

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE QUIMICA

**AUTOMATIZACION: SU NECESIDAD, PROYECCION
Y RECURSOS PARA PLANTAS DE PROCESO**

T E S I S
Que para obtener el título de:
INGENIERO QUIMICO:
p r e s e n t a .
CARLOS GUILLERMO CECENA CERVANTES

México, D. F.

1973



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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 esta 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.

ANU. _____
DE _____
CCHA. _____
REG. _____
e _____

Tesis
1973
1907. 0067



QUIMICA

A MI MADRE

Sin quien, nada...

A MI PADRE,

con gran cariño y

profunda admiración.

A OLGA Y JOSE LUIS

Con entrañable cariño.

A REBECA,

con todo mi amor.

A ROCIO Y ADRIANA,

los frutos más preciados
de mi vida.

Jurado asignado originalmente:

Presidente	Ing. Octavio Figueroa Arechavaleta
Vocal	Ing. Pablo Barroeta Gonzalez
Secretario	Ing. Francisco Rocha Treviño
1er Suplente	Ing. Daniel Cervantes Martinez
2o Suplente	Ing. Antonio B. Almanza Cantero

Sitio donde se desarrolló el tema: Ingeniería Panamericana S.A

Sustentante	Carlos Guillermo Ceceña Cervantes
-------------	-----------------------------------

Asesor	Ing. Pablo Barroeta Gonzalez
--------	------------------------------

The image shows two handwritten signatures. The top signature is in cursive and appears to be 'C. Ceceña'. The bottom signature is also in cursive and appears to be 'P. Barroeta'. Both signatures are written in black ink.

INDICE

- I Introducción
- II Principios y necesidad de la automatización
 - 2.1 Generalidades
 - 2.2 Automatización y cibernética
 - 2.3 El concepto de retroalimentación
 - 2.4 Mecanismos de control
 - 2.4.1 Control con retroalimentación
 - 2.4.2 Control predictivo
 - 2.4.3 Combinación de control predictivo y con retroalimentación
 - 2.5 Razones para la aplicación de la automatización
 - 2.5.1 Mejoramiento de la calidad del producto
 - 2.5.2 Mejor aprovechamiento de materiales
 - 2.5.3 Seguridad para equipo y personal
 - 2.5.4 Inspección y control de calidad
 - 2.5.5 Optimización de sistemas
 - 2.5.6 Coordinación
- III Recursos para la aplicación de la automatización
 - 3.1 Instrumentación
 - 3.1.1 Medición-temperatura, flujo, presión y nivel-
 - 3.1.2 Elemento controlador
 - 3.1.3 Elemento final de control
 - 3.1.4 Instrumentos para otras funciones
 - 3.2 Computadoras digitales aplicadas al control automático
 - 3.2.1 Generalidades
 - 3.2.2 Datos sobre el empleo de computadoras en control
 - 3.2.3 Sistema de control con computadoras
 - A.- D.D.C.
 - B.- Control Supervisorio
 - 3.2.4 Operaciones generales de las computadoras de control de procesos
- IV Desarrollo de un proyecto de instrumentación
 - 4.1 Panorama general de un proyecto industrial
 - 4.1.1 Estudio técnico-económico
 - 4.1.2 Diseño
 - Ingeniería Básica
 - Ingeniería de Detalle
 - 4.1.3 Construcción arranque y pruebas
 - 4.1.4 Operación

- 4.2 Desarrollo del proyecto de instrumentación
- 4.2.1 Definición de los criterios a seguir durante el proyecto
- 4.2.2 Información que maneja el grupo de instrumentación de un proyecto
 - A.- Diagramas de Flujo
 - B.- Diagramas de Gasa
 - C.- Especificaciones de Instrumentos
 - D.- Especificaciones y Planos de Tableros de Control
 - E.- Planos de Localización de Instrumentos y Rutas de Señales.
 - F.- Detalles Típicos de Instalación
- 4.2.3 Relaciones del grupo de instrumentación con los otros grupos de un proyecto
- 4.2.4 Construcción y arranque
- V Análisis de los sistemas de control para procesos convencionalmente empleados en la industria
- 5.1 Sistemas de control en una columna de destilación
- 5.2 Análisis de la instrumentación requerida en un generador de vapor
- 5.3 Sistemas de control en un cambiador de calor
- VI Conclusiones
- Bibliografía

CAPITULO I

INTRODUCCION

La industrialización debe ser un elemento fundamental dentro del proceso del desarrollo económico de los países que, como el nuestro, padecen una economía subdesarrollada fomentada en que por siglos ha dependido exclusivamente de su producción agrícola, minera, pesquera, artesanal, etc., sin la intervención decisiva de la producción industrial en gran escala.

Los países que sí han desarrollado su industria son, por ello, los más adelantados y han sacado ventaja de esta posición de privilegio ejerciendo un dominio económico sobre los primeros, situación grandemente indeseable y grave ya que sin independencia económica no puede haber independencia política y por tanto sufrimos una dominación que no por pacífica y velada es menos alarmante y efectiva que una invasión material de un territorio nacional.

Y uno de los principales elementos para lograr una industria cada vez en mayor escala y más productiva es la automatización ya que es evidente que el perfeccionamiento del trabajo del hombre se vé limitado por las posibilidades fisiológicas de sus músculos y su sistema nervioso, motivo por el cual solo cuando los instrumentos manuales son reemplazados por las máquinas, el proceso laboral se perfecciona y puede alcanzar un ritmo incomparablemente más veloz.

Es por esta razón que es importante el difundir e impulsar el desarrollo y la aplicación de las mejores técnicas para la implantación de sistemas automáticos de control en toda instalación industrial incluyendo, naturalmente, las de procesos químicos que son hacia las que está enfocado este trabajo, en el que, para cumplir con estos objetivos, se plantearán en primer lugar, un panorama general sobre la necesidad y los beneficios que se obtienen de la aplicación del control automático en plantas de proceso; en segundo lugar, se describirán los equipos que normalmente se utilizan para la medición y el control de las variables que más comúnmente se manejan en un proceso industrial, así como los principios generales en que están basados; en tercer lugar, se establecerán los pasos y criterios generales que deben seguirse en el desarrollo de un proyecto industrial para la implantación de los sistemas automáticos de control del proceso, y por último, se darán algunos ejemplos sobre la aplicación de controles automáticos a algunos procesos comunes en la industria química, discutiendo y analizando las consideraciones que deben hacerse para elegir el mejor sistema de control para diferentes condiciones y características de los procesos.

Esperamos, por otra parte, que este trabajo pueda servir de guía para el desarrollo de estudios y proyectos para el establecimiento de sistemas automáticos de control en plantas de proceso y, al mismo tiempo, para impulsar el estudio y aplicación de la automatización como un medio de lograr tanto un desarrollo económico nacional cuanto una liberación del hombre de trabajos que lo enajenan y le impiden desarrollarse plenamente como tal.

CAPITULO II

PRINCIPIOS Y NECESIDAD DE LA AUTOMATIZACION

2.1 GENERALIDADES

El control automático es estudiado por la Cibernética a la cual Wiener definió como "La Ciencia del Control y la comunicación entre los seres vivos y las máquinas."

La Cibernética se ocupa de estudiar los sistemas de cualquier naturaleza capaces de percibir, conservar y transformar información y utilizarla para la dirección y el control.

Partiendo de la definición dada en el Segundo Congreso Internacional de Cibernética (1958) de que "La Cibernética es el arte de asegurar la eficacia de la acción", podemos deducir que su estudio y aplicación industrial nos llevará necesariamente a lograr con un mínimo esfuerzo y un mínimo tiempo el máximo rendimiento y la máxima productividad, que es a final de cuentas lo que se persigue en una industria. Es fácil ver que con una Industria Nacional de estas características tendremos un impulso económico muy grande.

Debemos tender pues, al empleo de las técnicas que la Cibernética nos indica con el fin de optimizar nuestra producción industrial.

2.2 AUTOMATIZACION Y CIBERNETICA

La Cibernética de las máquinas se encuentra tan íntimamente ligada al automatismo que no pocos ingenieros especializados en automatismo han pretendido hacer de la Cibernética un capítulo del mismo. Sin embargo, por el contrario, las máquinas constituyen una parte del dominio de aplicación de la cibernética.

La función de una máquina es sustituir al hombre en una operación concebida por el hombre. En el efector que ejecuta la operación, es en donde el hombre es sustituido por la máquina. Pero el efector se encuentra adiestrado y controlado por otros órganos, que aseguran la guía de su acción; -- con no poca frecuencia, el hombre participa en esa tarea de guiarlo. Por ejemplo, en una planta donde se extruya hilo y se enrolle en carretes, cuando se rompe el hilo, el obrero hace las operaciones necesarias para volver a poner el hilo en su lugar y así restablecer la operación. Los órganos que guían, sean mecánicos o humanos son órganos cibernéticos.

Los órganos cibernéticos realizan entonces operaciones de información, operaciones mentales; y constituyen los sustentos de las informaciones implicadas en esas operaciones. Dichos órganos sustituyen al hombre en la ejecución de operaciones mentales.

De lo anterior podemos concluir que, en cualquier máquina:

- a) El efector sustituye al hombre en la función esencial de la máquina; una máquina siempre es automática en la ejecución de su función esencial.
- b) Los órganos cibernéticos sustituyen al hombre en algunas de las operaciones guiadoras; una máquina es más o menos automática según sea el número y la importancia de las operaciones guiadoras automatizadas.

En todos los casos, el automatismo consiste en la ejecución mecánica de operaciones de información, - es decir, en la sustitución del hombre por órganos mecánicos en la ejecución de operaciones mentales.

2.3 EL CONCEPTO DE RETROALIMENTACION

Todo sistema automático está necesariamente compuesto de elementos unidos entre sí por la cadena de acciones causa-efecto.

Toda máquina es un ejemplo del sistema de elementos acoplados en los cuales la interacción causa-efecto se realiza según los principios de la mecánica o de la electromecánica. El funcionamiento de un elemento induce el funcionamiento de otro elemento anexo a él lo que a su vez influye en los elementos conectados con él directa ó indirectamente.

Y precisamente la Cibernética suele definirse también como la "Ciencia de la Dirección ó Control de los sistemas de -- acoplamiento."

Vamos a explicar, a partir de lo expuesto anteriormente, lo que es la retroalimentación:

Consideremos un determinado sistema controlado S que puede ser desde un sistema sencillo como un cambiador de calor, o una compresora de aire, hasta un sistema complejo como una torre de destilación ó un reactor, el cual es afectado por cierto tipo y número de variables - cantidad de vapor, presión en el sistema, etc. -que producen, como resultado, un efecto determinado como puede ser el cambio de temperatura de cierto fluido a la salida del cambiador de calor.

Supongamos que dicho efecto influye en un sistema que llamaremos regulador R que, por la misma secuencia indicada - para S, nos dará ciertos resultados que a la vez influyen sobre el sistema de control considerado. Precisamente a esta "acción reversiva" producida por la relación causa-efecto es a lo que llamamos retroalimentación, que se establece entre el funcionamiento del sistema controlado S y del sistema controlador R.

Según W. Ross Ashby en su "Introducción a la Cibernética", la relación representada por:

$$\text{Ec. (2.1)} \quad P \rightarrow R$$

Significa que el sistema P afecta al sistema R mientras que R no tiene efecto alguno sobre P.

Y por otro lado, la relación:

$$\text{Ec. (2.2)} \quad S \rightleftarrows R$$

Representa dos sistemas que se afectan mutuamente. Cuando esta relación existe, entre las partes de un sistema dinámico, se dice que hay retroalimentación ("Feedback").

Esta relación simple que nos plantea Ashby reviste una particular importancia dado que nos da la pauta de poder considerar todo sistema que se pueda representar en esa forma, como un "sistema retroalimentado", el cual podemos estudiar como un "sistema cibernético". Y ya que todos estos sistemas sean físicos, químicos, económicos, etc. responderán a los mismos principios y conceptos generales, su estudio y solución se simplifica. Y es esta, precisamente, una de las grandes aportaciones de la Cibernética: el descubrimiento de la semejanza y de los principios generales a los que se subordinan los sistemas de acoplamiento, hecho que ha dado grandes resultados tanto teóricos como prácticos. La importancia teórica de este descubrimiento consiste en que se ha demostrado la existencia de la "analogía" estructural ó, expresado en lenguaje matemático, el "isomorfismo" de los procesos que se originan en las diferentes ramas de la vida, como son: la técnica, la biología, la economía, etc.

2.4 MECANISMO DE CONTROL

Un sistema controlado implica necesariamente que el funcionamiento del mismo se llevará a cabo dentro de ciertos límites pre-establecidos. Si estos límites no se exceden, - el control es adecuado.

Para lograr este control adecuado de un proceso es necesario determinar primero, las variables que se deben controlar; segundo, los mecanismos de control, y tercero, el mejor método de aplicación práctica de los mecanismos de control definidos teóricamente.

