

300618

11
24



UNIVERSIDAD LA SALLE

ESCUELA DE QUIMICA
INCORPORADA A LA U.N.A.M.

CONSIDERACIONES PARA LA ADECUADA IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA DE CONTROL A UN REACTOR DE TANQUE AGITADO DE OPERACION POR LOTES

TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO QUIMICO

P R E S E N T A

ARTURO MIGUEL LOPEZ BELTRAN

DIRECTOR DE TESIS: ING. JORGE E. GARCIA ACEVEDO



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

INDICE

INTRODUCCION	1
CAPITULO I: CARACTERIZTICAS GENERALES DE LOS PROCESOS POR LOTES	2
1.1 SITUACION ACTUAL DE LA PRODUCCION INDUSTRIAL LOTES	3
1.2 ESTRUCTURA DE LOS PROCESOS POR LOTES	5
1.2.1 DIFERENTES UNIDADES DE PROCESO	7
1.2.2 DIFERENTES ARREGLOS EN UN PROCESO DISCONTINUO	9
1.2.2.1 TREN DE REACTORES	9
1.2.2.2 UNIDADES EN PARALELO	10
1.2.2.3 UNIDADES COMBINADAS	11
1.3 CARACTERISTICAS DE LOS PROCESOS POR LOTES	13
1.3.1 PROCESAMIENTO DE MULTIPRODUCTOS	13
1.3.2 UNIDADES Y DISPOSITIVOS COMPARTIDOS	13
1.3.3 INTERFASE DE OPRACION ESPECIALIZADA	13
1.4 REQUERIMIENTOS DE CONTROL	14
1.4.1 CONTROL LOGICO Y SECUENCIAL	14
1.4.2 CONTROL REGULATORIO	14
1.4.3 CONTROL DE CONTINGENCIAS	14
1.5 RESUMEN	15
CAPITULO II: CONCEPTOS BASICOS DE CONTROL DE PROCESOS	16
2.1 CONTROL DE LAZO ABIERTO	16
2.2 CONTROL DE LAZO CERRADO	17
2.2.1 CONTROL DE LAZO CERRADO: ANTICIPADO	17
2.2.2 CONTROL DE LAZO CERRADO: RETROALIMENTADO	18
2.3 EL CONTROLADOR RETROALIMENTADO	19
2.4 CARACTERISTICAS DE LOS PROCESOS	21
2.4.1 TIEMPO MUERTO	24
2.4.2 CAPACIDAD Y SUS EFECTOS	26
2.4.3 GANANCIA Y FASE	31
2.5 CONTROLABILIDAD Y ACCION DEL CONTROLADOR	34
2.5.1 ACCION DE DOS POSICIONES	36
2.5.2 ACCION PROPORCIONAL	38
2.5.3 ACCION INTEGRAL	41
2.5.4 ACCION DERIVATIVA	43
2.5.5 RESPUESTA P + I + D	45
2.6 RESUMEN	46

CAPITULO III: CONTROL DE PROCESOS DISCONTINUOS	47
3.1 GENERALIDADES	47
3.2 CONTROL DE REACTORES DE TANQUE AGITADO POR LOTES	51
3.3 CONCEPTOS DE CONTROL DE LOTES	53
3.3.1 CONTROL DISCRETO	54
3.3.2 SECUENCIAS	57
3.3.3 OPERACIONES	57
3.3.4 CONTROL DE CICLOS	59
3.4 CONTROL REGULATORIO	59
3.4.1 SATURACION DEL REAJUSTE AUTOMATICO	63
3.4.1.1 INTERRUPTOR ANTI-SATURACION	66
3.4.1.2 PRECARGA	67
3.4.2 SISTEMA DE CONTROL EN CASCADA	69
3.4.2.1 SATURACION EN EL LAZO CASCADA	72
3.4.3 CONTROL DE TERMINACION	73
3.5 RESUMEN	75

CAPITULO IV: DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL AUTOMATICO DE TEMPERATURA, PARA UN REACTOR DE TANQUE AGITADO DE OPERACION POR LOTES	77
--	----

4.1 DEFINICION DEL ALCANCE	77
4.2 DESCRIPCION DEL PROCESO	77
4.2.1 ETAPAS DEL PROCESO	78
4.2.2 SISTEMA DE ACEITE TERMICO	78
4.3 INSTRUMENTACION	80
4.3.1 SENSORES	80
4.3.2 TRANSMISORES	82
4.3.3 ESTACIONES DE CONTROL	83
4.3.4 ELEMENTOS FINALES DE CONTROL	84
4.4 ESTRATEGIA DE CONTROL	86
4.4.1 LAZO DE TEMPERATURA	86
4.4.1.1. CONTROLADOR PRIMARIO	86
4.4.1.2. CONTROLADOR SECUNDARIO	86
4.4.2 LAZO DE DIFERENCIA DE TEMPERATURA	87
4.4.2.1 CONTROLADOR DE T	87
4.5 RESULTADOS Y CONCLUSIONES	89

BIBLIOGRAFIA:	92
---------------	----

APENDICE I

APENDICE II

APENDICE III

APENDICE IV

INTRODUCCION

El corazón de un proceso químico es una reacción, en donde se forman uno o más productos de mayor valor que las materias primas utilizadas. Durante el diseño de un reactor el ingeniero de proceso debe determinar las condiciones necesarias para que la reacción proceda a una velocidad favorable, logrando la conversión óptima hacia el producto de interés, todo esto empleando la menor cantidad posible de material y energía, de manera que la operación sea rentable.

Una vez establecidas las condiciones óptimas de reacción, el sistema de control del reactor debe ser diseñado para mantenerlas durante la operación del mismo. Gran parte del éxito de cualquier sistema de control para reactores depende de que tan bien diseñado esté el reactor. Lo anterior significa que un reactor deficientemente diseñado opera de manera inestable, a pesar de que se le implemente el sistema de control más avanzado. Consecuentemente, mientras mejor diseñado esté un reactor, resulta más fácil su control.

A pesar de que el progreso en la industria de proceso de las últimas décadas se ha inclinado fuertemente hacia los procesos continuos, en la década de los 80's, se observó un gran desarrollo de los procesos por lotes, debido a que la implementación de las tecnologías de control más avanzadas, como lo son los sistemas de control distribuido y los controladores lógicos programables, han permitido superar las principales desventajas que se presentan en los procesos discontinuos.

Por esta razón, resulta de gran importancia, y es el objetivo principal de esta tesis, el conocimiento de los factores que determinan la adecuada implementación de los sistemas de control para reactores intermitentes. El caso práctico que se tratará en este trabajo de tesis, es la implementación de un sistema de control de temperatura, a un reactor de tanque agitado de operación por lotes.

CAPITULO I

CARACTERISTICAS GENERALES DE LOS PROCESOS POR LOTES

1.1 SITUACION ACTUAL DE LA PRODUCCION INDUSTRIAL POR LOTES.

La producción por lotes no ha pasado de moda en la industria de proceso. Los ingenieros de proceso tradicionalmente han favorecido modelos intermitentes o por lotes cuando se presentan las siguientes características:

- * Cantidades pequeñas de producción con tiempos de reacción prolongados.
- * Incertidumbre en el suministro de materias primas y de la demanda del producto en el mercado.
- * Cambios constantes en los procedimientos de manufactura.

Los problemas principales que se presentan en un proceso por lotes son:

- * La operación discontinua impone cargas variables en el consumo de energía y otros servicios, reduciendo la eficiencia.
- * El procesamiento asincrónico en plantas con líneas de producción en paralelo, a menudo ocasiona contensiones, para poder compartir recursos de procesamiento, lo que causa retrasos en la producción ó desperdicio de producto.
- * Las variaciones en las condiciones de operación durante, y/o entre ciclos de producción, o entre líneas paralelas de producción, ocasionan variaciones en la dinámica del proceso, lo que resulta en características no uniformes en los productos de un lote a otro.

Mientras que en los procesos continuos la aparición de la instrumentación electrónica analógica ayudó significativamente a incrementar la eficiencia, y cantidades de material procesado en unidad de tiempo, en los procesos por lotes no marcó una diferencia considerable. Posteriormente, sobrevino la implementación de computadoras digitales para reemplazar grandes cantidades de instrumentos individuales, sin embargo, resultó una solución muy costosa para la pequeña cantidad de lazos de control típicos en las aplicaciones de procesos discontinuos.

De manera que la industria que utiliza procesos por lotes, continua utilizando instrumentación relativamente primitiva, que les permite realizar tareas tales como; secuencias, rampas y sincronización de eventos, pero no mucho más. El resultado fue la imposibilidad de explotar la flexibilidad, supuestamente inherente a las plantas productivas, el uso ineficiente de su equipo y personal, y un control de calidad inadecuado.

Afortunadamente, el final de la revolución tecnológica no se avisa aún, y grandes progresos se han logrado en la ejecución de los procesos por lotes, gracias a la habilidad que les confieren equipos como las computadoras de proceso, los controladores lógicos programables (PLC) y los analizadores en línea (conectados a la línea de proceso). La instrumentación tecnológicamente avanzada, no sólo es más funcional que la generación anterior, sino que es más barata, lo que resulta de vital importancia en un proceso por lotes.

Con la funcionalidad de la instrumentación de la que ahora se dispone, los principales cuellos de botella para su implementación a los procesos discontinuos, radican principalmente en las estrategias de control a seguir, más que en el equipo en sí, o en el lenguaje de programación utilizado en determinado sistema.

El control de los procesos por lotes es aparentemente sencillo, sin embargo, a menudo resulta una pesadilla de programación. Esta es compleja, aún para aplicaciones sencillas de un sólo producto, ya que la mayoría de los procesos involucran varias etapas, múltiples unidades intermedias de almacenamiento, n secuencias de eventos, etc

Algunas estrategias de control avanzado, como el control adaptivo, pueden ser implementadas a este tipo de procesos, vía programación en las computadoras de proceso, o vía configuración en los sistemas de control distribuido.

El papel que juega el operador de un proceso por lotes, no parece ser de gran relevancia en la mayoría de los casos. Sin embargo, en ciertos procesos complejos se ha encontrado que son necesarios operadores muy hábiles para mantener la producción dentro de especificaciones, aún a pesar de niveles de alta automatización. De gran ayuda resulta retroalimentar la información recopilada durante lotes anteriores, por el operador de turno, adaptando los algoritmos de control a las diferentes condiciones de operación, lo que puede significar un incremento en la producción del siguiente lote.

La simulación de procesos está siendo empleada ampliamente en el desarrollo de estrategias de control, para optimizar el desempeño del proceso en aplicaciones complejas. Esto permite descubrir los cuellos de botella y anticiparse a los efectos que estos tienen sobre las diferentes etapas de producción.

La simulación de un proceso requiere de habilidades especializadas, tales como:

- * Desarrollar una adecuada representación matemática del proceso.
- * Recopilar información estadística de la producción.
- * Estimar la duración de cada etapa.
- * Elaborar diagramas de flujo.

Algunos procedimientos manuales, tales como, adicionar ingredientes mediante el uso de pala y cubeta, mezclarlos posteriormente en un reactor calentado, hasta que el contenido adquiera el olor característico del producto final, deben eliminarse, y dar paso a técnicas de medición utilizando sensores y sistemas de control orientados hacia una mayor productividad. Aún en aquellos casos en donde la supervisión manual es considerada como crítica, los sistemas de control avanzado juegan un papel determinante. Facilitan la tarea del operador al recopilar la información de proceso, y realizan la tarea de supervisión. Además, le permiten al ingeniero de proceso, modificar fácilmente las recetas de ingredientes, cambiar los parámetros de producción, así como, obtener reportes muy precisos del comportamiento del proceso.

La instrumentación avanzada, ofrece una ruta directa hacia una operación mas redituable. Por ejemplo: los sistemas de control distribuido, han permitido a muchas plantas, obtener una mayor consistencia en la calidad de su producto, reduciendo mermas, y minimizando la necesidad de reprocesar el producto, o mezclarlo, para alcanzar la especificación. Los sistemas digitales, ayudan a minimizar el tiempo de producción, maximizando la utilización de los equipos de proceso, a través de una reducción en el tiempo que se pierde, entre las diferentes etapas del ciclo de producción.

Adicionalmente, gracias al control más estrecho de las variables del proceso, que se logra con el uso de sistemas de control distribuido, es posible reducir el consumo de energía y de materias primas, a la vez que permite gran flexibilidad en el manejo de estas últimas.

1.2 ESTRUCTURA DE LOS PROCESOS POR LOTES.

Un proceso discontinuo, es aquel en donde la condición de operación es función, ya sea del tiempo, o resultado de una secuencia lógica de eventos. Por ejemplo, cargar un reactor en un momento determinado y a una velocidad de alimentación determinada, es una función del tiempo. Por otro lado, la necesidad de realizar rutinas de producción alternadas, utilizando diferentes recetas y diferentes condiciones de operación, requieren de la aplicación de una secuencia lógica de eventos, que manipule los dispositivos de control.

En la industria química, la elaboración de un producto mediante un proceso discontinuo, implica la adición de los materiales, en las cantidades adecuadas, a la velocidad requerida, en el momento deseado, durante la secuencia del proceso. Mientras que las variables de proceso, tales como, temperatura, presión, nivel, etc., deben ser controladas con exactitud.

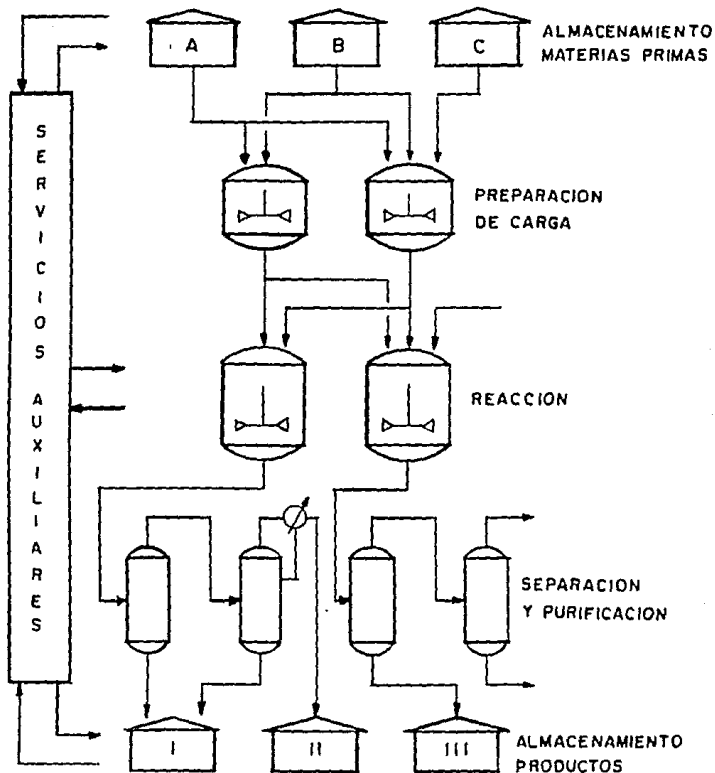


FIG.1.1 ESTRUCTURA DE UN PROCESO POR LOTES.

1.2.1 DIFERENTES UNIDADES DE PROCESO.

Un proceso discontinuo esta formado por diferentes categorias de unidades de proceso (equipos de proceso), como tanques, recipientes, reactores, etc. Como una primera categoria, podemos considerar a los los tanques de almacenamiento, tanto de materia prima, como de producto terminado. Típicamente, encontramos una gran cantidad de estas unidades, al principio y al final de los procesos. (ver fig. No.1.2).

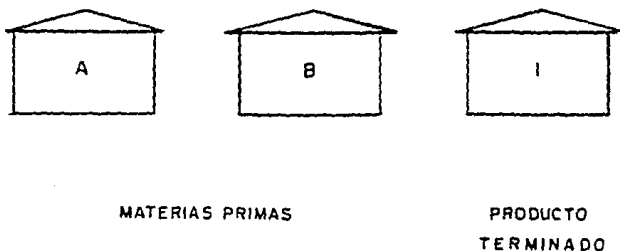


FIG. 1.2 PRIMERA CATEGORIA. TANQUES DE ALMACENAMIENTO.

Cada unidad, tiene muy pocos dispositivos asociados (válvulas, bombas, etc.), y por lo tanto, tiene pocas mediciones asociadas (nivel y temperatura). Los lazos de control más comunes que encontramos en este tipo de unidades, pueden ser de flujo y/o temperatura.

Como una segunda categoría de unidades de proceso, encontramos a los tanques de pesado, los recipientes de preparación de reactivos, o de adelgazamiento de producto, etc.

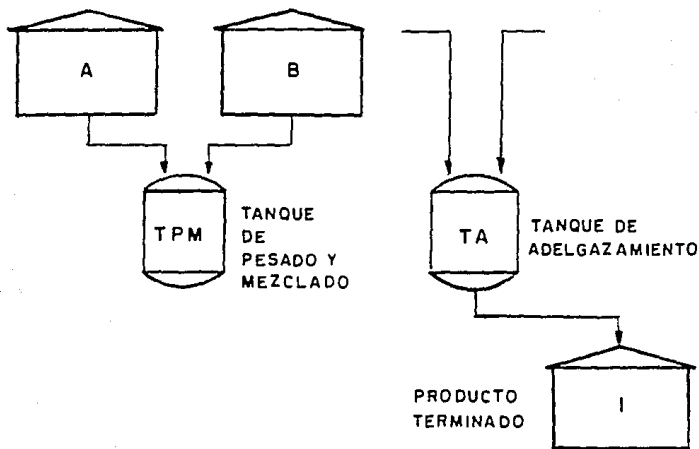


FIG.1.3 SEGUNDA CATEGORIA. TANQUES DE PREPARACION, PESADO Y ADELGAZAMIENTO.

Este tipo de unidades, pueden tener de 15 a 20 dispositivos y mediciones asociados a ellos. Generalmente tienen periodos de operación discontinua, relativamente cortos, por lo que pueden ser compartidos por otras unidades del proceso.

La siguiente categoría, son las llamadas unidades principales de proceso, tales como, los reactores, las autoclaves, los fermentadores, los digestores, etc.,(ver Fig1.4).

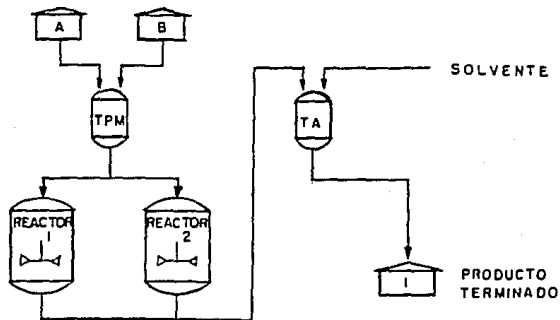


FIG.1.4 TERCERA CATEGORIA.
UNIDADES PRINCIPALES DE PROCESO.

Son el corazón del proceso. La mayoría de las cualidades del producto se adquieren en este recipiente. Normalmente, son las unidades de mayor tamaño, y requieren de un número más elevado de dispositivos, mediciones y lazos de control. El tiempo de residencia del producto en estas unidades, varía, desde minutos, hasta días, como en el caso de los fermentadores.

1.2.2 DIFERENTES ARREGLOS EN UN PROCESO DISCONTINUO

1.2.2.1 TREN DE REACTORES

A la conexión en serie de dos o más reactores, se les conoce como tren de reactores, y se utiliza cuando el producto, no puede ser obtenido en una sola unidad principal de proceso.

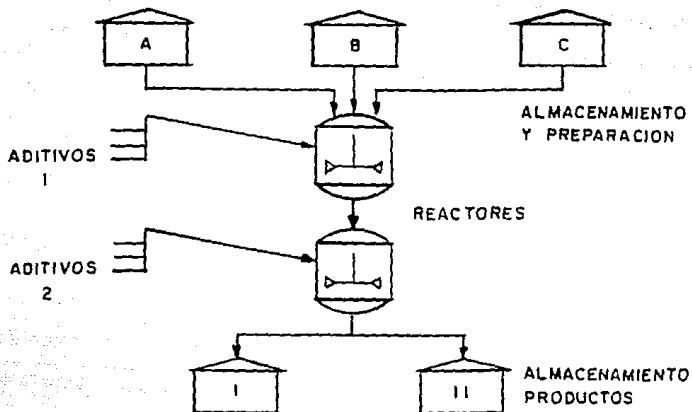


FIG.1.5 ARREGLO TIPO TREN DE REACTORES

Con este tipo de arreglo, las propiedades del producto se adquieren parcialmente en cada unidad de proceso, lo que implica, que el procesamiento en cada uno de los reactores, debe ser completo y satisfactorio, antes de mover el contenido a la siguiente unidad (ver Fig.1.5). Aunque se simplifica el proceso por unidad, la pérdida, o mal funcionamiento de alguna de ellas, afecta seriamente la producción.

1.2.2.2. UNIDADES EN PARALELO

Esta configuración se utiliza, cuando los requerimientos en volumen de producción, son muy elevados. La configuración de unidades en paralelo, tiene las siguientes características:

- * La pérdida de un reactor, no afecta a toda el área de proceso.
- * La necesidad de servicios, como por ejemplo; vapor, agua de enfriamiento, etc., puede ser distribuida, manipulando la demanda en los reactores.

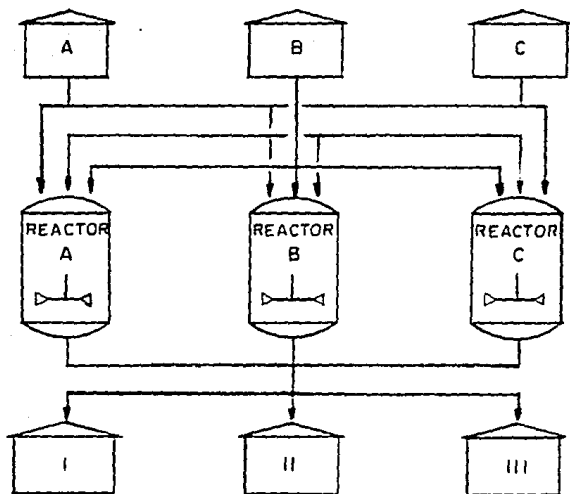


FIG.1.6 ARREGLO DE REACTORES EN PARALELO

1.2.2.3 UNIDADES COMBINADAS

En este tipo de arreglo, intervienen tanto unidades en serie, como unidades en paralelo. Desde el punto de operación, es la forma más práctica de distribuir las unidades de proceso, ya que permite alternar, o combinar las unidades de acuerdo al producto que se desea fabricar.

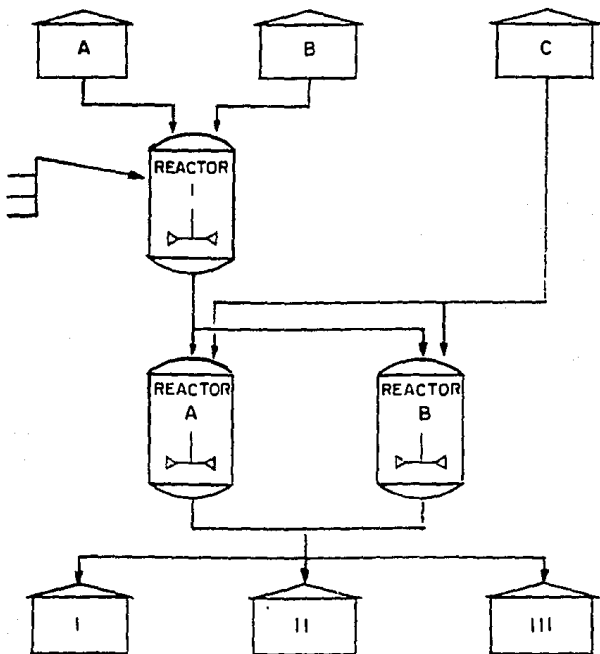


FIG. 1.7 ARREGLO COMBINADO

1.3 CARACTERISTICAS DE LOS PRODUCTOS POR LOTES

En la industria química, existe una amplia variedad de procesos por lotes. Sin embargo, ciertas características son comunes en todos ellos.

1.3.1 PROCESAMIENTO DE MULTIPRODUCTOS

El equipo de proceso es utilizado para fabricar un sin número de productos, y algunas veces, para producir diversos grados de un mismo producto. El tamaño de el lote, se puede ajustar a las necesidades de producción, además de que existe la facilidad, para cambiar la formulación y ajustarla, entre un lote y el siguiente.

1.3.2 UNIDADES Y DISPOSITIVOS COMPARTIDOS

Es frecuente que se compartan ciertas unidades de proceso y equipo, tales como tanques de preparación y almacenamiento, servicios auxiliares, etc., lo cual asegura la utilización más eficiente de los mismos.

1.3.3 INTERFACE DE OPERACION ESPECIALIZADA

Los procesos por lotes son altamente interactivos, debido a que se encuentran en estado transitorio en todo momento. Los operadores, necesitan desempeñar sus funciones con exactitud, por ejemplo, durante la adición de reactivos, o la toma de una muestra para laboratorio, o realizar una acción correctiva, ante el evento de insatisfacción en la calidad alcanzada en el producto. Por otro lado, la interfase de operación, debe tener la facilidad de retroalimentar la información recabada, a fin de ajustar las condiciones de operación.

En resumen, estas son algunas de las principales características de los procesos por lotes. La importancia de cada una de ellas, dependerá de cada proceso, pero todas deben tomarse en cuenta durante la selección del sistema de control que más se ajuste a las necesidades particulares.

1.4 REQUERIMIENTOS DE CONTROL.

Los elementos del control de procesos discontinuos son :

- * Control Lógico y Secuencial.
- * Control Regulatorio.
- * Control Consecuencial.

1.4.1 CONTROL LOGICO Y SECUENCIAL.

El control lógico, identifica las etapas más importantes del proceso; a)verificación de dispositivos, b)llenado, c)calentamiento, d)reacción y enfriamiento. A cada fase lógica le corresponde un control secuencial, el cual, está relacionado con la operación de los dispositivos necesarios para poder ejecutarla. Por ejemplo; para llenar un reactor, se coctejan los enclavamientos de seguridad, el totalizador se restablece a cero, arranca la bomba (on), y las válvulas se abren y/o cierran, siguiendo la secuencia apropiada.

1.4.2 CONTROL REGULATORIO.

El control regulatorio convencional, es parte de los requerimientos totales del control de los procesos por lotes. El flujo y la temperatura, son ejemplos de las variables manejadas por el control regulatorio. En el caso de la temperatura, un incremento en el punto de ajuste puede iniciar la etapa de calentamiento del reactor, por lo que se requiere monitorear y activar una alarma, si la velocidad de incremento de la temperatura, excede los valores permitidos. Una vez que la temperatura alcanzó el valor deseado, mantenerla dentro de límites muy estrechos, resulta de gran importancia para el desarrollo de la reacción y la obtención de un rendimiento aceptable.

1.4.3 CONTROL DE CONTINGENCIAS.

El control consecuencial, podría ser descrito como el manejo de las condiciones anormales. Los cambios en las condiciones del proceso, y las variaciones en la calidad de la materia prima alimentada, así como, su interacción con la química del proceso, requieren de un control de contingencia, basado en el comportamiento y desarrollo del mismo, de manera que se pueda tomar algún camino alternativo, que permita completar satisfactoriamente la producción del lote. Por ejemplo; un parametro, (pH), que es muestreado en un momento dado, puede indicar la necesidad de calentar por 15 minutos más, en lugar de continuar con la siguiente fase.

Existen también casos en donde debido a las anomalías, se hace necesario abortar el lote por razones de seguridad, o simplemente en donde no es posible recuperarlo debido, ya sea a que el producto se contaminó, entró en descomposición, etc.

1.5 RESUMEN

En resumen, los procesos intermitentes o por lotes conllevan por sí mismos, a un nivel más alto de automatización, que lo encontrado normalmente, en los procesos continuos.

En la mayoría de los procesos por lotes, es posible obtener grandes beneficios a través del control. Las experiencias muestran principalmente los siguientes beneficios:

- * Incremento en la producción, como resultado de la reducción de los ciclos de procesamiento y mejor aprovechamiento de los mismos.
- * Un incremento en la calidad del producto, es invariablemente alcanzado, gracias a la repetibilidad de las condiciones, lote tras lote.
- * Reducción en el costo de la operación, gracias a un mejor manejo de las materias primas, y un uso más eficiente de la energía y los servicios auxiliares.
- * Incremento en la seguridad de los operadores y de la planta. Mejor monitoreo y control del proceso.

Los tres primeros beneficios listados, pueden ser evaluados y convertidos en una ganancia económica tangible, que justifique un proyecto de automatización.

Existen también casos en donde debido a las anomalías, se hace necesario abortar el lote por razones de seguridad, o simplemente en donde no es posible recuperarlo debido, ya sea a que el producto se contaminó, entró en descomposición, etc.

1.5 RESUMEN

En resumen, los procesos intermitentes o por lotes conllevan por sí mismos, a un nivel más alto de automatización, que lo encontrado normalmente, en los procesos continuos.

En la mayoría de los procesos por lotes, es posible obtener grandes beneficios a través del control. Las experiencias muestran principalmente los siguientes beneficios:

- * Incremento en la producción, como resultado de la reducción de los ciclos de procesamiento y mejor aprovechamiento de los mismos.
- * Un incremento en la calidad del producto, es invariablemente alcanzado, gracias a la repetibilidad de las condiciones, lote tras lote.
- * Reducción en el costo de la operación, gracias a un mejor manejo de las materias primas, y un uso más eficiente de la energía y los servicios auxiliares.
- * Incremento en la seguridad de los operadores y de la planta. Mejor monitoreo y control del proceso.

Los tres primeros beneficios listados, pueden ser evaluados y convertidos en una ganancia económica tangible, que justifique un proyecto de automatización.

CAPITULO II

CONCEPTOS BASICOS DE CONTROL DE PROCESOS

Para implementar un sistema de control, cualquiera que este sea, es necesario conocer los conceptos básicos de control de procesos, con objeto de poder comprender las necesidades de un proceso intermitente, en cuanto a su control se refiere.

2.1 CONTROL DE LAZO ABIERTO

Consiste simplemente, en hacer un estimado de la forma y/o cantidad de la acción necesaria, para conseguir el objetivo deseado. Está basado en la predicción. En el control de lazo abierto, no se realiza confrontación alguna, entre el resultado actual y el resultado esperado, para determinar si la acción correctiva ha logrado o no, el objetivo deseado.

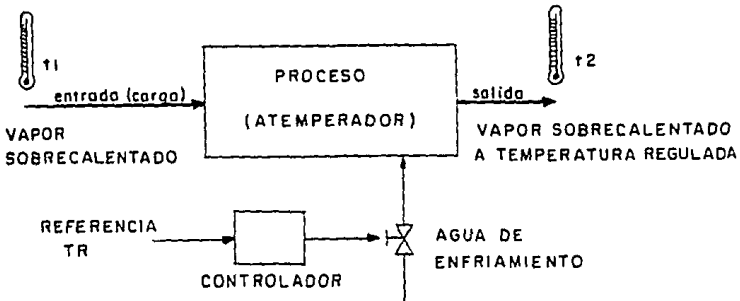


FIG 2.1 SISTEMA DE CONTROL DE LAZO ABIERTO

La fig. No.2.1, representa un sistema típico de control de lazo abierto. Un atemperador manual va a ser accionado (PROCESO). La persona que lo opera hace una apreciación visual de la temperatura del vapor, a la entrada (CARGA). Compara el estado actual de la temperatura t_1 , con respecto a una temperatura de referencia t_R , su deseo de tener vapor a una temperatura t_2 . En base a su experiencia, el operador determina la cantidad de agua de enfriamiento, necesaria para lograr su objetivo.

En este momento, el operario gira la manivela de la válvula de agua, permitiendo el paso de más, o menos agua, hacia el esprayador, de acuerdo a su apreciación. Si la predicción del operador fue correcta en todos los aspectos, el vapor saldrá a la temperatura t_2 deseada, por lo tanto, el control de lazo abierto, es capaz de realizar control perfecto.

Sin embargo, si alguna de las variables que afectan el resultado final deseado, se desvía de las condiciones que establece el pronóstico del operador (cambio en la presión del cabezal de vapor, por ejemplo), entonces el control de lazo abierto no es capaz de realizar control perfecto.

2.2 CONTROL DE LAZO CERRADO

En una configuración de lazo cerrado, se realiza una medición de la variable controlada o de la carga, según sea el caso (ver 3.2.1 y 3.2.2), y se compara con respecto a una referencia. Si existe diferencia, entre el valor de la señal medida y el valor de la referencia, el controlador automáticamente tomará la acción correctiva necesaria, para tratar de eliminar el error. Existen dos tipos diferentes de control de lazo cerrado; el anticipado y el retroalimentado.

2.2.1 CONTROL DE LAZO CERRADO: ANTICIPADO

La Fig. No.2.2, representa un lazo de control de este tipo. Para poder aplicar eficazmente un sistema de control anticipado, a cualquier proceso, deberá ser posible desarrollar una ecuación, que exprese el balance de materia, y otra, si es necesario, que nos muestre el balance de energía. La interacción entre ambas ecuaciones, debe ser comprendida, por lo que un conocimiento profundo del proceso, es requerido para poder implementar este tipo de control.

A diferencia del control de lazo abierto, se realiza una medición de la variable de entrada, en lugar de hacer una suposición. El valor de la medición se compara con la referencia y el error resultante es empleado para calcular la cantidad de corrección necesaria. De esta manera, cualquier variación en las condiciones de carga, causa una variación en la señal de control, sin esperar a que la variable controlada sufra alguna alteración. En general, esta técnica es más complicada, y más costosa, en cuanto a instrumentación se refiere, por lo que se le reserva a aplicaciones críticas, o en optimizaciones de sistemas de control tradicionales.

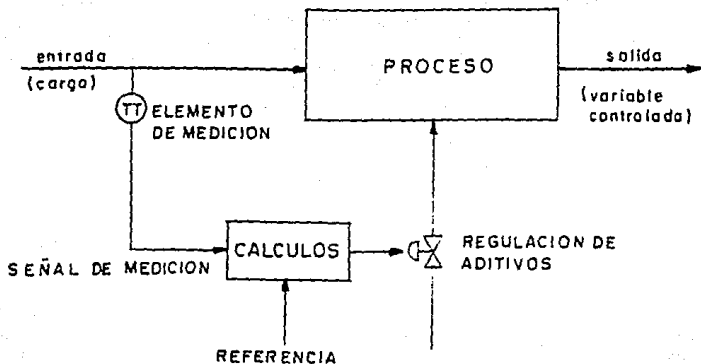


FIG.2.2 CONTROL ANTICIPADO

2.2.2 CONTROL DE LAZO CERRADO: RETROALIMENTADO

Los sistemas retroalimentados, son más comunes que los anticipados. La estructura de un lazo cerrado retroalimentado, se muestra en la Fig. No 2.3.

