIED BY ANY CERTIFICATION AGENCY.					

MODEL NUMBER

DESCRIPTION

LE INTRINSICALLY SAFE MULTIPLEXOR - MAX 16 UNITS/CCFA

P-FIM14	TC LOGIC & TERM BDS, CABLES & NEMA 4 BOX ASSY
P-FIM24	RTD LOGIC & TERM BDS, CABLES & NEMA 4 BOX ASSY
P-OIM14	TC LOGIC & TERM BDS, CABLES & NEMA 4 BOX ASSY
P-OIM24	RTD LOGIC & TERM BDS, CABLES & NEMA 4 BOX ASSY
P-CIM14	TC LOGIC & TERM BDS, CABLES & NEMA 4 BOX ASSY
P-CIM24	RTD LOGIC & TERM BDS, CABLES & NEMA 4 BOX ASSY
P-BIM14	TC LOGIC & TERM BDS, CABLES & NEMA 4 BOX ASSY
P-BIM24	RTD LOGIC & TERM BDS, CABLES & NEMA 4 BOX ASSY

FOR I.S. QUALIFIED APPLICATION, ONE OPTIONAL BARRIER BOX PER CCFA MUST BE SELECTED. SEE CONFIGURATION NOTE 4 (PI-26) AND CCFA OPTIONS (PI-30).

PROCESS INTERFACE UNITS

**LOW ENERGY PIU
NON-INTRINSICALLY SAFE
SYSTEM CONFIGURATION**

	MODEL NUMBER	DESIRED QTY OF POINTS	DESCRIPTION	DIVIDE BY*	QTY
NON IS MUX BOARD SETS	P-OIM31		TC W/NEMA	16	
	P-OIM34		TC W/O NEMA	16	
	P-OIM41		RTD 100 Ohm W/ NEMA	16	
	P-OIM44		RTD 100 Ohm W/O NEMA	16	
NON IS MUX BOARDS FOR SPLIT SPMNTS	P-OIM32		TC Term Brd and Hdw W/NEMA		
	P-OIM33		TC Logic Brd and Cables		
	P-OIM42		RTD Term Brd and Hdw W/NEMA		
	P-OIM43		RTD Logic Brd and Cables		
	P-NMA11		NEMA 4 Box		
* Round up					

MODEL NUMBER DESCRIPTION

LE NON-INTRINSICALLY SAFE MULTIPLEXOR - MAX 16 UNITS/CCFA ®

- P-OIM31 TC LOGIC&TERM BDS, CABLES & NEMA ASSY-NON IS
- P-OIM34 TC LOGIC&TERM BDS, MTG HDWE & CABLES-NON IS
- P-OIM41 RTD LOGIC&TERM BDS, CABLES & NEMA ASSY-NON IS
- P-OIM44 RTD LOGIC&TERM BDS, MTG HDWE & CABLES-NON IS

SPLIT SHIPMENTS ARE NOT I.S. QUALIFIED BY ANY CERTIFICATION AGENCY.

- P-OIM32 TC TERM BOARD & NEMA 4 BOX ASSY-NON IS
- P-OIM33 TC LOGIC BOARD & CABLES-NON IS
- P-OIM42 RTD TERM BOARD & NEMA 4 BOX ASSY-NON IS
- P-OIM43 RTD LOGIC BOARD & CABLES-NON IS
- P-NMA11 NEMA 4 BOX

PROCESS INTERFACE UNITS

LOW ENERGY PIU DETAILED SYSTEM CONFIGURATION

CARD FILES/CABINETS

	MODEL NUMBER	No. MUX Boxes	DESCRIPTION	DIVIDE BY*	QTY
COMMON	P-CFA39		CCFA, TDC	16	
CFA/W	P-CFA61		CCFA, TDC 2000 Mount	16	
FIRMWARE					
		No. of CCFA			
CONTROL ROOM	P-ELE61		30" Cab 220VAC 50HZ (max 4CCFA)	4	
	P-ELE62		30" Cab 120VAC 60HZ (max 4CCFA)	4	
CAB. W/O COMM	P-ELE63		27 x 70 in Cab. 220VAC 50HZ "	4	
	P-ELE51		27 x 70 in Cab. 120VAC 60HZ "	4	
CFA	P-ELE52		27 x 77 in Cab. 220VAC 50HZ "	4	
	P-ELE53		27 x 77 in Cab. 120VAC 60HZ "	4	
			Total CCFA and Cabinets		
			Total Cabinets		
CABINET OPTIONS					
TOP ENTRY	P-OTE11		Top Entry I/O Cables (30" Cab)		1/Cab
	P-OTE13		Top Entry I/O Cables (27" Cab)		1/Cab
	P-OCE11		Pwr. Entry & Cable Ladders (27" Cab)		1/Cab
	P-OPE11		Pwr. Entry Panel (70/77" Cab)		1/Cab
PHASE REF XFMR	P-PRT11		LE Phase REF XFMR 120 V 60HZ		1/Cab
	P-PRT12		LE Phase REF XFMR 220 V 50HZ		1/Cab
	P-PRT21		LE Phase REF XFMR 120 V 60HZ		1/Cab
	P-PRT22		LE Phase REF XFMR 220 V 50HZ		1/Cab
IS BARRIER OPTION	P-ISB12		PTB IS Barriers and Box		1/CCFA
	P-ISB13		FM IS Barriers and Box		1/CCFA
	P-ISB14		CSA IS Barriers and Box		1/CCFA
	P-ISB15		BASEEFA IS Barriers and Box		1/Cab
BASE	51303012-001		Cabinet Floor Base		

* Round Up

TABLE 4 - Regulator and IBI Cards

Name	Description
Regulator Card	There are two types of regulator cards (B1 and B2). The B1 type provides regulated 5 Vdc and 24 Vdc outputs, and is used in Point Card File Assembly PF100. The B2 type provides regulated 5 Vdc, +15 Vdc, and 24 Vdc outputs and is used in Point Card File Assembly PF200.
IBI (I/O bus Interface) Card	Interface between point file cards and controller file IBC card to allow data and status information to be routed between point file cards and controller file internal bus. Also contains nine LED's mounted at card edge which provide a visual indication of the status of the optional A/D converter on the IBI card, and the status of point card 1 through point card 8. Also contains two connectors which allow I/O bus connections to be made with IBC card in controller card file and IBI card in point card file No.2.

TABLE 5 - Point Card 1 - Point Card 8 Cards

Card Type	Model No.	Input/Output Points/Card	Comments
Analog Input	PXIA12	8 Input Points	1-5V input range and standard 100 ms filter for each input point.
	PXIA22	8 Input Points	4-20 mA input range and standard 100 ms filter for each input point; no power source for transmitter.
	PXIA32	8 Input Points	4-20 mA input range and standard 100 ms filter for each input point; power source for transmitter.
Analog Output	PXOA21	4 Output Points	4-20 mA range for each output point
Digital Input	PXID11	16 Input Points	1 ms filter and 24V input circuit power source for each input point.
	PXID21	16 Input Points	24 ms filter and 24V input circuit power source for each input point.
	PXID31	16 Input Points	1 ms filter and 48V input circuit power source for each input point.
	PXID41	16 Input Points	24 ms filter and 48V input circuit power source for each input point.
Digital output	PXOD31	8 Output Points	Relay output rated at a maximum of 125V, 0.4A for each output point.
	PXOD41	8 Output Points	Solid-state contact point output rated at a maximum of 30 Vdc, 100 mA for each output point.
Counter Input	PXIP11	4 Input Points	16 ms filter and maximum count rate of 30 counts per second for each counter input.
	PXIP21	4 Input Points	0.1 ms high speed filter and maximum count rate of 2000 counts per second for each counter input.
	PXIP41	4 Input Points	Max count rate 4000 counts per second.



COMBUSTION TEC, INC.

3760 SILVER STAR ROAD
ORLANDO, FLORIDA 32808
(305) 299-7317

BULLETIN NO.

03F

Page 3 of 8

BURNERS • OIL • MEDIUM PRESSURE ATOMIZING

Select the *next larger* burner size above the peak capacity expected. Burner capacities are rated at 40 PSIG for the atomizing air, and oil with a resistance plate, even though design pressures of 125 PSIG can be withstood. Refer to the following section on Recommended Operating Practices on oil metering valves and resistance plates.

A burner selected for 100 GPH @ 40 PSIG peak rating might normally operate at 70 GPH @ 20 PSIG. A turn-down rate of 5:1 would give 20 GPH @ 1½ PSIG. There is no problem with burner stability at these lower oil pressures, however, higher oil pressures allow better oil flow control capabilities.

Atomizing air is designed for 0.8 SCFM per one (1) GPH oil capacity @ 40 PSIG. This includes a reserve air capacity for flame shape control on heavier oils of higher viscosity. Typical operation is 0.6 SCFM per one (1) GPH for oils at or below 150 SSU.

The following number describes the burner for ordering and performance information.

03F - GS - 9B - SPC

03F - O: burner series designation. Reference Bulletin No. 03F.

- G - Burner model size. Reference Table 3.
- S - Burner model style. Reference Fig. 5 and Table 6.
- 9 - Burner capacity rating in MM BTU/Hr. Reference Table 3.
- B - Burner ball venturi end. Blank if not utilized.
- SPC - Special burner requirements. Blank if standard.

EXAMPLE: Select a sealed-in burner for underport firing, and operating at a maximum of 40 GPH. The sequence for burner selection is:

1. 03F - Oil burner only. Reference Bulletin No. 03F.
2. 6 - For a capacity of 40 GPH, the next larger size is 43 GPH. The burner capacity rating for 43 GPH is 6. Units are given in MM BTU/Hr. Reference Table 3.
3. G - This burner model size corresponds to the particular nozzle size. Reference Table 3.
4. E - The elongated version of this burner. Suitable for the longer lengths required between the burner tile and burner mounting bracket with underport firing. Reference Figure 5 and Table 6.
5. B - A sealed-in oil burner requires a burner ball venturi end.
6. Burner Model No. 03F-GE-6B.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

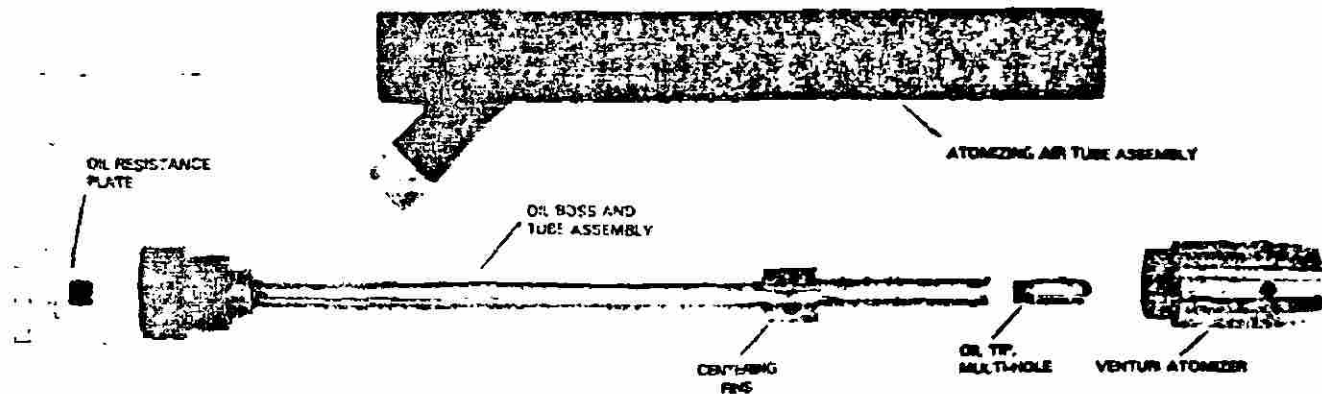


FIG. 2 - DISASSEMBLY OF OIL BURNER (DUAL FUEL TYPE)



COMBUSTION TEC, INC.

3760 SILVER STAR ROAD
ORLANDO, FLORIDA 32808
(305) 299-7317

BULLETIN NO.

03F

Page 4 of 8

BURNERS • OIL • MEDIUM PRESSURE ATOMIZING

TABLE 3 - CAPACITY SELECTION - OIL

BASIC BURNER SIZE (1)	MAXIMUM OIL CAPACITY MM BTU/HR	COMBUSTION AIR FROM REGENERATOR OR RECUPERATOR SCFH (2)	MAXIMUM OIL CAPACITY GPH @ 40PSIG (3)	ATOMIZING AIR SCFM @ 40PSIG (4)	REVERSE TIP COOLING AIR SCFM @ 2PSIG (5)
S		21,700	14	11	2
S	2.5	27,900	18	14	3
G	3	34,100	22	18	4
G	4.5	51,100	33	26	6
G	6	56,600	43	34	8
G	9	101,000	65	52	12
M (G)	12	135,000	87	70	16
M (G)	15	157,000	108	86	19
M (G)	18	201,000	130	104	23
M	21	236,000	152	122	27
M	24	268,000	173	138	31
B (M)	24	268,000	173	138	31
B (M)	27	302,000	195	156	35
B (M)	30	336,000	217	174	39
B	33	369,000	238	190	42
B	36	403,000	260	208	47
B	42	470,000	303	242	54
L	42	470,000	303	242	54
L	48	538,000	347	278	62
L	54	604,000	390	312	70
L	60	671,000	433	346	77
L	66	739,000	477	382	85

Notes to Table 3.

- For oil firing only, use basic burner size designated by the first letter. For dual fuel firing, oil capacity must be compatible with gas capacity; use the best basic burner size letter designation, either first or second letter.
- Combustion air based on 1409 cubic feet of air at 60°F per gallon of oil. Includes 10% excess air.
- Oil flow in GPH based on MM BTU/HR rating at approximately 138,000 BTU per gallon of oil. Reference the following section on recommended operating practices for details on the oil pressure resistance plate and oil inlet flow control valve.
- Atomizing air requirements based on 0.8 SCFM per one (1) GPH oil. Reference the following section on Recommended Operating Practices for application.
- Reverse tip cooling air listed is typical for reversal furnaces. Reference the following section on Recommended Operating Practices.



COMBUSTION TEC, INC.

3760 SILVER STAR ROAD
ORLANDO, FLORIDA 32808
(305) 299-7317

BULLETIN NO.

03F

Page 7 of 8

BURNERS • OIL • MEDIUM PRESSURE ATOMIZING

TABLE 4 - BURNER PARTS LIST

Item No.	Req'd	Description
1	1	Oil tip, multi-hole
2	1	Oil tip, single-hole
3	1	Venturi atomizer
4	1	Atomizing air tube assembly
5	1	Oil resistance plate
6	1	Oil boss and tube assembly

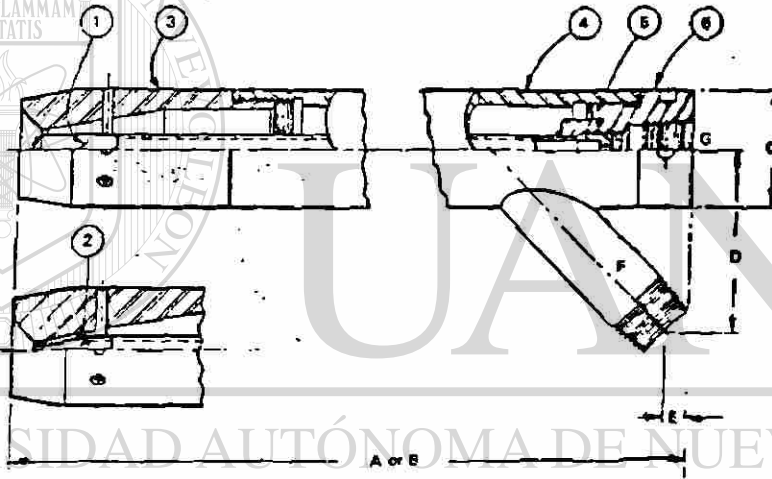


FIG. 5 - BURNER DIMENSION DRAWING

TABLE 6 - BURNER TABLE OF DIMENSIONS AND WEIGHTS

LETTER	DESCRIPTION	S	G	M	B	L
A	Overall burner length, "E" style (1)	24"	25"	28"	28"	29"
B	Overall burner length, "S" style (1)	14"	15"	16"	16"	18"
C	Atomizing air tube assembly diameter	1 1/4"	1 1/4"	1 1/4"	1 1/4"	2"
D	Burner body centerline to atomizing air inlet centerline	2"	2 1/4"	2 1/2"	3"	3 1/2"
E	Burner end to atomizing air inlet centerline	1/4"	1/2"	3/4"	1"	1 1/4"
F	Atomizing air inlet, I.P.S.	3/4"	1"	1 1/4"	1 1/2"	1 3/4"
G	Oil inlet, N.P.T.	1/2"	1/2"	1/2"	1/2"	1/2"
H	Burner weight, "E" style, lbs.	5	6	9	12	15
J	Burner weight, "S" style, lbs.	3	4	5	7	10

Notes to Table 6:

Thermocouples

Quality Control

All Gordon thermocouple products are manufactured under rigid quality controls. Gordon's Quality Assurance system is established in accordance with MIL-Q-9858. In addition, all emf vs. temperature calibration procedures follow one or more of the following standards:

- ASTM E 207 (ANSI Approved)
- ASTM E 220 (ANSI Approved)
- NBS Circular 590

All testing has NBS traceability. Unless otherwise specified, all Serv-Rite thermocouple wire and extension wire are supplied to meet Standard Tolerances of ANSI Circular MC96.1-1982. Special Tolerances per ANSI MC96.1 are also available at an extra charge.