2.4.1 Control con Retroalimentación.

Ahondando en la explicación de la retroalimentación, vamos a representarla por medio de un diagrama de bloques (Fig. 2.1)

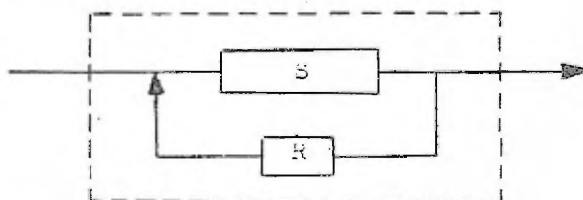


Fig. 2.1

En donde el rectángulo con la letra S representa el sistema controlado y el rectángulo con la letra R representa el sistema controlador. Todo mecanismo compuesto por un sistema controlado y un sistema controlador (encerrado en línea punteada) se le llama "mecanismo de control". En este diagrama la acción reversiva del controlador R se superpone al estado de la entrada del sistema controlado S.

Cada uno de estos sistemas es afectado por ciertas variables ó causas exteriores por las cuales los sistemas reaccionan de alguna manera. Estos estados exteriores influyen sobre los sistemas, mediante determinadas "entradas"; por el contrario, a los estados determinados del sistema, que influyen sobre el ambiente exterior (medio), se les conoce con el nombre de "salidas". Por ejemplo, las entradas a un cambiador de calor son el flujo de dos fluidos a diferente temperatura y las salidas son los mismos fluidos a temperaturas diferentes.

Vamos a representar los estados de las entradas y las salidas por letras como se indica en las Fig. 2.2 y 2.3 en donde se indican sistemas con una sola entrada y una sola salida y varias entradas con varias salidas respectivamente.



Fig. 2.2



Fig. 2.3

Analizando lo que sucede dentro del sistema vemos que a él entra cierta acción determinada por X y sale una acción determinada por Y , por lo que podemos decir que en el sistema se efectúa cierta transformación que podemos representar por la forma:

$$\text{Ec. (2.3)} \quad Y = T X$$

En general, la transformación que se realiza dentro de un sistema cualquiera puede describirse por medio de cierta función $Y = F(X)$ que establece la relación entre cada estado de la entrada X , al estado de la salida Y . A esta relación matemática se le llama función de transferencia.

Considerando que todo sistema puede ser descrito por esta relación entre el estado de su salida y el de su entrada vamos a definir, para un proceso dos grupos diferentes de entradas y un grupo de salidas. Las salidas son las variables y que serán reguladas por el grupo de entradas conocidas como variables manipuladas X_2 . El otro grupo de entradas lo forman los componentes de la carga X_1 .

De acuerdo con ésto y volviendo a nuestro sistema de control $S \rightleftharpoons R$, vemos que en el sistema controlado S se efectúa la transformación de la entrada X en el estado de la salida Y , que podemos representar por:

$$\text{Ec. (2.4)} \quad Y = S X$$

Ahora veamos el diagrama de bloques representado en la figura 2.4

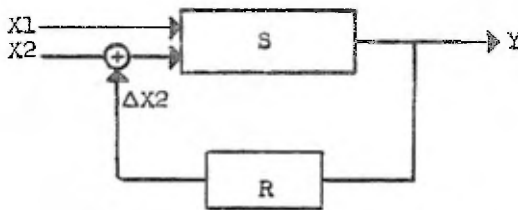


Fig. 2.4

Como puede observarse, y como ya se indicó anteriormente, - el estado de la salida Y del sistema controlado S se halla a la entrada del controlador R , que lo transforma en el estado de la salida X_2 , es decir:

$$\text{Ec. (2.5)} \quad \Delta X_2 = RY$$

El estado de la salida del controlador R se superpone al - valor de la entrada X_2 del sistema S . La relación entre - el valor de la entrada y el valor de la salida X_2 de R la podemos considerar como: $X_2 + \Delta X_2$. La corrección ΔX_2 de la entrada del sistema S depende directamente del estado de la salida y el valor deseado del estado de la salida del sistema controlado S la llamaremos " Z " (también conocida en términos de regulación como punto de ajuste ó "set - point"). La selección y funcionamiento adecuados del controlador R consiste en que la corrección ΔX_2 produzca la - compensación de toda desviación del estado de la salida Y respecto al valor fijo y conduzca al estado de salida del sistema controlado al valor dado, es decir, a $Y = Z$ (estado de la salida igual al valor Z predeterminado).

La relación dada por $S = Y/X$ se denominará, como ya dijimos, "función de transferencia del sistema". Naturalmente, los números X y Y pueden medirse en unidades diferentes. Por ejemplo, X_2 puede significar la cantidad de vapor en - kilogramos que se introduce en una máquina de vapor por segundo y Y el número de revoluciones de la máquina por segundo. Entonces la razón de transformación como también - se le llama $S_{X_2} = Y/X_2$ está determinada en "revoluciones - por segundo que corresponden a un kilogramo de vapor por - segundo".

De acuerdo con las consideraciones anteriores, tenemos que el estado de la salida del sistema controlado tiene el valor final de:

$$\text{Ec. (2.6)} \quad Y = S_{X_2}(X_2 + \Delta X_2) = S_{X_2}(X_2 + RY) = S_{X_2}X_2 + S_{X_2}RY$$

De aquí se deduce que:

$$\text{Ec. (2.7)} \quad Y = \frac{S_{X2}}{1 - S_{X2}R} X2$$

Esta es la fórmula fundamental de la teoría del control con retroalimentación, e indica la relación existente entre el estado de salida Y , y el estado de entrada $X2$ del sistema controlado S después de verse afectado por la corrección introducida por el controlador R .

Esta fórmula permite determinar cual debe ser el estado de la entrada, o sea de la magnitud que se controla $X2$ para - que, en presencia de las magnitudes dadas S y R podamos obtener el resultado deseado $Y = Z$, o sea, para que el estado de salida del sistema controlado sea igual al valor previsto. Por lo tanto haciendo $Y = Z$ en Ec (2.7) y despejando tenemos:

$$\text{Ec. (2.8)} \quad X2 = \frac{1 - S_{X2}R}{S_{X2}} Z$$

Si la magnitud que se controla $X2$ es también conocida, entonces podemos determinar la razón de la transformación R del controlador, necesaria para obtener el valor dado $Y = Z$. Es decir:

$$\text{Ec. (2.9)} \quad R = \frac{Z - S_{X2}X2}{S_{X2}Z}$$

Resulta pues que la acción de los llamados sistemas lineales de control puede determinarse por medio de la Ec. (2.7)

La expresión $\frac{S_{X2}}{1 - S_{X2}R}$ se denomina "razón de la transformación del sistema de control".

Con la expresión de la Ec. (2.9) se ve claramente en qué consiste el papel específico del controlador. Si la Ec. (2.9) la ponemos como:

$$\text{Ec. (2.9a)} \quad Y = \frac{1}{1 - S_{X2}R} S_{X2}X2$$

vemos fácilmente que si no existiera el sistema de control ($R=0$), entonces la razón de transformación del sistema de control sería S . Es decir, el controlador hace que se multiplique el segundo miembro de la Ec. (2.4) $Y = S_{X2}X2$ por el factor $1/(1-S_{X2}R)$ que caracteriza el funcionamiento del controlador. Este factor que expresa la acción de la retroalimentación que se verifica en el sistema de control, es llamado multiplicador (u operador) de la alimentación. Multiplicando por dicho factor transformamos la razón de transformación del sistema controlado en la razón de transformación del sistema de control.

2.4.2 Control Predictivo

Como se ve, el control con retroalimentación se basa en la detección de una desviación de la variable del valor deseado, es decir, de un error, para que pueda empezar a ejercer una acción correctiva sobre el sistema controlado, además de que un control con retroalimentación ignora el factor más importante del sistema: la carga (ver Eq. 2.9), es decir, es un sistema "ignorante" que además resuelve los problemas que se presentan por "prueba y error". Consecuentemente este tipo de control está, desde la teoría, muy lejos de poder darnos un control perfecto.

Naturalmente que para un gran número de aplicaciones este tipo de control no sólo no es insatisfactorio sino que ha demostrado ser mejor desde un punto de vista práctico, en donde se tiene límites más ó menos amplios de trabajo de las variables y en donde las oscilaciones producidas por el ya mencionado sistema de prueba y error en base al cual trabaja este tipo de control, no afectan los resultados.

Sin embargo, nuestra intención es indicar cuales son las limitaciones de éste sistema, ya que definitivamente muchos procesos requieren y pueden aprovechar ventajosamente un sistema superior de control.

Y es precisamente el objetivo del control predictivo el que se pueda tomar una acción correctiva antes de que se produzca un error en la variable controlada, mediante el conocimiento y manejo adecuados del comportamiento de la carga del proceso.

Por este medio se puede conseguir un control muy cercano a lo ideal, limitado solamente a la exactitud de las mediciones y a los cálculos hechos por el equipo.

2.4.2.1 Teoría del Control Predictivo.

Como ya se dijo, cualquier proceso puede ser descrito en función de las relaciones entre sus salidas y dos grupos diferentes de entradas.

A causa de que las variables de entrada tienen acceso al proceso en diferentes puntos, cada una afecta a la variable que se desea controlar de diferente manera. La Ec. (2.10) describe un proceso de 3 variables:

$$\text{Ec. (2.10)} \quad Y = X_2 S_{X_2} - X_1 S_{X_1}$$

En esta relación, S_{X_1} y S_{X_2} son las funciones de transferencia del sistema que representan respectivamente Y/X_1 y Y/X_2 .

Cada una tiene un componente dinámico g y un componente estático f :

$$S_{X_1} = f_{X_1} g_{X_1} \quad S_{X_2} = f_{X_2} g_{X_2}$$

Como también se dijo, el propósito del control es el de mantener la variable controlada en algún valor de referencia Z , esto es, se debe obtener $Y = Z$. Rearreglando la Ec. (2.10) se puede encontrar la ecuación de control que satisface este criterio:

$$\text{Ec. (2.11)} \quad X_2 = (Z + X_1 S_{X_1}) / S_{X_2}$$

La Ec. (2.11) es la que el sistema R de control anticipatorio debe resolver. Esta ecuación calcula el valor correcto de la variable manipulada, para cualquier combinación de la carga y el punto de ajuste.

Nótese en la Fig. 2.5 que la variable controlada no interviene para nada en el sistema de control. Es decir, no hay retroalimentación.

Comparando la Fig. 2.5 con la Fig. 2.4 podemos observar que la estructura general es semejante con la sola consideración de que en vez de trabajar con la señal de salida Y se trabaja con la señal de entrada X_1 .

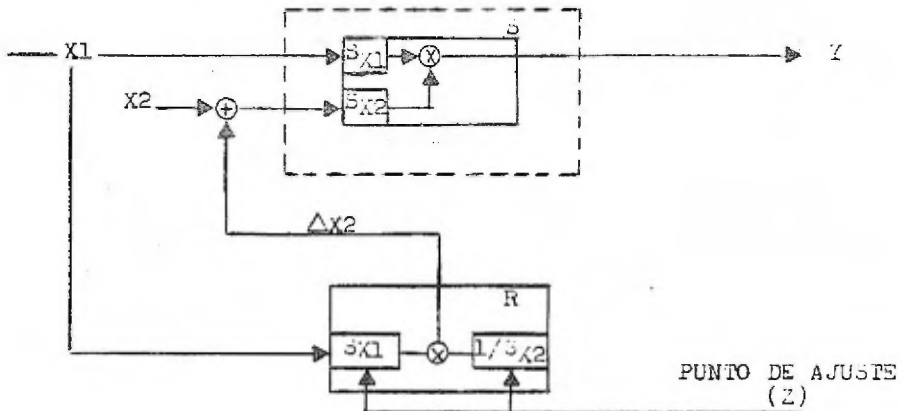


Fig. 2.5

En este tipo de control si el sistema controlador es un modelo perfecto del proceso, el valor deseado $Y = Z$ puede ser obtenido fácilmente. Pero de aquí surge la pregunta: ¿Qué tan perfecto debe ser el modelo?, es decir, ¿Qué tan perfecto realmente necesita ser? Las respuestas a estas preguntas de terminan la sencillez o sofisticación del sistema y naturalmente el costo de las instalaciones.

El sistema de control anticipatorio se ha empleado hasta la fecha solamente en algunas aplicaciones muy especializadas ó limitadas en procesos industriales, pero cada día se incrementa su empleo, conforme aumenta el conocimiento de la dinámica de los procesos.

El control anticipatorio requiere conocimiento de la magnitud y de las características dinámicas tanto de la variable manipulada cuanto de la variable de carga.

2.4.3 Combinación de control predictivo y con retroalimentación.

Como se ve, aunque el control anticipatorio sí toma en cuenta los cambios de carga del proceso, adolece del defecto de no considerar el valor de la variable de salida que es, en última instancia, lo que nos interesa. Es por esto que se han empezado a desarrollar técnicas de aplicación combinada de ambos sistemas.

En este caso si Y llegara a desviarse del valor prefijado Z, el controlador habría de ejercer una acción correctiva en función de tal situación.

