

10
2ej.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
"ZARAGOZA"

INSTRUMENTACION Y CONTROL DE UN
CALENTADOR A FUEGO DIRECTO EN LA
PLANTA HIDRODESULFURADORA DE NAFTAS
EN TULA, HGO.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO QUIMICO
P R E S E N T A :

AURORA DEL CARMEN FRANCO HERNANDEZ



México, D. F.

1992



Universidad Nacional
Autónoma de México



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

Introducción	1
CAPITULO I DESCRIPCION DEL PROCESO	
1.1 Generalidades.	3
1.2 Descripción del proceso.	7
1.2.1 Sección de reacción.	7
1.2.2 Sección de estabilización y fraccionamiento.	8
1.3 Descripción del calentador.	11
1.3.1 Componentes del horno por secciones.	12
1.3.1.1 Sección de radiación.	12
1.3.1.2 Sección de tubos de escudo.	15
1.3.1.3 Sección de convección.	15
1.4 Principales variables a controlar en el calentador.	20
CAPITULO II FILOSOFIAS DE OPERACION	
2.1 Introducción.	22
2.2 Generalidades.	22
CAPITULO III SIMBOLOGIA Y TERMINOLOGIA PARA LA INGENIERIA DE INSTRUMENTACION Y CONTROL INDUSTRIAL	
3.1 Instrumentación y control.	26
3.2 Terminología del Control Automático.	31
3.3 Simbolos y notaciones usadas en instrumentación y control	34
CAPITULO IV CIRCUITOS DE CONTROL.	
4.1 Sistemas de control de circuito abierto.	52
4.2 Sistemas de control de circuito cerrado retroalimentado.	52
4.3 Sistemas de control en circuito cerrado prealimentado.	56
4.4 Partes constitutivas de un circuito de control cerrado.	58
CAPITULO V MODOS DE CONTROL.	
5.1 El controlador automático.	60
5.2 Modos de control.	60
5.2.1 Control proporcional	62
5.2.2 Control de dos posiciones (Abierto-Cerrado).	71
5.2.3 Control Integral (Reajuste automático ó reset)	75
5.2.4 Control Proporcional con Integral.	76
5.2.5 Control Derivativo (anticipación).	81
5.2.6 Control Proporcional con acción Integral (reajuste automático; y acción Derivativa.	85

CAPITULO VI SISTEMAS DE CONTROL AUTOMATICO

6.1 Sistema de Control en Cascada.	88
6.2 Sistema de Control de Relación.	93
6.2.1 De Relación con Estación de Relación.	93
6.2.2 De Relación de Parte a Total.	94
6.2.3 De Relación de cantidad a total.	99
6.2.4 De Relación de Variables diferentes.	102
6.2.5 De Relación para Presión.	105
6.3 Sistema de control de predominio.	107
6.3.1 De predominio por selector.	107
6.3.2 De predominio por alimentación.	109
6.4 Sistema de Control Prealimentado.	111

CAPITULO VII DISEÑO DE LOS SISTEMAS DE CONTROL Y PROTECCION PARA EL CALENTADOR A FUEGO DIRECTO BA-401.

7.1 Requerimientos de control y protección en el calentador BA-401.	114
7.2 Rango de operación de las variables a controlar.	117
7.3 Circuitos de control.	118
7.3.1 Circuito de control de temperatura.	118
7.3.2 Circuito de control de presión.	120
7.3.3 Circuito de control primario.	123
7.3.4 Circuito de control de relación combustóleo-vapor.	125
7.4 Acciones de los elementos y circuitos de control.	128
7.5 Diagramas de instrumentación.	132
7.6 Rango de operación de las variables a proteger.	135
7.7 Circuitos de protección.	136
7.7.1 Circuito de protección para el gas combustible.	136
7.7.2 Circuito de protección para el gas a los pilotos.	136
7.7.3 Circuito de protección para combustóleo.	136
7.8 Acciones de los elementos de protección.	138
7.9 Diagramas de instrumentación.	138

CAPITULO VIII ESPECIFICACION DE LA INSTRUMENTACION PARA LOGRAR CUMPLIR LOS REQUISITOS IMPUESTOS POR LOS SISTEMAS DE CONTROL Y PROTECCION PROFUES TOS.

8.1 Generalidades.	142
8.2 Especificación de la instrumentación.	142
8.2.1 Circuito de control de presión.	142
8.2.2 Circuito de control primario.	142
8.2.3 Circuito de control de relación combustóleo-vapor.	143
8.2.4 Circuito de protección de gas combustible.	143
8.2.5 Circuito de protección para el gas a pilotos.	143
8.2.6 Circuito de protección para combustóleo.	143

Conclusiones. 155

Bibliografía. 155

INTRODUCCION

INTRODUCCION

La mayoría de los procesos de transformación industrial requieren de equipos de generación y/o transferencia de calor.

Uno de los equipos más utilizados son los calentadores a fuego directo, los cuales generan grandes cantidades de energía en forma de calor y son de los equipos que más contaminación generan al medio ambiente. También es importante destacar que son algunos de los equipos de proceso más caros y peligrosos.

En el estado actual y en un futuro cercano la tecnología que se aplica y se aplicará a corto plazo es la de generar grandes cantidades de energía a través de la combustión de combustibles fósiles, lo cual nos obliga a tratar de perfeccionar los diseños de equipo de generación y transferencia de calor así como el diseño de sus sistemas de control e instrumentación para lograr obtener de ellos una operación más eficiente, segura, confiable y como consecuencia se logre la reducción de emisiones contaminantes.

Debido a las necesidades presentes y futuras a que se enfrenta el mundo, México y en especial Petroleos Mexicanos ha adoptado la política de tratar de reducir al mínimo permisible la emisión de contaminantes a la atmósfera, sobre todo los que son deshecho de la combustión de líquidos.

Para esto es necesario mantener un buen control en las variables inherentes al proceso de combustión de equipos tan contaminantes como lo son los Calentadores a Fuego Directo (CAFD) además que estos sistemas coadyuvan a la protección y a la prolongación de la vida útil de estos equipos.

El presente trabajo tiene como objetivo, plantear criterios a fin de proponer una de las maneras de como se resolvería la problemática de control y protección del Calentador a Fuego Directo de la sección de reacción en la planta Hidrodesulfuradora de Naftas Sector I de la Refinería "Miguel Hidalgo". Basándose en el enfoque que nos da la Ingeniería de Proyectos, resolviendo este problema mediante la especificación de la instrumentación adecuada para este fin.

En el Capítulo I se hace la descripción del proceso de hidrodesulfuración, posteriormente una descripción genérica del calentador, su clasificación de acuerdo al uso al que está destinado, sus partes constitutivas, así como una revisión de las principales variables a controlar.

En el capítulo II se abordan las filosofías de operación del calentador de carga BA-401, desglosándose las variables de operación y control de proceso, sus operaciones anormales y las especiales. haciendo una descripción detallada para la mejor visualización de los posibles problemas a presentarse en este equipo.

En el Capítulo III se establece una reseña breve de la evolución en la instrumentación y el control, se revisa la simbología y terminología empleada en la rama de la ingeniería avocada a la instrumentación y el control.

En el Capítulo IV se visualizan las partes constitutivas de un circuito de control, abierto, cerrado (Retroalimentado y Prealimentado).

En el Capítulo V se revisan brevemente las deducciones de algunos de los modos de control así como se detalla el comportamiento de los mismos al variar ciertos parámetros.

El Capítulo VI, aborda algunos de los sistemas de control automático compuesto, que son la implementación de los modos de control considerados en el capítulo anterior. así como algunas de sus aplicaciones.

En el Capítulo VII se enlistan las necesidades de control y protección del calentador, los rangos de las variables inherentes, así como los circuitos de control y protección necesarios para que el calentador tenga un comportamiento adecuado.

En el Capítulo VIII se especifica la instrumentación necesaria para llevar a cabo los requisitos impuestos por los sistemas de control y protección propuestos.

CAPITULO I
DESCRIPCION DEL PROCESO

CAPITULO I DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

1.1 Generalidades.

La hidrodesulfuración se practica en la refinación comercial del petróleo con el objeto de eliminar compuestos de azufre, oxígeno, cloro, nitrógeno y algunos compuestos metálicos así como la saturación de olefinas de cortes obtenidos de la destilación de petróleo crudo.

La hidrodesulfuración es de los procesos petroleros más versátiles, con gran flexibilidad de operación con respecto a cargas de alimentación. Esta flexibilidad de operación, se deberá atribuir al desarrollo de catalizadores y a la generación de esquemas de proceso que les permiten funcionar eficientemente.

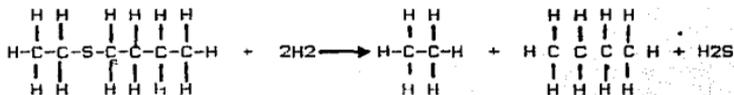
El proceso de hidrodesulfuración se lleva a cabo con el fin de aumentar la calidad de los productos a tratarse (hidrocarburos) haciéndolos reaccionar con hidrógeno en presencia de un catalizador, esta mejora es producida por la remoción de compuestos de azufre, olefinicos, y la saturación de anillos aromáticos, el tratamiento se aplica a gasolinas, nafta, querosina, diesel, turbosina, etc. el proceso tiene además la importancia que al remover el azufre de productos que van a ser quemados se controla la contaminación por dióxido de azufre.

Las reacciones que se llevan a cabo en el proceso de hidrodesulfuración son generalmente exotérmicas. Sin embargo únicamente la saturación de olefinas y la descomposición de compuestos de nitrógeno liberan gran cantidad de calor.

Todas las reacciones que ocurren en el proceso de hidrodesulfuración usan hidrógeno y el consumo de este estará en función de la concentración de los compuestos olefinicos y de azufre en la carga de la planta.

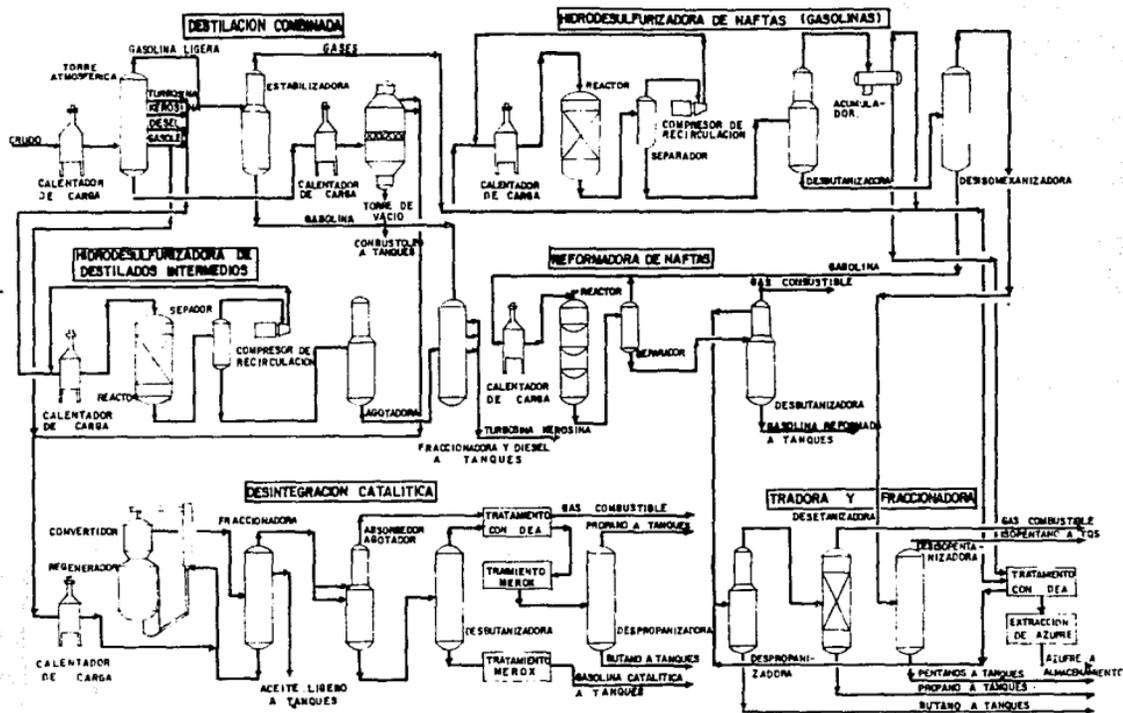
La temperatura a la que se procesa la carga en el reactor, afecta especialmente el desarrollo de las reacciones. Sin embargo el efecto es ligeramente diferente para cada reacción. A continuación se presentan algunos casos de reacciones que se llevan a cabo en el proceso de hidrodesulfuración:

a) Compuestos de Azufre:

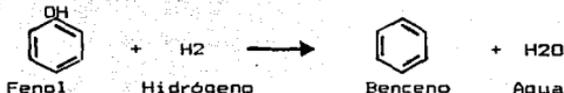


Sulfuro de etil + Hidrógeno Etano n-Butano Acido Sulfhídrico
n-butil no

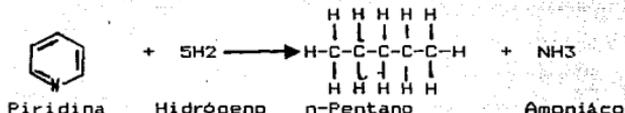
FIG.1.-DIAGRAMA GENERAL DE FLUJO DE LA REFINERIA DE TULA, HGO.



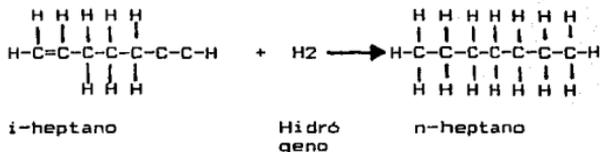
b) Compuestos de oxígeno:



c) Compuestos de Nitrógeno:



d) Saturación de Olefinas:



Algunos compuestos de azufre se descomponen a temperaturas del orden de 260 °C (500 °F). el grado de rapidez de la desulfuración se incrementa marcadamente cuando aumenta la temperatura a 343 °C (650 °F) la velocidad de reacción es sumamente rápida manteniéndose este incremento hasta la temperatura de 371 °C (700 °F) por encima de la cual tiende a estabilizarse.

La saturación de olefinas se comporta de manera semejante a la reacción de hidrosulfuración con respecto a la temperatura con excepción de que el incremento de la velocidad de reacción se mantiene a mayores temperaturas y a 427 °C (800 °F) se obtienen aparentes condiciones de equilibrio en las cuales se limita el grado de saturación.

La descomposición de compuestos de nitrógeno y oxígeno requieren temperaturas un poco mayores que las correspondientes a la desulfuración y la saturación de olefinas.

Las reacciones que remueven los metales dependen de la temperatura, en menor grado. Abajo de 316 °C (600 °F) la remoción es incompleta, pero arriba de esta la remoción es completa.

Siendo las olefinas hidrocarburos no saturados con dobles enlaces entre los átomos de carbono y las parafinas poseen enlaces simples entre sus carbonos.

Durante la hidrodesulfuración el consumo de hidrogeno depende rá del tipo de carga; del contenido de azufre que esta tenga de que se efectúe ó no un mayor número de reacciones laterales y de las especificaciones deseadas para el producto; no obstante se observa que a medida que la carga se hace más pesada aumenta el consumo de hidrógeno.

Las condiciones de operación y el valor de la reacción hidrógeno/hidrocarburos serán finalmente determinados por el tipo de catalizador, tipo de carga y composición de la misma.

Para el caso de la hidrodesulfuradora de naftas ligeras el valor de la relación hidrógeno/hidrocarburos es del orden de 440 SCF de H₂ 100% /BBL de carga y las condiciones de operación al reactor están entre 320°C y 410 psig.

El consumo de hidrógeno cuando la carga tiene un contenido de azufre de 800 a 900 ppm se puede estimar en unos 70 PCS de H₂-100% / barril de carga.

1.2 Descripción del Proceso.

Las plantas hidrodesulfuradoras se diseñan para procesar diferentes tipos de carga, que van desde nafta ligera hasta mezcla de gasoleos.

De acuerdo al tipo de carga que se procese será el arreglo ó distribución de las diversas operaciones y equipos que intervienen en el proceso de hidrodesulfuración (Ver Diagrama de Flujo de Proceso anexo).

El proceso de hidrodesulfuración se puede dividir en dos secciones principales:

-Reacción.

-Estabilización y Fraccionamiento.

1.2.1 Sección de Reacción.

El objeto de esta sección es efectuar la eliminación de compuestos de azufre y nitrógeno fundamentalmente mediante la reacción de hidrogenación en un reactor catalítico de lecho fijo.

La carga consistente en nafta de la planta atmosférica es enviada a una sección de precalentamiento previa mezcla con el hidrógeno de ahí se envía al calentador de carga hasta alcanzar la temperatura de operación al reactor de 352 °C (665 °F)

La carga totalmente vaporizada se alimenta al reactor de lecho fijo en el cual se efectúan las reacciones de hidrodesulfuración transformación de los compuestos de nitrógeno y oxígeno.

El efluente del reactor se enfría hasta la temperatura adecuada para la separación de hidrógeno se envía al tanque separador de alta presión, la fase gaseosa se envía al tanque de succión del compresor, con el objeto de eliminar pequeñas cantidades de líquido que pudieren haber sido arrastradas y de ahí es alimentada al compresor de recirculación que se une con una corriente de hidrógeno de reposición proveniente de la planta reformadora, para posteriormente unir esta corriente de hidrógeno a la corriente de carga.

La corriente líquida efluente del tanque separador de alta presión se envía a la sección de estabilización y fraccionamiento.

1.2.2 Sección de Estabilización y Fraccionamiento.

La finalidad de esta sección es la separación de ligeros la cual se logra en la torre desbutanizadora y la preparación de la carga a la planta reformadora que se efectúa en la torre - desisohexanizadora la cual realiza la separación del isohexano de los hexanos y más pesados.

La corriente gaseosa efluente de este separador se enfría y pasa a través del segundo tanque separador de alimentación a torre desbutanizadora, donde se efectúa una separación de fase líquida y fase gaseosa.

La corriente gaseosa constituida en su mayor parte por gas amargo se envía a la planta de tratamiento con DEA. La corriente líquida procedente de los tanques separadores de baja presión se envía como alimentación a la torre desbutanizadora.

La torre desbutanizadora tiene como objeto separar los hidrocarburos ligeros y butanos de los pentanos, hexanos e hidrocarburos más pesados. Los vapores efluentes de esta torre se condensan parcialmente y la separación de las dos fases se lleva a cabo en el tanque acumulador de la torre desbutanizadora.

La corriente gaseosa formada por gas amargo e incondensables se envía a la planta de tratamiento con DEA. El condensado se divide en dos corrientes, una se envía a la planta de tratamiento con DEA y otra se envía como reflujo a torre desbutanizadora.

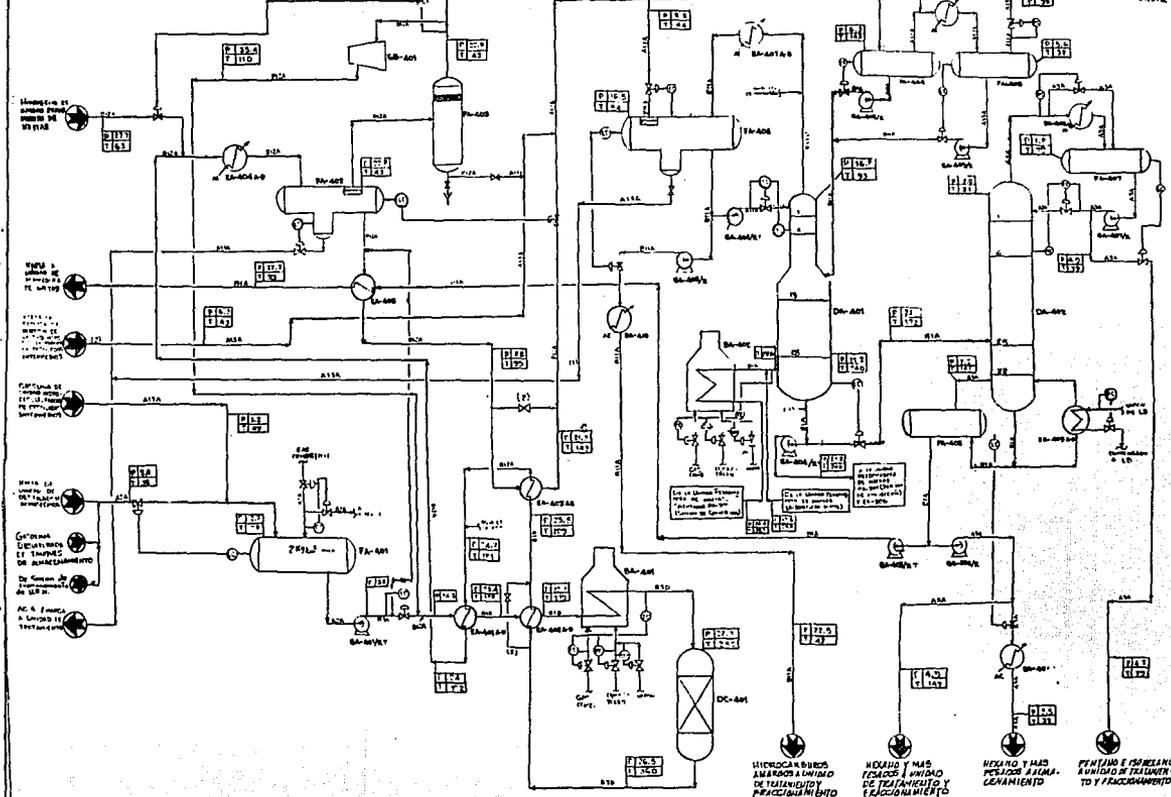
La corriente de fondos de la torre desbutanizadora constituida por pentanos, hexanos y más pesados se divide en una corriente que recircula hacia el rehervidor de la torre desbutanizadora y la otra corriente se envía como alimentación a la torre desisohexanizadora.

En la torre desisohexanizadora se efectúa la separación de pentanos, isohexanos de los hidrocarburos pesados. Los pentanos y los isohexanos salen por los domos de la torre condensándose totalmente pasando al tanque acumulador de reflujo de la torre desisohexanizadora. Parte del condensado es recirculado hacia la torre para mantener la relación de reflujo requerida y la corriente restante se envía como carga a la planta fraccionadora.

De la corriente que sale de fondos de la torre desisohexanizadora constituida principalmente por una mezcla de hexanos y más pesados, parte se recircula al rehervidor de la torre desisohexanizadora y parte se envía a un tanque de balance.

NOTAS:

1. Presión en MPa/ton: Temperatura en °C.
2. Línea de desazotado para análisis de temperatura.
3. Ubicación en el Diagrama en caso de paro de la unidad de proceso.



HIDROCARBUROS
 ANAROS A UNIDAD
 DE TRAZAMIENTO
 PRACCIÓNMIENTO

HOGANO Y MAS
 PESADO A UNIDAD
 DE TRAZAMIENTO Y
 PRACCIÓNMIENTO

HOGANO Y MAS
 PESADO A UNIDAD
 DE TRAZAMIENTO

PENJANO E ISOBELANO
 A UNIDAD DE TRAZAMIENTO
 Y PRACCIÓNMIENTO

DIAGRAMA DE FLUIDO DE PROCESO
 "UNIDAD HIDRODESULFUURADORA DE
 NAFTAS SECTOR 1"
 TULA, HGO.

El efluente de este tanque se divide en tres corrientes, la primera se envía hacia la planta reformadora pasando previamente por el calentador de carga de la torre desbutanizadora, en el cual intercambia calor con el líquido desulfurado proveniente del tanque separador de alta presión.

La segunda corriente se envía a la planta fraccionadora y la corriente restante se envía al enfriador de fondos de torre desisohexanizadora donde se enfría y se envía como producto a límites de batería.

1.3 Descripción del Calentador.

Se da el nombre de calentador tubular a fuego directo (CAFD) - u horno como es conocido genéricamente al equipo constituido por un recipiente metálico generalmente recubierto de refractario dentro del cual el calor es liberado por la reacción del combustible con aire siendo transferido directa o indirectamente a un sólido o masa de fluido. El propósito del calentamiento puede ser:

- a) Para efectuar un cambio químico (Hornos de pirólisis)
- b) Para efectuar un cambio físico (Rehervidores, Calentadores, - etc.).

El calor liberado dentro del horno puede proceder de diferentes fuentes: Combustión, Electricidad. El presente trabajo sólo contempla los hornos que utilizan como medio de calentamiento la combustión en fase líquida y/o gaseosa por ser los que se utilizan en la industria petrolera (Ver Fig. 1.3). Estos hornos poseen las siguientes características:

- I) Alta eficiencia.
- II) El combustible que se utiliza es de fácil obtención.

Los calentadores tubulares a fuego directo (CAFD) como su nombre lo indica contienen una serie de tubos por donde circula el fluido de proceso, utilizando como medio de calentamiento la combustión de hidrocarburos en fase líquida y/o gaseosa.

La clasificación de los hornos tubulares se basa en lo siguiente:

- a) Servicio.

Dicha clasificación se encuentra en la tabla 1.3.

De acuerdo con el servicio que prestan los hornos dentro del proceso se pueden clasificar en:

- a.1) Hornos Calentadores: se utilizan exclusivamente para elevar la temperatura de proceso.

a.1.1) Hornos de Alimentación a columna fraccionadora. Sirven como fuente de energía en diversas operaciones de proceso y se emplean para llevar la temperatura del fluido a un rango suficiente para mejorar la vaporización parcial del fluido alimentado a la columna fraccionadora; Ejemplos: Calentadores atmosféricos de crudo y calentadores al vacío de crudo.

a.1.2) Hornos de alimentación al reactor. Su función es la de elevar la temperatura del fluido alimentado hasta alcanzar el nivel necesario para controlar la reacción química que se efectúa en un reactor adyacente. De acuerdo con las características del fluido y los requerimientos

de energía ,se tiene la siguiente clasificación:

a) Una fase/un componente.- como en el caso de calentamiento de vapor para obtener vapor sobrecalentado.

b) Una fase/multicomponentes.- cuando se requiere calentar vapor de una mezcla (Hidrocarburos).

c) Dos fases/Multicomponentes.-cuando se encuentran dos fases de multiples componentes.

Ejemplo:Calentador de carga al reformador catalítico.

a.1.3) Hornos calentadores de fluidos que actúan como medio de calentamiento.

Estos calentadores se utilizan en procesos donde se requiere un calentamiento controlado,debido a las características del fluido de proceso.Los procesos que sirven como medio de calentamiento son aceites(Dowtherm ó Terminol).Ejemplo:Calentadores de aceite térmico en circuito cerrado.

a.1.4) Hornos calentadores de fluidos viscosos.

Son utilizados cuando se requiere enviar un fluido de una localidad a otra para su tratamiento ya que su alta viscosidad hace que el bombeo cuando se calienta sea más fácil y que ésta no sea una operación difícil y de alto costo.

a.2) Hornos rehervidores de columna.

El fluido de proceso es una recirculación en estado líquido de la columna de destilación que es parcialmente vaporizada en el horno y enviada nuevamente a la columna.Ejemplo:Rehervidores - en general.

a.3) Hornos reformadores.

Su función es la de suministrar el calor necesario para llevar a cabo la reacción.

a.4) Hornos de Pirólisis.

Son los equipos donde se lleva a cabo un "craqueo"térmico dentro de los tubos.

1.3.1. Componentes del horno por secciones.

Para facilitar su localización a continuación se describen los componentes de un horno por secciones de acuerdo con la tabla 1.4.

1.3.1.1. Sección de Radiación.

También llamada hogar o cámara de combustión. Es aquella sección del horno en la cual el calor transferido a los tubos - es principalmente por radiación.Dicha energía radiante proviene de la flama que arde en el quemador.Tanto los quemadores como los tubos radiantes se localizan en ésta sección.

a.1.1)Quemadores.

Los quemadores son utilizados para mezclar aire y combustible- en la proporción adecuada y proporcionar una buena combustión.

Actualmente los quemadores de los hornos de proceso no sólo -- deben liberar calor sino que deben ser flexibles en su funcionamiento de acuerdo a los siguientes requerimientos:

- Trabajar en un amplio rango de combustible (Disponible)
- Trabajar de acuerdo con los requerimientos de modelos de flama requeridos por el proceso.
- Trabajar para diferentes corrientes de aire para combustión
- Resistir altas temperaturas.

Los quemadores se pueden clasificar de acuerdo con el tipo de combustible que manejan en:

- a) Quemadores de gas.
- b) Quemadores de combustóleo.
- c) Quemadores de combinación gas-combustóleo.

a) Quemadores de gas: en general los quemadores de gas utilizan corrientes de gas a altas velocidades y son regulados -- por medio de un orificio para librar parte del aire requerido dentro de los quemadores en forma independiente del tipo de horno.

Ventajas de los quemadores de gas:

- 1) Mejor dependencia del tiro que cualquier otro tipo de -- quemadores.
- 2) De acuerdo al aire de combustión los quemadores se auto-regulan con los cambios de presión del gas. Esto reduce los -- requerimientos de ajuste de aire manual.
- 3) Debido a su estructura no existen problemas de obstru-- ción de gases combustibles sucios.

Desventajas de los quemadores de gas.

- 1) Para combustibles con apreciable contenido de hidrógeno, -- los quemadores tienden a producir un retroceso de flama.
- 2) Cuando el calentamiento del combustible varía en forma -- considerable, la operación de combustión se ve afectada gravemente.
- 3) Elementos inertes (15% ó más) pueden causar inestabilidad -- en la flama.

b) Quemadores de combustóleo.

En los quemadores de combustóleo se atomiza el combustible para después mezclarse íntimamente con el aire suministrado para la combustión, lo que permite una buena combustión con un exceso de aire mínimo.

c) Quemadores de combinación gas-combustóleo.

Como su nombre lo indica es una combinación y manejo de dos combustibles a la vez con las siguientes ventajas de mayor -- flexibilidad y rango de aplicación.

Debido a que los quemadores no son dispositivos independientes sino siempre dependientes del tipo de horno en los que se instalan, su selección dependerá de las necesidades del proceso, tipo de horno, combustible disponible, etc.

Para mayor eficiencia de un quemador depende de que el combustible se quemé con las siguientes características:

-Mínimo exceso de aire.

-Proporcione un modelo de flama bien definido y limpio.

-Se obtenga la menor emisión de monóxido de carbono de hidrocarburos no quemados.

a.1.2) Plenum.

El plenum es una caja colocada debajo del piso del horno cubriendo los quemadores con el fin de contrarrestar el ruido - que origina al efectuarse la combustión. Se puede usar un plenum para cada quemador o un plenum común.

a.1.3) Serpentin de tubos.

Es el conjunto de tubos conectados en serie ya sea por retornos (codos) ó por cabezales. Por las altas temperaturas que soportan los tubos en la sección de radiación y en la sección de enfriamiento, los tubos deberán ser lisos ya que la superficie extendida no resistiría las altas temperaturas. Los tubos de superficie extendida pueden ser birlados o aletados. Los primeros son utilizados cuando el combustible desprende muchas cenizas. Existen tres tipos de superficie extendida: aletas segmentadas aletas continuas y birlos.

a) Aletas segmentadas: es una aleta con perfil en forma de "y" - dentada que se suelda helicoidalmente al tubo liso.

b) Aletas continuas: son más fuertes mecánicamente que las aletas segmentadas aunque suministran una menor transferencia de calor para la misma configuración de aleta y flujo de gases de combustión. Las aletas se sueldan helicoidalmente alrededor del tubo desnudo.

c) Birlos: cuerpos cilíndricos sólidos que van soldados a la periferia del tubo desnudo. La tubería birlada es más costosa - que la tubería aletada.

a.1.4) Soporte de tubos y guías.

Son utilizados con el fin de mantener el serpentin de tubos fijo durante la operación del horno empleándose para ello soportes en forma de ganchos y espejos de tubos que son conectados a la estructura del horno. Dichos soportes deberán diseñarse para poder removerse sin quitar el tubo con un mínimo desplazamiento de refractario. En la sección de convección se usan tanto soportes intermedios como espejos de tubos similares a los empleados en cambiadores de calor.

a.1.5) Refractario.

Materia aislante con el cual se cubre internamente la cubierta metálica del horno para evitar el sobrecalentamiento de la estructura metálica de acero y mantener una temperatura constante. Además evita la corrosión en la cubierta metálica cuando se quema un combustible que contenga azufre.

1.3.1.2 Sección de tubos de escudo.

También llamada sección de choque contiene a los tubos (por lo general en las dos primeras hileras de tubos de convección) que protegen de la radiación directa a la sección de convección.

1.3.1.3 Sección de convección.

Esta sección del horno contiene un banco de tubos que recibe la mayor parte del calor, transferido por convección. Puede compararse en funcionamiento con un cambiador de calor gas-liquido donde el gas se encuentra del lado de la coraza.

a.3.1) Cabezales: accesorios que conectan dos o más tubos. Los tipos de cabezales comerciales son:

- a) Oreja de mula: es la más usada y de menor costo, no es recomendable a altas temperaturas debido a las expansiones térmicas
- b) Seguro de cuerda o sello roscado: resiste temperaturas mayores que el anterior.
- c) Tipo de tapón: Resiste aún mayores temperaturas que el anterior proporcionando menor caída de presión en el fluido de proceso, aunque con dificultades de mantenimiento.

a.3.2) Sopladores de hollín.

Dispositivos usados para la limpieza de los tubos de la sección de convección que se utilizan con mayor frecuencia cuando el combustible quemado contiene partículas sólidas, azufre o produce grandes cantidades de hollín. De acuerdo a su forma y uso pueden ser:

- I) Retráctiles.
- II) Fijos.