En este caso, el valor de la variable controlada, responde al efecto de las variaciones en la carga, y la variable manipulada. Un sensor-transmisor, mide el valor actual de la variable controlada, y lo compara con el punto de referencia, mediante una operación aritmética. La función de control, genera una señal, que posiciona una válvula (elemento final de control), en base al signo (+/-) y a la magnitud de la diferencia observada, entre los valores de medición y de referencia.

El controlador retroalimentado, resuelve el problema del control, mediante un procedimiento de ensayo y error. Un cambio en las condiciones de la carga al proceso, causará una alteración en el valor de la variable controlada, por lo que se requerirá, que la válvula varíe su porcentaje de apertura. Cuando la variable controlada, ha vuelto a su valor deseado (i.e. la diferencia observada es igual a cero.), el controlador mantiene constante, su señal de salida a la válvula, hasta que se presente una nueva perturbación.

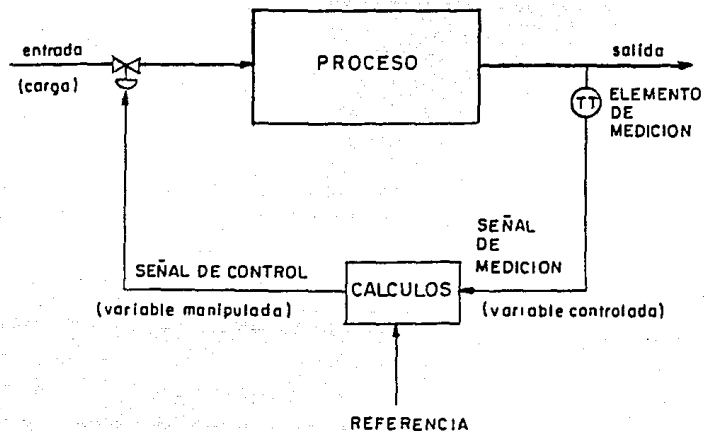


FIG.2.3 CONTROL RETROALIMENTADO

2.3 EL CONTROLADOR RETROALIMENTADO

Los primeros mecanismos de retroalimentación, se conectaban directamente, tanto al proceso, como a la variable manipulada.

Cuando la transmisión neumática y electrónica, hicieron posibles los cuartos remotos de control, se desarrollaron, primero, los controladores mecánicos y neumáticos, y luego los electrónicos (analógicos). El estado del arte, hoy en día, son los sistemas de control digitales, basados en microprocesadores, y las funciones de control, son ahora parte de la programación enbebida en un microcircuito (ROM) ; . Sin embargo, cualquiera que sea la tecnología empleada, las funciones básicas del controlador retroalimentado, siguen siendo las mismas.

¡ ROM = Read Only Memory

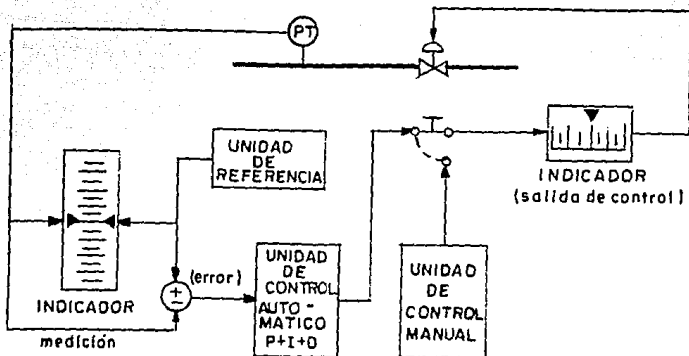


FIG.2.4 ELEMENTOS DEL CONTROLADOR RETROALIMENTADO

Todos los controladores retroalimentados tienen ciertos elementos en común (Fig. No.2.4). La función de control normalmente tiene dos entradas y una salida. Una de las entradas, corresponde a la señal de medición que proviene del transmisor. La otra señal de entrada, es el valor de referencia o punto de ajuste, que representa el valor en donde se desea mantener a la medición. Para lazos de control sencillos, el valor de la señal de referencia, es seleccionado por el operador en el cuarto de control, y recibe el nombre de "punto de ajuste local". -En esquemas de control más complicados, la señal de referencia puede ser producida por otro instrumento independiente, y en este caso, recibe el nombre de "punto de ajuste remoto". A menudo, se requiere que el controlador maneje ambos tipos de puntos de ajuste, por lo que éste, deberá contar con un botón de transferencia REMOTO/LOCAL, para que el operador seleccione cuál usar en un momento dado.

Dentro del controlador, los valores de medición y de referencia son comparados por sustracción. La diferencia se define como "el error", y es la entrada al mecanismo, circuito o algoritmo, que genera la señal de salida o respuesta del controlador. Generalmente, la salida de control, es una función de tres componentes: proporcional, integral y derivativo, también llamados "modos de control".

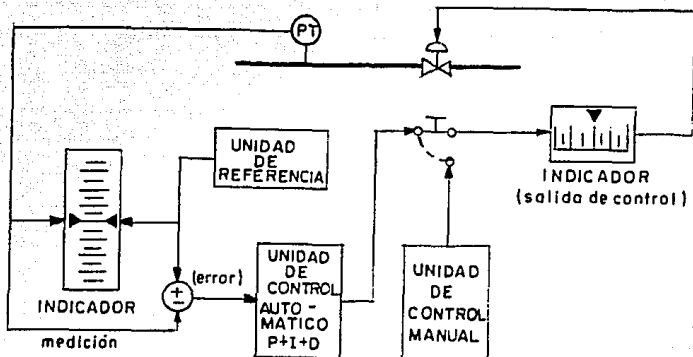


FIG.2.4 ELEMENTOS DEL CONTROLADOR RETROALIMENTADO

Todos los controladores retroalimentados tienen ciertos elementos en común (Fig. No.2.4). La función de control normalmente tiene dos entradas y una salida. Una de las entradas, corresponde a la señal de medición que proviene del transmisor. La otra señal de entrada, es el valor de referencia o punto de ajuste, que representa el valor en donde se desea mantener a la medición. Para lazos de control sencillos, el valor de la señal de referencia, es seleccionado por el operador en el cuarto de control, y recibe el nombre de "punto de ajuste local". -En esquemas de control más complicados, la señal de referencia puede ser producida por otro instrumento independiente, y en este caso, recibe el nombre de "punto de ajuste remoto". A menudo, se requiere que el controlador maneje ambos tipos de puntos de ajuste, por lo que éste, deberá contar con un botón de transferencia REMOTO/LOCAL, para que el operador seleccione cuál usar en un momento dado.

Dentro del controlador, los valores de medición y de referencia son comparados por sustracción. La diferencia se define como "el error", y es la entrada al mecanismo, circuito o algoritmo, que genera la señal de salida o respuesta del controlador. Generalmente, la salida de control, es una función de tres componentes; proporcional, integral y derivativo, también llamados "modos de control".

Puede ser que los modos anteriores, no siempre estén presentes en cada controlador retroalimentado. Los componentes proporcional e integral, responden al signo y magnitud del error, mientras que el componente derivativo, responde a las variaciones en la señal de medición. La suma de las respuestas individuales de cada componente, forma la señal de control automático, mismas que analizaremos en forma individual más adelante.

Durante una situación de arranque, o alguna condición de emergencia que se presente en nuestro proceso, el operador de la planta, necesita operar manualmente a los elementos finales de control, por lo que el controlador deberá incluir un generador de señal de salida manual, y un mecanismo de transferencia, que le permita pasar de automático a manual. Cuando la salida del controlador proviene del generador de señal P+I+D (unidad de control automático), se dice que está controlando en "automático". Y cuando la salida proviene del generador de señal manual, se dice que el controlador está en "manual".

Todo controlador, lleva asociada una interfase con el operador. Como mínimo, esta interfase deberá mostrarle al operador de la planta, ya sea en forma gráfica o digital, el valor actual del punto de ajuste, el valor de la señal de medición, y el de la señal de salida, así como también, los estados AUTOMATICO/MANUAL y REMOTO/LOCAL del controlador.

2.4 CARACTERISTICAS DE LOS PROCESOS.(ELEMENTOS DINAMICOS)

El comportamiento de un proceso con respecto al tiempo, determina las características dinámicas del mismo. Las demás particularidades asociadas a él, son llamadas características estáticas. Ambas deben ser consideradas para el diseño y operación de un sistema de control. Todo proceso presenta, ya sea en forma pura, o combinados, varios elementos dinámicos que determinan su comportamiento, siendo los más comunes, la resistencia, la capacidad y el tiempo muerto.

El proceso más sencillo consta de un elemento de capacidad y otro de resistencia. La Fig. No2.5, ilustra un proceso de este tipo en sus diferentes formas: a) Eléctrica, b) Hidráulica, c) Neumática, d) Térmica. Para mostrar su comportamiento dinámico, podemos ocasionar arbitrariamente, una alteración repentina en forma de escalón, en las condiciones de entrada al proceso y examinar las consecuencias a la salida.

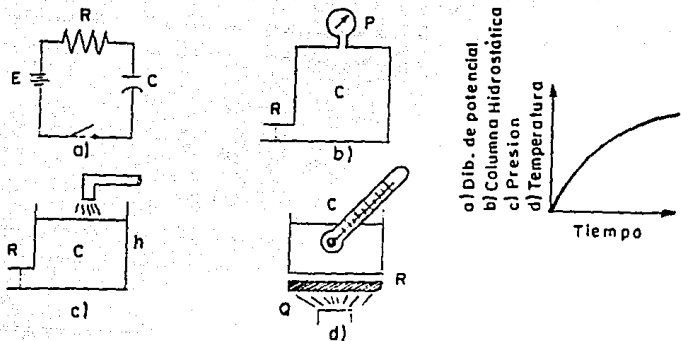


FIG.2.5 ANALOGIAS DEL PROCESO R-C

El cambio resultante en la variable de proceso con respecto al tiempo aparece en la gráfica de la Fig. No.2.6. Este tipo de curva (exponencial), es fundamental para entender el control de procesos.

La Fig. No.2.5a, muestra un simple circuito RC, una resistencia, un capacitor y una fuente de baterías, conectados en serie. En el instante en que se cierra el circuito, el capacitor empieza a cargarse hacia el voltaje de la batería. La velocidad con la que se carga el capacitor, decrece gradualmente, conforme su voltaje se aproxima al de la fuente (curva A en la Fig. No.2.6). Si bien la velocidad de carga varía, el tiempo que tarda el capacitor en alcanzar el 63.2% del voltaje que suministra la batería, es una constante para cualquier valor de R y de C. Por lo tanto, no importa el voltaje de la batería, el capacitor carga al 63.2% del voltaje de la misma, en un intervalo de tiempo llamado constante de tiempo T del circuito. El valor de T en segundos, es el producto de la resistencia en Ohms y la capacitancia en Faradios.

$$T = RC \text{ (Coulomb/Volt) (Volt/Coulomb/seg) = seg}$$

Durante la descarga, el circuito se comporta similarmente. Por ejemplo, si la batería de la Fig. No 2.5a, es reemplazada por un conductor sólido, el capacitor cargado, se descarga al 63.2% del total de su carga, en RC segundos (curva B de la figura No. 2.6).

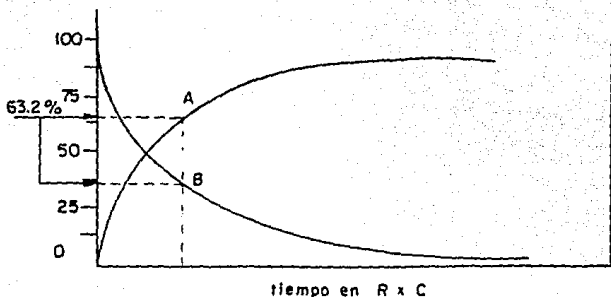


FIG.2.6 CONSTANTE UNIVERSAL DE TIEMPO

El circuito RC de la Fig. No 2.5a, simboliza una gran cantidad de situaciones físicas reales. En la práctica, la mayoría de los procesos contienen varios elementos combinados de resistencia y capacidad. La Fig. No.7 nos muestra un proceso con dos elementos de R y dos elementos de C, conectados en serie.

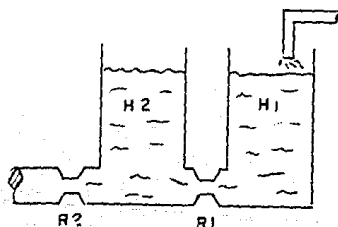


FIG.2.7

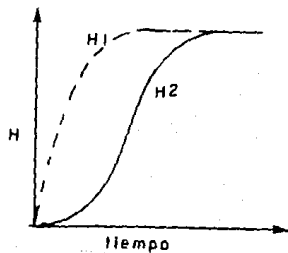


FIG 2.8

La Fig. No 2.8, nos muestra la curva resultante del comportamiento del proceso de la Fig. No 2.7, o de su respuesta a una alteración repentina. Nótese que la resistencia y la capacidad adicionales, afectan esencialmente a la parte inicial de la curva de reacción, ocasionando un retraso en la respuesta. (curva H2).

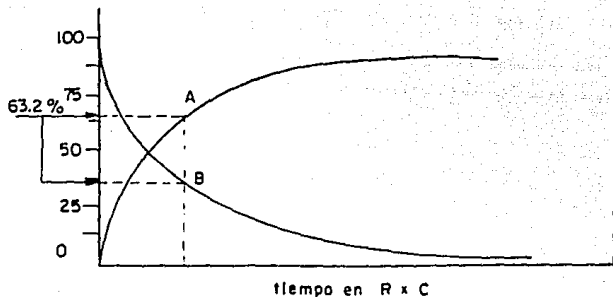


FIG.2.6 CONSTANTE UNIVERSAL DE TIEMPO

El circuito RC de la Fig. No 2.5a, simboliza una gran cantidad de situaciones físicas reales. En la práctica, la mayoría de los procesos contienen varios elementos combinados de resistencia y capacidad. La Fig. No.7 nos muestra un proceso con dos elementos de R y dos elementos de C, conectados en serie.

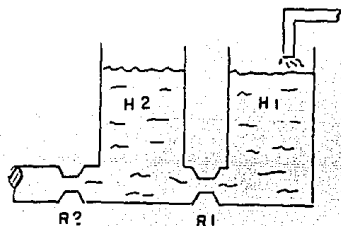


FIG.2.7

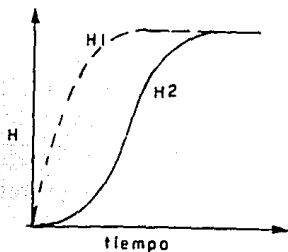


FIG 2.8

La Fig. No 2.8, nos muestra la curva resultante del comportamiento del proceso de la Fig. No 2.7, o de su respuesta a una alteración repentina. Nótese que la resistencia y la capacidad adicionales, afectan esencialmente a la parte inicial de la curva de reacción, ocasionando un retraso en la respuesta. (curva H2).

La existencia de retrasos en los procesos, tiene un efecto fundamental en el desempeño de un lazo de control retroalimentado. Sin haber entendido las causas y características de los retrasos que presenta un proceso en particular, es imposible evaluar cuáles serán los modos de control requeridos en la respuesta del controlador, que se vaya a usar. Básicamente, los retrasos pueden clasificarse en dos categorías principales; retraso de tiempo muerto y retraso de capacidad.

2.4.1 TIEMPO MUERTO

Un proceso que tiene esencialmente, respuesta de tipo retraso de tiempo muerto, se muestra en la figura No.2.9. Se trata de una banda transportadora, que recibe material de una tolva, mediante el accionamiento de una válvula de alimentación. Para medir la cantidad de material depositado, se coloca un transmisor de peso a una distancia "d" de la válvula de alimentación. Una variación repentina en la posición de la válvula de alimentación, ocasionará que se empiece a depositar mayor ó menor cantidad de material sobre la banda. Esta variación no será detectada por el transmisor de peso, sino hasta que el material haya sido transportado a lo largo de la distancia "d". A este retraso, se le denomina de "tiempo muerto". De una forma general, el retraso de "tiempo muerto" se define como, el tiempo que transcurre entre la verificación de un cambio en la señal de control (que modifica la posición de la válvula), y la manifestación de sus efectos en la señal de medición. También se le conoce como retraso de "transporte" y su magnitud depende de la distancia por recorrer, así como, de la velocidad de transporte.

Desde el punto de vista de control, lo que es realmente importante, es la magnitud del retraso. Tomemos como ejemplo un cromatografo de gases en línea. La operación de tomar y acondicionar una muestra del fluido que se desea analizar, ocasiona un tiempo muerto en el lazo de control de composición. El tiempo muerto, representa el intervalo durante el cual, el controlador de composición, desconoce el efecto causado por la última acción de control realizada. La velocidad de cambio de la señal de medición, no es afectada por el tiempo muerto. A excepción del retraso en el tiempo, la señal de medición, varía con la misma rapidez que la señal de control. Además del tiempo muerto intrínseco a cada proceso, es necesario tomar en cuenta, los tiempos muertos propios de cada uno de los elementos de un lazo de control (transmisores, válvulas, etc.), mismos que se suman al del proceso, por lo que su diseño adecuado y correcta localización, evitan que no se incremente la magnitud del retraso global.

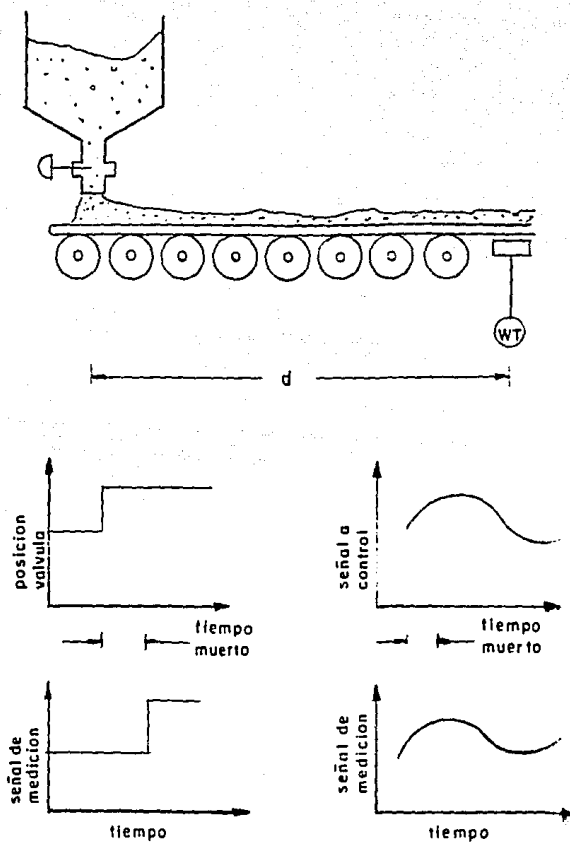


FIG.1.9 RESPUESTA DE TIEMPO MUERTO

2.4.2 CAPACIDAD Y SUS EFECTOS

Los procesos de tiempo muerto puro, son poco frecuentes y virtualmente, todos los lazos de control incluyen y son dominados por elementos de capacidad.

Un elemento de capacidad, es aquella parte del proceso en donde se puede acumular materia o energía. El tanque que se muestra en la Fig. No.2.10 A, representa un proceso de almacenamiento de material. El flujo de entrada al tanque es la variable manipulada, el flujo de salida es la variable de carga.

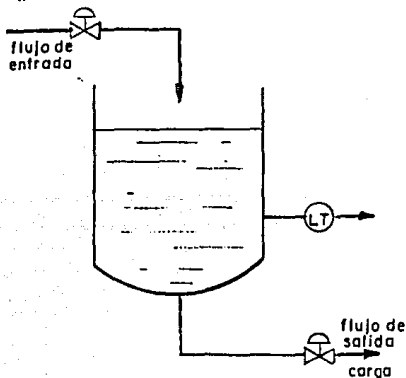


FIG.2.10 A

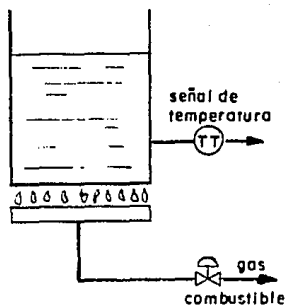


FIG.2.10 B

Inicialmente, el nivel permanece constante porque el flujo de entrada, es igual al flujo de salida. Supongamos que la válvula, y el flujo de entrada, responden instantáneamente a la señal de control. Cuando ocurre un cambio escalón en dicha señal, la diferencia entre el flujo de entrada y el de salida, causará un incremento inmediato en el nivel del tanque. Sin embargo, a medida que aumenta el nivel, también aumenta gradualmente la presión sobre la válvula de salida, lo que ocasiona un incremento en el flujo de salida. El resultado final, es el balance entre los flujos de entrada y salida, y el comportamiento observado, es una elevación muy rápida en el nivel durante los primeros instantes, y luego más suavemente, hasta detenerse finalmente en el punto donde se igualan los flujos.

En el otro recipiente que se muestra en la Fig.No.2.10B también se representa un proceso de capacidad sencilla, pero de almacenamiento de energía. La temperatura responde a la acumulación de energía, tal y como el nivel responde a la acumulación de material. La respuesta de la temperatura, ante un cambio escalón en el calor suministrado, será la misma que presenta el nivel, ante un cambio escalón en el flujo de alimentación.

La respuesta de los elementos de capacidad descritos, difiere de la de los elementos de tiempo muerto, en dos puntos significativos:

- 1.- No se manifiesta retraso alguno, antes de que la señal de medición comience a cambiar. Un elemento sencillo de capacidad, no lleva asociado un tiempo muerto.
- 2.- La capacitancia, inhibe la rapidez con la que varía la señal de medición.

El nivel en un tanque no puede cambiar instantáneamente, a pesar de que la señal de control, si lo haga. Esto se debe a que el nivel, es la medida del material almacenado en un recipiente, y porque la rapidez de acumulación, positiva o negativa, responde a la diferencia entre el flujo de entrada y el flujo de salida. Mientras mayor sea el recipiente, respecto a los flujos de entrada y salida, más lentamente se manifestarán los cambios en el nivel. Por lo anterior, un elemento de capacidad, ligado a determinado proceso, tiende a atenuar los disturbios ocurridos en el mismo. Lo anterior, facilita la tarea de controlar, mientras que el tiempo muerto, la dificulta.

El tamaño de un elemento de capacidad, se mide por su constante de tiempo.

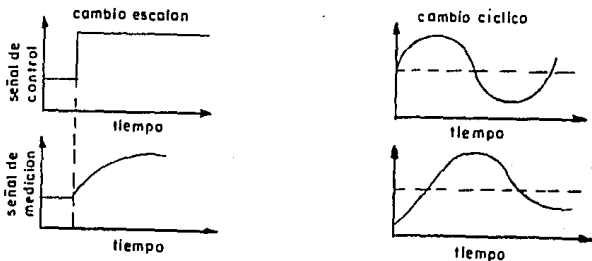


FIG. 2.10 C RESPUESTA DE CAPACIDAD

La fig. No.2.6, muestra más detalladamente la respuesta del nivel en la Fig. No.2.10 A.

Debido a que los dos flujos (de entrada y de salida) tienden a igualarse asintóticamente, puede decirse que nunca son exactamente iguales. El nivel, nunca deja de estar variando, por lo que no puede ser medido por el tiempo que tarda en alcanzar un punto determinado .

Para cubrir esta deficiencia, la respuesta es cuantificada por medio de una constante de tiempo, que se define como el tiempo necesario para completar el 63.2% del total de la respuesta.

A manera de aproximación, la constante de tiempo de un elemento de capacidad, será muy parecida a su tiempo de residencia, que a su vez, se define como la relación entre el volumen de material acumulado y el flujo a través del elemento , o sea que, el tanque de la Fig. 10 A contiene 1000 Gal = 3.785 m³, y el flujo a través del mismo, es de 100 GPM = 0.0063 m³/seg, entonces, el tiempo de residencia es:

$$TR = (3.785 \text{ m}^3)/(0.0063 \text{ m}^3/\text{seg}) = 600 \text{ seg}$$

La Fig. 2.10 C, también nos muestra la respuesta de un elemento de capacidad, ante una variación cíclica en la señal de control. Si el flujo de entrada está variando cíclicamente, el flujo de salida se aproximará al valor promedio del flujo de entrada.

El nivel se elevará mientras la alimentación sea mayor a la descarga y decaerá mientras ocurra lo contrario. En pocas palabras, para una alimentación cíclica, la señal de medición de un elemento de capacidad, también variará cíclicamente con el mismo periodo.

La variación en la señal de medición, en comparación con la variación de la señal de control, depende, en gran medida, del periodo. Si la señal de control oscila muy aprisa (con un periodo pequeño), el vaivén del nivel será muy pequeño. En cambio, si la misma variación, ocurre con un periodo más largo, el vaivén del nivel será mucho mayor. (ver Fig. No.2.11).

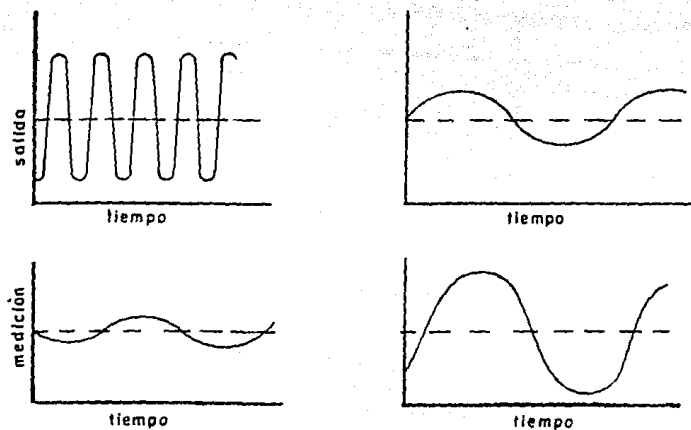


FIG.2.11

Los procesos cuyo comportamiento dinámico, se asemeje a un elemento de capacidad sencilla, o a uno de tiempo muerto puro, existen solamente en teoría. Cualquier proceso real, presenta un número mayor de estos elementos dinámicos. Por ejemplo, el intercambiador de calor, que se muestra en la figura No.2.12, incluye, entre otros, un elemento asociado con el tiempo que le toma al agua, fluir desde la entrada del intercambiador, hasta el sensor de temperatura.

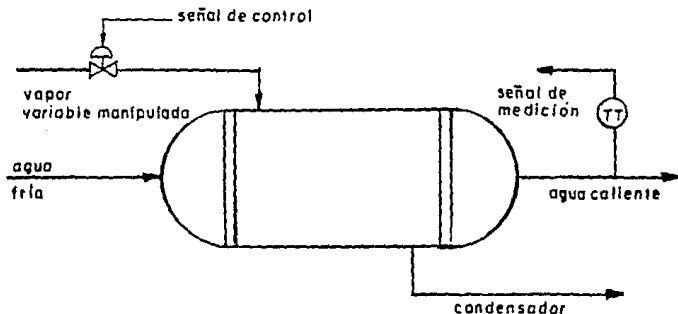


FIG.2.12 INTERCAMBIADOR DE CALOR

En Adición, podemos identificar los siguientes elementos de capacidad:

- * Volumen del aire del actuador, en la válvula de control.
- * Volumen de la coraza del intercambiador.
- * Energía almacenada en las paredes de los tubos.
- * Energía almacenada en el agua, dentro de los tubos.
- * Energía almacenada en el termopozo del elemento sensor.

Si los controles son neumáticos, un tiempo muerto y una capacidad, están también asociados a cada línea de transmisión neumática. Esta es una situación típica. Uno, o dos tiempos muertos identificables, y un gran número de pequeñas capacidades. Los tiempos muertos en serie son aditivos. Un retraso de un minuto, seguido de uno de 2 minutos, nos da como resultado, un retraso de 3 minutos. Sin embargo, el efecto combinado de una serie de elementos de capacidad, no es tan obvio. Observamos en la fig. No.2.13, una serie de 3 capacidades, que tienen la misma constante de tiempo individual τ_{tc} , y el efecto en la respuesta, al combinarse en serie.

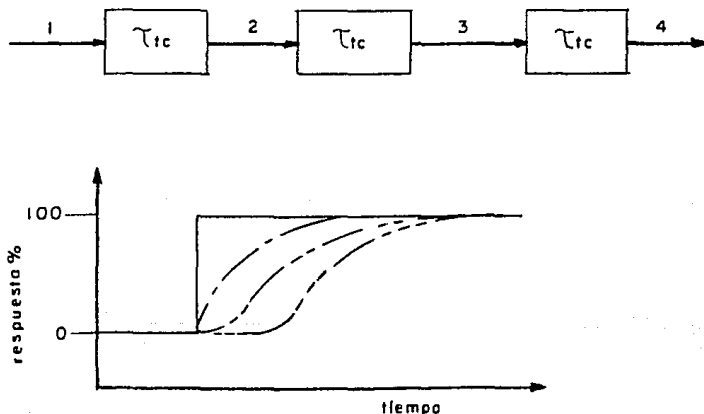


FIG.2.13 CAPACIDADES EN SERIE

En el punto 1, se produce un cambio escalón. La curva 2, muestra el tipo de respuesta ante un cambio escalón, que presenta una capacidad sencilla. Las curvas 3 y 4, muestran el efecto que producen las subsecuentes capacidades. El efecto neto de una secuencia de capacidades, es el de la combinación de un retraso por tiempo muerto, seguido de una capacidad sencilla, con su constante de tiempo τ , en donde τ es mayor que la constante de tiempo individual T_M .

Un proceso puede estar formado, por una intrincada colección de elementos de capacidad y tiempos muertos. Sin embargo, se puede simplificar la representación del mismo proceso, a la hora de diseñar el lazo de control retroalimentado, usando un modelo consistente en un tiempo muerto y una capacidad sencilla.

2.4.3 GANANCIA Y FASE

El comportamiento de los lazos de control retroalimentados, se puede entender desde los puntos de vista teórico y práctico. Aún cuando hemos enfatizado hasta este momento el punto de vista práctico, entender los conceptos matemáticos de ganancia y fase, resulta fundamental en el estudio del control retroalimentado.

Un elemento de un lazo de control retroalimentado, está representado en la figura No.2.14 A.



FIG.2.14 A

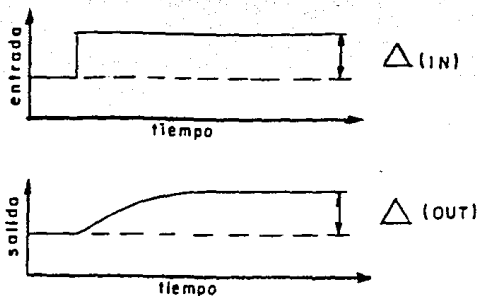


FIG.2.14. B GANANCIA ESTATICA

El elemento dinámico, representado en la fig. 2.14 A podría ser, ya sea el proceso, la válvula, el transmisor, o el controlador. Cada uno de estos elementos, tiene una entrada y una salida. El primer parámetro, la ganancia, nos describe la cantidad de cambio en la salida del elemento, que puede ser causado por un cambio dado, en la entrada del mismo.

Existen dos tipos diferentes de ganancia en un elemento dinámico. La ganancia estática, fig. 2.14 B, se define como el resultado de dividir el cambio final de la salida, entre el cambio en la entrada ;

$$G_{ss} = \frac{(OUT)}{(IN)} \text{ -----(1)}$$

Es importante, no perder de vista a las unidades de la ganancia estática. Por ejemplo, en el lazo del intercambiador (fig. 2.12), la ganancia estática del elemento final de control, tiene unidades de flujo, entre porcentaje de apertura. Lo que quiere decir, que un 10% de cambio en la salida del controlador, causará un cambio de 200 lb/h (0.02518 kg/seg) en el flujo de vapor, por lo tanto su ganancia estática es;

$$G_{ss} = (0.02518 \text{ kg/seg})/(10\%) = 0.0025 \text{ (kg/seg)/\%} \text{ ---(2)}$$

Sin embargo, las señales que se manejan en un lazo de control, en su mayoría varían cíclicamente. La ganancia dinámica, G_d , nos mide la sensibilidad de un elemento, ante la variación cíclica de su entrada. Cuando la entrada varía cíclicamente, la salida también variará cíclicamente con el mismo periodo. La ganancia dinámica se obtiene, dividiendo la amplitud de la oscilación de salida, entre la amplitud de la oscilación de entrada, o:

$$G_d = \text{out/ in} \text{ -----(3)}$$

Para el intercambiador de calor, supongamos que una variación de 200 lb/h (0.02518 kg/seg) en el flujo de vapor, causó una variación de temperatura de 20 F (11.1 C) en el agua de salida.

La ganancia dinámica en este caso será:

$$\begin{aligned} G_d &= 11.1 \text{ C}/0.02518 \text{ kg/seg} \\ &= 440.8 \text{ C}/(\text{kg/seg}) \\ &= 0.12 \text{ C}/(\text{kg/hr}) \end{aligned} \text{ -----(4)}$$

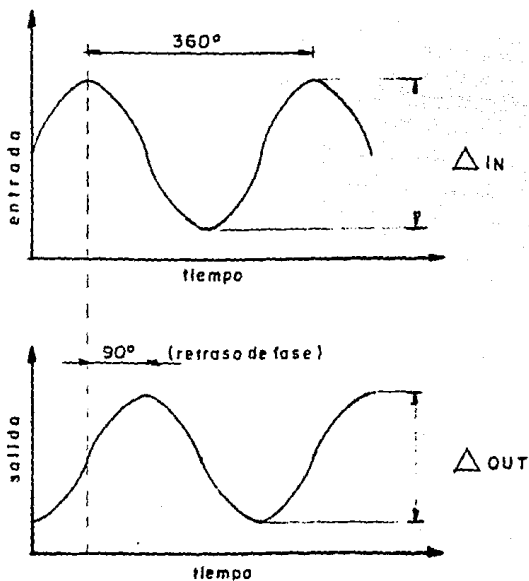


FIG.2.15 GANANCIA DINAMICA

El segundo parámetro de la respuesta de un elemento dinámico, ante una entrada oscilante, es el ángulo de fase, que se ilustra en la Fig. No.2.15. Debido al retraso intrínseco del elemento, el pico de la salida, no coincide con el pico de la entrada. El ángulo de fase de un elemento, nos mide este desplazamiento. Un ciclo completo de cualquier señal periódica, está compuesto de 360 grados. Si el pico del ciclo de entrada, ocurre un cuarto de ciclo adelante del ciclo de salida, entonces, el ángulo de fase se representa por:

$$= (360) (-1/4) = -90 \text{ -----(5)}$$

En la ecuación (5), el signo negativo indica que el pico de la salida, ocurrió después del pico de la entrada. A esto se le conoce como retraso de fase. También es posible que el pico de salida ocurra antes del pico de entrada; a esto se le llama adelanto de fase.