En tal caso la Ec (2.11) quedaría:

$$\text{Ec. (2.12)} \quad X2 = (Z + K1 S_{X1}) / S_{X2} + R_Y Y$$

2.5 RAZONES PARA LA APLICACION DE LA AUTOMATIZACION

Naturalmente, las ventajas del empleo de controles automáticos a nivel industrial son tanto de tipo económico como técnico y social.

El control automático aplicado adecuadamente nos conducirá a la obtención de mejores productos a un costo menor y en menos tiempo. Sin embargo, los controles automáticos también se emplean grandemente en protección y seguridad tanto de personal cuanto de equipo.

Enseguida enlistamos algunos de los más importantes aspectos del empleo de controles automáticos en la industria.

2.5.1 Mejoramiento de la Calidad del Producto.

Es muy importante para los productos el lograr la mejor calidad de su producto, dado que de esta calidad dependerá que:

- (i) Su producto sea aceptado en el mercado nacional, especialmente si existen otras empresas que fabriquen un producto similar y que representen competencia.
- (ii) Gane prestigio y la confianza del consumidor, lo cual redundará necesariamente en mayores ventas.
- (iii) Pueda aspirar a competir en mercados internacionales y poder exportar sus productos con el consiguiente beneficio económico.

Son pues, obvias las razones por las cuales día con día se aumentan y se hacen más estrictas las normas_

de calidad.

Naturalmente, para lograr lo anterior, es necesario que se estrechen las tolerancias de las desviaciones de las propiedades finales deseadas.

Es pues necesario considerar sistemas de control - cada día más precisos para conseguir que los productos cumplan con las más estrictas especificaciones.

Son múltiples los ejemplos que se pueden citar a - este respecto, como es el caso de la extrusión del nylon en la cual se requiere que la temperatura en el tornillo de extrusión no varíe en más de $\pm 1^{\circ}\text{C}$, para poder obtener la máxima calidad.

Otro ejemplo es la necesidad de controlar de una - manera muy precisa, la viscosidad a la salida de un tornillo de extrusión de fibra poliéster ya que de esta variable depende directamente la calidad - de la fibra.

Asimismo la pureza de un producto químico depende de: (a) la proporción adecuada con que se mezclen los reactivos ya sea por peso o por flujo, (b) el mantener la presión constante en el recipiente, durante un cierto tiempo y (c) el ajuste del pH del producto final, agregándole un agente correctivo.

2.5.2 Mejor aprovechamiento de Materiales.

(i) Materias primas.

La adecuada dosificación y el adecuado manejo de - las materias primas permite el minimizar el desperdicio de materiales así como el tiempo de manejo de estos. Al mismo tiempo la automatización permite llevar un control y un registro de las cantidades alimentadas y del tiempo empleado, datos útiles tanto técnicamente cuanto para fines contables.

(ii) Servicios.

El Suministro de agua potable, agua helada, vapor, aire comprimido, gas inerte, etc. a un proceso, -- siendo adecuadamente controlado, nos proporcionará entre otras, las siguientes ventajas:

Ahorro de combustible.- Si la generación de vapor de una caldera por ejemplo, se regula de acuerdo con -

la demanda de vapor del proceso, no habrá desperdicio de combustible dado que se empleará únicamente lo que sea necesario para satisfacer la demanda.

Ahorro de agua.- El desperdicio de agua representa un gran problema y debe minimizarse, especialmente en las plantas que estén instaladas en lugares donde escasea el agua ó en lugares en donde ésta es muy dura y hay necesidad de instalar costosos sistemas de tratamiento de aguas, ya sea por los problemas propios de este tipo de agua como el de incrustaciones en tubería y equipos o porque el proceso requiera agua sin determinados materiales que puedan contaminar los productos. Es obvio, pues, la necesidad de llevar un buen control del suministro de este servicio.

Ahorro de energía eléctrica.- La correcta dosificación de estos servicios nos evitará el tener bombas, compresoras, etc., trabajando más de la cuenta, con el consiguiente ahorro de energía eléctrica ó de cualquier otro medio como son gasolina - bombas de gasolina - diesel, vapor - turbinas de vapor, etc.

Ahorro de gas inerte.- No es poco frecuente que en una planta se emplee algún gas - comúnmente Nitrógeno - para crear atmósferas inertes en equipos en donde por ejemplo se lleven a cabo reacciones que sean afectadas negativamente por el Oxígeno del aire. Es claro que la compra de este gas representa un gasto y que el desperdicio del mismo significará necesariamente pérdida de dinero, además de que -- sin contar con un control, se pone en peligro tanto la reacción como la seguridad de las instalaciones y del personal.

(iii) Productos

El mantener un control adecuado del proceso y por tanto lograr una buena calidad de los productos, nos conducirá necesariamente a una disminución de productos rechazados tanto por el Departamento de Control de Calidad como por los clientes, con el consiguiente aumento de eficiencia en la producción, disminución de material desperdiciado, eliminación de gastos de manejo de los productos rechazados, etc.

(iv) Desperdicios

Hay especialmente dos aplicaciones importantes que

considerar:

Hacer análisis, naturalmente por medio de instrumentos que son el medio de aplicación del control automático, de los subproductos, hasta asegurar la recuperación de las materias útiles que puedan comtener.

Este control y el retorno al proceso de los materiales que todavía puedan ser útiles -tantas veces como sea económicamente redituable - produce en muchas plantas beneficios económicos considerables.

Comúnmente los caudales de desperdicios son tirados al mar, a ríos, a lagos, etc. y como contienen materiales que pueden afectar a la fauna y la flora de esos lugares, es necesario neutralizarlos, - agregando las sustancias apropiadas.

Si esto se hace de una manera controlada, 1° se -- agregará la cantidad de sustancias necesarias para la neutralización de los materiales nocivos, es decir se evitarán desperdicios - y 2° se tendrá la seguridad de estar destruyendo todos los materiales indeseables, con la consiguiente seguridad de estar cumpliendo con una obligación moral -y en algunos casos, dependiendo de las leyes federales y estatales que rijan en el lugar - con un deber legal.

2.5.3 Seguridad para equipo y personal.

En gran cantidad de plantas industriales existen equipos y áreas completas en donde se presentan condiciones que - deben ser clasificadas como peligrosas. Tanques de altas presiones y temperaturas, equipos donde se produzcan vapores y gases explosivos ó venenosos, áreas en donde haya - fuego continuamente-quemadores de gases de desperdicio como en las refinerías, por ejemplo - etc. son ejemplos de sistemas que requieren instrumentos de detección de condiciones de peligro como pueden ser la presencia de concentraciones peligrosas de gases y vapores ó una falla de -- flama, para que actúen sobre sistemas de alarmas audibles y/o visuales y aún sobre mecanismos automáticos de protección, poniendo a funcionar sistemas contra incendio, arrancando sistemas auxiliares de ventilación, etc.

2.5.4 Inspección y Control de Calidad.

Este aspecto en la manufactura de un producto es muy importante dado que, dependiendo de que el control de calidad sea más o menos estricto, se podrá ofrecer al mercado

un producto más ó menos bueno.

Para realizar tal control es necesario llevar a cabo ciertas pruebas físicas y químicas, ya sea en la totalidad de los productos ó en muestras tomadas de las líneas de producción.

Tales pruebas no podrían llevarse a cabo rápida y precisamente sin la ayuda de aditamentos de control. Viscosímetros, Higrómetros, básculas, medidores de espesor, son algunos ejemplos de instrumentos que se emplean para este fin.

2.5.5 Optimización de Sistemas.

La información proporcionada tanto por instrumentos cuanto por sistemas de computación empleados para control automático, nos provee de datos técnicos necesarios para conocer los procesos y los problemas que estos presentan, para poder tanto resolver dichos problemas cuanto encontrar los medios para mejorar los sistemas en general, tendiendo siempre a la optimización de los resultados.

Es decir, el poder contar con toda la información que estos equipos nos proporcionan así como el poder procesarla en sistemas de computación nos conduce a un mejor conocimiento de los sistemas así como a la detección de fallas y causas de bajos rendimientos, retrasos, etc.

Asimismo, por medio de la simulación de procesos en computadoras, se pueden lograr diseños óptimos en cuanto a rendimientos y seguridad, dado que es posible encontrar las combinaciones adecuadas de dimensiones, condiciones, tiempos, etc. para producir el mejor producto en el menor tiempo y a un costo mínimo; esto sin necesidad de correr riesgos tanto económicos como materiales, por no tener la seguridad de lo que se diseñó funcione de acuerdo a lo pensado.

2.5.6 Coordinación.

Es tan importante el control automático en una planta que en no pocos casos, ésta no podría existir sin aquél. Es difícil pensar como trabajaría una planta que tiene centenares de válvulas, compuertas y otros elementos finales de control que deben ser ajustados continuamente, sin emplear para ello los servicios de la automatización. Es decir, los controles nos proporcionan una coordinación instantánea de todo el sistema, cosa que manualmente sería prácticamente imposible.

CAPITULO III

RECURSOS PARA LA APLICACION DE LA AUTOMATIZACION

En los capítulos anteriores se expuso la necesidad de una aplicación cada vez mayor de sistemas automáticos de control para un mayor desarrollo industrial. En este capítulo y los subsecuentes estudiaremos los recursos y medios con que se cuenta para la implantación de la automatización en plantas de proceso.

Ya dijimos en el Capítulo II, que la automatización consiste en la ejecución mecánica de operaciones de información, es decir, en la sustitución del hombre por órganos mecánicos en la ejecución de operaciones mentales. Vamos, pues, a estudiar cuales son estos "órganos mecánicos" y cuales son las "operaciones de información" que debemos de considerar para la automatización de una planta industrial.

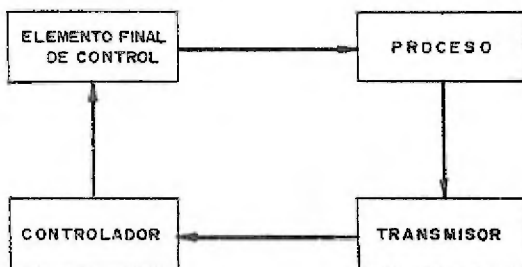
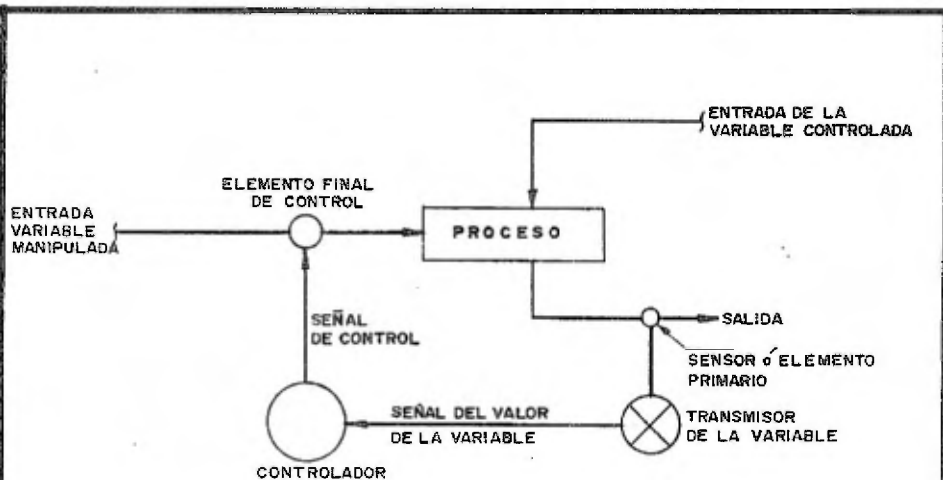
En primer lugar tendremos que establecer que un proceso es el conjunto de funciones realizadas por y en el equipo en el cual una variable será controlada. Este equipo no incluye el equipo de control ya que se consideran como sistemas independientes: el primero, el proceso, el sistema controlado y el segundo, el sistema controlador. Representando esta relación gráficamente, pero ahora considerando todos los elementos que intervienen obtenemos la Fig. 3.1 en donde tenemos que el sensor o elemento primario, el transmisor, el controlador y el elemento final de control son los órganos mecánicos mencionados anteriormente, mientras que la transmisión del valor de la variable y la transmisión del valor de la variable y la transmisión de la señal de control son las "operaciones de información", necesarias en todo sistema automático.

Enseguida estudiaremos, entonces, los equipos que forman un circuito de control (los "órganos mecánicos") así como los tipos de señal que se suelen emplear para la transmisión de la información.

3.1 INSTRUMENTACION.

Ya vimos que un circuito de control se compone de 4 elementos básicos, los cuales los podemos agrupar en:

- a) Medición (Elemento primario y transmisor)
- b) Control propiamente dicho (Controlador)
- c) Corrección (Elemento final de control)



F I G U R A 3.1

U. N. A. M.	
FACULTAD DE QUIMICA	
COMPONENTES BASICOS DE UN SISTEMA DE CONTROL AUTOMATICO	
TESIS PROFESIONAL	MEXICO D. F. 1972
CARLOS CECEÑA C.	