I) Retráctiles: Son aquellos que por medio de un mecanismo son introducidos o retirados, se componen de un tubo con varios orificios por donde circula vapor de media presión para la limpieza de los tubos.

II) Fijos: similares a los anteriores sólo que no pueden ser retirados.

a.3.3) Regulador de tiro (Damper)

Se localiza dentro del ducto de la chimenea y se utiliza para el control de tiro en el horno. Los reguladores de tiro son generalmente platos planos (o un sistema de platos) que rota en un eje fijado en una caja colocada en la pared de acero similar a la válvula de mariposa.

CLASIFI
CACION
DE
HORNS

HORNS CALEN
TADORES

-HORNS CALENTADORES A UNA
COLUMNA FRACCIONADORA.

-HORNS DE ALIMENTACION AL
REACTOR.

-HORNS CALENTADORES DE
FLUIDOS QUE ACTUAN COMO
MEDIO DE CALENTAMIENTO.

-HORNS CALENTADORES DE
FLUIDOS VISCOSOS.

HORNS REHERVIDORES DE COLUMNA

HORNS DE PIROLISIS

TABLA 1.3

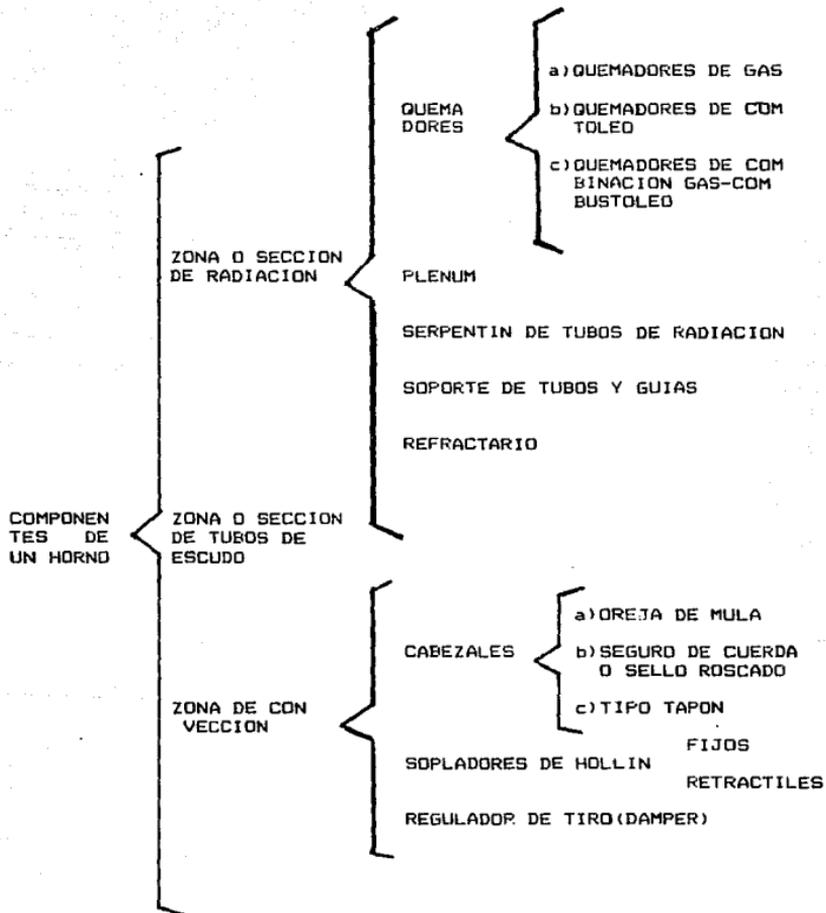


TABLA 1.4 DESCRIPCION DE UN HORNO POR SECCIONES

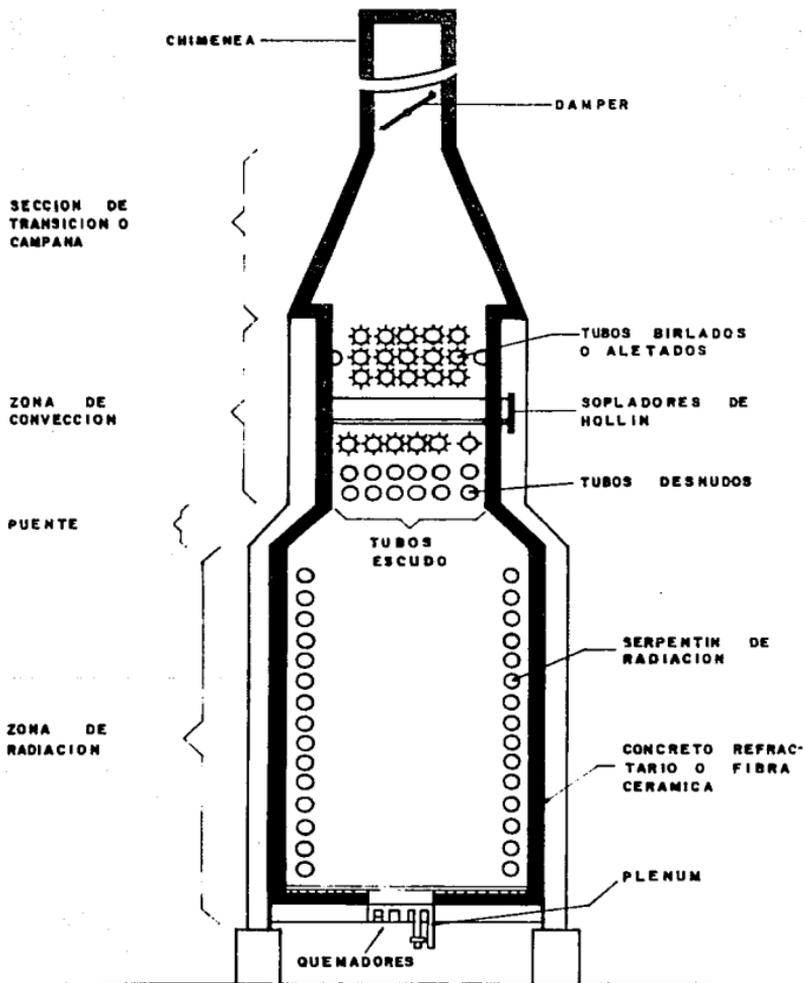


FIG. 1.3 COMPONENTES DE UN HORNO POR SECCIONES.

a.4) Chimenea.

Ducto de acero cilíndrico dentro del cual se transportan los gases de combustión a la atmósfera suministrando además el tiro necesario.

En sus principios los calentadores a fuego directo, no han sido modificados aparentemente desde hace 30 años. Sin embargo en -- estos 30 años los equipos normales de calentamiento aumentaron sus precios de un 100% a un 200% mientras que durante el mismo lapso el precio de los calentadores por caloría transferida no ha variado ó incluso ha disminuido.

Esto se debe a mejores técnicas de construcción, al uso de mejores materiales, a la adaptación de sistemas de control más eficientes como control electrónico.

Las funciones principales de los sistemas de control en los calentadores son:

- 1.-Mantener la relación deseada de energía transferida a la -- carga.
- 2.-Mantener en la combustión un buen control y una alta eficiencia.
- 3.-Mantener todas las condiciones de seguridad en todas las fases de operación.

El sistema debe asegurar que la carga reciba la energía calorífica en una proporción adecuada.

La combustión adecuada del combustible incluye muchos factores tales como la regulación del aire/combustible, la combustión -- preferente de un combustible sobre otro, y el control de vapor de atomización cuando se quema combustóleo.

La seguridad es siempre una consideración importante en cualquier proceso debido a que siempre existe la posibilidad de que se forme una atmósfera explosiva la cual puede tener efectos desastrosos.

Es conveniente aclarar que para que se realice la combustión completa es necesario suministrar una cantidad adecuada de oxígeno y por tanto una cantidad adecuada de aire. Para asegurar que la combustión se realiza totalmente es necesario suministrar un exceso de aire; este se logra manteniendo un tiro suficiente en el calentador (con una baja presión en la -- chimenea). Para una medición más exacta del exceso de aire se puede emplear un analizador de gases de combustión.

1.4 Principales Variables a Controlar en un Calentador,

- ① La principal variable que se debe controlar en un calentador es la temperatura de salida de la carga.

El valor de la temperatura de salida depende principalmente de:

- ② De la cantidad de combustible quemado.
- ③ De la relación aire-Combustible.
- ④ De la temperatura de la carga a la entrada así como de la cantidad de ésta.

En la figura 1.4 se ilustran los principales puntos a controlar.

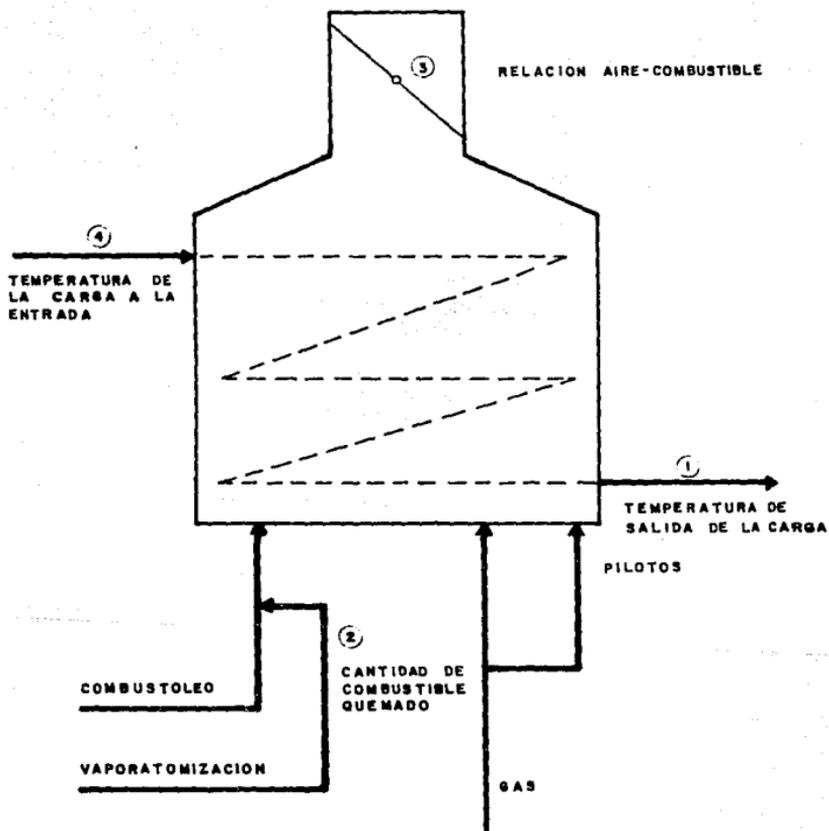


FIG. 1.4 PRINCIPALES VARIABLES A CONTROLAR EN UN CALENTADOR.

CAPITULO II
FILOSOFIAS DE OPERACION

CAPITULO II FILOSOFIAS DE OPERACION

2.1 Introducción.

La filosofía de operación es un documento que especifica - los patrones de comportamiento operacionales de la planta ó equipo del que se trate y cubre los siguientes puntos:

A) Variables de operación y control de proceso

Aquí se hace una descripción del efecto en el proceso de las variables (presiones, flujos, temperaturas). Dicho efecto podrá ser expresado en forma cualitativa. Sin embargo en algunos casos es conveniente expresar en orden de magnitud la acción de las variaciones que pudieran presentarse.

Se describe también la forma en la cual se mantienen las variables mencionadas dentro de los rangos seleccionados mediante los controles básicos de proceso, de acuerdo con la información de los diagramas de flujo correspondientes.

E) Operaciones anormales.

Dependiendo de las características de flexibilidad de operación que se especifique para la planta o el equipo se podrán presentar condiciones anormales ó especiales de operación que será necesario describir. También se incluirán las condiciones en las que la planta continuará operando a paro de determinados equipos o secciones lo que implicaría la operación de la planta bajo condiciones anormales.

Se describe el efecto inmediato que se presentaría en la operación de la planta al salir un equipo de operación, a su vez se describen las acciones de tipo correctivo que será necesario adoptar para evitar que la planta opere en condiciones de inestabilidad, derivadas del paro del equipo.

Al final se describen las condiciones en las cuales operaría - la planta al prescindir de un equipo importante, señalando la forma en que se verían afectados en su operación, los equipos que se encontrasen relacionados.

C) Operaciones especiales.

En esta parte se describe la operación de aquella sección ó - equipos que sea necesario llevar a cabo en forma intermitente ó cíclica que en general no se presentan en los diagramas de flujo de proceso, como ejemplo sería el caso de la operación de regeneración de un catalizador.

2.2 Generalidades.

La función principal de la planta hidrodesulfuradora de naftas es la preparación de la carga a la planta reformadora, mediante la eliminación de azufre, nitrógeno y oxígeno de las naftas ligeras provenientes de la planta de destilación primaria.

La planta hidrodesulfuradora de naftas puede dividirse en:

- 1) Sección de reacción.
- 2) Sección de estabilización y fraccionamiento.

Debido al objetivo de este trabajo sólo se cubrirán las filosofías de operación del calentador de carga BA-401.

A) Variables de operación y control de proceso.

Temperatura.

El calentador de carga BA-401 está diseñado para dar la temperatura necesaria, para que se lleve a cabo la hidrodesulfuración en el reactor DC-401.

Presión.

La caída de presión a través del calentador será función del flujo y del ensuciamiento. Para el diseño se consideró una -- caída mínima de 60 lb/in² pero este valor podría aumentar -- hasta el máximo permisible por la presión de descarga de la bomba de alimentación, dependiendo del avance del mecanismo de incrustación de los equipos involucrados. Sin embargo no sería muy económico, ni seguro operar fuera del límite antes mencionado.

B) Operaciones anormales.

1) Por falla de servicios auxiliares.

- 1.1) Energía eléctrica.
- 1.2) Combustible.
- 1.3) Aire de instrumentos.
- 1.4) Vapor.
- 1.5) Agua de enfriamiento.

2) Paro de emergencia por proceso.

- Falta de flujo de alimentación al calentador.

3) Falta del calentador por ruptura de tubos.

- Ruptura de tubos.

1) Por falla de servicios.

1.1) Falta de energía eléctrica.

Al fallar la energía eléctrica el Calentador a Fuego Directo debe salir de operación en forma automática por acción de los interruptores de muy bajo flujo a la entrada del horno. Como consecuencia de esta falla ocurrirá lo siguiente:

Consecuencias que se presentan.

- Falta en el suministro de carga por paro del accionador de la bomba de carga por ser motor y corte de suministro de gas combustible a quemadores.

Acciones a tomar:

- Verificar el corte de combustible a quemadores. De no efectuarse este, accionar el botón de paro de emergencia desde el tablero principal.

1.2) Falla de combustible:

-Al fallar el combustible (combustóleo ó gas ó ambos) a quemadores, el calentador saldrá fuera de operación.

Consecuencias que se presentan:

-Corte automático de gas combustible o combustóleo por baja presión.

Acciones a tomar:

Paro de GA-401/R.

1.3) Falla de aire de instrumentos.

Al fallar el suministro de aire de instrumentos el calentador a fuego directo saldrá de operación.

Consecuencias que se presentan a falla de este servicio:

-Corte de combustible a quemadores.

Acciones a tomar:

-Transferir el equipo a control manual.

1.4) Falla de vapor.

Al fallar el vapor el calentador a fuego directo debe salir de operación en el caso de que se le este alimentando combustóleo a los quemadores debido que al faltar el vapor, el combustóleo no podrá ser atomizado.

Consecuencias que se presentan:

-Corte de combustible a quemadores.

Acciones a tomar:

-Paro de GA-401/R.

1.5) Falla de agua de enfriamiento.

Al fallar el agua de enfriamiento el calentador saldrá de operación.

Consecuencias que se presentan:

La sección de reacción se sobrepresionará debido a la falla del enfriador de producto desulfurado EA-404A/D que utiliza agua como medio de enfriamiento. Se cortará el suministro de combustible a quemadores y pilotos.

Acciones a tomar:

-Cierre de las valvulas de control al calentador.

-Paro de la bomba de carga GA-401/R y del compresor GB-401

2) Paro de emergencia por proceso.

- Falla de flujo de hidrógeno de recirculación al calentador.

Al presentarse esta falla de flujo, el horno saldrá de operación mediante el corte de combustible a quemadores, por acción del FSL.

3) Falla de equipo mayor.

- Ruptura de tubos.

Al presentarse esta falla el calentador saldrá de operación. Como consecuencia habrá fuego por los hidrocarburos derramados por lo tanto se recomienda actuar de la siguiente manera:

1) Interrumpir el suministro de hidrocarburos al calentador.

2) Cortar el suministro de combustible a quemadores y pilotos - mediante el botón de paro general actuando desde el cuarto de control.

3) Admitir vapor de apagado al hogar del calentador.
A partir de este momento proceder a tomar acciones de acuerdo
a la situación que se haya presentado.

CAPITULO III
SIMBOLOGIA Y TERMINOLOGIA PARA LA
INGENIERIA DE INSTRUMENTOS Y
CONTROL INDUSTRIAL

CAPITULO III SIMBOLOGIA Y TERMINOLOGIA PARA LA INGENIERIA DE INSTRUMENTACION Y CONTROL INDUSTRIAL

3.1 Instrumentación y Control.

La instrumentación y el control es una disciplina tan antigua como la humanidad, ya que culturas como la maya y la egipcia contaban con instrumentos para medir el tiempo, el peso, etc.

Sin embargo el nacimiento formal de la instrumentación y el control se llevo a cabo hasta 1789 con la invención de un regulador automático de admisión de vapor a la máquina de vapor de aquí al año de 1950, su desarrollo fue lento pasando por las siguientes etapas.

Hacia el año de 1920 la instrumentación y el control de procesos industriales se reducía a una simple indicación local de la variable en cuestión y su corrección manual por medio de un elemento final de control.

Del año de 1920 a 1950 surge la instrumentación mecánica y neumática, haciendo necesaria la construcción de cuartos de control adyacentes al proceso y aplicando algunas técnicas de control automático.

De 1950 a 1960 se incursiona por vez primera en la instrumentación electrónica viéndose limitada por el tipo de materiales utilizados (bulbos). Los trabajos desarrollados sobre teoría del control son los primeros del período moderno.

De 1960 a 1970 se inicia la instrumentación en estado sólido teniendo como consecuencia la miniaturización del equipo electrónico con esto se logró el aumento de la información de proceso en un área determinada de los tableros de control (uso de esquemas gráficos y semigráficos).

Con esto se permitió la aplicación efectiva de estrategias de control centralizado y la sofisticación del control mediante el uso de computadoras analógicas.

Visualizando se puede prever que la instrumentación del futuro tiende a reducir el tamaño de los instrumentos de cálculo computadoras y a la utilización de sensores del tipo electrónico, así como elementos finales de control de tipo digital.

Las variables presentes en un proceso industrial se mantienen dentro de sus rangos deseados de operación mediante el control automático y este se ejerce sobre cada una de las variables de proceso.

Esto se logra mediante un circuito de control, es decir un circuito de control se encargará de controlar una o más variables de proceso.

Por lo anterior, definiremos la variable de proceso y el circuito de control así como sus partes constitutivas.

La variable de proceso es cualquier condición ó estado del -- fluido de proceso que está sujeto a cambiar, las variables de - proceso se clasifican como lo indica la tabla 3.1.

De las variables anteriormente citadas cuatro de ellas son las que generalmente se representan en los procesos industriales, - son la variable flujo, temperatura, presión y nivel.

Por otro lado, el circuito de control es aquel que se encarga de mantener automáticamente controladas todas las variables ba jo ciertos límites deseados, sus partes constitutivas aparecen en la figura 3.1.

Elemento primario.

Es el primer instrumento que detecta o sensa el valor de la va riable de proceso y cuya salida asume un estado predeterminado e intelegible.

Elemento secundario ó Transmisor.

Es el dispositivo que mediante un elemento primario detecta el valor de la variable de proceso y que posee una salida cuyo valor en el estado estable cambia únicamente en función de la variable de proceso. Esta señal de salida es enviada al contro lador y puede ser neumática con un rango de 3-15 lb/in² ó eléctrica de 4-20 mA.

Controlador.

Es el receptor de la señal enviada por el transmisor y lleva a cabo dos funciones en posición automática.

a) Compara la señal recibida por el transmisor con el punto de ajuste (valor deseado de la variable o set point) y en caso de existir alguna diferencia entre estos dos valores, genera una señal de error proporcional a la magnitud del disturbio que exista en la variable de proceso.

b) Por medio de los modos de control se procesa la señal de error, generándose una señal correctiva que es enviada al elemento final de control para minimizar la desviación existente entre el valor de la variable de proceso y el punto de ajuste. La señal correctiva enviada al elemento final de control, pued ser neumática o eléctrica de 3-15 lb/in² ó de -- 4-20 mA.

Elemento final de control.

Es el receptor de la señal enviada por el controlador y actúa directamente sobre la variable manipulada para mantener ésta - en los límites deseados. Generalmente el elemento final de control es una válvula de control en otras ocasiones son unas másm paras o persianas, etc.

Variable manipulada.

Es aquella a la que se le hace variar su valor a uno previamen te deseado por el elemento final de control.

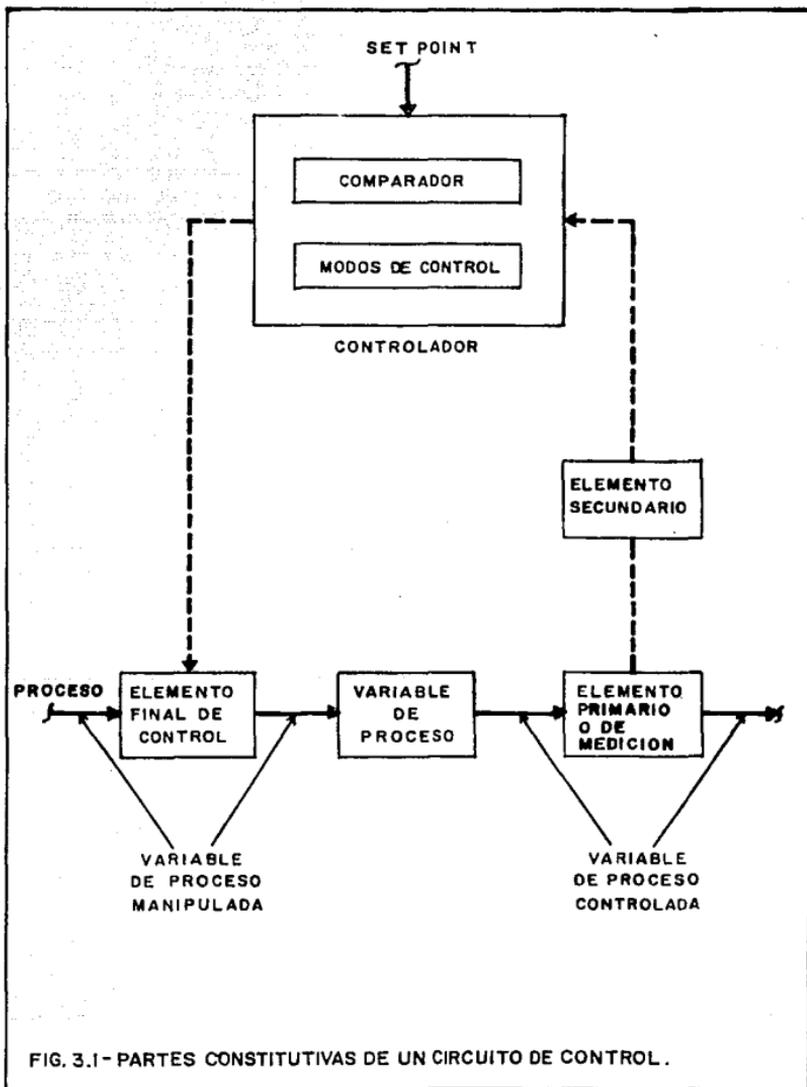


FIG. 3.1- PARTES CONSTITUTIVAS DE UN CIRCUITO DE CONTROL .

Variable Controlada.

Es aquella que se sensa por medio de un elemento primario y la cual se controla bajo ciertos limites.

Punto de ajuste.

Tambien llamado "Set Point" y es el valor deseado de la variable de proceso.

Modo de control.

Son los modos usados por los controladores para corregir el desvío de una señal de su punto de ajuste.

Por lo tanto se puede definir a la instrumentación y el control industrial como aquella rama de la ingeniería que estudia las distintas partes (dispositivos) constitutivas de un circuito de control así como la aplicación correcta de los mismos para mantener controlado automáticamente un proceso industrial.

CLASIFICACION
DE LAS
VARIABLES -
DE
PROCESO

1) VARIABLES RELACIONADAS CON LA ENERGIA

- a) TEMPERATURA
- b) PRESION Y VACIO
- c) ELECTRICIDAD
- d) SONIDO
- e) RADIACION

2) VARIABLES RELACIONADAS CON LA CANTIDAD Y EL GASTO

- a) FLUJO
- b) NIVEL
- c) PESO
- d) VELOCIDAD

3) VARIABLES RELACIONADAS CON LAS CARACTERISTICAS FISICAS Y QUIMICAS DEL MATERIAL

- a) DENSIDAD O PESO ESPECIFICO
- b) HUMEDAD
- c) VISCOSIDAD
- d) COMPOSICION
- e) PH
- f) etc.

TABLA 3.1

3.2 Terminología del control automático.

Las diferentes definiciones y términos usados en instrumentación y control son en su totalidad vocablos aprobados por la ISA.

La Instrument Society of America (ISA) es una organización técnica y educacional no lucrativa dedicada a incrementar las capacidades de los técnicos y profesionistas involucrados en el diseño, manufactura y uso de la instrumentación y sistemas de automatización y control.

La ISA fue fundada en 1945 y mantiene sus oficinas generales en Research Triangle Park, North Carolina, su membresía se encuentra en 166 secciones de 12 regiones geográficas localizadas en Canadá, los Estados Unidos, Francia, India, Irlanda, Israel, Italia, México, Holanda, Singapur y Venezuela.

La ISA (USA) dicta cursos y conferencias así como también publica libros, normas y prácticas recomendadas de tal manera que normando los criterios y el lenguaje usado por todos los instrumentistas del mundo se vea facilitada la tarea del entendimiento de las distintas facetas en las que se ven involucradas la instrumentación y el control.

A continuación se enlistan las principales definiciones y símbolos más empleados en esta rama de la ingeniería.

Alarma.

Dispositivo que indica la existencia de una condición anormal por medio de un cambio discreto en una señal, audible, ó visible ó ambas emitida para atraer la atención.

Atrás del Tablero.

Este término se aplica a un lugar que:

- 1) Esta dentro del área que contiene el tablero de instrumentos
- 2) Está atrás del tablero ó no es accesible al operador para su uso normal y
- 3) No se designa como local.

Círculo.

Símbolo para representar un instrumento ó su identificación.

Circuito.

Combinación de uno ó más instrumentos interconectados para medir ó controlar ó ambos una variable de proceso también se llama lazo.

Convertidor.

Dispositivo que recibe información en forma de señal de instrumento, altera la forma y envía una señal de salida resultante. Un convertidor es un tipo especial de relevador, con frecuencia al convertidor se le llama transductor, aunque este último es un término genérico cuyo uso no se recomienda para la conversión de una señal específica.

Estación de carga manual.

Instrumento con una salida ajustable manualmente que se utiliza para actuar uno o más dispositivos remotos. Aunque estos últimos suelen ser elementos controladores para un circuito de control, la estación se emplea como estación selectora automática/manual.

Estación de control.

Es una estación de carga manual que tiene un conmutador selector automático/manual para un circuito de control. También se conoce como estación automático/manual o estación selectora automática.

Escrutar.

Muestrear cada una de un número de entradas en forma intermitente. Un escrutador puede tener funciones adicionales tales como registro o alarma.

Identificación.

Secuencia de letras, dígitos o ambos que se emplean para designar un instrumento particular o un circuito.

Instrumento.

Dispositivo usado directa o indirectamente para medir o controlar o ambos una variable. El término incluye válvulas de control, válvulas de alivio y dispositivos eléctricos tales como anunciadores y botones de contacto, pero no se aplica a los componentes internos de un instrumento como serían fuelles, receptores, resistencias, etc.

Interruptor.

Dispositivo que conecta, desconecta o transfiere uno o más circuitos y que no se identifica como controlador, relevador o válvula de control, cuando es de acción manual se le llama conmutador.

Local.

Es la ubicación de un instrumento en campo. Los instrumentos locales generalmente se encuentran cerca de un elemento primario o de un elemento final de control.

Medición.

Es la determinación de la existencia o magnitud de una variable. Los elementos de medición incluyen todos los dispositivos que se emplean, directa o indirectamente para este propósito.

Proceso.

Cualquier operación o secuencia de operaciones que involucra un cambio de energía, composición, dimensiones o cualquier otra propiedad que se pueda definir con respecto a una referencia.

Relevador.

Dispositivo que recibe información en forma de señales de uno

o más instrumentos; modifica la información o su forma o ambas si se quiere emite una o más señales de salida resultantes y no se le identifica como controlador, interruptor, conmutador -- ni de otra forma.

Transductor.

Término general para un dispositivo que recibe información en la forma de una o más cantidades físicas modifica la información o su forma ó ambas si se quiere y emite una señal de salida resultante. Dependiendo de la aplicación el transductor puede ser un elemento primario, un transmisor, un relevador, un convertidor u otro dispositivo.

Transmisor.

Dispositivo que detecta una variable de proceso por medio de un elemento primario y que tiene una salida cuyo valor en el estado estable cambia únicamente en función de la variable de proceso, en forma predeterminada. El elemento primario puede estar integrado al transmisor.

Válvula de control.

Dispositivo diferente a una válvula común de dos posiciones operada manualmente que manipula en forma directa el flujo de una ó más corrientes del fluido de proceso. En algunas aplicaciones se le conoce también como compuerta (damper) o persiana (louver). Se espera que el uso de los términos "válvula de control manual" se limite a válvulas accionadas manualmente que
1) Se utilicen para regulación de un fluido de proceso.
2) Sean válvulas especiales para fines de control y que sean especificadas por un grupo de instrumentación ó un ingeniero de instrumentos.

3.3 Símbolos y notaciones usadas en Instrumentación y Control.

Cada instrumento se deberá identificar primero con un sistema de letras que se usa para clasificarlo con base en su función. A fin de establecer una identidad de circuito para el instrumento deberá agregarse un número de letras. Generalmente este número es común para los sistemas restantes del mismo circuito del cual el instrumento forma parte. Algunas veces es recomendable la adición de un sufijo para completar la identificación del circuito.

Identificación funcional.

La identificación funcional de un instrumento deberá formarse con las letras de la tabla 3.1, se deberá incluir una "primera letra" que representará la variable medida o inicial y una ó más "letras secundarias" que representen la función de cada instrumento.

-La identificación funcional de un instrumento deberá hacerse de acuerdo con su función y no con su construcción.

-En un circuito de instrumentación la "primera letra" de la identificación funcional se debe seleccionar de acuerdo con la variable medida ó inicial y no a la variable manipulada.

Las letras secundarias de la identificación funcional designan una ó más funciones pasivas y/o funciones de salida.

La secuencia de las letras de identificación deberá empezar con una "primera letra". Las letras para funciones pasivas tendrán cualquier secuencia y después de estas vendrán las de función de salida, también en cualquier secuencia excepto para la letra de salida C (Control) que deberá preceder a la salida V (Válvula), por ejemplo HCV válvula de control operada manualmente.

El número de letras funcionales agrupadas para identificar un instrumento deberá reducirse a un mínimo según el criterio del usuario ya que el total de letras en un grupo no deberá exceder de cuatro.

Identificación del circuito.

La identificación del circuito de un instrumento generalmente deberá hacerse utilizando el número asignado al circuito al cual pertenece el instrumento. Cada circuito deberá tener únicamente un número.

Para todos los circuitos de instrumentos de una planta o secciones de una planta deberá emplearse una sola secuencia de números sin importar la primera letra de la identificación funcional de los circuitos.

Si un circuito determinado tiene más de un instrumento con la misma identificación funcional de preferencia deberá agregarse un sufijo (ya sea letra o número) al número del circuito. Las letras que se utilicen en los sufijos deberán ser mayúsculas.

TABLA 3.1 SIGNIFICADO DE LAS LETRAS DE IDENTIFICACION

PRIMERA	LETRA	LETRAS SIGUIENTES		
VARIABLE MEDIDA O DE INICIA CION	MODIFICANTE	FUNCION PASIVA O DE PRESENTACION DE DATOS	FUNCION DE SALIDA	MODIFICANTE
A	ANALISIS	ALARMA		
B	FLAMA DE QUEMADOR	ELECCION DEL USUARIO	ELECCION DEL USUARIO	ELECCION DEL USUARIO
C	CONDUCTIVIDAD ELECTRICA		CONTROLAR	
D	DENSIDAD (MASA) O DENSIDAD RELATIVA	DIFERENCIAL		
E	VOLTAJE (FEM)	ELEMENTO PRIMARIO		
F	FLUJO	RELACION (FRACCION)		
G	CALIBRE	MIRILLA		
H	MANUAL			ALTO
I	CORRIENTE ELECTRICA	INDICAR		
J	POTENCIA	ESCRUTAR		
K	TIEMPO O SECUENCIA		ESTACION DE CONTROL	
L	NIVEL	LUZ PILOTO		BAJO
M	HUMEDAD			MEDIO O INTERMEDIO

=====

PRIMERA LETRA LETRAS SIGUIENTES

=====

VARIABLE MEDIDA O DE INICIA CION	MODIFICANTE	FUNCION PA SIVA O DE PRESENTA - CION DE DA TOS	FUNCION DE SALIDA	MODIFICANTE
---	-------------	--	-------------------------	-------------

=====

N		ELECCION DEL USUARIO	ELECCION DEL USUA RIO
O	ELECCION DEL USUARIO	ORIFICIO (RESTRICCION)	
P	PRESION DE VACIO	PUNTO (CONEXION DE PRUEBA)	
Q	CANTIDAD O EVENTO	INTEGRAR O TOTALIZAR	
R	RADIACI VIDAD	REGISTRAR O IM PRIMIR	
S	VELOCIDAD O FRECUEN CIA	SEGURIDAD	INTERRUMPIR
T	TEMPERATURA		TRANSMITIR
U	MULTIVARIA BLE	MULTIFUNCION	MULTIFUNCION MULTI- FUNCION
V	VISCOCIDAD		VALVULA.COM- PUERTA O PER SIANA
W	PESO O FUERZA		TERMOPOZO
Y	ELECCION DEL USUARIO		RELEVAR O COMPUTAR ACTUAR.OPE RAR
Z	POSICION		ELEMENTO FI NAL DE CON- TROL NO CLA SIFICADO

por ejemplo A,B,C,etc.