Initial Calibration Tolerances for Thermocouples

Reference Junction 0°C (32°F)

Thermocouple Type	Temperature Range C	Range F	Tolerances †	
			Standard (whichever is greater)	Special
B	870 to 1700	1598 to 3092	±0.5%	
E	0 to 900	32 to 1652	±1.7°C or ±0.5%	±1.0°C or ±0.4%
J	0 to 750	32 to 1382	±2.2°C or ±0.75%	±1.1°C or ±0.4%
K	0 to 1250	32 to 2282	±2.2°C or ±0.75%	±1.1°C or ±0.4%
R or S	0 to 1450	32 to 2642	±1.5°C or ±0.25%	±0.6°C or ±0.1%
T	0 to 350	32 to 662	±1.0°C or ±0.75%	±0.5°C or ±0.4%
Cryogenic Ranges				
E*	-200 to 0	-328 to 32	±1.7°C or ±1%	**
K*	-200 to 0	-328 to 32	±2.2°C or ±2%	**
T*	-200 to 0	-328 to 32	±1.0°C or ±1.5%	**
N	0 to 1250	32 to 2282	±2.2°C or ±0.75%	±1.1°C or ±0.4%

* Thermocouples and the thermocouple material are normally supplied to meet the tolerances specified in the table for the normal specified range. The same materials, however, may not fall within the cryogenic tolerances in the second section of the table. If materials are required to meet the cryogenic tolerances, the purchase order must so state. Selection of materials usually will be required. Tolerances indicated in this table are not necessarily an indication of the accuracy of temperature measurements in use after initial heating of the materials.

** Little information is available to justify establishing special tolerances for cryogenic temperatures. Limited experience suggests the following tolerances for types E and T thermocouples:

Type E -200 to 0°C ±1.0°C or ±0.5% (whichever is greater)

Type T -200 to 0°C ±0.5°C or ±0.8% (whichever is greater)

These tolerances are given only as guide for discussion between purchaser and supplier. Due to the characteristics of the materials, cryogenic tolerances for Type J thermocouples and special cryogenic tolerances for Type K thermocouples are not listed.

† Where tolerances are given in percent, the percentage applies to the temperature being measured in degrees Celsius. For example, the standard tolerance of Type J over the temperature range 277° to 750°C is ±0.75 percent. If the temperature being measured is 538°C, the tolerance is ±0.75 percent of 538, or ±4.0°C. To determine the tolerance in degrees Fahrenheit, multiply the tolerance in degrees Celsius times 1.8.

ANSI Letter Designations

Thermocouple and extension wires are now generally ordered and specified by ANSI letter designations for wire type. Positive and negative legs are identified by the appropriate letter suffixes P and N, respectively.

ANSI Letter	Description	Popular Generic & Trade Names*
T	TP	Copper
	TN	Constantan, Cupron, Advance
J	JP	Iron
	JN	Constantan, Cupron, Advance
E	EP	Chromel, Tophel, T ₁
	EN	Constantan, Cupron, Advance
K	KP	Chromel, Tophel, T ₁
	KN	Alumel, Nial, T ₂
R	RP	Platinum 13% Rhodium
	RN	Pure Platinum
S	SP	Platinum 10% Rhodium
	SN	Pure Platinum
B	BP	Platinum 30% Rhodium
	BN	Platinum 5% Rhodium
N	NP	Nicrosil
	NN	Nisil

* Trade Names: Cupron, Nial and Tophel—AMAX • Advance, T₁ and T₂—Harrison Alloy Co. • Chromel and Alumel—Hoskins Mfg. Co.

Thermocouple Selection

Thermocouples must be selected to meet the conditions of the application. Only general recommendations on size and type can be given. Some of the considerations involved are length of service, temperature, atmosphere and desired response time. The temperature ranges of the commonly used thermocouple types are given in the Initial Calibration Tolerances Table. Smaller gauge sizes provide faster response at the expense of service life at the elevated temperatures. Larger gauge sizes provide longer service life at the expense of response time. See ANSI Circular MC96.1. As a general rule, it is advisable to protect thermocouple elements with a suitable protecting tube or drilled well.

When ordering thermocouple wire or elements, be certain that the type (K, J, E, etc.) corresponds to that of the instrument with which it will be used. This information can usually be found on the face of the instrument.

ANSI Type E: The Chromel-Constantan thermocouple is suitable for use at temperatures up to 1652° F (900° C) in a vacuum, inert, mildly oxidizing or reducing atmosphere. At cryogenic temperatures, the thermocouple is not subject to corrosion. This thermocouple has the highest EMF output per degree of all the commonly used thermocouples.

THERMOCOUPLES

ANSI Type J: May be used, protected or unprotected, where there is a deficiency of free oxygen but, again for cleanliness and generally longer life, a protecting tube is recommended. Since JP (Iron) wire will oxidize rapidly at temperatures over 1000°F (538°C), it is recommended that larger gauge wires be used to compensate. Maximum recommended operating temperature is 1400°F (760°C).

ANSI Type K: Due to its reliability and accuracy, Type K is used extensively at temperatures up to 2300°F (1260°C). It is good practice always to protect this type of thermocouple with a suitable metal or ceramic protecting tube, especially in reducing atmospheres. In oxidizing atmospheres, such as electric furnaces, tube protection is not always necessary when other conditions are suitable; however, it is recommended for cleanliness and general mechanical protection. Type K will generally outlast Type J because the JP (Iron) wire rapidly oxidizes, especially at the higher temperatures. Standard wire finishes are 14 B & S gauge and larger, oxidized; 16 B & S gauge and smaller, bright annealed.

ANSI Type N: Nicrosil/Nisil nickel-based thermocouple alloy used primarily at high temperature (up to 2300°F). While not a direct replacement for Type K, Type N provides better resistance to oxidation at high temperature and longer life in applications where sulfur is present. It also outperforms Type K in K's aging range.

ANSI Type T: This thermocouple can be used in either oxidizing or reducing atmospheres but for cleanliness and generally longer life, a protecting tube is recommended. Because of its stability at lower temperatures, this is a superior thermocouple for a wide variety of applications in low and cryogenic temperatures. Operating range—328 to 662°F (-200 to 350°C) but can be used to -452°F (-269°C) (boiling helium).

ANSI Types S, R and B: Maximum recommended operating temperature for type S or R is 2642°F (1450°C), type B is recommended for use at as high as 3092°F (1700°C). These thermocouples are easily contaminated. Reducing atmospheres are particularly damaging to the calibration. Noble metal thermocouples should always be protected with gas-tight Serv-Fite ceramic tubes, a secondary tube of porcelain, and silicon carbide or metal outer tubes as conditions require. Types S and R thermocouples and thermoelements are provided in accordance with IPTS-48, unless IPTS-68 is specifically requested. Type B thermocouples and thermoelements meet both IPTS-48 and IPTS-68.

Tungsten 5% Rhenium/Tungsten 26% Rhenium: This refractory metal thermocouple may be used at temperatures up to 4200°F (2315°C). As it has no oxidation resistance its use is restricted to vacuum, hydrogen or inert atmospheres.

Note: Temperatures are in relation to table # 7, page 15, of ANSI MC96 1, August, 1982.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



Gordon

Temperature Measurement

ANSI Type S, R or B



Elements with Insulators

Shown with optional MC-124 copper sleeves.

Cat. No.*	Diameter	Length
2110	.0201" — 24 B&S Ga. Bare	
†2111	.0201" — 24 B&S Ga. Ceramic Insulated §	
2112	.0225" — 23 B&S Ga. Bare	12"
†2113	.0225" — 23 B&S Ga. Ceramic Insulated §	through
†2114	.0201" — 24 B&S Ga. Alumina Insulated §	48" in
†2115	.0225" — 23 B&S Ga. Alumina Insulated §	6" increments
†2116	.0100" — 30 B&S Ga. Ceramic Insulated §	
†2117	.0100" — 30 B&S Ga. Alumina Insulated §	

*Specify Type S, R or B by adding -S, -R or -B after the catalog number. Types S and R thermocouples and the thermometers are provided in accordance with IPTS 48, unless IPTS-68 is specifically requested. Type B thermocouples and thermometers meet both IPTS-48 and IPTS-68. Note: Type B is available in 24 gauges only.

†For use with standard, general purpose heads, platinum assemblies can be furnished with MC-124 copper sleeves, no additional charge.

§Insulation consists of a one-piece two-hole ceramic (Cat. No. 333) or alumina (Cat. No. 381) insulator. Over 24 lengths, a single piece ceramic or alumina 3/16" diameter insulator is used.

To order, specify: 2111-R-24

Length Calibration

Temperature Limit Fuses



GOLD—Melting Point
1945° F (1063° C)

SILVER—Melting Point
1760° F (960° C)

Cat. No.	B & S Gauge	Length	Cat. No.	B & S Gauge	Length
402	20	12" and over, in 6" increments	412	20	12" and over, in 6" increments

To order, specify: 402-18

Length in inches

Immersion Tips



Cat. No.	Length of tip inches	Length of lance
1449-501-T	8	
1449-M-12	12	
1449-M-15	15	31", 43", 55", 72", 96" and 120" only.
1449-M-18	18	Specify when ordering.
1449-M-20	20	
1449-M-24	24	
1449-M-30	30	

Serv-Rite immersion tips are superior thermocouples for nonferrous molten metals. The hot junction is forged into the 446 stainless steel sheath for maximum sensitivity. They are available in Type K calibration only. They are designed for use with Gordon XacTemp® Pyrometers but also can be used with many other instruments.

To order, specify: 1449-501-T-8-43

Length of lance
Length of tip

Gordon

Temperature Measurement

Base Metal Thermocouple Assemblies—90° Angle Type

Cold Leg 18" Long, Fixed Elbow and TH-2700 Series head are standard§

Cold Leg

Typical Angle Type Assemblies

ANSI TYPE K Cat. No.	ANSI TYPE J Cat. No.	B&S Gauge	PROTECTING TUBE (Hot Leg)			HEAD§	HOT LEG LENGTH
			Material	NPT Size	Construction		
1415-1377	1518-1377	14	Cast Iron	1"	Cast	TH-2704-A	12" through 48" in 6" increments.
1414-1377	1517-1377	8	Cast Iron	1"	Cast	TH-2704-A	
1415-1375	1518-1375	14	Cast Iron	1/2" Int	Cast	TH-2705-A	12" through 72" in 6" increments.
1414-1375	1517-1375	8	Cast Iron	1/2" Int	Cast	TH-2705-A	
1415-1326	1518-1326	14	Black Steel	1/2"	Welded	TH-2706-A	12" and over, in 6" increments.
1415-1328	1518-1328	14	Black Steel	1"	Welded	TH-2704-A	
1414-1328	1517-1328	8	Black Steel	1"	Welded	TH-2704-A	
1415-1307	1518-1307	14	446SS	1/2"	Seamless	TH-2706-A	12" and over, in 6" increments.
1414-1307	1517-1307	8	446SS	1/2"	Seamless	TH-2706-A	
1414-1308	1517-1308	8	446SS	1/2"	Seamless	TH-2705-A	
1414-1309	1517-1309	8	446SS	1"	Seamless	TH-2704-A	
1415-1395	1518-1395	14	Alloy 601	1/2"	Seamless	TH-2706-A	12" and over, in 6" increments.
1414-1395	1517-1395	8	Alloy 601	1/2"	Seamless	TH-2706-A	
1414-1396	1517-1396	8	Alloy 601	1/2"	Seamless	TH-2705-A	
1414-1397	1517-1397	8	Alloy 601	1"	Seamless	TH-2704-A	

Hot Leg

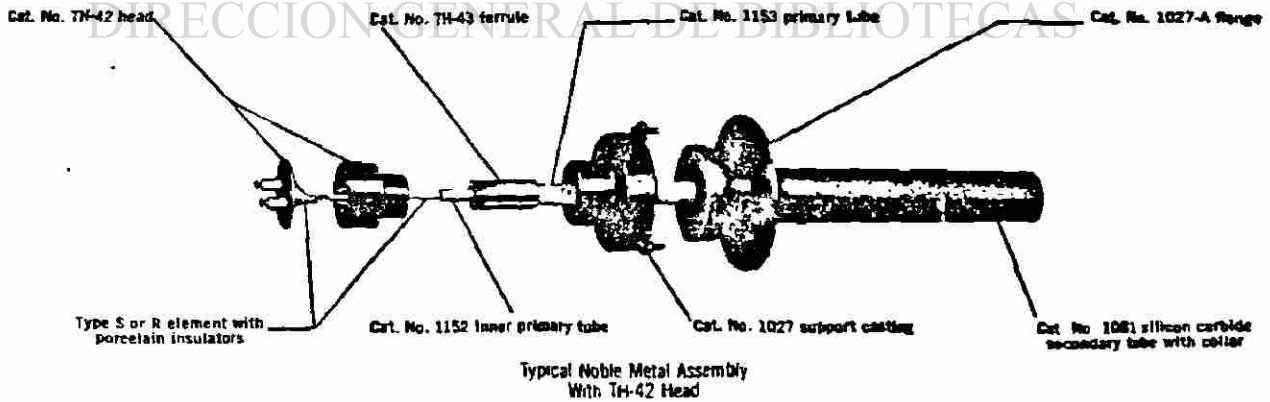
Fixed Elbow

Universal Elbow

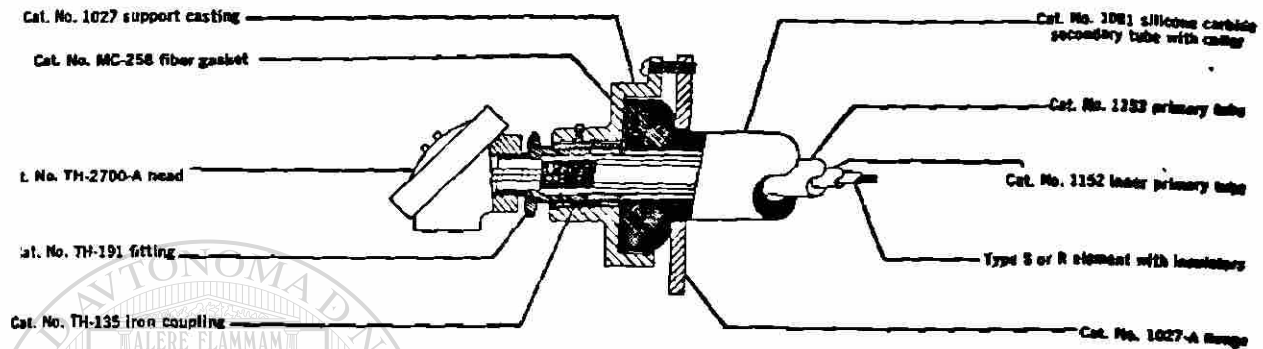
§Cold Leg Lengths over 18" long; Universal Elbow; Vent; and LA or LI Series Universal heads may be substituted on request.