3.1.1 MEDICION.

La medición de los valores de las diferentes variables que se requieren controlar en un proceso es una función fundamental y afecta directamente a todo el sistema de control, ya que en base a ella es que se llevará a cabo toda la operación de restablecimiento de la variable al valor deseado. Por tanto, la selección del medio más efectivo de medición es un importante primer paso en el diseño y especificación de cualquier sistema de control.

Las mediciones pueden ser directas, como cuando se emplea una regleta para medir el nivel en un recipiente, o indirectas, como cuando se determina el flujo a través de una tubería midiendo una diferencial de presión y obteniendo de esta diferencia la raíz cuadrada.

Debido a las limitaciones físicas del dispositivo de medición y del sistema que se estudia, las mediciones siempre tienen, en la práctica, algún error. El error se clasifica en sistemático ó casual. Errores sistemáticos son los debidos a causas asignables y pueden ser estáticos o dinámicos. Los estáticos son originados por limitaciones de los dispositivos medidores ó por las leyes físicas que rigen su comportamiento. Los errores dinámicos son causados por el instrumento, que no responde lo bastante rápidamente para seguir las variaciones de la variable que se mide. Los errores casuales son los originados por causas que no pueden establecerse directamente debido a variaciones fortuitas del sistema.

Conviene establecer ahora cuales son las variables que comúnmente se tienen en los procesos industriales y cual es su importancia relativa en lo que respecta a la frecuencia con la que suele ser necesario medirlas. Para este efecto nos basaremos en la siguiente estadística publicada en el "Chemical Engineering Handbook" de J.H. Perry, 4a. Edición.

VARIABLE	% ESTIMADO DE INSTALACIONES
Temperatura	34.7
Flujo	17.5
Nivel de líquidos	11.8
Presión	11.7
Composición química	5.6
Variables eléctricas (voltaje, corriente, etc).	4.6
Humedad relativa	3.5
Velocidad	2.1
Densidad	1.8
Humedad absoluta	0.7
Otras variables	6.0
	<hr/> 100.0

Como se ve, el 75.7% de las instalaciones se centralizan en cuatro variables que, con mucho, son las más importantes dado que se presentan con muchísima frecuencia en la mayoría de los procesos industriales. Creemos conveniente, pues, estudiar estas variables con un poco más de detenimiento.

a).- Medición de Temperatura.

Todo problema de control de temperatura es esencialmente un problema de control de intercambio de calor.

A causa de la naturaleza de la transferencia de calor, los procesos de temperatura se caracterizan por capacidades mayores que procesos de flujo, presión ó nivel. La velocidad de reacción del proceso es, asimismo, lenta. Suele involucrar tiempos muertos -- largos, especialmente en procesos de calentamiento de fluidos -- tal como una columna de destilación.

Para la medición de esta variable existen un gran número de sistemas, entre los que podemos señalar como de los más empleados -- los siguientes:

- Métodos eléctricos incluyendo: termopares y bulbos de resistencia.
- Métodos mecánicos tales como termómetros de sistema termal lleno.
- Pirómetros de radiación.

De éstos sistemas, vamos a analizar solamente los que consideramos más importantes:

i).- Termopares

Los termopares son los dispositivos para la medición de temperatura más empleados hasta ahora y su funcionamiento se basa en el "Efecto Seebeck" de que hay un flujo de corriente en un circuito continuo formado por alambres de metales disimilares si las uniones entre ellos se encuentran a diferentes temperaturas. En dicho arreglo se le llamó a la unión a más alta temperatura la junta caliente y a la unión a temperatura menor junta fría. (Ver -- Fig. 3.2).

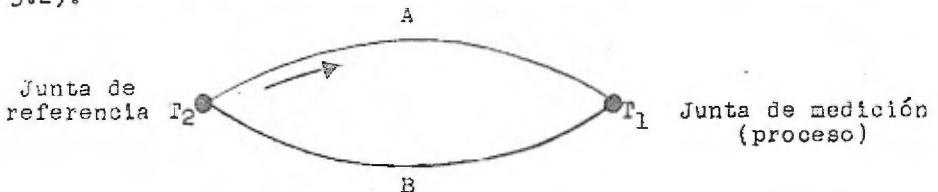


Fig. 3.2

Como en las primeras aplicaciones a procesos industriales se llevó a cabo en mediciones de alta temperatura la junta caliente se encontraba en el proceso y la junta fría en el instrumento pero, al generalizarse más el uso de los termopares se dió el caso que la temperatura de proceso era menor que aquella en el instrumento y, al conservarse el nombre, se dió el absurdo de que la junta más fría se le siguiera llamando junta caliente; para evitar estas contradicciones, actualmente se las llama con más propiedad a la junta en el proceso "junta de medición" y a la junta en el instrumento "junta de referencia" aunque es frecuente que aún se use, en forma incorrecta, la antigua designación.

Si a la fuerza electromotriz producida se le llama E , a la temperatura de la junta de medición T_1 y a la temperatura de la junta de referencia T_2 se tendrá que:

$$\text{Ec. (3.1)} \quad E = a(T_1 - T_2) + b(T_1^2 - T_2^2) + c(T_1^3 - T_2^3) \dots + \dots$$

en donde a , b y c son constantes que dependen de la naturaleza de los metales usados.

De lo anterior se infiere que para tener una medición correcta de T_1 considerando que la junta de referencia T_2 estará en el instrumento, se podrán hacer una de dos cosas:

- Mantener T_2 constantes, por ejemplo en un baño de hielo.
- Introducir en el circuito de medición una corrección tal que nulifique las variaciones de T_2 , que encontrándose la junta de referencia en el instrumento, no variará más que en el rango de la temperatura ambiente.

En la práctica ambos procedimientos se utilizan, el 1° para aplicaciones de laboratorio y el 2° en la industria.

Por lo anteriormente establecido, se puede concluir que se podrán formar un sin número de tipos de termopares, sin embargo al considerar que es muy conveniente el contar en un termopar de uso industrial con las características que se anotan después, la cantidad de tipos de termopares disponibles comercialmente se reduce a unos cuantos.

Características necesarias en un termopar de uso industrial:

- a).- Máxima f.e.m. en el rango de temperatura deseado.
- b).- Bajo costo.
- c).- Disponibilidad de obtención de los metales.
- d).- Resistencia a la corrosión.

- e).- Constancia en las propiedades termoeléctricas del par (a, - b, c) a pesar de los cambios de temperatura a que se sujeta.
- f).- Punto de fusión mayor al de la temperatura máxima que se espera.
- g).- Función temperatura - f.e.m. lo más lineal posible.

Considerando las características anteriores los termopares de que se dispone comercialmente son:

Designación	Elemento Positivo (+)	Elemento Negativo (-)	Rango °C	Máx. Temp. °C
S	90% Pt, 10% Rh	Pt	0,+1450	1700
R	87% Pt, 13% Rh	Pt	0,+1450	1700
K	Chromel +	Alumel +	-200,+1100	1200
J	Hierro	Constantano+	-200,+750	1000
T	Cobre	Constantano+	-200,+350	600

Dado que sólo en muy contadas ocasiones la junta de medición de un termopar podrá estar en contacto con el fluido de proceso, se hace necesario el proteger al mismo con una funda de metal, cerámica ó ambos llamada termopozo o tubo protector, el cual, si -- bien impide el ataque químico y el daño mecánico al termopar, también disminuye en forma considerable su velocidad de respuesta.

Los termopozos, por lo tanto, deberán seleccionarse de un material tal que resista la acción química y mecánica a que el proceso pudiera sujetarlos.

Elementos secundarios de medición con los que se utiliza un termopar:

Siendo los termopares, generadores de potencial muy pequeño, los instrumentos secundarios que se usan con los mismos para propósitos de indicación, registro, control, transmisión o una combinación de lo anterior son los siguientes:

- a).- Galvanómetros de tipo d'Arsonval con movimiento suspendido por bimetales para proporcionar la compensación de referencia o junta fría.
- b).- Potenciómetros de balance continuo.

- c).- Transmisores electrónicos también llamados transductores de milivolts a corriente (mV/I)
- ii.- Elementos de sistema termal lleno. Temp. máxima 500°C mínima amplitud de medición 50°C.

Los elementos de sistema termal lleno están constituidos por un bulbo metálico conectado a un tubo capilar de la longitud necesaria y un elemento (Espiral, Bourdon, Fuelle, etc.), al final de ese capilar, el cual es sensible a los cambios de presión ó volúmen que se producen en el fluido del cual se llena el sistema, - cuyos cambios son función de la temperatura del bulbo con el cual el proceso deberá estar en cercano contacto.

El cambio de temperatura en estos sistemas produce como consecuencia un movimiento angular, rectilíneo o bien una fuerza.

En aplicaciones de instrumentación electrónica de procesos industriales es consecuencia de lo anterior el que éstos elementos -- primarios se usen en conjunto con dispositivos que conviertan el movimiento o fuerza mencionados en señales electrónicas de transmisión y/o control, para este caso particular, el caso más común es que éstos sistemas termales se utilicen acoplados a transmisores de variable como los que se verán más adelante.

Clasificación de sistemas termales llenos. La SAMA (Scientific apparatus makers association) ha hecho la siguiente clasificación de los sistemas termales:

Clase I

Son aquellos sistemas que están llenos totalmente de un líquido orgánico por ejemplo hidrocarburos tales como propano o butano.

Los cambios de temperatura en el bulbo hacen que el líquido se dilate o se contraiga haciendo que la espiral, fuelle o bourdon, tenga un movimiento función lineal de la temperatura.

Debido a que la temperatura alrededor del capilar y del elemento sensor (espiral, fuelle, etc). afecta también al desplazamiento, introduciendo un error en la medición se hace necesario compensar para tener una exactitud adecuada.

Se dispone de dos tipos de compensaciones la la. de ellas mide la temperatura en capilar y espiral y nulifica el movimiento producido por cambios en la misma, esta compensación se conoce como completa y los sistemas que trabajan con ella la SAMA les asigna la clasificación IA.

Existe un segundo tipo de compensación más sencilla que mide la temperatura dentro de la caja del instrumento, es decir, en donde se encuentra la espiral, fuelle o Bourdon, presupone que la -

temperatura del capilar es la misma y nulifica los cambios por este concepto, los elementos con este tipo de compensación les asigna la SAMA la clasificación IB.

En estos sistemas termales, clase I, se tienen las siguientes características básicas:

Relación movimiento a temperatura.- Función lineal, máxima temperatura 300°C como consecuencia del límite de estabilidad química del líquido de llenado.

Mínima temperatura (-300°C) dado por el punto de congelación del fluido.

Mínima amplitud de medición: 25°C limitada por el tamaño del bulbo.

Máxima amplitud de medición: 125°C limitada por el cambio en el coeficiente de dilatación del líquido a temperaturas alejadas entre sí más de lo establecido, lo que haría el sistema no lineal.

Clase II

Los sistemas termales clase II tienen como fluido interno un líquido y su vapor en equilibrio, el principio bajo el cual operan es que la presión de vapor de cualquier líquido puro es una función de la temperatura.

En esta forma el elemento sensible del sistema detecta los cambios de presión función de la temperatura en el bulbo y los transforma en un movimiento o fuerza proporcional como en el caso anterior.

Los líquidos con que estos sistemas se llenan son de diversas índoles, pero la característica común es el que tengan un amplio cambio de presión de vapor dentro de la amplitud de medición de temperatura requerido.

Algunos ejemplos de líquidos usados para este tipo de sistemas termales son: Cloruro de metilo, bióxido de azufre, etanol, tolueno, etc.

Dado que los sistemas se construyen para que la interfase líquido vapor esté siempre en el bulbo y considerando que la presión dentro del sistema depende de la temperatura en la interfase únicamente, se sigue que las temperaturas diferentes a las del bulbo que están sujetos al capilar y la espiral o fuelle no tendrán influencia sobre la medición y por lo tanto estos sistemas termales no requieren compensación. Sin embargo debido a otras circunstancias existen 4 sub-clases en esta clasificación que son las siguientes:

Sub-clase II A.-

Son aquellos sistemas construídos para medir temperaturas superiores a las del ambiente.

Siendo este el caso estando el capilar y el elemento sensible a una temperatura inferior a la de la interfase (bulbo) se producirá una condensación en capilar y elemento sensible los cuales -- siempre estarán llenos de líquido.

Sub-clase II B.-

Estos sistemas están hechos para medir temperaturas siempre inferiores a la ambiente y, por lo expuesto anteriormente, capilar y bulbo estarán, contrariamente a lo que ocurre en la clase II A, -- siempre llenos de vapor.

Sub-clase II C.-

Estos sistemas están previstos para medir temperaturas superiores o inferiores al ambiente, pero al estar el bulbo precisamente en la temperatura ambiente ocurren cambios de estado en el capilar y el elemento sensible lo que hace que en ese punto la medición sea crítica.

Sub-clase II D.-

Al igual que los anteriores, los elementos de ésta sub-clase pueden medir temperaturas inferiores y superiores al ambiente, pero para evitar lo errático de la medición al cruzar la temperatura ambiente, tienen un líquido de sello que tiene una presión de vapor despreciable a la temperatura de operación y que llena siempre el capilar y el elemento sensible, en forma tal, que los cambios de estado ocurren siempre en el bulbo.