Simbolos

Los diagramas que se muestran más adelante (Fig. 3.2 a 3.10) ilustran los símbolos cuyo propósito es presentar la instrumentación de los diagramas de flujo y otros dibujos y cubren su aplicación en una amplia variedad de procesos.

El círculo se puede usar para identificar símbolos distintos - como el de una válvula de control. En tal caso la línea que conecta el círculo o símbolo del instrumento deberá dibujarse cerca de éste, pero sin tocarlo.

Otras veces el círculo sirve para interpretar al propio instrumento. Los tamaños para los círculos de identificación y los de los símbolos misceláneos que aparecen más adelante son los que generalmente se recomiendan.

Los tamaños de los otros símbolos podrán seleccionarse en forma apropiada de acuerdo con los símbolos de los otros equipos representados en el diagrama.

Aparte de los requisitos generales del dibujo en cuanto a la claridad y legibilidad los símbolos pueden tener cualquier orientación.

Por lo general en un diagrama de flujo bastará una línea de señal para representar las interconexiones entre dos instrumentos; aunque físicamente estén conectados por más de una línea.

En los diagramas de flujo mecánico también llamados de tubería e instrumentación es práctica común omitir los símbolos de los componentes de interconexión, los cuales son necesarios para el funcionamiento del sistema, particularmente cuando representan interconexiones eléctricas.

A continuación se presenta una tabla que muestra el significado de las letras de identificación. A estas letras se les dará una breve descripción aclaratoria como sigue:

- La intención de las letras de "elección del usuario" es para cubrir su uso en significados no listados que vayan a emplearse repetitivamente en un proyecto particular.

- La intención de la letra no clasificada "X" es que se use para cubrir significados no listados que se empleen sólo una vez (o muy limitadamente).

- Cualquier primera letra si se utiliza en combinación con las letras modificantes D (diferencial), F (fracción) o Q (totalización) o cualquier combinación de ellas deberá considerarse que representa una nueva variable y la combinación deberá tratarse como "primera letra".

- El término seguridad se aplicara unicamente a elementos protectores de emergencia. La designación PSV se aplica a todas las válvulas cuya función es proteger contra condiciones de emergencia, sin importar si su construcción o modo de operación se les coloca en la categoría de válvulas de seguridad.

Un dispositivo que conecta, desconecta, o transfiere uno o más circuitos puede ser un conmutador, un interruptor, un relevador o un controlador de dos posiciones o excepcionalmente un válvula de control, dependiendo de la aplicación.

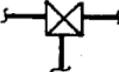
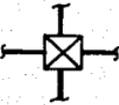
-Conmutador (switch) si es operado manualmente.

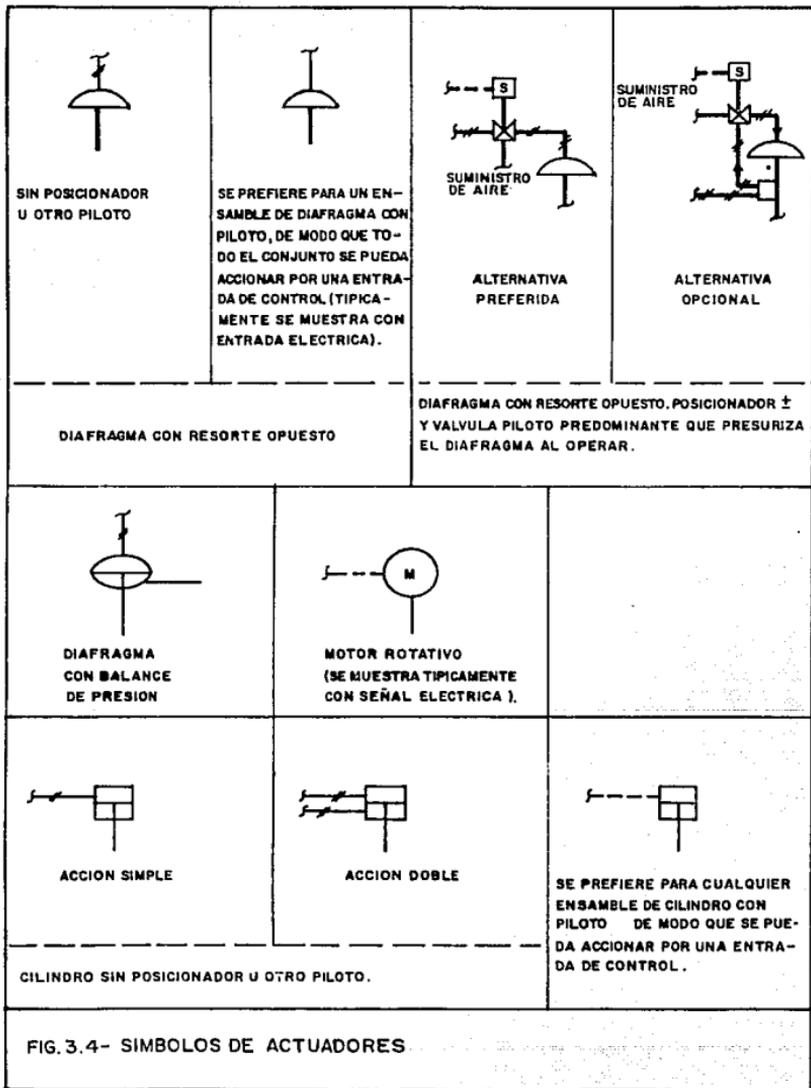
-Interruptor (switch) o controlador de dos posiciones si es automático y es además, el primer dispositivo del circuito.

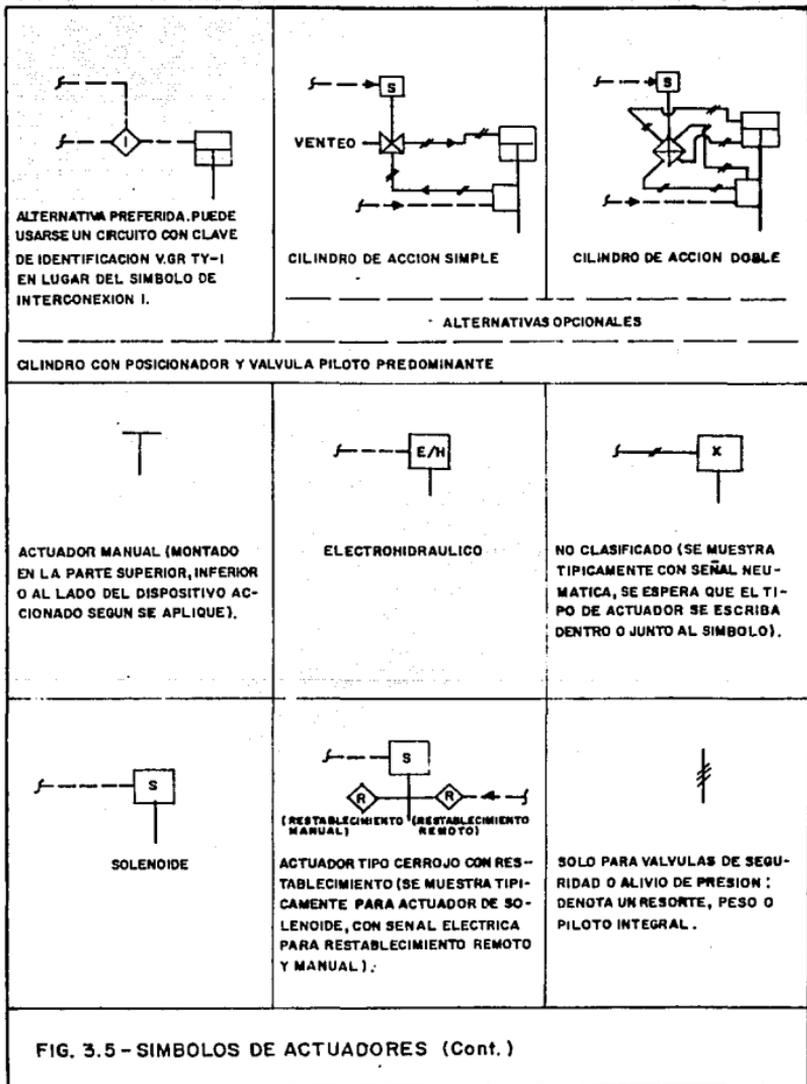
-Relevador (relay) si es automático y no es el primer dispositivo en el circuito, es decir si es adiccionado por un interruptor o un controlador de dos posiciones.

El uso de los términos modificantes "Alto", "Bajo" o "Medio" deberá corresponder a los valores de la variable medida no de la señal.

<p>APROXIMADAMENTE 1.1 CM (7/16") DE DIAMETRO.</p>  <p>MONTADO LOCALMENTE</p>	 <p>MONTADO EN EL TABLERO 1 o 2 COMO ALTERNATIVA. EL TABLERO 2 SE PUEDE REPRESENTAR CON DOS LINEAS HORIZONTALES, EN LUGAR DE UNA, Y OMITIR LA IDENTIFICACION FUERA DEL CIRCULO.</p>	 <p>MONTADO ATRAS DEL TABLERO</p>	 <p>INSTRUMENTO MONTADO LOCALMENTE CON CLAVE DE IDENTIFICACION LARGA (EL G ES OPCIONAL, Y ES EL NUMERO DE LA PLANTA) COMO ALTERNATIVA PUEDE UTILIZARSE UN CIRCULO CERRADO DE MAYOR DIAMETRO.</p>
<p>INSTRUMENTO PARA UNA SOLA VARIABLE MEDIDA, CON CUALQUIER NUMERO DE FUNCIONES.</p>			
 <p>MONTADO LOCALMENTE</p>	 <p>MONTADO EN EL TABLERO PRINCIPAL</p>	 <p>MONTADO ATRAS DEL TABLERO AUXILIAR. SE PUEDEN UTILIZAR DOS LINEAS HORIZON- TALES.</p>	
<p>INSTRUMENTO PARA DOS VARIABLES. OPCIONALMENTE PUEDE SER UN INSTRUMENTO DE UNA SOLA VARIABLE CON MAS DE UNA FUNCION. CONFORME SEA NECESARIO, PUEDEN AÑADIRSE CIRCULOS O AGENTES ADICIONALES.</p>			
<p>FIG. 3. 2—SIMBOLOS GENERALES DE INSTRUMENTOS—CIRCULOS</p>			

 <p>GLOBO, COMPUERTA U OTRO TIPO EN LINEA, NO IDENTIFICADO DE ALGUN OTRO MODO.</p>	 <p>ANGULO</p>	 <p>MARIPOSA, COMPUERTA O PERBIANA.</p>
	 <p>MACHO O BOLA ROTATIVAS</p>	
 <p>TRES VIAS</p>	 <p>ALTERNATIVA 1</p>	 <p>ALTERNATIVA 2</p>
<p style="text-align: center;">-----</p> <p style="text-align: center;">CUATRO VIAS</p>  <p>NO CLASIFICADA. (SE ESPERA QUE EL TIPO DE CUERPO SE ESCRIBA DENTRO O JUNTO AL SIMBOLO. OPCIONALMENTE PUEDE ANADIRSE UN SUFIJO NUMERICO A LA X, V.GR. X-1, PARA HACER REFERENCIA A LA PARTIDA NUM. 1 DE UNA LISTA DE CUERPOS ESPECIFICOS NO CLASIFICADOS).</p>		
<p>FIG. 3.3 - SIMBOLOS PARA LOS CUERPOS DE VALVULAS DE CONTROL.</p>		



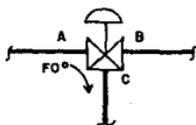




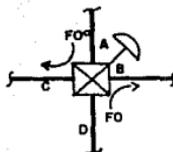
**VALVULA DE DOS VIAS
ABIERTA EN FALLA**



**VALVULA DE DOS VIAS
CERRADA EN FALLA**



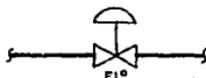
**VALVULA DE TRES VIAS
ABIERTA EN FALLA EN
LA TRAYECTORIA A-C**



**VALVULA DE CUATRO VIAS
ABIERTA EN FALLA EN LAS
TRAYECTORIAS A-C Y D-B**



**PARA CUALQUIER VALVULA
FALLA EN POSICION FIJA
(LA POSICION NO CAMBIA)**



**CUALQUIER VALVULA. POSICION
INDETERMINADA EN CASO
DE FALLA.**

FIG. 3.6- SIMBOLOS PARA REPRESENTAR LA ACCION DEL ACTUADOR EN CASO DE FALLA DE SUMINISTRO AL MISMO (MOSTRADOS PARA VALVULAS DE CONTROL ACCIONADAS POR ACTUADOR DE DIAFRAGMA).

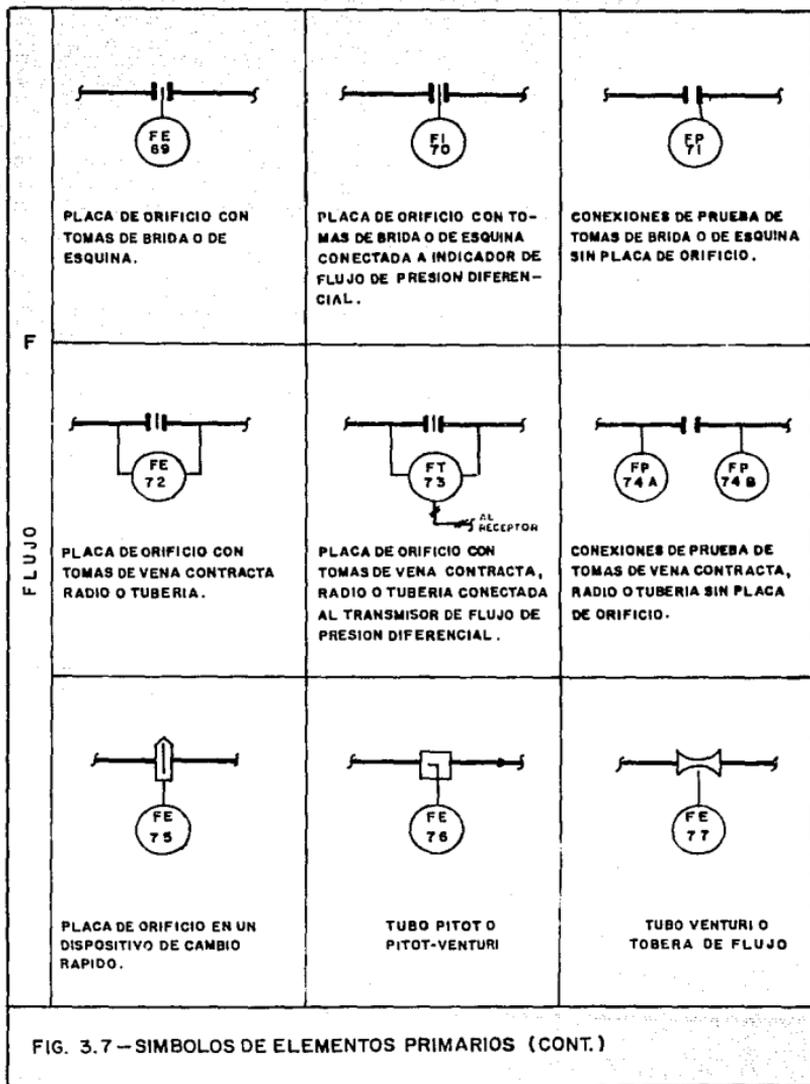


FIG. 3.7—SIMBOLOS DE ELEMENTOS PRIMARIOS (CONT.)

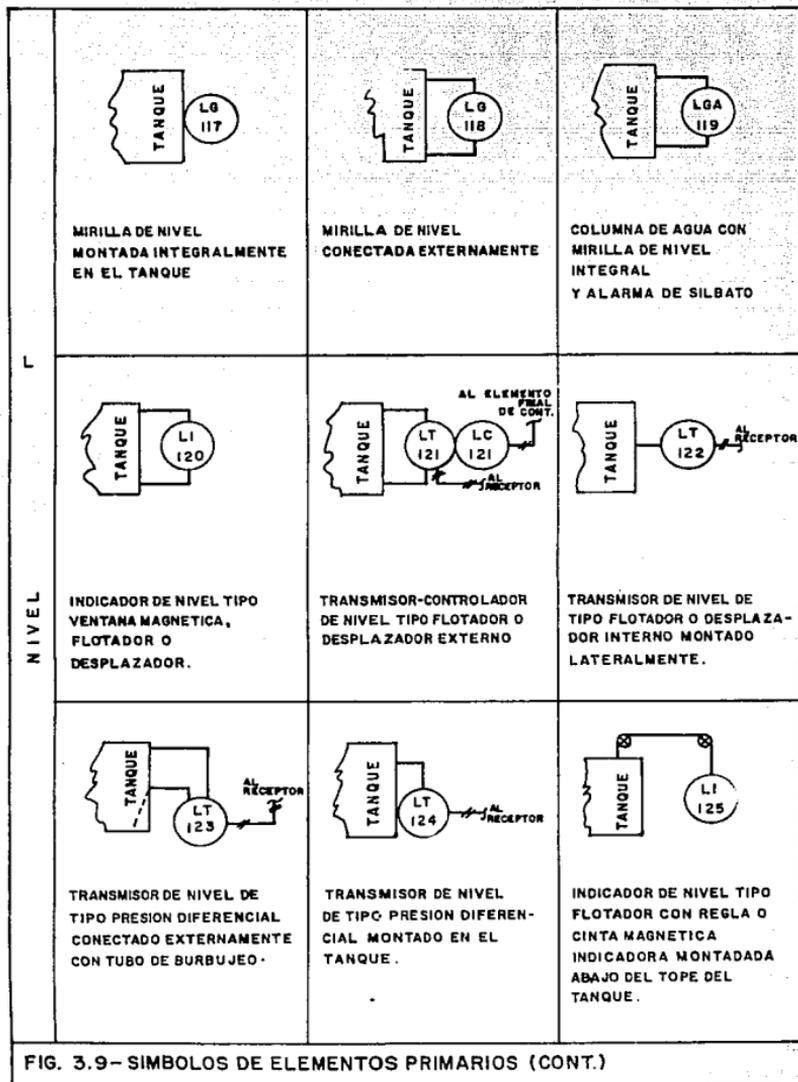


FIG. 3.9- SIMBOLOS DE ELEMENTOS PRIMARIOS (CONT.)

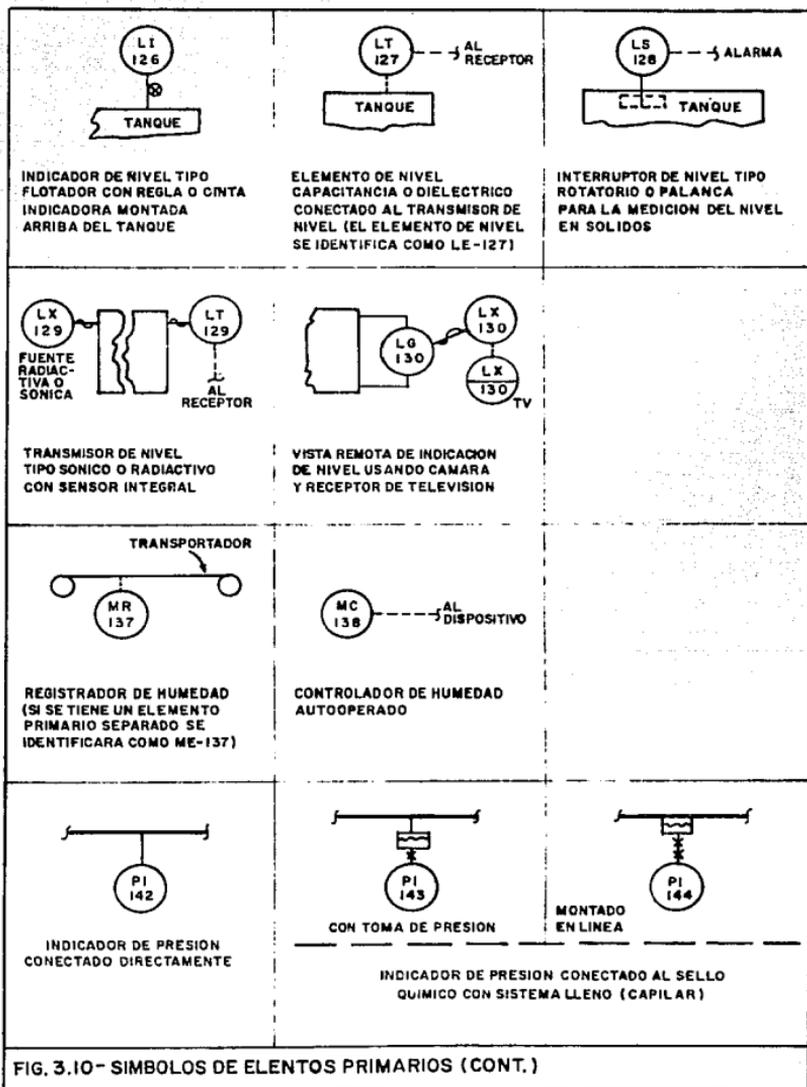


FIG. 3.10- SIMBOLOS DE ELENOS PRIMARIOS (CONT.)

TABLA 3.2. DESIGNACIONES DE FUNCION PARA RELEVADORES

SIMBOLO	FUNCION
1.- \circ ó ON-OFF ó AB-CER	Automáticamente conecta, desconecta o transfiere uno o más circuitos siempre que no sea el primer dispositivo de este tipo en el circuito.
2.- Σ ó ADD ó SUM	Sumar o totalizar (Adición o sustracción)*
3.- Δ ó DIF ó REST	Restar.*
4.- $+/-$ \oplus	Polarización, precarga (Bias).
5.- AVG ó FMDIO	Promedio.
6.- $\%$ ó 1:3 ó 2:1 (Típico)	Ganancia ó atenuación (Entrada o Salida)+
7.- \boxtimes	Multiplicar *
8.- $/$	Dividir.*
9.- $\sqrt{\quad}$ SQ. RT. ó RC	Extraer raíz cuadrada.
10.- x^N ó $x^{1/n}$	Elevar a potencia.
11.- $f(x)$	Función.
12.- 1:1	Reforzador (Booster).
13.- \boxplus ó HIGHEST ó MAX (Variable medida)	Selección alta. Selecciona la variable más alta (no la señal a menos que así se especifique).
14.- \boxminus ó LOWER ó MIN (Variable medida)	Selección baja. Seleccionarla variable medida más baja (no la señal a menos que así se especifique).
15.- REV ó INV	Acción inversa.
16.- a. E/P ó P/I (Típico)	Conversión Para secuencias de entrada/salida de lo siguiente:

Designación	Señal
E	Voltaje
H	Hidráulico.
I	Corriente
	(Eléctrica)
O	Electromagnético ó sónico.
P	Neumático.
R	Resistencia
	(Eléctrica)

b. A/D ó D/A

Para secuencias de entrada/salida de lo siguiente:

A	Analógica.
D	Digital.

17.- \int

Integrar (Integrador de tiempo).

18.- D ó d/dt

Derivada ó razón de cambio.

19.- 1/D

Derivada inversa.

20.- Como se requiera

No clasificado

=====

+ :Se usa para relevadores de una sola entrada.

* :Se usa para relevador de dos o más entradas.

TABLA 3.3 RESUMEN DE ABREVIATURAS ESPECIALES
PARA ABREVIATURAS QUE NO FUERON CONSIDERADAS EN LA TABLA 3.1

ABREVIATURAS		SIGNIFICADO
INGLES	ESPAÑOL	
A	A	Señal analógica.
ADAPT	ADAPT	Modo de control adaptivo.
AS	SA	Suministro de aire.
AVG	PMDIO	Promedio.
C	C	Conexión matricial para tablero.
D	D	Modo de control derivado.
D	D	Señal digital.
DIFF	REST	Substraer.
DIR	DIR	Actuación directa.
E	E	Señal de voltaje.
ES	SE	Suministro eléctrico.
FC	FC	Falla cerrado.
FO	FA	Falla abierto.
FI	FI	Falla indeterminada.
FL	FP	Falla en posición con seguro.
GS	SG	Suministro de gas.
H	H	Señal hidráulica.
HS	SH	Suministro hidráulico.
I	I	Señal de corriente (eléctrica).
	I	Entrelace (Interlock).
M	M	Actuador de motor.
MAX	MAX	Modo de control maximizador.
MIN	MIN	Modo de control minimizador.
NS	SN	Suministro de nitrógeno.
O	O	Señal electromagnética o sónica.
OPT	OPT	Modo de control optimizador.
	N	Señal neumática.
P	P	Modo de control proporcional.
	P	Aditamento de purga o sello.
	R	Modo de control de reajuste automático.
R	R	Restablecimiento de dispositivo que falla en posición con seguro.
	R	Resistencia (señal).
REV	INV	Acción inversa.
RTD	DTR	Detector de temperatura tipo resistencia.
S	S	Actuador de solenoide.
S.P.	P.A.	Punto de ajuste.
SG.RT.	R.C.	Raíz cuadrada.
SS	SV	Suministro de vapor.
T	T	Trampa.
WS	SH20	Suministro de agua.
	X	Multiplicador.
	X	Actuador no clasificado.

TABLA 3.4 SIMBOLOS DE LINEAS DE INSTRUMENTACION

Estas líneas serán siempre más finas que las líneas de tuberías de proceso.

- | | |
|---|---|
| a) Conexión a proceso, unión mecánica o suministro de instrumentos. |  |
| b) Señal neumática * o señal indefinida en diagramas de flujo. |  |
| c) Señal eléctrica. |  |
| d) Tubo capilar (Sistema lleno). |  |
| e) Señal hidráulica. |  |
| f) Señal electromagnética ** o sónica (Sin alambrado o entubado). |  |

NOTAS

* : El símbolo de señal neumática se aplica cuando se este usando cualquiera gas como medio de señal. Si se usa otro gas que no sea aire, se identificará por una nota sobre el símbolo de la señal o alguna otra nota.

** : Los fenómenos electromagnéticos incluyen calor, ondas de radio, radiación nuclear y luz.

CAPITULO IV
CIRCUITOS DE CONTROL

CAPITULO IV

CIRCUITOS DE CONTROL

CAPITULO IV CIRCUITOS DE CONTROL

Se puede considerar que los sistemas de control se clasifican en dos grandes grupos: Los sistemas de circuito abierto y los sistemas de circuito cerrado.

4.1 Sistemas de control de circuito abierto.

Son aquellos en los que la acción es independiente de la señal de salida.

Este tipo de circuito se lleva a cabo como operación manual típica, esto se ilustra en la figura 4.1 en la que se muestra un proceso con una cantidad controlada.

En la línea de salida del proceso, hay instalado un indicador para proporcionar información al operador del valor de la variable controlada.

El operador puede ver este indicador y como resultado mover una válvula para manipular un flujo de entrada al proceso y lograr de esta manera el valor deseado o set-point de la variable controlada. El set-point está en la mente del operador y éste realiza todas las decisiones de control.

Las características de los sistemas de control abierto son las siguientes:

-La estabilidad que presentan es constante y no hay posibilidad de oscilaciones.

-La habilidad que estos tienen para ejecutar una acción con exactitud está determinada por su calibración. Calibrar significa establecer o restablecer una relación entre la entrada y la salida con el fin de obtener del sistema la exactitud deseada.

-Barato y sencillo.

El control depende del operador y su salida varía por efecto de las perturbaciones que son directas y no hay posibilidad de controlar, opcionalmente se tiene medición de salida.

4.2 Sistemas de control de circuito cerrado retroalimentado.

Los sistemas de control de circuito cerrado son aquellos donde la acción de control está relacionada con la salida; este tipo de control también se conoce como de retroalimentación, este sistema se puede definir como el sistema que tiene la propiedad que permite que la salida (u otra variable controlada del sistema) se compare con la entrada del sistema (o alguna otra entrada de otro componente interno o con alguna referencia constante) de tal forma que la función del sistema sea una función de la entrada y la salida.

CAPITULO IV CIRCUITOS DE CONTROL

Se puede considerar que los sistemas de control se clasifican en dos grandes grupos: Los sistemas de circuito abierto y los sistemas de circuito cerrado.

4.1 Sistemas de control de circuito abierto.

Son aquellos en los que la acción es independiente de la señal de salida.

Este tipo de circuito se lleva a cabo como operación manual típica, esto se ilustra en la figura 4.1 en la que se muestra un proceso con una cantidad controlada.

En la línea de salida del proceso, hay instalado un indicador para proporcionar información al operador del valor de la variable controlada.

El operador puede ver este indicador y como resultado mover una válvula para manipular un flujo de entrada al proceso y lograr de esta manera el valor deseado o set-point de la variable controlada. El set-point está en la mente del operador y este realiza todas las decisiones de control.

Las características de los sistemas de control abierto son las siguientes:

-La estabilidad que presentan es constante y no hay posibilidad de oscilaciones.

-La habilidad que estos tienen para ejecutar una acción con exactitud está determinada por su calibración. Calibrar significa establecer o restablecer una relación entre la entrada y la salida con el fin de obtener del sistema la exactitud deseada.

-Barato y sencillo.

El control depende del operador y su salida varía por efecto de las perturbaciones que son directas y no hay posibilidad de controlar, opcionalmente se tiene medición de salida.

4.2 Sistemas de control de circuito cerrado retroalimentado.

Los sistemas de control de circuito cerrado son aquellos donde la acción de control está relacionada con la salida; este tipo de control también se conoce como de retroalimentación, este sistema se puede definir como el sistema que tiene la propiedad que permite que la salida (u otra variable controlada del sistema) se compare con la entrada del sistema (o alguna otra entrada de otro componente interno o con alguna referencia constante) de tal forma que la función del sistema sea una función de la entrada y la salida.

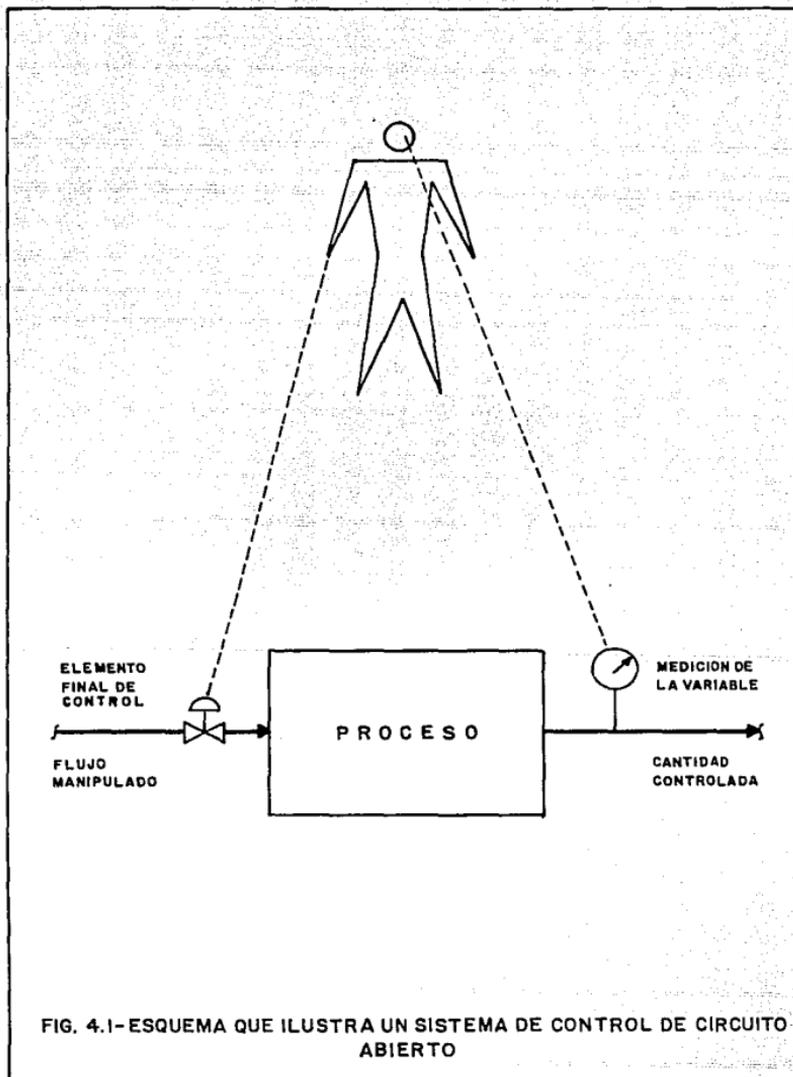


FIG. 4.1- ESQUEMA QUE ILUSTRAS UN SISTEMA DE CONTROL DE CIRCUITO ABIERTO

El más simple camino para automatizar el control de un proceso es a través de un control convencional de retroalimentación.

Los sensores o elementos de medición se instalan para medir los valores actuales de las variables controladas. Estos valores actualizados son transmitidos al hardware del control de retroalimentación y este hardware realiza una comparación automática entre los valores de set-points o valores deseados de las variables controladas y los valores medidos de estas mismas variables.