To order, specify: catalog number—length Example: 1414-1395-24

Noble Metal Thermocouple Assemblies



THERMOCOUPLES



Typical Noble Metal Assembly
With TH-2700-A or LA Series Head

With TH-42 Head and All Porcelain Ceramics*

Cat. No.†	B&S Gauge	Protecting Tubes	Size I.D. x O.D.	Length
2100	24	1153 Primary only	$\frac{7}{16}$ " x $1\frac{1}{16}$ "	12" through 48" in 6" increments
2101	24	1153 Primary 1152 Inner Primary	$\frac{1}{4}$ " x $1\frac{1}{16}$ "	
2102	24	1153 Primary 1152 Inner Primary 1081 Secondary	$\frac{1}{4}$ " x $1\frac{3}{8}$ "	
2103	24	1153 Primary 1081 Secondary	$\frac{7}{16}$ " x $1\frac{3}{8}$ "	

With Series TH-2700-A Head§ and All Porcelain Ceramics*

Cat. No.†	B&S Gauge	Protecting Tubes	Size I.D. x O.D.	Length
2130	24	1153 Primary only	$\frac{7}{16}$ " x $1\frac{1}{16}$ "	12" through 48" in 6" increments
2131	24	1153 Primary 1152 Inner Primary	$\frac{1}{4}$ " x $1\frac{1}{16}$ "	
2106	24	1153 Primary 1152 Inner Primary 1081 Secondary	$\frac{1}{4}$ " x $1\frac{3}{8}$ "	

With TH-42 Head and Alumina Ceramics*

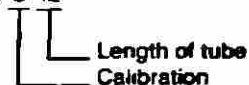
Cat. No.†	B&S Gauge	Protecting Tubes	Size I.D. x O.D.	Length
2140	24	1147 Alumina Primary only	$\frac{7}{16}$ " x $1\frac{1}{16}$ "	12" through 48" in 6" increments
2141	24	1147 Alumina Primary 1146 Alumina Inner Primary	$\frac{1}{4}$ " x $1\frac{1}{16}$ "	
2142	24	1147 Alumina Primary 1146 Alumina Inner Primary 1081 Secondary	$\frac{1}{4}$ " x $1\frac{3}{8}$ "	
2143	24	1147 Alumina Primary 1081 Secondary	$\frac{7}{16}$ " x $1\frac{3}{8}$ "	

With Series TH-2700-A Head§ and Alumina Ceramics*

Cat. No.†	B&S Gauge	Protecting Tubes	Size I.D. x O.D.	Length
2144	24	1147 Alumina Primary only	$\frac{7}{16}$ " x $1\frac{1}{16}$ "	12" through 48" in 6" increments
2145	24	1147 Alumina Primary 1146 Alumina Inner Primary	$\frac{1}{4}$ " x $1\frac{1}{16}$ "	
2147	24	1147 Alumina Primary 1146 Alumina Inner Primary 1081 Secondary	$\frac{1}{4}$ " x $1\frac{3}{8}$ "	

To order, specify: catalog number—length of tube calibration—length

Example: 2103-S-12



*Above 2400° F (1316° C) assemblies using Alumina ceramics are recommended. All porcelain ceramic assemblies use Cat. No. 2111 elements. Alumina ceramic assemblies use Cat. No. 2114 elements.

Specify Type S, R or B by adding -S, -R or -B after the catalog number. Types S and R thermocouples and thermoelements are provided in accordance with IPTS-48, unless IPTS-68 specifically requested. Type B thermocouples and thermoelements meet both IPTS-48 and IPTS-68.

† Series Aluminum head may be substituted on request.



ISOLATED, TWO-WIRE, 4-20 MA THERMOCOUPLE TRANSMITTER

NEWPORT

MODEL 502A

STANDARD FEATURES

- 1500 V rms Input/output Isolation
- Input from type J, K, E, T, R, S or B thermocouples
- 4-20 mA full-scale output
- Two-wire operation with 9 to 50 V compliance
- One model for each T/C type covers all ranges
- Narrow span capability:
 - 50°C (90°F) for type T
 - 100°C (180°F) for types J, K, E
 - 250°C (450°F) for types R, S
 - 350°C (630°F) for type B
- Field-selectable zero suppression over full T/C range
- 40 to +85°C (-40 to +185°F) operating temperature with rated accuracy
- Upscale or downscale open-thermocouple Indication
- Input and output protection to 120 V ac
- Compact 74 mm (2.9 in) diameter die-cast metal housing
- Waterproof to 35 kPa (5 psi)
- 55 g shock resistance

OPTIONS

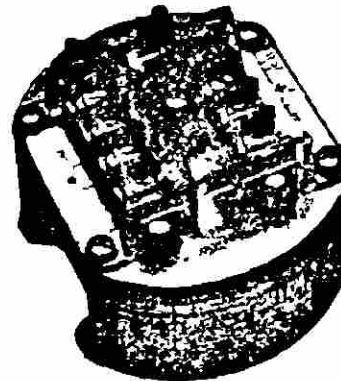
- Six mounting methods
- Insulating case-top cover
- External explosion-proof housings
- Companion loop-powered Indicator (Model 508A)

DESCRIPTION

Model 502A is an isolated, two-wire 4-20 mA transmitter which can be ordered for NBS thermocouple types J, K, E, T, R, S or B. It provides a unique combination of electrical, environmental and mechanical specifications for remote operation in severe industrial environments. Its compliance voltage can be as low as 9 V dc for use with intrinsic-safety barriers, loop monitors and limited supply voltages. Field calibration is easy.

UNMATCHED ELECTRICAL PERFORMANCE

The 502A allows spans as narrow as 50°C (90°F) or as wide as 2000°C (3600°F), depending on thermocouple type and user selection. These spans may be located anywhere from -50°C to the NBS-recommended maximum temperature for each T/C type.



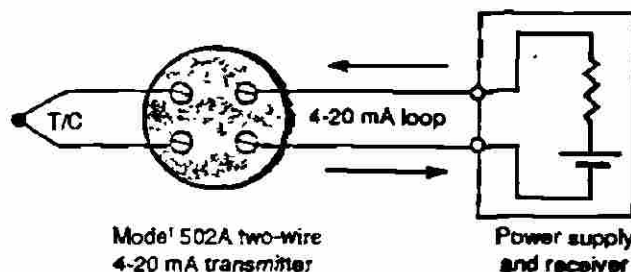
The exceptionally narrow span and large zero suppression capabilities (high turndown ratio) of the 502A allow high-gain control for continuous processes and close conformity to the NBS tables over narrow temperature ranges. The wide span capability of the 502A is ideal for batch processes, which require repeatability over a wide dynamic range. Downstream linearization of the 4-20 mA signal is required for accurate temperature readout over a wide span.

EASY TO CONFIGURE AND CALIBRATE

Both zero suppression and span are fine-tuned with precision 15-turn potentiometers. These are accessible through holes in the die-cast cover, which are normally sealed with fluorosilicone plugs. Coarse zero and span steps are selected by opening the case and changing push-on jumpers.

IDEAL FOR HARSH ENVIRONMENTS

The 502A is rated for operation from -40 to +85°C with specified accuracy. Its case is made of die-cast metal and is waterproof to 5 psi. The electronics are firmly soldered to the top of the case, so that the 502A can withstand high vibration and shock, such as a 6-foot drop onto concrete. A plastic cover with screwdriver holes is standard for protection of the screw-terminal barrier strip. An insulating cover for the top of the case is optional and can provide additional protection from wind and sun.



The 502A utilizes the power-supply leads as signal leads. This simplifies field wiring by eliminating separate power and signal leads.

THERMOCOUPLE TYPE	MINIMUM TEMPERATURE (for 4 mA output)	MAXIMUM TEMPERATURE (for 20 mA output)	ZERO SUPPRESSION (for 4 mA output)	TEMPERATURE SPAN (for 4-20 mA output)
Type J (Iron-Constantan)	-50°C -58°F	+760°C +1400°F	-50 to +660°C -58 to +1220°F	100 to +810°C 180 to +1458°F
Type K (Chromel-Alumel)	-50°C -58°F	+1372°C +2502°F	-50 to +1272°C -58 to +2322°F	100 to +1422°C 180 to +2560°F
Type T (Copper-Constantan)	-50°C -58°F	+400°C +752°F	-50 to +350°C -58 to +662°F	50 to +400°C 90 to +720°F
Type E (Chromel-Constantan)	-50°C -58°F	+1000°C +1832°F	-50 to +900°C -58 to +1652°F	100 to +1050°C 180 to +1836°F
Type R (Pt, 10% Rh - Pt)	-50°C -58°F	+1768°C +3214°F	-50 to +1500°C -58 to +2732°F	250 to +1800°C 450 to +3240°F
Type S (Pt, 13% Rh - Pt)	-50°C -58°F	+1768°C +3214°F	-50 to +1500°C -58 to +2732°F	250 to +1800°C 450 to +3240°F
Type B (Pt, 30% Rh - Pt, 6% Rh)	0°C 32°F	+1820°C +3308°F	-50 to +1500°C -58 to +2732°F	350 to +1900°C 630 to +3420°F

EXPLOSION-PROOF HOUSING OPTIONS

Three external NEMA-7 explosion-proof and NEMA-4 waterproof enclosures are available as options for use in hazardous locations in Class I, Groups B, C, D; and Class II, Groups E, F, G.

Option EPH is a single-height, all-metal housing for a single 500-Series transmitter.

Option EPH1 is an upgraded version of EPH which adds FM and CENELEC certification.

Option EPW2 is a double-height metal enclosure with a glass window for a 500-Series transmitter on the bottom and a 508A loop-powered indicator on top. FM and CENELEC certification are standard. The 508A augments the transmitter with an LCD digital readout scaled in engineering units and only adds a modest 2.5 V drop to the current loop.

SIGNAL OUTPUT

Current output, linear range 4 to 20 mA
 Current output, max 35 mA
 Supply compliance 9 to 50 V
 Open-thermocouple indication:
 Standard Upscale overrange (over 25 mA)
 Optional Downscale overrange (under 3.8 mA)
 Step response time 0-98% (four time constants):
 At low gain (wide input span) 17 ms
 At high gain (narrow input span) 120 ms

ACCURACY FROM -40 TO +85°C

Repeatability error ±0.2°C ±0.1% of span
 T/C conformity error:
 100°C span ±1°C for J, K; ±1.5°C for E, T
 250°C span (> 600°C) ±1.5°C for R, S
 350°C span (> 1200°C) ±2°C for B
 6-month stability error: ±0.2°C ±0.2% of zero suppression
 Errors due to 50°C change in transmitter temperature:
 Zero error:
 J, K, E, T ±0.5°C ±0.2% of zero suppression
 R, S, B ±1°C ±0.2% of zero suppression
 Span error ±0.2% of span

ENVIRONMENTAL

Operating temperature with rated accuracy . . -40 to +85°C
 Storage temperature -55 to +125°C
 Relative humidity 0% to 100% (sealed case)
 Watertight proof pressure 35 kPa (5 psi)
 Vibration 1.52 mm (.06 in) double amplitude,
 10-80 Hz cycled
 Shock 55 g, half-sine, 9-13 msec duration

MECHANICAL

Case material Zamak® zinc alloy
 Gasket material Fluorosilicone
 Diameter 74 mm (2.9 in)
 Height, including barriers 52 mm (2.1 in)
 Weight 380 g (12 oz)
 Connections #6 screws with wire clamps
 Terminal protection Screw-terminal barriers (standard)
 Barrier-strip cover (standard)
 Insulating case-top cover (optional)

SPECIFICATIONS

SIGNAL INPUT

Input resistance 5 MΩ
 Bias current, max 50 nA
 T/C lead resistance 100 Ω, specified performance;
 10 kΩ max

NOISE REJECTION

NMR 60 dB, 50/60 Hz, 100 mV input
 CMR 100 dB, DC to 60 Hz
 Power supply rejection, min 0.01% of span/volt

INPUT/OUTPUT PROTECTION

CMV, input to case or output 2100 Vp per HV test,
 354 Vp per IEC spacing
 NMA, across input leads 120 V ac for 1 min
 NMA, across output leads 120 V ac for 1 min
 Reverse polarity across output leads 400 Vp

SCREW-TERMINAL PIN ASSIGNMENT

1	TEST
2	+ PWR OUTPUT
3	- PWR OUTPUT
4	CASE GND

A	N/C
B	+ TC
C	- TC
D	N/C

MOUNTING METHODS

See Mechanical section for mounting drawings.

- Surface mount with four #6 rear-entry screws. Tapped holes are provided in back of case. Screws are inserted from backside of bulkhead.
- Snap mount into 63.5 mm (2.50 in) relay track.
- Surface mount with two #8 front-entry screws. Requires optional MAT1 adapter-plate.
- Snap mount into 69.9 mm (2.75 in) or 76.2 mm (3.00 in) relay track. Requires optional MAT1 adapter plate.
- Snap mount into DIN relay track per CENELEC standard EN 50 022. Requires optional MDT1 rail clamp.
- Push mount into optional external waterproof or explosion-proof housings EPH or EPW2. Includes MXS1 spring retainers.

ORDERING GUIDE

Make a maximum of one entry per box and separate by commas. An asterisk "*" requires no entry. Example:
502A-J, FS, CBP1, 0°C - 4 mA, 400°C - 20 mA

502A 4-20 mA THERMOCOUPLE TRANSMITTER

THERMOCOUPLE TYPE
Temperature ranges in parentheses are factory-set default for 4-20 mA output.

J	Type J	(0 - 500°C)
K	Type K	(0 - 800°C)
T	Type T	(0 - 400°C)
E	Type E	(0 - 500°C)
R	Type R	(500 - 1500°C)
S	Type S	(500 - 1500°C)
B	Type B	(800 - 1800°C)

OPEN-THERMOCOUPLE INDICATOR
* Upscale overrange (over 25 mA)
DS Downscale overrange (under 3.8 mA)

MOUNTING CONFIGURATION
* Case alone for surface mount with rear-entry screws, for snap mount into 63.5 mm (2.50 in) relay track, or for mounting in explosion proof housing.

MAT1 Adapter plate for surface mount with front-entry screws, or snap mount into 69.9 mm (2.75 in) or 76.2 mm (3.00 in) relay track.
MDT1 Rail clamp for snap mount into DIN relay track.

ADD-ON OPTIONS

- FS Custom scaling. Specify temperatures corresponding to 4 mA and 20 mA.
- CBP1 Insulating cover for case top.
- EPH External single-height environmental enclosure rated NEMA-7 (explosion-proof) and NEMA-4 (waterproof). Includes MXS1.
- EPH1 Version of EPH with FM and CENELEC EEx d II C certification.
- EPW2 External double-height environmental enclosure with window for one 500-Series transmitter (on bottom) and one Model 508A loop-powered indicator (on top), for indicating two-wire 4-20 mA transmitter applications. Rated NEMA-7 (explosion-proof) and NEMA-4 (waterproof). Includes FM and CENELEC EEx d II C certification and internal mounting hardware.
- MXS1 Spring retainers for customer-furnished explosion-proof housing.

IFOA DIMENSIONAL DATA

Tables 2, 3, 4, and 5 list IFOA orifice and pipe diameters for standard and nonstandard configurations, and for situations when the associated piping is provided by either Foxboro or the user. The Beta ratios (β) are also given for each configuration.

Table 2. Actual IFOA Pipe Inside Diameter (ID)

Orifice Assembly Size	Associated Piping		Pipe Supplied By Foxboro Bored Pipe ID ⁽¹⁾		Pipe Supplied By User Standard Pipe ID ⁽²⁾	
	Size	Schedule	mm	in	mm	in
1/2	1/2	40	16.76	0.660	15.80	0.622
1	1	40	27.76	1.093	26.64	1.049
1 1/2	1 1/2	80	39.65	1.561	38.10	1.500

⁽¹⁾When associated piping is supplied by Foxboro, ID of both ends of pipe at orifice assembly is precision bored to indicated diameter.
⁽²⁾When pipe is supplied by user, nominal ID of commercial pipe is listed.