Las características sobresalientes de los sistemas termales de clase II son:

- a).- La relación movimiento (o fuerza) a temperatura es una función NO lineal debida a las características no lineales de la función temperatura-presión en un sistema líquido-vapor en equilibrio.
- b).- La máxima temperatura a que pueden usarse está fijada por la temperatura crítica del líquido de llenado y es en la práctica del orden de 300°C.
- c).- La mínima temperatura está dada por la circunstancia de que a bajas temperaturas los cambios de presión se hacen ya -- tan pequeños que son prácticamente indetectables, el valor específico de temperatura a que esto ocurre depende -- del fluido de llenado pero no se construyen sistemas con-

este principio para temperaturas inferiores a -300°C .

d).- No requieren compensación.

Clase III

Estos sistemas tienen como fluido de relleno un gas, considerando que las deformaciones del elemento sensible (espiral, bourdón, etc.) no produzcan un cambio de volumen apreciable y dado que el sistema es sellado con una masa constante de gas en su interior, se tiene que, según la ley de los gases perfectos:

$$\text{Ec. (3.2)} \quad PV = \frac{W}{P.M.} RT \text{ en que:}$$

- P = presión (atmósferas)
- V = volumen (litros)
- W = masa de gas (gramos)
- P.M. = peso molecular (gramos/mole-gr.)
- R = constante universal (lt-atm/ $^{\circ}\text{K}$ mole-gr.)
- T = temperatura ($^{\circ}\text{K}$).

Si se considera el sistema descrito se verá que:

$$V = \text{cte}, W = \text{cte}, P.M. = \text{cte}, R = \text{cte}$$

de donde se infiere que:

$$\text{Ec. (3.3)} \quad P = Kt.$$

Es decir la presión interna del sistema es una función lineal de la temperatura.

Por la descripción anterior se notará que estos sistemas sí son afectados en la exactitud de su medición por temperatura, en el capilar y en el elemento sensible, diferentes a la del bulbo, por lo que requieren de la compensación adecuada, la cual, al igual que en el caso anterior puede ser completa (Sub-clase III A) o de caja (Sub-clase III B).

Las características principales de estos sistemas termales son:

- a).- El movimiento o fuerza desarrollado es una función lineal de la temperatura debido a la linealidad del principio en que los elementos están fundamentados.
- b).- Máxima temperatura.

La máxima temperatura está limitada por el material del -- bulbo pues, al elevarse la temperatura la permeabilidad al gas en el interior, se hace lo suficientemente grande como

para permitir escapes de gas que inutilizan al sistema. En la práctica el límite es de 500°C.

c).- Mínima temperatura.

Aunque teóricamente la mínima temperatura estaría fijada - por la temperatura crítica del gas de relleno, y habiendo gases como el helio, con una T_c cercana al cero absoluto el límite inferior no es ni con mucho, cercano a tal valor, - debido a que los bulbos de un sistema termal construido para rangos tan bajos al estar sujeto durante su transporte y períodos de no funcionamiento a la temperatura ambiente, desarrollaría en estas condiciones una presión interna tan intensa que el bulbo tendría que ser extraordinariamente pesado para resistirla, lo que le quitaría velocidad de respuesta, es por ello que el límite práctico para estos sistemas es del orden de 50° bajo cero.

Clase IV

No existe esta clasificación.

Clase V

Son en esencia iguales a los de clase I sólo que el líquido de - que están llenos es mercurio y por lo tanto, requieren compensación, la que puede ser completa (Clase V A) o de caja (Clase V B).

Sus características fundamentales son:

- a).- El movimiento o fuerza es una función lineal de la temperatura.
- b).- Máxima temperatura.- 500°C
- c).- Mínima temperatura.- 40°C

Resumiendo las características generales de los elementos de medición de temperatura de sistema termal lleno puede decirse que -- tienen las siguientes

Ventajas:

- a).- Simplicidad de los sistemas.
- b).- Fuerte construcción.
- c).- Bajo costo inicial.
- d).- Sensibilidad, respuesta y exactitud aceptables en, prácticamente, cualquier proceso industrial.

- e).- Los sistemas son auto-operantes, es decir, no requieren -- energía del exterior.
- f).- Producen potencia suficiente para actuar mecanismos de -- transmisión y/o control sin energía del exterior.

Limitaciones:

- a).- El bulbo es normalmente grande.
- b).- La amplitud mínima de medición (20 a 50°C, según el fabricante) es en ocasiones demasiado grande.
- c).- La máxima temperatura a que pueden sujetarse es del orden de 500°C.
- d).- En caso de falla hay que reponerlos en su totalidad, por lo que tienen un alto costo de reparación.
- e).- En amplitudes de medición pequeñas la exactitud proporcionada no es tan buena como en los elementos puramente eléctricos.
- f).- La distancia entre el elemento primario y el instrumento al cual actúa está limitada alrededor de 50 m. según el tipo de sistema y el fabricante.
- iii.- Pirómetros de radiación

Estos elementos se fundamentan en la ley de Stephan Boltzmann -- que establece que entre dos cuerpos a diferentes temperaturas se establece un intercambio de energía radiado dado por

$$\text{Ec. (3.4)} \quad E = \sigma (T_1^4 - T_2^4)$$

En donde:

E = energía neta recibida por el cuerpo más frío del más caliente (erg/cm² seg.)

σ = Constante de Stephan Boltzmann, 5.77×10^{-5} erg/seg.

T₁ = Temperatura del cuerpo más caliente °K.

T₂ = Temperatura del cuerpo más frío °K.

Para explicar el funcionamiento de estos elementos primarios es necesario definir antes qué es una termopila.

Una termopila es un conjunto de termopares de hilo muy delgado -- cuyas juntas de medición convergen todas, para fines prácticos --

en un punto, dichos termopares se conectan en serie.

El pirómetro de radiación consiste fundamentalmente en una lente que hace que la radiación recibida del cuerpo cuya temperatura se desea medir salga en rayos paralelos, este haz de rayos es concentrado en un punto, bien por otra lente, bien por un espejo parabólico. En dicho punto se encuentra la termopila que, al recibir la radiación se calienta hasta una temperatura de equilibrio, produciendo una salida del orden de los milivoltios.

La compensación de junta de referencia se lleva a cabo en el interior del pirómetro en forma tal que la salida es proporcional a la cuarta potencia de la temperatura en forma tal, que se tendrá una salida no lineal con la temperatura.

Algunas consideraciones de orden práctico.

Considerando que:

- a).- Solo los cuerpos "negros" obedecen exactamente la fórmula de Stephan Boltzmann y para corregir por desviaciones a la misma, debe usarse un factor llamado emisividad que es particular para cada caso.
- b).- Los exponentes de las temperaturas en la ley de Stephan -- Boltzmann no son siempre 4 sino que varían para cada caso particular entre 3.28 y 4.26.

Puede concluirse que solo en casos particulares previamente experimentados el procedimiento dará valores exactos.

Sin embargo, en la industria, no siempre es necesario tener valores exactos sino reproducibles; vaya un ejemplo para ilustrar el caso.

En el laminado de lingotes de acero se mide la temperatura de -- los mismos con un pirómetro de radiación, se sabe, por decir una cifra, que cuando el instrumento indica 1300°C el acero está lo suficientemente blando como para no sobrecargar la máquina laminadora y lo suficientemente duro como para que sólo se deforme con la presión de los rodillos de la máquina, en estas condiciones, se obtiene un buen laminado y, siempre se obtendrá cuando el instrumento indique 1300°C.

Bajo estas circunstancias:

¿Es realmente importante que la temperatura que el instrumento registra, 1300°C no sea exacta?

Naturalmente que la respuesta es no, lo importante es que la temperatura de buen laminado se reproduce correctamente en todos --

los casos y eso es lo que hace bueno al instrumento para la aplicación.

En todo caso la recomendación antes de aplicar un elemento primario de este tipo, es definir si se busca exactitud o reproducibilidad, e inquirir con los fabricantes, qué instalaciones similares a la propia se tienen operando satisfactoriamente, si no hubiese ninguna solo deberá instalarse un elemento primario de radiación si se está dispuesto a experimentar y obtener un éxito o un fracaso.

El rango de aplicación de estos elementos primarios varía según los fabricantes, pero en general se puede decir que está entre -500 y 2000°C.

Para propósitos de indicación, registro, transmisión y control - los pirómetros de radiación se usan con cualquiera de los instrumentos secundarios siguientes:

- a).- Galvanómetros.
- b).- Potenciómetros de balance continuo.
- c).- Transmisores electrónicos también llamados transductores milivolts a corriente (M.V./I.)
- iv.- Termómetros de Resistencia.

Estos elementos primarios utilizan como principio físico el cambio de resistencia eléctrica que sufren algunos conductores al cambiar la temperatura a que se les somete.

La resistencia total de un conductor cualquiera se puede expresar:

Ec. (3.5)

$$R = R_T \frac{L}{S}$$

R = Resistencia total (ohms)

R_T = Resistencia específica (ohm-cm) a la temperatura considerada a.

L = Longitud del conductor (cm)

S = Sección del conductor (cm²)

Por otra parte la variación de la resistencia específica a una temperatura T en función de la resistencia específica R, a una temperatura base tal como 0°C puede expresarse como:

Ec (3.6)

$$R_T = R_0 (1 + aT + bT^2 + cT^3 \dots\dots)$$

en que:

R_T = Resistencia específica a una temperatura T (ohm-cm)

R_0 = Resistencia específica a 0°C (ohm-cm)

T = Temperatura (°C) a, b, c,etc., = constantes

De las dos ecuaciones anteriores se infiere que:

Ec. (3.7)

$$R = R_0 (1 + aT + bT^2 + cT^3)$$

Para un conductor dado y ya que $R_0 = \text{cte}$, $L = \text{cte}$, $S = \text{cte}$ se -- concluye que:

Ec (3.8)

$$R = K (1 + aT + bT^2 + cT^3)$$

En forma tal que la resistencia eléctrica del conductor es una - función no lineal de la temperatura.

En la práctica se han escogido materiales tales que los coeficien- tes b, c, etc., que en la ecuación (3.8) están a la temperatura - en sus potencias mayores de 1 son tan pequeños que la relación - es prácticamente lineal.

Los materiales más usuales para la construcción de bulbos de re- sistencia son: cobre, níquel y platino, siendo el más usual este último.

Descripción de los elementos:

En su forma más usual el bulbo de resistencia está constituido - por el alambre conductor que lo forma, aislado con barniz arrolla- do en forma no inductiva sobre una base de material aislante, to- do recubierto por una funda delgada de acero inoxidable, los ex- tremos de la bobina que forma el bulbo de resistencia se llevan a una cabeza terminal a la que también está sujeta la funda de - acero inoxidable.

El uso de termopozo depende de la aplicación y las recomendacio- nes para la selección del mismo son iguales a los que se dieron para los termopares.

El bulbo de resistencia más usual comercialmente es el de platino

con resistencia de 100 ohm a 0°C.

Instrumentos secundarios usados con los termómetros de resistencia para obtener indicación, registro transmisión y/o control.

- 1.- Instrumentos Galvanométricos.
- 2.- Puentes de Wheatstone con balance continuo.
- 3.- Transductores de resistencia a corriente (R.T.D./I.).
- 4.- Relevadores ciegos para control de 2 posiciones.

b).- Medición de Flujo

El flujo se caracteriza por ser un proceso de respuesta rápida, -teniendo una capacitancia pequeña.

Los principales tipos de medidores de flujo usados en industrias son los siguientes:

- Medidores de la presión diferencial causada por una restricción en la tubería
- Medidores de área variable.
- Medidores de desplazamiento positivo.
- Vertederos y canalones (para medición en canales abiertos)
- Medidores magnéticos.

Vamos a describir enseguida, los más importantes de estos sistemas:

i. Medidores de presión diferencial.

Estos medidores se basan en la producción de una diferencia de presiones por medio de una restricción colocada en el paso del fluido, de acuerdo a la siguiente relación:

Ec. (3.9)

$$Q = K \sqrt{2g_c h}$$

en donde:

- Q = Flujo
- K = Constante
- gc = Aceleración de la gravedad
- h = Presión diferencial

En la medición de flujo por este método, son dos los elementos fundamentales que intervienen (ver fig. 3.3), el elemento de restricción y el elemento medidor de la presión diferencial. Este lo analizaremos en la sección de medición de presión, mientras que del primero podemos citar entre los más comunes los siguientes:

Placas de Orificio.- La placa de orificio es el elemento primario más comúnmente usado en la industria, dado que presenta una gran facilidad para su instalación y, reemplazo al mismo tiempo que es sumamente económica. Como desventajas podemos citar que, aunque se puede aplicar para mediciones tanto en líquidos como en gases y vapores, no conviene aplicarla en la medición de flujos con sólidos en suspensión y que es el elemento que produce las mayores pérdidas de presión, en comparación con los demás.