Basados en la diferencia entre el valor actual y el valor deseado (error) de las variables controladas, el control de retroalimentación calcula las señales que reflejan los valores necesarios de variables manipuladas.

Estos son entonces transmitidos automáticamente para ajustar dispositivos (típicamente válvulas de control) las que manipulan entradas al proceso.

Existen dos tipos básicos de retroalimentación en lazo cerrado positiva y negativa. La retroalimentación negativa, es el mecanismo básico de los sistemas automáticos. La retroalimentación positiva es una operación que aumenta el desbalance es decir impide la estabilidad del sistema.

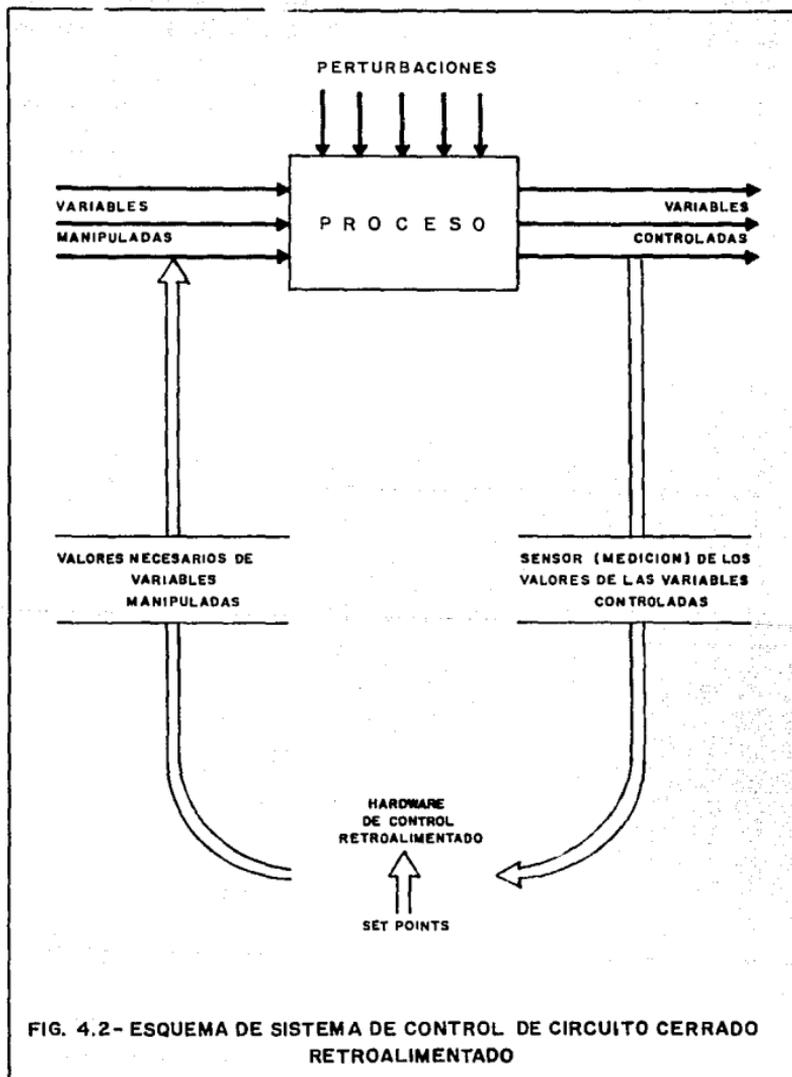
El sistema de control retroalimentado aplica la retroalimentación y puede absorber las influencias de otras variables que afectan el proceso y no son controladas. Su esquema aparece en la figura 4.2.

Las principales características de este sistema son:

- Aumento en la exactitud, por ejemplo la habilidad para reproducir la entrada fielmente.
- Efectos reducidos de la distorsión.
- Más estabilidad que el sistema prealimentado.
- Más conocido, se requiere poca información del proceso y se puede medir el valor de la variable controlada.

Las principales desventajas son:

- No se puede controlar el efecto de las perturbaciones antes de que entren al proceso .
- No se eliminan por completo los tiempos muertos y tiempos de respuesta del proceso y de los elementos de medición y transmisión.
- Más caro, complejo, mantenimiento difícil.
- Es inestable con respecto al abierto.



4.3 Sistema de control en circuito cerrado prealimentado.

En la figura 4.3 se muestra el esquema conceptual del control automático de prealimentación.

Los disturbios se muestran entrando al proceso y existen sensores para medir estos disturbios, los controladores prealimentados o feedforward, calculan los valores necesarios de las variables manipuladas.

Los set-points los cuales representan los valores deseados de las variables controladas son suministrados a los controladores prealimentados.

En este sistema se realiza la medición de la variable de entrada al proceso (perturbación principal) y se compara con el valor deseado de la perturbación (set-point) y el error se trata con los modos de control, mandándose una señal de corrección al elemento final de control.

Es claro que los controladores prealimentados deben realizar cálculos muy sofisticados, estos cálculos deben reflejar los efectos exactos que los disturbios tendrán en las variables controladas.

Estos cálculos implican un entendimiento específico de los efectos exactos que las variables manipuladas tienen sobre las variables controladas.

Si se dispone de todas las relaciones matemáticas entonces los controladores prealimentados pueden computar automáticamente la variación necesaria en los flujos manipulados para compensar por variación en los disturbios.

Las principales ventajas son:

-Elimina retrasos por tiempos muertos.

Sus desventajas son:

-Muy caro (esto es directamente proporcional al análisis requerido por el proceso y no al número de instrumentos).

-Poco conocido.

-Si no se conoce el proceso puede ser muy inestable y en algunos casos inapropiado para usarse.

-Se debe tener el modelo matemático del proceso.

-No se tiene medición de la variable controlada.

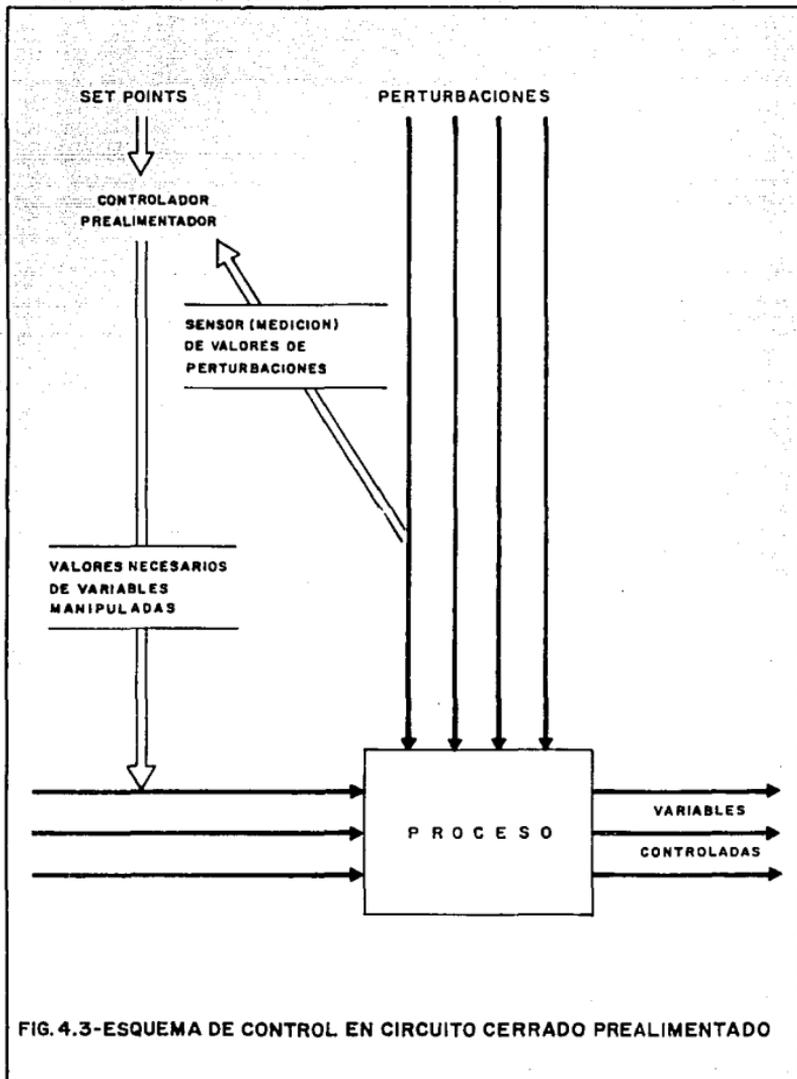


FIG. 4.3-ESQUEMA DE CONTROL EN CIRCUITO CERRADO PREALIMENTADO

4.4 Partes constitutivas de un circuito de control cerrado.

Por lo anteriormente expuesto se puede resumir que las partes constitutivas de un circuito de control cerrado son las siguientes:

- a) El proceso o secuencia de operaciones en que la variable -- va a ser controlada.
- b) El medio de medición o elemento primario de medición, el -- cual mide el valor de la variable controlada y la transmite eléctrica o neumáticamente al controlador automático.
- c) Una fuente de referencia o ajuste (set-point) que suministra e indica el valor deseado o prefijado de la variable.
- d) El controlador que funciona para obtener la mínima desvia-- ción o error entre el valor deseado de la variable y el valor de la variable controlada.
- e) El elemento final de control que ajusta el valor de la variable manipulada para obtener en la variable controlada, el valor deseado.

De las partes anteriores el proceso èsta compuesto, por equi -- pos y líneas por lo cual no es un instrumento y lo que interesa de èl son sus características dinámicas. Esto se aprecia en la figura 4.4.

Todas las partes siguientes (b,c,d) son instrumentos y pueden existir en una sola unidad o por separado.

La última parte (e), el elemento final de control es normal -- mente una válvula de control, aunque en algunos casos puede -- ser equipo (bombas, compresores, etc.).

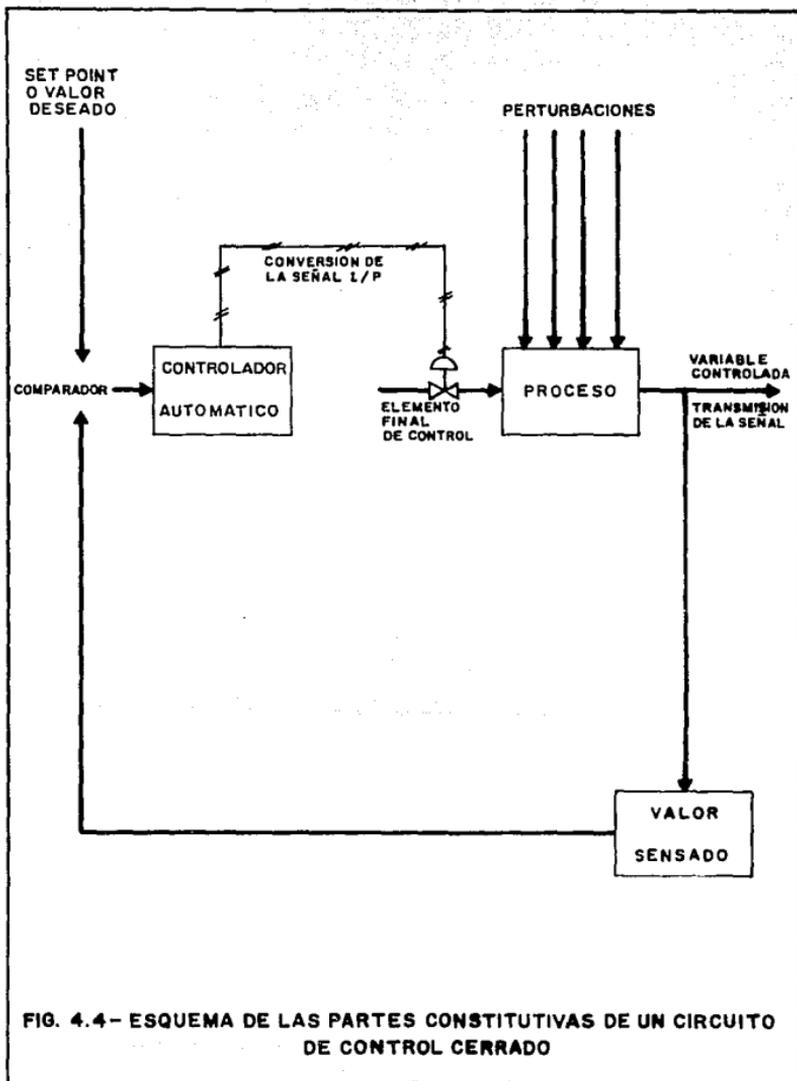


FIG. 4.4- ESQUEMA DE LAS PARTES CONSTITUTIVAS DE UN CIRCUITO DE CONTROL CERRADO

CAPITULO V
MODOS DE CONTROL

CAPITULO V MODOS DE CONTROL

5.1 El controlador automático.

El controlador automático determina los cambios necesarios de la variable manipulada para compensar los disturbios que afectan el proceso o por cambios en el set-point. La comprensión necesaria de la acción del controlador.

El controlador es un calculador de función especial que usa la señal de error del comparador como entrada, calculando los cambios necesarios de la variable manipulada.

Muy frecuentemente en las discusiones de hardware la caja del controlador y cada elemento dentro de la misma es conocido como el controlador.

Dentro de la caja existen muchos otros elementos del circuito de retroalimentación p.e. los elementos de entrada, el comparador, el receptor del sistema de retroalimentación y frecuentemente un registrador.

Los controladores están clasificados de acuerdo con el tipo de energía que reciben p.e. electrónicos, neumáticos, mecánicos, o hidráulicos.

Todos tienen suficientes valores de respuesta adecuados para los requerimientos de procesos convencionales, pero recientemente los controles básicos usados en la mayoría del control de procesos han sido electrónicos y neumáticos.

El diagrama de bloques de un circuito de control se presenta en la figura 5.1 donde:

E: Variable controlada.
P: Valor deseado de la variable.
e: Error o desviación.
S: Señal controlada.

5.2 Modos de control.

Como se mencionó anteriormente el controlador tiene los medios necesarios para manipular el error o desviación y esos medios o "modos de control" establecen la acción correctiva del controlador sobre el elemento final de control para que la variable controlada se mantenga en el valor deseado. Dicho en otras palabras el "modo de control" es el que determina la acción de un sistema de control para ciertas condiciones de operación.

A continuación se analizarán los modos de control más empleados en los procesos continuos. El análisis se hará en la forma como se usan estos modos de control.

Los modos de control existentes son:

a) Proporcional (P)

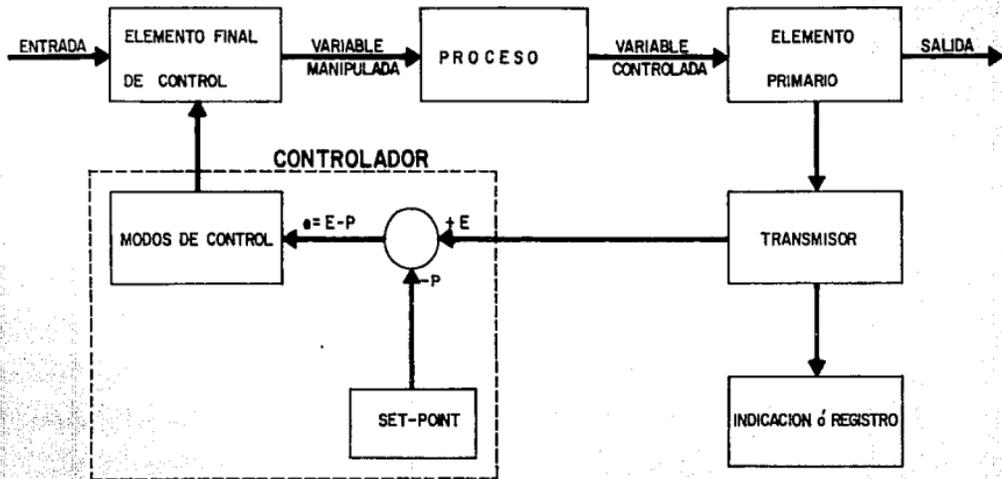


FIG. 5.1 - CIRCUITO DE CONTROL CERRADO RETROALIMENTADO

- b) De dos posiciones (si-no) (todo-nada)
- c) Integral (I) (Reajuste)
- d) Derivada (D) (Anticipación)

En el desarrollo de las ecuaciones de cada uno de los modos se emplea la nomenclatura que maneja la Sociedad de Instrumentistas de America, Región México y que es la más aceptada en este medio en nuestro país.

5.2.1 Control proporcional.

Este es uno de los tipos de control más comúnmente usados y produce una salida que es directamente proporcional al error.

$$S \propto e$$

La salida puede adquirir cualquier valor del mínimo o máximo y existe una relación lineal continua entre el valor de la medición actual de la variable controlada y la posición de la válvula.

Comúnmente el instrumento se ajusta de modo que tenga salida al 50% de la escala cuando el error sea cero.

La ecuación de control proporcional se puede expresar como la ecuación de una recta donde la pendiente (G), es el factor de proporcionalidad entre la salida (S) y el error (e), recibiendo el nombre de ganancia.

$$S = G(E - P) + C \quad \dots\dots\dots (5.1)$$

$e = (E - P) =$ desviación o error
 $S =$ Señal controlada en %
 $G =$ Ganancia
 $E =$ Variable controlada en %
 $P =$ Valor deseado de la variable o set-point en %
 $C =$ Ordenada al origen = 50% o sea la mitad de la carrera del elemento final de control.

También comúnmente se utiliza el término "Banda proporcional" que se define como el porcentaje que debe variar la variable controlada para que el elemento final de control se desplace de una posición externa a la otra y es función inversa de la ganancia.

$$G = \frac{1}{B.P.} \quad \dots (5.2) \dots \quad G (\%) = \frac{100 \%}{B.P. (\%)}$$

Siendo la ecuación completa para el modo proporcional:

$$S = \frac{1}{B.P.} (E - P) + C \quad \dots\dots (5.3)$$

De aquí se deduce que la posición del elemento final de control (S) es:

- a) Directamente proporcional a la desviación.
- b) Inversamente proporcional al ajuste de la banda proporcional.

Cuando el punto de ajuste es constante por ejemplo igual al 50 % la ecuación (5.3) representa una familia de rectas que tiene 0.5 de ordenada al origen cuya pendiente depende del valor de B:P: por ejemplo B.P.= 50%,100%,200%, (ver fig. 5.1)

Como se aprecia en la figura (5.2) cuando B.P.= 200% el elemento final de control (Válvula automática) no abre ni cierra totalmente.

De la ecuación (5.3) se deduce que el eje de las Y deberá coincidir con el punto de ajuste P, ya que $e=0$ cuando $E = P$.

Por lo anterior se ve que la recta que representa el control proporcional se desliza con el punto de ajuste P ya que $e = 0$ cuando $E = P$.

Por lo tanto se ve que la recta que representa el control proporcional se desliza con el punto de ajuste P por lo tanto B.P. es fija y la ecuación (5.3) representa una familia de paralelas que dependen del valor de P por ejemplo.

$P = 0.25, 0.50$ y 0.75 (Ver fig. 5.2)

Como se aprecia en la figura 5.3 al correrse la recta con los valores de P habrá porciones en las cuales la válvula no abre y no cierra totalmente.

Cuando $P = 25\%$ y $B.P. = 100\%$ el elemento final de control solo podrá recorrer del 25 al 50 % de su carrera y cuando $P=75\%$ el elemento final de control sólo podrá recorrer de 0 a 75 % de su carrera.

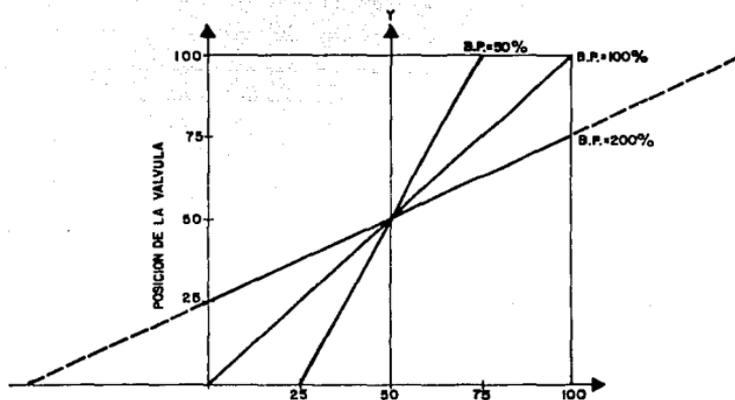
Como puede observarse solo cuando $B.P.=100\%$ y $P = 50\%$ el elemento final de control puede recorrer el 100 % de su carrera.

Con el objeto de entender la aplicación de la banda proporcional se analizarán algunos ejemplos con diferentes condiciones de proceso y se verá la reacción del control en tres condiciones distintas de la banda proporcional.

1.- Se tiene una desviación o error de 10 % (Ver fig. 5.4).

a) $x = 10\% = 0.1, B.P. = 100\%$ sustituyendo valores en la ecuación (5.3).

$$S = \frac{1}{1} (0.1) + 0.5 = 0.6 = 60\%$$



**FIG. 5.2- REPRESENTACION DE UN PUNTO DE AJUSTE CONSTANTE
(B.P. VARIABLE) B.P.= 50, 100, 200 % (MODO PROPORCIONAL)**

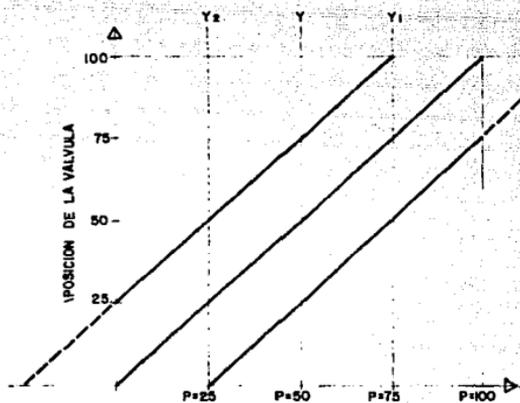


FIG.5.3-REPRESENTACION DE PUNTOS DE AJUSTE VARIABLES CON UNA B.P. FIJA (MODO PROPORCIONAL)

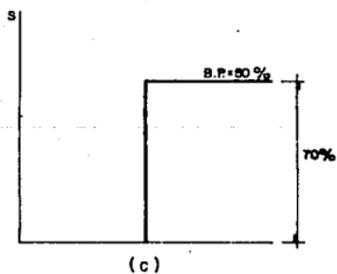
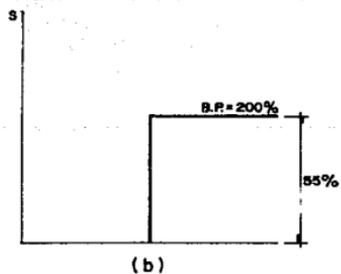
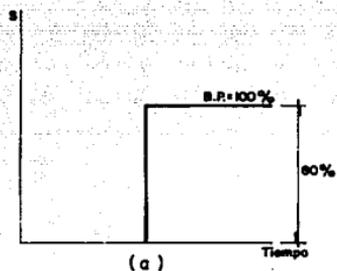
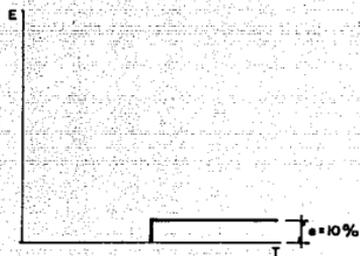


FIG. 5.4 - APLICACIONES DE LA BANDA PROPORCIONAL CON DIFERENTES CONDICIONES DE PROCESO

b) $e=10\% = 0.1$, B.P. = 200 % sustituyendo valores en la ec. (5.3).

$$S = \frac{1}{2} (0.1) + 0.5 = 0.05 + 0.5 = 55 \%$$

c) $e = 10\% = 0.1$, B.P. = 50 % = 0.5 sustituyendo valores en la ec. (5.3).

$$S = \frac{1}{0.5} (0.1) + 0.5 = 0.2 + 0.5 = 0.7 = 70 \%$$

Derivando la ecuación (5.3) con respecto al tiempo se tiene:

$$\frac{dS}{dT} = \frac{1}{B.P.} \frac{dE}{dT} \quad \dots (5.4)$$

De la ecuación (5.4) se deduce que la velocidad de movimiento del elemento final de control:

a) Es directamente proporcional a la velocidad de cambio de la variable.

b) Es inversamente proporcional al valor de la banda proporcional.

Cuando B.P. sea angosta, el elemento final de control se moverá con mayor velocidad (mayor sensibilidad) y cuando B.P. sea ancha el elemento final de control se moverá con menor velocidad y menor sensibilidad.

a) Se tiene una desviación o error con una velocidad de cambio de la variable de 10 %/min (Ver fig. 5.5).

b) $\frac{dE}{dT} = 10\%/min$ B.P. = 200% sustituyendo valores en la ec. (5.4)

$$dS = \frac{1}{2} (0.1) = 0.05 = 5 \%$$

c) $\frac{dE}{dT} = 10\%/min$ B.P. = 100% sustituyendo valores en la ec. (5.4)

$$dS = \frac{1}{1} (0.1) = 0.1 = 10 \%$$

d) $\frac{dE}{dT} = 10 \%/min$ B.P. = 50% sustituyendo valores en la ec. (5.4)

$$dS = \frac{1}{0.5} (0.1) = 0.2 = 20 \%$$

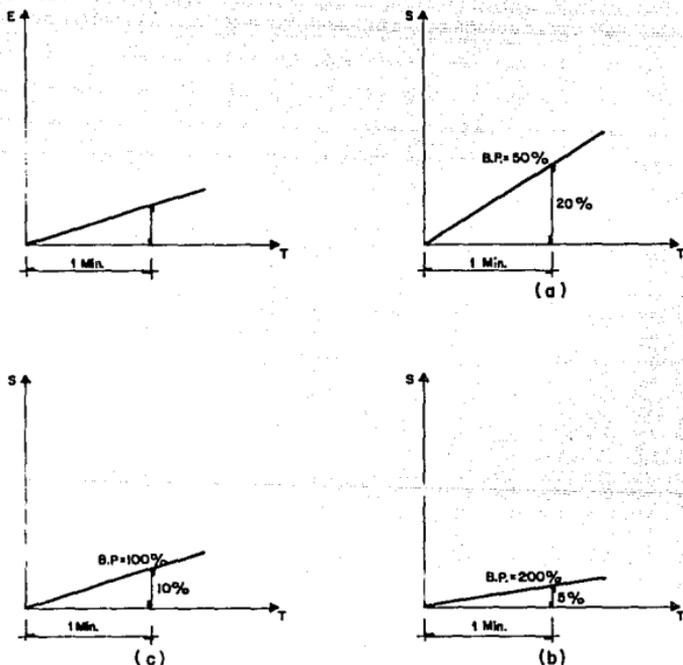


FIG. 5.5 - REPRESENTACION DE LOS CAMBIOS HABIDOS EN EL ELEMENTO FINAL DE CONTROL (VELOCIDAD DE APERTURA) CON LOS CAMBIOS DE MAGNITUD DE LA BANDA PROPORCIONAL

Una característica propia del control proporcional es la desviación que existe entre el punto de ajuste y la variable controlada, cuando el control llega a la estabilización.

Esto se debe a que el control corrige proporcionalmente cuando siente un cambio en el error de entrada, o lo que es lo mismo, una desviación de la variable controlada con respecto al punto de ajuste.

El control actúa cuando $E = P$, por la ecuación (5.3) $e = 0$ y $S = 0.5$, la válvula regresa al 50 % de su carrera. Provocando que exista una desviación otra vez, teóricamente el control oscilaría pero en la práctica se estabiliza, provocando una desviación permanente entre E y P .

La figura (5.6) muestra las desviaciones de un control proporcional con diferentes ajustes de banda proporcional.

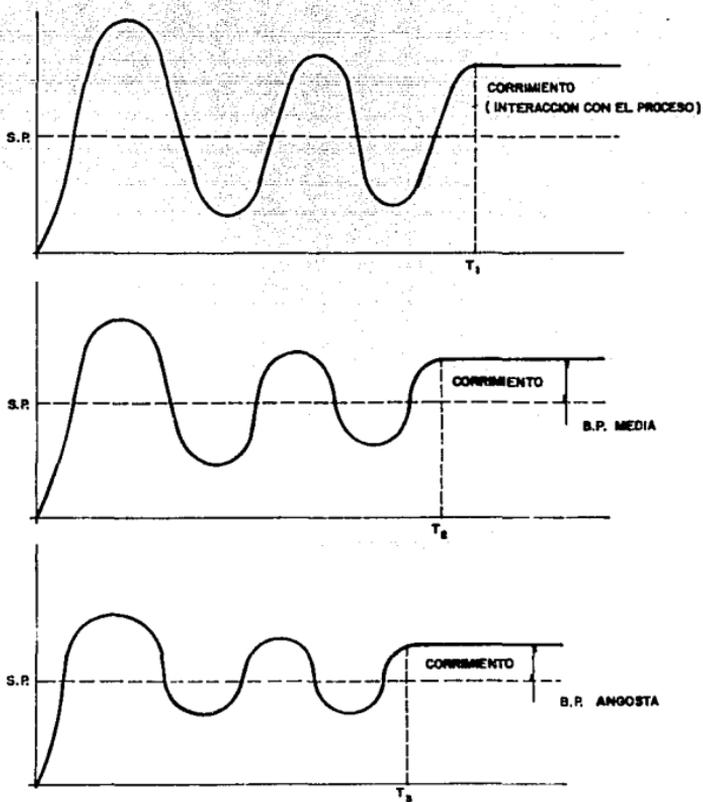


FIG. 5.6 - DESVIACIONES DE UN CONTROL PROPORCIONAL CON DIFERENTES AJUSTES DE BANDA PROPORCIONAL

5.2.2 Control de dos posiciones (Abierto-Cerrado) (Todo-Nada).

El control de dos posiciones también llamado abierto-cerrado es aquel en el que el elemento final de control solo puede estar en una de sus dos posiciones extremas dependiendo de que la variable controlada esté arriba o abajo del valor deseado del set-point.

La acción de control de dos posiciones o control "on-off" es sin duda el tipo de control más usado tanto en la industria como en el servicio doméstico.

El control de dos posiciones es un caso particular del control proporcional.

$$\text{Salida (S)} \begin{cases} \text{Máxima cuando } E > P \\ \text{Mínima cuando } E < P \end{cases}$$

El control de dos posiciones se logra de la siguiente forma, del control proporcional se tiene que:

$$S = G (E - P) + C \dots\dots (5.1)$$

$$\text{Si } C = 0$$

$$S = G (E - P) \dots\dots (5.5)$$

Para satisfacer que $E > P$ produzca la máxima salida se logra si la ganancia $G \rightarrow \infty$ es decir la B.P. = 0.

$$S = \lim_{G \rightarrow \infty} G (E - P) = \infty$$

Cuando:

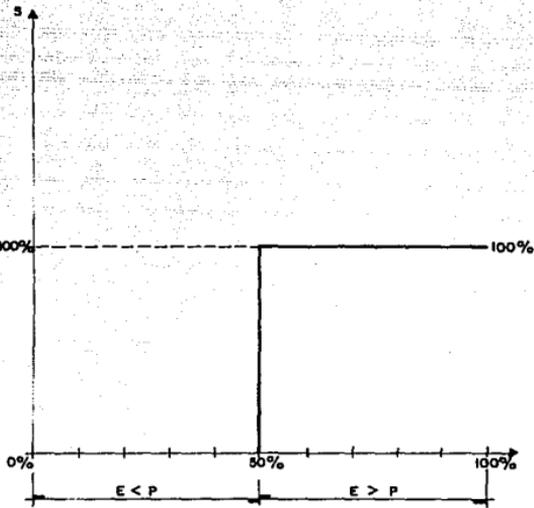
$$E < P$$

$$S = \lim_{G \rightarrow \infty} G (E - P) = -\infty$$

Un valor de S infinito se interpreta como la máxima salida y - un valor menos infinito se interpreta como la mínima salida. Por lo que se cumplen las dos posiciones.

La fig. 5.7 muestra este fenómeno cuando $P = 50\%$. Este tipo de control se aplica en condiciones de alarma, paro o arranque y es adecuado cuando:

- No hay atrasos en la transmisión, ni tiempos muertos.
- La velocidad de reacción es lenta.
- Cuando no hay cambios grandes ni frecuentes de carga.



**FIG.5.7 - REPRESENTACION DEL VALOR MAXIMO Y MINIMO DE S
(DE MAS INFINITO A MENOS INFINITO)**

La principal desventaja de este modo de control es que en procesos cíclicos, donde se requiere mucha precisión, el funcionamiento excesivo daña el controlador y el equipo.

Una solución a este desgaste excesivo del controlador sería el establecimiento de una "zona muerta" o "banda diferencial" - de alrededor de 0.5 % a 2% del rango total.

En este tipo de control se fijan dos puntos de ajuste o sea uno inferior P1 y uno superior P2, existiendo una banda diferencial o muerta como se muestra en la figura (5.8).

En este tipo de control se deben de cumplir las siguientes condiciones:

$$S \text{ a l i d a } \left\{ \begin{array}{l} \text{Máxima } E > P2 \\ \text{Valor original } P1 < E < P2 \\ \text{Mínima } E < P1 \end{array} \right.$$

La ecuación que rige este modo de control es una función no - continua.

$$S = \begin{array}{l} \text{a) } \lim_{G \rightarrow \infty} G (E - P2) = + \quad E > P2 \quad (\text{Zona Superior}) \\ \text{b) } \text{Valor Original} + \lim_{G \rightarrow \infty} G (E - P2) + \lim_{G \rightarrow \infty} G (E - P1) \\ \quad P1 < E < P2 \quad (\text{Zona muerta}) \\ \text{c) } \lim_{G \rightarrow \infty} G (E - P1) = - \quad E < P1 \quad (\text{Zona inferior}) \end{array}$$

Como se puede ver la ecuación anterior, este modo de control es un sistema de ganancia variable (dentro de la banda muerta $G = 0$ y fuera $G = \infty$) y memoria del ultimo valor antes de entrar en la banda muerta.