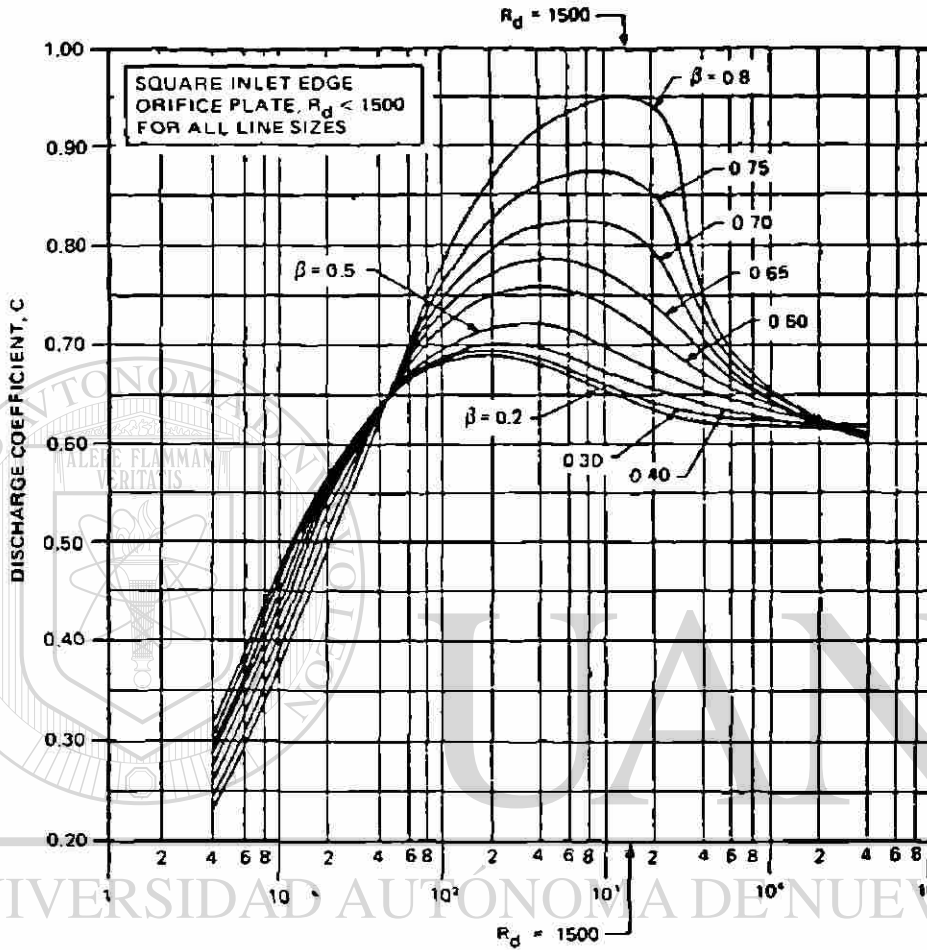
Table 3. Standard and Nonstandard IFOA Orifice Bore Diameters (For Corresponding Beta Ratios (β), See Tables 4 and 5)

Type Orifice Plate		Orifice Bore Diameters for the Following Orifice Assembly Size					
		1/2 in		1 in		1 1/2 in	
		mm	in	mm	in	mm	in
With Standard Bore Diameters		0.508	0.0200	6.15	0.242	9.70	0.382
		0.889	0.0350	8.66	0.341	13.67	0.538
		1.524	0.0600	12.14	0.478	19.08	0.751
		2.54	0.100	16.64	0.655	25.86	1.018
		4.06	0.160	21.13	0.832	29.97	1.180
		6.35	0.250	—	—	—	—
		8.89	0.350	—	—	—	—
With Nonstandard Bore Diameters	All Metal ⁽¹⁾	1.676	0.066	2.78	0.109	3.97	0.156
	Jewel	13.41	0.528	22.21	0.874	31.72	1.249
	Insert ⁽¹⁾	0.051	0.0020	—	—	—	—
		0.381	0.0150	—	—	—	—

⁽¹⁾Minimum and maximum sizes listed.

Table 4. Standard and Nonstandard IFOA Orifice Bore Beta Ratios (β), Based on Pipe Supplied by Foxboro

Type Orifice Plate		Beta Ratios for the Following Orifice Assembly Size								
		1/2 in			1 in			1 1/2 in		
		Orifice Bore		Beta Ratio	Orifice Bore		Beta Ratio	Orifice Bore		Beta Ratio
		mm	in		mm	in		mm	in	
With Standard Bore Diameters		0.508	0.0200	0.03030	6.15	0.242	0.2214	9.70	0.382	0.2447
		0.889	0.0350	0.05303	8.66	0.341	0.3120	13.67	0.538	0.3447
		1.524	0.0600	0.09091	12.14	0.478	0.4373	19.08	0.751	0.4811
		2.54	0.100	0.1515	16.64	0.655	0.5993	25.86	1.018	0.6521
		4.06	0.160	0.2424	21.13	0.832	0.7612	29.97	1.180	0.7559
		6.35	0.250	0.3788	—	—	—	—	—	—
		8.89	0.350	0.5303	—	—	—	—	—	—
With Nonstandard Bore Diameters	All Metal	Beta ratios between 0.1 and 0.6 can be supplied								
	Jewel	Beta ratios between 0.00303 and 0.0227			—	—	—	—	—	—
	Insert	Beta ratios between 0.00303 and 0.0227			—	—	—	—	—	—



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Figure 1

Discharge Coefficient versus Orifice Bore Reynolds Number (below 1500)
 for a Square Inlet Edge Orifice Plate
 (For All Line Sizes)

SUPPLEMENTAL INFORMATION

Table 19. Gas Properties at Base Conditions

Gas	Molecular Weight	Specific Gravity	(a) Density, ρ_b	
	M_w	G	lb/ft ³	kg/m ³
Air (Dry)	28.96	1.000	0.0763	1.222
Ammonia	17.03	0.588	0.0449	0.719
Argon	39.95	1.379	0.1053	1.687
Benzene	78.11	2.697	0.2058	3.297
N-Butane	58.12	2.007	0.1531	2.452
1-Butene	56.10	1.937	0.1478	2.367
Carbon Dioxide	44.01	1.520	0.1160	1.858
Carbon Monoxide	28.01	0.967	0.0738	1.182
N-Deuterium	4.03	0.139	0.0106	0.170
Ethane	30.07	1.038	0.0792	1.269
Ethylene	28.05	0.969	0.0739	1.184
Ethyl Ester	74.12	2.559	0.1953	3.128
Helium	4.00	0.138	0.0105	0.168
N-Heptane	100.21	3.460	0.2640	4.229
N-Hexane	86.18	2.976	0.2271	3.638
Hydrogen	2.02	0.070	0.0053	0.085
Hydrogen Sulfide	34.08	1.177	0.0898	1.438
Isobutane	58.12	2.007	0.1531	2.452
Isopentane	72.15	2.491	0.1901	3.045
Methane	16.04	0.554	0.0423	0.678
Methyl Fluoride	34.03	1.175	0.0897	1.437
Natural Gas ^(b)	17.38	0.600	0.0458	0.734
Neon	20.18	0.697	0.0532	0.852
Nitric Oxide	30.01	1.036	0.0791	1.267
Nitrogen	28.01	0.957	0.0738	1.182
Oxygen	32.00	1.105	0.0843	1.350
N-Pentane	72.15	2.491	0.1901	3.045
Propane	44.09	1.522	0.1162	1.861
Propene	42.08	1.453	0.1109	1.776

^(a)Density at base conditions of 59°F and 14.7 psia (15°C and 101 kPa absolute). To determine density of other gases at any flowing condition, use applicable equation below.

^(b)A common natural gas having a specific gravity of 0.6. To determine densities of other natural gases at base conditions, use applicable equation below.

<p>U.S. Customary Units</p> $\rho_1 = (2.6988) \frac{(G)(\rho_1)}{(Z_1)(T_1)}$	<p>S.I. Units</p> $\rho_1^* = (3.4834) \frac{(G)(\rho_1^*)}{(Z_1)(T_K)}$
---------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------

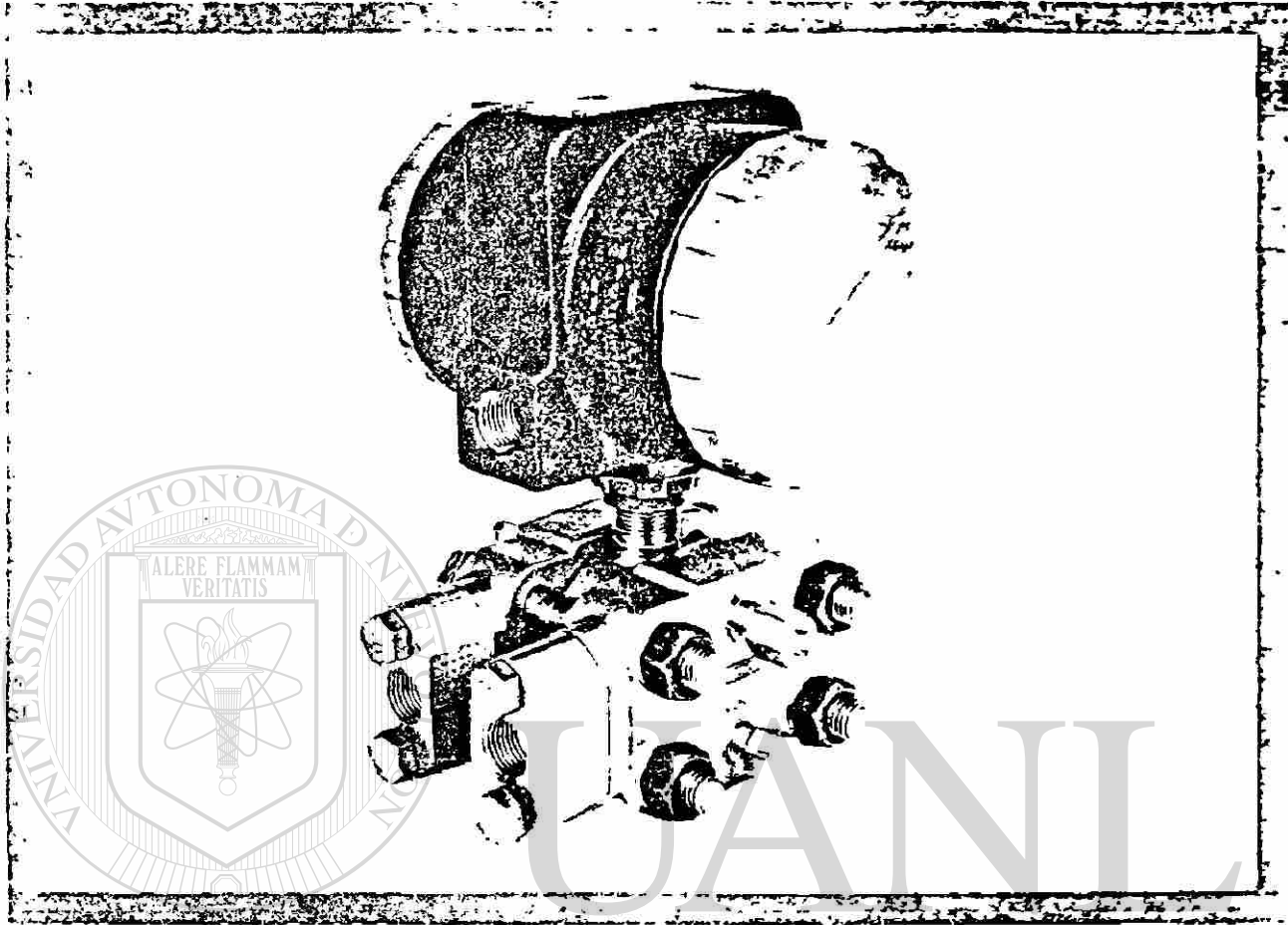
Table 20. Conversion of Units

To Convert	Multiply By	To Obtain
psi	6.895	kPa
bar	100	kPa
kg/cm ²	98.07	kPa
inH ₂ O	0.2487	kPa
mmH ₂ O	0.009791	kPa
mmHg	0.1333	kPa
inH ₂ O	0.03606	psi
inHg	0.4912	psi
mmHg	0.01934	psi
kPa	0.1450	psi
IMP gpm	1.201	U.S. gpm
L/s	15.85	U.S. gpm
ft ³ /h	0.1247	U.S. gpm
m ³ /h	4.403	U.S. gpm
U.S. gpm	8.021	ft ³ /h
U.S. gpm	0.06309	L/s
m ³ /h	0.2778	L/s
U.S. gpm	0.2272	m ³ /h
L/s	3.600	m ³ /h
lb/h	0.4536	kg/h
m ³ /h	density (kg/m ³)	kg/h
ft ³ /h	density (lb/ft ³)	lb/h
kg/h	2.205	lb/h
centipoise	1/specific gravity	centistokes
centistokes	specific gravity	centipoises
bar gauge + 1.0 bar = bar absolute		
kPa gauge + 101.3 kPa = kPa absolute		
psi gauge + 14.7 psi = psi absolute		
°F + 460 = °R		°C + 273 = K Scale
°F = (9/5)(°C) + 32		°C = (5/9)(°F - 32)

Table 21
Equations for Permanent Pressure Loss Due to Orifice*

Units	Equation
U.S. Customary	$h_1 = (1 - 0.24\beta - 0.52\beta^2 - 0.16\beta^3) h_w$
SI	$\Delta P^* = (1 - 0.24\beta - 0.52\beta^2 - 0.16\beta^3) \Delta P^*$

*Applicable to liquid, gas, and vapor flow



823DP d/p Cell TRANSMITTER

These 2-wire transmitters provide precision measurement of differential pressure and transmit proportional 4 to 20 or 10 to 50 mA dc signals. A version with frequency output for use with SPEC 200 input components is also available. (Refer to PSS 2A-1A3 B.)

Resonant wire sensor technology provides significant improvement in performance and long-term stability. Modular construction simplifies servicing and helps to reduce spare parts inventory. This unique blend of up-to-date technology and product design, combined with advances in wetted parts materials, provides the process industries with differential-pressure transmitters having a new dimension in versatility.

RADIO-FREQUENCY INTERFERENCE (RFI) PROTECTION

The transmitter output is virtually unaffected by radio frequency signals (walkie-talkies, etc.)

SUPERIOR PERFORMANCE

The 823DP Transmitter provides assured accuracy of $\pm 0.2\%$ of span, repeatability of better than 0.05% of span, and excellent long-term stability. Combine this with minimal ambient temperature, static pressure, and over-range pressure effects and the result is unequalled overall performance.

VOLTAGE SURGE PROTECTION

A power Zener diode (transient voltage suppressor) is included in the terminal compartment of the electronics housing to protect against a voltage surge

ROTATABLE HOUSING

The topworks housing may be easily rotated to any one of four positions. This feature enables the user to position the housing for maximum visibility of the optional indicating meter, easy accessibility to the zero adjustment, or flexibility in locating a conduit run. A positive over-rotation stop prevents accidental damage to the sensor wires.

STATIC PRESSURE RATING

Standard static pressure rating of 20 MPa (3000 psi, or 200 bar or kg/cm²) is 50% higher than most competitive offerings. This satisfies almost all applications with standard construction. Optional 40 MPa (6000 psi, or 400 bar or kg/cm²) rating is also available.

MULTIPLE PROTECTION FROM ENVIRONMENTS

There are two separate compartments in the epoxy-coated aluminum housing. Each compartment has only one access, which is sealed to exclude moisture and corrosive atmospheres. One compartment is for the electronics, and the other is for field connections. This eliminates the need to open the electronics compartment during installation. The electronic circuits are encapsulated in one replaceable module that provides complete moisture protection.

HIGHLY CORROSION-RESISTANT SENSOR DIAPHRAGMS

Standard diaphragm material of cobalt-nickel-chrome alloy provides nearly universal corrosion resistance at no extra cost. This alloy has proven its durability and corrosion resistance as the force bar diaphragm in millions of Foxboro d/p Cell transmitters for over 30 years. For additional information regarding cobalt-nickel-chrome alloy, refer to TI Q37-078 and TI Q37-75b. Sensor diaphragms of AISI Type 316 stainless steel (316 ss), Hastelloy C-276, Monel, and tantalum are also available for specific application requirements.