2.5 CONTROLABILIDAD Y ACCION DEL CONTROLADOR

El controlador automático, regula la señal de medición mediante cambios en la posición del actuador final, moviendo el actuador, para oponerse a cualquier cambio observado en la señal de medición.

La controlabilidad de cualquier proceso, depende de la sensibilidad con que la señal de medición, responde a los cambios realizados por el controlador. Para lograr un control adecuado, la medición deberá empezar a responder rápidamente, y avanzar, disminuyendo su velocidad de cambio.

Debido a que el control automático tiene una gran variedad de aplicaciones, es casi indispensable clasificar a los procesos, ya sea por su función o por industria. Sin embargo, todos los procesos pueden ser descritos, en función de la relación, entre sus señales de entrada y salida. Por ejemplo; La Fig.2.16, nos ilustra la respuesta de la temperatura de un intercambiador de calor, cuando abrimos la válvula de control, incrementando manualmente la salida del controlador.

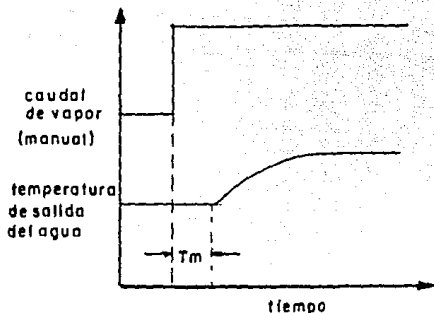


FIG. 2.16 RESPUESTA DE UN INTERCAMBIADOR DE CALOR

En un principio, no hay una respuesta inmediata en la indicación de temperatura. Después, la temperatura empieza a cambiar, primero en forma constante y más lentamente conforme se aproxima a un valor constante. Este proceso, puede ser caracterizado en función de su respuesta, por dos elementos dinámicos. El primer elemento, es un tiempo muerto, o el tiempo transcurrido antes de que la medición empiece a responder. En el ejemplo, el retraso se debe, a que el calor cedido por el vapor debe ser conducido a través de las paredes del intercambiador, antes que este afecte a la temperatura del agua, y después detectado por el sensor del transmisor. El segundo elemento dinámico observado, es la capacidad del proceso, que no es más que el material o energía, que debe entrar o dejar el proceso, para cambiar la medición. Por ejemplo, los litros necesarios para cambiar el nivel, las kcal necesarias para cambiar la temperatura o los metros cúbicos de gas necesarios para modificar la presión.

La capacidad de un proceso, se mide en función de su respuesta a un cambio escalón. Específicamente, el tamaño de la capacidad, se mide por su constante de tiempo, que se define como el tiempo necesario para alcanzar el 63% del total de su respuesta. La constante de tiempo, es una función del tamaño del proceso y de la velocidad de transferencia de los materiales y la energía. La capacidad combinada con el tiempo muerto, definen el tiempo que le toma a la medición responder a los cambios de posición de la válvula. Mientras mayor sea la capacidad de un proceso respecto a su tiempo muerto, mayor será su controlabilidad.

La acción directa, o inversa, de un controlador, es la característica básica en la respuesta del mismo. Una respuesta de acción directa, es aquella cuando el controlador observa un incremento en la medición, y en respuesta, incrementa su señal de salida. Mientras que la acción inversa, ante un aumento en la señal de medición, responde disminuyendo su señal de salida.

Una vez definida la característica anterior, los siguientes tipos de respuestas, pueden ser usadas para controlar un proceso:

- 1.- Acción de dos posiciones, abierto/cerrado.
- 2.- Acción proporcional.
- 3.- Acción integral (reajuste).
- 4.- Acción derivativa.

2.5.1. ACCION DE DOS POSICIONES.

El controlador con acción de dos posiciones, genera únicamente dos valores en su señal de salida, ya sea, o completamente abierto (máxima), o completamente cerrado (mínima).

La Fig.2.17, nos muestra gráficamente una respuesta de este tipo.

En este sistema, se ha determinado, que cuando la medición sea menor que el punto de ajuste seleccionado, la válvula deberá cerrarse completamente, para causar un incremento en la medición. Por lo tanto, cada vez que la señal alimentada al controlador, esté por debajo del punto de ajuste, su salida será del 100%. En el momento en que la medición se haga mayor al punto de ajuste, el controlador cambia su salida al 0%, y así sucesivamente. Este ciclo continuará indefinidamente, debido a que el controlador no es capaz de hacer un balance, entre su entrada y salida. La oscilación continua, puede o no ser aceptable, dependiendo de la amplitud y longitud del ciclo. Una oscilación muy alta, puede ocasionar desgaste excesivo en los interiores de la válvula.

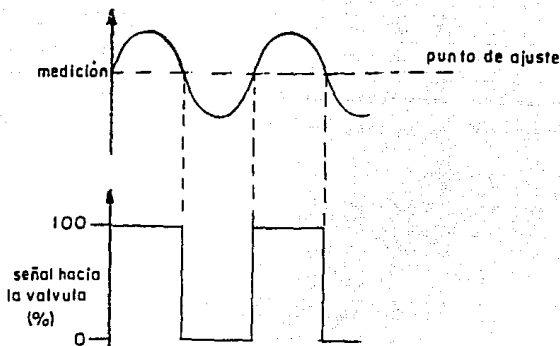


FIG.2.17 RESPUESTA ABIERTO/CERRADO

La duración de cada ciclo, depende del tiempo muerto del proceso, ya que el tiempo muerto, determina el tiempo que le toma a la medición, revertir su dirección, cada vez que cruza la línea del punto de ajuste. La amplitud de la señal, depende de qué tan rápidamente cambia durante cada ciclo. Procesos de mucha capacidad, como los intercambiadores de calor tienen una constante de tiempo muy grande. Por lo tanto, la medición varía muy lentamente, dando como resultado una variación cíclica, sobre una banda muy angosta, alrededor del punto de ajuste. En estas condiciones, este tipo de control puede ser aceptable siempre y cuando el ciclo, no sea muy rápido. El control de dos posiciones es frecuentemente utilizado en instalaciones domésticas (calentadores de agua). Sin embargo, si la respuesta de la medición a los cambios en el suministro, es más activa, la amplitud y la frecuencia del ciclo serán también mayores. En determinado punto, el ciclaje se hará inaceptable, y será necesario aplicar otra forma de control.

Para facilitar la comprensión de las siguientes 3 acciones de control automático, usaremos la respuesta de lazo abierto. Esto significa, que solamente consideraremos la respuesta del controlador. La Fig.2.18, nos muestra un lazo abierto, en donde el controlador es alimentado por una señal artificial, generada por un regulador manual. El punto de ajuste se selecciona normalmente desde el controlador, y la salida se registra. De esta forma podemos observar la respuesta específica del controlador, ante los cambios ocasionados en su alimentación.

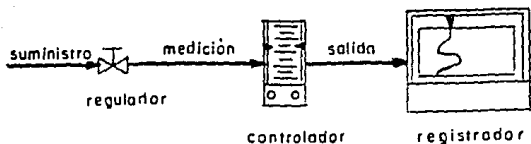


FIG. 2.18 RESPUESTA DE LAZO ABIERTO

2.5.2 ACCION PROPORCIONAL

La respuesta de acción "proporcional", es la base del controlador automático de 3 modos. Cuando los modos "integral" y "derivativo" están presentes, se suman a la respuesta del modo proporcional. El termino "Proporcional", significa que, el porcentaje de cambio en la salida, es algún múltiplo del porcentaje de cambio en la entrada (medición).

A este múltiplo, se le conoce como la "ganancia" del controlador. La Fig.2.19, muestra la respuesta del controlador, mediante un indicador entrada/salida, pivoteando en 3 posiciones.

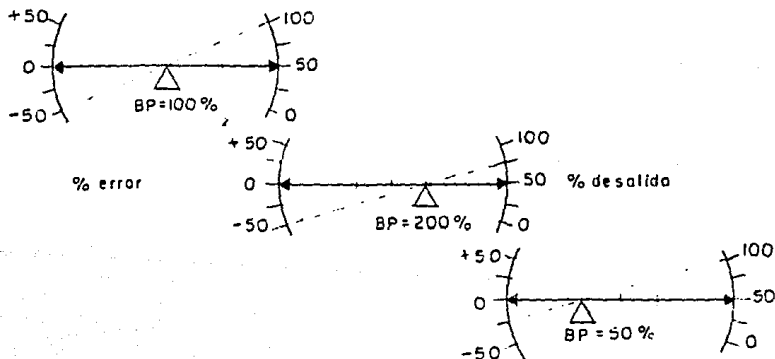


FIG. 2.19 RESPUESTA PROPORCIONAL

Con el pivote en el centro, a), se requiere de un cambio del 100% en la medición, para obtener un cambio del 100% en la salida. Un Controlador ajustado para responder de esta forma, se dice que trabaja con una banda proporcional (BP) de 100%. Si movemos el pivote a la posición de la derecha, b), la medición necesitará cambiar en un 200%, para obtener un cambio del 100% en la salida. En el caso anterior se dice que tiene una banda proporcional de 200%. Finalmente, movemos el pivote a la posición de la izquierda, c), la medición necesita variar en un 50% solamente, para ocasionar un cambio del 100% en la salida. A esto se le llama banda proporcional de 50%. Por lo anterior, mientras más pequeña sea la banda proporcional, mayor será el cambio en la salida, para el mismo cambio en la medición. Esta relación, se ilustra en la Fig. No.20. La gráfica, nos muestra cómo responde la salida del controlador, a medida que la medición se aleja del punto de ajuste. Cada línea representa, un ajuste de banda particular.

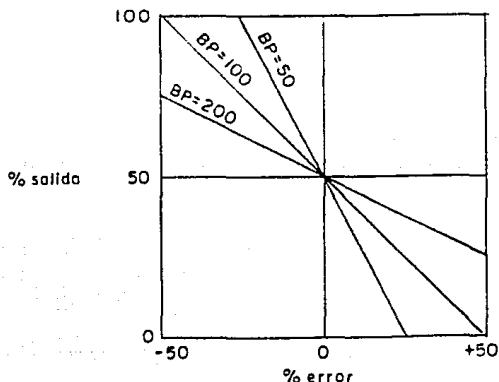


FIG. 2.20

A partir de esta gráfica, se pueden observar dos propiedades básicas del control proporcional:

- 1.- Para cualquier valor de banda proporcional, siempre que la medición sea igual al punto de ajuste, la salida será igual al 50%.
- 2.- Cada valor de banda proporcional define una relación única entre la medición y la salida. Para cada valor de medición existe un valor específico de salida.

Todos los lazos de control de procesos, tienen un valor de banda proporcional, que debe ser el más adecuado. Conforme vamos reduciendo el valor de la banda proporcional, la respuesta del controlador a cualquier cambio, se hace cada vez mayor, hasta llegar a un punto en que causa una variación cíclica constante en la medición, de la misma magnitud y en sentido contrario. A este valor, se le conoce como el último valor de banda proporcional, para ese lazo específico, y es un valor límite, a la hora de realizar los ajustes del controlador.

Si por el contrario, ampliamos demasiado la banda proporcional, la respuesta del controlador a cualquier cambio, se hace cada vez más pequeña, por lo que no será posible controlar la medición. La determinación del valor de banda adecuado, es parte del procedimiento de sintonización del lazo de control.

Idealmente, el valor de banda adecuado, deberá producir un amortiguamiento de un cuarto de la amplitud, en donde la amplitud del siguiente medio ciclo, es la mitad de la amplitud del medio ciclo anterior. (ver Fig.No.21).

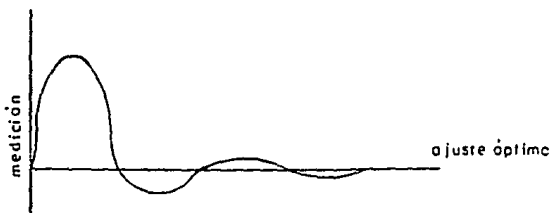


FIG. 2.21 RESPUESTA DE AMORTIGUAMIENTO A 1/4 DE AMPLITUD

Una consecuencia de la aplicación del control proporcional a un lazo de control, es el "error en el estado estable". Lo anterior significa que el controlador, con objeto de restablecer el balance entre la entrada y la salida, mantendrá la medición, en un valor diferente al del punto de ajuste.

Esta diferencia, que será mantenida por el lazo de control, es llamada "error en el estado estable" y es una característica de la aplicación del control de acción proporcional pura, en un lazo de control retroalimentado.

Si el error en el estado estable, puede ser tolerado, entonces el control de acción proporcional pura, es aceptable. Mientras más angosta sea la banda proporcional, menor será el error en el estado estable, ya que al disminuir la banda, disminuye la magnitud del error necesario para causar cualquier salida.

Cuando resulta esencial, que no exista diferencia, entre el punto de ajuste y la medición, en el estado estable bajo todas las condiciones de carga, una función adicional deberá ser incluida en el controlador. A esta nueva función se llama "acción integral".

2.5.3 ACCION INTEGRAL

La respuesta de lazo abierto, para el modo "integral", se muestra en la Fig. No.2.22. No se observará ningún cambio en la salida, mientras la medición permanezca en el punto de ajuste. Sin embargo, cuando existe cualquier diferencia entre la medición y el punto de ajuste, la acción integral hará que la salida, empiece a cambiar, y continúe cambiando mientras el error exista.

Por lo tanto, esta función obliga a la salida, a cambiar su valor hasta alcanzar una posición, en donde obligue a la medición, a mantenerse en el punto de ajuste.

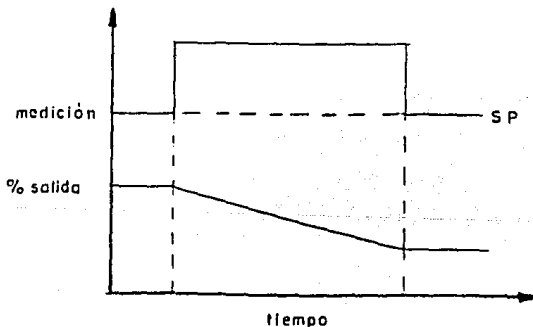


FIG. 2.22 RESPUESTA DE LA ACCION INTEGRAL

Adicionando esta respuesta, a la respuesta de acción proporcional, anteriormente estudiada, obtendremos la respuesta de acción proporcional más integral (P+I), que se muestra en la Fig. No.2.23. Un cambio escalón en la señal de medición, causará primeramente una respuesta de acción proporcional, y después la respuesta de acción integral, que es sumada a la anterior. Mientras mayor cantidad de acción integral tenga el controlador, mayor será la velocidad de cambio de la salida del controlador, debido a esa acción. La acción integral se mide en función del tiempo, ya sea en minutos por repetición, o en repeticiones por minuto. Cuando se mide en minutos por repetición, la acción integral corresponde al tiempo que tarda la salida en alcanzar un cambio de la misma magnitud (a) al ocasionado por el modo proporcional. Por lo tanto, mientras menor sea el tiempo integral RT, mayor será la acción integral.

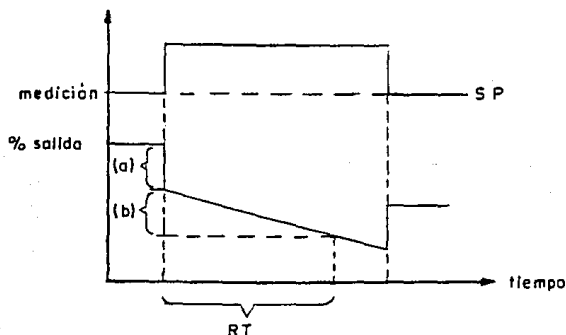


FIG. 2.23 RESPUESTA P+I

La cantidad adecuada de acción integral, depende de qué tan rápido la medición pueda responder, a la cantidad de movimiento adicional, que ocasiona en la posición de la válvula. Lo anterior significa que el controlador, no deberá mover a la válvula más rápido de lo que le permite, el tiempo muerto del proceso, responder a la medición. De lo contrario la válvula alcanzará su límite de abertura, antes de que la medición pueda regresar al punto de ajuste. La válvula se quedará en esa posición, hasta que la medición cruce el punto de ajuste, pasado lo cual, el controlador conducirá a la válvula al extremo opuesto, y así sucesivamente. El resultado será un ciclaje integral en donde la posición de la válvula pasará de un extremo a otro, y la medición estará oscilando alrededor del punto de ajuste.

2.5.4 ACCION DERIVATIVA

La acción derivativa, es el tercer tipo de respuesta que encontramos en un controlador automático. Mientras que la acción proporcional, responde al tamaño de el error, y la acción integral, responde a la magnitud y a la duración del error, la acción derivativa responde a la velocidad de cambio del error. La Fig. 2.24, nos muestra dos respuestas derivativas diferentes. Para una variación en forma de escalón, la velocidad con que la medición se aleja del punto de ajuste, es infinita, por lo que, el modo derivativo causa un cambio considerable o un pico en la salida, que termina casi instantáneamente, debido a que la medición dejó de cambiar después del escalón.

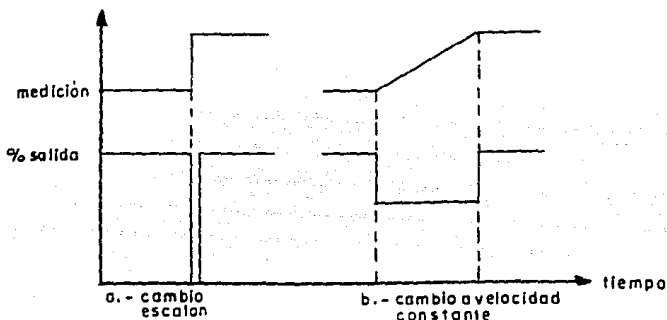


FIG. 2.24 RESPUESTA DE LA ACCION DERIVATIVA

La segunda respuesta de la acción derivativa, es ante un cambio a velocidad constante. La salida de la acción derivativa, es proporcional a la velocidad con que la medición se aleja del punto de ajuste.

Mientras mayor sea la velocidad de cambio, más grande será la salida debida a la acción derivativa. Esta, mantiene su salida mientras la medición siga variando. Tan pronto deje de variar, no importa si queda fuera del punto de ajuste, la acción derivativa cesará. Normalmente, la acción derivativa se mide en minutos, y se define como la cantidad de tiempo que la respuesta proporcional más derivativa, le lleva de delantera a la respuesta proporcional sola, tal como se muestra en la Fig. No.2.25.

2.5.5 RESPUESTA P + I + D

En la Fig. No.2.26, podemos ver, como es la respuesta combinada de acción proporcional, acción integral y acción derivativa (PID), ante una variación en la medición, ocasionada por un cambio en la carga del proceso.

Cuando la medición se empieza a separar del punto de ajuste, la primera respuesta del controlador, es la acción derivativa, que es proporcional a la velocidad de cambio de la medición, y que se opone al movimiento de la medición, alejándose del punto de ajuste. Esta respuesta derivativa, está combinada con la respuesta de acción proporcional. Además, el modo integral observa cómo el error se incrementa, por lo que mueve todavía más a la válvula.

Esta acción conjunta, continúa hasta que la medición deja de cambiar. En ese momento cesa la acción derivativa. Ya que el error no ha desaparecido, la salida sigue incrementándose gracias a la acción integral, hasta que la medición empieza a cambiar nuevamente hacia el punto de ajuste.

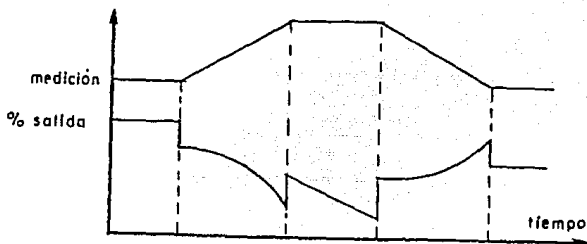


FIG.2.26 RESPUESTA P + I + D DEL LAZO ABIERTO

Tan pronto como la medición empieza a moverse hacia el punto de ajuste, hay una respuesta derivativa proporcional a la velocidad de cambio oponiéndose al regreso de la medición hacia el punto de control. La respuesta integral continúa ya que todavía existe un error, aunque la acción decrece conforme el error disminuye. Tan pronto como la medición alcanza su valor deseado, la respuesta derivativa cesa nuevamente, la salida proporcional regresa al 50% y desaparece el cambio en la respuesta debido al modo integral. Sin embargo, la salida queda estable, en un nuevo valor. Este nuevo valor es el resultado de la acción integral durante el tiempo en que la medición fue diferente al punto de ajuste, y compensa el cambio de carga que originó la perturbación.

2.6 RESUMEN

El propósito de cualquier lazo de control es encontrar un valor para la señal de control, que pueda mantener a la señal de medición en el punto de ajuste seleccionado, para las condiciones de carga existentes. El problema, se puede encarar ya sea en forma de lazo retroalimentado, o antealimentado.

Resulta fundamental tener los elementos necesarios para identificar las características del proceso por controlar, ya que en ello se basan la selección del tipo de controlador adecuado y los ajustes necesarios.

Para resolver el problema del control, es importante entender claramente los siguientes puntos:

- 1.- El control automático se alcanza solamente si el lazo está cerrado.
- 2.- El ajuste más importante que se le hace a un controlador, es la selección apropiada de la acción del mismo, ya sea directa o inversa.
- 3.- El ajuste de los valores de banda proporcional, tiempo integral y tiempo derivativo, depende de las características del proceso. La banda proporcional es el ajuste de sintonía básico de un controlador.
- 4.- La función del modo integral es eliminar el error en el estado estable.
- 5.- La acción derivativa se opone a cualquier cambio en la medición.

CAPITULO III

CONTROL DE PROCESOS DISCONTINUOS

3.1 GENERALIDADES

Las aplicaciones del control de procesos por lotes se encuentran en toda la gama de las industrias de proceso, desde la química, farmacéutica, alimentaria, hasta en la de manufactura de partes.

Estos sistemas combinan la regulación de variables continuas y el control de dispositivos discretos, de acuerdo a una secuencia de operaciones predeterminada.

Los procesos por lote difieren enormemente entre ellos, y a pesar de que resulta difícil describir alguno en particular, normalmente involucran la coordinación de todas o algunas de las siguientes funciones:

- Control discreto (dos posiciones)
- Control regulatorio (P + I + D)
- Secuencias
- Decisiones lógicas
- Manejo de recipientes
- Temporizaciones
- Cálculos
- Modos de Falla
- Condiciones de alarma
- Intervención del operador

El sistema de control de un proceso por lotes, necesita tener la facilidad de desarrollar, por lo menos las funciones anteriores, de manera que las operaciones típicas de la producción de un lote, puedan llevarse a cabo. Por ejemplo:

- 1 - Cargar los materiales a los tanques o reactores.
- 2 - Medir los materiales mientras son cargados.
- 3 - Ajustar los puntos de referencia de las variables de proceso (temperatura, presión, nivel, flujo, etc) según se requiera.
- 4 - Usar un generador de rampa para manejar los puntos de referencia de los controladores, hacia arriba o hacia abajo.

- 5 - Transferir los materiales de un tanquete hacia otro, al termino del proceso, o en etapas intermedias.

La versatilidad de un sistema de control para proceso por lotes, determina la efectividad en su aplicación. Deberá poder manejar, tanto señales de entrada/salida discretas (pulsos, contactos, etc) así como señales analógicas CMV, corriente, etc. debido a la gran variedad de sensores y actuadores que son usados en un proceso por lotes.

El sistema, además, deberá ser capaz de :

- 1.- Implementar control retroalimentado así como estrategias de control avanzadas.
- 2.- Desempeñar funciones lógicas de enclavamientos y secuencias de eventos.
- 3.- Realizar cálculos matemáticos tales como, balances de materia y energía.
- 4.- Almacenar información en forma masiva, por ejemplo, los datos históricos del comportamiento de las principales variables de proceso, presión y temperatura, o diferentes recetas, para la carga de las materias primas y operación del reactor.
- 5.- Coordinar la operación de múltiples unidades de procesamiento.

Los fabricantes de equipo, dicen tener los elementos de "hardware" y "software", diseñados para el tipo de operaciones de una planta de producción por lotes.

Los fabricantes tradicionales de sistemas de control, ofrecen Sistemas de Control Distribuido para cualquier tipo de aplicaciones. Por otro lado los fabricantes que históricamente se han dedicado al manejo de operaciones discretas, basan sus sistemas para procesos por lotes en controladores lógicos programables (PLC'S). Algunos proveedores mezclan ambos equipos en sus sistemas, e incluso, hay quienes piensan que las computadoras personales, con una adecuada interfase de entradas y salidas, y un software corriendo en un sistema operativo multitareas, en tiempo real, son la próxima generación de sistemas para procesos por lotes.

Actualmente, los sistemas disponibles pueden manejar recipientes, desempeñar secuencias, regular los valores de las variables de proceso y llevar un registro de los lotes, para satisfacer los controles de calidad. Sin embargo no existe consenso respecto a como estas funciones deben ser implementadas. El mayor problema de estos sistemas, es que son adaptaciones de sistemas diseñados para procesos continuos. Ignoran algunas de las diferencias fundamentales respecto a como debe funcionar un sistema de control, en un medio ambiente diferente.

Los procesos continuos operan, ya sea en, o cerca de, el estado estable. El valor de las variables del proceso deben permanecer en el valor deseado. Los sistemas de control para procesos continuos trabajan para minimizar las fluctuaciones de las variables de proceso, causadas por disturbios externos o cambios en el punto de referencia. Esto normalmente se logra mediante incrementos o decrementos de los flujos de materia y energia que entran y salen del proceso, en forma continua.

Los equipos y los sistemas operativos de aplicación necesarios para implementar estas estrategias de control, estan dentro del alcance que ofrece la tecnologia actual. Se espera que el operador supervise el proceso y que intervenga solo en circunstancias anormales. Tomará alguna acción solamente cuando el proceso atravesase por un periodo de transición, y no se le requerirá mientras el proceso se halle en estado estable. A diferencia de los procesos continuos, los procesos por lotes son transicionales bajo condiciones normales. Materiales y equipos estan continuamente cambiando de estado. A pesar de las diferencias inherentes, las interfases del operador disponibles en el mercado para una aplicación discontinua, son esencialmente las mismas que las utilizadas en los sistemas continuos.

Para mostrar una planta en equilibrio, una página de la consola del operador, mostrando las condiciones del proceso puede ser suficiente. Los desplegados de pantalla usados actualmente en los sistemas de control distribuido son en realidad sustitutos para los indicadores, registradores y mimicos de los tableros neumáticos y electrónicos. Estos han probado ser efectivos y confiables para manejar procesos continuos. Sin embargo en una planta de operación por lotes el operador requiere algo más que las condiciones puntuales del proceso, necesita, por ejemplo saber cual es el siguiente paso o etapa del procesamiento de cada recipiente de la planta.

El problema consiste en como presentar la información al operador, de manera que represente realísticamente la dinámica de transición del proceso discontinuo.

La confiabilidad y la capacidad de recuperación del sistema de control, ante errores o fallas, es un punto de suma importancia. El estado de un lote no puede ser determinado por las mediciones en un instante en particular. De manera que reinicializar el procedimiento despues de una falla del sistema de control, será una tarea muy difícil, a menos que se conozca la historia completa del lote.

El "software" o sistema operativo de aplicación es otro punto de discusión. Lenguajes de programación tales como el FORTRAN o el BASIC han probado ser ineficientes en aplicaciones discontinuas complejas.

Además, los sistemas basados en lógica de relevadores (diagramas de escalera), no son muy bien aceptados en las industrias de proceso. Sin embargo, un buen número de proveedores ofrecen lenguajes de programación especializados para control de procesos por lote. Los sistemas de control distribuido para procesos discontinuos, son rentables, ya que reducen los retardos y regulan la demanda de servicios, administrando los recursos fijos. Un periodo de recuperación, que fluctúa entre cuatro y veinticuatro meses, es común en este tipo de proyectos, por lo que resulta, una oportunidad muy atractiva de inversión en la industria química.

Krigman (3), enlista las siguientes áreas de oportunidad:

- Incremento en la producción, reduciendo el ciclo de operación y mejorando la conversión.
- Mejorar la calidad del producto, a través de mayor repetibilidad.
- Reducción del costo de operación, maximizando el uso de materias primas y servicios auxiliares.
- Elevar el nivel de seguridad de la planta, mediante una mejor supervisión del proceso. Facilitar la operación de responder rápidamente, a las perturbaciones y situaciones anormales que se presentan.

Bansal (4), predice que en el futuro, los sistemas serán más sofisticados, y permitirán alcanzar los niveles de automatización, que demanda la industria para mejorar la calidad, aumentar la producción, así como, para optimizar el uso de la energía, mejorando la productividad. Además, establece que la evolución de los sistemas actuales, los llevará a cubrir las siguientes características:

- Arquitectura abierta.
- Redundancia o tolerancia de fallas, para asegurar la disponibilidad continua del sistema.
- Herramientas de diagnóstico extensivas, en línea y fuera de línea.
- Desplegados gráficos interactivos, para operación y manejo de funciones avanzadas de ingeniería de control.
- Modos de simulación, para probar cambios propuestos, antes de implementarlos en línea.
- Manejo histórico de la información recuperada, para el control estadístico de la producción.
- Disponibilidad de la información del proceso, en el momento que sea requerida.
- Sistemas de operación expertos, basados en inteligencia artificial.
- Independencia del "Hardware" y el "Software".
- Estandarización de los protocolos de comunicación, y de los sistemas operativos.

3.2 CONTROL DE REACTORES DE TANQUE AGITADO POR LOTES

A pesar de que el progreso de la industria química ha sido en dirección de los procesos continuos, algunas reacciones serán inevitablemente conducidas por lotes.

Un proceso por lotes consiste en varias etapas, como las listadas a continuación, aunque se encuentran variaciones considerables dependiendo, del producto en cuestión:

- 1.- Carga del reactor con reactivos y catalizador.
- 2.- Calentamiento hasta alcanzar temperatura de operación.
- 3.- Permitir que proceda la reacción hasta completarse.
- 4.- Calentar o enfriar a la temperatura de terminación o curado.
- 5.- Enfriar y vaciar el reactor.

Aun el proceso por lotes más sencillo, la temperatura y su control, juegan un papel determinante en el desarrollo del lote. Los reactores de producción son tanques enchaquetados con agitación, de varios miles de litros de capacidad.

Si la reacción es de primer orden la conversión varía con el tiempo (t) de acuerdo con la ecuación:

$$Y = 1 - (e)^{-kt} \quad \text{-----} \quad (3.1)$$

La velocidad de conversión es la derivada de la ecuación 3.1 :

$$\frac{dY}{dt} = k (e)^{-kt} \quad \text{-----} \quad (3.2)$$

La velocidad es mayor cuando la conversión es menor, i.e. al tiempo cero.

La mayoría de las reacciones de polimerización son de segundo o de tercer orden, ya que dependen de la combinación simultánea de dos o más moléculas de monómeros para formar un polímero.

En una reacción de segundo orden, la velocidad depende del cuadrado de la concentración del reactivo.

$$\frac{dx}{dt} = -k x^2 \quad \text{-----(3.3)}$$

dividiendo ambos lados de la ecuación entre $(-x^2)$ e integrando obtenemos"

$$\int_x^x \frac{dx}{x^2} = \int_0^t -k dt$$

$$\frac{1}{x} - \frac{1}{x} = kt$$

Substituyendo para x podremos encontrar la conversión y su velocidad de cambio:

$$Y = \frac{1}{1 + 1/kx} = \frac{k t x}{1 + k t x} \quad \text{-----(3.4)}$$

$$\frac{dY}{dt} = \frac{k x}{(1 + k t x)^2} \quad \text{-----(3.5)}$$

La velocidad de conversión, también es la velocidad de producción en un reactor discontinuo por lotes, y cuando la reacción es exotérmica, es proporcional a la evolución del calor de reacción, por lo tanto, se deberá tener especial cuidado en el control de la temperatura del reactor.

3.3 CONCEPTOS DE CONTROL DE LOTES.

La mayoría de los fabricantes dividen sus sistemas de control para lotes en tres diferentes niveles. El primer nivel corresponde al control discreto y regulatorio. El segundo nivel corresponde al control secuencial de las operaciones de cada unidad de procesamiento en particular y el nivel superior corresponde al control secuencial de cada ciclo de la operación discontinua global. El operador manipula el ciclo de cada lote, mismo que determina los procedimientos para cada unidad, que a su vez manipulan los controles discretos y de regulación.

En el primer nivel, el control regulatorio utiliza el mismo controlador retroalimentado de tres modos $P + I + D$ utilizado en los procesos continuos. Pero además, el control regulatorio debe desarrollar a través del ciclo perfiles determinados de las variables de proceso y de los puntos de ajuste.

En ese mismo nivel, el control lógico actúa sobre los dispositivos de control discreto, realizando los enclavamientos necesarios por razones de seguridad. Los dispositivos discretos, son también manejados por medio de secuencias basadas en la sucesión de eventos programados de acuerdo a las necesidades del proceso.

En el nivel de control secuencial de las operaciones, tanto los dispositivos de control discretos como los de control regulatorio son coordinados, para el manejo de cada una de las unidades. Operaciones tales como calentamiento, enfriamiento y reacción se llevan a cabo en este nivel junto a las operaciones de carga y descarga, contención y distribución, así como las interrupciones temporales para permitir la intervención manual del operador.

En el nivel de control del ciclo de producción, las operaciones de cada unidad, son coordinadas y programadas para la utilización óptima del tiempo y la energía. Las recetas de cada producto son manipuladas en este nivel, así como también la identidad de cada lote, para desarrollar el historial de producción con miras en un control eficiente de la calidad.

3.3.1 CONTROL DISCRETO

Las diferentes etapas del procesamiento de un lote, se verifican en el mismo equipo de proceso. Se requiere de manipular diferentes tipos de equipos operativos, tales como válvulas, bombas, agitadores, etc.