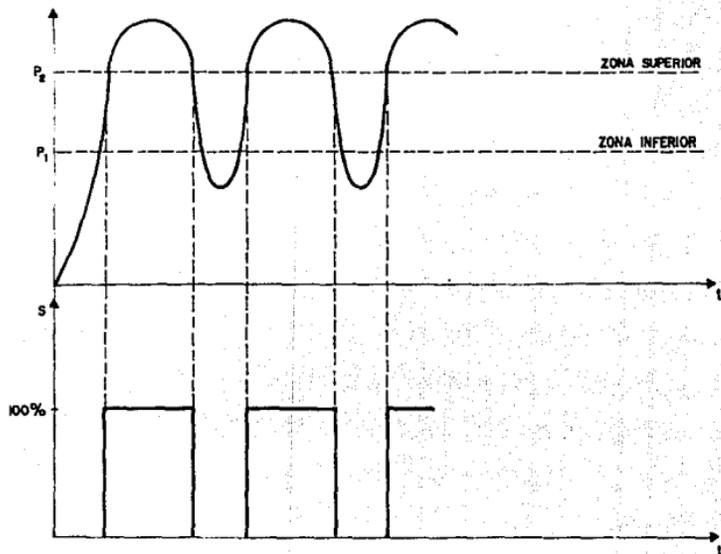


FIG. 5.8 - RESPUESTA DEL MODO DE CONTROL DE POSICIONES CON BANDA MUERTA

5.2.3 Control integral (Reajuste automático o Reset)

La acción de "reset" es conocida también como acción integral o reacción de reajuste, y es una integración de la señal de entrada de error "e". En efecto esto significa que en una acción de reset, el valor de la variable manipulada "S" se cambia con un rango proporcional al error "e" es decir, si la desviación es doble sobre un valor previo, el elemento final de control se mueve al doble. La ecuación del modo integral es:

$$S = Gr \int_0^t (E - P) dt + C \quad \dots\dots\dots (5.6)$$

donde r = reajuste automático en repeticiones/minuto, derivando la ecuación (5.1) se tiene:

$$\frac{ds}{dt} = Gr e \quad \dots\dots (5.7)$$

$$r = \frac{1}{t_i} \quad \text{ti: constante de acción integral.}$$

De la ec. (5.7) se ve que la acción del elemento final de control es:

- a) Directamente proporcional a r.
- b) Directamente proporcional a G.
- c) Directamente proporcional al error.

5.2.4 Control proporcional con integral.

Uno de los modos de control que ayuda a evitar, la desviación característica del control proporcional es la acción integral o reajuste automático el cual se utiliza en combinación con el control proporcional.

El efecto que produce el reajuste automático es el de repetir la acción efectuada por la acción proporcional, hasta eliminar la desviación entre la variable y el punto de ajuste, no importando la posición del elemento final de control.

Las unidades de control integral o reajuste automático que más normalmente se usa se llama "repeticiones por minuto" que significa el número de veces que repite la acción del control proporcional. Por ejemplo suponiendo que la válvula de control se mueve por la acción proporcional 1/16 de pulgada, para una desviación dada y supongamos que la acción de reajuste moviera la válvula 1/8 de pulgada en un minuto después de la misma desviación.

El reajuste automático está por lo tanto moviendo la válvula dos veces más que la acción proporcional. Entonces el reajuste automático se mide como dos repeticiones por minuto. En otras palabras para una misma desviación la acción de reajuste automático está repitiendo dos veces por minuto lo que la acción proporcional hizo sola.

La ecuación que rige el control proporcional con acción integral o reajuste automático es:

$$S = G_e + G_r \int e dt + C$$

Sustituyendo valores se tiene:

$$S = \frac{1}{B.P.} (E - P) + \frac{r}{B.P.} \int (E - P) dt + C \dots (5.8)$$

r = reajuste automático en rep/min del efecto producido por la acción proporcional en un instante dado debido a una acción instantánea.

t = Tiempo.

C = Constante de integración.

Derivando la ecuación (5.8) con respecto al tiempo se tiene:

$$ds = \frac{1}{B.P.} dE + \frac{r}{B.P.} (E - P) \dots \dots \dots (5.9)$$

Analizando la ecuación (5.9) con respecto al tiempo se observa que la velocidad de movimiento de la válvula debido al reajuste automático es:

- a) Es directamente proporcional a r (num. rep/min).
- b) Es directamente proporcional al error o desviación ($e = E - P$)
- c) es inversamente proporcional al valor de la banda proporcional.

A continuación se dará una interpretación de r . Supongamos que se tiene un control con B.P. = 100% y un error de 10 % cuando $r = 1$ rep/min (ver fig. 5.9).

El control proporcional corrige instantáneamente el 10 %, el reajuste automático corrige 10 %/min o sea la corrección total en un minuto será de 20 %.

Cuando se ajusta el reajuste a 2 rep/min con las mismas condiciones anteriores, se tiene (fig. 5.10)

El control proporcional corrige instantáneamente el 10 % y el reajuste automático corrige 20 %/min, con lo que la corrección total después de 1 minuto será 30 %.

Del segundo miembro de la ecuación (5.9) se deduce que cuando $e = 0$ hay desviación; la respuesta de la señal controlada debida al reajuste automático después de un minuto, repite la acción efectuada por la acción proporcional en un instante, debida a una desviación e . Si la desviación se sostiene o sea que E no regresa al valor de P , la señal controlada se irá hasta el máximo o el mínimo según si la desviación es positiva ($E - P$) o negativa ($E - P$) y también depende de la acción del control que sea inversa o directa.

Cuando:

$$\begin{aligned} E &= P \\ e &= 0 \end{aligned}$$

No hay desviación de la ec. (5.8) quedará como:

$$S = C$$

Lo que significa que cuando la desviación es cero el reajuste automático no actúa.

Como ejemplo supongamos que tenemos un controlador con las siguientes características.

B.P. = 100 %

$r = 1$ rep/min

$e = 10$ % (ver fig. 5.11)

En un instante cualquiera al existir una desviación sostenida de 10 % existe un error $e = E - P$ y la acción proporcional actúa:

$$S = \frac{1}{B.P.} (E - P) + 0.5 = \frac{1}{1} (0.1) + 0.5 = 0.5 = 50 \%$$

$$S = \text{corrección} + 50 \% = 10 \% + 50 \% = 60 \%$$

La acción del control proporcional corrige la abertura de la válvula en un 10 % punto "A". Esta corrección no es suficiente ya que la variable E no regresa al punto de ajuste "P" (eje Y) entonces se suma a la acción anterior la acción del reajuste automático:

$$\frac{dS}{dt} = \frac{r}{B.P.} (E - P) = \frac{1}{1} (0.1) = 10 \%$$

La acción de reajuste automático, desliza la recta hacia la izquierda de la posición 1 a la posición 2, con una velocidad de reajuste:

$$r = 1 \text{ rep/min} = 10 \%/min$$

Al cabo de un minuto la desviación se anula ($E - P$) por lo que $e = 0$, punto "R" el reajuste automático deja de actuar y la válvula tuvo una corrección total de 20 % (el doble del efecto causado, por la acción proporcional en un instante).

El reajuste automático ha repetido la acción correctiva debido al control proporcional en un minuto.

$$E = P, e = 0; S = C = 70 \%$$

En este caso al cabo de un minuto, $S = 0.70 = 70 \%$ pero "S" puede tener cualquier valor entre 0 y 100 % con tal que $C = P$ y $e = 0$. El eje de las "Y" coincide con el punto de ajuste "P" lo que cambia es el valor de la ordenada al origen.

Resumiendo se puede decir que el control proporcional con reajuste automático, se puede aplicar en procesos donde hay cambios grandes o frecuentes de carga (variable manipulada) por ejemplo:

- En el cambio de poder calorífico de un combustible.
- En cambios frecuentes o sostenidos de presión en la línea donde se encuentra la válvula automática. Para controlar nivel, flujo, presión, o temperatura.
- Cambio de temperatura en el vapor de calentamiento.

En los ejemplos anteriores, si el control fuera solamente proporcional, la variable controlada sufrirá una desviación sostenida. El reajuste automático elimina dicha desviación, haciendo que la variable controlada se regrese al punto de ajuste.

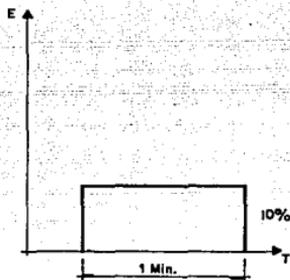


FIG. 5.9

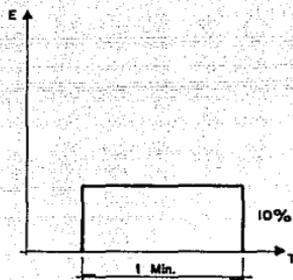
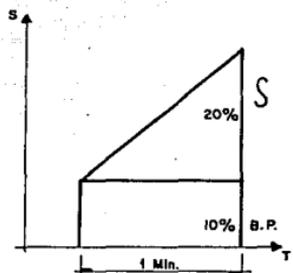
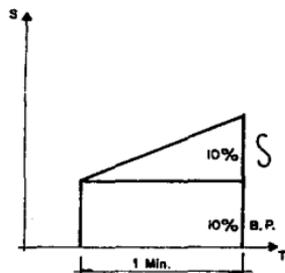


FIG. 5.10



INTERPRETACION DE R (REAJUSTE AUTOMATICO)

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

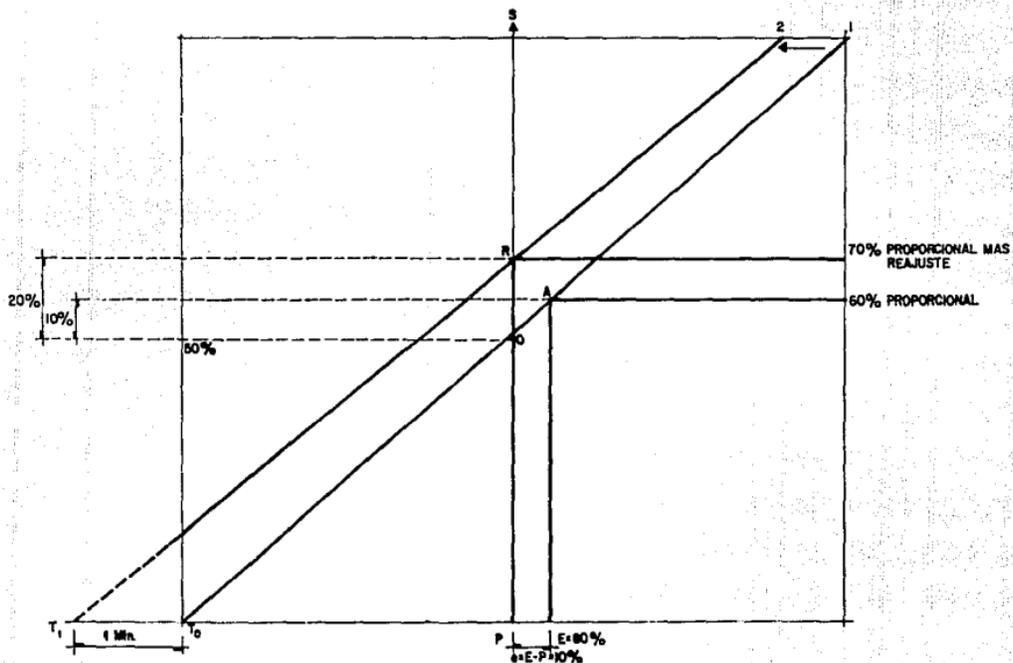


FIG. 5.11 ACCION DEL REAJUSTE AUTOMATICO

5.2.5 Control derivativo (Anticipación).

Algunos procesos presentan retrasos considerables en la detección y en la transmisión de la variable controlada, llamados retrasos en el tiempo de respuesta.

Para compensar estos tiempos es necesario que el controlador - actúe inmediatamente que sienta un cambio o error y que se anticipe al efecto que pudiera producir un cambio de carga en un proceso con un tiempo de respuesta lenta. El modo de control - que produce el efecto de anticipación es de derivada.

Las unidades en que se mide la acción de derivada es en unidades de tiempo. ya que su función es la de producir el tiempo de estabilización de la variable.

Por ejemplo cuando se dice que la acción de derivada tiene un ajuste de dos minutos, significa que la acción de derivada se - anticipará dos minutos en su respuesta a la acción proporcional para controlar el proceso.

Supongamos que tenemos un control con los siguientes ajustes: B.P. = 100% y R = 1 min si existe una desviación de:

$$\frac{dE}{dt} = \frac{de}{dt} = 10\% \text{ (ver fig. 5.12)}$$

El control automático corregirá 10 % en un minuto por la -- acción proporcional en cambio por efecto de la acción derivativa corregirá instantaneamente 10 % o sea se adelantó un minuto a la acción correctiva de la banda proporcional. Al cabo de un minuto la corrección total de la válvula fue de 20 % , - 10 % de la banda y 10 % de la acción derivativa.

En la figura (5.13) muestra la velocidad de cambio de una variable y la figura (5.14) muestra la respuesta del control de acción derivativa.

En la figura (5.13) se ve la representación gráfica del comportamiento de la variable controlada (E) de 0 a 1/3 de minuto existe una velocidad de cambio de la variable, tipo rampa de 1/3 a 2/3 existe una razón de cambio del tipo parabólica - y de 2/3 a 1 min. La razón de cambio es constante es constante. La acción derivativa actúa inmediatamente que siente una acción de cambio de la variable, dando por salida un escalón de amplitud proporcional al cambio del error, a la ganancia y al tiempo de anticipación hasta un 1/3 min. y de 1/3 a 2/3 -- min. la salida es una rampa como lo muestra la fig. (5.14) y de 2/3 a 1 min. la salida es cero.

Si existiera una desviación sostenida de la variable con respecto al punto de ajuste esto lo corrige el modo integral.

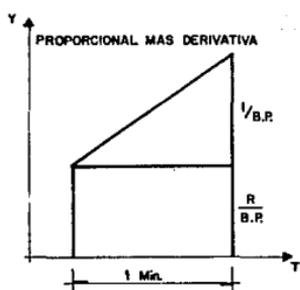
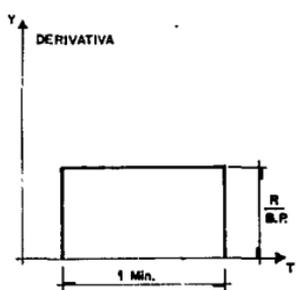
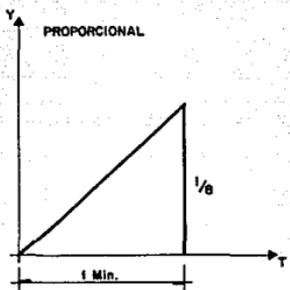
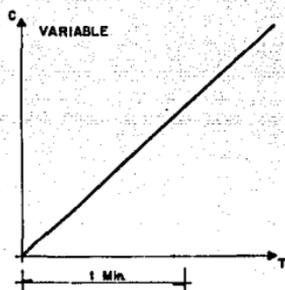


FIG. 5.12 - INTERPRETACION DE LA ACCION DERIVATIVA

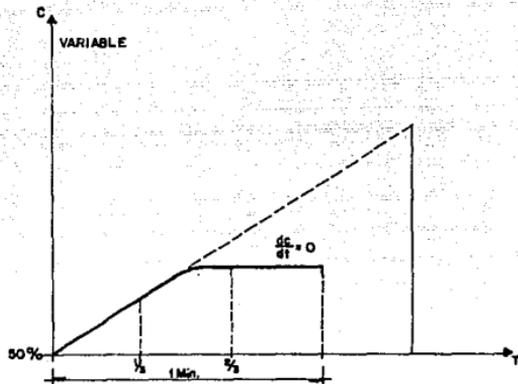


FIG. 5.13 - VELOCIDAD DE CAMBIO DE UNA VARIABLE

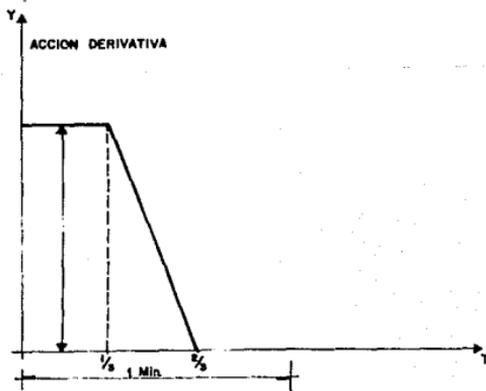


FIG. 5.14 - RESPUESTA DEL CONTROL A UNA ACCION DERIVATIVA

La ecuación representativa del control derivativo es:

$$S = G T_d \frac{de}{dt} + C \quad \dots (5.10)$$

donde T_d = adelanto en minutos.

$$S = \frac{T_d}{B.P.} \frac{de}{dt} + C \quad \dots (5.10A) \text{ tenemos:}$$

derivando la ec. (5.10A) tenemos:

$$dS = \frac{T_d}{B.P.} \frac{d^2 e}{dT^2}$$

Se observa que la velocidad de movimiento a la acción derivativa es:

- Directamente proporcional a T (anticipación en minutos).
- Directamente proporcional a la aceleración de cambio de la variable.
- Inversamente proporcional a B.P.

5.2.6 Control proporcional con acción integral (Reajuste automático) y acción derivativa.

Algunos procesos presentan atrasos en la detección y en la transmisión de la variable controlada. Estos atrasos reciben el nombre genérico de tiempos muertos. Para compensar estos tiempos muertos es necesario que el controlador actúe inmediatamente que sienta un cambio en el error y que se anticipe al efecto que pudiera producir un cambio de carga en un proceso con tiempo muerto. Este tipo de control es el de acción derivativa.

El control proporcional más integral más derivativo o control de tres modos es lo más sofisticado en controles retroalimentados.

En el control de tres modos, tenemos el más complejo algoritmo de control que es disponible en forma estándar. Proporciona rápida respuesta y ningún corrimiento y posee en el caso neumático de tres perillas para ajustar. Requiere de un extenso y continuo ajuste para obtener la sintonía, ofrece un buen control cuando se sintoniza adecuadamente.

Las unidades en que se mide la acción derivativa es en unidades de tiempo ya que su función es la de reducir el tiempo de estabilización de la variable cuando se dice que el control de acción derivativa tiene un ajuste de dos minutos significa que con la derivada se sostuvo una situación en la variable controlada, dos minutos antes que si únicamente se hubiera empleado una acción proporcional para controlar el proceso. Es decir las unidades de acción derivativa están en función de la acción proporcional. La ecuación que representa los tres modos de control es:

$$S = G e + G r \int_0^t e dt + G T_d \frac{de}{dt} + C \quad \text{.. (5.11)}$$

Donde

T_d = Adelanto en minutos del valor de la corrección que efectuará la acción proporcional al cabo de un tiempo determinado debido a la velocidad de cambio de la variable $\frac{de}{dt}$

Reescribiendo la ecuación (5.11) en función de las definiciones de G y e tenemos:

$$S = \frac{1}{E.P.} (E - P) + \frac{1}{R.P.} r \int_0^t (E - P) dt + \frac{T_d}{B.P.} \frac{de}{dt} + C \quad \text{(5.11A)}$$

Analizando la tercera parte de la ecuación (5.11A) se observa que la posición del elemento final de control (válvula automática) debido a la acción derivativa es:

- a) Inversamente proporcional al ajuste de B.P.
- b) Directamente proporcional a Td (minutos de adelanto).
- c) Directamente proporcional a la velocidad de cambio de la variable (de/dt)

$$S = \frac{Td}{B.P.} \frac{de}{dt} + C \dots\dots (S.12)$$

Tabla 5.1 APLICACION DE LOS MODOS DE CONTROL

VARIABLE	PROCESO	SISTEMA DE CONTROL
FLUJO	- Muy rápido	- Proporcional-Reajuste - automático.
	- La mayor parte de los retrasos están en los sistemas.	- Baja ganancia, reajuste rápido.
PRESION (líquido)	- No lineal (Cuadrático)	- La derivada no ayuda, daña.
	- Ruidoso.	- Proporcional-Reajuste -- automático.
PRESION (gas)	- Rápido.	- Ganancia alrededor de 1
	- La mayor parte de los retrasos están en el proceso lineal.	- Reajuste rápido.
PRESION (vapor)	- Ruidoso.	- La derivada no ayuda.
	- Capacidad simple.	- Controladores auto-operados o proporcionales con ganancia alta.
PRESION (gas)	- Lineal sin ruido.	- Reajuste automático.
	- Proceso sencillo.	- La derivada no es necesaria.
PRESION (vapor)	- La dinámica es variable.	- Controles de dos modos.
	- Lento comparado con otros procesos de presión.	- Los ajustes son variables.
NIVEL	- Lineal sin ruido.	- Control de precisión, ganancia alta o proporcional.
	- Capacidad simple, integrador.	- Control promedial.
NIVEL	- Lineal.	- Proporcional de ganancia baja + reajuste o con controles especializados.
	- El ruido es poco frecuente baja	- Controladores de tres modos.
NIVEL	- Sistema de capacidad múltiple.	- Los ajustes varían pero generalmente la ganancia está arriba de 1.
	- No lineal.	- La derivada tiene un valor limitado, si el tiempo de retraso es largo.
NIVEL	- Sin ruido.	- La dinámica de medición es importante.

- La dinámica es variable.
- Usualmente lineal.
- A veces hay ruido debido a mala agitación.
- Proporcional más reajuste automático.
- Ganancia baja, diversas velocidades de reajuste.
- La derivada a veces es útil
- Los analizadores de línea son rápidos, frecuentemente ruidosos.
- El FH es no lineal.
- Los sistemas de muestreo son complicados.

CAPITULO VI
SISTEMAS DE CONTROL AUTOMATICO

CAPITULO VI SISTEMAS DE CONTROL AUTOMATICO COMPUESTO

Dentro de los procesos industriales, se dá como una necesidad el implementar sistemas de control cada vez más avanzados que el circuito de control elemental, es aquí donde surge la necesidad de emplear los sistemas de control compuesto, también conocidos como sistemas unitarios de control, que son circuitos de control más complejos que forman la herramienta básica para toda la instrumentación con el objetivo de incrementar y mejorar la estabilidad de los procesos.

6.1 Sistema de Control en Cascada.

El sistema de control en cascada consta de dos sistemas de control independientes uno de otro.

Una variable controlada primaria se mantiene en su valor deseado a costa de una variable controlada secundaria.

La señal controlada del sistema primario (S1) mueve automáticamente el valor deseado de la variable controlada secundaria.

La señal controlada del sistema primario (S1) mueve automáticamente el valor deseado de la variable (P2) de un sistema de control secundario (S1 = P2) y la señal controlada del sistema secundario (S2) va a corregir la posición del elemento final de control (Válvula de control).

Ejemplo:

Sistema en cascada para controlar la temperatura en un calentador.

- a) Sistema de control primario (Temperatura). Elemento primario de medición (Termopar) envía su señal al elemento secundario de medición (E1) en este caso el convertidor de f.e.m. a corriente que a su vez envía señal al elemento de sustracción o detector de error, quien recibe al mismo tiempo la señal del valor deseado de la variable o valor de referencia (P1): encontrando la diferencia entre estas señales o sea el error (e) que es enviado al controlador para ser corregido. La señal controlada de salida (S1) será utilizada como valor deseado de la variable para el sistema secundario y no se transmitirá hacia la válvula de control como en un sistema convencional (Ver fig. 6.1)

Formas de control de los sistemas primario y Secundario.

- A. Sistema secundario: Este sistema tiene las formas proporcional y reajuste automático

$$S2 = \frac{1}{B.P.2} (E2 - P2) + \frac{r2}{B.P.2} \int_{t0}^{t1} (E2 - P2) dt + C2 \dots (6.1)$$

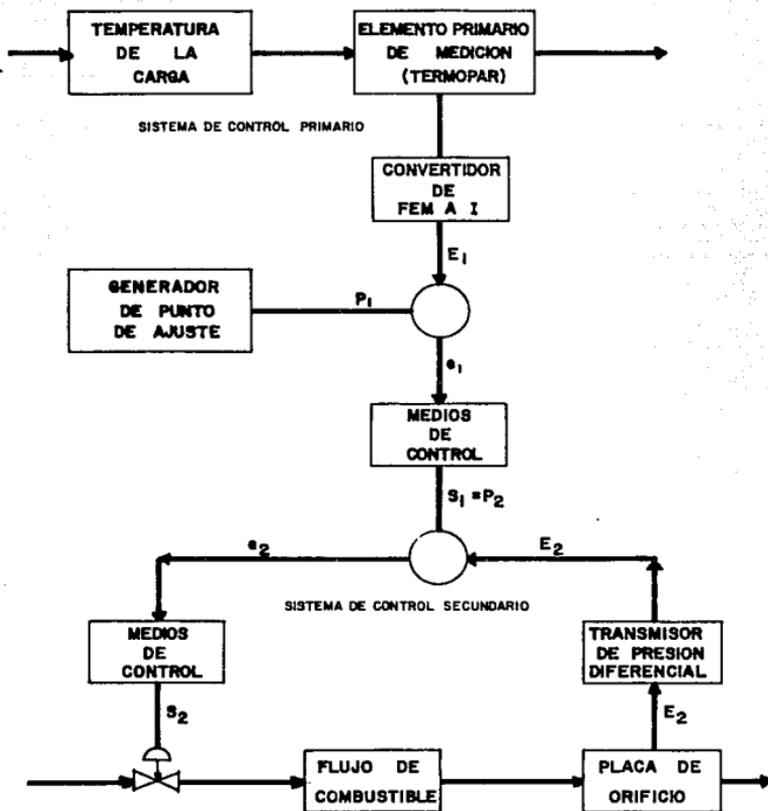


FIG. 6.1 - DIAGRAMA DE BLOQUES DE UN SISTEMA DE CONTROL EN CASCADA

Cuando se tiene un combustible con propiedades físicas constantes, la variable manipulada secundaria, es la presión diferencial (caída de presión) a través de la válvula automática. Esta presión diferencial deberá ser constante a través de la válvula.

La caída de presión puede estar afectada por:

- Quemadores sucios o tapados.
- Cambios en las descargas de las bombas de combustible.
- Por la contrapresión en la línea de retorno (sucia o tapada) cuando se usa combustible líquido.

El reajuste automático del control secundario absorbe cambios de la variable manipulada (cambios de carga) provocados por las causas mencionadas anteriormente y la variable controlada (flujo de combustible) se mantendrá el valor fijado por el punto de ajuste.

B. Sistema Primario. Este sistema cuando se utiliza para controlar temperatura, generalmente tiene las siguientes formas de control:

Proporcional, Reajuste automático y acción derivativa.

$$S_1 = \frac{1}{B.P.2} (E_1 - P_1) + \int_{t_0}^{t_1} \frac{r_1}{B.P.1} (E_1 - P_1) dt + \frac{T_d}{B.P.1} \frac{de_1}{dt} + C. \quad (6.2)$$

La variable manipulada primaria es la composición del combustible la cual, deberá tener propiedades físicas constantes a temperaturas constantes.

Si las propiedades varían por cambio de composición (densidad, viscosidad, poder calorífico, compresibilidad) la cantidad de calor transmitida al reactor variará.

El reajuste automático absorbe los cambios de la variable manipulada (cambios de carga) provocados por las causas anteriores.

El tiempo muerto generalmente grande en sistemas de control de temperatura, la acción derivativa es la indicada para compensar el tiempo muerto.

Las acciones de control de los sistemas primario y secundario, permitirán que la variable controlada primaria esté más cerca del proceso y mejor calidad de los productos.

Ventajas:

- Se absorben los cambios de carga provocados por los cambios de variables manipuladas.
- Se reduce el atraso de tiempo efectivo.

- 3) Se mantiene la relación deseada entre las variables primaria y secundaria.
- 4) Limita con exactitud la variable controlada secundaria.

6.2 Sistema de control de relación.

Estos circuitos de control se aplican cuando es necesario controlar una relación de valores de variables. Los principales tipos de control de relación son los siguientes:

6.2.1 De relación con estación de relación.

Este es un sistema de control compuesto en donde se va a controlar la variable secundaria en relación directa a la variable primaria. La variable primaria es la variable independiente y la variable secundaria es la variable dependiente en la fig. 6.2 se muestra el diagrama de bloques de este sistema.

En donde el transmisor de la variable independiente manda la señal a la estación de relación, donde se multiplica por una constante mayor o menor que la unidad, la cual se ajusta en la estación de relación (en forma manual o automática) esta a su vez manda señal como punto de ajuste al circuito de control de la variable dependiente.

El ajuste de la estación de relación es una función de los rangos de los transmisores y de la relación deseada de las variables independiente y dependiente.

La expresión que nos da el ajuste de la estación de relación de relación es:

$$\text{Ajuste} = \text{Lectura del indicador de relación} = \frac{VB}{VA} \frac{RA}{RB}$$

VA = Valor de la variable Independiente (no controlada)
VB = Valor deseado de la variable Dependiente (Controlada)
RA = Rango máximo del transmisor de la variable Independiente.
RB = Rango máximo del transmisor de la variable Dependiente.

Hay algunas consideraciones que hay que tomar en cuenta en el uso de este sistema de control.

- A) Ambas señales deben estar en las mismas unidades y deben tener la misma característica ya sea raíz cuadrada o lineal.
- B) Tomar en cuenta la rangeabilidad del transmisor.
- C) Que el rango de señalización sea el mismo por ejemplo:
3 - 15 psig; 4 - 20 Ma C.D ó 10 - 50 Ma C.D.

Ejemplo:

En cierta industria se tiene una línea de mezclado de colorante a base y se desea controlar automáticamente dicha relación en valor de 0.2 o sea el 20 %.

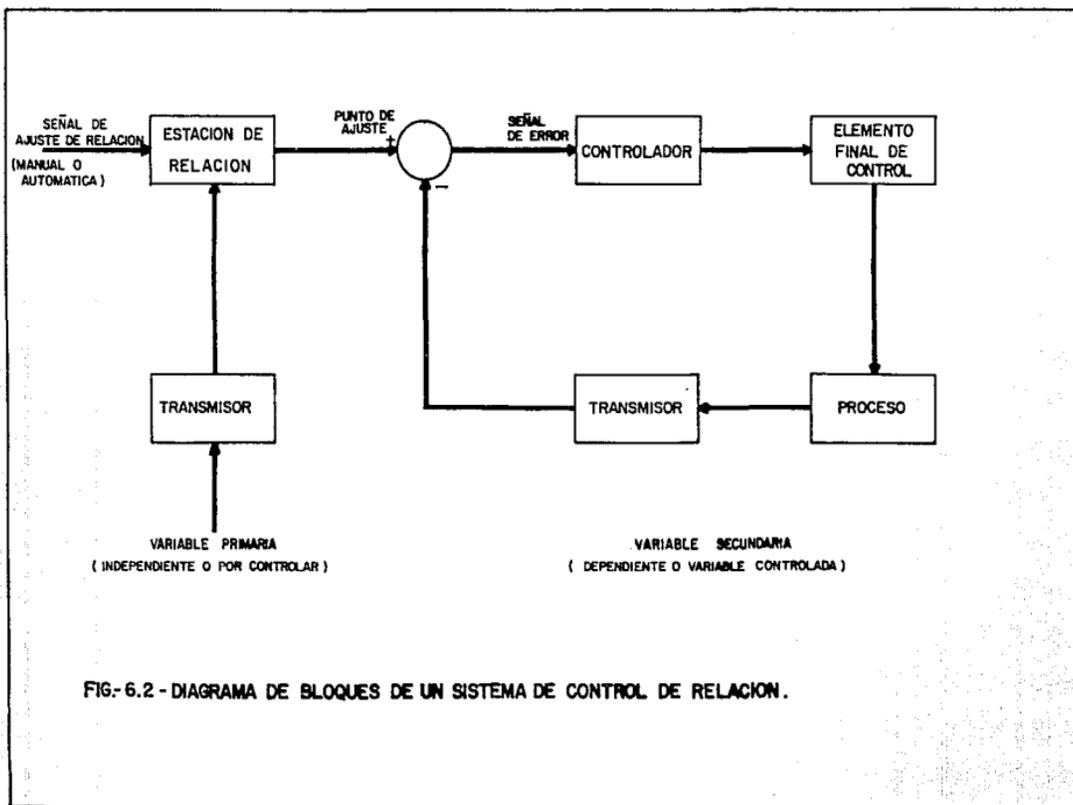


FIG.-6.2 - DIAGRAMA DE BLOQUES DE UN SISTEMA DE CONTROL DE RELACION.

El rango del transmisor controlado (para colorante) es de 0-15
lts./min.

El rango del transmisor no controlado (para base) es de 0-50
lts/min.

$$\begin{aligned} \text{Ajuste} &= 0.2 \frac{50 \text{ lts/min}}{15 \text{ lts/min}} \\ &= 0.66 \end{aligned}$$

En una estación de relación con rango normal de 0.3 a 3 se --
ajusta al valor de 0.66.