STANDARD FEATURES

The 823DP Transmitter includes the following standard features which are normally extra cost options, or not available, with most other brands of transmitters:

- Side Vents and Drains
- Mounting Bracket
- Voltage Surge Protection
- High-strength B7 Alloy Steel Bolting
- Epoxy Finish
- 20 MPa (3000 psi, 200 kg/cm²) Static Pressure Rating
- Corrosion-resistant Cobalt-Nickel-Chrome Alloy Diaphragms

OPERATING AND STORAGE CONDITIONS

Operating Conditions

Influence	Reference Operating Conditions	Normal Operating Condition Limits	Storage and Shipping Limits
Sensor Temperature ^(a)	24 ± 2°C (75 ± 3°F)	-40 and + 120°C ^(b,c) (-40 and + 250°F)	—
Ambient Temperature	24 ± 2°C (75 ± 3°F)	-40 and + 80°C ^(b) (-40 and + 180°F)	-55 and + 80°C (-65 and + 180°F)
Relative Humidity	50 ± 10%	0 and 100%	0 and 100% noncondensing
Supply Voltage 4 to 20 mA dc 10 to 50 mA dc	30 ± 0.5 V dc 80 ± 0.5 V dc	Refer to Supply Voltage Requirements and External Loop Load Limitations Section	—
Output Load 4 to 20 mA dc 10 to 50 mA dc	650 Ω 600 Ω		

^(a)At static pressures above 34 kPa (5 psi) absolute. Refer to Foxboro for static pressures below this value.
^(b)Limits are -18 and + 80°C (0 and 180°F) with Fluorinert-filled sensor at static pressure above 62 kPa (9 psi) absolute. Refer to Foxboro for static pressure below this value.
^(c)With pvdf process covers: 66°C at 4 MPa, and 93°C at 2.7 MPa (150°F at 600 psi, and 200°F at 400 psi)

MODEL CODE

823DP = Transmitter

Output Signal

- I = 4 to 20 mA dc
- H = 10 to 50 mA dc

Static Pressure Rating and Process Cover Material

- 1P = 4 MPa (600 psi, 40 bar or kg/cm²), pvdf (Process Connector Code 7 only)
- 3K = 20 MPa (3000 psi, 200 bar or kg/cm²), carbon steel (cs)
- 3S = 20 MPa (3000 psi, 200 bar or kg/cm²), 316 ss
- 3C = 20 MPa (3000 psi, 200 bar or kg/cm²), Hastelloy C. (With Process Connector Codes 2, 4, and 0 only)
- 3M = 20 MPa (3000 psi, 200 bar or kg/cm²), Monel
- 6K = 40 MPa (6000 psi, 400 bar or kg/cm²), cs (Span Limit Codes M and H only)
- 6S = 40 MPa (6000 psi, 400 bar or kg/cm²), 316 ss (Span Limit Codes M and H only)

Sensor Fill Fluid

- 1 = Silicone oil
- 2 = Fluorinert

Sensor Wetted Parts

- N = Cobalt-nickel-chrome alloy (standard)
- S = 316 ss
- C = Hastelloy C-276
- M = Monel
- T = Tantalum (Static Pressure Codes 1 and 3, and med. and high span limits only)

Span Limits

- L = 1.2 and 7.2 kPa (5 and 30 inH₂O, 12 and 72 mbar) ΔP (Static Pressure Code 3 only)
- M = 6 and 36 kPa (25 and 150 inH₂O, 60 and 360 mbar) ΔP
- H = 30 and 180 kPa (125 and 750 inH₂O, 300 and 1800 mbar) ΔP

Process Connectors

- 1 = Tapped for 1/4 NPT
- 2 = Tapped for 1/2 NPT
- 3 = Tapped for R1/4
- 4 = Tapped for R1/2
- 5 = None, process covers machined for 9/16-18 Amincc fitting. (Static Pressure Code 6 only)
- 6 = Weld neck for 14 x 21 mm tubing (1/2 in Schedule 80 pipe) (Static Pressure Codes 3K, 3S, and 3M only)
- 7 = None, pvdf covers tapped for 1/2 NPT (for Pressure Rating Code 1P only)
- 0 = None (Standard process covers are tapped for 1/4 NPT)

Optional Selections

- A = Indicator with 0 to 100% uniform scale
- B = Indicator with 0 to 100% square-root scale
- C = Indicator with scale per sales order
- D = Indicator with 0 to 10 square-root scale
- S = Integrally-mounted square-root extractor (with Output Signal Code -I only, not available with Optional Selections Code -B and -D). This option only available with Electrical Classification Codes CS-E/XB-F, CS-E/XD-F, and CS-E/CG-A.
- Y = Delete mounting bracket

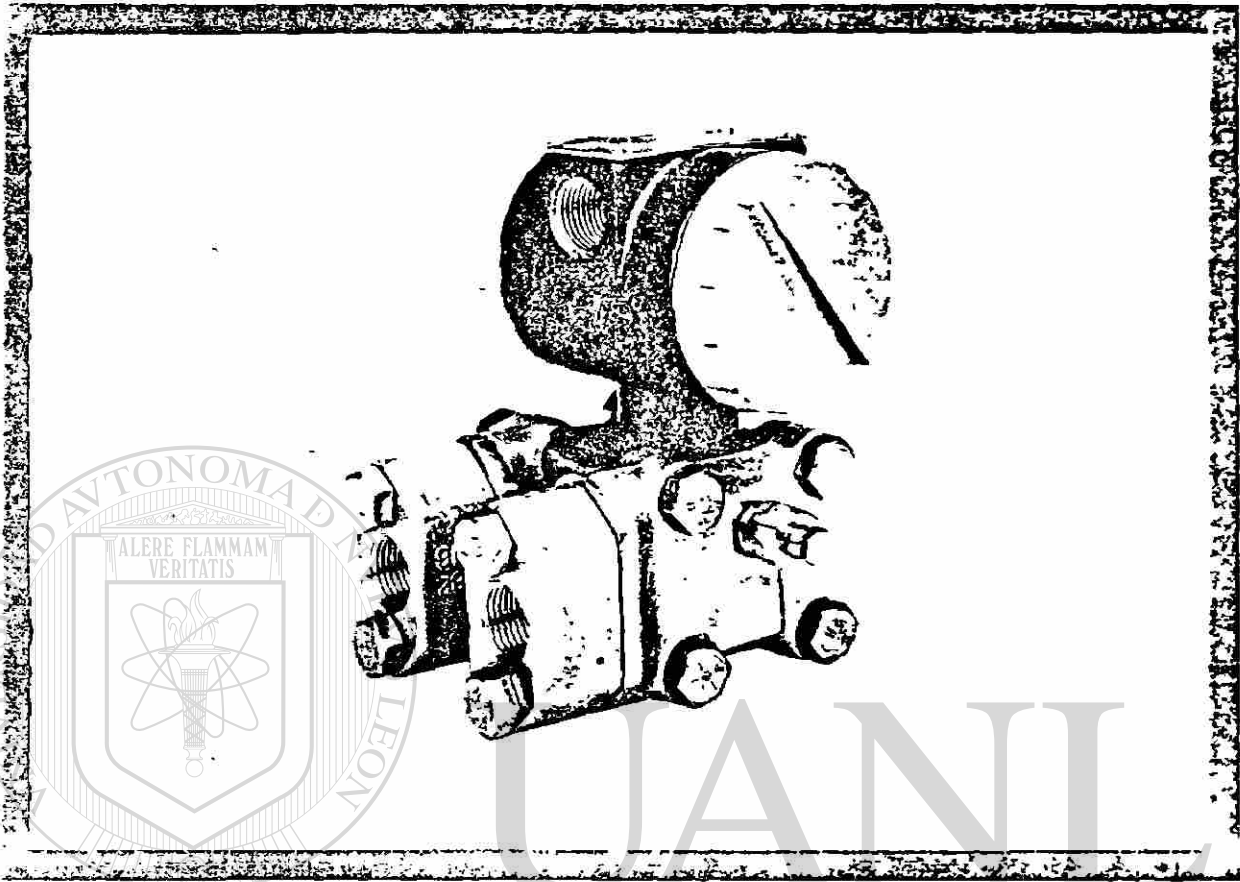
Example: 823DP-I3S1NM2-B

PRODUCT SAFETY SPECIFICATION

Electrical Classification

Testing Laboratory, Types of Protection, and Area Classification	Conditions of Certification	Electrical Classification Code
BASEEFA certified Ex n for IIC, Zone 2.	4 to 20 mA output only. Connect to source not exceeding 45 V. Temperature Class T4 in 80°C ambient, or T6.	CS-E/BN-A
BASEEFA certified intrinsically safe EEx ib for IIC, Zone 1 (CENELEC).	4 to 20 mA output only. Connect to BASEEFA-certified intrinsically safe associated apparatus. Temperature Class T4, T5, or T6.	CS-E/PB-E
CSA certified intrinsically safe apparatus for Class I, Groups A, B, C, and D, Division 1; and Class II, Groups E, F, and G, Division 1.	4 to 20 mA output only. Connect per TI 005-105. Temperature Class T6.	CS-E/CB-A
CSA certified intrinsically safe apparatus for Class I, Groups A, B, C, and D, Division 1.	4 to 20 mA output only. Connect to CSA-certified barriers rated 33 V, 415 Ω, 30 V, 300 Ω, 28 V, 240 Ω, 267 V, 200 Ω, or 20 V, 70 Ω. Temperature Class T4A.	
CSA certified intrinsically safe apparatus for Class I, Groups C and D, Division 1.	4 to 20 mA output only. Connect to CSA-certified barriers rated 33 V, 185 Ω, 30 V, 130 Ω, 28 V, 115 Ω, or 20 V, 30 Ω. Temperature Class T4A.	
CSA certified explosionproof apparatus for Class I, Groups B, C, and D, Division 1; and dust-ignition-proof apparatus for Class II, Groups E, F, and G, Division 1.	4 to 20 or 10 to 50 mA output. Temperature Class T6.	CS-E/CD-A
CSA certified suitable for use in Class I, Groups A, B, C, and D, Division 2 locations.		
CSA certified for use in general purpose (ordinary) locations.	4 to 20 mA output only. Temperature Class T6.	CS-E/CG-A(a)
FM certified intrinsically safe apparatus for Class I, Groups A, B, C, and D, Division 1; and Class II, Groups E and G, Division 1.	4 to 20 mA output only. Connect per TI 005-101. Temperature Class T6.	CS-E/FB-A
FM certified intrinsically safe for Class I, Groups C and D, Division 1; and Class II, Groups E and G, Division 1.	4 to 20 mA output only. Connect to Honeywell 38 barrier. Refer to TI 005-101 for barrier types and groups. Temperature Class T6.	CS-E/FB-H
FM certified intrinsically safe for Class I, Groups A, B, C, and D, Division 1; and Class II, Groups E and G, Division 1.		
FM certified explosionproof apparatus for Class I, Groups B, C, and D, Division 1; and dust-ignition-proof apparatus for Class II, Groups E and G, Division 1.	4 to 20 or 10 to 50 mA output. Temperature Class T6.	CS-E/FD-A
FM certified nonincendive apparatus for Class I, Groups A, B, C, and D, Division 2; and Class II, Group G, Division 2.		
Foxboro self-certified intrinsically safe apparatus for use in Class I, Groups A, B, C, and D, Division 1; and Class II, Groups E and G, Division 1.	4 to 20 mA output only. Temperature Class T6.	CS-E XB-F (a)
Foxboro self-certified explosionproof apparatus for use in Class I, Groups B, C, and D, Division 1; and dust-ignition-proof apparatus for Class II, Groups E and G, Division 1.	4 to 20 mA output only. Temperature Class T6.	CS-E XD-F(a)
LCIE certified flameproof combined with intrinsic safety EExd (ia) for IIC, Zone 1.	4 to 20 mA output only. Temperature Class T6.	CS-E LD-E
PTB certified intrinsically safe apparatus EEx ib for IIC, Zone 1 (CENELEC). Also accepted for use in all EEC member countries and in some CENELEC member countries outside the EEC. BASEEFA systems certificates have been obtained to permit connection with approved Zener barriers or with other Foxboro associated safe-area apparatus. Refer to Foxboro.	4 to 20 mA output only. Connect to PTB-certified intrinsically safe associated apparatus. Temperature Class determined by power ($P \leq 0.56 \text{ W T6}$, $P \leq 0.75 \text{ W T5}$, $P \leq 20 \text{ W T4}$).	CS-E PB-E
SAA certified intrinsically safe Ex ib for IIC, Zone 1.	4 to 20 mA output only. Connect per drawings. -50°C F _L and -50°C E _L . Temperature Class T6.	CS-E AB-A
SAA certified flameproof Ex d for IIC, Zone 1.	4 to 20 or 10 to 50 mA output. Temperature Class T6.	CS-E AD-A

Refer to Optional Selection -S in Mode Code table.



843 d/p Cell TRANSMITTER

These compact, cost-saving transmitters precisely measure differential pressure and transmit a proportional 4 to 20 mA dc signal. ®

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

DIRECT PROCESS MOUNTING

With its small size and light weight, the 843 d/p Cell Transmitter can be supported by the process piping. This greatly reduces the cost of installation and maintenance as compared to other transmitters which require a pipe stand and mounting bracket.

COMPACT SIZE AND LIGHTWEIGHT

This transmitter utilizes integrated circuit sensor technology to deliver accurate and dependable differential pressure measurements. It is compact in size and weighs only 2.8 kg (6.2 lb).

LOW COST OF OWNERSHIP

Not only is the initial cost of this transmitter attractive, but cost considerations must also include the savings realized as a result of the unit's total replacement concept. The lightweight, compact, and direct process mounted design promotes ease of initial installation or rapid replacement of the transmitter. In addition, spare-parts inventory and maintenance training is totally eliminated. Combine these features with the corrosion, overrange, and radio-frequency interference (RFI) protection and the result is a transmitter with the lowest cost of ownership in the market today.

FOXBORO®

CORROSION PROTECTED

The 843 d/p Cell Transmitter may be used for differential pressure measurement of corrosive liquids or vapors. All sensor wetted parts are a cobalt-nickel alloy. Sensor covers and process connectors are 316 ss. In addition, the transmitter housing is coated with a durable and chip-resistant epoxy finish for superior protection in corrosive atmospheres.

MOISTURE PROTECTION

The electronics compartment of the transmitter is potted and O-ring sealed for dual protection against moisture.

OVERRANGE PROTECTION

The 834 d/p Cell Transmitter will withstand overranges up to a static pressure of 2000 psi (14 MPa) with negligible change in output.