Para hacerlo mediante un sistema automático de control, es necesario contar con una interfase para interactuar con dicho equipo. Lo anterior se realiza mediante el uso de dispositivos discretos de control tales como interruptores comunes, relevadores, luces de indicación, interruptores de límite, solenoides, etc. que normalmente operan con suministro de 120 Volts c.a.

La mayoría de estos dispositivos discretos involucran en su operación a más de una señal discreta. Por ejemplo, para actuar una válvula de dos posiciones, nos toma una señal discreta para hacer el control de la válvula, otra para indicarnos que esta abierta y otra para indicarnos que esta cerrada. La tabla no. 3.1 nos muestra el estado de estas señales discretas, usando numeración binaria para representar los dos estados posibles.

POSICION DE LA VALVULA	SALIDA HACIA LA SOLENOIDE	INTERRUPTOR DE LIMITE CERRADO	INTERRUPTOR DE LIMITE ABIERTO
CERRADO	0	1	0
ABIERTO	1	0	1

TABLA NO. 3.1

El operador que manipula este dispositivo normalmente, debe verificar que las acciones tomadas hayan dado como resultado la respuesta deseada.

Quando un dispositivo es operado automaticamente su posición debe ser verificada automaticamente. Usando la tabla anterior la lógica de verificación es la siguiente:

"Si la solenoide no esta energizada y el interruptor de limite cerrado no esta cerrado, o si la solenoide esta energizada y el interruptor de limite abierto no esta cerrado, entonces activa una condición de alarma despues de permitir por un tiempo definido, el viaje del vastago de la válvula, a través de su trayectoria. (ver diagrama en la fig. No. 3.1).

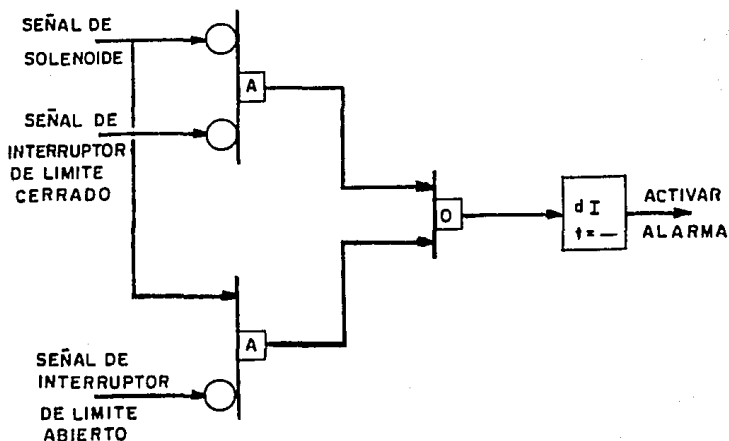


FIG.3.1 LOGICA DE VERIFICACION

Los enclavamientos (candados lógicos) son necesarios por muchas razones, entre las que las que se encuentran la seguridad de los operadores y la protección a los equipos de proceso.

Existen dos tipos de enclavamientos básicos: los enclavamientos por fallas y los enclavamientos permisivos.

Los enclavamientos por fallas son continuos y estan asociados con el paro de algun equipo. Un interruptor de alto nivel en un tanque puede estar enclavado con la válvula de llenado. Cuando el interruptor de nivel sea accionado por el liquido causará el cierre de la válvula previniendo que éste se derrame.

Un enclavamiento permisivo es usado cuando una condición especifica debe existir antes de que alguna otra acción sea tomada. La figura 3.2 nos muestra un reactor que no deberá ser cargado, a menos que la válvula de venteo este abierta y la válvula de salida cerrada.

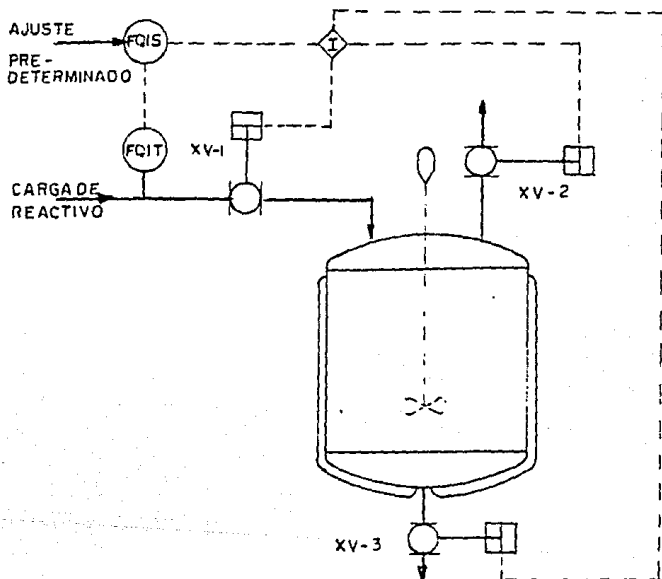


FIG.3.2 REACTOR CON ENCLAVAMIENTO PERMISIVO

3.3.2 SECUENCIAS.

Durante el procesamiento de un lote, la posición de los dispositivos de control discreto, varía de acuerdo a una secuencia específica. Para proseguir hacia el siguiente paso dentro de la secuencia, deberá accionarse un gatillo. El gatillo puede ser accionado por la verificación de un evento, tal como el cierre de una válvula o alcanzar un nivel determinado. Así mismo, el paso de un tiempo prefijado en un temporizador puede accionar el gatillo y provocar que la secuencia se mueva hacia el siguiente paso.

En la mayoría de los casos, tanto el tiempo, como la verificación de un evento, son acciones que permiten el desarrollo de una secuencia.

Algunas veces, un simple enclavamiento puede aparecer dentro de una secuencia, pero puede ocasionar un problema. Consideremos el reactor de la figura 3.2. El lote prosigue de acuerdo a la siguiente secuencia:

- 1.- Verificar enclavamientos permisivos.
- 2.- Cargar reactor.
- 3.- Encender agitador y cerrar válvula de venteo.
- 4.- Calentar hasta 350 F (176.7 C)
- 5.- Sostener durante una hora.
- 6.- Enfriar a 200 F (93.3 C)
- 7.- Vaciar recipiente.

Si la válvula xv-1 estuviese enclavada simplemente con el totalizador de flujo FIQ, todo marcharía en orden, hasta que por error el contador sea reajustado a cero en cualquier otro paso que no sea el No.1. Como resultado de esta acción equivocada el reactor se cargaría con más reactivo que el prefijado al inicio de la operación. El control secuencial deberá considerar un permiso para hacer la carga del reactor.

3.3.3. OPERACIONES

Una operación es la combinación de acciones que se verifican en un grupo de equipos.

Cada operación es una sucesión de eventos en el tiempo en donde se desarrolla el control secuencial de un lote.

Para planear las estrategias de control de la planta, esta, deberá ser dividida en grupos de equipos o unidades. Estos equipos, deberán tener frontera e identidad bien definida. Normalmente, las unidades son operadas en serie o en paralelo a otras unidades en la planta.

Una operación es un juego de instrucciones que definen el cómo debe ser controlada y monitoreada una unidad determinada. Los dispositivos de control discreto y regulatorio deben coordinarse para desarrollar las múltiples tareas de control en una unidad. Cada operación deberá tener un nombre único, por ejemplo: CARGA, REACCION, RECALENTAMIENTO Y ENFRIAMIENTO, etc. Un gran número de operaciones diferentes se pueden llevar a cabo en una misma unidad y una misma operación puede repetirse en todas las unidades.

En una unidad, podemos reconocer los siguientes estados operativos:

- Fuera de servicio.
- Listo.
- Activo.
- Detenido.
- Espera.
- Falla.
- Fuera por falla.

Cuando una unidad esta en "Fuera de servicio" se encuentra inhibida para realizar cualquier procesamiento, hasta el momento en que se inicializa un ciclo de procesamiento.

Cuando una unidad se encuentra operativa y en espera de comenzar la operación siguiente, se dice que la unidad esta en estado de "listo".

Posteriormente cuando se le asigna una operación a la unidad y ésta progresa a través de una secuencia, entonces la unidad esta en estado "Activo".

En el estado "Inactivo", el operador puede intervenir en la operación. Cuando el operador cambia de "Activo" a "Inactivo", la unidad continua activada hasta encontrarse con el punto de detención. Los puntos de detención pueden ser contemplados dentro de una fase operativa. Para continuar la operación, el operador debe regresar el estado de "Inactivo" a "Activo".

El estado de "Espera" es similar al de "Inactivo" pero la espera no es iniciada por el operador; esta es preprogramada e iniciada por la operación misma. En este estado, la unidad espera que el operador responda alguna solicitud como por ejemplo, alimentar un dato de laboratorio.

Cuando la operación es forzada a una secuencia de paro de emergencia, entonces la unidad está en "Falla". Este se presenta por la detección de una falla en el sistema, o por la activación de un comando de paro debido a condiciones anormales en el proceso.

El paso final de una secuencia de paro de emergencia, es el estado "Fuera por falla", en donde la unidad se encuentra inhibida para realizar o continuar cualquier operación, y no podrá cambiar de estado a menos que se restablezca o elimine la falla que la provocó.

3.3.4 CONTROL DE CICLOS.

En este nivel de control, considerado como el más elevado, se desarrollan las tareas de identificación y programación del itinerario de una producción para cada lote. La identificación de cada lote, es importante para poder rastrearlo a lo largo del tren de producción, así como para almacenar información específica relacionada con él, y generar reportes al final de la producción, y/o analizar tendencias históricas de las variables de proceso. Las recetas que contienen las instrucciones de fabricación, también se administran en este nivel, siguiendo las políticas de producción y comercialización en base a la oferta y demanda de cada producto en el mercado.

3.4 CONTROL REGULATORIO.

El control regulatorio de un proceso por lotes, es igual al control regulatorio de un proceso continuo. Involucra el monitoreo y la manipulación de las variables de proceso en la misma forma. El proceso por lotes sin embargo, es discontinuo y esto agrega una nueva dimensión al control regulatorio, debido a los constantes paros y arranques. Durante estos estados transitorios, los parámetros de control, como por ejemplo, la ganancia del controlador, deben poder ajustarse para obtener la respuesta dinámica óptima.

Debido a la naturaleza misma de los procesos por lotes, si esperamos que el lazo de control regulatorio, funcione adecuadamente, debe estar preparado para manejar las siguientes consideraciones :

- Los tiempos ociosos entre lotes (paros y arranques).
- La saturación del controlador durante los tiempos ociosos.
- Los cambios frecuentes en las recetas de fabricación.
- El cambio de grado en los productos.

Los circuitos básicos de control regulatorio en un lote son: el flujo, la temperatura, la presión, y la composición.

La complejidad de un proceso por lotes, puede ser apreciada en el ejemplo que se muestra en la figura (3.3). Tres ingredientes son alimentados a un reactor; un controlador de peso controla la adición de cada componente. Los sistemas de calentamiento y enfriamiento utilizan controles de temperatura y de flujo. Durante cada fase de la reacción, los vapores que produce son llevados hacia una columna de destilación con reflujo. Supongamos que cada lote se lleva aproximadamente 3 horas, entonces cada tres horas los circuitos de control regulatorio deben ser interrumpidos y reinicializados en el siguiente lote.

Los problemas surgen con frecuencia en los sistemas de medición de las variables, que se deben tomar en consideración, al preparar la estrategia de control regulatorio. Por ejemplo, condiciones extremas de presión, o de temperatura, pueden causar errores en la medición de la composición. Uno de los problemas más frecuentes, es el ocasionado por el retraso en el tiempo de la medición de temperatura. A pesar de que la mayoría de los sistemas tienen medición directa y continua de temperatura, presión, y flujo, la composición es más difícil de medir en línea. El ajuste de los controles de las demás variables, puede depender del análisis periódico de la composición en el laboratorio.

Puesto que los reactores por lotes son muy comunes como procesos discontinuos, utilizaremos ejemplos basados en reactores por lotes. Los mismos conceptos aplican para cualquier proceso por lotes. La figura (3.4) muestra con lazo típico de control de temperatura. El lazo está formado por un proceso (el reactor), un transmisor, un controlador, y dos elementos finales de control (válvulas de control), para proporcionar, tanto medio de calentamiento como de enfriamiento. Este es un ejemplo de elementos finales de control con rango dividido.

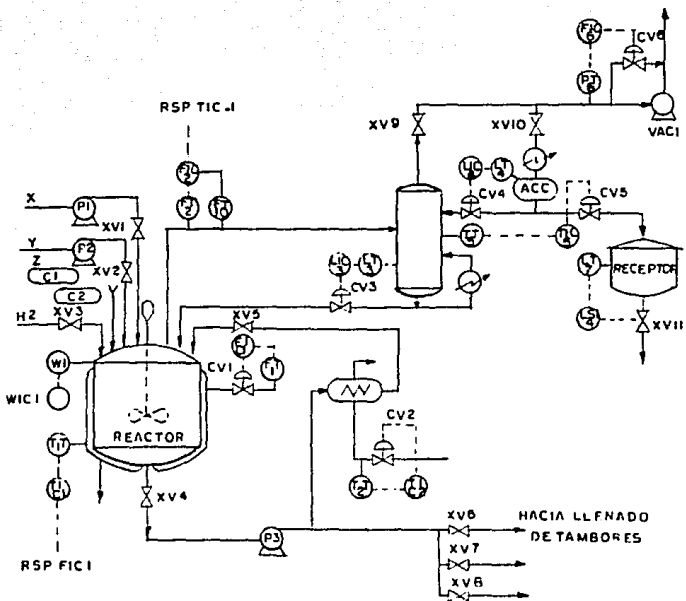
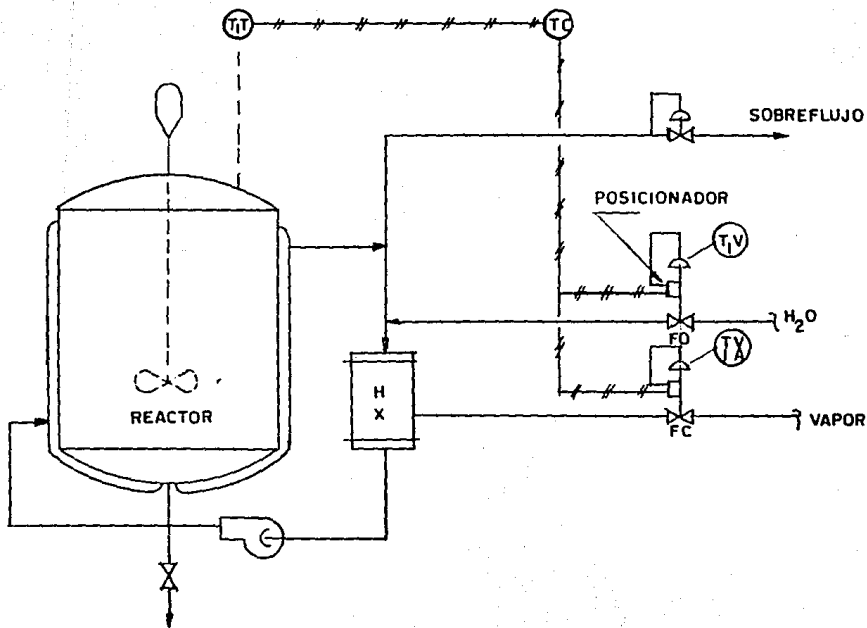


FIG. 3.3 EJEMPLO DE UN PROCESO POR LOTES

FIG. 3.4 CONTROL DE TEMPERATURA DE UN REACTOR POR LOTES



La válvula de control de agua deberá estar completamente abierta al 0% de salida del controlador y completamente cerrada al 50%, mientras que la válvula de vapor deberá estar completamente cerrada a 50% de salida del controlador y completamente abierta al 100%. En este ejemplo, existen limitaciones en el circuito de control retroalimentado, bien definidas:

- A) El control perfecto no es obtenible mediante los circuitos retroalimentados, puesto que un error medible debe existir antes de que una acción de control pueda tener lugar.
- B) Para este lazo de temperatura, normalmente se utilizaría un controlador de 3 modos (P + I + D). Mientras exista una desviación del punto de ajuste, el modo integral hará cambiar la salida del controlador. Si la desviación se sostiene por un periodo lo suficientemente largo, la salida del controlador se saturará ya sea en el extremo superior o en el inferior dependiendo de la dirección de la desviación. Como resultado, cuando la medición finalmente alcance el punto de ajuste, continuará su trayectoria ocasionando un descontrol no deseable. Este tipo de desviación sostenida es muy común durante el arranque de los reactores por lote.
- C) Este lazo de control de temperatura es muy sensible a las variaciones de presión en los cabezales de agua de enfriamiento y de vapor.

3.4.1. SATURACION DEL REAJUSTE AUTOMATICO.

Para un máximo rendimiento a un costo mínimo y en el menor tiempo, cada proceso por lote tiene sus condiciones óptimas. Normalmente, una variable de proceso deberá observar un perfil determinado en el tiempo, y la estrategia de control se conforma y el controlador se sintoniza de acuerdo a ese perfil. La calidad del producto y el uso eficiente de la energía nos obliga a hacer énfasis en un mejor control, por lo que no es posible vivir con el error en el estado estable, inherente al controlador proporcional puro.

Cuando el proceso debe ser controlado exactamente en el punto de referencia, se deberá adicionar al controlador el modo integral de reajuste automático. Sin embargo, una desviación prolongada de la medición respecto al punto de ajuste, causará la saturación del modo integral en el controlador.

Lo anterior significa que la salida del controlador se desplazará hasta su valor máximo o mínimo, dependiendo de la dirección de la desviación. Para comprender mejor el efecto anterior, analizamos la ecuación de presión para un controlador neumático (P+I) que se presenta a continuación:

$$P_o = (100/BP) (\text{ERROR}) + PR \text{ ----- (3.6)}$$

$$P_o = (100/BP) (r-m) + PR \text{ ----- (3.7)}$$

donde:

P_o = Presión de salida del controlador
 BP = Banda proporcional
 PR = Presión en la cámara de reajuste
 r = Punto de referencia del controlador
 m = Variable medida

Ante una desviación sostenida, la salida P_o se incrementará hasta su valor máximo [18 psig (1.24 bar) para una alimentación de 20 psig (1.38 bar)] o se decrementará a su valor mínimo de 0 psig (1.01 bar). En los sistemas de control de lotes, es común observar desviaciones sostenidas durante la fase de arranque.

Consideremos el arranque del sistema de control de reactor de la fig. 3.4, cuando el arranque es en automático el punto de referencia del controlador de temperatura se ajustará a la temperatura de operación deseada.

Si el contenido del reactor al inicio se encuentra a una temperatura de 150 C y la temperatura de operaciones es de $T_{op} = 200$ C, existirá una desviación considerable entre la medición y el punto de referencia. Puesto que le llevará bastante tiempo al sistema de calentamiento elevar la temperatura de la masa contenida en el reactor, la desviación se sostendrá durante el mismo lapso. El incremento de entrada de calor es proporcional al incremento de la salida del controlador. La acción integral del controlador responderá a la desviación sostenida forzando la salida del mismo a su máximo valor. Lo anterior equivale a desplazar el rango activo de la banda proporcional completamente arriba del punto de ajuste (fig.3.5). No será suficiente que la variable alcance el punto de referencia, sino que lo sobrepase, ya que el controlador reacciona hasta que la medición es igual al punto de ajuste y la válvula empieza a estrangular el flujo de vapor al entrar al rango activo de la banda proporcional. A este fenómeno se le conoce como sobretiro y en este esquema de control es inevitable.

El modo derivativo puede ayudar a minimizar el sobretiro cuando está presente en el controlador, pero no lo elimina por completo. Sin embargo, es importante hacer notar que la acción derivativa deberá actuar sobre la medición y no sobre la salida del controlador, ya que de ser esto último no tendría el mínimo efecto benéfico para evitar el sobretiro.

Con la derivativa actuando sobre la medición, su respuesta hace que el controlador actúe como si la medición ya hubiese rebasado el punto de ajuste antes de que esto suceda en realidad.

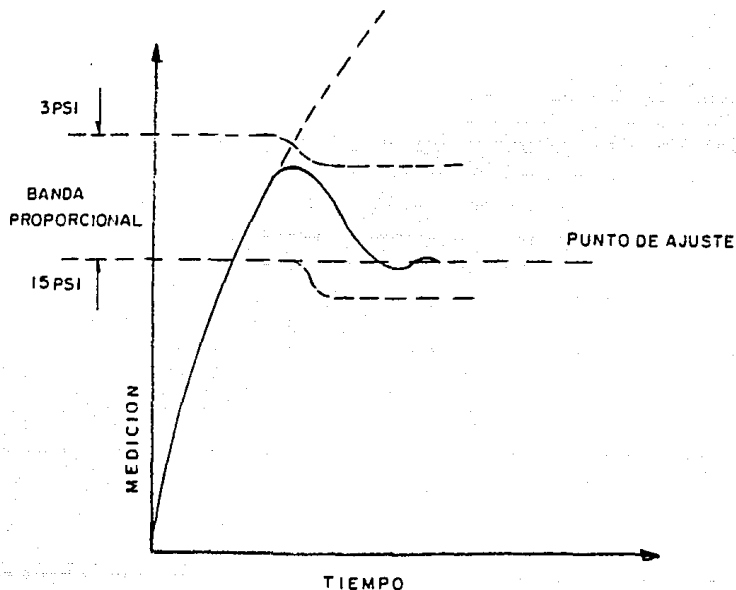


FIG. 3.5 SOBRETIRO POR SATURACION DEL REAJUSTE AUTOMATICO.

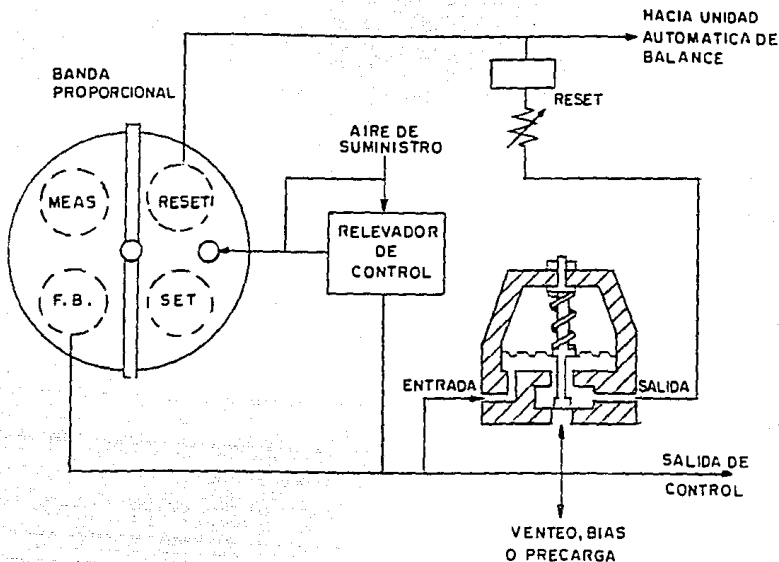


FIG. 3.6 CONTROLADOR P + I CON INTERRUPTOR "BATCH"

3.4.1.1 INTERRUPTOR ANTISATURACION (BATCH SWITCH).

En aquellos casos en donde el modo derivativo no resuelve satisfactoriamente el problema de sobretiro, deberá considerarse el uso de un interruptor "BATCH" (relevador de antisobretiro). El interruptor "BATCH" evita la saturación del modo integral suministrando una carga artificial a la cámara del reajuste automático. Para implementar un sistema de este tipo se requiere tener acceso a la cámara de reajuste o integral, y de poder aislar el modo integral de la salida del controlador. Este último fuerza al controlador a actuar bajo la acción de un solo modo de control, el proporcional, mientras el interruptor "BATCH" este activado.

El diagrama esquemático de un controlador P + I con interruptor "BATCH" se muestra en la figura 3.6. El interruptor es actuado por la salida del relevador de control. Se ajusta mediante un resorte o una señal neumática externa para dispararse a 15 PSI (1.03 bar).

Cuando la salida del controlador esta por debajo de esta presión, la válvula cierra el puerto de venteo y permite el paso de la salida del relevador de control hacia el circuito integral. Esto permite una respuesta normal del modo integral, mientras que la medición permanezca dentro de la banda proporcional [(abajo de 15 PSI (1.03bar)]. Cuando la medición se aproxima al limite de 15 PSI (1.03 bar) del rango activo a la banda proporcional, la fuerza sobre el diafragma del interruptor asentarà la válvula de bola en la dirección opuesta. Esta acción interrumpe la alimentación del relevador de salida y al mismo tiempo ventea la presión del circuito de ajuste a la atmósfera.

Mientras la presión de salida del relevador permanezca por encima del punto de disparo, la presión del circuito de reajuste seguirá disminuyendo hasta 0 PSIG (1.01 bar) dentro de los fuelles de reajuste. En este punto, el rango activo de la banda proporcional habrá descendido por debajo del punto de ajuste como lo muestra la figura 3.7. Durante todo este lapso, la salida del controlador se mantiene en 15 PSI (1.03 bar) o más, y la válvula se encuentra completamente abierta. Cuando el proceso "BATCH" es reinicializado, la válvula de control empezará a estrangular tan pronto la medición alcance el limite de 15 PSI (1.03 bar) del rango activo de la banda proporcional. Además, tan pronto y la salida del relevador de salida disminuya por abajo de las 15 PSIG (1.03 bar), la acción integral, el circuito de reajuste automático se restablecerá y responderá normalmente. De esta manera se evita la tendencia a sobrepasar el punto de ajuste.

3.4.1.2. PRECARGA

Para algunos procesos con características específicas, la banda proporcional completamente por debajo del punto de ajuste causará un retraso intolerable en la respuesta de la medición en su camino al punto de ajuste. En tales casos, se aplica una presión ajustable de respaldo en el punto de venteo del interruptor "BATCH". De esta manera evitamos que la presión en el circuito de reajuste caiga por debajo de un punto predeterminado o "PRECARGA", y con esto se logra que el rango activo de la banda proporcional se desplace solo parcialmente por debajo del punto de reajuste. A pesar de que esto permite una más rápida recuperación, un pequeño sobretiro podrá ocurrir si el "Bias" es demasiado grande. Si incrementamos el "Bias" hasta 15 PSI(1.03 bar), habremos obviamente eliminado la acción del interruptor "BATCH". fig.3.8

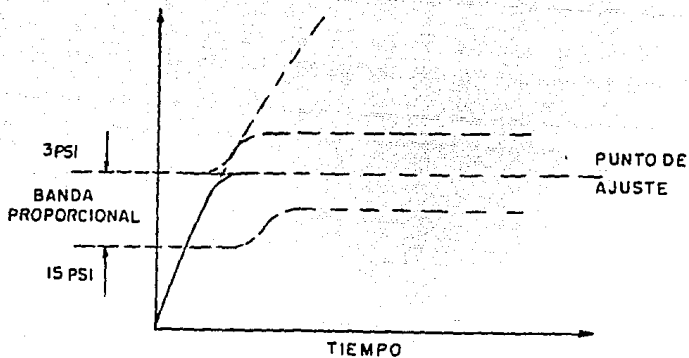


FIG. 3.7 EFECTO DEL INTERRUPTOR ANTISATURACION

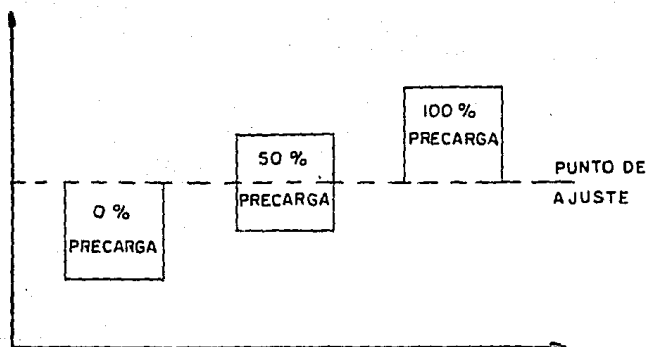


FIG. 3.8 EFECTO DE LA PRECARGA EN LA BANDA PROPORCIONAL

3.4.2 SISTEMA DE CONTROL EN CASCADA

Un sistema de control en cascada consiste en un controlador primario o maestro controlando la variable que debe ser mantenida en un punto fijo predeterminado (temperatura de reacción), y un segundo controlador, el secundario o esclavo, controlando a otra variable (temp. de salida de la chaqueta) que causa fluctuaciones en la primera variable.

El controlador primario posiciona el punto de ajuste del secundario, quien a su vez manipula las válvulas de control (ver fig. 3.9).

El objetivo del sistema de control en cascada es el mismo que el de cualquier otro lazo de control sencillo. Su función es lograr un balance entre el suministro y la demanda y mantener a la variable controlada en el valor constante requerido. Sin embargo, el controlador secundario es introducido para reducir los retrasos, ocasionados por la inercia de variables tales como la temperatura de lote, para hacer la operación más precisa y eficiente.

La técnica del control en cascada se muestra en forma esquemática en la figura 3.10.

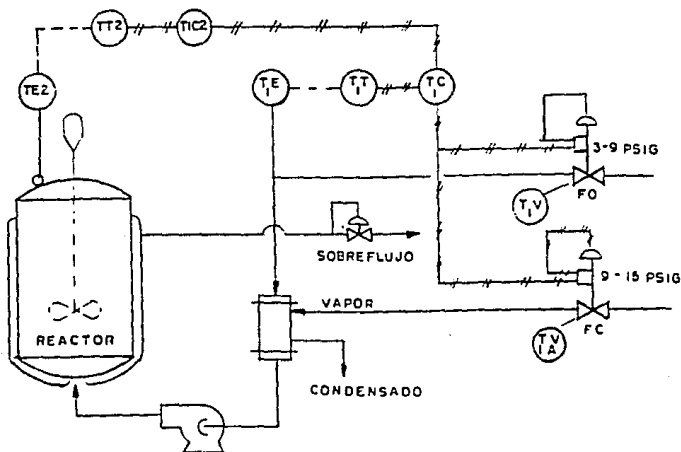


FIG. 3.9 SISTEMA DE CONTROL EN CASCADA

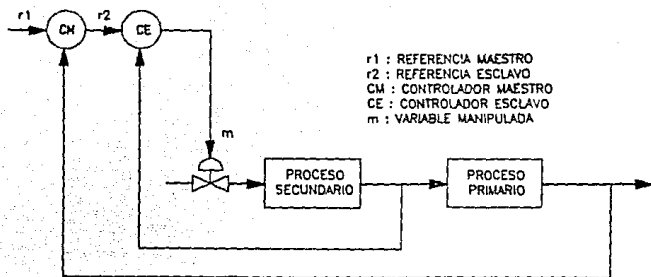


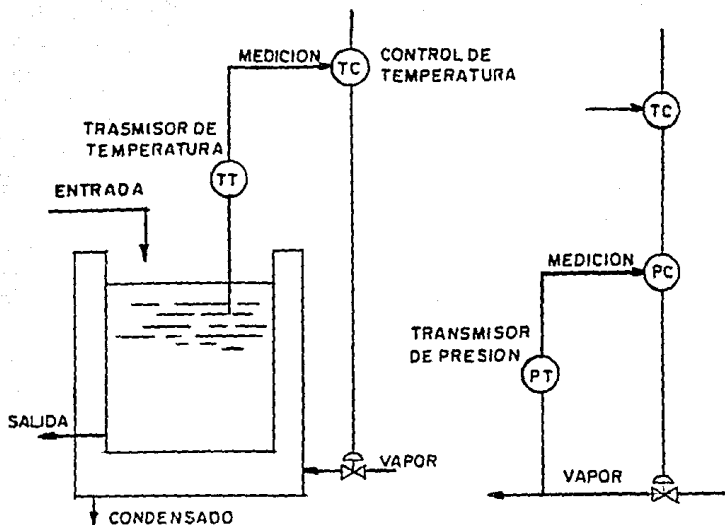
FIG. 3.10 TECNICA DE CONTROL EN CASCADA

Se usan dos controladores retroalimentados, pero solamente una variable de proceso (m) es manipulada.

El controlador primario (CM) mantiene a la variable principal ($C1$) en su punto de referencia ($v1$) ajustando automáticamente el punto de referencia ($v2$) del controlador secundario. El controlador secundario (CE) controla el lazo secundario respondiendo a las variaciones entre su punto de ajuste ($v2$) y su medición ($c2$).

El controlador secundario puede ser visto como un elemento final muy sofisticado de control, posicionado por el controlador primario de la misma manera que un controlador simple posicionaria su válvula de control. Si por ejemplo, el controlador secundario fuese un controlador de flujo, entonces el controlador primario no estaría comandando la posición de la válvula, sino que estaría dictando el flujo prescrito.

Para entender mejor la aplicación de un lazo en cascada, analizamos el siguiente ejemplo: Un lazo sencillo de temperatura como se muestra en la figura 3.11 A, en donde la temperatura del líquido dentro del recipiente es controlada regulando la presión de vapor dentro de la chaqueta alrededor del tanque. Debido a que el proceso involucra una constante de tiempo muy larga se requiere, un controlador de 3 modos con un tiempo integral grande. Con lo anterior, mantendremos la estabilidad en el lazo siempre y cuando el suministro de vapor sea constante, es decir que no varíe la presión a la salida de la chaqueta.



A.-CONTROL DE LAZO SENCILLO

B.-CONTROL DE LAZO EN CASCADA

FIG. 3.1.1

Sin embargo, si el suministro de vapor esta sujeto a perturbaciones, es necesario un esquema de control diferente. El controlador de temperatura no sabrá que el suministro de calor (la presión en el cabezal de vapor) ha cambiado hasta que la temperatura de la masa contenida en el tanque, varíe. Le tomará mucho tiempo establecer nuevamente el equilibrio, ya que la constante de tiempo del proceso de transferencia de calor, es muy grande. Por lo tanto, es deseable hacer una corrección para contrarrestar el efecto del cambio en la entrada de energía, antes de que se manifieste en la temperatura del líquido.

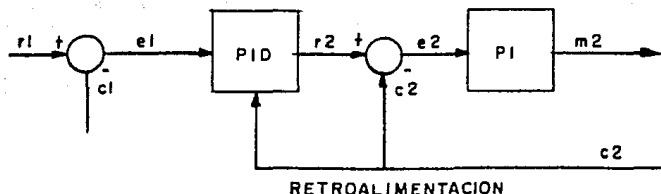
El sistema de control en cascada mostrado en la figura 3.11 B mantendrá el control sobre la temperatura del líquido dentro del tanque. El controlador de presión de vapor, llamado el controlador secundario monitorea la presión del vapor a la entrada del tanque. Cualquier cambio en el suministro de vapor será corregido rápidamente reajustando la válvula, ya que este lazo tiene una constante de tiempo corta (por lo tanto el tiempo integral será pequeño). El control de temperatura llamado el primario o controlador maestro, ajusta la referencia del controlador de presión en función de los requerimientos de calor de la corriente de alimentación al tanque. Notese que el controlador secundario tiene su punto de referencia fijado por un dispositivo externo y no manualmente mediante la manipulación de una perilla. A este tipo de dispositivos secundarios se les llama controladores con ajuste remoto.