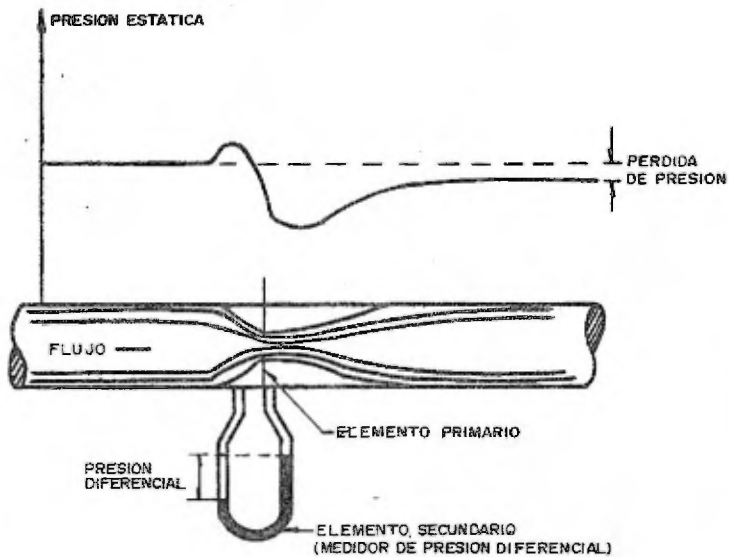
Tobera o Boquilla.- Este elemento fué diseñado para el manejo de flujos con cantidades moderadas de sólidos en suspensión o que fluyan a altas velocidades. Sin embargo, su costo es mucho mayor que el de una placa de orificio y presenta casi todas sus limitaciones. Su fabricación es complicada.

Tubo Venturi.- Es el elemento primario de mayor tamaño y, consiste de un cono de entrada donde se localiza la toma de presión alta, una garganta que produce la restricción y en donde se encuentra la toma de presión baja y un cono llamado de recuperación -- que, como su nombre lo indica, está construido de tal forma que se obtiene la máxima recuperación de presión posible. La aplicación característica de este elemento, es la medición de gases a bajas presiones y flujos viscosos. Sus principales desventajas son: alto costo, dificultad de fabricación y, en sistemas de gran capacidad por su tamaño son difíciles de transportar y de instalar.

Tubo Pitot.- Este elemento es utilizado para obtener lecturas de punto y no promediales como los demás elementos primarios. Consiste en un pequeño tubo que tiene dos perforaciones: una axial al sentido del flujo y otra perpendicular al mismo que miden la presión, la presión dinámica y la presión estática respectivamente, la diferencia de las cuales estará determinando el flujo que pasa en el punto donde se encuentran las tomas de presión. Solo son aplicables en flujos limpios. No son muy comunes en la industria en general.

ii.- Medidores de área variable.

En este tipo de medidores hay una diferencial constante a través de un orificio variable y el flujo es determinado en función del área del orificio, el cual a su vez es función de la posición -- del flotador. Este principio contrasta con el de un medidor de orificio, el cual tiene una área constante y en donde se determina el flujo en razón de la caída de presión a través del orificio.



ELEMENTOS DE UNA MEDICION DE
FLUJO POR PRESION DIFERENCIAL
F I G U R A 3.3

U. N. A. M.
 FACULTAD DE QUIMICA

ELEMENTOS DE MEDICION

TESIS PROFESIONAL

MEXICO D. F. 1972

CARLOS CECENA C.

Esencialmente un medidor de flujo variable consiste de (1) una cámara que contiene (2) un flotador que está libre para moverse en línea recta (en la gran mayoría de los casos verticalmente) alejándose, conforme el flujo aumenta, de un punto de apoyo actuando contra (3) una fuerza de reposición (que, otra vez, en la mayoría de los casos es la atracción de la gravedad).

De estos medidores existen básicamente dos tipos: rotámetros y medidores de pistón, que se ilustran en la Fig. 3.4.

Rotámetros.- En el rotámetro usual, un flotador contenido en una caja vertical se mantiene en equilibrio entre la fuerza del flujo que pasa a través del orificio anular, formado entre el flotador y, su propio peso. En tamaños pequeños el tubo es hecho de vidrio y es graduado de tal manera, que el flujo puede ser leído directamente viendo la posición del flotador.

Medidores de Pistón.- En este tipo de medidores el pistón es cuidadosamente ajustado y, es movido por la presión del fluido. El flujo es indicado por la posición del pistón.

Ya que el flujo a través de uno de estos medidores es proporcional al área y a que esta área es proporcional a la posición del flotador, la mayoría de los medidores de área variable tienen escalas lineales. Su diseño es relativamente sencillo, teniendo solamente una parte móvil, el flotador. Este tipo de medidores pueden ser fácilmente habilitados para cumplir otras funciones, tales como: transmisión de la señal de flujo, totalización, alarmas, registro, etc.

Sin pretender hacer un análisis riguroso, consideramos conveniente mostrar la importancia de algunas variables que intervienen en el cálculo de estos medidores. Considerando un flujo estable, podemos, por medio del teorema de Bernoulli, expresar la siguiente relación (ver Fig. 3.5).

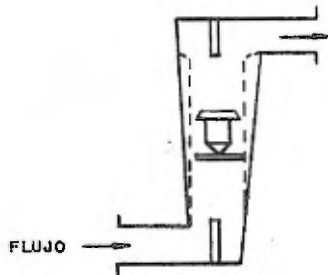
$$\text{Ec. (3.10)} \quad v_2 - v_1 = \sqrt{2g_c (h_1 - h_2)}$$

en donde:

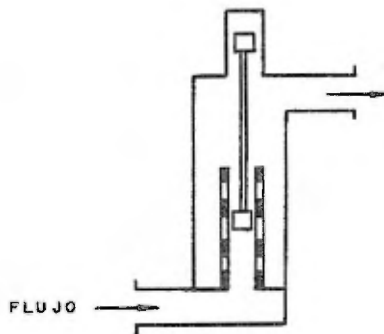
$$\begin{aligned} v_1 &= \text{Velocidad del fluido en el punto 1} \\ v_2 &= \text{Velocidad del fluido en el punto 2} \\ g_c &= \text{Aceleración de la gravedad} \\ h_1 &= \text{Columna hidráulica en el punto 1} \\ h_2 &= \text{Columna hidráulica en el punto 2} \end{aligned}$$

Pudiendo considerar que:

$$\text{Ec. (3.11)} \quad h_1 - h_2 = \frac{P_2 - P_1}{\gamma}$$



ROTAMETRO



MEDIDOR DE PISTON

F I G U R A 3.4

U. N. A. M.	
FACULTAD DE QUIMICA	
TIPOS DE MEDIDORES DE AREA VARIABLE	
TESIS PROFESIONAL	MEXICO D. F. 1972
CARLOS CECENA C.	

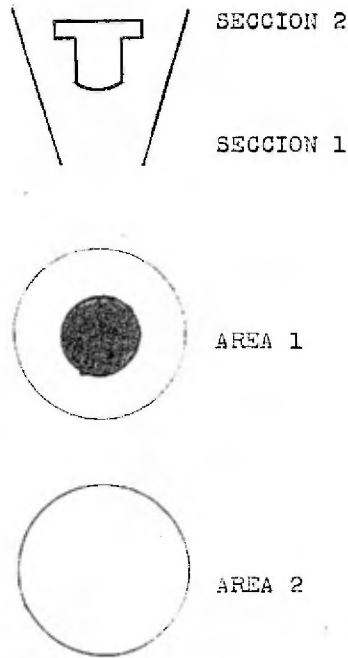


Fig. 3.5

en donde:

P_1 = Presión en la Sección 1
 P_2 = Presión en la Sección 2
 γ = Peso específico del fluido

V_1 puede ser despreciada dada su magnitud con respecto a V_2 , por lo que la ec. (3.10) quedaría:

Ec. (3.12)

$$V_2 = \sqrt{2g_c \frac{P_1 - P_2}{\gamma}}$$

Introduciendo el flujo como una función de la velocidad y del --

área de flujo $V_2 = q/A_2$, en donde q es precisamente el flujo y A_2 es el área del orificio anular en la Sección 2, sustituyendo:

Ec. (3.13)

$$q = CA_2 \sqrt{2g_c \frac{P_1 - P_2}{\gamma}}$$

El factor C (coeficiente de descarga), que estamos introduciendo en la ec. (3.13) se utiliza para compensar por la eliminación de V_1 y, por no considerar otros factores. El valor de C , se determina empíricamente.

Para expresar el flujo en unidades de peso, sustituimos $q = w/\gamma$, en donde w es el flujo gravimétrico quedándonos:

Ec. (3.14)

$$W = CA_2 \sqrt{2 g_c (P_1 - P_2) \gamma}$$

iii.- Medidores de desplazamiento positivo.

Los medidores de desplazamiento positivo son ampliamente usados en la industria y preferentemente cuando cumplen con los siguientes requisitos:

- Simplicidad en el diseño, lo cual permite que su mantenimiento sea sencillo, sin requerir de personal especialmente entrenado.
- Exactitud dentro de los límites establecidos; el usuario raramente cuenta con los medios necesarios para la verificación de esta característica.
- Disponibilidad de una gran variedad de tamaños, materiales y calibraciones, para satisfacer diferentes condiciones de servicio.
- Razonable poca caída de presión.

Estos medidores se suelen dividir en cuatro tipos: reciprocantes, rotatorios, oscilantes y el de pistón, que con mucho es el más extensamente empleado.

El medidor de pistón, también conocido como de disco, desplaza un volumen fijo de fluido (dependiendo de la calibración: una libra, un galón, etc.) en cada ciclo del pistón o disco, que es la única parte móvil del medidor. Mecánicamente se transmite este movimiento y se va registrando, por cada ciclo del pistón, una unidad de flujo, lo que nos da como resultado no el valor instantáneo, sino el valor total de fluido que ha pasado a través del medidor.

iv.- Canalones y Vertederos.

Estos elementos son muy poco empleados para medir flujo en industrias de proceso, debido a que son especiales para aplicarse en canales, arroyos o ríos, es decir, en conductos abiertos. Para este fin se requieren dos elementos: (1) un elemento primario -- que es accionado directamente por el fluido, dando como resultado un medio para poder medir el flujo por medio de (2) un instrumento de medición que traduzca la acción del fluido sobre el elemento primario o volumen, peso o velocidades de flujo para poder registrar los resultados.

Los canalones y vertederos son, precisamente, de estos elementos primarios que pueden caer dentro de la categoría general de elementos de presión y área variables.

v.- Medidores Magnéticos.

El sistema magnético de medición de flujo se utiliza exclusivamente para medir flujo en líquidos con conductancia mayor de 10 microhmios y consiste de un elemento primario o transmisor de -- flujo conectado eléctricamente a un instrumento secundario para indicar, registrar, controlar o convertir la señal en alguna -- otra compatible. Su principio de funcionamiento se basa en la -- ley de Faraday, sobre la inducción electromagnética, que establece que el voltaje inducido en un conductor de longitud fija moviéndose a través de un campo magnético es proporcional a la velocidad del conductor.

El transmisor de flujo consiste en un tubo no magnético a través del cual el líquido fluye, un recubrimiento interior aislante, -- un electromagneto que forma e induce un campo electromagnético a través del tubo, y dos electrodos metálicos embutidos al tubo -- desde su pared interior y que son los únicos puntos de contacto eléctrico con el fluido. Es importante hacer notar que cambios -- en los valores de la conductividad del líquido no afectan su calibración y que la salida del transmisor es lineal y directamente proporcional a la velocidad promedio del fluido y por lo tanto proporcional al gasto o flujo. Así mismo turbulencias o variación en el perfil del flujo no afectan su funcionamiento ni, -- por lo tanto, la posición del transmisor siendo el único requisito que la línea esté llena del líquido a medir. Otra característica muy importante, es que no hay una caída de presión apreciable a través del elemento, ya que no tiene en su interior ningún elemento que obstruyere el paso del fluido; por esta misma razón es ideal para medir líquidos viscosos, bagazos, etc.

Su funcionamiento es como sigue:

Los dos electrodos están colocados diametralmente opuestos y perpendiculares a la dirección del flujo y al campo magnético producido por los electromagnetos. Básicamente estos electrodos se --

consideran puntiformes y en contacto con el fluido forman un disco conductor de sección muy delgada, a través de la tubería; el cual es el conductor del medidor de flujo magnético. El voltaje generado por el movimiento de este disco a través del campo magnético en la tubería es detectado por los dos electrodos y la fuerza electromotriz medida es el voltaje total generado por todos los "discos", formados por el fluido conforme pasan por los electrodos. A medida que los discos se mueven más rápidamente a través del campo magnético, mayor será el voltaje generado. La medición lineal del flujo del líquido puede ser realizada por medio de un milivoltómetro o instrumento secundario.