RADIO-FREQUENCY INTERFERENCE (RFI) PROTECTION

The transmitter is protected against RFI by two sealed filters between the electronic compartment and the field terminal compartment of the housing

FUNCTIONAL SPECIFICATIONS

Operating Conditions

Influence	Reference Operating Conditions	Operative Limits	Transportation and Storage Limits
Process Temperature	24 ± 2°C (75 ± 3°F)	-45 and + 120°C (-50 and + 250°F)	Not Applicable
Ambient Temperature	24 ± 2°C (75 ± 3°F)	-45 and + 80°C (-50 and + 180°F)	-55 and + 80°C (-65 and + 180°F)
Relative Humidity	50 ± 10%	0 to 100%	0 to 100% noncondensing
Supply Voltage(a)	30 ± 0.5 Vdc	12.5 to 36 Vdc	Not Applicable
Output Load(b)	650 Ω	0 to 1175 Ω	Not Applicable

(a) Refer to figure on Page 3

Span, Range, and Overrange Limits

Span Limit Code	Span Limits (Differential Pressure [ΔP])			Upper Range Limit (ΔP)			Overrange Limit (ΔP) and Maximum Static Pressure		
	kPa	inH ₂ O	mbar	kPa	inH ₂ O	mbar	MPa	psi	kg/cm ²
H	19 and 75	75 and 300	190 and 750	75	300	75	1.4	200	14
A	0.05 and 0.20	7.5 and 30	0.5 and 2.0	0.20	30	20	1.4	200	14
B	0.17 and 0.7	25 and 100	1.7 and 7	0.7	100	7	1.4	200	14
C	0.5 and 2.0	75 and 300	5 and 20	2.0	300	20	1.4	200	14
D	1.7 and 7.0	250 and 1000	17 and 70	7.0	1000	70	1.4	2000	14
E	5.0 and 14	750 and 2000	50 and 140	14	2000	140	1.4	2000	14

Output Signal 4 to 20 mA dc

Calibration Adjustments

Zero Adjustment

- 843DP — internal
- 843DX — external

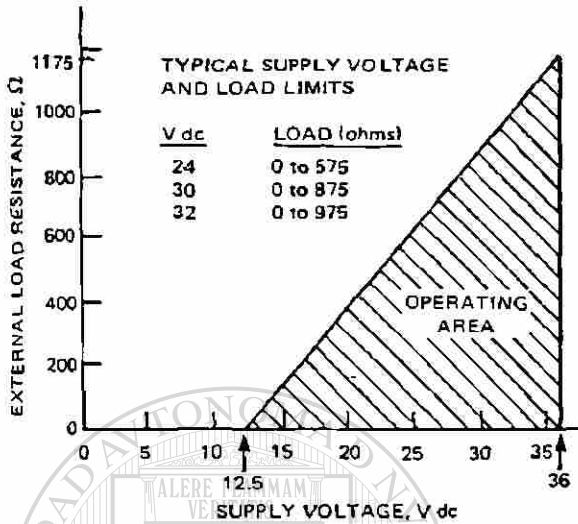
Span Adjustments

- 843DP and 843DX — internal

Zero Suppression 100% of calibrated span

Housing The transmitter housing is comprised of two separate compartments. One contains the transmitter electronics and the other contains the field terminal connections. Each compartment is accessible by removal of a threaded cover. Field wires enter through 1/2 NPT conduit on either side of the housing. Wires terminate under screw terminals and washers in the field terminal compartment.

Supply Voltage Requirements and External Loop Load Limitations



Model Code

843 = d/p Ceil Transmitter

Electronic Housing Configuration
 DP = Standard
 DX = Explosionproof with External Zero Adjustment

Span and Range Limits
 -H = 19 and 75 kPa or 75 and 300 inH₂O
 -A = 0.05 and 0.20 MPa, 7.5 and 30 psi, or 0.5 and 2.0 bar or kg/cm²
 -B = 0.17 and 0.7 MPa, 25 and 100 psi, or 1.7 and 7 bar or kg/cm²
 -C = 0.5 and 2.0 MPa, 75 and 300 psi, or 5 and 20 bar or kg/cm²
 -D = 1.7 and 7.0 MPa, 250 and 1000 psi, or 17 and 70 bar or kg/cm²
 -E = 5.0 and 14 MPa, 750 and 2000 psi, or 50 and 140 bar or kg/cm²

Process Connectors
 0 = Without (Covers tapped 1/4 NPT)
 1 = 1/4 NPT
 2 = 1/2 NPT
 3 = RC 1/4
 4 = RC 1/2
 6 = 1/2 Schedule 80 Welding Neck

Optional Selection
 -M = Mounting Set

Example: 843DP-B2-M

PERFORMANCE SPECIFICATIONS

(Under reference operating conditions unless otherwise specified)

Accuracy (Includes linearity, hysteresis, and repeatability) ± 0.25% of span

Drift⁽¹⁾ (Over a 6-month period). Less than ± 0.3% of maximum span

Static Pressure Effect⁽¹⁾ Zero shift and total effect (maximum effect at any point on scale) does not exceed 1.0% of span, per 6.7 MPa (1000 psi) change in static pressure at maximum span.

Ambient Temperature Effect⁽¹⁾ The total effect (maximum effect at any point on scale) as a percent of maximum span per 28°C (50°F) change, is as follows:

From -29 to -1°C (-20 to +30°F)	From -1 to +54°C (30 to 130°F)	From 54 to 80°C (130 to 180°F)
± 1.2%	± 0.75%	± 1.0%

Overrange Effect⁽¹⁾ Zero shift does not exceed 0.2% of span when applying an overrange pressure of 2000 psi.

RFI Effect The output error is less than 0.1% of span for radio frequencies between 27 and 500 MHz and field intensity of 10 V/m when the transmitter is properly installed and the housing covers are in place.

Supply Voltage Effect The output changes less than 0.005% of span for each 1 V change within the specified supply voltage requirements. See "Supply Voltage Requirements and External Loop Load Limitations".

Position Effect The output changes less than 0.05% of span for a 90° tilt in any direction.

Vibration Effect The total effect (maximum effect at any point on scale) at frequencies up to 200 Hz and amplitudes up to 6 mm (0.25 in) peak-to-peak, or for accelerations up to 10 m/s² (1 "g") whichever is smaller, is less than 0.1% of span

⁽¹⁾For each Span Limit Code

PHYSICAL SPECIFICATIONS

Process-Wetted Parts Materials

Sensor Cobalt-Nickel-Chromium alloy
 Process Covers/Connectors/Vent Screw 316 ss

Non Process-Wetted Parts Materials

Sensor Housing AISI Type 430 ss
 Electronic Housing and Covers Low copper die-cast aluminum alloy with epoxy finish. The covers are threaded and seat on Buna-N O-rings.

Fill Fluid Dimethylsiloxane (DC-200)

Environmental Protection The transmitter housing is weatherproof and dusttight as defined in IEC IP65 and provides the watertight protection of NEMA Type 4.

Approximate Mass (843DP) 2.8 kg (6.2 lb), with process connectors, add 0.7 kg (1.5 lb)

PRODUCT SAFETY SPECIFICATIONS

Electrical Classification

Testing Laboratory, Types of Protection, and Area Classification	Conditions of Certification	Electrical Classification Code
FM certified intrinsically safe for Class I, Groups A, B, C, and D, Division 1; and Class II, Groups E and G, Division 1.	843 DP only. Connect to Foxboro or other manufacturer's associated apparatus that is FM certified under the entity concept and operating within the maximum entity parameters per T1 005-101. Temperature Class T6	CS-E/FB-A
FM certified nonincendive for Class I, Groups A, B, C, and D; Division 2; and Class II, Group G, Division 2.	843DP only. Temperature Class T6.	CS-E/FN-A
Foxboro certified explosion-proof for Class I, Groups B, C, and D, Division 1 and dust-ignition-proof for Class II, Groups E and G, Division 1.	843DX only. Temperature Class T6.	CS-E/XD-F
Foxboro certified nonincendive for Class I, Groups A, B, C, and D, Division 2 and Class II, Group G, Division 2.		

WARRANTY

Foxboro warrants the original purchaser that Foxboro manufactured 843 d/p Cell Transmitters shall be free from defects in material and workmanship, and agrees to either replace or repair free of charge, any such transmitter or part thereof which shall be returned to the nearest authorized Foxboro repair facility within one year (or five years with Optional Feature EW) from date of delivery, transportation charges prepaid by the purchaser. Purchaser retains responsibility for the application, corrosion resistance, and functional adequacy of the transmitter. For further details of this warranty, refer to Section 11A of "General Conditions of Sale for Instruments and Parts" available from Foxboro.



General Specification

For fine proportioning control of a wide variety of fluids. Provides wide rangeability, tight shutoff and Cv values up to 400. Designed for maximum inherent resistance to corrosive or dirty fluids.

Fine Proportioning Control with a choice of linear or equal percentage control characteristics, wide rangeability and long stroke, fast response actuators.

Long Lasting Inner Valve Construction has hardened M-A stainless steel plug and seat ring. A true stainless steel, it withstands corrosion as well as extremely high pressure drops. Optional trim materials for extremely corrosive fluids are also available.

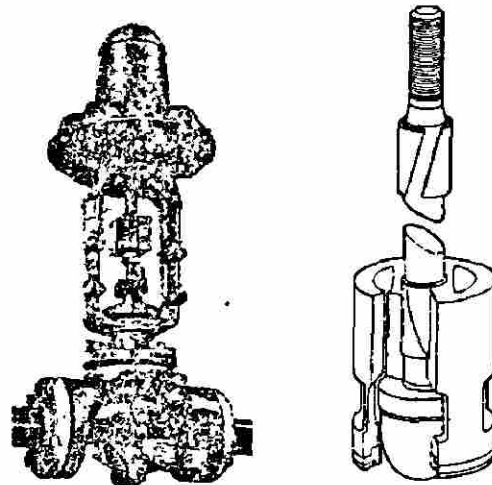
M-A (Martensitic Aging) Stainless Steel is a precipitation hardened alloy steel with 15 to 17% chrome and 3.5 to 5.5% nickel content. It is highly resistant to both erosion and corrosion.

Stem Guided for maximum guide surface life in corrosive or dirty fluids. Two, low friction, large area guides result in minimum hysteresis and high pressure operation.

Full Ported Inner Valve Design with exceptionally high flow capacity reduces initial cost by allowing the use of smaller body sizes than would be required with previous globe valve designs.

Optional Reduced Port Inner Valve Design with 40% of full capacity allows proper valve sizing for present conditions and permits simple change to full ported inner valve for future increased flow. Saves on total valving costs and eliminates costly piping changes to install larger valve in the future. Also used to reduce exit velocity in high flow, high pressure applications.

Flexible Design provides for field conversion from one inner valve type to another (i.e., stem guided to cage guided, equal percentage to linear) for that particular body size.



PERFORMANCE DATA

- Rangeability Better than 50:1
- Leakage Cv Maximum Cv ÷ 10,000
- Maximum Throttling Differential Pressure Equal to working pressure rating
- Maximum Differential Shutoff Pressure 1300 psi (91 kg/cm²). See Table 1.
- Stem Friction (Hysteresis)
 - 1 1/2 to 3-inch sizes — less than 25 lb
 - 4 and 6-inch sizes — less than 40 lb

Simplified Maintenance with easily replaced cage retained trim, fully gasketed internal surfaces and fewer wearing parts.

Prolonged Packing Life results from the use of an upper stem guide bushing above the packing to prevent stem flexing or lateral movement which would cause packing distortion. Wiper and bushing isolate packing from foreign particles.

STANDARD SPECIFICATIONS

Sizes 1 1/2, 2, 3, 4 and 6 inches

Body Materials Cast steel (ASTM A216 WCB), 316 stainless steel (ASTM A351 Grade CF8M) or cast iron (ASTM A126 Class B)

End Connections

Body Material	Threaded	125 FF, 250 RF	150 RF	300 RF	600 RF
Cast Steel	1 1/2 + 2" (a)	—	All Sizes	All Sizes	All Sizes
316 SS	—	—	All Sizes	All Sizes	All Sizes
Cast Iron	1 1/2 + 2" (b)	All Sizes	—	—	—

(a) 1440 psig (101 kg/cm²) at 100 F (38 C).
 (b) 400 psig (28 kg/cm²) at 100 F (38 C).

Bonnet Bolted type with bolted adjustable packing box. Bonnet material same as body material.

Studs, Nuts and Bolts Studs A193 Grade B7 alloy steel. Nuts A194 Grade 2H steel. Bolts (cast iron valves) A307-65 Grade B steel.

Packing Box Flange carbon steel
Follower 300 Series stainless steel
Studs 300 Series stainless steel
Nuts 400 Series stainless steel
Top Wiper 316 stainless steel with felt ring
Bottom Wiper Reinforced TFE
Top Bushing Reinforced TFE

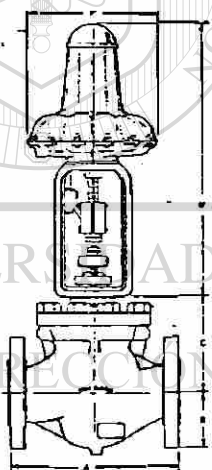
Packing Spring loaded, molded TFE V-ring

TABLE 1

Body Size (Inches)	Trim Size	Cr Value	Supply Pressure (psi)	Actuator and Shutoff Pressure Range				
				P25d	P50d	P50f	P110d	P110f
1/2, 3/4, 1	1/4	1.0	20 35	0- 675 0- 900	0-1350 0-2250	900-2500 1800-2500	0-2500 0-2500	- -
	3/8	2.0	20 35	0- 675 0- 900	0-1350 0-2250	900-2500 1800-2500	0-2500 0-2500	- -
	1/2	5.0	20 35	0- 225 0- 375	0- 475 0- 800	300-1125 500-1950	0-1125 0-1950	650-2500 1000-2500
3/4, 1	3/4	10.0	20 35	0- 120 0- 160	0- 240 0- 400	150- 580 300- 980	0- 580 0- 980	350-1250 600-2500
1	1	17.0	20 35	0- 70 0- 100	0- 150 0- 250	125- 350 250- 650	0- 350 0- 600	200- 760 400-1525

Body Material	End Connections	Pressure (psi) vs Temperature Ratings				
		100 F (38 C)	406 F (208 C)	500 F (260 C)	850 F (454 C)	1125 F (607 C)
Cast Steel	Threaded + Socket Weld	2500	-	2170	1045	-
	150	275	-	150	-	-
	300	720	-	625	300	-
	600 + 600 RTJ	1440	-	1110	600	-
316 SS	Threaded, Socket Weld + 600	2500	-	2170	1475	1045
	150	275	-	150	-	-
	300	720	-	625	425	300
Cast Iron	Threaded	400	250	-	-	-
	125	175	125	-	-	-
	250	400	250	-	-	-

DIMENSIONS
FIGURES EXPRESSED IN INCHES AND MILLIMETERS



Actuator	P25		P50		P110	
	in.	mm	in.	mm	in.	mm
M	16 15/16	430	20 3/4	527	29 7/16	748
P	7 7/8	200	10 1/2	267	15 1/8	384

Actuator	P25		P50		P110	
	lb	kg	lb	kg	lb	kg
Approximate Weight*	17	8	32	15	66	30

*Includes yoke and mounting parts

Valve Size (Inches)	A											
	Threaded		125		150		250		300		600, 600 RTJ	
	in.	mm	in.	mm	in.	mm	in.	mm	in.	mm	in.	mm
1/2	6 7/8	175	-	-	7 1/4	184	-	-	7 1/2	191	8	203
3/4	6 7/8	175	-	-	7 1/4	184	-	-	7 5/8	194	8 1/8	206
1	7 1/4	184	7 1/4	184	7 1/4	184	7 3/4	197	7 3/4	197	8 1/4	210

Valve Size (Inches)	B								C		Approximate Weight			
	Threaded		125		150		250, 300, 600, 600 RTJ		C		Threaded		Flanged	
	in.	mm	in.	mm	in.	mm	in.	mm	in.	mm	lb	kg	lb	kg
1/2	2 1/8	54	-	-	2 5/8	67	2 5/8	67	4 1/4	108	14	6	21	10
3/4	2 1/8	54	-	-	2 5/8	67	2 5/8	67	4 1/4	108	14	6	21	10
1	2 7/16	62	2 3/8	60	2 7/16	62	2 1/2	64	4 5/8	117	19	9	28	13

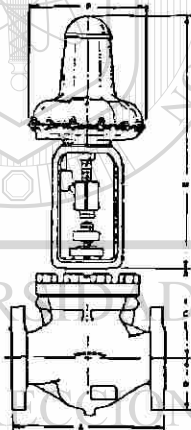
ORDERING INSTRUCTIONS – SPECIFY

1. Foxboro V1 Series Stabilflo Control Valve, Stem Guided Trim
2. Size
3. Body Material and End Connections
4. Inner Valve: Size and Characteristic
5. Required Differential Shutoff Pressure
6. Actuator Size, Supply Pressure and Signal Range
7. Air-to-Open or Air-to-Close Action
8. Operating Conditions
9. Optional Extra Features
10. Tag and Application

Body Material	End Connections	Pressure (psig) vs Temperature Ratings				
		100 F (38 C)	406 F (208 C)	500 F (260 C)	850 F (454 C)	1125 F (607 C)
Cast Steel	Threaded, Socket Weld, 600, 600 RTJ	1440	—	1110	600	—
	150	275	—	150	—	—
	300	720	—	625	300	—
316 SS	Threaded, Socket Weld & 600	1440	—	1110	850	600
	150	275	—	150	—	—
	300	720	—	625	425	300
Cast Iron	Threaded	400	250	—	—	—
	125	175	125	—	—	—
	250	400	250	—	—	—