3.4.2.1. SATURACION EN EL LAZO CASCADA

La saturación del modo integral puede presentarse en un lazo en cascada en ambos controladores. Asumiendo, por ejemplo, que la carga del proceso demanda más de lo que la válvula de control puede entregar. Lo anterior resultará en una desviación sostenida de la medición secundaria con respecto a su punto de ajuste. En seguida se manifestará un cambio en la medición primaria, a lo que el controlador primario responderá cambiando su salida. Esta última acción reajustará el punto de referencia del controlador secundario.

Mientras que el controlador secundario puede protegerse contra la saturación utilizando el dispositivo llamado "interruptor batch", esto no ayudará al controlador primario. Si como vemos el controlador secundario no puede responder al primario, este tenderá a integrar, hasta el punto de saturación, lo que significa que moverá su salida hasta un extremo de la escala. Por lo anterior la protección contra la saturación del primario deberá estar basada en la desviación del secundario.

La siguiente figura 3.12 nos muestra un sistema cascada con protección antisaturación en ambos controles:



3.12 LAZO EN CASCADA CON PROTECCION ANTI-SATURACION

3.4.3 CONTROL DE TERMINACION

Algunos procesos de operación por lotes requieren de un control especial para la etapa de terminación. Los reactores discontinuos son un buen ejemplo de la necesidad de establecer una estrategia especial. Al término de la reacción subsistirá la evolución de calor, lo cual causa que el controlador incremente la alimentación de reactivo. Debido a que lo anterior es obviamente incorrecto, se debe establecer una lógica que ejecute una acción por encima de la del controlador de temperatura al término de la reacción. Si no existe manera de saber cuando término la reacción, el flujo de reactivo puede ser interrumpido en un punto prefijado ajustado en el totalizador de flujo, una vez que este haya sido alcanzado. La terminación de algunas reacciones se observa cuando la presión empieza a disminuir en algunos casos o a incrementarse en otros. En cualquiera de los dos casos, un interruptor de presión puede ser usado para interrumpir el flujo.

Otro ejemplo similar en un reactor de operación por lotes se observa cuando existe la necesidad de agregar un reactivo al contenido de un reactor de tanque agitado por lotes, hasta alcanzar un pH determinado. Este tipo de proceso es identificado por dos características:

- La variable controlada se encuentra lejos del valor deseado por un periodo de tiempo considerable.
- Cuando la variable controlada alcanza el punto de ajuste (punto de terminación) la salida del controlador deberá ser cero.

El modo de control integral de reajuste automático no puede ser utilizado en un controlador de lotes en el punto de terminación. El resultado sería el sobretiro, y como la salida es cero, el controlador no puede corregir el sobretiro, regresando la medición al punto de ajuste.

Supongamos que se adiciona un ácido para neutralizar el contenido básico del recipiente de un $\text{pH}=10$, a $\text{pH}=7$. Si nos excedemos en la adición de ácido llevando el $\text{pH}=6$, no se podrá regresar a 7, después de que la válvula este cerrada.

Sin embargo, no existe la necesidad del modo integral, ya que la salida del controlador cuando la medición alcanza el punto de ajuste es siempre cero. Este tipo de proceso es quizá el único que requiere de un controlador de 2 modos proporcional y derivativo (P + D).

El papel que juega el modo derivativo, es importante ya que compensa los retrasos en las respuestas que se presentan por causa de la válvula de control, el recipiente de proceso, y del elemento de medición. Si por ejemplo, el sensor envía la señal de medición equivalente al punto de ajuste cuando ya entró al recipiente más ácido, que todavía no reacciona, entonces la válvula cerró demasiado tarde. Estos retrasos se pueden resolver haciendo más ancha la banda proporcional, sin embargo esto prolonga demasiado el tiempo del lote.

Con el tiempo derivativo debidamente ajustado la válvula cerrará rápidamente justo antes del punto de terminación (ver figura 3.13) permitiendo el tiempo suficiente para que el proceso alcance su equilibrio. Cuando el tiempo derivativo es excesivo el controlador obligará a cerrar la válvula mucho antes de que la medición alcance el punto de ajuste, sin embargo no perjudica al proceso ya que después vuelve a abrirse. Cuando el tiempo derivativo es demasiado bajo entonces no servirá la acción anticipatoria del modo derivativo, y se producirá el sobretiro. Debido a su capacidad de controlar con precisión gastos muy pequeños (como en el punto de terminación) se deberá usar una válvula de control con característica de igual porcentaje.

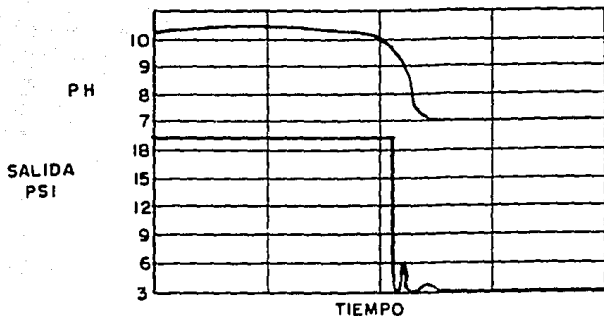


FIG. 3.13 CONTROL DE TERMINACION

3.4 RESUMEN

Dada la naturaleza de los procesos discontinuos se cuenta con un gran potencial para reducir costos, ya que este tipo de procesos requieren generalmente de mano de obra intensiva. Sin embargo, estimar una reducción en los costos a partir de posibles mejoras en el sistema de control es una tarea difícil.

Para poder automatizar un proceso por lotes, se dispone en la actualidad de gran variedad de equipos. De hecho, la tecnología avanza constantemente, lo cual complica la selección del proveedor, el diseño del sistema y el desarrollo de la ingeniería. Otro factor que contribuye a la complejidad y al costo del sistema, es la gran cantidad de señales de entrada y salida requeridas para automatizar un proceso por lotes. No sólo el costo de los dispositivos de campo y la instrumentación es mayor, sino que el costo del diseño, la ingeniería y la implementación es mucho mayor, comparado con el mismo proceso operado mediante un sistema manual.

Sin embargo, se han reportado grandes mejoras en la eficiencia operacional derivadas de proyectos de este tipo, con periodos de recuperación que oscilan entre 4 y 24 meses (3). Es de esperarse el resultado anterior, ya que en muchos procesos por lotes, el (los) operador(es) ejecuta(n) manualmente diversos pasos, siguiendo las instrucciones por escrito.

Estos procedimientos escritos describen en detalle las adiciones de materiales, secuenciación de válvulas, cambios de puntos de ajuste y de como llevar el registro de los acontecimientos. Pero la interpretación de estas instrucciones variará inevitablemente de operador a operador. La inconsistencia en la forma de operar cada lote, se refleja en la producción y en la calidad del producto. Peor aún, si el operador comete un error y no lo reconoce o corrige, entonces el producto quedará fuera de especificaciones. Lo anterior reduce la eficiencia de la producción, ya que ese material deberá ser desechado o reciclado, y en el último de los casos mezclado con producto bueno. Desechar producto por estar fuera de especificación es en sí una pérdida, sin embargo, reprocesarlo también representa un incremento en el costo de producción, ya que se mantienen ocupadas unidades de procesamiento que podrían utilizarse en procesar materia prima nueva.

Los beneficios que pudieran evaluarse y convertirse en ganancia económica son diversos y fueron discutidos en la sección 1.6. Sólo resta mencionar que a pesar de que un proyecto de automatización puede reducir el número de operadores, incrementa la necesidad de fuerza laboral en otros departamentos, cuando menos en las etapas iniciales. Por ejemplo, se necesitarán ingenieros en sistemas de control de procesos durante el diseño e implementación. El número de técnicos instrumentistas con mayor grado de especialización aumentará para poder soportar y mantener operando un sistema de control más sofisticado.

CAPITULO IV

IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA DE CONTROL AUTOMATICO DE TEMPERATURA PARA UN REACTOR DE TANQUE AGITADO DE OPERACION POR LOTES. (CASO PRACTICO)

4.1 DEFINICION DEL ALCANCE

Para desarrollar un caso práctico, utilizaremos como base el ejemplo real de un arreglo en paralelo de 4 reactores de operación por lotes. Actualmente, todas las operaciones del proceso se verifican en forma manual, bajo la supervisión de un operador.

El objetivo por alcanzar, es el de implementar un sistema de control automático, para regular la temperatura del contenido del reactor, de acuerdo a los requerimientos de calidad del producto.

Con lo anterior, se espera obtener los siguientes resultados:

- Independizar la operación de cada reactor, ya que actualmente operan en forma simultanea.
- Automatizar la operación de la fase de reacción, dejando la fase de carga y la de descarga, fuera del alcance de este trabajo.
- Uniformizar la calidad del producto, en base a la repetibilidad de las condiciones de operación, lote tras lote.
- Modificar el procedimiento actual de secado (etapa subsecuente) del producto, para reducir el consumo de energía en los secadores.

Por solicitud de la fuente, no se hará mención en este trabajo, de ningún detalle acerca del producto y las materias primas que intervienen en la producción del mismo. Nos limitaremos a describir las diferentes etapas y operaciones que se verifican a lo largo del ciclo de producción.

4.2 DESCRIPCION DEL PROCESO

Debido a que el arreglo de las unidades de proceso, es de 4 reactores en paralelo, nos referiremos a uno de ellos solamente de aquí en adelante, y el resultado obtenido se podrá aplicar en las demás unidades.

El equipo de proceso, consta de un reactor enchaquetado con paredes internas vidriadas, y agitador. El medio de calentamiento/enfriamiento, es aceite térmico. El arreglo del reactor y sistema de enfriamiento/calentamiento, puede apreciarse en la figura No. 4.1.

4.2.1 ETAPAS DEL PROCESO

El ciclo de procesamiento consta de las etapas que se describen a continuación:

- A.- Verificación visual de la posición de la válvula de descarga.
- B.- Carga del reactor. Se verifica manualmente. Los reactivos líquidos se descargan de tambores previamente medidos. Los reactivos sólidos, son pesados antes de alimentarlos manualmente a través de una tolva, seis reactivos son cargados en total. Este procedimiento consume alrededor de 60 a 90 minutos. Al 60% de la carga, se enciende el motor del agitador.
- C.- Calentamiento. Consiste en llevar el contenido del reactor, de 60 C a 190 C, manteniendo la agitación y procurando seguir un perfil óptimo predeterminado, en un lapso no mayor de 12 hrs.
- D.- Estado estable. Una vez alcanzados los 190 C, mantener esta temperatura durante 8 hrs.,
- E.- Enfriamiento. Consiste en enfriar el contenido del reactor de 190 C a 130 C en aproximadamente 4 hrs.
- F.- Descarga. Consiste en descargar el producto de la reacción, hacia la siguiente unidad de proceso.

El sistema de control, deberá automatizar las etapas de calentamiento, estado estable y enfriamiento. Así mismo deberá proteger las paredes vidriadas del reactor, evitando se fracturen, debido a cambios bruscos de temperatura.

4.2.2 SISTEMA DE ACEITE TERMICO.

El sistema de aceite, nos provee del medio de calentamiento o enfriamiento, y consta de los siguientes elementos:

- Cabezal de aceite caliente.
- Bomba de recirculación.
- Enfriador.
- Válvulas de regulación (FCV-201,202,203)
- Cabezal de aceite de retorno.

ESTA TESIS NO DEBE SALIR DE LA BIBLIOTECA

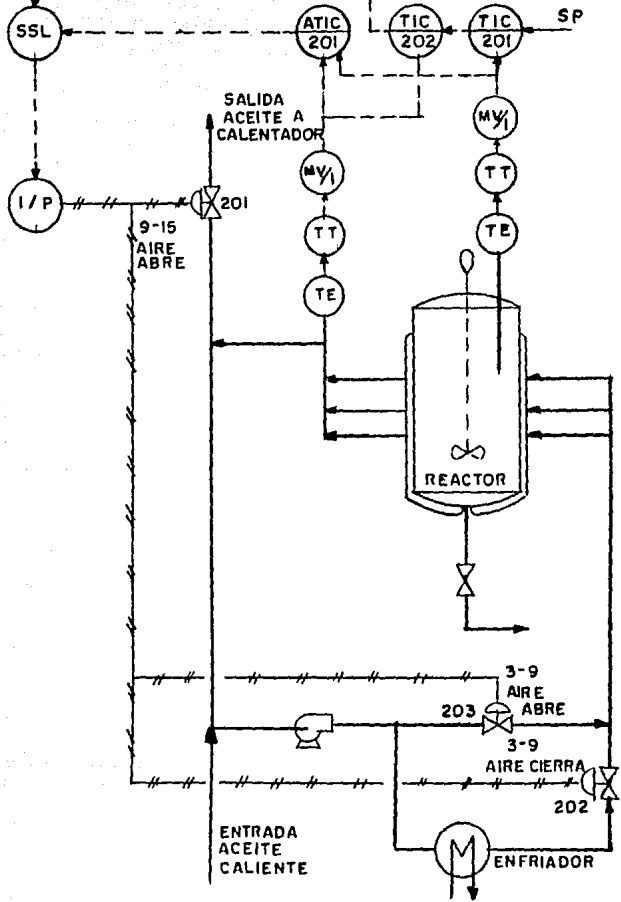


FIG. 4.1 REACTOR Y SISTEMA DE ACEITE

ESTA TESIS NO DEBE SALIR DE LA BIBLIOTECA

Durante el calentamiento, FCV-201 y FCV-203 se abren y FCV-202 se cierra. De esta manera, se descarga el aceite frío del circuito de calentamiento, hacia el cabezal de retorno, permitiendo la entrada de aceite caliente, para recircular a través de la chaqueta (ver figura No. 4.1).

Durante el enfriamiento, FCV-201 y FCV-203 se cierran, mientras que FCV-202 se abre, permitiendo que el aceite circule a través del enfriador y la chaqueta, cerrando el circuito.

Para evitar un choque térmico al acero vidriado, se debe transitar suavemente, del enfriamiento al calentamiento, y viceversa, cuidando que la diferencia de temperatura entre las paredes interna y externa del reactor, no sobrepase el valor límite de diseño del reactor (65 C).

4.3 INSTRUMENTACION

La instrumentación mínima indispensable para operar el reactor automáticamente, puede clasificarse de la siguiente forma:

- 1.- Sensores de medición.
- 2.- Transmisores de señal.
- 3.- Controladores.
- 4.- Elementos finales de control.

4.3.1. SENSORES.

Las variables de proceso, que debemos medir con precisión, son las siguientes:

- * La Temperatura del contenido del reactor.
- * La Temperatura del aceite térmico, a la salida de la chaqueta.

Para lograrlo, utilizaremos termómetros de resistencia (RTD o Resistance Temperature Detector) de alambre de platino. Los termómetros de resistencia, dependen de las características inherentes de los metales, para cambiar su resistencia eléctrica, cuando se someten a un cambio de temperatura.

Básicamente, el termómetro de resistencia, es un instrumento para medir resistencias eléctricas, que se calibra en unidades de temperatura, en lugar de hacerlo en unidades de resistencia. El cambio de resistencia eléctrica de un material, en respuesta a una variación de la temperatura, se conoce como el "Coeficiente de temperatura de la resistencia".

El coeficiente, se expresa como un cambio de resistencia en ohms, y por ohm por grado de temperatura, a una temperatura específica.

Para casi todos los metales, el coeficiente es positivo. Para muchos metales puros, el coeficiente es esencialmente constante, en grandes porciones de su gama útil.

En la figura No. 4.2, se presentan las curvas de resistencia típica, en función de la temperatura para el alambre de platino, de cobre y de níquel. (ver tabla detallada del sensor seleccionado, en el apéndice II).

MEDICIONES DEL PROCESO

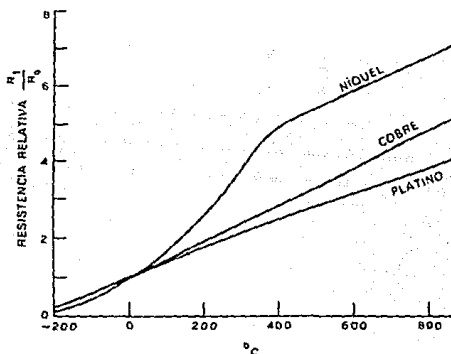


FIG. 4.2 CURVAS DE TERMOMETROS DE RESISTENCIA

Para la medición de la temperatura del aceite, a la salida de la chaqueta del reactor, y para la temperatura del contenido del reactor, se seleccionó el termómetro de resistencia de alambre de platino, en virtud de que su respuesta es la más lineal, como podemos apreciar en la figura No. 4.2, comparada con la respuesta de los otros materiales.

Además, su velocidad de respuesta y exactitud, supera a la de los sensores tipo termopar. Otra razón de importancia para la selección de cualquier elemento sensor, es su disponibilidad en el mercado, y el RTD de alambre de platino, es un sensor de fabricación estandar.

A continuación, se enlistan las características de construcción y desempeño, del elemento sensor seleccionado, de acuerdo con las especificaciones de su fabricante:

EXACTITUD : +/- 0.25% de rango calibrado.

REPETIBILIDAD : +/- 0.125 C hasta 480 C.

ESTABILIDAD : Corrimiento menor a +/- 0.06 C de su calibración original, en un año.

TIEMPO DE RESPUESTA : 5 seg. máximo, para una recuperación de 63% (basado en un cambio escalon de 25 C a 100 C).

CALIBRACION : SAMA , Estandar RC 21-4-1966

TIPO DE SENSOR : Elemento sencillo.

CAJA DE CONEXION : Para propósitos generales.

CONSTRUCCION : Con Termopozo y Niple de acoplamiento.

MATERIAL CUBIERTA : 316ss.

LONGITUD DE INSERCIÓN ("U") : - 1280mm para TE-201
- 90mm para TE-202

Para mayores detalles, consultar en el apéndice III.

4.3.2. TRANSMISORES

Los sistemas electrónicos de transmisión analógica, utilizan alguna forma de señal eléctrica para representar el valor transmitido. Como parte del diseño de la instrumentación, emplearemos convertidores electrónicos de transmisión analógica de corriente, para convertir la variación de la resistencia en los sensores RTD, a una señal de corriente, en una gama de 4-20 ma (TT-201 y TT-202). Esta señal es enviada hacia el cuarto de control, mediante un par de cables torcidos con blindaje, para garantizar la integridad de la señal.

En este caso particular, la fuente de energía del circuito, forma parte del instrumento receptor que se describirá más adelante.

! Scientific Apparatus Manufacturers Association.

4.3.3. ESTACIONES DE CONTROL

Para desempeñar las funciones de control regulatorio, de acuerdo con el esquema presentado en la figura No. 4.1., se requieren las siguientes estaciones de control regulatorio :

- * LAZO DE CONTROL DE TEMPERATURA .- Este es el lazo de control principal. Regula la temperatura del contenido del reactor, utilizando dos Estaciones de control conectadas en cascada, TIC-201 y TIC-202.
- * LAZO DE CONTROL DE T .- Este lazo de control, vigila que la diferencia de temperatura entre el aceite térmico y el contenido del reactor, no sobrepase los límites de diseño. Para desempeñar esta función, emplearemos una Estación de Control tipo Lazo Sencillo, TIC-201, y un interruptor de transmutación de señal, TY-201, conformando un esquema Auto-Selector.

Las características más relevantes de las estaciones de control seleccionadas, son las siguientes :

- Estaciones Autocontenidas. Esto significa que en el mismo instrumento, están contenidas ; la interfase con el campo (entradas y salidas), el controlador, la pantalla análogo/digital, de interfase con el operador, la fuente regulada de suministro, y adicionalmente, una interfase de comunicación digital (RS485) , para enlazarse con una estación de supervisión (p.e. una computadora personal).
- Electrónica Digital . La electrónica , basada en microprocesadores, le confiere al instrumento una funcionalidad muy amplia, que va desde el acondicionamiento de la señal, o señales de entrada, las funciones de control (PID) con una amplia gama de opciones (RATIO, TRACKING, AUTOSINTONIA, etc.), hasta la caracterización de la señal de salida, si es necesario. Lo anterior, se logra mediante un procedimiento de configuración, que consiste en asignarle valores, a una serie de parámetros residentes en el programa maestro (R.O.M.) ; de la estación. Para mayores detalles referente a las estaciones de control, ver el apéndice IV.

! Read Only Memory

4.3.4. ELEMENTOS FINALES DE CONTROL

El elemento final de un lazo de control, es el mecanismo que altera el valor de la variable regulada, como respuesta a una señal proveniente, ya sea, de un controlador automático, o de un dispositivo de control manual, o mediante alguna manipulación directa.

En el control automático de procesos, el elemento final que se emplea con mayor frecuencia, es la válvula de diafragma motor. Consta de un activador de diafragma motor, y una válvula de control del fluido de proceso. (Ver figura No. 4.3).

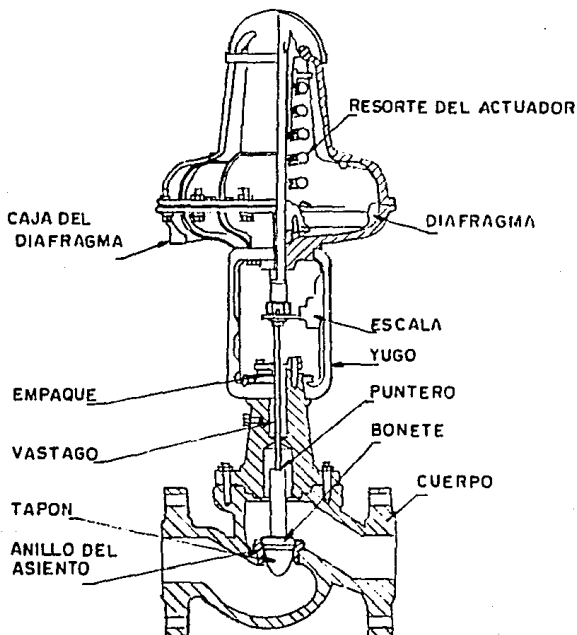


FIGURA No. 4.3. VALVULA DE CONTROL

En el caso que nos ocupa, existen 3 elementos finales de control, que operan bajo la influencia de una misma señal de control, para regular una variable del proceso; la temperatura del contenido del reactor. Al arreglo que presentan las válvulas de control, se le conoce como arreglo de acción de rango dividido, y consiste en lo siguiente:

El elemento FCV-001, trabaja en un rango de 9-15 PSIG (0.62-1.03 bar), AIRE PARA ABRIR (o normalmente cerrada). Lo anterior quiere decir, que cuando la válvula recibe una señal de 9.0 PSIG (0.62 bar), esta completamente cerrada. Y cuando recibe una señal de 15.0 PSIG (1.03 bar), su posición es completamente abierta.

Las válvulas FCV-002 y FCV-003 en cambio, trabajan en la porción del rango, que va desde 3.0 PSIG, hasta 9.0 PSIG (0.21-0.62 bar), sobre la misma señal que FCV-001. FCV-002 acciona con AIRE PARA CERRAR (o normalmente abierta), y FCV-003 acciona con AIRE PARA ABRIR (o normalmente cerrada).

En estas condiciones, cuando la señal de control tiene un valor de 3.0 PSIG (0.21 bar), FCV-002 esta completamente abierta, y FCV-003 completamente cerrada. Cuando la señal de control es de 9.0 PSIG (0.62 bar), FCV-002 se cierra por completo, y FCV-003 se abre. La figura No. 4.4 nos muestra más claramente el efecto de la acción de rango dividido.

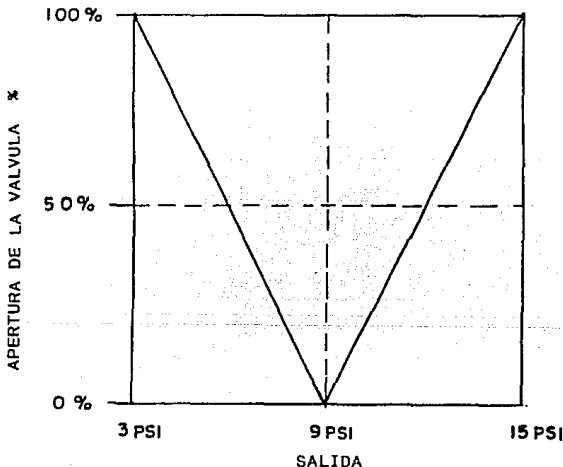


FIG. 4.4 ACCION DE RANGO DIVIDIDO

4.4. ESTRATEGIA DE CONTROL

La estrategia para el control del reactor, se muestra en la figura No. 4.5. A continuación, describiremos cada uno de los elementos que la conforman :

4.4.1. Lazo de temperatura.- Para controlar la temperatura del contenido del reactor, utilizaremos un controlador Maestro o Primario (TIC-201), conectado en cascada con el controlador de temperatura del aceite térmico, a la salida de la chaqueta (TIC-202), también llamado Esclavo o Secundario.

4.4.1.1. Controlador primario.- Recibe su señal de medición del transmisor TE/TT-001.

El controlador, se configura utilizando los 3 modos de control (P + I + D), y su punto de referencia, es generado por la función RAMPA, que define una trayectoria pre-especificada que deberá seguir la medición, durante el periodo de calentamiento.

Solamente durante el periodo de Estado Estable (o meseta) de la reacción, la referencia permanecerá constante. Para prevenir la saturación del modo integral, ocasionada por el periodo prolongado que permanece la medición alejada de su punto de referencia, al principio de la reacción, la estación de control tiene preprogramada la función antisaturación, descrita en el capítulo No. 3.

La señal de salida del controlador primario, se alimenta un interruptor de permutación de señal, accionado por la función HIALM (alarma de alto nivel) del controlador de diferencia de temperatura TIC-201, que se describirá posteriormente, en donde se selecciona una de las dos señales, como la señal de referencia para el controlador Esclavo.

4.4.1.2. Controlador Secundario.- Recibe su señal de medición del transmisor TE/TT-002. A diferencia del controlador primario, se le configuran solamente dos modos de control; el modo proporcional y el modo integral (P+I). Como se mencionó anteriormente, el valor de su punto de referencia, corresponde al valor seleccionado en el interruptor de permutación, por lo que es llamado punte de ajuste remoto. La señal de salida del controlador secundario, regula la posición de las válvulas de control, FCV-201, FCV-202, y FCV-203.

4.4.2. Lazo de Diferencia de Temperatura.- El propósito de controlar la diferencia de temperatura entre el contenido del reactor, y el aceite térmico, es evitar un gradiente de temperatura tal, que provoque una fractura en la pared interna vidriada del reactor, cuyo costo de reparación es muy elevado. adicionalmente, si mantenemos una adecuada regulación de este parámetro, aseguramos que la transferencia entre los medios, en ambos sentidos, sea la máxima en todo momento, minimizando el consumo de energía, y acortando la duración del lote.

Para lograr el objetivo planteado, utilizaremos un controlador (TIC-201), y un interruptor de permutación de señal (TY-201).

4.4.2.1. Controlador de T.- Recibe dos señales de entrada, correspondientes a las mediciones de temperatura del contenido del reactor (TE/TT-201), una, y de temperatura del aceite térmico (TE/TT-202), la otra. Utilizando las funciones disponibles en la estación de control, obtenemos el valor absoluto de la diferencia entre las dos mediciones, mismo que es alimentado al algoritmo de control, como la señal de medición. Se configura al controlador con el modo Proporcional puro, con alta ganancia, para darle mayor dinamismo a su respuesta.

El valor de su señal de referencia, deberá ser el gradiente mínimo, para que exista transferencia de energía, asegurando que prosiga la reacción ($T=25$ C, aprox.).

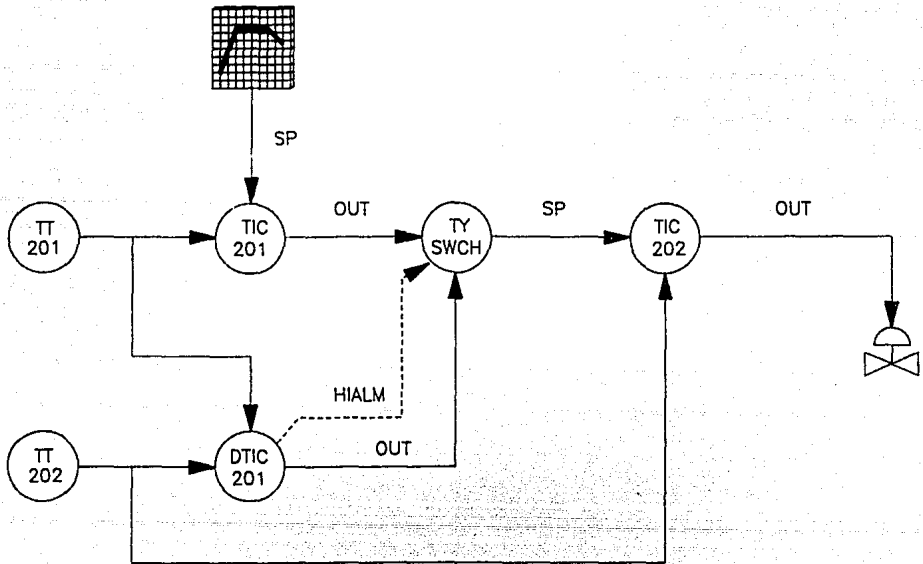
La señal de salida del controlador, se alimenta como la segunda entrada, al interruptor de transmutación de señal.

Adicional a la función de control, configuramos en la estación de control, una función de Alarma Absoluta de Alta (HIALM), sobre la señal de diferencia de temperatura. El valor límite para accionar la función de alarma, corresponde al gradiente máximo permitido por el fabricante del reactor, que en este caso es de 55 C.

Cuando la señal de diferencia de temperaturas, alcanza ese valor, genera una señal de salida discreta (cierra un contacto eléctrico), activando el disparador del interruptor de transmutación de señal. Lo anterior conecta la salida controlador de T, al punto de referencia del controlador secundario.

Cuando se reestablece la condición de alarma, es decir, cuando la señal de diferencia de temperatura, esta por debajo del límite preestablecido, entonces, la señal discreta cambia de valor (se abre el contacto eléctrico), lo cual regresa a su posición original al interruptor de transmutación de señal. En este momento, tenemos nuevamente al controlador primario, enviando su señal de salida hacia el punto de referencia del controlador secundario.

FIGURA 4.5. ESTRATEGIA DE CONTROL



4.5 RESULTADOS Y CONCLUSIONES

El resultado global del proyecto, no podrá ser apreciado en su totalidad, sino hasta transcurridos varios meses de operación del proceso, con el nuevo sistema automático de control de temperaturas. Lo anterior es debido, entre otras cosas, al periodo de adaptación y de capacitación de los operadores, en el manejo del nuevo sistema de control automático. De cualquier forma, fueron observados, a priori, resultados que podemos considerar como muy alentadores, los cuales son los siguientes:

- OPERACION INDEPENDIENTE DE LOS REACTORES.- Con la implementación del sistema automático de control, ahora es posible operar cada uno de los cuatro reactores en forma independiente, debido a lo cual, no es necesario tener unidades de secado de producto en paralelo, sino que es posible compartir dos de la cuatro unidades existentes, ya que el ciclo de secado tiene una duración de ocho horas, mientras que el de los reactores es de 24 horas. Lo anterior se logra, defasando en 8 horas el inicio del lote del segundo reactor, y así sucesivamente, y descargando alternadamente, en dos de los cuatro secadores únicamente.

- REDUCCION DE LA DURACION DEL LOTE.- Se observó una disminución de 25 minutos, en promedio, en la duración de la etapa de reacción de cada lote. El resultado se puede atribuir a un manejo más eficiente de la energía, lo cual permitió alcanzar la temperatura de reacción en menor tiempo, durante la etapa de calentamiento, así como, mantenerla dentro de un margen mucho más estrecho, durante la meseta de reacción (ver figura No. 4.6).

Aunque en la práctica, aún no ha sido probado, teóricamente la reducción del ciclo de reacción, representa un incremento del 2.48% en la producción anual. En otras palabras, gracias al sistema de control, es posible realizar aproximadamente, 11 lotes adicionales por año, en cada reactor.

Existen otros parámetros, como la calidad del producto final, en sus diferentes grados, o el consumo de energía, que no habían sido evaluados por completo, hasta el momento de preparar este trabajo, en los que se espera obtener una mejora.

La automatización de los procesos industriales, sean estos continuos, o discontinuos, representa en la actualidad, un reto mayor al que se enfrenta la industria en México.

En un mundo en donde las barreras políticas y económicas, se derrumban día tras día, la competitividad de nuestros productos en los mercados internacionales, será sin duda, un factor de desarrollo. El incremento en el porcentaje de participación del mercado, provendrá de aquellos que no hagan más eficientes sus procesos de producción. Los sistemas de control, para la automatización de los procesos, son solamente una herramienta para lograrlo.

En este contexto, el papel que juega el Ingeniero Químico, es de vital importancia en la identificación de las oportunidades de automatización de procesos, su evaluación y posterior implementación de los proyectos rentables.

Por lo anterior, el estudio de los Principios de Medición, la Instrumentación y los Fundamentos de Control Automático, resultan fundamentales para la exitosa consecución de un proyecto de este tipo.