La longitud del conductor es igual al diámetro del disco que es el diámetro de la tubería. Si se consigue que el campo magnético sea constante, se asegura que el voltaje generado sea proporcional a la velocidad promedio del fluido y consecuentemente al gasto o flujo; según se puede ver en la expresión:

$$E_c (3.15) \quad E = KVHd/A$$

donde:

- E = voltaje generado medido en los electrodos
- K = constante que depende de las unidades de medición
- V = volumen del líquido por unidad de tiempo
- H = intensidad de campo magnético entre los electrodos
- d = distancia entre los electrodos
- A = área de la sección interna de la tubería

De lo anterior se observa que, para todas las aplicaciones prácticas, K, H, d y A permanecen constantes; consecuentemente el voltaje generado E varía directamente con los cambios de V.

El instrumento secundario es llamado convertidor de flujo a corriente y entrega una salida de 10-50 ma de c.c. para una entrada de milivolts de c.a. generada en el transmisor. La señal generada por el transmisor magnético de flujo es un voltaje de c.a. de alrededor de 1 mV. Este milivoltaje se aplica a la entrada de un preamplificador, en el convertidor que presenta una impedancia de entrada de 1500 M ohms o más en donde es amplificada. La salida del pre-amplificador es aplicada a la entrada del circuito de calibración donde están los ajustes de cero y gama y es corregida la fase de la señal para ponerla en fase con el voltaje de alimentación de la línea (115V, 50,60 hz). Esta señal es alimentada al circuito de comparación donde se combina con la señal de retroalimentación de la salida produciendo una señal error que va al circuito de amplificación y al detector de fase. La función de este último es producir un voltaje de salida de c.c. proporcional a la amplitud de la componente en fase con la salida del amplificador de error. Finalmente este voltaje de c.c. es convertido a corriente de c.c. con rango de 10 a 50 ma que es la señal de transmisión. En serie con la carga está --

conectado el circuito de retroalimentación que genera el voltaje para hacer la comparación con la señal del transmisor y producir la señal error, como ya se mencionó antes.

vi.- Medidores de Turbina.-

El medidor de turbina consiste de un tramo recto de tubería en cuyo interior está montada una tubería de varias aspas que gira libremente (idealmente no debe haber fricción). En la parte externa de la tubería está localizada una bobina alrededor de un imán permanente que constituye el captador de la señal. A medida que el rotor gira en respuesta al flujo, las aspas interceptan las líneas del campo magnético y se generan pulsos de voltaje de c.a. en la bobina cuya frecuencia es directamente proporcional al gasto o flujo. Para establecer el número de pulsos producidos para cada unidad de flujo, cada medidor es probado y se le asigna un factor de calibración, K, expresado en pulsos por unidad de volumen.

Los pulsos de salida correspondientes al flujo pueden ser aplicados directamente, o a través de preamplificadores montados en el campo, a cualquier dispositivo digital para la indicación, totalización o control del flujo; también, pueden ser convertidos a señal de corriente continua para ser utilizada en sistemas analógicos.

Efecto de Viscosidad.- Debido a que la viscosidad ejerce mayor influencia en el área de flujo laminar que en el área de flujo turbulento y que dicho flujo laminar se produce a flujos bajos, la curva de respuesta de ciclos por unidad de volumen contra cantidad de volumen por unidad de tiempo, no es lineal en esta área, razón por la cual un medidor de turbina debe trabajar en su región de respuesta lineal. En la práctica, con cada turbina, se provee su curva de respuesta y la región donde su precisión es de 0.1% del flujo actual.

c.- Medición de presión.

El control de la presión, se caracteriza por ser de gran capacidad, retardos pequeños y tiempo muerto pequeño.

La medición de presiones absolutas, presiones manométricas, vacío o de tiro, y presiones diferenciales se llevan a cabo principalmente por tres clases de elementos medidores:

- La columna de líquido, en donde la densidad y la altura de un líquido se utilizan para la medición de la presión.
- El elemento de medición elástico.
- Medidores electrónicos y eléctricos.

Los dos primeros se suelen clasificar también dentro de un sólo tipo: elementos mecánicos.

i.- Elementos de columna de líquido.

Entre los elementos de columna más comúnmente utilizados, están los que se muestran en las figuras 3.6 a 3.9, en donde excepto - en la fig. 3.6, lo que se está midiendo es una presión diferencial y, en el caso particular de que P_2 sea la presión atmosférica, lo que se medirá será la presión manométrica.

Este tipo de medidores si bien no son muy usados en procesos, sí se emplean mucho cuando se requiere una gran exactitud, como en mediciones de laboratorio o para la calibración y prueba de otros elementos, usándolos como elementos de referencia.

Su fragilidad y, en no pocas ocasiones gran tamaño, los hace poco usados en procesos, aunque cuando se requieren mediciones con mucha exactitud, pueden ser utilizados.

Estos elementos se utilizan únicamente como indicadores, sin poder realizar otras funciones como transmisión, registros, control, etc.

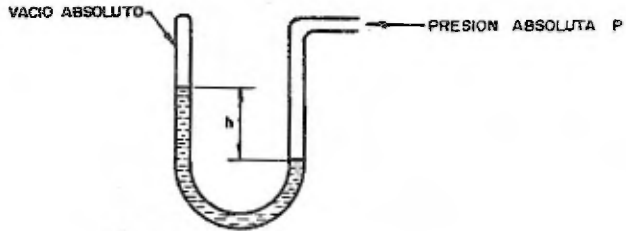
ii.- Elementos elásticos de medición.

Entre los medidores de "elementos elásticos", existen tres tipos fundamentalmente a saber: el tubo Bourdon, el fuelle y el diafragma.

El tubo Bourdon, fué patentado por Eugene Bourdon, en 1852, y si gue aplicándose extensamente. Aunque se han diseñado varias versiones, las más empleadas son: el tubo bourdon normal en "C", en forma elicoidal y en forma espiral.

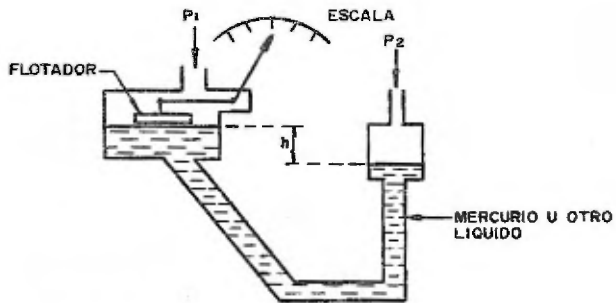
El elemento de fuelle es más costoso que el de Bourdon y su uso está restringido a rangos de baja presión en donde es impráctico diseñar un Bourdon. Su velocidad de respuesta es menor, debido a que el volumen es necesario cambiarlo para mover el fuelle, es mayor.

El diagrama puede ser considerado como una forma especial de fuelle. Está construido de discos planos corrugados del material deseado. Estos discos pueden ser usados individualmente o pueden unirse para formar una cápsula. Se emplean en aplicaciones similares a las del fuelle pero con algunas ventajas. Por ejemplo, los diafragmas pueden ser diseñados para tener un movimiento que sea no-lineal con la presión, lo cual es muy empleado en altímetros (aviación), en donde es deseable tener el movimiento proporcional a la altitud y no a la presión. Otra ventaja es que los diafragmas pueden ser construídos en materiales que no se pueden usar en los fuelles (por su construcción).



MEDIDOR DE PRESION ABSOLUTA
CON EXTREMO CERRADO

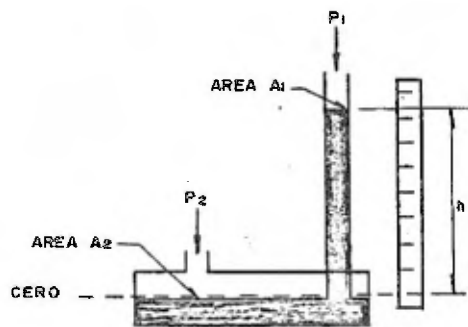
FIGURA 3.6



MEDIDOR DE PRESION DIFERENCIAL

FIGURA 3.7

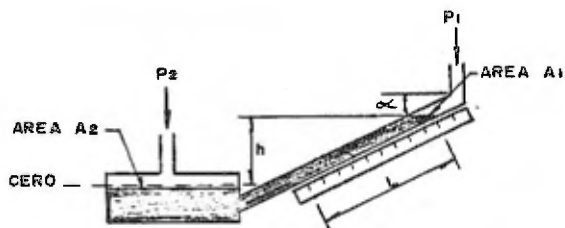
U. N. A. M. FACULTAD DE QUIMICA	
MEDIDORES DE PRESION	
TESIS PROFESIONAL CARLOS CECENA C.	MEXICO D. F. 1972



$$P_2 + P_1 = \gamma \left[1 + \frac{A_1}{A_2} \right] h$$

MEDIDOR DE PRESION DIFERENCIAL

FIGURA 3.8



$$P_2 + P_1 = \gamma \left[\frac{1 + A_1}{A_2} \right] L \text{ Sen } \alpha$$

MEDIDOR DE TUBO INCLINADO

FIGURA 3.9

U. N. A. M.
FACULTAD DE QUIMICA

MEDIDORES

TESIS PROFESIONAL
CARLOSCECENA C.

MEXICO D. F. 1972

Todos los elementos descritos anteriormente, pueden ser acoplados a mecanismos o circuitos que sean capaces de realizar las funciones de indicación, registro, transmisión de señal, control, alarmas, etc.

El siguiente cuadro muestra los rangos generales de aplicación de los elementos elásticos:

Cuadro 3.1

Elemento	Aplicación	Rango Mínimo	Rango Máximo
Bourdon	Presión	0-1 Kg/cm ²	0-7,000 Kg/cm ²
	Vacío	0-250 mm Hg vacío	0-760 mm Hg vacío
	Compuesto	760 mm Hg-0-1.2 Kg/cm ²	760 mm Hg-0-21 Kg/cm ²
Fuelle	Presión	0-25 mm Hg	0-7 Kg/cm ²
	Vacío	0-25 mm Hg vacío	0-760 mm Hg vacío
	Compuesto	125 mm Hg-0-125 mm Hg 0	Cualquier "Span" hasta de .75 Kg/cm ² (10 PSI)
Diafragma	Presión	0-25 mm Hg	0-14 Kg/cm ²
	Vacío	0-25 mm Hg vacío	0-760 mm Hg vacío
	Compuesto	12.5 mm Hg-0-12.5 mm Hg	760 mm Hg-0-1-4 Kg/cm ²

Los mecanismos más comúnmente empleados en transmisión se basan en el principio de balance de fuerzas. El transmisor de tipo de balance de fuerzas, opera por medio de un sistema de palancas en estado de equilibrio, siendo el elemento de medición alguno de los indicados anteriormente, el cual está en la parte inferior del transmisor; en la parte superior se encuentran las palancas y los componentes para la detección del movimiento y transmisión de la señal. Estos componentes pueden ser electrónicos en caso de que el transmisor sea electrónico, o mecánicos, el sistema de tobera-palometa, si el transmisor es neumático. Esta explicación la haremos en base al primer tipo.

En la fig. 3.10 se muestra el sistema de fuerzas en equilibrio, que funciona de la siguiente manera: Se tienen dos barras de fuerza D1d1 y D2d2 conectadas por medio de un brazo fijo y que tienen un punto de apoyo A, que es fijo y un punto de giro B que es móvil. Se aplica una fuerza F1, dado por el elemento de medición proporcional a la presión que se desea medir, el sistema --

tiende a desequilibrarse, produciendo un movimiento de giro en los puntos A y B, resultando en un desplazamiento en el núcleo del elemento detector. Como resultado se generará una señal de salida, misma que proporcionará una fuerza de retroalimentación F2 opuesta a F1 y de magnitud tal que llevará nuevamente al equilibrio al sistema. La magnitud de esta fuerza F2, dependerá del punto móvil de apoyo B, que determina el rango del instrumento. Este balance o equilibrio se estará efectuando siempre que haya un cambio en la medición que modifique la magnitud de la fuerza F1 y permanecerá en equilibrio cuando la medición de la presión sea estable.

Los componentes electrónicos del transmisor por balance de fuerzas son:

- 1).- Detector.
- 2).- Motor de Retroalimentación y
- 3).- Oscilador-amplificador

Todos estos componentes están localizados en la parte superior del transmisor y su funcionamiento es como sigue:

Cualquier cambio en la presión será detectada por el elemento de medición, produciendo un cambio en la fuerza F1 con el consecuente desequilibrio del sistema. Este movimiento cambia la posición del núcleo del detector, cambiando su acoplamiento inductivo. Este detector es un transformador diferencial que forma parte de un circuito oscilador. Al cambiar su acoplamiento cambia la condición de oscilación, aumentando o disminuyendo la salida de dicho circuito. La frecuencia de oscilación es de 1000hz. y no es crítica, ya que la amplitud de oscilación, que es determinada por la cantidad de acoplamiento inductivo, es la señal útil de c.a., la cual es rectificadora, filtrada y amplificada en dos etapas de c.c. produciendo la señal de c.c. proporcional a la medición. La salida del amplificador es conectada con el motor de retroalimentación en serie con la carga. A medida que la corriente en la bobina del motor de retroalimentación aumenta, se obtiene un aumento en la fuerza (F2) y simultáneamente un movimiento en el núcleo del detector opuesto al ejercicio por la medición obteniéndose, por lo tanto, siempre un estado de equilibrio de fuerzas. La energía para operar este sistema es obtenida de los mismos cables de transmisión de señal, por medio de una fuente regulada de c.c. ya que el transmisor se comporta como una resistencia (variable) en un circuito serie.

d.- Medición de nivel de líquidos.