DIMENSIONS

FIGURES EXPRESSED IN INCHES AND MILLIMETERS



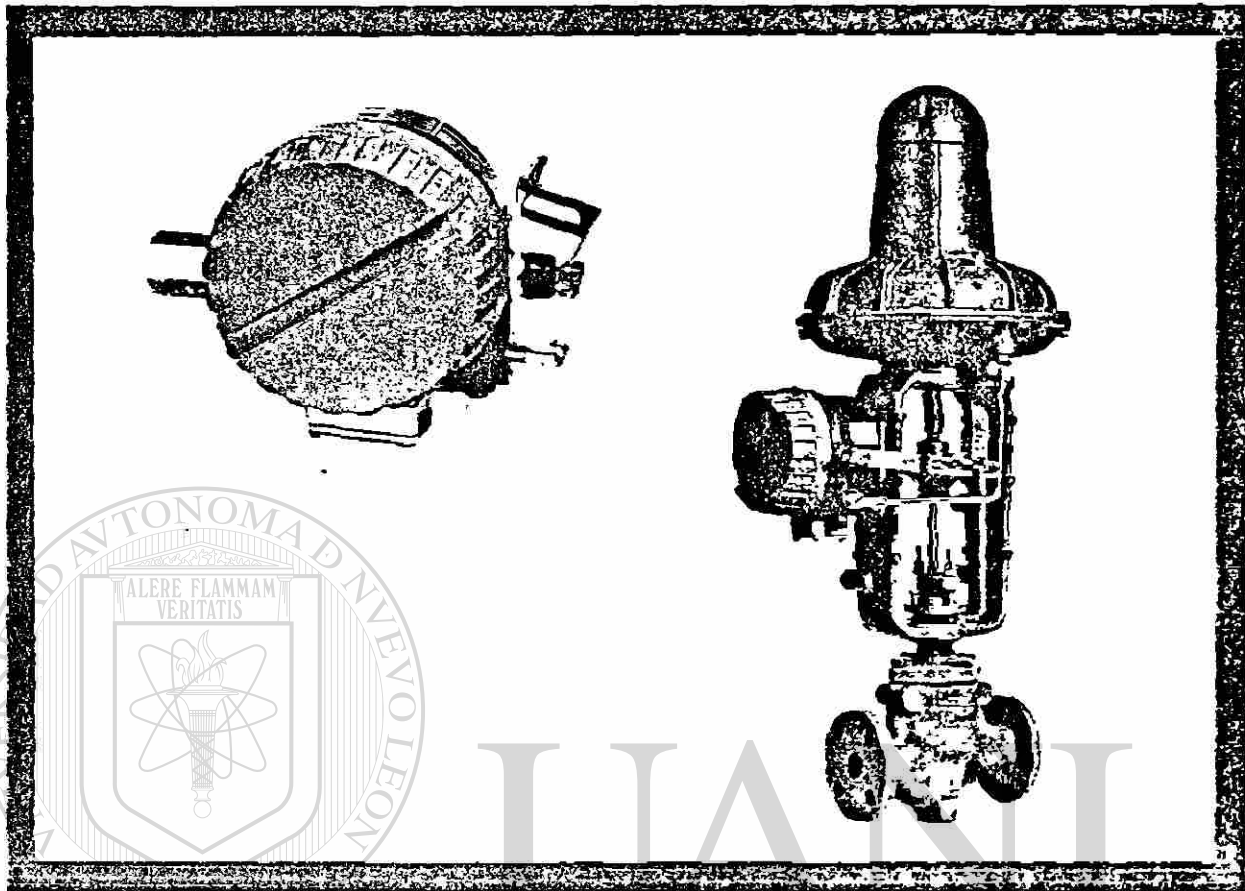
Actuator	P50		P110	
	in.	mm	in.	mm
M	20 3/4	527	29 7/16	748
P	10 1/2	267	15 1/8	384

Actuator	P50		P110	
	lb	kg	lb	kg
Approximate Weight*	32	15	66	30

*Includes yoke and mounting parts.

Valve Size (Inches)	A										Approximate Weight			
	Threaded		125, 150		250, 300		600		600 RTJ		Threaded		Flanged	
	in.	mm	in.	mm	in.	mm	in.	mm	in.	mm	lb	kg	lb	kg
1 1/2	8 3/4	222	8 3/4	222	9 1/4	235	9 7/8	251	9 7/8	251	49	22	62	28
2	11 3/8	289	10	254	10 1/2	267	11 1/4	286	11 3/8	289	68	31	82	37
3	—	—	11 3/4	298	12 1/2	318	13 1/4	337	13 3/8	340	—	—	137	62
4	—	—	13 7/8	352	14 1/2	368	15 1/2	394	15 5/8	397	—	—	216	98
6	—	—	17 3/4	451	18 5/8	473	20	508	20 1/8	511	—	—	392	178

Valve Size (Inches)	B												C	
	Threaded		125		150		250		300		600 600 RTJ			
	in.	mm	in.	mm	in.	mm	in.	mm	in.	mm	in.	mm	in.	mm
1 1/2	3 5/16	84	3 5/16	84	3 5/16	84	3 5/16	84	3 5/16	84	3 5/16	84	6	152
2	3 3/8	86	3 7/8	98	3 3/4	95	3 13/16	97	3 13/16	97	3 13/16	97	6 7/8	175
3	—	—	4 9/16	116	4 1/2	114	4 9/16	116	4 1/2	114	4 1/2	114	7 1/4	184
4	—	—	5 1/4	133	5 3/8	137	5 1/4	133	5 3/8	137	5 7/16	138	8 1/2	216
6	—	—	7	178	6 15/16	176	6 15/16	176	6 15/16	176	7 1/16	179	10 1/4	260



E69P CURRENT-TO-PNEUMATIC VALVE POSITIONER

The E69P Positioner, mounted directly on a pneumatic valve yoke, converts a standard direct current input signal to a proportional valve stem position.

COMPACT, EASILY MOUNTED ON VALVE YOKE

Because of its small size, compact design, and simple connection mechanism, the E69P Positioner can be quickly and conveniently mounted on a wide variety of valve or other types of pneumatic actuators.

VIBRATION AND INCLINATION EFFECTS MINIMIZED

Pipe line vibration normally encountered has minimal effect upon the E69P. Also, the effects of inclination are minimal, allowing the valve to be mounted without regard for the attitude of the positioner. Low mass components, along with a statically balanced and well-supported coil in the galvanometric motor of the E69P, make these important benefits possible.

MULTIPLE APPLICATIONS

With choice of input, choice of direct or reverse action, split input ranges, and availability of standard or explosionproof covers, this positioner can be easily adapted for a wide range of applications.

MINIMAL EFFECTS FROM AMBIENT ATMOSPHERIC CONDITIONS

The design of the unique galvanometric motor in the E69P provides for generous clearances between coil and housing. Normal atmospheric changes, which may cause corrosion and dust particles, do not hinder operation of the mechanism, as sometimes happens with voice coil type instruments.

FOXBORO®

Registered Trademark

PERFORMANCE SPECIFICATIONS
(All values are for normal input ranges)

Linearity $\pm 1\%$ of span
Repeatability 0.1%
Dead Band 0.1% input, relative to output pressure response.
Open Loop Gain Nominally 80

Supply Pressure Effect A change in supply pressure causes a zero shift of less than 0.04% of span per kPa (0.25% per psi) at 50% of span.

Inclination Effect Maximum zero shift is 0.25% of span for a 5 degree angular change in inclination from the vertical. This error can be eliminated by calibrating instrument at its intended mounting position.

FUNCTIONAL SPECIFICATIONS

Model Code

E69P = Current-to-Pneumatic Valve Positioner

Enclosure

- B = Bolted cover (For use in all non-explosionproof applications)
- T = Threaded cover (Must be used in all explosionproof applications)(a)

Input Signal Range(b)

- I = 4 to 20, 4 to 12, or 12 to 20 mA dc, direct or reverse action
- H = 10 to 50, 10 to 30 or 30 to 50 mA dc, direct or reverse action

Output Signal(c)

- 1 = 140 or 240 kPa; 20 or 35 psi; 1.4 or 2.4 bar or kg/cm²
- 9 = 415 kPa; 60 psi 4.1 bar or kg/cm²

Lever Assembly Mounting Parts

S to N = Refer to table below

Code	For Use with Valves and Actuators Listed Below	
	Foxboro Valve Series	Actuator Series
S	V1	P25, P50
T	V1	P110
U	V9000, V9300	P50, P110
Q	Other than V1, V9000	P25, P50
R	Other than V1, V9000, V9300	P110
V	Non-Foxboro Valves	P25, P50, P110, and other diaphragm actuators
N	Lever parts and brackets for NAMUR approved actuators	

Optional Selections (Also refer to "Optional Features" section)

- J = Integral explosionproof junction box
- M = Miniature junction box with hole tapped for 1/2 inch conduit connection; front entry
- P = Miniature junction box with hole tapped for 1/2 inch conduit connection; rear entry
- R = Adjustable filter regulator without gauge
- S = Supply/output gauges (select per output range requirements)

Example: E69P-B1S-R (4 to 20 mA dc input, direct action, 35 psi output)

(a)Refer to "Product Safety Specifications" table.

(b)Specify input signal range, and whether direct or reverse action; also specify output signal.

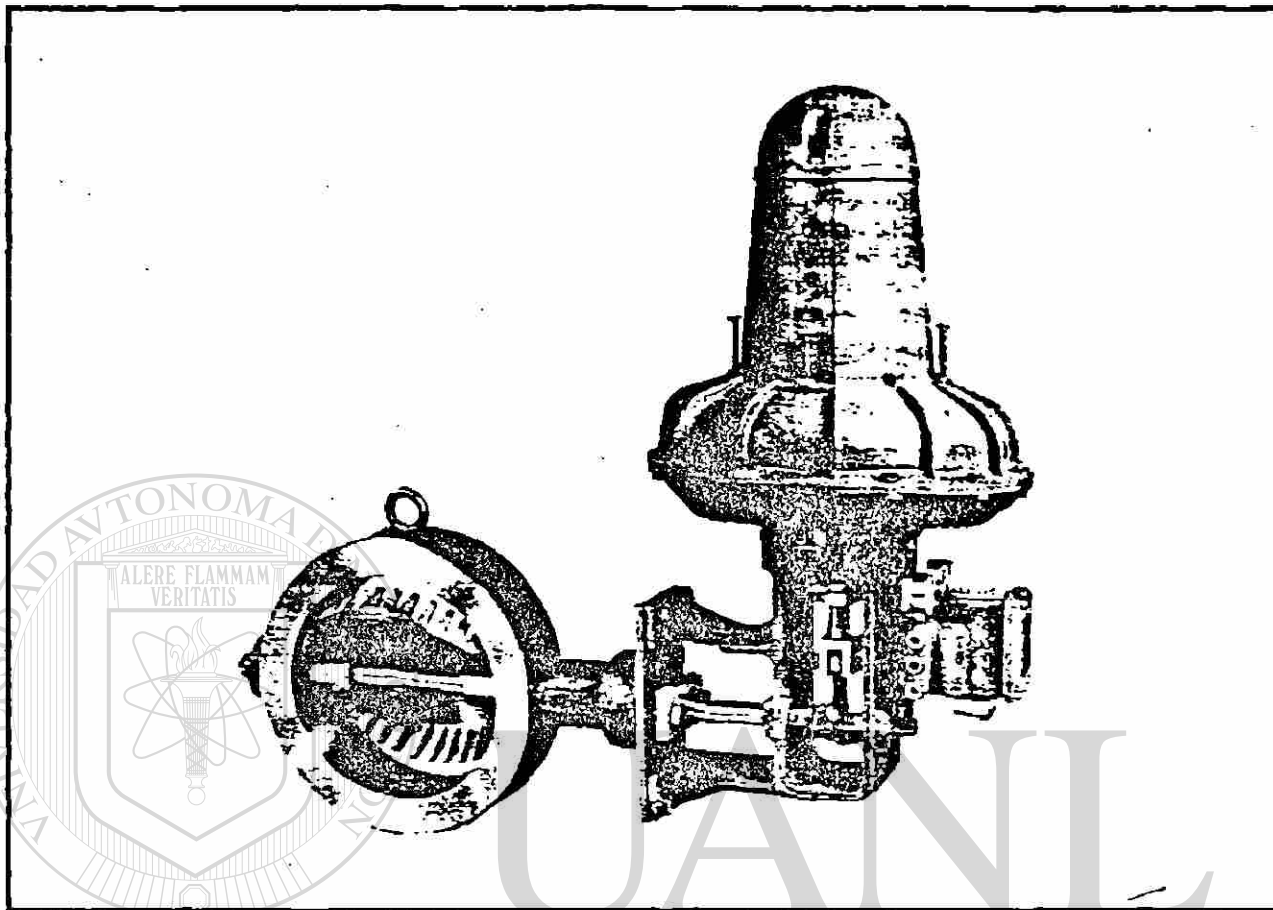
Input Signal Ranges

Normal Range (mA)	Split Ranges	Input Resistance (Ω)
4 to 20	4 to 12 or 12 to 20 mA	170
10 to 50	10 to 30 or 30 to 50 mA	27

Nominal Output Signal* Valve stem positioning achieved within following outputs for an angular feedback lever excursion of 5° minimum and 30° maximum:

kPa	psi	bar or kg/cm ²
140 or 240	20 or 35	1.4 or 2.4
415	60	4.1

* Supply pressure must be at least 20 kPa, 3 psi, or 0.2 bar greater than output signal.



V3000 SERIES BUTTERFLY CONTROL VALVES

INTRODUCTION

The V3000 Series Butterfly Control Valves provide precise control of most common liquids, gases, and steam. Several unique features make this valve a significant departure from the automated butterfly valves commonly used today. This advanced design provides features and benefits as listed in the table below.

This TI provides a brief description of these unique butterfly valves. Also included, is a discussion and numerical data relating to valve capacity, dynamic torque, leakage rate, rated and installed flow characteristics, cavitation resistance, and audible noise level. Refer to PSS 4-6A2 B for the V3000 Series valve specifications.

Features	Benefits of the V3000 Series Control Valves
Angle Seating	Exceptionally low leakage in a throttling butterfly control valve.
High Rangeability	Suitable for a wide range of applications.
High Quality Design	Provides durable and dependable long-lasting service.
Heavy Duty Valve	Suitable for higher pressure drops than conventional butterfly valves.
Unique Vane Design	Cast-in teeth provide lower torque, resulting in stable operation with smaller actuators. The vane design also provides lower noise and better cavitation resistance.
Ease of Installation	Compact, lightweight design fits between a wide variety of ANSI and DIN flanges; provides for installation savings.

GENERAL DESCRIPTION

These valves have a water-body design and are manufactured from either carbon steel or stainless steel. This design provides for easy mounting between ANSI or DIN raised face flanges. The valve is available in nominal 2, 3, 4, 6, 8, 10, 12, and 16 inch sizes. The 2, 3, 4, 6, and 8 inch valves can be installed between ANSI Class 150 or 300, or DIN PN 10, 16 or 25 flanges. The 10, 12, and 16 inch valves are used with ANSI Class 150 or DIN PN 10 or 16 flanges. A Foxboro Model P50 Actuator is used with the 2 to 8 inch valves. A Model P110 Actuator is required for the 10, 12, and 16 inch valves. The actuator is assembled to the valve by means of a rotary drive mechanism. This rotary drive and the actuators are common to many Foxboro valve assemblies.

The valve can operate at temperatures up to 325°F with a stainless steel body. A carbon steel valve can operate at temperatures up to 400°F. Special packings and hardened bearings are optionally provided for temperatures to 750°F for the 316 ss body, and to 650°F for the carbon steel body.

VALVE CAPACITY— C_v

One accepted method of valve sizing is the C_v approach. C_v is a capacity rating coefficient. It is defined as the number of U.S. gpm of 60°F water which will flow through a valve at a specified opening with a pressure drop of 1 psi across the valve.

Economics and control are the two principal reasons for sizing control valves.

Economics If a valve is too small, it will not pass the required flow and will have to be discarded and replaced by a larger, properly sized valve. Similarly, if the valve is too large, it will obviously pass the required flow, but it will be more expensive than a properly sized smaller valve.