COMPARACION DE LAS CURVAS

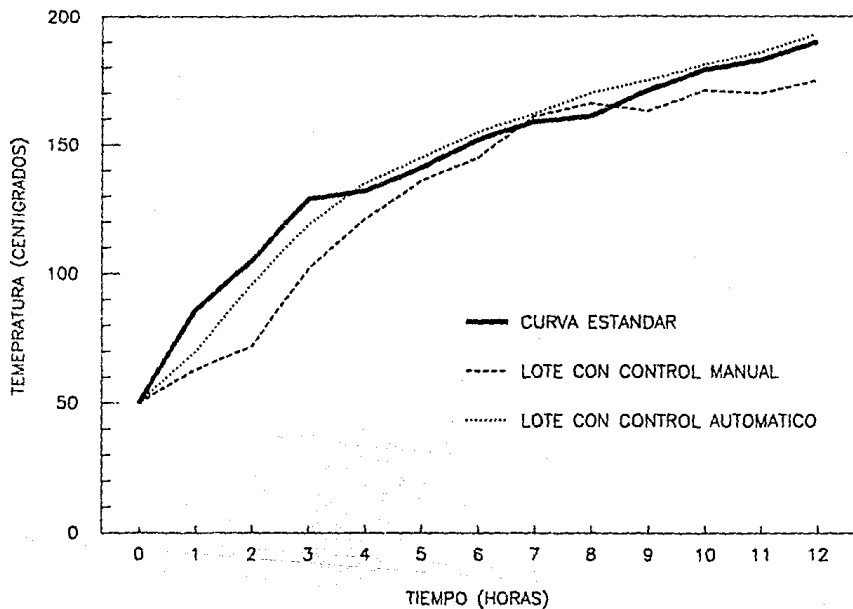


FIGURA No. 4.6

BIBLIOGRAFIA

- 1.- INSTRUMENTATION FOR PROCESS MEASUREMENT AND CONTROL
NOVMAN A. ANDERSON
CHILTON CO. THIRD EDITION, 1980
- 2.- PROCESS CONTROL SYSTEMS
F.G. SHINSKEY
McGRAW HILL, SECON EDITION, 1979
- 3.- BATCH PRODUCTION, ALIVE AND WELL IN THE PROCESSING
INDUSTRIES INTECH
KRIGMAN A.
DECEMBER 1983
- 4.- BATCH PROCESS CONTROL: LIKELY IMPACT OF EMERGING TECHNO-
LOGIES INTECH
BANSAL S.
MAY 1983
- 5.- COMPUTERS DIRECT BATCHING IN 80 REACTOR PVC PLANT INTECH
H. AMREHN
SEPTEMBER 1967
- 6.- BATCH REACTOR CONTROL SYSTEM INSTUMENTS AND CONTROL
SYSTEMS
F.G. SHINSKEY
JANUARY 1972
- 7.- END POINT CONTROL OF BATCH PROCESSES INSTRUMENTS AND
CONTROL SYSTEMS
F.G. SHINSKEY
FEBRUARY 1972
- 8.- BATCH PROCESS CONTROL USING PROGRAMABLE CONTROLLERS
CONTROL ENGINEERING
G.J. BLICKLEY
JULY 1984
- 9.- CHECKLIST FOR BATCH PROCESS COMPUTER CONTROL CHEMICAL
ENGINEERING
GHOSH ASISH
FEBRUARY 1980
- 10.- BATCH CONTROL SYSTEMS INSTRUMENT SOCIETY OF AMERICA
FISHER G. THOMAS
OCTOBER 198
- 11.- MODULAR STRUCTURING OF BATCH CONTROL LOGIC INSTRUMENT
SOCIETY OF AMERICA
GHOSH ASISH
OCTOBER 1982

- 12.- A BATCH LANGUAGE STUDY INSTUMENT SOCIETY OF AMERICA
BRISTOL E.H., CAMPBELL B.C., GUNKLER A.
OCTOBER 1981
- 13.- SUCCESSFUL BATCH CONTROL PLANNING: A PATH TO PLANT WIDE
AUTOMATION CONTROL ENGINEERING
ROENOF H.P.
SEPTEMBER 1982
- 14.- BUILDING BATCH CONTROL SYSTEMS AROUND RECIPERS CHEMICAL
ENGINEERING
ROENOF H.P.
SEPTEMBER 1982
- 15.- A SYSTEMS APPROACH TO BATCH CONTROL INSTRUMENTATION
TECHNOLOGY
SCOTT D.H., INGAGLIO T.L., ANDERSON R.L.
AUGUST 1979
- 16.- APPLYING COMPUTERS IN MULTIPURPOSE BATCH PROCESSING
PLANTS INTECH
FRAADE DAVID J.
DECEMBER 1980
- 17.- DIGITAL BATCH PROCESS CONTROL: LOOK AT THE SOFTWARE
INTECH
WARD J.C., SCALERA M.R.
OCTOBER 1982
- 18.- SPECIFYING BATCH PROCESS CONTROL STRATEGIES: A STRUCTU-
RED APPROACH INTECH
FIHN S.L., NYQUIST J.A.
OCTOBER 1982
- 19.- AUTOMATIC CONTROL CHEMICAL ENGINEERING
L.M. SOULE
SEPTEMBER 22, OCTOBER 20, DECEMBER 1, 1969, JANUARY 12,
JANUARY 26, FEBRUARY 23, MARCH 9, 1970.
- 20- THE BENEFITS OF BATCH PROCESS CONTROL CHEMICAL ENGINEE-
RING PROGRESS
METHA, G.A.
OCTOBER 1983

APENDICE I

ISA-S5.1-1984
(Formerly ANSI Y32.20)

Standard

Instrumentation Symbols and Identification

Instrument Society of America



TABLE 1
IDENTIFICATION LETTERS

	FIRST-LETTER (4)		SUCCEEDING-LETTERS (3)		
	MEASURED OR INITIATING VARIABLE	MODIFIER	READOUT OR PASSIVE FUNCTION	OUTPUT FUNCTION	MODIFIER
A	Analysis(5,19)		Alarm		
B	Burner, Combustion		User's Choice(1)	User's Choice(1)	User's Choice(1)
C	User's Choice(1)			Control(13)	
D	User's Choice(1)	Differential(4)			
E	Voltage		Sensor (Primary Element)		
F	Flow Rate	Ratio (Fraction)(4)			
G	User's Choice(1)		Glass, Viewing Device(9)		
H	Hand				High(7,15,16)
I	Current (Electrical)		Indicate(10)		
J	Power	Scan(7)			
K	Time, Time Schedule	Time Rate of Change(4,21)		Control Station (22)	
L	Level		Light(11)		Low(7,15,16)
M	User's Choice(1)	Momentary(4)			Middle, Intermediate(7,15)
N	User's Choice(1)		User's Choice(1)	User's Choice(1)	User's Choice(1)
O	User's Choice(1)		Orifice, Restriction		
P	Pressure, Vacuum		Point (Test) Connection		
Q	Quantity	Integrals, Totals(4)			
R	Record		Record(17)		
S	Speed, Frequency	Safety(8)		Switch(13)	
T	Temperature			Transmit(18)	
U	User's Choice(1)		Undersized(12)	Multiple(12)	Multiple(12)
V	Valve, Mechanical Assembly			Valve, Damper, Louver(13)	
W	Weight, Force		Weight		
X	Unidentified(2)	X Axis	Unidentified(2)	Unidentified(2)	Unidentified(2)
Y	Unidentified(2) or Position(20)	Y Axis		Flaky, Crystalline Control(15,16,16)	
Z	User's Choice(1)	Z Axis		Device, Assembly, Unit(12)	

Note: Numbers in parentheses refer to the identification letter notes on pages 15 and 16.

TABLE 2
TYPICAL LETTER COMBINATIONS

First Letters	Initiating or Measured Variable	Centriflers			Readout Devices		Switches and Alarm Devices*			Transmitters			Solenoids, Relays, Computing Devices		Primary Element	Test Point	Well or Probe	Control Device	Safety Device	Total Element	
		Recording	Indicating	Blind	Recording	Indicating	High	Low	Comb	Recording	Indicating	Blind	Devices	Devices							
A	Analysis Burner Combustion User's Choice Voltage	ARC	AIC	AC	AR	AI	ASH	ASL	ASHL	ART	AT	AT	AY	AE	AP	AW	BD			AD	
B		BRC	BIC	BC	BR	BI	BSH	BSL	BSHL	BRT	BT	BT	BY	BE		BW	BD			BD	
C																					
D																					
E			ERC	EIC	EC	ER	EI	ESH	ESL	ESHL	ERT	ET	ET	EY	EE						ED
F	Flow Rate	FRC	FIC	FC	FR	FI	FSH	FSL	FSHL	FRT	FT	FT	FY	FE	FP		FG			FD	
FO	Flow Quantity	FORC	FOIC		FOR	FOI	FOSH	FOSL					FQY							FOV	
FF	Flow Ratio	FFRC	FFIC	FFC	FFR	FFI	FFSH	FFSL					FQY	FE						FFV	
G	User's Choice																				
H	Hand	HC	HC	HC				HS												HV	
I	Current	IRC	IC		IR	I	ISH	ISL	ISHL	IRT	IT	IT	IY	IE						IV	
J	Power	JRC	JIC		JR	J	JSH	JSL	JSHL	JRT	JT	JT	JY	JE						JV	
K	Time	KRC	KIC	KC	KR	K	KSH	KSL	KSHL	KRT	KT	KT	KY	KE						KV	
L	Level	LRC	LIC	LC	LR	L	LSH	LSL	LSHL	LRT	LT	LT	LY	LE		LW	LG			LV	
M	User's Choice																				
N	User's Choice																				
O	Pressure	ORC	ORC	OC	OR	OR	ORSH	ORSL	ORSHL	ORT	OT	OT	OY	OE	OP					OV	
OP	Vacuum																				
PD	Pressure Differential	PDRC	PDIC	POC	PDR	PDH	PDOSH	PDOSL		PDRT	PDIT	PDOT	PDY	PE	PP				PSE	PDV	
Q	Quantity	QRC	QIC		QR	QH	QOSH	QOSL	QOSHL	QRT	QT	QT	QY	QE						QV	
R	Radiation	RRC	RIC	RC	RR	RI	RSH	RSL	RSHL	RRT	RT	RT	RY	RE		RW				RV	
S	Speed	SRC	SIC	SC	SR	SI	SSH	SSL	SSHL	SRT	ST	ST	SY	SE						SV	
T	Frequency																				
TD	Temperature	TRC	TIC	TC	TR	TI	TSH	TSL	TSHL	TRT	TT	TT	TY	TE	TP				TSE	TV	
TD	Differential	TDRC	TDIC	TDC	TDR	TDH	TDOH	TDOSL		TDRT	TDIT	TDOT	TDY	TE	TP	TW				TDV	
U	Multivariable				UR	UI							UY							UV	
V	Vibration				VR	VI	VSH	VSL	VSHL	VRT	VIT	VT	VY	VE						VZ	
W	Machinery Analysis																				
WD	Weight/Force	WRRC	WRIC	WC	WR	WI	WRSH	WRSL	WRSHL	WRT	WT	WT	WY	WE						WZ	
WD	Weight/Force, Differential	WDRC	WDIC	WDC	WDR	WDH	WDOSH	WDOSL		WDRT	WDIT	WDOT	WDY	WE						WZC	
X	Unclassified Event/State		YIC	YC	YR	YI	YSH	YSL				YV	YU							YZ	
Y	Presence																				
Z	Position	ZRC	ZIC	ZC	ZR	ZI	ZSH	ZSL	ZSHL	ZRT	ZT	ZT	ZY	ZE						ZV	
ZD	Dimension Gauging/ Deviation	ZDRC	ZDIC	ZDC	ZDR	ZDI	ZDSH	ZDSL		ZDRT	ZDIT	ZDOT	ZDY	ZDE						ZDV	

Note: This table is not all-inclusive.

*A alarm the annunciating device, may be used in the same fashion as S, switch, the actuating device.

**The letters H and L may be omitted in the underlined case.

Other Possible Combinations:


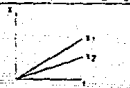


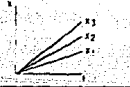













FO (Resistor) Device,
FRK (Resistor) Control Station,
FS (Accessories)
TJR (Scanning Recorder)
LLH (Phot Light)

AGI (Running Time Indicator),
OGI (Indicating Governor)
W/C (Rate of Weight Loss Control),
MMS (Hand Momentary Switch)

TABLE 3
FUNCTION BLOCKS-FUNCTION DESIGNATIONS

THE FUNCTION DESIGNATIONS ASSOCIATED WITH CONTROLLERS, COMPUTING DEVICES, CONVERTERS AND OTHER KEY BLOCKS ARE INDICATED BY THE COMBINATION SYMBOLS (SEE TABLE 1). NOTE THAT THE USE OF A COMBINATION SYMBOL BY A BLOCK OF THE SYMBOL FROM OTHER MARKINGS ON A DIAGRAM IS TO BE TAKEN INTO ACCOUNT AS A STANDARD BLOCK OF CONCEPTUAL DESIGN.

55.1

SYMBOL	MATH EQUATION	GRAPHIC REPRESENTATION		DEFINITION
	$M = X_1 + X_2 + \dots + X_n$			THE OUTPUT EQUALS THE ALGEBRAIC SUM OF THE INPUTS. (THE INPUTS MAY BE LABELED WITH POSITIVE OR NEGATIVE SIGNS).
	$M = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n}{n}$			THE OUTPUT EQUALS THE ALGEBRAIC SUM OF THE INPUTS DIVIDED BY THE NUMBER OF INPUTS.
	$M = X_1 - X_2$			THE OUTPUT EQUALS THE ALGEBRAIC DIFFERENCE OF THE TWO INPUTS.
	$M = kX$			THE OUTPUT IS DIRECTLY PROPORTIONAL TO THE INPUT. IN THE CASE OF A VOLUME BOOSTER, "k" MAY BE REPLACED BY "dB". FOR INTEGER GAINS, 2:1, 3:1, ETC., "k" MAY BE SUBSTITUTED FOR "k".
	$M = \int_0^t X dt$			THE OUTPUT VARIES IN ACCORDANCE WITH BOTH MAGNITUDE AND DURATION OF THE INPUT. THE OUTPUT IS PROPORTIONAL TO THE TIME INTEGRAL OF THE INPUT.
	$M = \frac{dX}{dt}$			THE OUTPUT IS PROPORTIONAL TO THE RATE OF CHANGE (DERIVATIVE) OF THE INPUT.

5.4 TABLE 3 - CONTINUED

NO	FUNCTION	SYMBOL	MATH EQUATION	GRAPHIC REPRESENTATION		DEFINITION
7	MULTIPLYING	\times	$M = x_1 x_2$			THE OUTPUT EQUALS THE PRODUCT OF THE TWO INPUTS.
8	DIVIDING	\div	$M = \frac{x_1}{x_2}$			THE OUTPUT EQUALS THE QUOTIENT OF THE TWO INPUTS.
9	ROOT EXTRACTION	$\sqrt[n]{\quad}$	$M = \sqrt[n]{x}$			THE OUTPUT EQUALS THE ROOT (I.E., SQUARE ROOT, CUBIC ROOT, 3/2 ROOT, ETC.) OF THE INPUT. IF N IS OMITTED, A SQUARE ROOT IS ASSUMED.
10	EXPONENTIAL	x^n	$M = x^n$			THE OUTPUT EQUALS THE INPUT RAISED TO A POWER (I.E., SECOND, THIRD, FOURTH, ETC.).
11	NON-LINEAR OR UNSPECIFIED FUNCTION	$f(x)$	$M = f(x)$			THE OUTPUT EQUALS SOME NON-LINEAR OR UNSPECIFIED FUNCTION OF THE INPUT.
12	TIME FUNCTION	$f(t)$	$M = f(t)$ $M = f(t)$			THE OUTPUT EQUALS THE INPUT AS SOME FUNCTION OF TIME OR EQUALS SOME FUNCTION OF TIME ALONE.
13	HIGH SELECTING	\triangleright	$M = \begin{cases} x_1 & \text{FOR } x_1 \geq x_2 \\ x_2 & \text{FOR } x_1 < x_2 \end{cases}$			THE OUTPUT IS EQUAL TO THE GREATER OF THE INPUTS.

TABLE 3 - CONTINUED

55.1

FUNCTION	SYMBOL	MATH EQUATION	GRAPHIC REPRESENTATION		DEFINITION
MIN SELECTING		$V = \begin{cases} X & \text{FOR } X \leq Y \\ Y & \text{FOR } X > Y \end{cases}$			THE OUTPUT IS EQUAL TO THE LESSER OF THE INPUTS.
HIGH LIMITING		$V = \begin{cases} X & \text{FOR } X \leq H \\ H & \text{FOR } X > H \end{cases}$			THE OUTPUT EQUALS THE INPUT OR THE HIGH LIMIT VALUE WHICHEVER IS LOWER.
LOW LIMITING		$V = \begin{cases} X & \text{FOR } X \geq L \\ L & \text{FOR } X < L \end{cases}$			THE OUTPUT EQUALS THE INPUT OR THE LOW LIMIT VALUE WHICHEVER IS HIGHER.
REVERSE PROPORTIONAL		$V = -X$			THE OUTPUT IS REVERSELY PROPORTIONAL TO THE INPUT.
SENSITIVITY LIMIT		$\frac{dV}{dI} = \begin{cases} X & \text{FOR } X \leq H \text{ AND} \\ & \frac{dI}{dI} \leq S \\ X & \text{FOR } X > H \text{ OR} \\ & \frac{dI}{dI} > S \end{cases}$			THE OUTPUT EQUALS THE INPUT AS LONG AS THE RATE OF CHANGE OF THE INPUT DOES NOT EXCEED A LIMIT VALUE. THE OUTPUT WILL CHANGE AT THE RATE ESTABLISHED BY THIS LIMIT UNTIL THE OUTPUT AGAIN EQUALS THE INPUT.
BIAS		$V = X + b$			THE OUTPUT EQUALS THE INPUT PLUS (OR MINUS) SOME ARBITRARY VALUE (BIAS).
OTHER		OUTPUT ≠ INPUT	NONE		THE FORM OF THE OUTPUT SIGNAL IS DIFFERENT FROM THAT OF THE INPUT.

a - HYDRAULIC
 E - VOLTAGE
 I - CURRENT
 P - PNEUMATIC
 A - ANALOG
 B - BINARY
 H - HYDRAULIC
 O - ELECTROMAGNETIC, SONIC
 R - RESISTANCE(ELECT.)
 D - DIGITAL

5.4 TABLE 3 - CONTINUED

50.

NO	FUNCTION	SYMBOL	MATH EQUATION	GRAPHIC REPRESENTATION	DEFINITION	
27	SIGNAL MONITOR	$\square = H$	STATE 1 $x \leq H$ STATE 2 (ENERGIZED OR ALARM STATE) $x > H$			THE OUTPUT HAS DISCRETE STATES WHICH ARE DETERMINED ON THE VALUE OF THE INPUT. WHEN THE INPUT EXCEEDS OR BECOMES LESS THAN AN ARBITRARY LIMIT VALUE THE OUTPUT CHANGES STATE.
		$\square = L$	STATE 1 (ENERGIZED OR ALARM STATE) $x < L$ STATE 2 $x \geq L$			
		$\square = HL$	STATE 1 (FIRST OUTPUT M1 ENERGIZED OR ALARM STATE) $x < L$ STATE 2 (BOTH OUTPUTS INACTIVE OR DE-ENERGIZED) $L \leq x \leq H$ STATE 3 (SECOND OUTPUT M2 ENERGIZED OR ALARM STATE) $x > H$			

22

THE VARIABLES USED IN THE TABLE ARE:

- B - ANALOG BIAS VALUE.
- $\frac{d}{dt}$ - DERIVATIVE WITH RESPECT TO TIME.
- H - AN ARBITRARY ANALOG HIGH LIMIT VALUE.
- $\frac{1}{T_i}$ - INTEGRATING RATE.
- L - AN ARBITRARY ANALOG LOW LIMIT VALUE.
- M - ANALOG OUTPUT VARIABLE.
- n - NUMBER OF ANALOG INPUTS OR VALUE OF EXPONENT.
- t - TIME.
- T_D - DERIVATIVE TIME.
- X - ANALOG INPUT VARIABLE.
- $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ - ANALOG INPUT VARIABLE (1 TO N IN NUMBER).
- - TABLE LETTER DESIGNATORS.

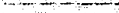
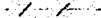
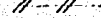
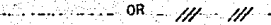
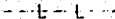
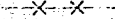




NOTE: THE SQUARE MAY BE USED AS A FLAG

 $\square = 0$ ON-OFF $\square = \text{REV}$ REVERSE ACTION

THIS TABLE HAS BEEN MODIFIED BY SAMA INC. 22-11111 WITH PERMISSION OF THE COPYRIGHTED U.S. STEEL INDUSTRIES MARKERS ASSOCIATION. COPIES OF THIS TABLE ARE AVAILABLE FROM SAMA, 1101 16TH STREET NW, WASHINGTON, D.C., 20036.

6.2 INSTRUMENT LINE SYMBOLS

ALL LINES TO BE FINE IN RELATION TO PROCESS PIPING LINES.

- | | |
|---|---|
| (1) INSTRUMENT SUPPLY *
OR CONNECTION TO PROCESS |  |
| (2) UNDEFINED SIGNAL |  |
| (3) PNEUMATIC SIGNAL ** |  |
| (4) ELECTRIC SIGNAL |  |
| (5) HYDRAULIC SIGNAL |  |
| (6) CAPILLARY TUBE |  |
| (7) ELECTROMAGNETIC OR SONIC SIGNAL ***
(GUIDED) |  |
| (8) ELECTROMAGNETIC OR SONIC SIGNAL ***
(NOT GUIDED) |  |
| (9) INTERNAL SYSTEM LINK
(SOFTWARE OR DATA LINK) |  |
| (10) MECHANICAL LINK |  |

OPTIONAL BINARY (ON-OFF) SYMBOLS

- | | |
|------------------------------|---|
| (11) PNEUMATIC BINARY SIGNAL |  |
| (12) ELECTRIC BINARY SIGNAL |  |

NOTE: 'Or' means user's choice. Consistency is recommended.













- * The following abbreviations are suggested to denote the types of power supply. These designations may also be applied to purge fluid supplies.

AS - Air Supply	} Options	HS - Hydraulic Supply
IA - Instrument Air		NS - Nitrogen Supply
PA - Plant Air		SS - Steam Supply
ES - Electric Supply		WS - Water Supply
GS - Gas Supply		

- The supply level may be added to the instrument supply line, e.g., AS-100, a 100-psig air supply; ES-24DC, a 24-volt direct current power supply.

- ** The pneumatic signal symbol applies to a signal using any gas as the signal medium. If a gas other than air is used, the gas may be identified by a note on the signal symbol or otherwise.
- *** Electromagnetic phenomena include heat, radio waves, nuclear radiation, and light.

6.3 GENERAL INSTRUMENT OR FUNCTION SYMBOLS

	PRIMARY LOCATION *** NORMALLY ACCESSIBLE TO OPERATOR	FIELD MOUNTED	AUXILIARY LOCATION *** NORMALLY ACCESSIBLE TO OPERATOR
DISCRETE INSTRUMENTS	1  IPI**	2 	3 
SHARED DISPLAY, SHARED CONTROL	4 	5 	6 
COMPUTER FUNCTION	7 	8 	9 
PROGRAMMABLE LOGIC CONTROL	10 	11 	12 









* Symbol size may vary according to the user's needs and the type of document. A suggested square and circle size for large diagrams is shown above. Consistency is recommended.

** Abbreviations of the user's choice such as IPI (Instrument Panel #1), IC2 (Instrument Console #2), CC4 (Computer Console #3), etc., may be used when it is necessary to specify instrument or function location.

*** Normally inaccessible or behind the panel devices or functions may be depicted by using the same symbols but with dashed horizontal bars, i.e.














6.3 GENERAL INSTRUMENT OR FUNCTION SYMBOLS (Contd.)

<p>13</p>	<p>14</p>  <p>INSTRUMENT WITH LONG TAG NUMBER</p>	<p>15</p>  <p>INSTRUMENTS SHARING COMMON HOUSINGS*</p>
<p>16</p>  <p>PILOT LIGHT</p>	<p>17</p>  <p>PANEL MOUNTED PATCHBOARD POINT 12</p>	<p>18</p>  <p>PURGE OR FLUSHING DEVICE</p> <p>**</p>
<p>19</p>  <p>RESET FOR LATCH-TYPE ACTUATOR</p> <p>**</p>	<p>20</p>  <p>DIAPHRAGM SEAL</p>	<p>21</p>  <p>UNDEFINED INTERLOCK LOGIC</p> <p>***</p>

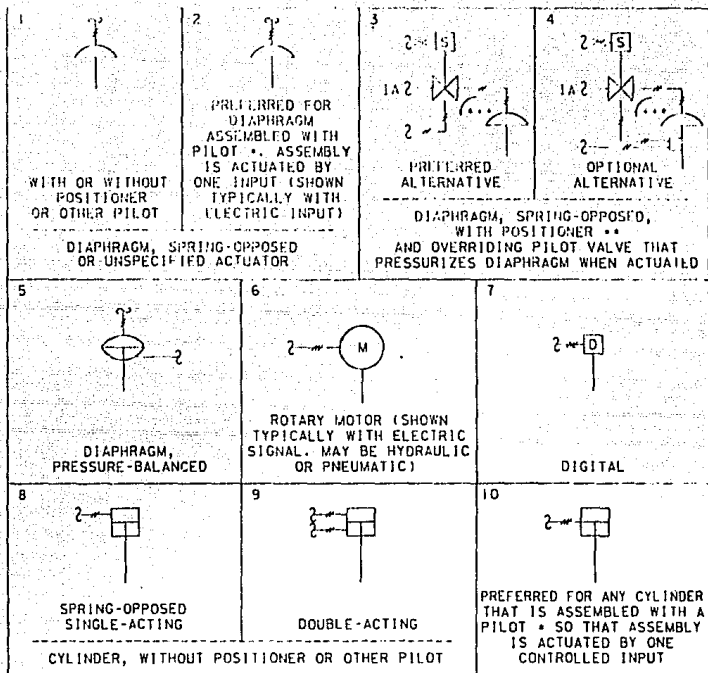
- * It is not mandatory to show a common housing.
- ** These diamonds are approximately half the size of the larger ones.
- *** For specific logic symbols, see ANSI/ISA Standard 55.2.

6.4 CONTROL VALVE BODY SYMBOLS, DAMPER SYMBOLS

<p>1</p>  <p>GENERAL SYMBOL</p>	<p>2</p>  <p>ANGLE</p>	<p>3</p>  <p>BUTTERFLY</p>	<p>4</p>  <p>ROTARY VALVE</p>
<p>5</p>  <p>THREE-WAY</p>	<p>6</p>  <p>FOUR-WAY</p>	<p>7</p>  <p>GLOBE</p>	<p>8</p>
<p>9</p>  <p>DIAPHRAGM</p>	<p>10</p>  <p>11</p>  <p>12</p>  <p>DAMPER OR LOUVER</p>		




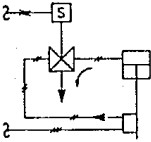
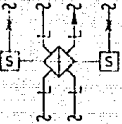

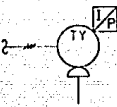
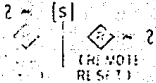


Further information may be added adjacent to the body symbol either by note or code number.

6.5 ACTUATOR SYMBOLS


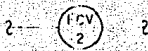
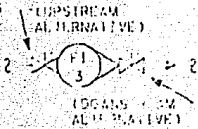
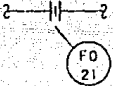
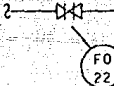
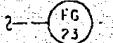
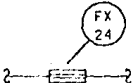
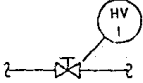




- * Pilot may be positioner, solenoid valve, signal converter, etc.
- ** The positioner need not be shown unless an intermediate device is on its output. The positioner tagging, ZC, need not be used even if the positioner is shown. The positioner symbol, a box drawn on the actuator shaft, is the same for all types of actuators. When the symbol is used, the type of instrument signal, i.e., pneumatic, electric, etc., is drawn as appropriate. If the positioner symbol is used and there is no intermediate device on its output, then the positioner output signal need not be shown.
- *** The arrow represents the path from a common to a fail open port. It does not correspond necessarily to the direction of fluid flow.

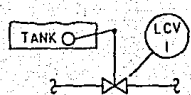
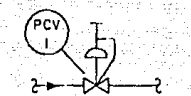
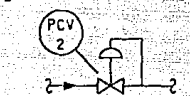

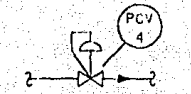
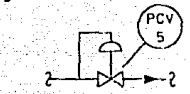
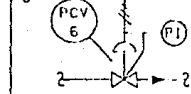

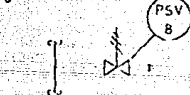
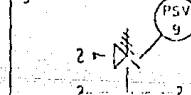
6.5 ACTUATOR SYMBOLS (Contd.)

<p>11</p>  <p>SOLENOID</p>	<p>12</p>  <p>PREFERRED ALTERNATIVE. A BUBBLE WITH INSTRUMENT TAGGING, E.G., TY-1, MAY BE USED INSTEAD OF THE INTERLOCK SYMBOL </p>	<p>13</p>  <p>SINGLE-ACTING CYLINDER (IMPLIED I/P)</p> <hr/> <p>CYLINDER WITH POSITIONER AND OVERRIDING PILOT VALVE</p>
<p>14</p>  <p>DUAL SOLENOIDS SWITCHING 4-WAY HYDRAULIC VALVE</p>	<p>15</p>  <p>ELECTROHYDRAULIC</p>	<p>16</p>  <p>VALVE ACTUATOR WITH ATTACHED ELECTRO-PNEUMATIC CONVERTER</p>
<p>17</p>  <p>FOR PRESSURE RELIEF OR SAFETY VALVES ONLY: DENOTES A SPRING, WEIGHT, OR INTEGRAL PILOT</p>	<p>18</p>  <p>HAND ACTUATOR OR HANDWEIGHT</p>	<p>19</p>  <p>HAND ACTUATOR OR HANDWEIGHT</p>

6.6 SYMBOLS FOR SELF-ACTUATED REGULATORS, VALVES, AND OTHER DEVICES

FLOW	1	2	3
			
	<p>AUTOMATIC REGULATOR WITH INTEGRAL FLOW INDICATION</p>	<p>AUTOMATIC REGULATOR WITHOUT INDICATION</p>	<p>INDICATING VARIABLE AREA METER WITH INTEGRAL MANUAL OVERRIDE</p>
4	5	6	
			
<p>RESTRICTION ORIFICE (ORIFICE PLATE, CAPILLARY TUBE OR MULTI-STAGE TYPE, ETC.) IN PROCESS LINE</p>	<p>RESTRICTION ORIFICE DRILLED IN VALVE (INSTRUMENT TAG NUMBER MAY BE OMITTED IF VALVE IS OTHERWISE IDENTIFIED)</p>	<p>FLOW SIGHT GLASS, PLAIN OR WITH PADDLE WHEEL, FLAPPER, ETC.</p>	
7	8	9	
	8	9	
<p>FLOW STRAIGHTENING VANE (USE OF TAG NUMBER IS OPTIONAL. THE LOOP NUMBER MAY BE THE SAME AS THAT OF THE ASSOCIATED PRIMARY ELEMENT)</p>	8	9	
HAND	1	2	3
			
	<p>HAND CONTROL VALVE IN PROCESS LINE</p>	<p>HAND-ACTUATED ON-OFF SWITCHING VALVE IN PNEUMATIC SIGNAL LINE</p>	<p>HAND CONTROL VALVE IN SIGNAL LINE</p>

6.6 SYMBOLS FOR SELF-ACTUATED REGULATORS, VALVES, AND OTHER DEVICES (Contd.)

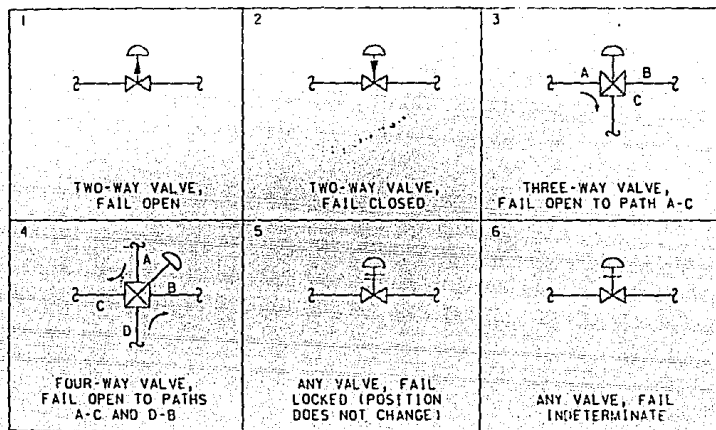
LEVEL	1	2	3
	 <p>LEVEL REGULATOR WITH MECHANICAL LINKAGE</p>		
PRESSURE	1	2	3
	 <p>PRESSURE-REDUCING REGULATOR, SELF-CONTAINED, WITH HANDWHEEL ADJUSTABLE SET POINT</p>	 <p>PRESSURE-REDUCING REGULATOR WITH EXTERNAL PRESSURE TAP</p>	 <p>DIFFERENTIAL-PRESSURE-REDUCING REGULATOR WITH INTERNAL AND EXTERNAL PRESSURE TAPS</p>
	4	5	6
	 <p>BACKPRESSURE REGULATOR, SELF-CONTAINED</p>	 <p>BACKPRESSURE REGULATOR WITH EXTERNAL PRESSURE TAP</p>	 <p>PRESSURE-REDUCING REGULATOR WITH INTEGRAL OUTLET PRESSURE RELIEF VALVE, AND OPTIONAL PRESSURE INDICATOR (TYPICAL AIR SET)</p>
7	8	9	
 <p>PRESSURE RELIEF OR SAFETY VALVE, GENERAL SYMBOL</p>	 <p>PRESSURE RELIEF OR SAFETY VALVE, STRAIGHT THROUGH PATTERN, SPRING OR WEIGHT LOADED, OR WITH INLET PILOT</p>	 <p>VACUUM RELIEF VALVE, GENERAL SYMBOL</p>	

G.6 SYMBOLS FOR SELF-ACTUATED REGULATORS, VALVES, AND OTHER DEVICES (Contd.)

PRESSURE (Conto.)	10	<p>PRESSURE AND VACUUM RELIEF VALVE, SPRING-OR WEIGHT-LOADED, OR WITH INTEGRAL PILOT</p>	11	<p>PRESSURE AND VACUUM RELIEF MANHOLE COVER</p>	12	<p>PRESSURE RELIEF OR SAFETY VALVE, ANGLE PATTERN, TRIPPED BY INTEGRAL SOLENOID</p>
	13	<p>RUPTURE DISK OR SAFETY HEAD FOR PRESSURE RELIEF</p>	14	<p>RUPTURE DISK OR SAFETY HEAD FOR VACUUM RELIEF</p>	15	<p>PILOT OPERATED RELIEF VALVE</p>
	TEMPERATURE	1	<p>TEMPERATURE REGULATOR, FILLED-SYSTEM TYPE</p>	2	<p>FUSIBLE PLUG OR DISK</p>	3
TRAPS	1	<p>ALL TRAPS</p>	2	<p>TRAP WITH EQUALIZING CONNECTION</p>	3	<p>USER DEFINED TRAP</p>

- The solenoid-tripped pressure relief valve is one of the class of power-actuated relief valves and is grouped with the other types of relief valves even though it is not entirely a self-actuated device.