6.2.2 De relación de parte a total.

Este sistema es una variación del anterior. Es usado por dos razones principales:

- 1a. Se usa donde es imposible medir el flujo no controlado antes de la adición de la variable controlada (fig. 6.3) este problema puede ocurrir por varias razones.
 - a) La línea de flujo puede ser o estar inaccesible.
 - b) La alta viscosidad puede hacer imposible la medición - conveniente del flujo (después de la dilución, debe ser menor y puede usarse un medidor de flujo.
 - c) Si el fluido es corrosivo, una vez que ha sido agregado el flujo de la línea principal, la solución resultante podría ser neutral y medirse más fácilmente.
- 2a. La segunda razón para la relación de parte a total existe donde se desea agregar el líquido de repuesto en cierta proporción al flujo total. Esto es cierto en muchos procesos químicos en donde se desea registrar y medir el flujo total y también saber que este flujo total contiene un cierto porcentaje del componente deseado. Es práctica común tener un registrador de dos plumas para mostrar tanto la variable dependiente como la variable total. (fig. 6.4).

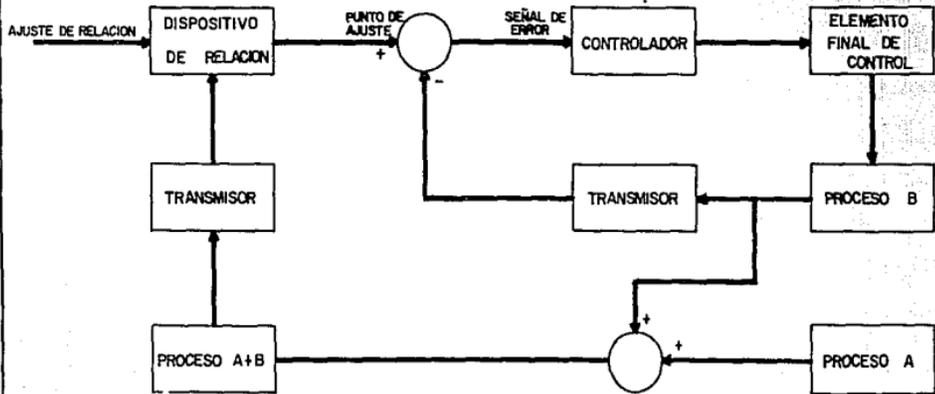


FIG. 6.3 - DIAGRAMA A BLOQUES DE UN SISTEMA DE CONTROL DE RELACION DE PARTE A TOTAL.

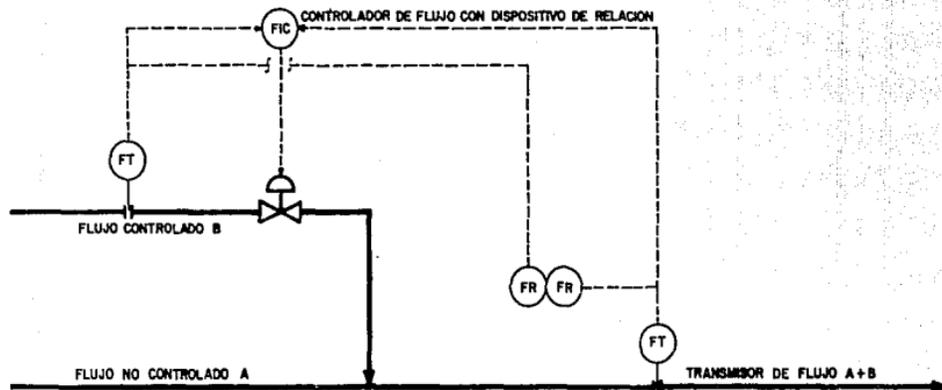


FIG. 6.4 - SISTEMA DE CONTROL DE RELACION DE PARTE A TOTAL

6.2.3 De relación de cantidad a total.

En este sistema la cantidad de la variable secundaria es controlada en directa a la cantidad de la variable directa no controlada. La cantidad de la variable dependiente es controlada en forma más precisa por este sistema que por un sistema de dosificación que use solamente valores instantáneos.

Totalizando las variables y comparándolas este sistema hace el ajuste apropiado para asegurar que el porcentaje de los componentes en la mezcla total sea preciso.

La señal que envían los totalizadores se compara y procesa por medio del dispositivo de relación (en la variable independiente o no controlada) vease fig. 6.5 y 6.6).

Cabe agregar que este sistema encuentra en gran uso en tuberías continuas de mezclado en donde una operación larga requiere control preciso de flujo de los ingredientes.

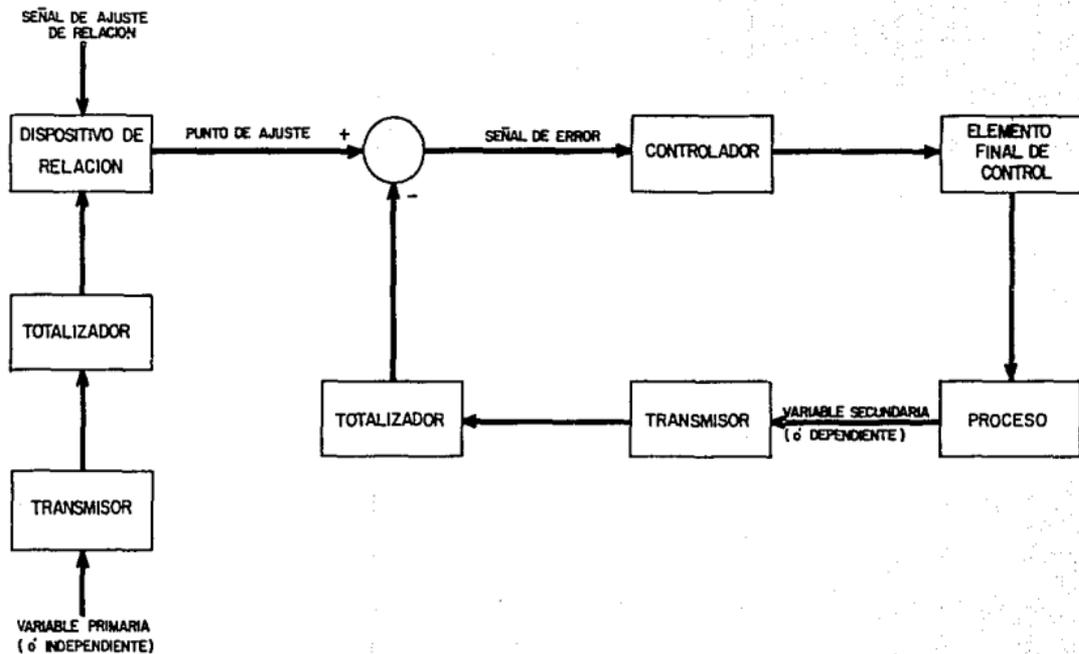


FIG. 6.5 - DIAGRAMA DE BLOQUES DE UN SISTEMA DE CONTROL DE RELACION DE CANTIDAD A TOTAL

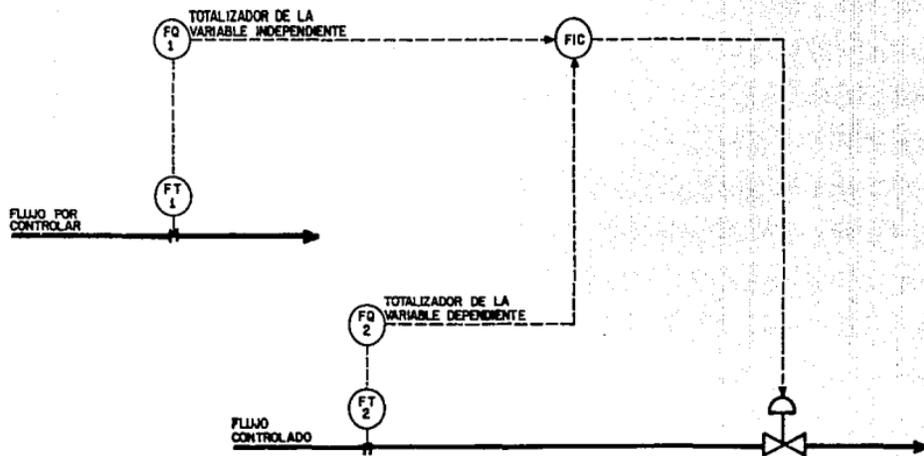


FIG. 6.6 - SISTEMA DE CONTROL DE RELACION DE CANTIDAD A TOTAL

6.2.4 De relación de variables diferentes.

Este tipo de control es muy similar al de estación de relación, pero se podría decir que es único porque mantiene una relación arbitraria entre dos o más variables tales como Temperatura-Presión o Presión-Flujo.

El diagrama de bloques de la fig. 6.7 muestra el control de relación de presión y flujo.

Tomemos el ejemplo de un compresor axial de aire, hay típicamente una zona de operación, donde el valor del flujo es demasiado bajo o la relación de compresión es demasiado alta y el compresor no opera en forma estable. Esto se conoce como el estado de "encrespamiento" y la instrumentación debe ser provista con algún dispositivo para mantener el compresor fuera de esta zona aliviando algo de su descarga, por lo tanto aumentando la cantidad de flujo de aire a través del compresor para evitar el "encrespamiento".

En la figura 6.5 se muestra el compresor con succión atmosférica. La cantidad de flujo se mide en la succión y la presión de descarga es medida como función directa de la relación de compresión ya que la presión de entrada es constante. La señal de la presión de descarga está ajustada en tal forma que proporciona un valor fijo tal como se desea para la relación específica. Siempre que las condiciones de operación determinen un punto a la derecha de la línea mostrada sobre la curva de la fig. 6.8, la válvula de alivio se mantendrá cerrada. Sin embargo si el punto de operación se aproxima y trata de cruzar hacia el lado izquierdo de la línea el controlador abre la válvula lo suficiente para mantener el sistema en la línea y por lo tanto evita el "encrespamiento". Idealmente siempre se puede apelar a condiciones para un flujo de alivio y el sistema permanecerá sobre la línea aun durante la operación "normal".

Otra aplicación del control de relación es la caracterización de una temperatura medida haciéndola seguir una determinada curva de presión de vapor. En contraste con la función en línea recta de la aplicación del compresor, esta relación no es lineal.

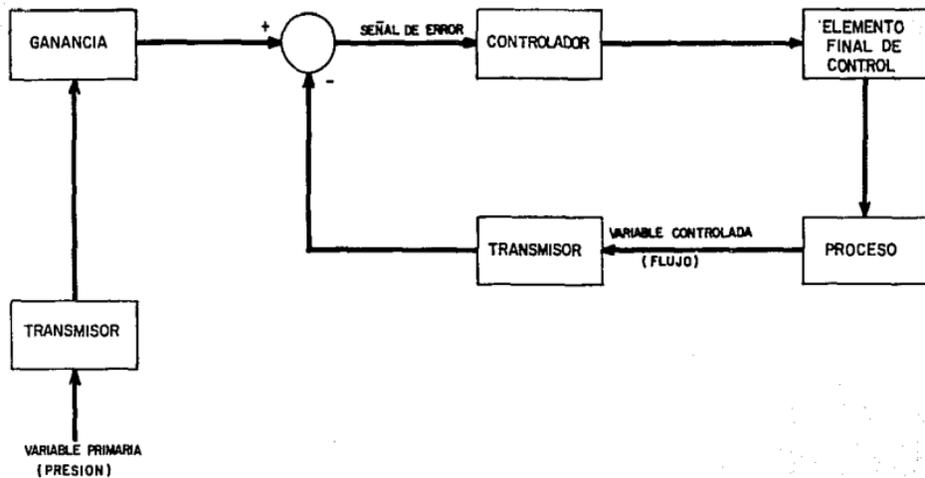


FIG. 6.7 - DIAGRAMA A BLOQUES DE UN SISTEMA DE CONTROL DE RELACION DE VARIABLES DIFERENTES

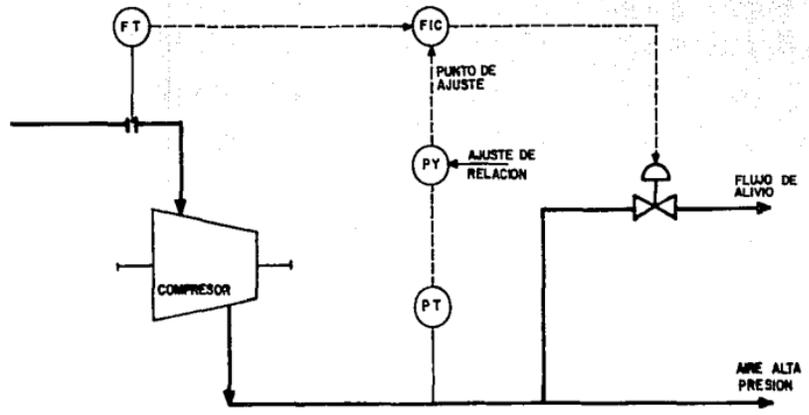
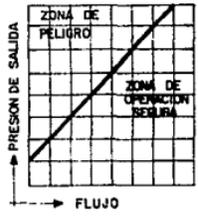


FIG. 6.8 - SISTEMA DE CONTROL DE RELACION DE PRESION Y FLUJO PARA EVITAR ENCRESPIAMIENTO EN UN COMPRESOR.

6.2.5 De relacion para presión.

Este sistema de control es particular y se aplica para el caso que la variable manipulada tenga o deba tener un valor mayor que la variable independiente(no controlada).

Este tipo de problemas se presentan muy frecuentemente cuando se tienen servicios de alimentación de vapor y aceites combustibles pesados (Combustóleos).

El circuito consta de un transmisor de presión diferencial el cual manda su señal al controlador, en el que se fija la relación deseada mediante el punto de ajuste, esto se puede ver en la fig. 6.10 .

Tomando el siguiente ejemplo, supongamos que se desea suministrar combustóleo y vapor en relación de 1 a 2.

$$\frac{\text{Presión de Combustóleo}}{\text{Presión de vapor}} = \frac{1}{2} = 0.5$$

Una relación de 0.5 corresponde en el transmisor de presión diferencial a:

$$\text{Presión de Vapor} - \text{Presión de Combustóleo} = 2 - 1 = 1$$

Ahora como en este caso nunca la presión de combustóleo será mayor que la presión del vapor, el rango de relación:

$$\frac{\text{Presión de Combustóleo}}{\text{Presión del Vapor}} = \frac{P \text{ Comb.}}{P \text{ Vap.}}$$

Deberá estar entre cero y uno.

$$0 > \frac{P \text{ comb.}}{P \text{ vap.}} < 1$$

Si tenemos instrumentación electrónica por ejemplo, cero corresponde a 4 mA y 1 a 20 mA. Suponiendo que el transmisor de presión diferencial tiene un rango de cero a 5 Kg/cm².

Si el combustóleo está a una presión de 2 Kg/cm² y la relación que se desea es de 0.5 la presión de vapor será de 4 Kg/cm².

El ajuste de relación que debe colocarse en el punto de ajuste del controlador es del 37.5 % . como se obtiene esto.

Pues bien si la presión del vapor es de 4 Kg/cm² y la presión del combustóleo es de 2 Kg/cm² entonces el transmisor de presión diferencial sensorá una señal de 2 Kg/cm².

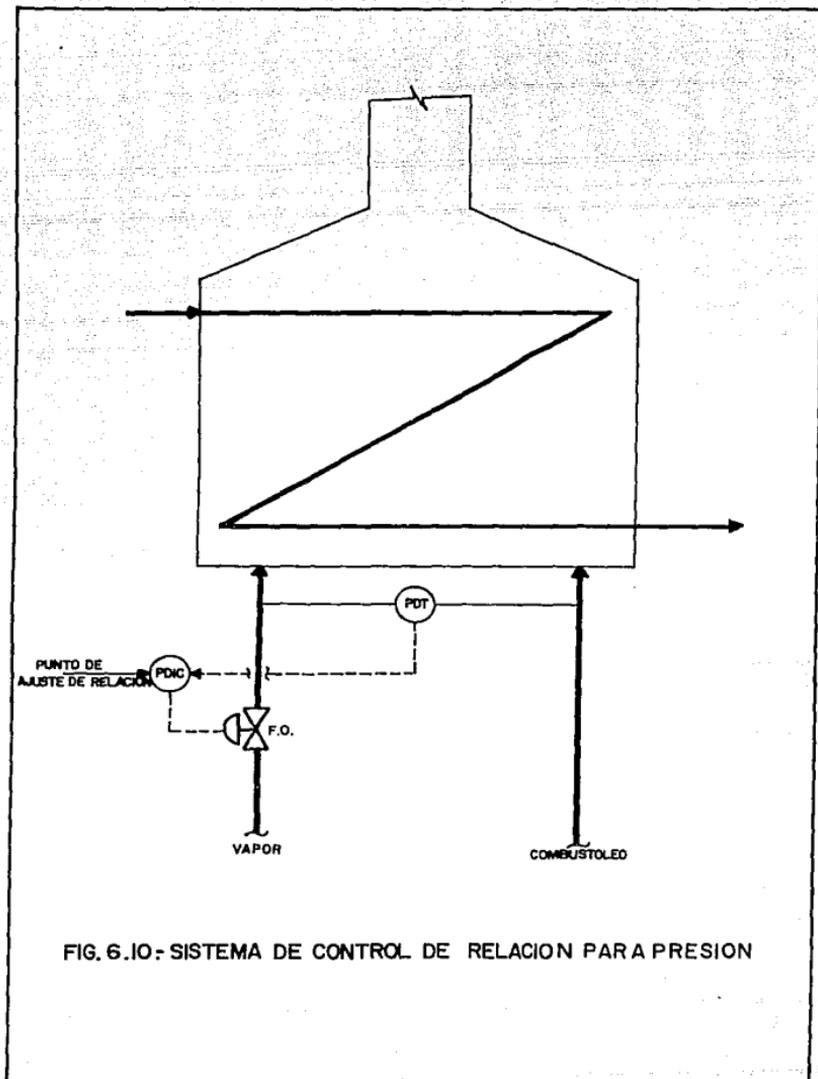


FIG. 6.10- SISTEMA DE CONTROL DE RELACION PARA PRESION

Como ya se mencionó el rango del transmisor es de cero a 5 - Kg/cm² pero tratándose de un transmisor electrónico debemos saber cual es su señal correspondiente en miliamperios.

$$\begin{aligned} \text{Señal de salida} &= 4 \text{ mA} + \frac{\text{Señal Diferencial}}{\text{Señal del Transmisor}} \quad (\text{Span de la señal eléctrica}) \\ &= 4 \text{ mA} + \frac{2}{5} \cdot 16 \text{ mA} \\ &= 0.4 \text{ mA} \end{aligned}$$

Esto es en el rango de 4-20 mA ya que el punto de ajuste se tiene que dar en porciento entonces:

$$\begin{aligned} \frac{(20 - 4) \text{ mA}}{100 \%} &= \frac{(10.4 - 4) \text{ mA}}{X} \\ X &= \frac{(6.4 \text{ mA}) (100)}{16 \text{ mA}} \\ X &= 40 \% \end{aligned}$$

Por lo tanto el dial del punto de ajuste deberá colocarse a 40% para lograr una relación de 0.5 a 50 % de 2 : 1 ó de 2F - P comb. = P vap.

6.3 Sistema de Control de Predominio.

Existen principalmente dos tipos de control de predominio que son el predominio por selector de señal y el predominio por alimentación, los cuales se abordan a continuación:

6.3.1 De predominio por selector.

También conocido como control de limitación se da cuando el control normal de una variable afecta a otra en forma tal que pueda producirse una acción anormal o peligrosa, se instala un segundo controlador que solo toma el mando cuando dicha variable se acerca o rebasa su límite establecido.

Una aplicación típica es el predominio de la temperatura al flujo, como se observa en la fig. 6.11 .

La variable normalmente controlada es el flujo. La temperatura es la variable secundaria y la que domina al circuito de flujo a través de un selector de alta señal. Normalmente el controlador de flujo opera la válvula.

Si la temperatura alcanza un valor alto o normal, la salida de este controlador aumentará arriba de la del controlador de flujo.

El selector de alta señal deja pasar la señal del controlador de temperatura y bloquea la señal del controlador de flujo realizándose la operación de la válvula por el controlador de temperatura, con lo que se reduce la cantidad de vapor (flujo) al recipiente.

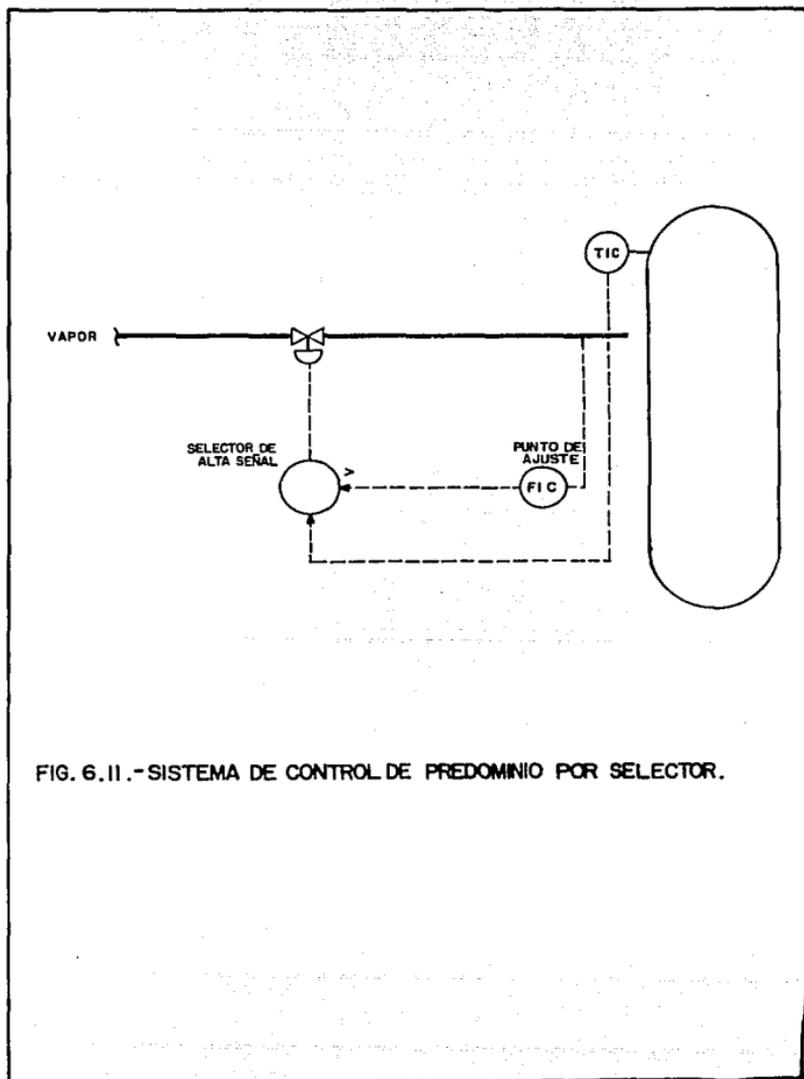


FIG. 6.II.-SISTEMA DE CONTROL DE PREDOMINIO POR SELECTOR.

6.3.2 De predominio por alimentación.

Este sistema funciona en forma muy parecida al anterior solo que la salida del controlador de sobredominio no se manda al selector, si no que se manda como presión de alimentación al control principal (de operación normal) el cual actúa controlando la válvula de control.

Como ejemplo el calentador de la fig. 6.12 en el cual el controlador principal, el cual es de acción inversa y controla el flujo de combustible al calentador.

El controlador de temperatura se encarga de controlar la temperatura de salida de la carga y es de acción inversa, debido a que cuando aumenta la temperatura disminuye la presión de salida del aire, el cual se introduce como aire de alimentación para el controlador de flujo, debido a que si aumenta la temperatura debe disminuir el flujo de gas combustible, por medio de la limitación de la alimentación al controlador de flujo.

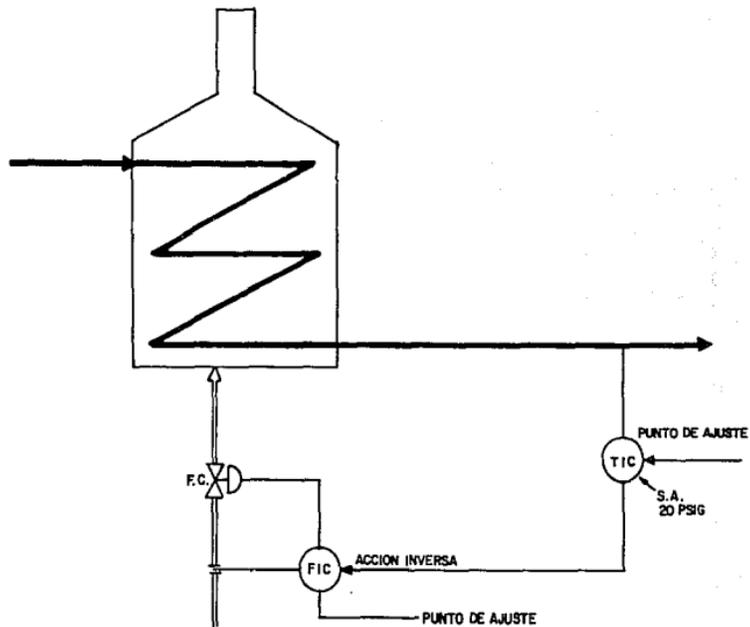


FIG. 6.12.- SISTEMA DE CONTROL DE PREDOMINIO POR ALIMENTACION.

6.4 Sistema de control prealimentado.

Se le conoce tambien como de impulso con aviso de señal, de - impulso de alimentación adelantada, prealimentado o por su nombre en inglés " feedforward".

Los sistemas que tienen tiempos de retraso grandes sufren la desventaja de que el controlador está trabajando con una señal de proceso, que no representa la condición verdadera. Los cambios de carga son detectados hasta despues de que ocurren, por lo tanto la corrección es retrasada. Ocurrendo casi siempre, cuando ya no son necesarias si se ha eliminado el cambio de -- carga.

Esta es la diferencia que existe en contraste con los sistemas de control retroalimentados, en los que las perturbaciones se detectan a la salida del proceso y posteriormente se hacen correcciones al proceso.

En el control prealimentado se detectan las perturbaciones antes de que entren al proceso y posteriormente se hacen las correcciones para evitar que afecten al proceso.

La forma más elemental de este sistema de control es la aplicación del relevador de impulso (que no es otra cosa que un derivador y un sumador).

En la figura 6.13 se muestra el diagrama de bloques de este sistema de control.

Como ejemplo tendríamos el calentador mostrado en la fig. 6.14 Este calentador tiene el problema de que el flujo que entra -- del proceso anterior varía considerablemente.

Los largos retrasos de tiempo debidos a la longitud de los serpentines del calentador significan que el controlador de temperatura nunca será preciso.

La temperatura, una vez detectada a la salida del serpentín - nos dá una indicación verdadera del posible aumento o disminución de la temperatura que se desarrollará en el siguiente instante debido a un cambio de carga.

En el calentador la temperatura final del producto depende de un controlador puesto sobre la línea de salida de carga. Si el flujo disminuye, debido a un cambio de operación en el proceso anterior se requerirá cierto tiempo antes de que pueda ser detectada la disminución de flujo por el aumento de temperatura del producto.

Cuando el controlador de temperatura finalmente empieza a corregir disminuyendo el combustible , puede ser que el flujo - haya sido restablecido y se necesita más calor en este punto. El proceso entonces tiende a fluctuar y nunca mantendrá el - valor correcto.

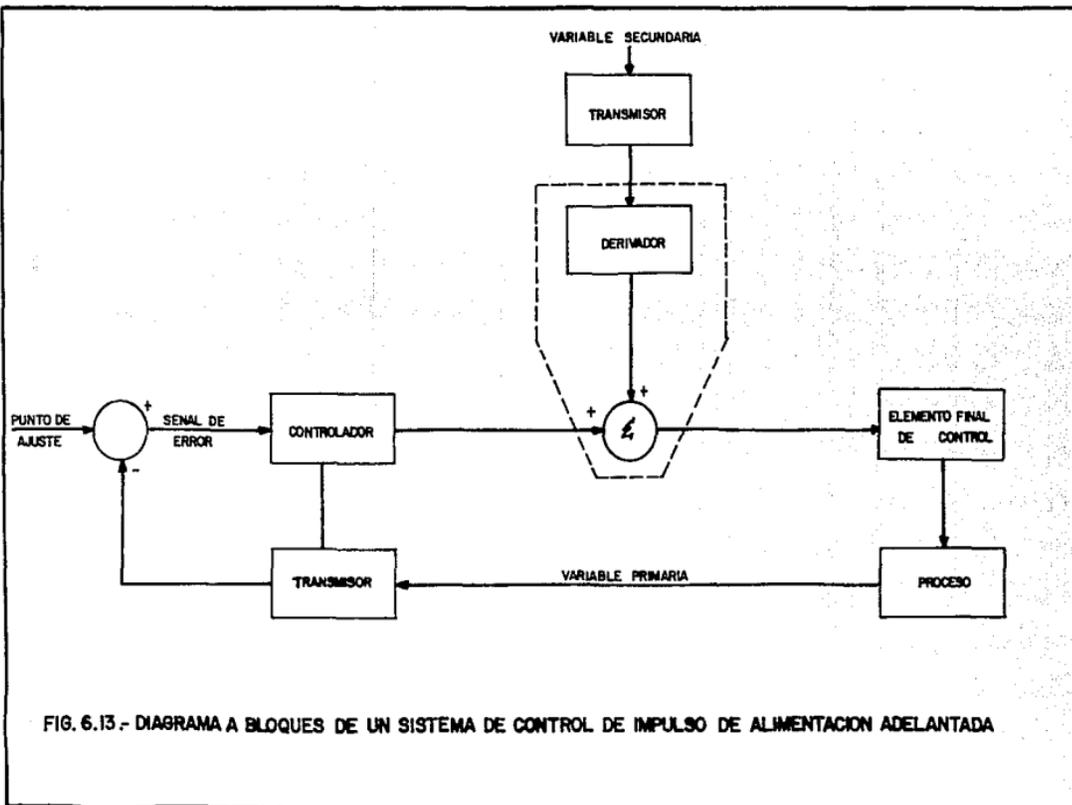


FIG. 6.13.- DIAGRAMA A BLOQUES DE UN SISTEMA DE CONTROL DE IMPULSO DE ALIMENTACION ADELANTADA

Un " relevador de impulso" (de accion derivativa o proporcional) suministra un control de alimentacion adelantada, que continuamente supervisa la señal de temperatura hacia la válvula de control. Si el flujo es uniforme la señal de temperatura pasa a través del relevador sin cambio. Las variaciones son detectadas y agregadas o sustraidas a la señal de control de temperatura. De esta forma los cambios de carga en el flujo actúan inmediatamente sobre el elemento final de control para compensar los cambios por anticipado de temperatura. La desventaja que presenta este circuito es que la salida de relevador UY se satura cuando tenemos una pendiente cercana a los 90 en la señal del transmisor de flujo y por lo tanto este circuito es muy inestable y sensible al ruido.

CAPITULO VII

DISEÑO DE LOS SISTEMAS DE CONTROL Y PROTECCIÓN PARA EL CALENTADOR A FUEGO DIRECTO BA-401

CAPITULO VII DISEÑO DE LOS SISTEMAS DE CONTROL Y PROTECCIÓN PARA UN CALENTADOR A FUEGO DIRECTO

7.1 Requerimientos de control y protección en el calentador BA-401.

Las partes fundamentales a controlar en nuestro calentador -- se indican en la figura. 7.1 .

Debido a que éste calentador suministra una determinada carga térmica a una temperatura constante al reactor de hidrodésulfuración DC-401 es necesario controlar ésta variable.

1. La temperatura a la salida del calentador, se puede considerar como la variable más importante del calentador, puesto que la reacción de hidrodésulfuración que se lleva a cabo en el reactor DC-401, depende fundamentalmente de la temperatura de la carga y de la presión a la que entra al reactor.

Para controlar la temperatura de salida es conveniente ajustar la cantidad de combustible a los quemadores debido a que como la salida, debe tener un flujo constante, no podría hacer se el ajuste de la temperatura variando la cantidad de flujo a través de los serpentines.

2. El calentador BA-401 tiene la flexibilidad de poder utilizar dos tipos de combustibles que son el combustóleo y el gas natural.

Para el uso del combustóleo se requiere mezclar este combustible con una corriente de vapor, para suministrarlo atomizado a los quemadores para esto debe mantenerse una relación adecuada entre la cantidad de combustóleo y el vapor.

El gas natural se le puede introducir directamente a los quemadores a una presión adecuada para evitar que se apaguen estos.

Cabe aclarar que un punto importante a tomar en cuenta es el mantener una relación aire combustible adecuada en el calentador.

Debido a que si esta relación no es mantenida en la proporción indicada provoca varios trastornos como son:

a) La formación de demasiado hollín en las secciones de radiación, convección y serpentines del calentador en caso de usar combustóleo; esto disminuye la transmisión del calor de los gases de la combustión a los serpentines y baja la eficiencia de calentamiento.

b) Con una relación aire-combustible adecuada se logra obtener un mejor rendimiento del combustible aplicado, logrando mayor eficiencia.