Control An undersized valve will never deliver the full flow rate, thus it will sharply narrow the controllable flow range. An oversized valve will be throttling near the closed position, and the full control range of the valve will not be utilized. When the vane throttles very close to the seat, high fluid velocities occur, which can cause erosive damage.

A V3000 Series Valve should normally be selected so that it will operate in the range of 30 to 60 degrees vane opening.

Table 1 lists the C_v values at various valve openings. The valve opening is in terms of vane rotation up to a maximum angle of 70 degrees. Table 1 also lists C_v values when the pipe size is approximately 1.5 times the valve size. These particular C_v values are identified as $C_v F_p$.

DYNAMIC TORQUE

The V3000 Series Valve vane design effectively reduces dynamic torque to a fraction of that of other valves, providing stability and fast speed of response with smaller, less

expensive actuators. Figure 1 plots valve vane position versus torque. The curves compare a V3000 Series 4 inch valve with both a competitive low torque vane valve and a conventional butterfly valve. The curves show that the V3000 Series Valves exhibit lower torque values at all vane positions.

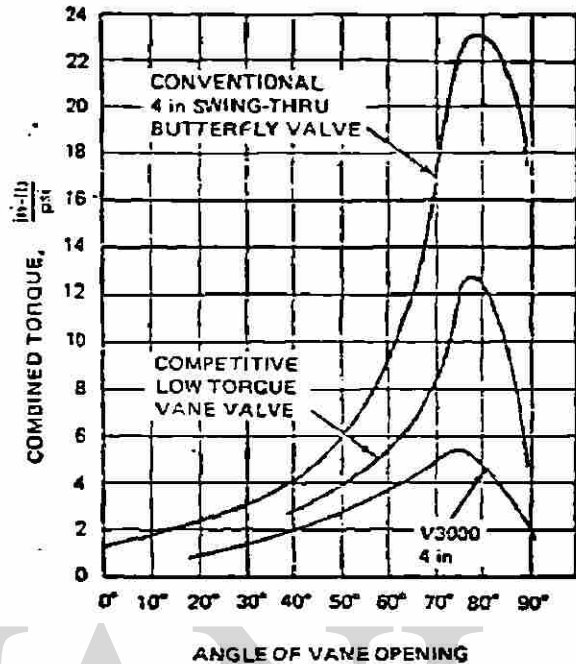
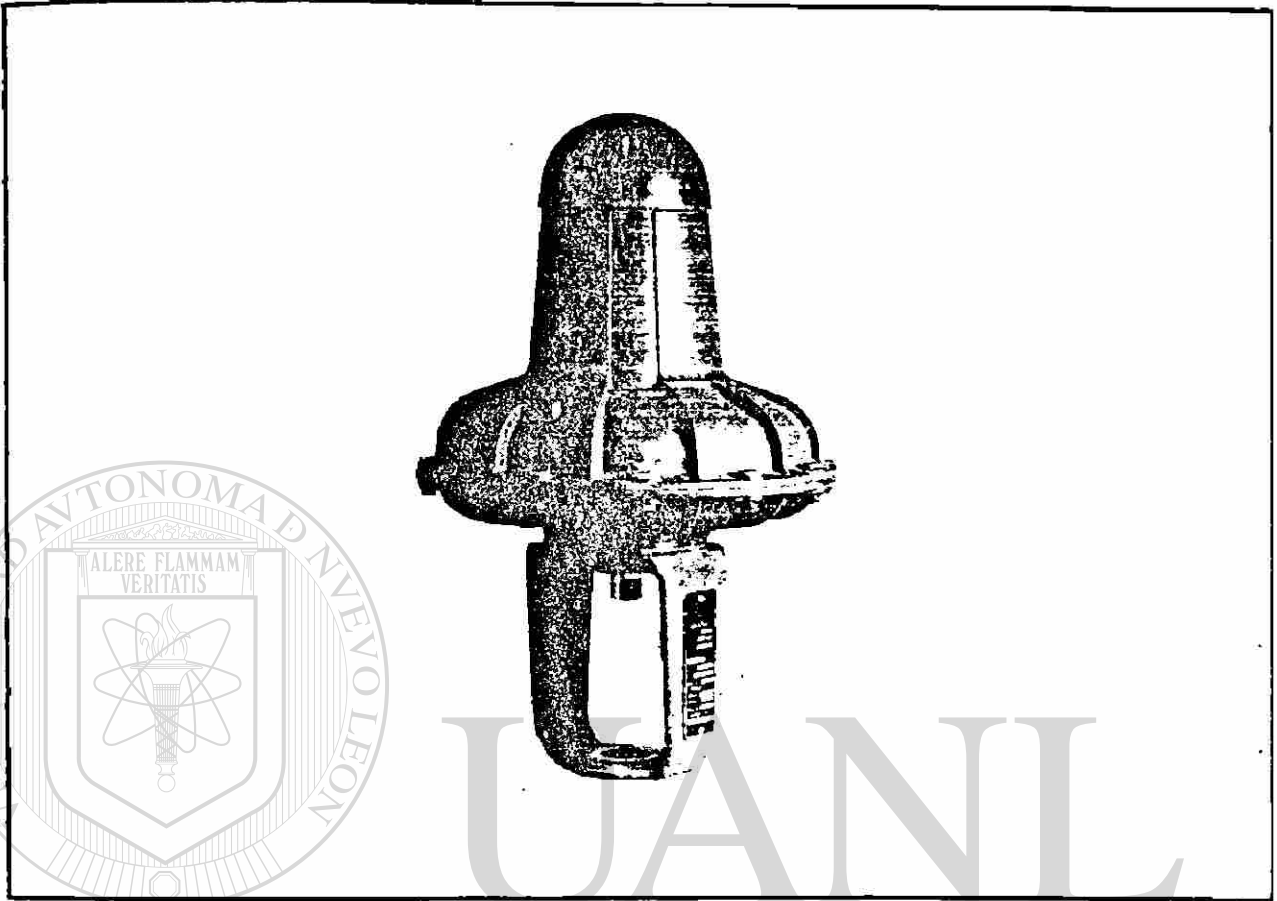


Figure 1. Dynamic Torque

Table 1. C_v and $C_v F_p$ Values—V3000 Series Valves

Valve Size	C_v and $C_v F_p$	Vane Angle in Degrees						
		10°	20°	30°	40°	50°	60°	70° (max)
2 in	C_v	3	11	22	35	55	59	85
	$C_v F_p$	3	11	22	37	50	63	74
3 in	C_v	14	33	58	88	120	140	176
	$C_v F_p$	14	33	58	86	115	133	158
4 in	C_v	17	43	80	127	179	250	363
	$C_v F_p$	17	43	80	126	175	238	323
6 in	C_v	55	120	210	320	450	590	825
	$C_v F_p$	55	120	208	315	441	560	730
8 in	C_v	70	175	350	620	1025	1265	1595
	$C_v F_p$	70	174	345	608	975	1151	1388
10 in	C_v	95	245	455	718	1135	1470	2515
	$C_v F_p$	95	244	450	710	1075	1396	2188
12 in	C_v	160	410	760	1200	1730	2450	3610
	$C_v F_p$	160	405	750	1175	1644	2238	3130
16 in	C_v	210	550	1020	1614	2327	3310	5550
	$C_v F_p$	210	546	1015	1595	2260	3145	5090

(*) Maximum vane angle corresponds to 100% valve opening, with corresponding rated C_v values.



P25, 30, 50, 60, and 110 DIAPHRAGM VALVE ACTUATORS

(With Spring Selection)

INTRODUCTION

The primary function of the P Series Valve Actuators is to position the valve plug in response to the controller output signal. Positioning of the plug is linear because the effective area of the diaphragms and the spring rates of the springs are constant. In addition, the actuator must be capable of closing the valve against line pressure. An air-to-open actuator accomplishes this by initial compressive force on the spring. Air-to-close actuators use controller output signal to shut the valve off against line pressure.

The actuator sizing and spring selection is dependent upon a number of factors:

- Shutoff Pressure
- Valve Unbalanced Area
- Valve Stroke
- Diaphragm Effective Area
- Controller Supply Pressure
- Valve Action

See glossary for definition of these terms.

CONSTRUCTION

P25, P50, P110 — Single-spring diaphragm, die-cast aluminum

P30, P60 — Multi-spring design, steel housing for use in areas where aluminum is not suitable. Low-profile design for installation where space is limited.

ACTUATOR SELECTION

The actuator must have a large enough diaphragm effective area to permit shutoff against line pressure and a spring which is stiff enough (has high enough gradient) to precisely position the valve plug in response to incremental changes in controller output. The table below lists the effective area and stroke for each actuator type.

Actuator Type	Diaphragm Effective Area		Stroke	
	m ²	in ²	mm	in
P25	0.016	25	19	0.75
P30	0.019	30	19	0.75
P50	0.032	50	38	1.50
P60	0.035	54	19	0.75
P110	0.071	110	57	2.25

It is important to realize that although the linear output of a controller is nominally 3 to 15 psi or 6 to 30 psi, the actual available output span is much wider. The minimum output is 0.5 psi due to some leakage through the relay. Maximum output of 18 or 32 psi is chosen to reflect line losses from the controller to the valve. Thus with a 20 psi air supply the actual output range is 0.5 to 18 psi. An air supply of 35 psi has an actual output range of 0.5 to 32 psi.

Actuator selection is based on these wider, more realistic output ranges, affording a more precise selection of actuator and spring for each application.

There are two "rules of thumb" used in actuator selection.

1. If air-to-open action is desired, the amount of initial compressive force of the spring (spring initial) must be enough to overcome the effect of line pressure plus either 2 psi or 25% of the theoretical spring initial, whichever is larger, to ensure tight shutoff.
2. If air-to-close action is desired, spring initial tends to keep the plug off the seat. For this reason, a minimum spring initial of 1 psi on the diaphragm is applied. After the valve is fully stroked, the remainder of the controller output signal is used for seating force.

FORCES

The following vector diagrams (Figures 1 and 2) give schematic representation of forces, when the valve is

shut off, for each of the two valve actions for valves in which the flow enters under the seat.

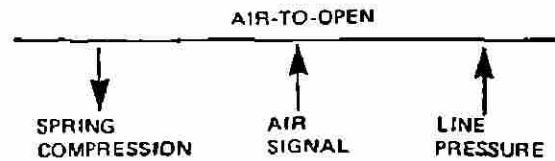


Figure 1

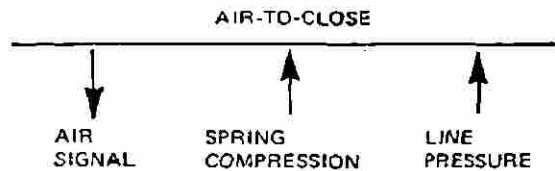


Figure 2

Using these diagrams as a guide, actuator selection and calibration is simplified.

It is important to note that as the valve opens, the force due to line pressure is decreased. When the valve is shut off, Figure 3, this force is maximum. At full open, Figure 4, the force due to the line pressure is largely dissipated and the force against the plug is negligible. Figure 5 shows this graphically.

The following examples outline the steps and considerations which are taken in the selection of actuators and spring assemblies.

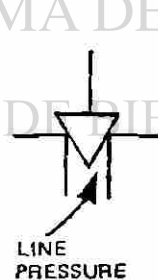


Figure 3

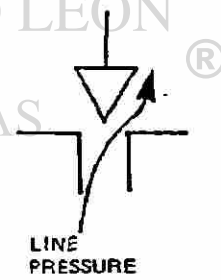


Figure 4

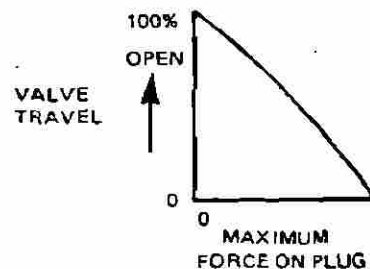


Figure 5

Example 1: (See Figure 6)

A valve with a 1 in² unbalanced area has been selected to shut off against 100 psi. Valve stroke length is 0.625 in. Controller air supply is 20 psi and air-to-open action is desired. What actuator and spring assembly should be used and what is the bench calibration span?

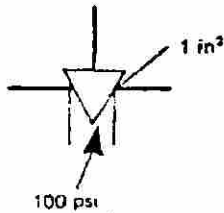


Figure 6

When the valve is shut off, the upward force due to line pressure = (100 psi) (1 in²) = 100 lb.

The stroke length is only 0.625 in. Therefore, the P25, P30, P50, P60, or P110 Actuator can supply the required travel (see table on Page 2). By dividing the effective area of the diaphragm into the upward force, we get the amount of spring initial required to just balance the upward force of line pressure. For each actuator, the spring initial pressure is:

P25, $\frac{100 \text{ lb}}{25 \text{ in}^2} = 4 \text{ psi}$; P30, $\frac{100 \text{ lb}}{30 \text{ in}^2} = 3.3 \text{ psi}$

P50, $\frac{100 \text{ lb}}{50 \text{ in}^2} = 2 \text{ psi}$; P60, $\frac{100 \text{ lb}}{54 \text{ in}^2} = 1.8 \text{ psi}$

P110, $\frac{100 \text{ lb}}{110 \text{ in}^2} = 0.91 \text{ psi}$

Each actuator is capable of shutting off the valve against 100 lbs of force. From an economic standpoint, the P25 Actuator is the best choice.

A 4 psi spring initial (P25) will just balance the force from line pressure. An additional 2 psi is applied to ensure tight shutoff. A signal pressure of 6 psi, therefore, is applied to the actuator on the bench and the spring adjusting nut is tightened until the actuator just seats. See Figure 7.

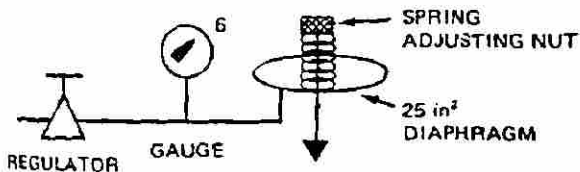


Figure 7

We must now choose a spring that has a spring rate which will stroke 0.625 inch as the signal pressure goes from 6 psi to the 18 psi maximum, a 12 psi span. Gradient is defined as force change per inch of travel, $G = \Delta F/\text{in}$. To determine gradient, we use the formula:

$$G = \frac{(A)(P)}{S}$$

A = Actuator Area (in²)

P = Bench Span (Δ psi or $\Delta F/\text{in}^2$)

S = Valve Stroke (in)

$$G = \frac{(\text{in}^2)(\Delta F/\text{in}^2)}{\text{in}} = \Delta F/\text{in} \text{ which is the definition of gradient.}$$

For our example we need a spring with a gradient equal to:

$$G = \frac{(\text{in}^2)(\Delta \text{ psi})}{\text{in}} \text{ or}$$

$$G = \frac{(25 \text{ in}^2)(12 \text{ psi})}{0.625 \text{ in}} = 480 \text{ lb/in}$$

A spring with this gradient will stroke our valve 0.625 in with a 6 to 18 psi bench span. When it is in the line, operating air signal will be from 2 to 18 psi.

Refer to Foxboro for the part number of the spring with the correct spring rate.

Example 2:

Because the P Series Actuators are reversible, consider the same conditions as in Example 1, except air-to-close action is desired. From Example 1 we know that the P25 spring and actuator assembly will stroke 0.625 in with a 12 psi bench span. Air-to-close actuators have a minimum of 1 psi bench spring initial. This actuator will be calibrated 1 to 13 psi on the bench. When the actuator is in the line and fully stroked, that is, just closed, there will be a force due to spring compression equal to (480 lb/in) (0.625 in) = 300 lb plus the one psi spring initial force which adds another 25 lb of force tending to open the valve. Air pressure on the actuator must overcome this 325 lb plus the 100 lb force due to line pressure, or a total force of 425 lb. An air signal of

$$\frac{425 \text{ lb}}{25 \text{ in}^2} = 17 \text{ psi}$$

must be applied to shut off this valve against 100 psi line pressure. Controller output signal above 17 psi will give additional seating force.

These examples outline the general methods used in selecting spring-diaphragm actuators for globe-type valves, such as the Foxboro V1 and V1400U. Actuator selection for other valve types; Ball, Butterfly, and Saunders is much more complex. Refer to Foxboro for the methods used to select actuators for these valve types.