6.7 SYMBOLS FOR ACTUATOR ACTION IN EVENT OF ACTUATOR POWER FAILURE. (SHOWN TYPICALLY FOR DIAPHRAGM-ACTUATED CONTROL VALVE)



The failure modes indicated are those commonly defined by the term, "safe position". As an alternative to the arrows and bars, the following abbreviations may be employed:

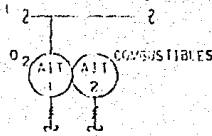
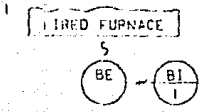
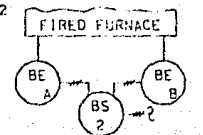
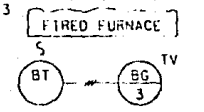
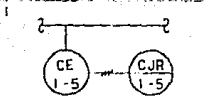
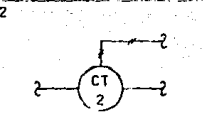
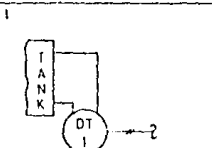
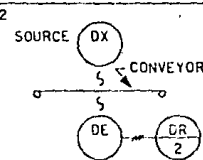
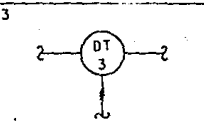
FO - Fail Open

FC - Fail Closed

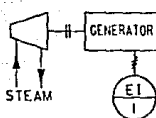
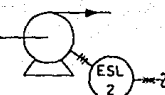

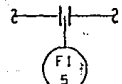
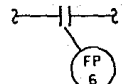
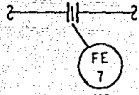
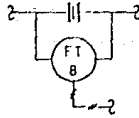
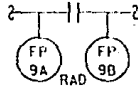
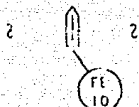
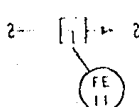
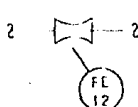
FL - Fail Locked (last position)

FI - Fail Indeterminate

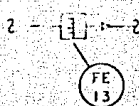
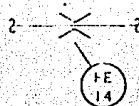

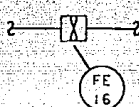
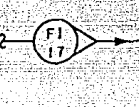
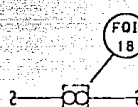
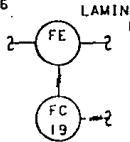
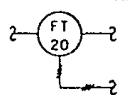
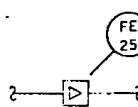
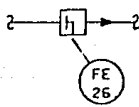
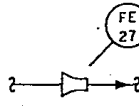
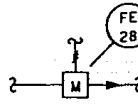
6.3 PRIMARY ELEMENT SYMBOLS

<p>A ANALYSIS</p>	 <p>DUAL ANALYSIS INDICATING TRANSMITTER FOR OXYGEN AND COMBUSTIBLES CONCENTRATIONS</p>	<p>2</p>	<p>3</p>
<p>B BURNER/COMBUSTION</p>	 <p>ONE BURNER ULTRA-VIOLET FLAME DETECTOR CONNECTED TO ANALOG-TYPE FLAME INTENSITY INDICATOR</p>	 <p>TWO BURNER FLAME ROD SENSORS CONNECTED TO COMMON SWITCH</p>	 <p>TELEVISION CAMERA AND RECEIVER TO VIEW BURNER FLAME</p>
<p>C USER'S CHOICE</p>	 <p>CONDUCTIVITY CELL CONNECTED TO POINT 5 OF MULTIPPOINT SCANNING CONDUCTIVITY RECORDER</p>	 <p>INLINE CONSISTENCY TRANSMITTER</p>	<p>3</p>
<p>D USER'S CHOICE</p>	 <p>DENSITY TRANSMITTER, DIFFERENTIAL-PRESSURE TYPE, EXTERNALLY CONNECTED</p>	 <p>RADIOACTIVE-TYPE DENSITY ELEMENTS CONNECTED TO RECORDER ON PANEL</p>	 <p>SPECIFIC GRAVITY TRANSMITTER, FLOW-THROUGH TYPE</p>
<p>USE OF LETTER C AND D DEFINED ON USER'S LEGEND SHEET</p>			

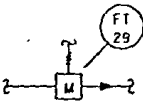
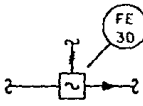
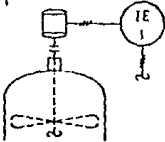
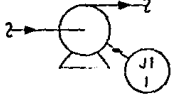


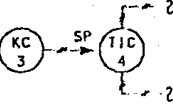
6.8 PRIMARY ELEMENT SYMBOLS (Contd.)

E VOLTAGE	<p>1</p>  <p>INDICATING VOLTMETER CONNECTED TO TURBINE- GENERATOR</p>	<p>2</p>  <p>LOW-VOLTAGE SWITCH CONNECTED TO PUMP MOTOR</p>	<p>3</p>
	<p>1</p>  <p>GENERAL SYMBOL THE WORDS LAMINAR, ETC., MAY BE ADDED</p>	<p>2</p>  <p>ORIFICE PLATE WITH FLANGE OR CORNER TAPS CONNECTED TO DIFFERENTIAL-PRESSURE TYPE FLOW INDICATOR</p>	<p>3</p>  <p>FLANGE OR CORNER TAP TEST CONNECTIONS WITHOUT ORIFICE PLATE</p>
F FLOW RATE	<p>4</p>  <p>ORIFICE PLATE WITH VENA CONTRACTA TAPS</p>	<p>5</p>  <p>ORIFICE PLATE WITH VENA CONTRACTA, RADIUS, OR PIPE TAPS CONNECTED TO DIFFERENTIAL-PRESSURE- TYPE FLOW TRANSMITTER</p>	<p>6</p>  <p>RADIUS TAP TEST CONNECTIONS WITHOUT ORIFICE PLATE</p>
	<p>7</p>  <p>ORIFICE PLATE IN QUICK CHANGE FITTING</p>	<p>8</p>  <p>SINGLE PORT PILOT TUBE OR PILOT- VENTURI TUBE</p>	<p>9</p>  <p>VENTURI TUBE</p>



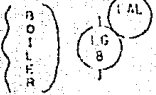



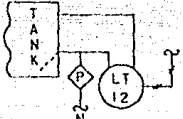
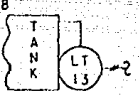
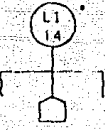
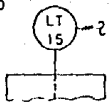
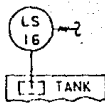
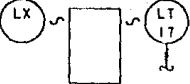
6.8 PRIMARY ELEMENT SYMBOLS (Contd.)

FLOW RATE (Contd.)	10		11		12	
		AVERAGING PITOT TUBE	FLUME	WEIR		
	13		14		15	
		TURBINE-OR PROPELLER- TYPE PRIMARY ELEMENT	VARIABLE AREA FLOW INDICATOR	POSITIVE-DISPLACEMENT- TYPE FLOW TOTALIZING INDICATOR		
	16		17		18	
		LAMINAR FLOW, ETC.	MASS FLOW ETC.	FLOW ELEMENT INTEGRAL WITH TRANSMITTER	VORTEX SENSOR	
19		20		21		
	TARGET TYPE SENSOR	FLOW NOZZLE	MAGNETIC FLOWMETER			

6.8 PRIMARY ELEMENT SYMBOLS (Contd.)

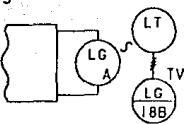
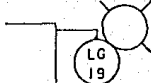
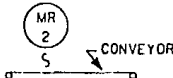

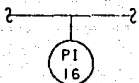
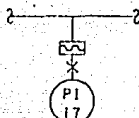
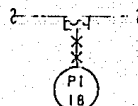
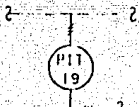
FLOW RATE (Contd.)	<p>22</p>  <p>MAGNETIC FLOWMETER WITH INTEGRAL TRANSMITTER</p>	<p>23</p>  <p>SONIC FLOWMETER "DOPPLER" OR "TRANSIT TIME" MAY BE ADDED</p>	24
CURRENT	<p>1</p>  <p>CURRENT TRANSFORMER MEASURING CURRENT OF ELECTRIC MOTOR</p>	2	3
POWER	<p>1</p>  <p>INDICATING WATTMETER CONNECTED TO PUMP MOTOR</p>	2	3
TIME OR TIME-SCHEDULE	<p>1</p>  <p>CLOCK</p>	<p>2</p>  <p>MULTIPOINT ON-OFF TIME SEQUENCING PROGRAMMER POINT 7</p>	<p>3</p>  <p>TIME-SCHEDULE CONTROLLER, ANALOG TYPE, OR SELF-CONTAINED FUNCTION GENERATOR</p>

6.8 PRIMARY ELEMENT SYMBOLS (Contd.)

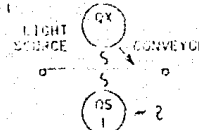
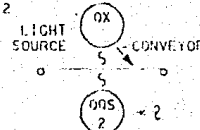
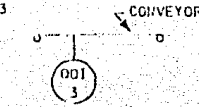
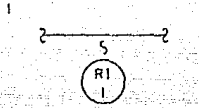
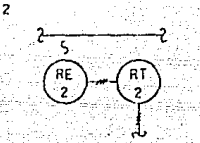
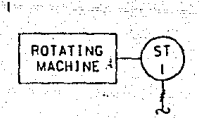
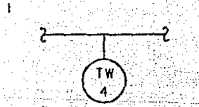
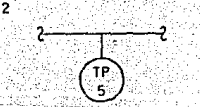
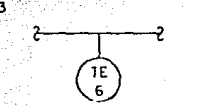
LEVEL L	1	2	3
			
	<p>GAGE GLASS, INTEGRALLY MOUNTED ON TANK</p>	<p>GAGE GLASS, EXTERNALLY CONNECTED</p>	<p>WATER COLUMN WITH INTEGRAL GAGE GLASS AND ALARM WHISTLE</p>
	4	5	6
			
	<p>LEVEL INDICATOR, WITH TWO CONNECTIONS</p>	<p>DUPLEX LEVEL TRANSMITTER-CONTROLLER, WITH TWO CONNECTIONS</p>	<p>LEVEL TRANSMITTER, WITH ONE CONNECTION</p>
7	8	9	
			
<p>LEVEL TRANSMITTER, DIFFERENTIAL-PRESSURE TYPE, EXTERNALLY CONNECTED, WITH DIP TUBE</p>	<p>LEVEL TRANSMITTER, DIFFERENTIAL-PRESSURE TYPE, MOUNTED ON TANK</p>	<p>LEVEL INDICATOR, FLOAT TYPE</p>	
10	11	12	
			
<p>CAPACITANCE OR DIELECTRIC TYPE LEVEL ELEMENT CONNECTED TO LEVEL TRANSMITTER (TAG LEVEL ELEMENT LE-15)</p>	<p>LEVEL SWITCH, PADDLE WHEEL OR LEVER TYPE, TO MEASURE LEVEL OF SOLIDS</p>	<p>RADIOACTIVE- OR SONIC-TYPE LEVEL TRANSMITTER WITH INTEGRAL SENSOR</p>	

* Notations such as "mounted at grade" may be added.

6.8 PRIMARY ELEMENT SYMBOLS (Contd.)

L LEVEL (Contd.)	13	 <p>REMOTE VIEWING OF GAGE GLASS BY USE OF TELEVISION</p>	14	 <p>LEVEL GLASS WITH ILLUMINATOR</p>	15	
	M USER'S CHOICE	1	 <p>MOISTURE RECORDER (IF THERE IS A SEPARATE PRIMARY ELEMENT, IT SHOULD BE TAGGED MF-2)</p>	2	 <p>SELF-CONTAINED HUMIDITY CONTROLLER IN ROOM</p>	
USE OF LETTER M TO BE DEFINED IN USER'S LEGEND						
P PRESSURE OR VACUUM	1	 <p>PRESSURE INDICATOR, DIRECT-CONNECTED</p>	2	 <p>WITH PRESSURE LEAD LINE</p>	3	 <p>LINE MOUNTED</p>
	4	 <p>PRESSURE-ELEMENT, STRAIN-GAGE TYPE, CONNECTED TO PRESSURE INDICATING TRANSMITTER (TAG STRAIN GAGE PI 19)</p>	5		6	

6.3 PRIMARY ELEMENT SYMBOLS (Contd.)

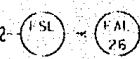
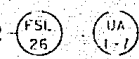
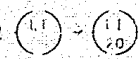
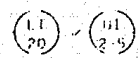
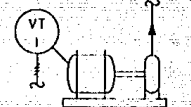
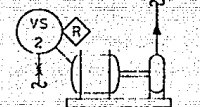
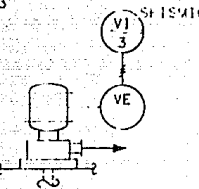
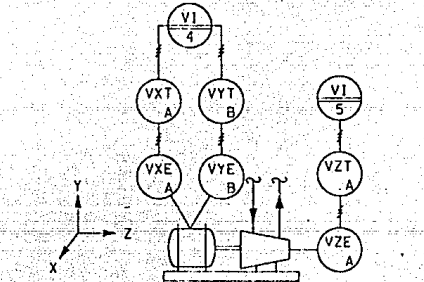
QUANTITY	<p>1</p>  <p>COUNTING SWITCH, PHOTO-ELECTRIC TYPE, WITH SWITCH ACTION FOR EACH EVENT</p>	<p>2</p>  <p>COUNTING SWITCH, PHOTO-ELECTRIC TYPE, WITH SWITCH ACTION BASED ON CUMULATIVE TOTAL</p>	<p>3</p>  <p>INDICATING COUNTER, MECHANICAL TYPE</p>
RADIATION	<p>1</p>  <p>RADIATION INDICATOR</p>	<p>2</p>  <p>RADIATION MEASURING ELEMENT AND TRANSMITTER</p>	<p>3</p>
SPEED OR FREQUENCY	<p>1</p>  <p>SPEED TRANSMITTER</p>	<p>2</p>	<p>3</p>
TEMPERATURE	<p>1</p>  <p>TEMPERATURE CONNECTION WITH WELL</p>	<p>2</p>  <p>TEMPERATURE TEST CONNECTION WITHOUT WELL</p>	<p>3</p>  <p>TEMPERATURE ELEMENT WITHOUT WELL (ELEMENT NOT CONNECTED TO SECONDARY INSTRUMENT)</p>

6.8 PRIMARY ELEMENT SYMBOLS (Contd.)

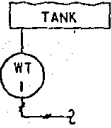
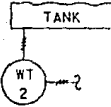
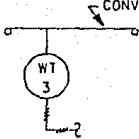
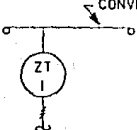
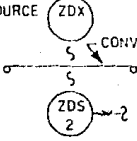
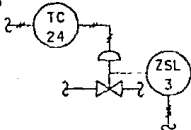
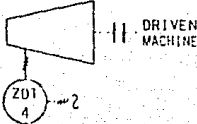
T TEMPERATURE (Contd.)	4	5	6
	<p>TEMPERATURE ELEMENT WITH WELL (ELEMENT NOT CONNECTED TO SECONDARY INSTRUMENT)</p>	<p>FILLED-SYSTEM-TYPE TEMPERATURE INDICATOR WITH WELL</p>	<p>BIMETALLIC-TYPE THERMOMETER, GLASS THERMOMETER, OR OTHER LOCAL UNCLASSIFIED TEMPERATURE INDICATOR</p>
	7	8	9
	<p>THERMOCOUPLE, RESISTANCE BULB (RTD) OR THERMISTOR (TH) CONNECTED TO TEMPERATURE INDICATOR (TAG ELEMENT TE-10)</p>	<p>THERMOCOUPLE CONNECTED TO MULTIPOINT INDICATOR RECORDING ON MULTIPOINT SCANNING RECORDER (TAG ELEMENT TE-11-2)</p>	<p>THERMOCOUPLE PARALLEL-WIRED TO MULTIPOINT INDICATOR AND MULTIPOINT SCANNING RECORDER (TAG ELEMENT TE-13-8/14-4)</p>
10	11	12	
<p>DUAL OR DUPLEX THERMOCOUPLE CONNECTED TO MULTIPOINT INDICATOR AND MULTIPOINT SCANNING RECORDER (TAG ELEMENT TE-15-7/16-2)</p>	<p>MULTI-ELEMENT THERMOCOUPLE FOR DIFFERENT ELEMENTS, WITH WELL IN TANK</p>	<p>THERMAL-RADIATION TYPE TEMPERATURE INDICATOR, SELF-CONTAINED</p>	
13	14	15	
<p>THERMAL-RADIATION TYPE TEMPERATURE ELEMENT</p>	<p>SURFACE-MOUNTED TEMPERATURE SENSOR</p>	<p>THERMOSTAT SENSING AMBIENT TEMPERATURE</p>	

* Use of the thermowell symbol is optional. However, use or omission of the symbol should be consistent throughout a project.

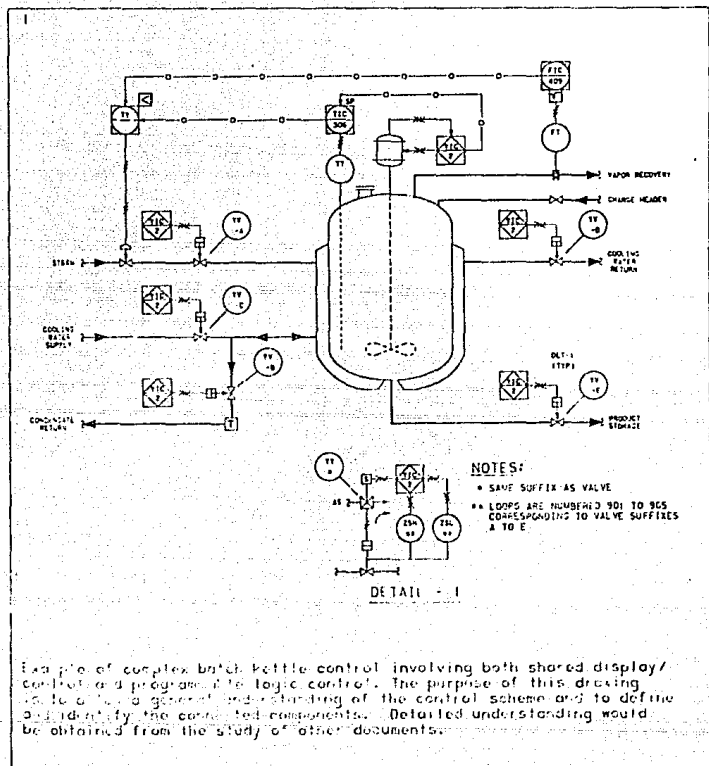
6.8 PRIMARY ELEMENT SYMBOLS (Cont'd.)

MULTIVARIABLE	<p>1</p>  <p>ALTERNATIVE 1 (TREATED AS DISTINCT LOOPS)</p>	<p>2</p>  <p>ALTERNATIVE 2</p>	<p>3</p>  <p>ALTERNATIVE 1 (TREATED AS DISTINCT LOOPS)</p>	<p>4</p>  <p>ALTERNATIVE 2</p>
	<p>LOW-FLOW SWITCH ACTUATING ONE POINT OF A MULTIPOINT MULTIVARIABLE ALARM ANNUNCIATOR</p>		<p>LEVEL SIGNAL RECEIVED BY ONE POINT OF A MULTIPOINT MULTIVARIABLE INDICATOR</p>	
VIBRATION, MECHANICAL ANALYSIS	<p>1</p>  <p>VIBRATION TRANSMITTER FOR MOTOR</p>	<p>2</p>  <p>VIBRATION SWITCH (MANUALLY RESETTABLE)</p>	<p>3</p>  <p>ACCELEROMETER WITH AUXILIARY PANEL READOUT</p>	
	<p>4</p>  <p>MECHANICAL ANALYSIS IN THREE PLANES</p>			<p>5</p>

6.8 PRIMARY ELEMENT SYMBOLS (Contd.)

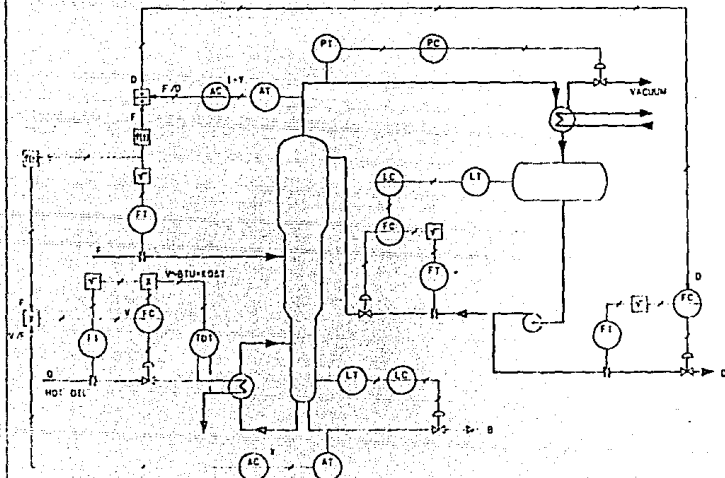
WEIGHT OR FORCE W	<p>1</p>  <p>WT 1</p> <p>WEIGHT TRANSMITTER, DIRECT-CONNECTED</p>	<p>2</p>  <p>WT 2</p> <p>STRAIN GAGE CONNECTED TO SEPARATE WEIGHT TRANSMITTER (TAG STRAIN GAGE WE-2)</p>	<p>3</p>  <p>WT 3</p> <p>WEIGH-BELT SCALE TRANSMITTER</p>
POSITION, DIMENSION	<p>1</p>  <p>ZT 1</p> <p>ROLL-THICKNESS TRANSMITTER</p>	<p>2</p>  <p>ZDX SOURCE</p> <p>ZDS 2</p> <p>CONVEYOR</p> <p>THICKNESS SWITCH, RADIOACTIVE TYPE</p>	<p>3</p>  <p>TC 24</p> <p>ZSL 3</p> <p>LIMIT SWITCH THAT IS ACTUATED WHEN VALVE IS CLOSED TO A PRE-DETERMINED POSITION</p>
	<p>4</p>  <p>ZDT 4</p> <p>DRIVEN MACHINE</p> <p>TURBINE SHELL/ROTOR DIFFERENTIAL-EXPANSION TRANSMITTER (TAG PRIMARY ELEMENT ZDE-4)</p>	<p>5</p>	<p>6</p>

6.11 EXAMPLE - COMPLEX COMBINATIONS



6.12 EXAMPLE - DEGREE OF DETAIL *

2 TYPICAL SYMBOLISM FOR CONCEPTUAL DIAGRAMS

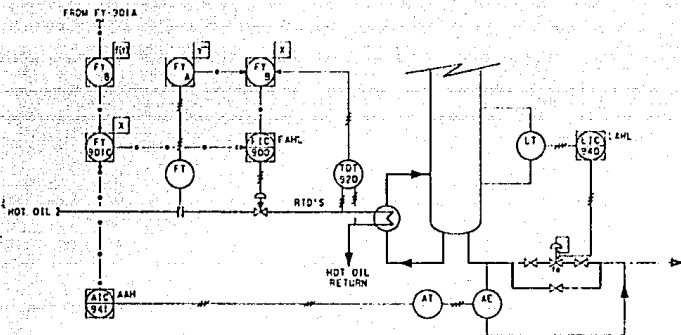


Functionally oriented symbolism and abbreviated identification used to develop control concepts without concern for specific hardware.

* SEE SECTION 4.4 FOR DISCUSSION.

6.12 EXAMPLE - DEGREE OF DETAIL *

3 TYPICAL SYMBOLISM FOR DETAILED DIAGRAMS



Detailed symbolism and more complete identification used to describe the control system when the type of hardware and kinds of signals have been chosen.

* SEE SECTION 4.4 FOR DISCUSSION

APENDICE II

SAMA 100 OHM (NOMINAL) PLATINUM RTD TEMPERATURE-RESISTANCE TABLES
 Curve PR-279 ($^{\circ}\text{C}$ vs Absolute Ω) and Curve PR-278 ($^{\circ}\text{F}$ vs Absolute Ω)

The values listed in these tables were calculated using the equations found in Foxboro Drawing 10104MU. Temperature Calibration Sources:

Curve PR-279, $^{\circ}\text{C}$ vs Absolute Ω

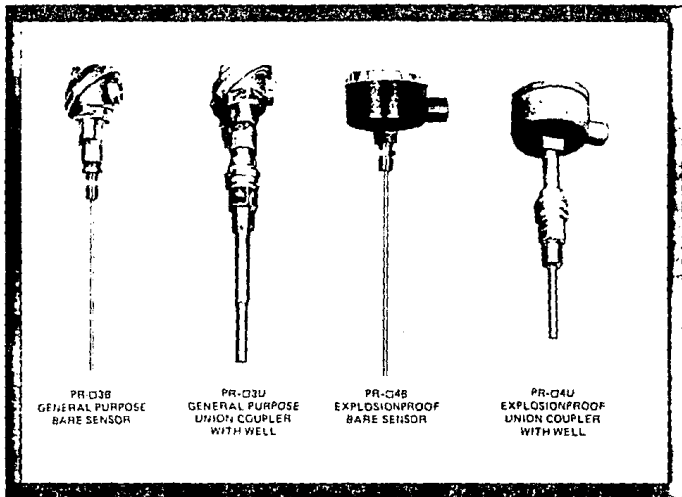
$^{\circ}\text{C}$	RESISTANCE IN ABSOLUTE OHMS									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
-275	31.665									
-190	22.972	20.543	20.133	19.684	19.254	18.823	18.392	17.961	17.530	17.098
-180	22.744	20.315	19.905	19.456	19.026	18.595	18.164	17.733	17.302	16.871
-170	22.516	20.087	19.677	19.228	18.798	18.367	17.936	17.505	17.074	16.643
-160	22.288	19.859	19.449	19.000	18.570	18.139	17.708	17.277	16.846	16.415
-150	22.060	19.631	19.221	18.772	18.342	17.911	17.480	17.049	16.618	16.187
-140	21.832	19.403	19.003	18.554	18.124	17.693	17.262	16.831	16.400	15.969
-130	21.604	19.175	18.775	18.326	17.896	17.465	17.034	16.603	16.172	15.741
-120	21.376	18.947	18.547	18.108	17.678	17.247	16.816	16.385	15.954	15.523
-110	21.148	18.719	18.319	17.880	17.450	17.019	16.588	16.157	15.726	15.295
-100	20.920	18.491	18.091	17.652	17.222	16.791	16.360	15.929	15.498	15.067
-90	20.692	18.263	17.863	17.424	17.004	16.573	16.142	15.711	15.280	14.849
-80	20.464	18.035	17.635	17.196	16.776	16.345	15.914	15.483	15.052	14.621
-70	20.236	17.807	17.407	16.968	16.548	16.117	15.686	15.255	14.824	14.393
-60	20.008	17.579	17.179	16.740	16.320	15.889	15.458	15.027	14.596	14.165
-50	19.780	17.351	16.951	16.512	16.092	15.661	15.230	14.799	14.368	13.937
-40	19.552	17.123	16.723	16.284	15.864	15.433	15.002	14.571	14.140	13.709
-30	19.324	16.895	16.495	16.056	15.636	15.205	14.774	14.343	13.912	13.481
-20	19.096	16.667	16.267	15.828	15.408	14.977	14.546	14.115	13.684	13.253
-10	18.868	16.439	16.039	15.600	15.180	14.749	14.318	13.887	13.456	13.025
0	18.640	16.211	15.811	15.372	14.952	14.521	14.090	13.659	13.228	12.797
10	18.412	15.983	15.583	15.144	14.724	14.293	13.862	13.431	13.000	12.569
20	18.184	15.755	15.355	14.916	14.496	14.065	13.634	13.203	12.772	12.341
30	17.956	15.527	15.127	14.688	14.268	13.837	13.406	12.975	12.544	12.113
40	17.728	15.299	14.899	14.460	14.040	13.609	13.178	12.747	12.316	11.885
50	17.500	15.071	14.671	14.232	13.812	13.381	12.950	12.519	12.088	11.657
60	17.272	14.843	14.443	14.004	13.584	13.153	12.722	12.291	11.860	11.429
70	17.044	14.615	14.215	13.776	13.356	12.925	12.494	12.063	11.632	11.201
80	16.816	14.387	13.987	13.548	13.128	12.697	12.266	11.835	11.404	10.973
90	16.588	14.159	13.759	13.320	12.900	12.469	12.038	11.607	11.176	10.745
100	16.360	13.931	13.531	13.092	12.672	12.241	11.810	11.379	10.948	10.517
110	16.132	13.703	13.303	12.864	12.444	12.013	11.582	11.151	10.720	10.289
120	15.904	13.475	13.075	12.636	12.216	11.785	11.354	10.923	10.492	10.061
130	15.676	13.247	12.847	12.408	11.988	11.557	11.126	10.695	10.264	9.833
140	15.448	13.019	12.619	12.180	11.760	11.329	10.898	10.467	10.036	9.605
150	15.220	12.791	12.391	11.952	11.532	11.101	10.670	10.239	9.808	9.377
160	14.992	12.563	12.163	11.724	11.304	10.873	10.442	10.011	9.580	9.149
170	14.764	12.335	11.935	11.496	11.076	10.645	10.214	9.783	9.352	8.921
180	14.536	12.107	11.707	11.268	10.848	10.417	9.986	9.555	9.124	8.693
190	14.308	11.879	11.479	11.040	10.620	10.189	9.758	9.327	8.896	8.465
200	14.080	11.651	11.251	10.812	10.392	9.961	9.530	9.099	8.668	8.237
210	13.852	11.423	11.023	10.584	10.164	9.733	9.302	8.871	8.440	8.009
220	13.624	11.195	10.795	10.356	9.936	9.505	9.074	8.643	8.212	7.781
230	13.396	10.967	10.567	10.128	9.708	9.277	8.846	8.415	7.984	7.553
240	13.168	10.739	10.339	9.900	9.480	9.049	8.618	8.187	7.756	7.325
250	12.940	10.511	10.111	9.672	9.252	8.821	8.390	7.959	7.528	7.097
260	12.712	10.283	9.883	9.444	9.024	8.593	8.162	7.731	7.300	6.869
270	12.484	10.055	9.655	9.216	8.796	8.365	7.934	7.503	7.072	6.641
280	12.256	9.827	9.427	8.988	8.568	8.137	7.706	7.275	6.844	6.413
290	12.028	9.599	9.199	8.760	8.340	7.909	7.478	7.047	6.616	6.185
300	11.800	9.371	8.971	8.532	8.112	7.681	7.250	6.819	6.388	5.957



Curve PR-279, °C vs Absolute ρ (Cont.)