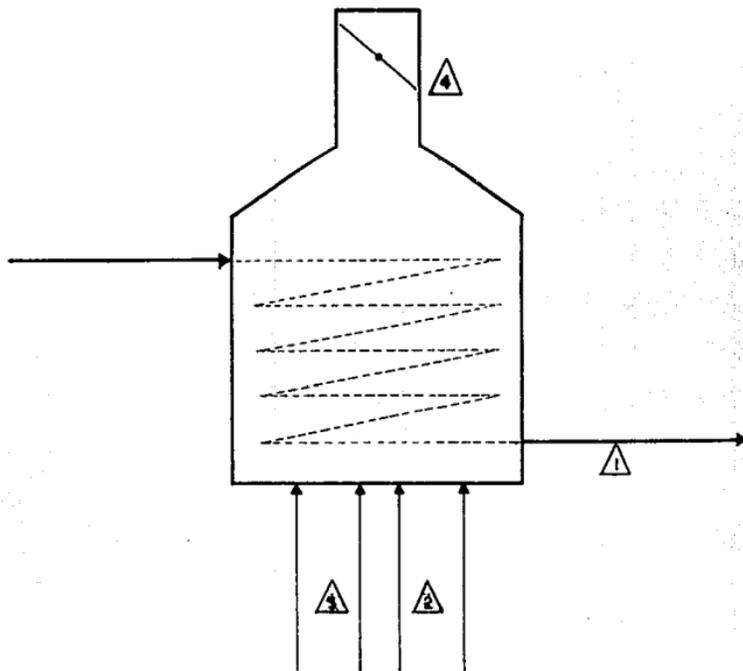


FIG. 7.1 PUNTOS PRINCIPALES DE CONTROL DEL CALENTADOR A FUEGO DIRECTO BA-40i.

c) Con un control adecuado tambien se obtiene una disminucion bastante apreciable en la contaminacion ambiental, puesto que con el sistema que se instale, constantemente se estan haciendo analisis de los gases de la combustion y en caso de haber combustible en los gases se ajustara manualmente el suministro de aire a los quemadores para que la combustion sea casi perfecta. A continuacion analizaremos los requisitos de seguridad para este tipo de calentador:

1.- Es necesario cortar el suministro de gas combustible y combustóleo a quemadores del calentador cuando su presion sea baja, debido a que los quemadores pueden apagarse y producir una explosion en el interior del calentador debido a una excesiva acumulacion de combustibles en el hogar de este.

2.- El flujo de salida del calentador, debe de estar a una determinada temperatura para el buen funcionamiento del reactor de hidrodesulfuracion, en caso de que la temperatura se eleve demasiado, debe ajustarse el suministro de combustible a los quemadores.

7.2 Rango de operacion de las variables a controlar.

En esta parte se analizarán los circuitos de control necesarios para mantener las variables del calentador dentro de determinados rangos de variación.

Los puntos básicos a controlar en el calentador descritos en la sección anterior tienen los siguientes rangos de variación:

1.- El flujo de nafta a la salida del calentador debe tener una temperatura de 313°C para que se pueda introducir al reactor de hidrodesulfuración.

2.- El suministro de combustóleo a los quemadores debe atomizarse con una corriente de vapor, y la relación que debe guardar entre la cantidad de combustóleo y vapor es de 0.1 a 3.0 (presión de combustóleo / presión de vapor = 0.1 a 3) para que haya un buen funcionamiento, el combustóleo debe tener una presión normal de 9.14 Kg/cm² man y el vapor de agua debe tener una presión normal de 17.5 Kg/cm² man.

El gas combustible que se va a quemar en el calentador debe tener una presión normal de 3.51 kg/cm² man.

7.3 Circuitos de control.

A continuación analizaremos las posibles soluciones de cada uno de los dos puntos a controlar en el calentador para que se cumpla lo establecido en las secciones 7.1 y 7.2.

7.3.1 Circuito de control de temperatura.

Por lo establecido en las secciones precedentes, la temperatura de la carga a la salida del calentador, depende fundamentalmente de la cantidad de combustible que se suministre a los quemadores y considerando que este equipo tiene opción de usar gas combustible o combustóleo se deberá analizar el sistema para el empleo de uno u otro combustible.

La temperatura a la salida del calentador se puede controlar, aumentando o disminuyendo la presión del combustible a los quemadores por medio del uso de un simple control de temperatura, como lo muestra la fig. 7.2.

Este circuito de control es adecuado, si se tuviera un suministro de combustible a una presión constante, pero en nuestro caso se pueden presentar variaciones en la presión de estos combustibles, por lo que es adecuado utilizar un control de cascada, temperatura de salida contra la presión de los combustibles a los quemadores, con lo cual se logra reducir apreciablemente las variaciones de la temperatura a la salida.

A continuación analizaremos el control de presión del suministro de combustibles el cual nos va a garantizar que las variaciones de presión serán detectadas y corregidas por el circuito de presión; de no existir este circuito de presión las variaciones de la presión se detectarían y se controlarían hasta que variara la temperatura de la carga.

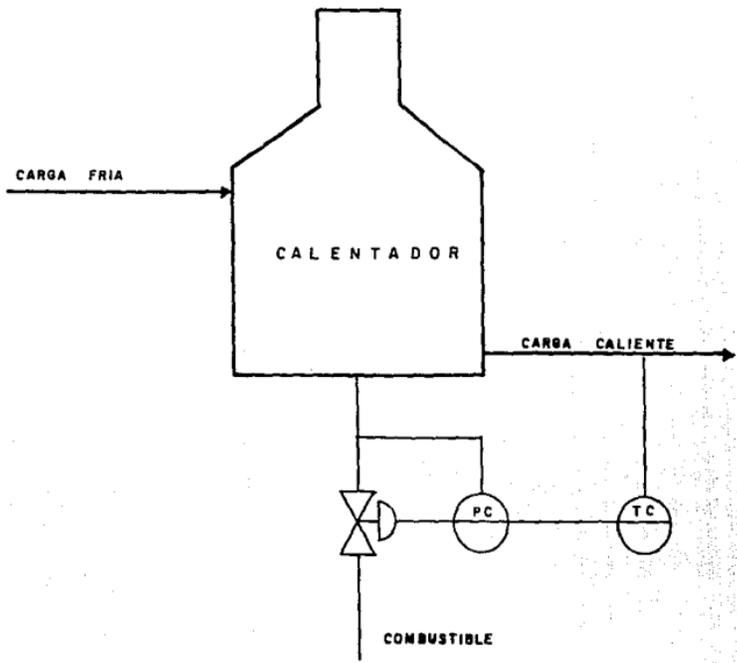


FIG. 7.2 CIRCUITO DE CONTROL EN CASCADA TEMPERATURA - PRESION

7.3.2 Circuito de Control de Presión.

Este circuito consta de lo indicado en la figura 7.3 :

De un elemento primario.

En este caso el elemento primario encargado de detectar variaciones de la presión en la línea es el diafragma del transmisor.

De un transmisor.

Este transmisor es el que se encarga de convertir las variaciones de la presión, en una señal eléctrica en el orden 4-20 mA- para que sean procesadas.

De un controlador.

Como la presión que se va a controlar en una línea, esta variable casi no presenta tiempos muertos por lo que para su control será suficiente que dicho controlador posea los modos proporcional e integral.

De un transductor.

El transductor se utiliza para convertir la señal de salida del controlador (4-20mA) en una señal de presión neumática de 0.21 a 1.05 Kg/cm².

De un elemento final de control.

Este dispositivo (válvula de control) recibe la señal de 0.21 a 1.05 Kg/cm² man proveniente del transductor y cambia directamente el valor de la variable manipulada que en este caso es la presión de los combustibles.

Con lo estudiado ahora analizaremos en que forma están relacionados los controladores de temperatura y presión.

Como en el calentador la variable principal es la temperatura de la carga, esta variable será la que gobierne a la presión de los combustibles. Por lo establecido anteriormente vemos, que es conveniente el uso de un sistema en cascada entre la temperatura y la presión.

El sistema de control en cascada Temperatura- Presión consta de tres circuitos de control, el primario que es el de temperatura y dos secundarios que son el de gas combustible y el del combustible. Es importante hacer notar que en el funcionamiento del calentador se usa uno u otro combustible (Fig. 7.4).

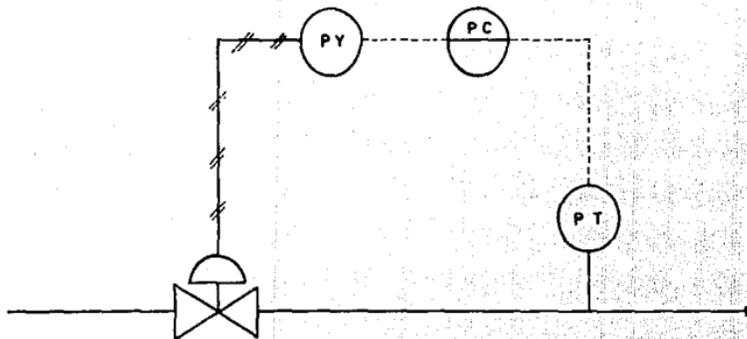


FIG. 7.3 CIRCUITO DE CONTROL DE PRESION DEL SUMINISTRO DE COMBUSTIBLES A QUEMADORES

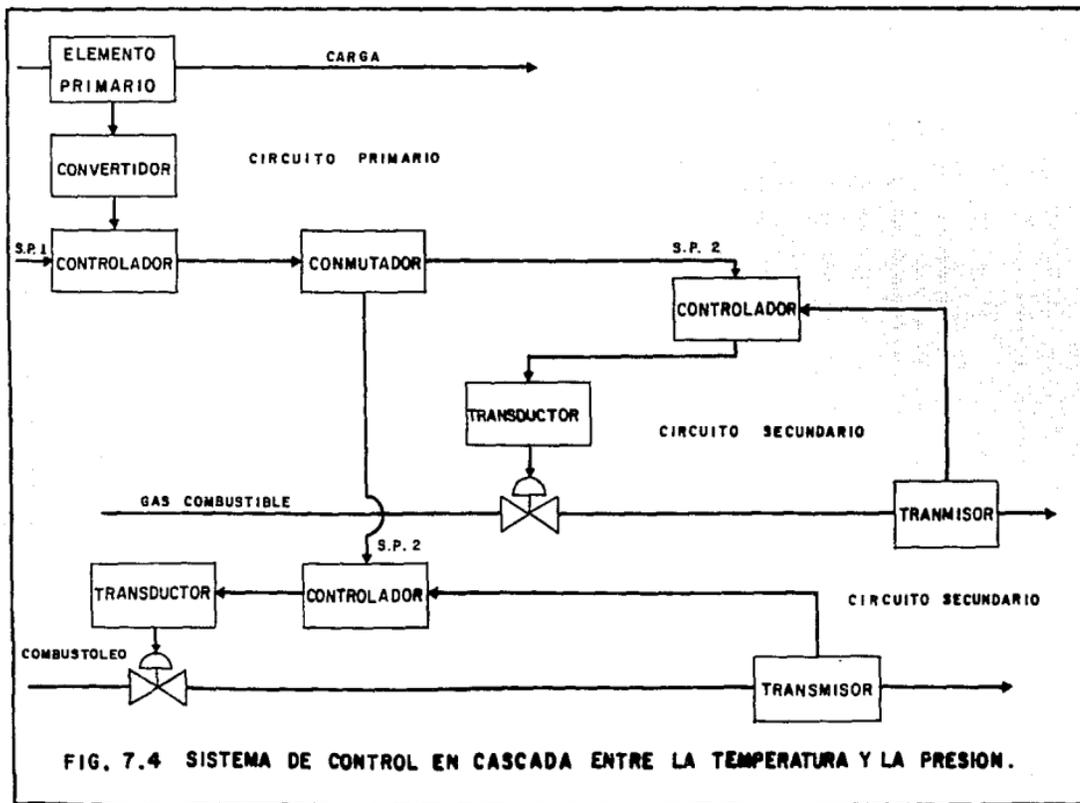


FIG. 7.4 SISTEMA DE CONTROL EN CASCADA ENTRE LA TEMPERATURA Y LA PRESION.

7.3.3 Circuito de control primario.

Consta de un elemento primario, para la detección de la temperatura que para este caso será un termopar tipo r. que produce una señal de milivoltaje, correspondiente a la temperatura de la carga. La señal del termopar se envía hasta un convertidor.

El convertidor recibe la señal del termopar en milivoltaje y la convierte en una señal eléctrica de 4-20 mA. Esta señal llega al controlador primario para corregir o limitar la desviación de este valor con respecto al valor deseado de la variable.

El controlador primario.

Como la carga (nafta ligera) tiene que pasar a través de los serpentines para su calentamiento, dicha carga tiene un tiempo de residencia dentro del calentador, y cuando hay una variación del flujo en la carga, cambia la temperatura a la salida. Esto se conoce como tiempo muerto.

En el calentador se presenta otro tiempo muerto, en la medición debido a la transferencia de calor del termopar al termopar no es instantánea y este tiempo sumado al de la carga, da por consecuencia un tiempo muerto bastante apreciable, por lo que hay que tomar las medidas pertinentes, para compensar este efecto.

El modo de control que nos soluciona este problema es el modo derivativo, que como se vió en el capítulo V es un modo de control que se anticipa para compensar estos tiempos muertos.

Por lo dicho anteriormente es conveniente usar un controlador para la temperatura con los tres modos de control, proporcional integral y derivativo.

La salida del controlador primario llega hasta a selector, el cual nos sirve para conmutar la señal del controlador primario y pasarla hacia el controlador secundario que este funcionando puesto que el calentador puede estar funcionando con gas o con combustóleo.

La señal que llega al controlador secundario lo hace en forma de set-point, logrando con esto que el controlador secundario controle la presión del combustible, para corregir las desviaciones que se presenten en el valor de la temperatura de salida de la carga.

Cuando el calentador está quemando gas combustible no existe ningún problema en la introducción de este combustible a los quemadores. Pero cuando se requiera utilizar combustóleo, es necesario mezclar el combustóleo que es un aceite con una corriente de vapor para que el primero se atomice y en esa forma pueda ser quemado.

Para lograr esto es necesario que se mezclen en determinada proporción, que para nuestro caso es en una relación de presión vapor-combustible de 0.1 a 3. Esto se puede hacer por medio del uso de un controlador de relación como se explica a continuación.

7.3.4 Circuito de control de relación combustóleo-vapor.

El control de relación tiene la función de limitar la variable dependiente, de acuerdo al punto de ajuste que se fije en la estación de relación y a las variaciones que presente la variable independiente (ver fig. 7.3).

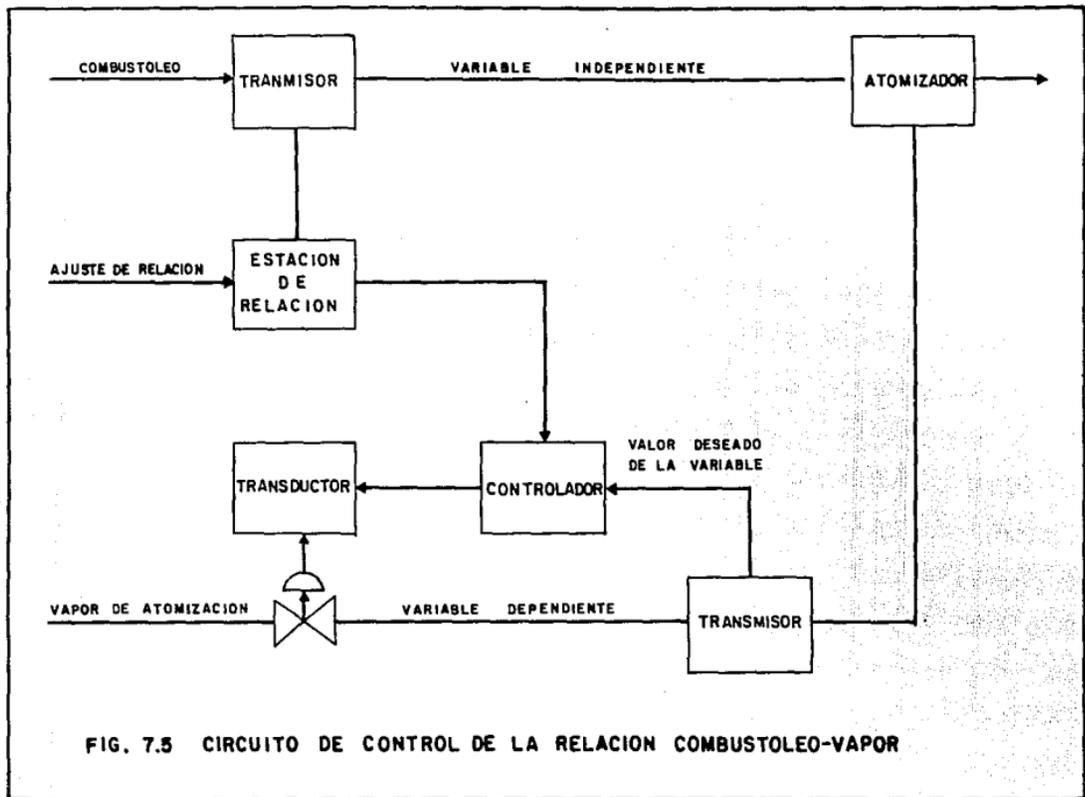
Este circuito opera de la siguiente manera:

En la línea de combustóleo se coloca un transmisor de presión que envía una señal, la cual entra a la estación de relación, donde de acuerdo al ajuste de relación, esta señal se limitará saliendo posteriormente como punto de ajuste al controlador de presión en el vapor de atomización.

El controlador del vapor interiormente hace una comparación entre las dos señales, la que llega de la estación de relación y la señal del transmisor de presión del vapor, dando una salida para corregir la desviación que exista entre el valor deseado de la variable y la presión del vapor.

Con lo anterior se logra una relación entre la presión del vapor y la presión del combustóleo, necesaria para poder atomizar el combustóleo e introducirlo a los quemadores.

En la figura 7.6 se puede apreciar el circuito de control de flujo de combustibles a quemadores. Es importante hacer notar que en la figura aparece un selector manual HS que sirve para enviar la señal de ajuste proveniente del controlador de temperatura hacia el controlador de presión del combustible que está siendo utilizado.



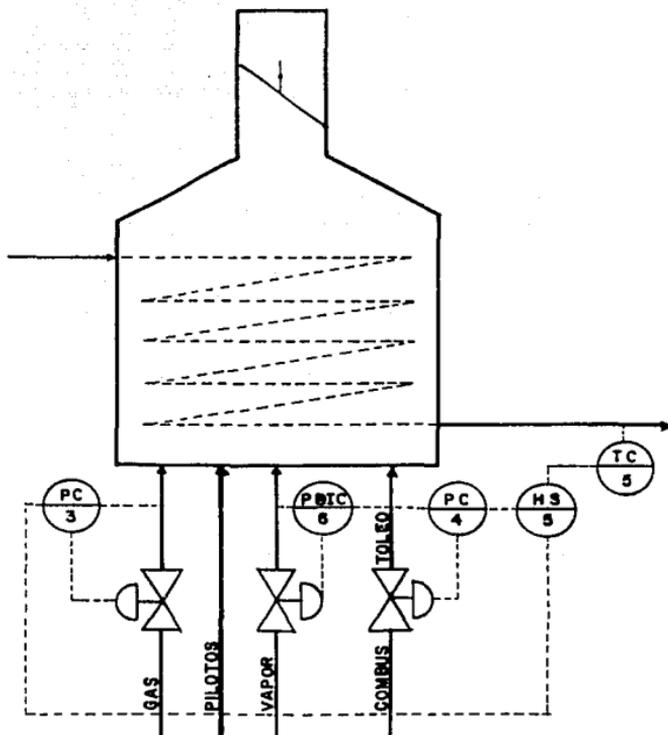


FIG. 7.8 CIRCUITO DE CONTROL DE COMBUSTIBLES DEL CALENTADOR A FUEGO DIRECTO SA-401.

7.4 Acciones de los elementos y circuitos de control.

En el capítulo V se establecieron los conceptos de las acciones de los elementos de control. A continuación aplicaremos esos criterios en el análisis de cada uno de los circuitos de control estudiados.

La acción de los elementos de control se escoge teniendo en cuenta la seguridad del equipo (planta) en caso de falla de suministro de aire de instrumentos y energía eléctrica en la planta.

Acciones para el control en cascada temperatura-presión.
En este circuito de control primero analizaremos el circuito secundario (circuito de presión) y de las condiciones obtenidas pasaremos al análisis del circuito primario.

En el caso de nuestro calentador BA-401 tenemos dos controles secundarios. Analizaremos el caso para cada uno de ellos.

Acciones para el control en la presión del gas.
El control de presión en caso de falla del aire de instrumentos debe cerrar el paso del gas combustible al quemador para evitar que se acumule el gas en el hogar del calentador. Esto se logra con una válvula de control para la presión del gas combustible de "acción inversa" o sea que esta válvula quede cerrada cuando no tenga suministro de aire en su actuador y por lo tanto impida el paso del gas al quemador.

Acción del circuito de control de presión.
La acción del circuito será "directa" puesto que cuando aumente la presión en la línea la válvula debe cerrar.

Acción del controlador de presión.
Con las acciones de la válvula de control y del circuito de control podemos determinar la acción del controlador.

Este controlador será de acción "inversa" puesto que al aumentar la señal del transmisor, debe disminuir la salida del controlador para que la válvula de control cierre.

Para entender con más facilidad la acción del circuito de control primario (circuito de control de temperatura) estableceremos los siguientes conceptos y condiciones:

Controlador de acción directa.-es aquel que al recibir un aumento de señal del transmisor (E) proporciona una salida (S) que también aumenta matemáticamente, esto se expresa como:

$$S = G (E - P) \quad (7.4.1)$$

Suponiendo que el controlador solamente posee modo proporcional.

Controlador de acción inversa.- Es el que al recibir un aumento de la señal del transmisor (E) proporciona una salida (S) que disminuye matemáticamente. se expresa de la siguiente manera:

$$S = G (P-E) \quad (7.4.2)$$

El circuito de control secundario es decir el circuito de control para la presión del combustible tiene un controlador de acción inversa o sea:

$$S2 = G2 (P2 - E2) \quad (7.4.3)$$

Analizando el circuito de control para la temperatura de la carga en la salida del calentador, cuando aumenta la temperatura debe cerrar la válvula de control de la presión del combustible, por lo que la acción del circuito de control de temperatura es " directa ". Es importante recordar que la salida del controlador primario (S1) entra como punto de ajuste del controlador secundario (P2). Suponiendo que la presión del combustible está estabilizada o sea que E2 =cte. y considerando que la válvula de control para la presión del combustible es de acción inversa y además que el controlador secundario es de acción inversa $S2 = G2(P2 - E2)$.

Cuando la salida (S) disminuye la válvula de control cierra o sea que cuando hay un aumento de la temperatura, la salida S2- debe disminuir y analizando la ecuación (7.4.3) cuando E2=cte. S2 disminuirá cuando P2 disminuya como $P2 = S1$, la salida del controlador primario (S1) debe disminuir cuando la temperatura de la carga del calentador aumente, por lo establecido se concluye que la acción del controlador primario es "inversa". Resumiendo las acciones para el control en cascada temperatura a - presión como sigue:

Circuito de control secundario (Presión)	Acción directa.
Válvula de control para la presión	Acción inversa.
Controlador secundario	Acción inversa.
Circuito de control primario(Temperatura)	Acción directa.
Controlador Primario	Acción inversa.

Acciones de control de relación combustible-oleo-vapor.

Analizaremos primeramente el circuito de control de la presión de vapor. Cuando haya una suspensión del suministro de aire de instrumentos, la válvula de control debe abrir por lo tanto la válvula de control es de acción "directa".

Acción del circuito de control de la presión de vapor.

Cuando hay un aumento en la presión del vapor la válvula de -- control debe cerrar, por lo tanto su acción es "directa".

Acción del controlador de presión.

Cuando aumenta la señal del transmisor de presión del vapor. de be aumentar la salida del controlador, para que cierre la válvula de control y esto se logra con una acción "directa".

En el caso del combustible, cuando aumenta su presión, aumenta la señal que llega a la estación de relación y como en la estación de relación solamente derivamos parte de la señal del transmisor, no tenemos problema con la acción puesto que al aumentar la señal del transmisor, aumenta la salida de la estación de relación (acción directa).

En la figura 7.7 se muestran los circuitos de control y las acciones de las válvulas de control estudiadas.

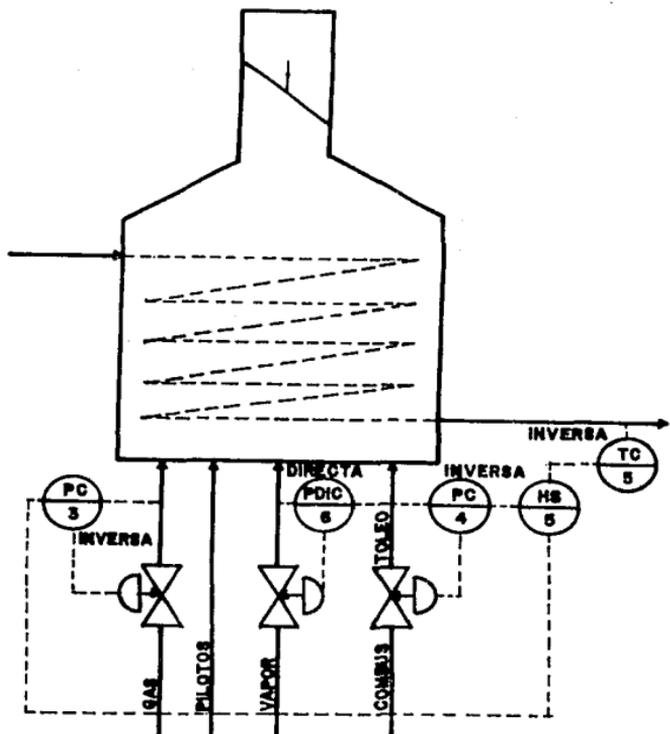


FIG. 7.7 CIRCUITOS DE CONTROL Y ACCIONES DE LAS VALVULAS

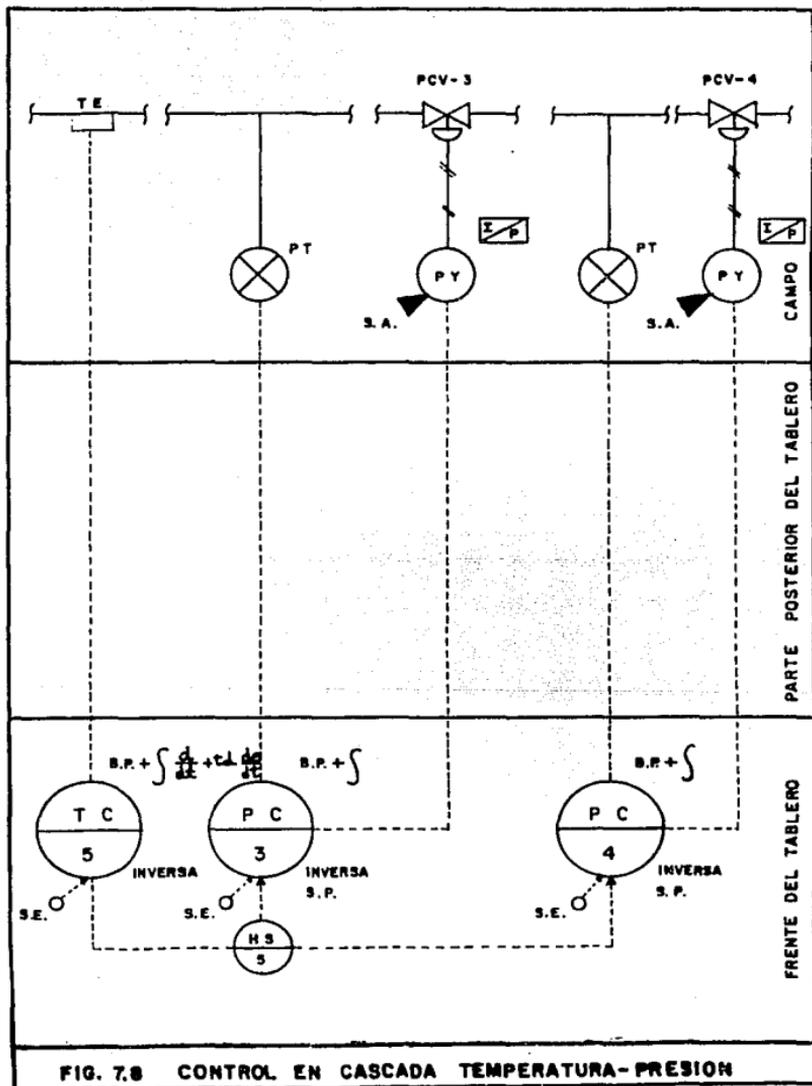
7.5 Diagramas de instrumentación.

Los diagramas de instrumentación son una información muy valiosa porque de ellos se tiene una visión completa de los circuitos de control, sus componentes, su interconexión y su localización en la planta.

Los diagramas de instrumentación constan de tres secciones:

- 1.- Componentes en el campo.
- 2.- Parte posterior del tablero principal de control.
- 3.- Frente del tablero.

A continuación se muestran los diagramas para el control en cascada entre la temperatura de salida de la carga y la presión de entrada de los combustibles a los quemadores, el control de relación entre la presión del vapor y la presión del combustible. (ver figuras 7.8,7.9).



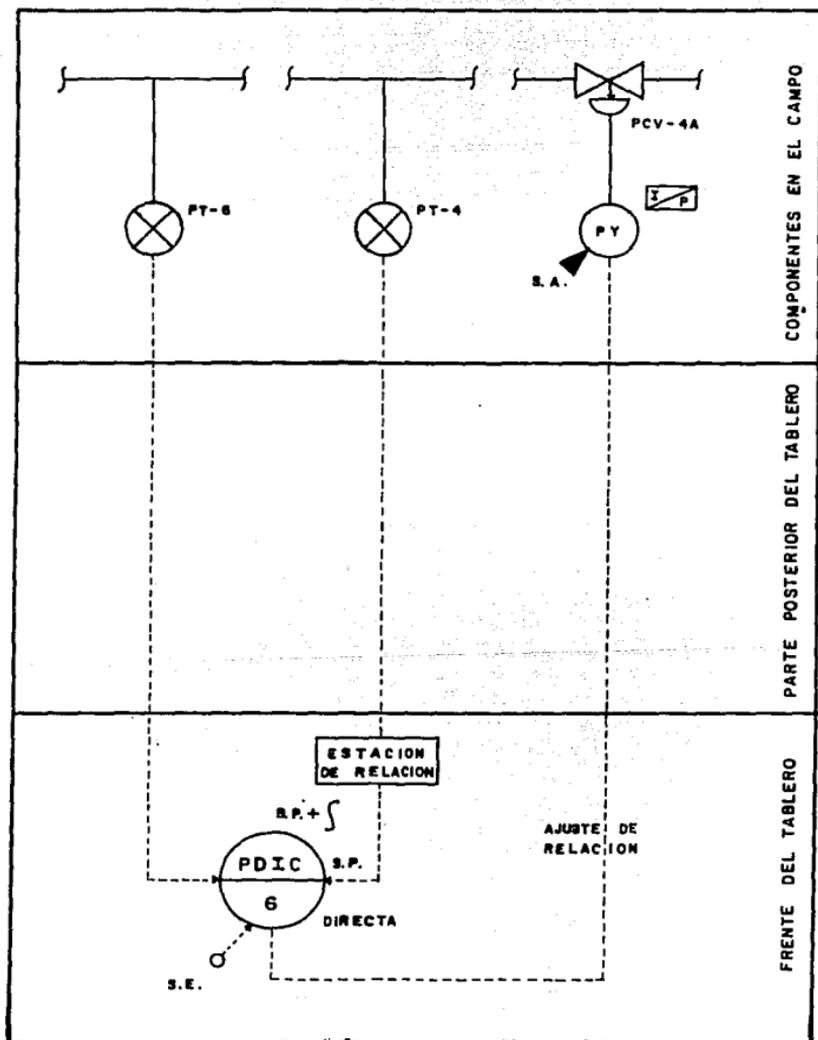


FIG. 7.9 CONTROL DE RELACION COMBUSTOLEO - VAPOR.

7.6 Rango de operación de las variables a proteger.

En esta parte se analizarán los circuitos de protección necesarios para mantener las variables del calentador dentro de valores de protección.

Los puntos básicos a proteger en el calentador descritos en la sección 7.1 tienen los siguientes valores.

1.- La carga a la salida del calentador debe tener una temperatura normal de 313 C y cuando la temperatura se eleve a 356 C el suministro de combustóleo ó gas combustible debe reducirse.

2.- El combustóleo debe tener una presión normal de 9.14 Kg/cm² man y cuando esta presión baje a 3.52 Kg/cm² man debe cortarse dicho suministro.

El gas combustible tiene una presión normal de 3.51 Kg/cm² man y si la presión baja a 0.070 Kg/cm² man debe cortarse el suministro de este combustible.

En estos calentadores existe una alimentación adicional de gas que sirve para los pilotos de encendido.

El gas de pilotos debe suministrarse a una presión de 0.45 Kg/cm² man y si esta presión baja a 0.070 Kg/cm² man debe cortarse su suministro.

7.7 Circuitos de protección.

Un circuito de protección se puede definir como el circuito que actúa cuando la magnitud de la variable controlada alcanza un valor que es considerada peligrosa.

En las secciones 7.1 y 7.2 se establecieron las necesidades de protección, sus efectos y la forma de como proteger el calentador. A continuación analizaremos dichos circuitos de protección:

7.7.1 Circuito de protección para el gas combustible.

En la línea de alimentación del gas combustible a los quemadores se encuentra instalado un interruptor de señal por baja presión, el cual se encuentra ajustado para que se dispare cuando la presión sea de 0.070 Kg/cm² man. enviando una señal de corte a la válvula solenoide (SV-3) para que corte el gas combustible.

7.7.3 Circuito de protección para el gas a los pilotos.

La línea de suministro de gas a pilotos posee un sistema de protección idéntico al descrito para el gas combustible a quemadores.

7.7.4 Circuito de protección para combustóleo.

Este circuito es idéntico al circuito de protección por baja presión en el gas combustible y solamente cambia en el punto de disparo del interruptor de señal que en este caso actuará cuando la presión del combustóleo baje a 3.52 Kg/cm² enviando una señal a la válvula solenoide SV-4 la cual corta el suministro del combustóleo a los quemadores.

En la figura 7.10 se muestran los circuitos de protección descritos.

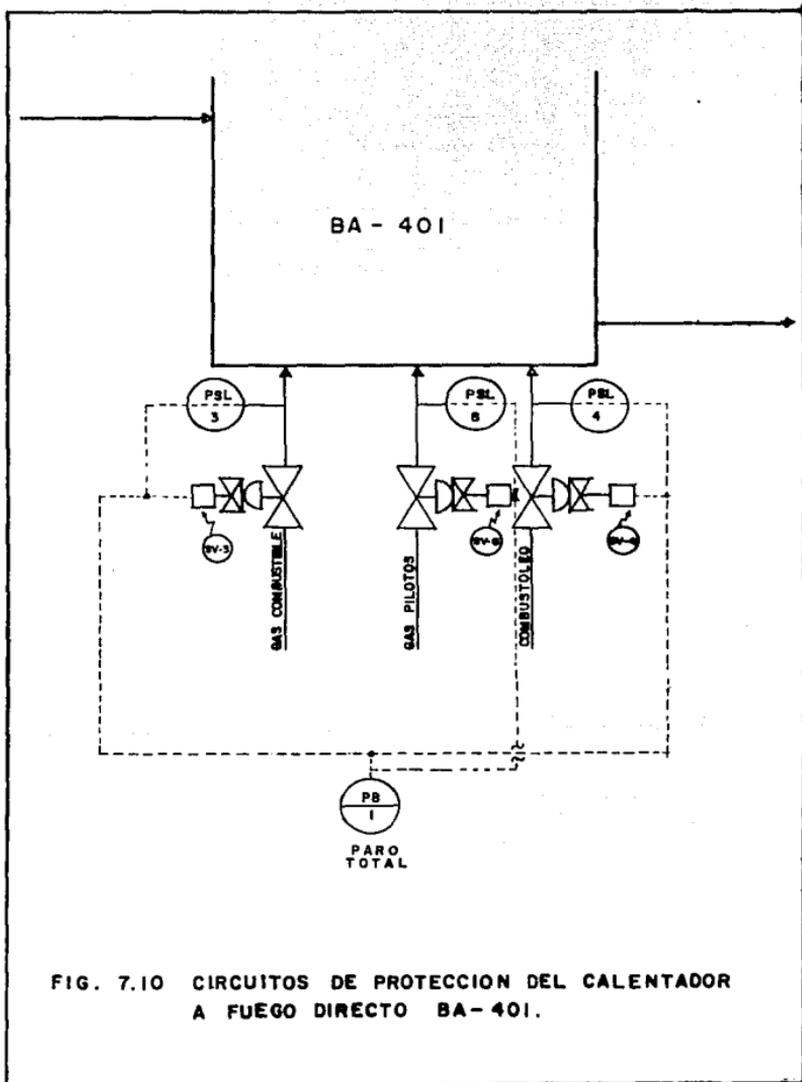


FIG. 7.10 CIRCUITOS DE PROTECCION DEL CALENTADOR A FUEGO DIRECTO BA-401.

7.8 Acciones de los elementos de protección.

Las válvulas SV constan de tres partes fundamentales que son: la solenoide, la válvula guía y la válvula de corte.

Analizando el proceso vemos que es conveniente que la válvula de corte cierre cuando falle el suministro de aire de instrumentos.

La válvula de corte logra lo indicado cuando posea una acción "inversa" es decir que la válvula de corte actúa con presión.

La solenoide debe permanecer energizada para funcionamiento normal del calentador; esto se logra cuando los interruptores de señal y los interruptores por presión permanezcan cerrados para funcionamiento normal del calentador y por lo visto en estos sistemas de protección su acción se reduce a la acción de la válvula de corte.

7.9 Diagramas de Instrumentación.

Estos diagramas servirán para visualizar la localización de los elementos de protección en la planta. (ver figuras 7.11 , 7.12 y 7.13).

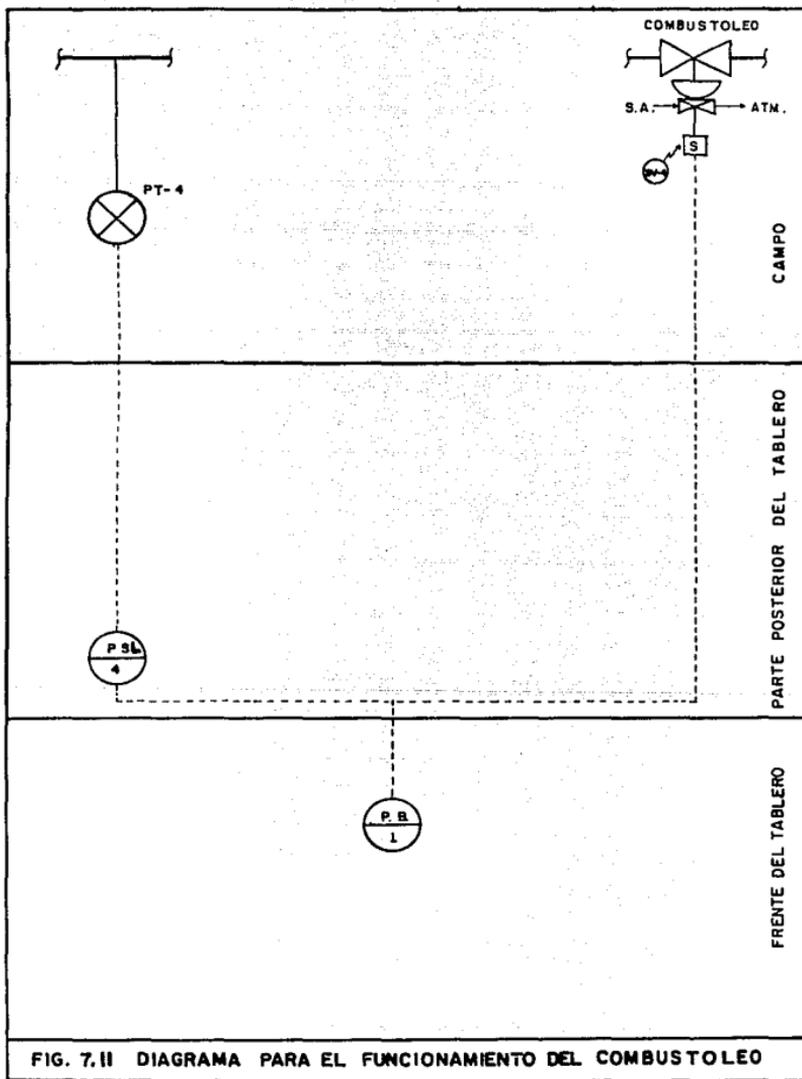


FIG. 7. II DIAGRAMA PARA EL FUNCIONAMIENTO DEL COMBUSTOLEO

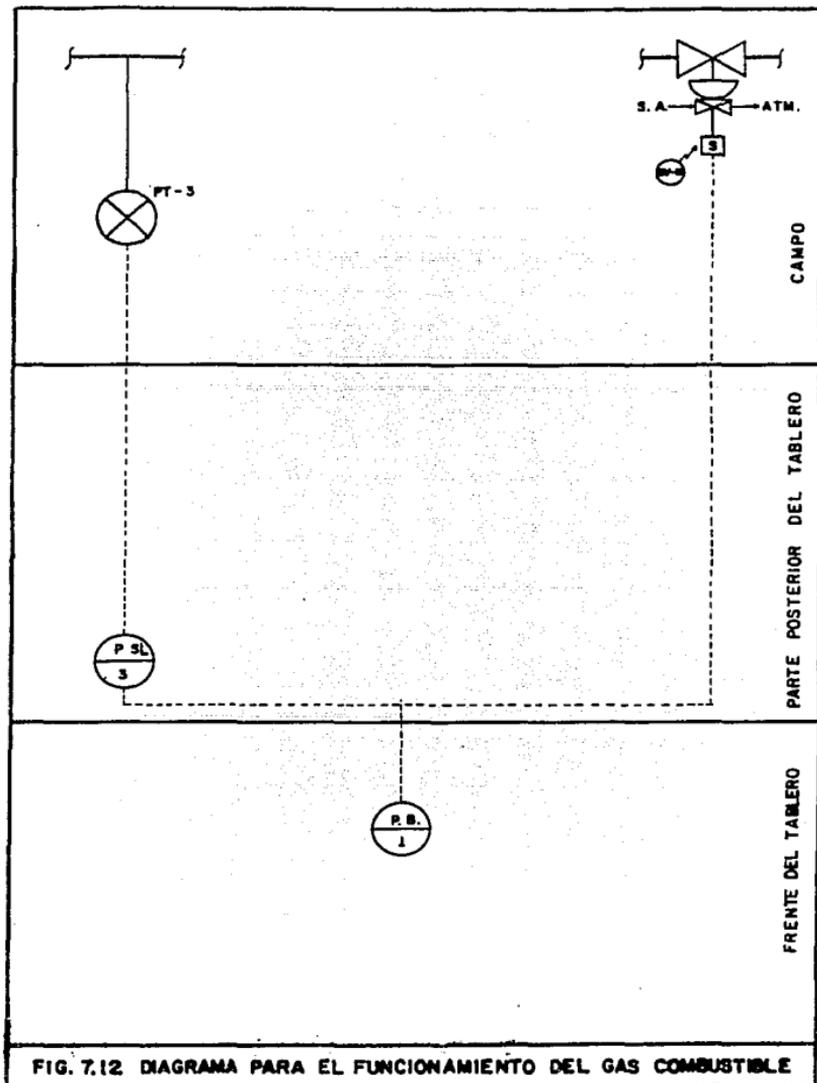


FIG. 7.12 DIAGRAMA PARA EL FUNCIONAMIENTO DEL GAS COMBUSTIBLE

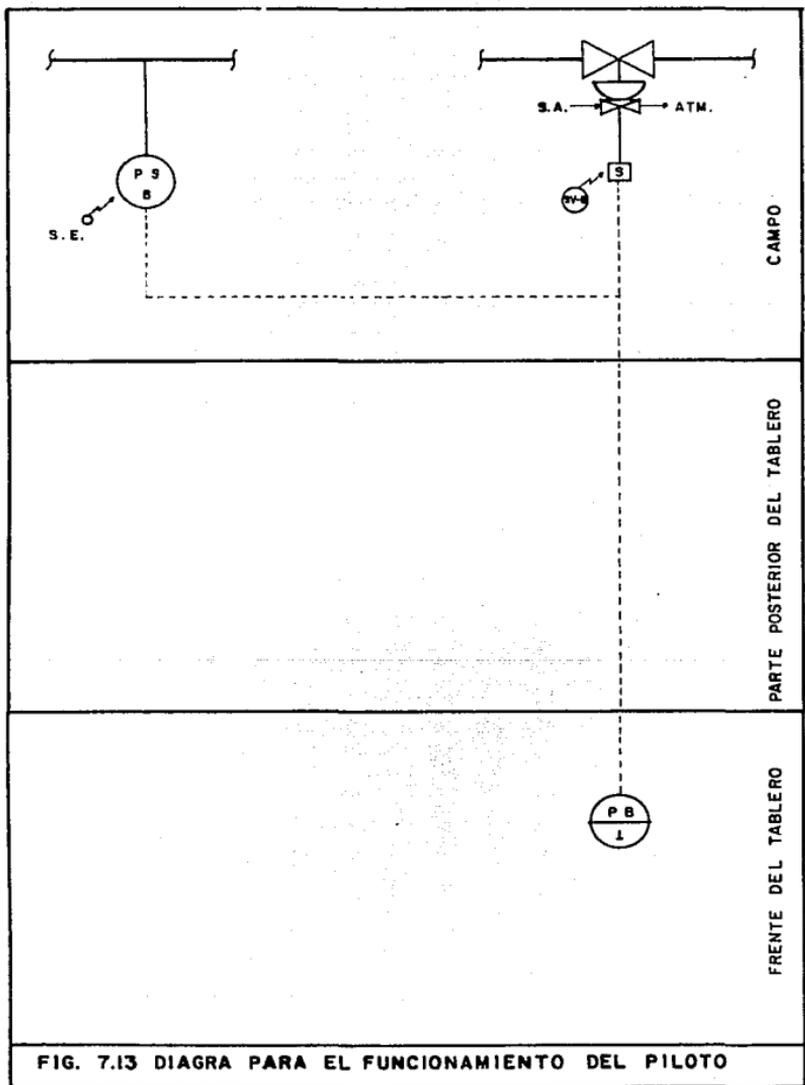


FIG. 7.13 DIAGRA PARA EL FUNCIONAMIENTO DEL PILOTO

CAPITULO VIII

ESPECIFICACION DE LA
INSTRUMENTACION PARA LOGRAR
CUMPLIR LOS REQUISITOS IMPUESTOS
POR LOS SISTEMAS DE CONTROL Y
PROTECCION PROPUESTOS

CAPITULO VIII ESPECIFICACION DE LA INSTRUMENTACION PARA LOGRAR CUMPLIR LOS REQUISITOS IMPUESTOS POR LOS SISTEMAS DE CONTROL Y PROTECCION PROPUESTOS.

8.1 Generalidades.

La especificación de la instrumentación para una planta o equipo es la recopilación de las características físicas de un instrumento, de acuerdo a las condiciones de operación, a las características físicas y químicas de los fluidos manejados y a la clasificación de áreas.

Intervienen también otros factores tales como, gastos volumétricos o máxicos, tipos de montajes y conexiones disponibles, diámetros y cédulas de tubería, disponibilidad y rangos del suministro eléctrico, del aire de instrumentos, del suministro hidráulico, etc.

Después de analizar algunos de los factores principales que intervienen en la especificación de un instrumento, vemos que es una tarea que requiere para su realización, sumo cuidado, debido a que para el buen funcionamiento de los circuitos de control diseñados es conveniente utilizar los instrumentos más adecuados a las necesidades del equipo en términos generales de la planta.

8.2 Especificación de la instrumentación.

En este capítulo se especificará la instrumentación de cada uno de los circuitos de control y protección propuestos, desglosándose en cada uno de sus componentes.

Los datos correspondientes a cada uno de estos componentes se vaciarán en formatos de especificación recomendados por la Sociedad de Instrumentistas de América (ISA)

En los circuitos siguientes se desglosarán todos sus componentes y al final de todo esto se anexarán las hojas de especificación correspondientes.

8.2.1 Circuito de Control de Presión.

Transmisor de presión PT-3 (Línea de gas)
Controlador de Presión PC-3
Transductor P-3
Válvula de Control PV-3

Transmisor de presión PT-4
Controlador de presión PC-4
Transductor PY-4
Válvula de control PV-4

8.2.2 Circuito de Control Primario.

Transmisor de temperatura TT-5
Convertidor de Temperatura TY-5
Controlador Primario TC-5
Selector de Señal HS-6

8.2.3 Circuito de Control de Relación Combustóleo-Vapor.

Transmisor de Presión de Combustóleo PT-4.
Estación de Relación ER-5
Controlador de Presión de Vapor de Atomización PDC-5
Transmisor de Presión de Vapor PT-6
Convertidor FY-6
Válvula de Control FDV-6

8.2.4 Circuito de Protección para Gas Combustible.

Interruptor de presión PSL-3
Válvula de corte, solenoide y de 3 vías SV-3

8.2.5 Circuito de Protección para el Gas a Pilotos.

Interruptor de Presión PSL-8
Válvula de corte, solenoide y de 3 vías SV-8

8.2.6 Circuito de Protección para Combustóleo.

Interruptor de Presión PSL-4
Válvula de Corte, solenoide y de 3 vías SV-4

INSTRUMENTOS DE PRESION

DESCRIPCION : TRANSMISOR CIEGO
CAJA : AFRUEBA DE EXPLOSION
COLOR DE LA CAJA : ESTANDAR FABRICANTE
MONTAJE : YUGO
TIPO : ELECTRONICO
ALIMENTACION : 24 UCD
ELEMENTO DE PREBION : DIAFRAGMA
MATERIAL : ACERO INOXIDABLE 316
RANGO : UER TABLA ADJUNTA
ESCALA : Kg/cm²
CONEXION NPT : 1/2" INFERIOR
ACCESORIOS
YUGO DE MONTAJE : 2"

CANT.	IDENT.	RANGO	ELEMENTO DE PRESION	MATERIAL DEL ELEMENTO	PRESION DE OPERACION	SERVICIO
1	PT - 3	8 - 5 Kg / cm ²	DIAFRAGMA	ACERO INOXIDABLE 316	3.51 Kg / cm ²	LINEA DE ALIMENTACION GAS COMBUSTIBLE
1	PT - 4	8 - 12 Kg / cm ²	DIAFRAGMA	ACERO INOXIDABLE 316	9.14 Kg / cm ²	LINEA DE ALIMENTACION COMBUSTOLEO
1	PT - 6	8 - 28 Kg / cm ²	DIAFRAGMA	ACERO INOXIDABLE 316	17.5 Kg / cm ²	LINEA DE VAPOR

INSTRUMENTOS DE TEMPERATURA

DESCRIPCION : TRANSMISOR CIEGO
CAJA : A PRUEBA DE EXPLOSION
COLOR : ESTANDAR FABRICANTE
MONTAJE : AL RAS
ALIMENTACION : 24 VOLTS DE CORRIENTE ALTERNA
TIPO : ELECTRONICO
SALIDA : 4 - 20 mA
ELEMENTO DE MEDICION

TIPO DE TERMO PAR : K
COMPENSACION POR JUNTA DE REFERENCIA : SI

CANT.	IDENT.	RANGO	TIPO TERMO PAR	TERMOPOZO CONICO ROSCADO	LONGITUD INSERCIÓN U	TEMPERATURA DE OPERACION	SERVICIO
1	TI - 5	200 - 400 °C	K	ACERO INOXIDABLE 316	7 1/2 "	313 °C	SALIDA CARGA Ba - 481

INSTRUMENTOS MISCELANEOS

SELECTOR MANUAL

TIPO : ELECTRONICO

MONTAJE : AL RAS EN TABLERO, ADECUADO PARA AREAS
DE PROPOSITO GENERAL.

TIPO : DOS POSICIONES DE TIPO SOSTENIDO

CANTIDAD Y TIPO DE CONTACTOS : DOS CONTACTOS
NORMARMENTE ABIERTOS
Y DOS NORMALMENTE
CERRADOS

FUNCION : SELECCIONA UNA ENTRE DOS SENALES DE
INSTRUMENTOS DE 4 A 20 MA

LEYENDAS : PARA LA PRIMERA POSICION : PC - 4
PARA LA SEGUNDA POSICION : PC - 3

REVISION	CANTIDAD	IDENTIFICACION
0	1	HS - 5

CONTROLADOR ELECTRONICO

DESCRIPCION : CONTROLADOR ELECTRONICO CONFIGURABLE
ALIMENTACION : 24 VOLTS DE CD
TAMANO : 3X6"
ENTRADA : 4-20 mA
SALIDA : 4-20 mA
MODOS DE CONTROL : SEGUN EL CASO
CLASIFICACION ELECTRICA : PROPOSITO GENERAL
RANGO DE LA ESCALA : CONFIGURABLE
SINTONIA : AUTOSINTONIZABLE
ACCION DE CONTROL : INVERSA O DIRECTA SEGUN EL CASO
SET POINT : LOCAL Y/O REMOTO SEGUN EL CASO
REPETICIONES : 0.5 A 25 REP/MIN
BANDA PROPORCIONAL : 0-500 %
ACCESORIOS : SI LOS NECESARIOS PARA MONTAJE EN TABLERO

CANTIDAD	IDENTIFICACION	RANGO DE RELACION	MODO DE CONTROL / ACCION	SERVICIO	NOTAS
1	PC-3		PI / INVERSA	ALIMENTACION GAS	
1	PC-4		PI / INVERSA	ALIMENTACION COMBUSTIBLE	
1	TC-5		PID / INVERSA	SALIDA DE BA-401	2
1	ER-6	8.1 A 3		RELACION COMBUSTIBLE-VAPOR	1
1	PDC-6		PI / DIRECTA	CONTROL DE PRESION DE VAPOR ATOMIZADO	

NOTAS :

- 1.- ESTE INSTRUMENTO SE ADQUIRIRA CON EL MISMO MODELO DE LOS DEMAS CONTROLADORES, PERO SE LE CONFIGURARA COMO ESTACION DE RELACION
- 2.- EL TIEMPO DE ADELANTO DE ESTE CONTROLADOR SERA DE 0.01 A 3 MINUTOS

CONVERTIDORES

DESCRIPCION : CONVERTIDOR DE SENAL SEGUN EL CASO
 CLASIFICACION ELECTRICA : PROPOSITO GENERAL
 EXACTITUD : 0.1 %

CANTIDAD	IDENTIFICACION	ENTRADA	SALIDA	ALIMENTACION	SERVICIO
1	PV - 3	4 - 28 mA	8.21 A 1.85 Kg / cm ²	1.4 Kg / cm ²	ALIMENTACION GAS COMBUSTIBLE
1	PV - 4	4 - 28 mA	8.21 A 1.85 Kg / cm ²	1.4 Kg / cm ²	ALIMENTACION COMBUSTOLEO
1	PDY - 6	4 - 28 mA	8.21 A 1.85 Kg / cm ²	1.4 Kg / cm ²	RELACION COMBUSTOLEO - VAPOR

INTERRUPTORES DE PRESION

CAJA : A PRUEBA DE EXPLOSION
ELEMENTO INTERRUPTOR : DOBLE POLO, DOBLE TIRO
MATERIAL DEL DIAFRAGMA Y ANILLO 'O' : BUNA "N"
MATERIAL DEL PUERTO DE PRESION : ACERO INOXIDABLE 316
TAMANO DE LA CONEXION : 1/2" NPT
ACCESORIOS : PLACA DE IDENTIFICACION FIJA Y
RECUBRIMIENTO EPOXICO PARA LA CAJA

IDENTIFICACION	RANGO DE OPERACION	PUNTO DE DISPARO	SERVICIO
PSL-3	8 - 5 Kg / cm ²	8.878 Kg / cm ²	ALIMENTACION DE GAS COMBUSTIBLE
PSL-4	8 - 5 Kg / cm ²	8.878 Kg / cm ²	ALIMENTACION DE GAS COMBUSTIBLE A PILOTOS
PSL-8	8 - 12 Kg / cm ²	3.52 Kg / cm ²	ALIMENTACION DE COMBUSTIBLE

VALULAS DE CONTROL

No. IDENTIFICACION	PV - 3	PV - 4	FDV - 6
No. LINEA	3" GC783 - AAA	1 1/2" C0782 - AAA	2" UN789 - B3A
CUERPO			
TAMANO CUERPO - TAMANO PUERTO	2" - 2 5/16"	1" - 1/2"	1" - 1 1/2"
TIPO	ED - 66	ES - 667	ES - 657
MATERIAL	ACERO AL CARBON	ACERO AL CARBON	ACERO AL CARBON
CONEXIONES EXTERNAS	15B # RF	15B # RF	38B # RF
BONETE	PLANO	PLANO	PLANO
GRASERA	NO NO	NO NO	NO NO
EMPAQUE O SELLO	TEFLON	TEFLON	GRAFOL
GIJAS ESPECIALES	NO	NO	NO
INTERIORES			
MATERIAL	17 - 4PH - SST	17 - 4PH - SST	17 - 4PH - SST
No. PUERTOS	UNO BALANCEADO	UNO	UNO
TIPO DE TAPON	= X	= X	= X
ASIENTO Y TAPON	416 SS	416 SS	316 SS & ALLOY 6
ACCION			
CIERRA ABRE PSIG	3 15	3 15	15 3
	CIERRA	CIERRA	ABRE
CONDICIONES DE OPERACION			
FLUIDO	GAS	LIQUIDO	VAPOR
GASTOS : MINIMO - MAXIMO	49623 - 74473	5 - 13	728 - 983
GASTO NORMAL	57886	6	855
PRESIONES : MAXIMA ENTRADA O SALIDA NORMAL	43.6 28	128 188	243.4 138
OP MAXIMA DISENO	23.6	28	113.4
TEMPERATURAS MAXIMA - NORMAL	68	245	598
DENSIDAD RELATIVA A 68° F	8.63 8.59	1.8 8.98	8.62 8.387
VISCOSIDAD A T.F. CENTIPOISES	8.01	35	8.822
FILTRO REGULADOR	S1	S1	NO
POSICIONADOR	B1	B1	NO
OTROS ACCESORIOS	NO	NO	NO

VALVULAS DE CONTROL

No. IDENTIFICACION	SU - 3	SU - 4	SU - 8
No. LINEA	3" GC783 - AAA	1 1/2" C0782 - AAA	1" GC783 - 1 - AAA
CUERPO			
TAMANO CUERPO - TAMANO PUERTO	3" - 3 7/16"	1 1/2" - 1 3/4"	3/4"
TIPO	E7 - 667	EK - 667	9SL
MATERIAL	ACERO AL CARBON	ACERO AL CARBON	ACERO AL CARBON
CONEXIONES EXTERNAS	158 # RF	158 # RF	ROSCADAS
BOMETE	PLANO	PLANO	
GRASERA	NO NO	NO NO	
ENPAQUE O SELLO	TEFLON	TEFLON	
GUIAS ESPECIALES	NO	NO	
INTERIORES			
MATERIAL	17 - 4PH - SST	17 - 4PH - SST	ACERO INOXIDABLE
No. PUERTOS	UNO	UNO	UNO
TIPO DE TAPON	APERTURA RAPIDA	APERTURA RAPIDA	
ASIEN TO Y TAPON	316 SST TP/416 SS	316 SST TP/416 SS	
ACCION			
CIERRA ABRE PSIG	3 15	3 15	
	CIERRA	CIERRA	
CONDICIONES DE OPERACION			
FLUIDO	GAS	LIQUIDO	GAS
GASTOS : MINIMO - MAXIMO	19623 - 74473	5 - 13	908 - 1388
GASTO NORMAL	57806	6	1288
PRESIONES : MAXIMA ENTRADA O SALIDA NORMAL	43.6 43.6	188 188	43.6 6.5
ΔP MAXIMA DISENO		MINIMO	37.1
TEMPERATURAS MAXIMA - NORMAL		68 245	68
DENSIDAD RELATIVA A 68° F	0.62 0.59	1.8 0.98	0.62 0.59
VISCOSIDAD A T.F. CENTIPOISES	8.81	35	8.81
FILTRO REGULADOR	NO	NO	
POSICIONADOR	SI	SI	
OTROS ACCESORIOS	VALVULA SOLENOIDE DE 3 VIAS	VALVULA SOLENOIDE DE 3 VIAS	VALVULA SOLENOIDE DE 3 VIAS

VALVULA DE SOLENOIDE

ESPECIFICACIONES GENERALES

IDENTIFICACION : SU - 3, SU - 4, SU - 8
CANTIDAD : 3
TIPO : 3 VIAS

OPERACION

TOTALMENTE ELECTRICO : SI
ENERGIZADA : SI
REAJUSTE MANUAL : NO

CARACTERISTICAS ELECTRICAS

ALIMENTACION : 120 UCA, 60 Hz.
CONEXION : 1/4" NPT
TIPO DE AISLAMIENTO : ESTANDAR FABRICANTE
TIPO DE CAJA : APRUEBA DE EXPLOSION

CUERPO

MATERIAL : BRONCE FORJADO
CONEXION : 1/4" NPT
ORIFICIO : 1/4"
MATERIAL ASIEN TO : BUNA "N"
MATERIAL EMPAQUE : BUNA "N"
FILTRO REGULADOR : NO

CONDICIONES DE OPERACION

FLUIDO : AIRE DE INSTRUMENTOS
PRESION : 100 Psig
TEMPERATURA : 100 °F

NOTAS:

- 1.- BOBINA NORMALMENTE ENERGIZADA

CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

La energía térmica es el medio por el cual la industria en general efectúa procesos de transformación, ya sea físicos o químicos. Es importante conocer y entender el funcionamiento y principios en los que se basa el diseño y la operación de uno de los equipos de generación de energía más importantes como lo es el calentador a fuego directo.

La importancia de los calentadores radica en las grandes cantidades de calor que genera, la inversión por la adquisición del equipo y los altos costos de operación.

De lo anterior, se establecen las necesidades que deben tenerse en cuenta para poder diseñar y operar un CAFD, las cuales se enumeran a continuación:

1.- Para poder instrumentar un CAFD es necesario conocer el proceso al cual va integrarse.

2.- Es necesario hacer un estudio de la versatilidad que proporcionan diferentes sistemas de instrumentación.

3.- Es importante analizar la confiabilidad, durabilidad y facilidad de mantenimiento del sistema, tomando en cuenta los siguientes aspectos: protección del personal, facilidad de instalación, operación y mantenimiento, la mínima contaminación ambiental y la seguridad de la planta.

4.- Finalmente es conveniente hacer notar que existe en nuestro país una fuerte necesidad de personal altamente calificado en el diseño, así como en la instalación, operación y mantenimiento de los sistemas de control y en los futuros sistemas a emplearse en plantas de refinación, petroquímica y en general de proceso.

En estudios muy recientes se tienen visualizadas varias tecnologías para aplicación en estos equipos, que parten del principio del ahorro de energía, cabe mencionar dos de las más importantes:

- Alimentación de aire enriquecido en oxígeno al 35 % en volumen (enriquecimiento del 14 %) al hogar del calentador, lográndose una mayor temperatura de flama. Esto es factible en calentadores a fuego directo y calderas tanto de diseño actual, como de nuevo diseño. Analizando económicamente esto, se señala que la implantación será rentable sólo en calentadores a fuego directo -

con nuevo diseño con capacidades superiores a 30 mMBTU/hr.

- El empleo de sistemas de precalentamiento de aire cuya aplicación se deberá analizar dependiendo del caso. Por la novedad del empleo de estos sistemas en calentadores a fuego directo, representan un reto en su problemática tanto para el personal operativo como de mantenimiento.

Estas tecnologías pueden ser la base de futuros trabajos como el que aquí se concluye y con esto ampliar los horizontes en el manejo y la operación de equipos tan versátiles como lo son los Calentadores a Fuego Directo.

BIBLIOGRAFIA

BIBLIOGRAFIA

- * API RP 550
Manual on installation of refinery instruments and control systems
Part III Fired heaters and inert gas generators
Refining Department of American Petroleum Institute
Third Edition 1987
- * Combustion Handbook
North American MPG Co. Cleveland Ohio, Second Edition.
- * Copes & Vulcan company
Cleaning the fired heaters SD-2D
One of the White Consolidated Industries
Rev. 8\77
- * Copes & Vulcan Inc. White Consolidated Industries
Installation, operation & maintenance instructions
Form SRV2 Rev. 8\77
- * Don Charlton
Select safe shutdown system for fired heaters
Hydrocarbon Processing vol. 44 No.5 1965
- * Ernest E. Ludwig
Applied process design for chemical and petrochemical plants
Vol. I,II,III
Gulf Publishing Co. 1983
- * Engineering Standard M30-S
Typical Steam piping for furnaces
For standard Div. The M\W\ Kellogg Company 1-19-53
- * Douglas M. Coinsidine
Manual de instrumentación aplicada Tomo I
Compañía Editorial Continental 1986, México.
- * Shinsky F.G.
Process Control Systems
Mc Graw Hill Co. 1967
- * Kallen, Howaard P.
Handbook of instrumentation and controls
Section 9 Boilers instrumentation and control systems
Mc Graw Hill Book Co. 1986
- * Bela G. Liptak
Instrumentation in the processing industries
Section 8.12 Furnace and Reformer Controls
Chilton Book Co. 1986
- * A.R. Aalworth
Boiler control via process control techniques
ISA Conference and exhibit Houston, Tex. Paper 73-639

- * Feed, R.D.
Furnace Operations
Gulf Publishing Co.
Houston, Tex. 1973
- * Herbert L. Berman, Caltey Petroleum Corporation
Fired Heaters -IV
Chemical Engineering September 11, 1978
- * Instituto Mexicano del Petróleo
Subdirección de Ingeniería de Proyectos de Plantas
Industriales
Sistemas de control de generadores de vapor con sistemas de
combustion de gas y combustóleo
Práctica de ingeniería No. ECDA-0.002 (21-07-83) Rev.0
- * Instituto Mexicano del Petróleo
Subdirección de Ingeniería de Proyectos de Plantas
Industriales
Fabricación e integración de calentadores a fuego directo
Práctica de Ingeniería No. ECDE-007 (5-12-84) Rev. 0
- * Petroleos Mexicanos
Gerencia de Proyectos de Construcción
Especificaciones generales para el sistema de control de
calderas con sistemas de combustión de gas, combustóleo y
asfalto.
Norma No. C-1002 Rev.0
- * Vincent G. Gomes, Mc Gill University
Controlling Fired Heaters
Chemical Engineering, January 1985
- * W.L. Nelson
The refiners notebook Firing oil
A weekly feature of the oil and gas journal
February 15, 1947
- * Herbert L. Berman
Fired Heaters I, Construction, Materials, Mechanical Features,
Performance monitoring.
Chemical Engineering, July 31, 1973
- * Lewis F. Hatch, Sami Matar.
From Hydrocarbons to Petrochemicals
Hydrocarbon Processing August, 1978
- * Manual de diseño térmico de hornos.
Elaborado por el Instituto Mexicano del Petróleo (IMP) 1988
- * Pierre F. Gunder
Evaluation, Selection and Testing of process heaters
ASME publication
May, 26 1969

- * Walter E. Lobo, James E. Evans
Heat Transfer in the radiant section of petroleum heaters
American Institute of Chemical Engineers Vol. 36 # 2
- * Catalogo de la serie de instrumentos electronicos MOD 30
ASEA BROWN BOVERI KENT TAYLOR 1990 U.S.A.
- * Catalogo # 10
FISHER CONTROLS Co. 1989 U.S.A.
- * Catalogo de Interruptores de Presión
STATING O' RING 1989
- * Curso de Control Automático
Sociedad de Instrumentistas de América, Región México
México Sept. 1987.