°C	RESISTANCE IN ABSOLUTE OHMS										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
399	218.171	218.527	219.083	219.229	219.595	220.991	222.384	222.867	223.817	223.372	
318	217.721	218.062	218.437	218.792	220.187	221.521	222.474	223.214	224.514	224.924	
326	217.273	217.627	217.982	218.334	218.686	219.041	219.394	219.747	220.101	220.452	
338	221.084	221.259	221.532	221.864	222.217	222.569	222.921	223.272	223.623	223.977	
348	221.329	221.689	222.032	222.383	222.734	223.085	223.436	223.787	224.138	224.489	
356	221.359	221.818	222.258	222.698	223.140	223.582	223.988	224.396	224.844	225.269	
366	231.339	231.689	232.032	232.384	232.735	233.084	233.433	233.781	234.128	234.478	
373	231.424	231.774	232.122	232.470	232.818	233.166	233.513	233.861	234.207	234.552	
386	231.893	232.243	232.591	232.938	233.286	233.634	233.982	240.329	241.675	242.021	
393	241.767	242.117	242.465	242.812	243.158	243.505	243.851	244.198	244.545	244.891	
406	245.221	245.565	245.912	246.254	246.599	246.943	247.287	247.631	247.975	248.319	
416	248.662	249.006	249.349	249.692	250.036	250.379	250.722	251.065	251.408	251.751	
426	252.892	253.235	253.577	253.919	254.262	254.604	254.947	255.290	255.632	255.975	
438	255.531	255.873	256.214	256.555	256.897	257.238	257.579	257.920	258.261	258.602	
448	258.919	259.259	259.599	259.939	260.279	260.618	260.958	261.297	261.636	261.976	
458	262.235	262.575	262.913	263.251	263.589	263.928	264.267	264.605	264.943	265.281	
467	262.899	263.237	263.575	263.912	264.250	264.587	264.924	265.261	265.598	265.935	
477	263.872	264.209	264.545	264.882	250.218	268.554	268.891	269.228	269.564	269.901	
485	272.122	272.459	272.795	273.132	273.468	273.805	274.142	274.478	274.814	275.151	
496	275.262	275.599	275.935	276.272	276.608	276.945	277.281	277.618	277.954	278.291	
506	279.222	279.559	279.895	280.232	280.569	280.905	281.242	281.578	281.915	282.251	
515	282.889	283.226	283.562	283.899	284.235	284.572	284.908	285.245	285.581	285.918	
525	286.794	287.131	287.467	287.804	288.140	288.477	288.813	289.149	289.486	289.822	
535	290.944	291.281	291.617	291.954	292.290	292.627	292.963	293.299	293.635	293.971	
545	295.361	295.697	296.033	296.369	296.705	297.041	297.377	297.712	298.048	298.384	
555	299.948	300.284	300.620	300.956	301.292	301.628	301.964	302.300	302.636	302.972	
565	304.698	305.034	305.370	305.706	306.042	306.378	306.714	307.050	307.386	307.722	
575	309.598	309.934	310.270	310.606	310.942	311.278	311.614	311.950	312.286	312.622	
585	314.638	314.974	315.310	315.646	315.982	316.318	316.654	316.990	317.326	317.662	
595	319.918	320.254	320.590	320.926	321.262	321.598	321.934	322.270	322.606	322.942	
605	325.438	325.774	326.110	326.446	326.782	327.118	327.454	327.790	328.126	328.462	
615	331.198	331.534	331.870	332.206	332.542	332.878	333.214	333.550	333.886	334.222	
625	337.198	337.534	337.870	338.206	338.542	338.878	339.214	339.550	339.886	340.222	
635	343.438	343.774	344.110	344.446	344.782	345.118	345.454	345.790	346.126	346.462	
645	350.038	350.374	350.710	351.046	351.382	351.718	352.054	352.390	352.726	353.062	
655	356.938	357.274	357.610	357.946	358.282	358.618	358.954	359.290	359.626	359.962	
665	364.138	364.474	364.810	365.146	365.482	365.818	366.154	366.490	366.826	367.162	
675	371.638	371.974	372.310	372.646	372.982	373.318	373.654	373.990	374.326	374.662	
685	379.438	379.774	380.110	380.446	380.782	381.118	381.454	381.790	382.126	382.462	
695	387.538	387.874	388.210	388.546	388.882	389.218	389.554	389.890	390.226	390.562	
705	396.038	396.374	396.710	397.046	397.382	397.718	398.054	398.390	398.726	399.062	
715	404.938	405.274	405.610	405.946	406.282	406.618	406.954	407.290	407.626	407.962	
725	414.238	414.574	414.910	415.246	415.582	415.918	416.254	416.590	416.926	417.262	
735	423.938	424.274	424.610	424.946	425.282	425.618	425.954	426.290	426.626	426.962	
745	434.038	434.374	434.710	435.046	435.382	435.718	436.054	436.390	436.726	437.062	
755	444.538	444.874	445.210	445.546	445.882	446.218	446.554	446.890	447.226	447.562	
765	455.438	455.774	456.110	456.446	456.782	457.118	457.454	457.790	458.126	458.462	
775	466.738	467.074	467.410	467.746	468.082	468.418	468.754	469.090	469.426	469.762	
785	478.438	478.774	479.110	479.446	479.782	480.118	480.454	480.790	481.126	481.462	
795	490.538	490.874	491.210	491.546	491.882	492.218	492.554	492.890	493.226	493.562	
805	503.038	503.374	503.710	504.046	504.382	504.718	505.054	505.390	505.726	506.062	
815	515.938	516.274	516.610	516.946	517.282	517.618	517.954	518.290	518.626	518.962	
825	529.238	529.574	529.910	530.246	530.582	530.918	531.254	531.590	531.926	532.262	
835	542.938	543.274	543.610	543.946	544.282	544.618	544.954	545.290	545.626	545.962	
845	557.038	557.374	557.710	558.046	558.382	558.718	559.054	559.390	559.726	560.062	
855	571.538	571.874	572.210	572.546	572.882	573.218	573.554	573.890	574.226	574.562	
865	586.438	586.774	587.110	587.446	587.782	588.118	588.454	588.790	589.126	589.462	
875	601.738	602.074	602.410	602.746	603.082	603.418	603.754	604.090	604.426	604.762	
885	617.438	617.774	618.110	618.446	618.782	619.118	619.454	619.790	620.126	620.462	
895	633.538	633.874	634.210	634.546	634.882	635.218	635.554	635.890	636.226	636.562	
905	650.038	650.374	650.710	651.046	651.382	651.718	652.054	652.390	652.726	653.062	
915	666.938	667.274	667.610	667.946	668.282	668.618	668.954	669.290	669.626	669.962	
925	684.238	684.574	684.910	685.246	685.582	685.918	686.254	686.590	686.926	687.262	
935	701.938	702.274	702.610	702.946	703.282	703.618	703.954	704.290	704.626	704.962	
945	720.038	720.374	720.710	721.046	721.382	721.718	722.054	722.390	722.726	723.062	
955	738.538	738.874	739.210	739.546	739.882	740.218	740.554	740.890	741.226	741.562	
965	757.438	757.774	758.110	758.446	758.782	759.118	759.454	759.790	760.126	760.462	
975	776.738	777.074	777.410	777.746	778.082	778.418	778.754	779.090	779.426	779.762	
985	796.438	796.774	797.110	797.446	797.782	798.118	798.454	798.790	799.126	799.462	
995	816.538	816.874	817.210	817.546	817.882	818.218	818.554	818.890	819.226	819.562	
1005	837.038	837.374	837.710	838.046	838.382	838.718	839.054	839.390	839.726	840.062	

APENDICE III



PR-03B
GENERAL PURPOSE
BARE SENSOR

PR-03U
GENERAL PURPOSE
UNION COUPLER
WITH WELL

PR-04B
EXPLOSIONPROOF
BARE SENSOR

PR-04U
EXPLOSIONPROOF
UNION COUPLER
WITH WELL

PR SERIES PLATINUM RESISTANCE TEMPERATURE DETECTORS (RTD's)

The PR Series RTD's are sensors whose electrical resistance changes with a change in temperature. They are used to measure temperatures from -200 to $+650^{\circ}\text{C}$ (-320 to $+1200^{\circ}\text{F}$) and are calibrated to either ASTM (IEC, DIN) or SAMA standard curves.

WIDE TEMPERATURE RANGE

Platinum RTD's are an ideal selection in applications having a wide temperature range. These sensors have a wider temperature rangeability than any other conventional resistance temperature measuring device.

A VARIETY OF CONFIGURATIONS

The PR Series can accommodate either a single or dual RTD element. They are available as either bare sheath or well type assemblies. In either configuration, the sensor is protected with a full length moisture resistant sheath of either AISI Type 316 stainless steel (316 SS) or Inconel 600, depending upon the temperature or process material

being measured. An excellent selection of specially engineered wells is available to further protect the RTD from physical damage or from corrosive or damaging process media. RTD insertion lengths are available in many standard lengths up to 915 mm (36 in), with special lengths available as required. Durable, weatherproof (IEC IP65, NEMA Type 4) or explosionproof threaded terminal connection heads are provided for general purpose or hazardous locations.

USABLE WITH A VARIETY OF INSTRUMENTS

RTD's may be directly connected to a variety of Foxboro instruments such as transmitters, controllers, compensated totalizers, converters, or system input modules.

FOXBORO[®]

LONG LIFE, LOW MAINTENANCE

The use of protective sheathing and wells increases the life of the sensor while ensuring low heat loss and suitable

thermal response. When wells are used, the spring-loaded RTD can be easily removed without process shutdown. Longer sensor life results in lower maintenance costs and reduced spare parts inventory.

PERFORMANCE SPECIFICATIONS

Accuracy

ASTM-A Calibration Sensors (Optional high accuracy) $\pm 0.13 + 0.0017(T)^{\circ}\text{C}$, where T = $^{\circ}\text{C}$ (temperature value, regardless of sign). (Better than IEC-A calibration accuracy)

ASTM-B Calibration Sensors $\pm 0.25 + 0.0042(T)^{\circ}\text{C}$. (Better than DIN and IEC-B calibration accuracy)

SAMA Calibration Sensors $\pm 0.26^{\circ}\text{C}$ ($\pm 0.5^{\circ}\text{F}$) or $\pm 0.25\%$ of temperature reading, whichever is larger, for 480°C (900°F) and below, $\pm 0.5\%$ of temperature reading between 480 and 650°C (900 and 1200°F).

Reproducibility $\pm 0.125^{\circ}\text{C}$ ($\pm 0.25^{\circ}\text{F}$) for 480°C (900°F) and below, $\pm 0.25^{\circ}\text{C}$ ($\pm 0.5^{\circ}\text{F}$) for above 480°C (900°F)

Operational Stability Less than $\pm 0.06^{\circ}\text{C}$ ($\pm 0.1^{\circ}\text{F}$) shift from initial calibration in one year.

Response Time 5 seconds maximum for a 63% recovery, based on a step change in temperature of the bare sensor starting at an ambient room temperature of 25°C (77°F) to being immersed in 100°C (212°F) water stirred at 1 m/s (3 f/s).

FUNCTIONAL SPECIFICATIONS

Model Code

PR = Platinum RTD

Sensor Type

- 1 = Single Element
- 2 = Dual Element

Terminal Connection Head

- 3 = General Purpose
- 4 = Explosionproof (Available with Construction Codes "U" and "B" only)

Construction

- N = Well Type, Nipple Coupler
- U = Well Type, Union Coupler
- B = Bare Element Assembly

Calibration Curve

- A = ASTM-A (Optional High Accuracy selection, same as IEC-A calibration curve)
- B = ASTM-B (same as DIN and IEC-B calibration curves)
- S = SAMA

Sheath (6.35 mm [0.250 in] O.D.)

S = 316 ss

I = Inconel

Length "U" or "U + T" ("A" for PR-□3B and PR-□4B)

-003 = 90 mm (3.5 in)

-006 = 150 mm (6 in)

-012 = 305 mm (12 in)

-018 = 455 mm (18 in)

-024 = 610 mm (24 in)

-030 = 760 mm (30 in)

-036 = 915 mm (36 in)

-XXX = Nonstandard length (as specified in inches), maximum length is 120 inches

Examples: PR-13NBS-006, PR-24UBI-036, PR-13BSS-000

Refer to DIMENSIONS—NOMINAL section

Temperature Limits The maximum temperature limit is determined by the lowest upper range value of the sheath, sensor, or assembly.

Connection Heads

General Purpose 105°C (220°F)

Explosionproof 100°C (212°F)

316 ss Sheath

-200 and + 480°C (-320 and + 900°F).

Inconel Sheath

-200 and + 650°C (-320 and + 1200°F).

ASTM Calibration Per ASTM E1137-87. Resistance at 0°C (32°F) is as follows (also conform to DIN and IEC calibrations):

- for ASTM-B, 100.00 ± 0.10 Ω
- for ASTM-A, 100.00 ± 0.05 Ω

Refer to Technical Information (TI) 005-028 Alpha is 0.00385 Ω/Ω/°C

SAMA Calibration SAMA Standard RC 21-4-1966 Curves PR 279 (°C) and PR 278 (°F). Alpha is 0.003923 Ω/Ω/°C. Resistance of 98.129 ± 0.1 Ω at 0°C (32°F). Refer to TI 5-27a.

Minimum Immersion To minimize thermal conduction errors, an immersion length of at least 90 mm (3.5 in) is required.

External Pressure The detector sheath can be exposed to an external pressure of 21 MPa (3000 psi, 210 bar or kg/cm²) without a change in resistance of more than the amount equivalent to 0.05°C (0.1°F). There will be no permanent change in the resistance at the ice point after this exposure.

Vibration A detector, with 76 mm (3 in) of its sheathed length unsupported or overhanging, will withstand 250 m/s² (25 "g") vibration from 20 to 2000 Hz in any axis for 15 minutes without damage.

PHYSICAL SPECIFICATIONS

Sensor

Type Single or dual platinum resistance temperature sensor, strain free, fully annealed, with three-lead configuration

External Connecting Wire Three leads are color coded white, black (with red tracer), and green (with red tracer). White for the one leg of the detector, and black and green for the two legs to the other side of the detector. Stranded 0.50 mm² or 22 AWG wire with pite insulation.

Sensitive Length 40 mm (1.6 in) minimum, measured from the closed end.

Internal Insulation Glass fiber over sensitive length, high-purity aluminum oxide powder packed over remaining length.

Sheath Sealant Epoxy compound applied at open end of sheath to prevent entry of moisture.

Diameter 6.35 mm (0.250 in)

Construction All welded and moisture sealed. 316 ss for temperatures up to 480°C (900°F), Inconel 600 for temperatures up to 650°C (1200°F).

Terminal Connection Head

General Purpose General purpose terminal connection head when used with a well, contains a compression spring to maintain RTD tip contact. The bare type element assembly has a hex-head nipple with 1/2 NPT external thread welded on sensor for process mounting and mounting to connection head. Diecast aluminum with O-ring gasketed threaded cover. A 3/4 NPT conduit connection is provided for field wiring. A ceramic terminal strip is secured to the inside of the connection head. The assembly meets IEC IP65, provides the environmental protection of NEMA Type 4, and is suitable for use in general purpose locations.

Explosionproof Flameproof and explosionproof head is used specifically for the PR-□4 assembly to protect conductors in conduit systems within hazardous areas. Foxboro self-certified for use in Class I, Groups C and D, Division 1 hazardous locations. The head contains a compression spring to maintain RTD tip contact with the bottom of the well for PR-□4U construction. For PR-□4B construction the sensor has a hex-head nipple with 1/2 NPT external thread for mounting to the process and the connection head.

Insertion Length Refer to Model Code.

OPTIONAL FEATURES

Calibration Certificate 3-point RTD calibration. For standard or special calibration curves. Specify construction option "CERTIF."

High Accuracy Calibration ASTM-A, ± 0.13 + 0.0017 (t)°C. Selectable with Model Code.

Union Connection 1/2 NPT union connection for use with 1/2 NPT wells.

ACCESSORIES

RTD to Instrument Cable Three wires, stranded copper, 1.0 mm² or 18 AWG. Polyethylene insulation, polyvinyl chloride sheath. Outside diameter is 8.4 mm (0.33 in). Temperature limit is 90°C (195°F). Specify Part Number R0101LY and desired length.

Wells Foxboro wells isolate the process and separate the temperature-measuring sensitive portion of the thermocouple from potentially corrosive or damaging process media. These wells permit ready removal of the sensor without process shutdown. A selection of plain or lagged, threaded or flanged, solid, welded or tapered wells is available in a variety of sizes and materials. Refer to PSS 3-3C1 A for well selection.

Platinum Replacement Element Assemblies Specify part number if known, calibration standard, sheath material, and single or dual sensor. Also for well type construction, additionally specify the "S" length (length of sensor sheath). And for bare element assemblies, also specify the "A" length (see Dimensions—Nominal section).

Reducing Bushing Standard material is zinc-plated steel. Reduction is from 3/4 to 1/2 NPT.

Compression Coupling This bushing is for setting the "U" length on the job site. Once tightened, it cannot be relocated. Nickel-plated brass is the standard material. The external thread size is 1/4 NPT. Refer to Figure 1.

Spring-Loaded Coupling (For use with bare sheath assembly in combination with a well.) This coupling provides for spring-loading the RTD tip to the bottom of a well. Cadmium-plated carbon steel is the standard material. The external mounting thread can be either 1/2 or 3/4 NPT. Refer to Figure 2.

Packing-Type Coupling Consists of 316 ss adjustable union, jam nut, pile and impregnated metallic packing set, and selected adapter bushing. Adapter bushing has external thread available in 1/2, 3/4, or 1 NPT sizes. Can be reset as needed. Refer to Figure 3.

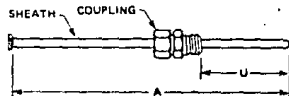


Figure 1.
Compression Coupling

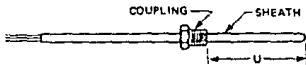


Figure 2.
Spring-Loaded Coupling

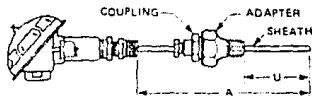


Figure 3.
Packing-Type Coupling

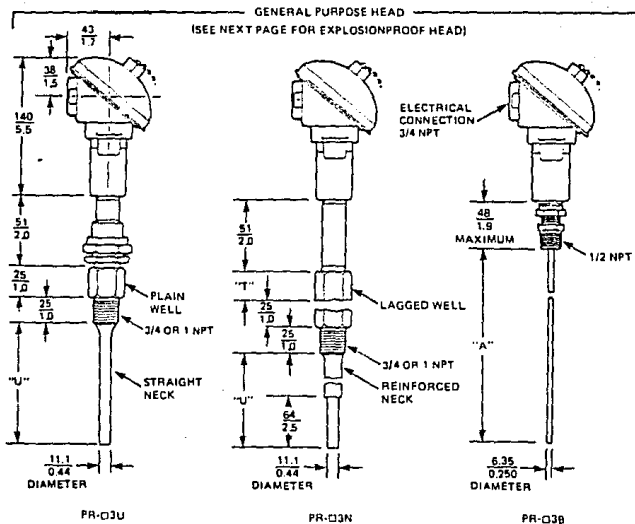
OTHER FOXBORO TEMPERATURE MEASUREMENT SENSORS

PSS 1-1B3 A	DB Series Nickel RTD's
PSS 1-1B6 A	MT Series MINOX Thermocouples
PSS 1-1B7 A	WT Series Wire-Type Thermocouples
PSS 3-3A1 A	Filled Thermal Systems

ORDERING INSTRUCTIONS

1. Model Number
2. Well, as required (Refer to PSS 3-3C1 A)
3. Optional Features and Accessories
4. User Tag Data

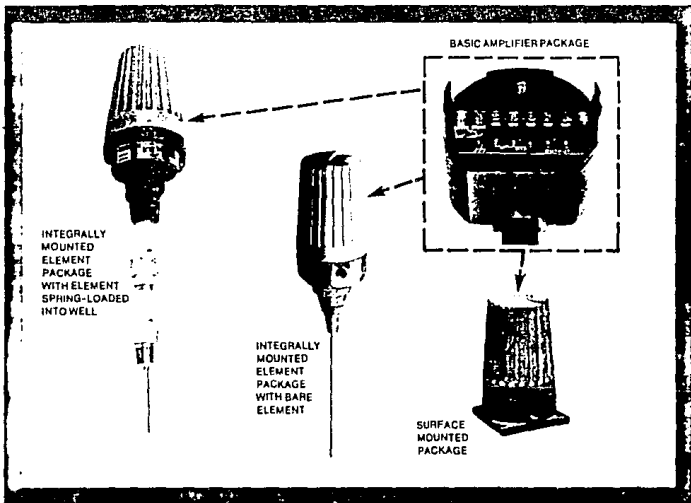
DIMENSIONS—NOMINAL



NOTE:

THE WELLS SHOWN ON THIS DOCUMENT ARE PLAIN AND LAGGED, THREADED, SOLID WELLS WITH STRAIGHT AND REINFORCED NECK CONSTRUCTION. REFER TO PSS 3-3C1 A FOR THE WIDE VARIETY OF WELLS AVAILABLE.

- T = LAGGING LENGTH
- U = INSERTION LENGTH (WITH WELL)
- A = BARE SENSOR LENGTH (WITHOUT WELL)



893 ELECTRONIC TEMPERATURE TRANSMITTERS

The 893 Electronic Temperature Transmitters receive input signals from platinum or nickel resistance temperature detectors (RTD's) and thermocouples (or other dc millivolt sources) and transmit a linear 4 to 20 mA dc output signal proportional to the measured temperature (for RTD's), or to the mV input (for TC's).

SIGNAL INTEGRITY

The time-proven 2-wire transmitter design, used in these and other Foxboro transmitters, provides a high level signal. This signal can be transmitted over ordinary unshielded (un-shielded) wires to receivers located up to several hundred metres (yards) from the point of measurement.

MANY APPLICATIONS

The 893 transmitter is ideally used with an integrally-mounted element package. That is, a thermocouple or RTD is directly mounted to the transmitter which is en-

vironmentally protected in an enclosure. This entire package is mounted directly to the process. A transmitter in a surface-mounted enclosure is also offered for applications where the thermocouple or RTD is remotely installed. The enclosures in the above applications protect the transmitter from vibration and radio frequency interference (RFI). The basic amplifier package, which is mounted within the above enclosures, is also offered separately for replacement purposes, or for control room applications where protection against hostile environments is not required.

FOXBORO®

A VARIETY OF SENSOR CONFIGURATIONS

Foxboro offers a broad selection of sensor configurations to satisfy virtually every application. MINOX thermocouples are available with either base metal or noble metal materials. RTD's are available in platinum or nickel as bare sensors. Stainless steel or Inconel sheaths are offered to protect the MINOX or platinum RTD sensors. Stainless steel sheaths are offered with the nickel RTD sensors. Also, a wide selection of specially engineered wells (sensor spring-loaded into well) is available to protect the sensor from corrosive or otherwise damaging process media.

EASY SENSOR SELECTION AND ZERO AND SPAN ADJUSTMENTS

Thermocouple type selection is easily made by a DIP switch located on the thermocouple (TC) amplifier pack-

age. For RTD inputs, there are two amplifiers, one for platinum ASTM (DIN) and SAMA. And a separate one for nickel (Foxboro Curves NR-226 and NR-227).

Coarse and fine zero and span adjustments are made using rotary switches (for coarse) and potentiometers (for fine). These switches and potentiometers are located on the top surface of the basic amplifier package, and allow simple range selection and calibration.

The use of the above adjustments eliminates the need for range resistor inventory often required in other instruments.

COMPACT, EFFICIENT, AND DURABLE

Integrated circuits, industrial-grade components, and modular mechanical packaging combine to make the 893 basic amplifier package a compact, efficient, and durable instrument. The package design uses sealed gaskets to provide a high degree of protection against moisture and dirt.

OPERATING CONDITIONS

Influence	Reference Operating Conditions	Operative Limits	Transportation and Storage Limits
Ambient Temperature	24 ± 2°C (75 ± 4°F)	-32 and + 85°C (-25 and + 185°F)	-40 and + 120°C (-40 and + 250°F)
Relative Humidity	40 ± 10%	5 and 95%	5 and 95% (noncondensing)
Supply Voltage	30 ± 0.5 V dc See "Supply Voltage Requirements and External Loop Load Limitations" section.	12.5 and 50 V dc	Not Applicable

PERFORMANCE SPECIFICATIONS

(Amplifier under Reference Operating Conditions Unless Otherwise Specified)

Accuracy

- mV/Thermocouple ± 0.15% of span
- Platinum RTD ± 0.15% of span
- Nickel RTD ± 0.20% of span

Linearity 0.075% of span

Repeatability 0.10% of span

Hysteresis 0.02% of span

RFI Immunity Less than 0.5% of span per SAMA PMC 33.1C (10 V/m, 300 to 1000 MHz). Unit must be earthed (grounded) to ensure the specified RFI immunity.

Supply Voltage and Load Effect With the input held constant, the maximum variation of output current due to variation in supply voltage and load (within the specified operating limits) is 0.002% of span/volt.

Ambient Temperature Effect For a 55°C (100°F) change in ambient temperature within operative limits, the maximum variation is as follows:

Zero Error 0.025% of span/°C (0.014% of span/°F)

Span Error 0.01% of span/°C (0.0055% of span/°F)

Cold Junction Compensation Error See table below

Thermocouple Type(s)	Temperature Range	Cold Junction Compensation Error
T, J, E, K, R, S, and B	0 to 50°C (32 to 122°F)	1°C (1.8°F) maximum
T, J, E, and K	-32 to + 85°C (-25 to + 185°F)	3.5°C (6.3°F) maximum
R, S, and B	-32 to + 85°C (-25 to + 185°F)	9°C (16.2°F) maximum

⁽¹⁾The thermocouple type designations listed are used by ISA, NBS, ANSI, ASTM, and IEC.

FUNCTIONAL SPECIFICATIONS

TC and mV Inputs See table below

Input Type	Range Limits ^(a)	Zero Elevation and Suppression Limits	Span Limits	Input Impedance
mV	-10 and +100 mV	-10 and 30 mV	3 and 100 mV	> 2 MΩ
Type T	-150 and +400°C (-238 and +752°F)	-150 and +400°C (-238 and +752°F)	75 and 400°C (135 and 720°F)	> 2 MΩ
Type J	-150 and +760°C (-238 and +1400°F)	-150 and +550°C (-238 and +1022°F)	60 and 760°C (108 and 1368°F)	> 2 MΩ
Type E	-150 and +1000°C (-238 and +1832°F)	-150 and +400°C (-238 and +752°F)	50 and 1000°C (90 and 1800°F)	> 2 MΩ
Type K	-150 and +1370°C (-238 and +2466°F)	-150 and +700°C (-238 and +1292°F)	60 and 1370°C (108 and 2466°F)	> 2 MΩ
Types R and S	0 and 1710°C (32 and 3090°F)	0 and 1400°C (32 and 2552°F)	370 and 1760°C (666 and 3168°F)	> 2 MΩ
Type B	0 and 1820°C (32 and 3308°F)	0 and 1200°C (32 and 2192°F)	780 and 1820°C (1404 and 3276°F)	> 2 MΩ

^(a)Fully adjustable over range limits specified.

RTD Inputs See table below

RTD Type	Range Limits ^(a)	Zero Elevation and Suppression Limits	Span Limits	Input Impedance
Platinum 100 Ω 2 or 3 wire ^(b)	-31 and +850°C (-24 and +1562°F)	-31 and +500°C (-24 and +932°F)	50 and 700°C (90 and +1260°F)	> 0.5 MΩ
Nickel NR 226, NR 227 2 or 3 wire ^(b)	-31 and +310°C (-24 and +590°F)	-31 and +250°C (-24 and +482°F)	50 and 300°C (90 and +540°F)	> 0.5 MΩ

^(a)Fully adjustable over range limits specified.^(b)The leads for the 3 wire RTD's are compensated up to 40 Ω for each wire.

Earthing (Grounding) Earth (ground) wire must be attached for specified RFI immunity. Also, either the input or output (not both) may be earthed (grounded).

Two-Wire Transmitter The B93 is a two-wire transmitter, that is, the same two wires are used for input power and output signal.

Response Time 75 ms or less (for transmitter only)

Zero and Span Adjustments and Sensor Selection Rotary switches and potentiometers are provided for coarse and fine zero and span adjustments. DIP switches are provided for thermocouple sensor selection. These adjustments are located on the top surface of the basic amplifier package. A hinged, gasketed cover on the top surface of the amplifier package protects these adjustments from accidental or inadvertent tampering, moisture, and dirt.

Output Signal 4 to 20 mA dc linear output signal proportional to measured temperature for RTD's, or to the mV input signal for TC's

Output Ripple 0.04% of span, or less

Input/Output Isolation The values that follow are for input to output, input to amplifier housing, and output to amplifier housing

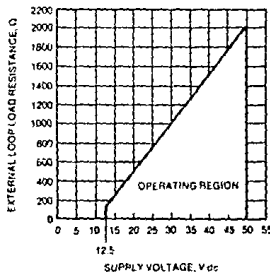
mV/TC Amplifier 800 V dc or 425 V ac

RTD Amplifier 850 V dc or 600 V ac

Common Mode Rejection Ratio 120 dB at 50 or 60 Hz

Thermocouple Burnout Detection The output will be driven upscale or downscale, as specified, and is DIP-switch selectable.

Supply Voltage Requirements and External Loop Load Limitations See figure below.



Determining Maximum Loop Load, R

$$R = \frac{\text{Supply Voltage} - 10 \text{ V}}{20 \text{ mA}} = k \Omega$$

PHYSICAL SPECIFICATIONS

Enclosure with Bare Element or with Element Spring-Loaded into Well (Package Configurations W and L) Threaded, cast aluminum cover and base with Buna-N O-ring between cover and base. Base extended to accommodate element or well using a 3/4 NPT connection. Enclosure has a painted, blue textured vinyl finish. Meets IEC IP65 and provides the environmental protection of NEMA Type 4. Used with an integral element and well for areas requiring intrinsically safe or explosionproof apparatus.

Enclosure for Surface Mounting (Package Configuration S) Same cover as Package Configurations W and L. Cover threads on to a base that is suitable for mounting to a surface using four bolts. It can also be mounted to a DN 50 or 2 in pipe using the optional pipe-mounting kit. Used with a remote sensor for areas requiring intrinsically safe or explosionproof apparatus.

Enclosure for Basic Amplifier Package (Package Configuration B) Low copper aluminum case protected with epoxy base paint. Package can be mounted to a surface or to a DIN standard rail (DIN number 45277-3—supplied by user). The case is gasketed and sealed to protect the enclosed electronics from moisture and dirt. Used for general purpose (ordinary) locations with a remote sensor.

Electrical Connections Barrier strip with screw terminals located on top surface of basic amplifier package. Accommodates input, output, and earth (ground) wires.

Approximate Mass

Package Configurations W and L 2.1 kg (4.7 lb), less element and well

Package Configuration S 2.5 kg (5.5 lb)

Package Configuration B 0.32 kg (0.7 lb)

PRODUCT SAFETY SPECIFICATIONS

Electrical Classification^(a)

Testing Laboratory, Types of Protection, and Area Classification	Conditions of Certification	Electrical Certification Specification
Foxboro certified explosionproof for Class I, Groups C and D, Division 1, dust-ignitionproof for Class II, Groups E, F, and G, Division 1. Suitable for use in Class I, Groups A, B, C, and D, Division 2 locations.	Package Configuration Codes S, W, and L only. Temperature Class T5.	CS-EFD-F
Foxboro certified nonincendive for Class I, Groups A, B, C, and D, Division 2, and Class II, Groups F and G, Division 2.	Package Configuration Code B only, when mounted in suitable enclosed panel. Temperature Class T5.	CS-EFN-F

^(a)Approval is pending from FM, CSA, and BASEEFA for explosionproof, nonincendive, and intrinsically safe applications.

OPTIONAL FEATURES

Optional High Accuracy ASTM-A Calibration Applicable to ASTM platinum RTD sensor (Code “-Q”) only. The standard ASTM-B calibration which is used for the “-Q” sensor is replaced with the higher accuracy ASTM-A calibration. A comparison of the two calibration accuracies is as follows:

Standard ASTM-B Accuracy $(\pm 0.25) + (0.0042)(T)^2$ °C

Optional ASTM-A Accuracy $(\pm 0.13) + (0.0017)(T)^2$ °C

where T = the °C temperature value, regardless of sign. Specify Model Code Optional Selection “-J”.

Output Indicator with Junction Box For Package Configuration Code “S”. Junction box has explosionproof

housing. Available with test jack with a 0 to 100% uniform scale indicator, or with an indicator with a scale per sales order. Specify Model Code Optional Selection “-A” or “-C”.

Pipe-Mounting Kit For Package Configuration Code “S”. A kit of parts is provided to mount the transmitter package to a DN 50 or 2-in diameter pipe. Specify Model Code Optional Selection “-H”.

NBS Traceability The transmitter calibration sheet, along with a Traceability Certificate to the National Bureau of Standards, is provided. Specify Model Code Optional Selection “-K”.

ORDERING INSTRUCTIONS

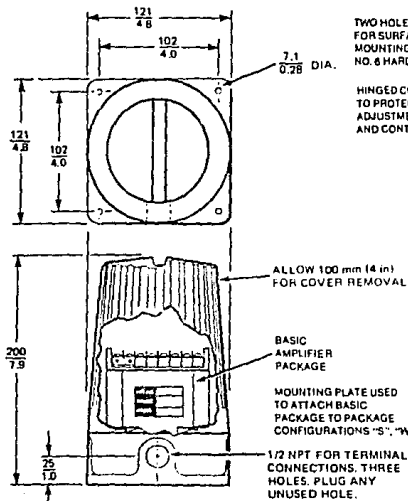
1. Model Number
2. Calibrated Flange and Span
3. Electrical Certification Specification

4. Well Specifications (For Package Configuration Code L only)
5. Customer Tag and Application Data

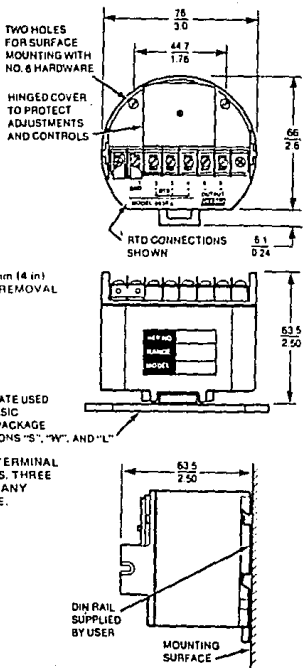
DIMENSIONS—NOMINAL (Cont.)



PACKAGE CONFIGURATION CODE "S"



PACKAGE CONFIGURATION CODE "B"



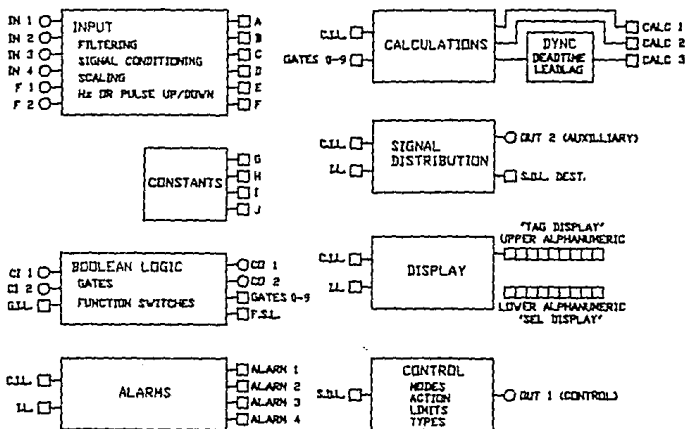
APENDICE IV

Instruction

MI
018-847
April 1989

761 SERIES SINGLE STATION MICRO PLUS CONTROLLERS

Functional Description



LEGEND:

- O = External Connection
- = Internal Connection
- C.I.L. = Calculation Input List
- I.L. = Input List
- G.I.L. = Gate Input List
- F.S.L. = Function Switch List
- S.D.L. = Signal Distribution List
- S.D.L. DEST = Signal Distribution List Destination

Note: For contents of lists, see Page 11.

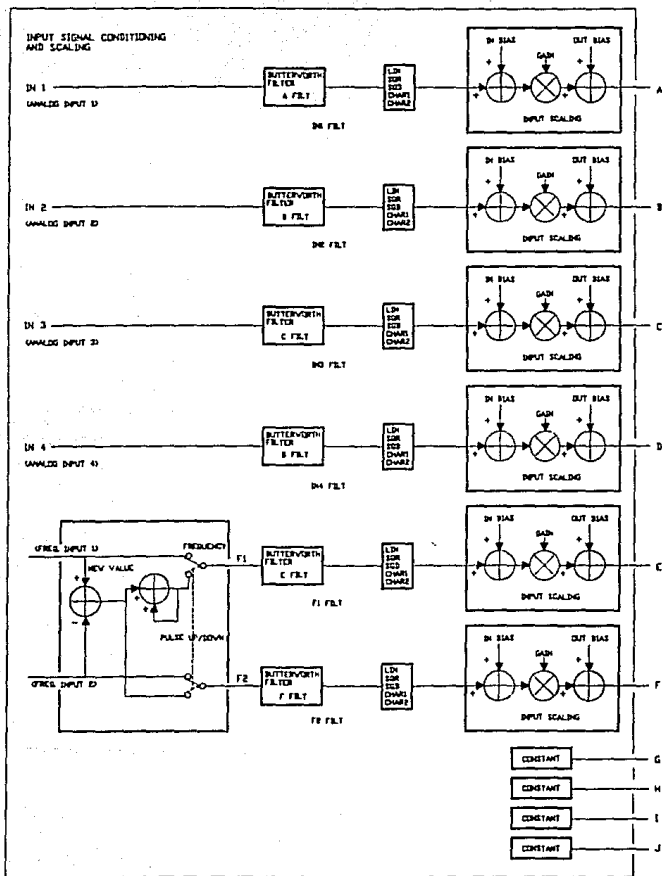


Figure 1. Input Signal Conditioning and Scaling

APPENDIX E FUNCTIONAL DIAGRAM