La medición de nivel es similar a la presión, teniendo una capacitancia grande. Algunos sistemas tienen un considerable tiempo muerto.

Existe una gran cantidad de métodos para medir el nivel en un recipiente, nivel que, no necesariamente se requiere en dimensiones

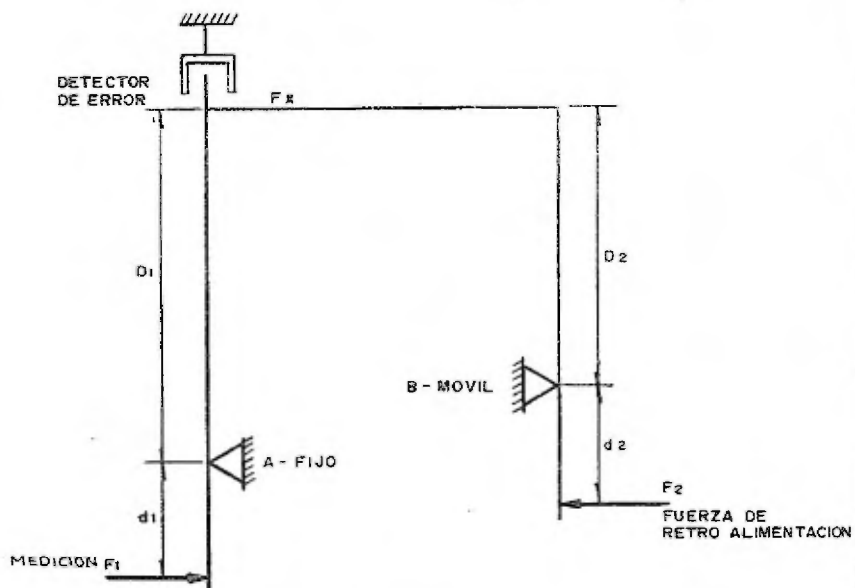


FIGURA - 3.10

U. N. A. M. FACULTAD DE QUIMICA	
ESQUEMA DEL PRINCIPIO DE BALANCE DE FUERZAS	
TESIS PROFESIONAL	MEXICO D. F. 1972
CARLOS CECEÑA C.	

de longitud, metros, pies, etc., sino que es muy común, que se desee obtener directamente en unidades de volumen o de peso de líquido dentro del recipiente. Esto se puede hacer conociendo las características del fluido, densidad, especialmente y la forma geométrica del tanque.

Estos métodos de medición los vamos a clasificar en dos grandes-grupos: métodos directos y métodos inferenciales.

- Métodos directos (ver Fig. 3.11)

i.- Observación Directa.

El primero y más sencillo y obvio, es el de la observación visual directa, por medio de una mirilla o tubo, conectado por vasos comunicantes con el tanque, que puede tener o no acoplada una escala graduada en las unidades que se deseen.

ii.- Sistema de Flotador.

Un elemento que flote en un líquido y que se relacione con un nivel de referencia es un medio directo de medición de nivel de líquidos. El diseño más práctico y común del flotador es el de tipo bola, que se conecta por medio de una varilla y un mecanismo sencillo a un puntero y una escala ó a un sistema de transmisión de señal.

Se suelen emplear así mismo, flotadores acoplados directamente a válvulas, en donde la posición del flotador determina la apertura de la válvula.

iii.- Electrodo.

La detección de nivel utilizando electrodos es empleada cuando la conductividad del líquido lo permite y cuando lo que se quiere es únicamente la señal de nivel a determinadas alturas del recipiente, comúnmente alto y bajo niveles, ya que no dan una señal continua. Su costo es bajo y su instalación sencilla.

El sistema más comúnmente empleado es el de 3 electrodos: uno de referencia y uno para alto y otro para bajo niveles y su funcionamiento consiste en que a través del líquido los electrodos cierran un circuito eléctrico el que es abierto al bajar el nivel y quedar alguno de los electrodos sin tocarlo. Es entonces cuando se tiene una señal eléctrica, que nos da una indicación visual y/o auditiva o energiza algún circuito eléctrico que abre ó cierra una válvula o arranca o para una bomba, etc.

iv.- Sistema sónico o luminoso.

Estos son sistemas, como el anterior de detección de nivel, en uno o varios puntos del recipiente y consiste básicamente en una fuente

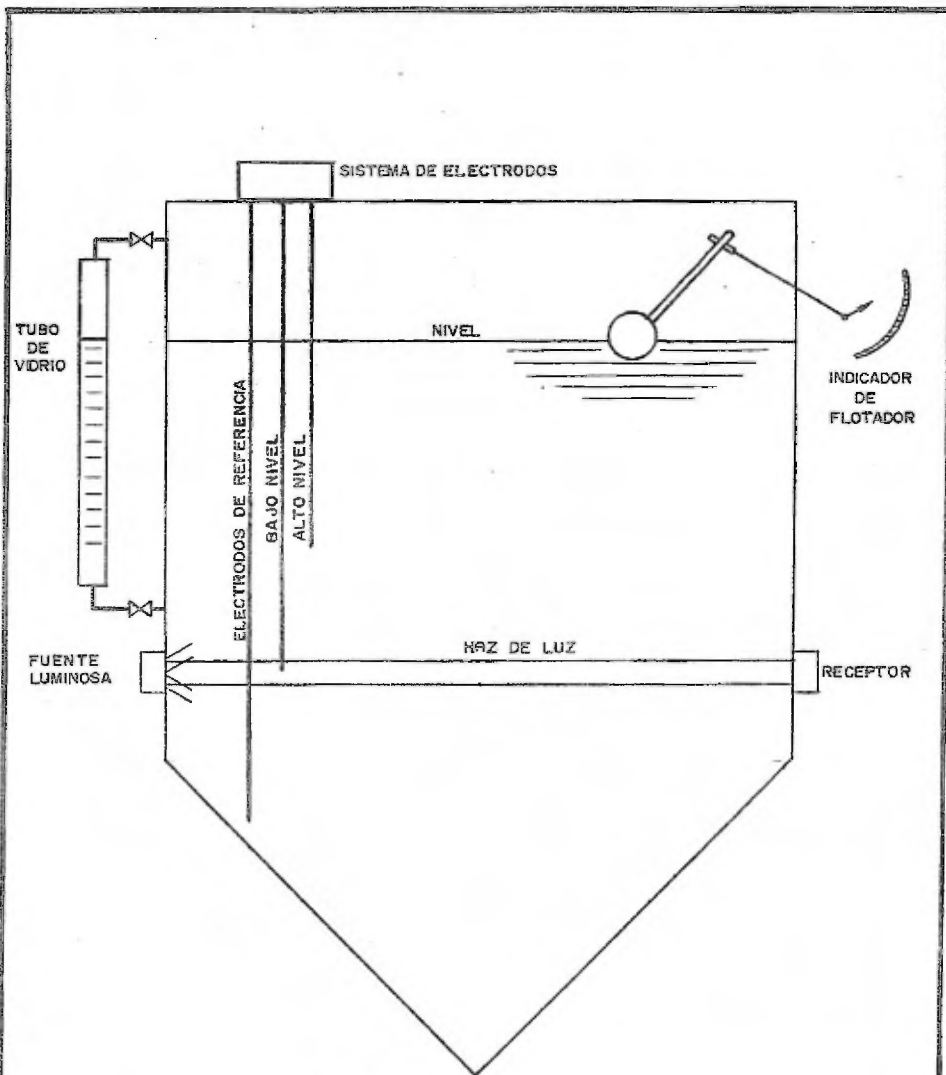


FIGURA 3.11

U. N. A. M.	
FACULTAD DE QUIMICA	
DIFERENTES SISTEMAS DIRECTOS DE MEDICION DE NIVEL	
TESIS PROFESIONAL	MEXICO D. F. 1972
CARLOS CECEÑA C.	

de luz o ultrasonido y un receptor que se coloca en línea horizontal en el otro extremo del tanque, de tal suerte que cuando el líquido llega a ese nivel, el receptor ya no recibe la señal del emisor y energiza o desenergiza un circuito eléctrico pudiendo realizar funciones similares a las que indicamos en el caso anterior.

- Métodos Inferenciales. (Ver Fig. 3.12)

1.- Medición de la columna de líquido.

El tipo de transmisor basado en la medición de la columna hidrostática o presión diferencial, funciona de la misma manera que el transmisor por balance de fuerzas, teniendo su conexión de alta presión conectada al fondo del recipiente y el lado de baja presión a la parte superior. La parte correspondiente a la transmisión de la señal eléctrica de c.c. funciona en forma idéntica a la del transmisor de flujo; esto es, dependiendo de la diferencial se obtiene una posición del núcleo del detector y una condición de oscilación. La salida del oscilador se amplifica y se convierte a señal de corriente conectando en serie con la carga la bobina del motor de retroalimentación y restablecer el estado de equilibrio.

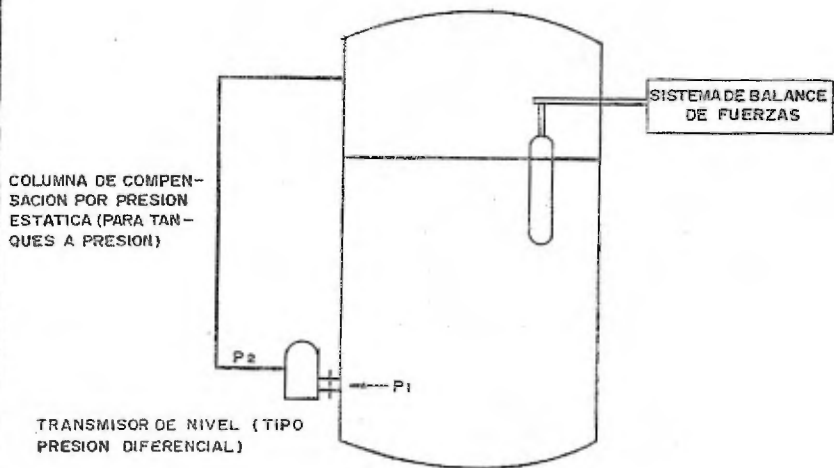
Para recipientes o tanques abiertos a la atmósfera, se utiliza un tipo especial de estos transmisores (dependiendo del rango de seado), que tiene una sola conexión en el lado de alta presión y va conectada directamente al recipiente por medio de una brida. La construcción del transmisor provee una conexión abierta a la atmósfera y constituye el lado de baja presión del instrumento.

ii.- Sistema de desplazador.

El transmisor de nivel de tipo desplazador utiliza la fuerza de empuje que recibe un cuerpo al estar sumergido en un líquido para medir dicha variable. Este cuerpo es el elemento primario ó desplazador. La fuerza de empuje es convertida por medio del mecanismo, ya descrito de balance de fuerzas a una señal proporcional de c.c. de acuerdo al rango elegido. Para lograr esto, se utiliza un elemento de desplazamiento lineal con el nivel.

Los tres tipos básicos que se utilizan son el de montaje por la parte superior del tanque, montaje lateral (mediante una brida) y montaje en pierna de nivel lateral. Para cualquier aplicación de medición de nivel en líquidos este método puede ser el más adecuado, ya sea en tanques atmosféricos, presurizados ó al vacío.

La medición de nivel se hace en la interfase de la superficie del líquido conforme varía a lo largo del desplazador. El desplazador es, generalmente, un cilindro acoplado al punto del transmisor donde se aplica la fuerza (F1) de la medición.



F I G U R A 3.12

U. N. A. M.	
FACULTAD DE QUIMICA	
METODOS INFERENCIALES DE MEDICION DE NIVEL	
TESIS PROFESIONAL	MEXICO D. F. 1972
CARLOS CECENA C.	

Debido a que su sección es constante a lo largo de su longitud de operación, la fuerza de empuje que recibe es incrementada proporcionalmente conforme el líquido cubre al desplazador. El peso del elemento desplazador siempre debe ser mayor que el del líquido desplazador, de tal forma que la fuerza ejercida sobre la barra de fuerza es siempre en dirección hacia abajo y conforme reciba una mayor fuerza de empuje producida por un nivel más alto, esta fuerza será menor cambiando el estado de equilibrio del sistema de fuerzas del transmisor. Nuevamente, como ya se ha explicado anteriormente, el núcleo del detector cambia de posición, con los cambios de la magnitud de la fuerza de empuje del líquido, y modifica la salida del oscilador y por tanto, la señal de salida de c.c. la cual es retroalimentada para restablecer el equilibrio del sistema.

3.1.2 Elemento Controlador.

Como ya dijimos, el segundo elemento del circuito de control es precisamente el elemento controlador propiamente dicho.

El controlador puede estar acoplado directamente al elemento primario, considerándose entonces que el control es "local", ó montado remotamente al elemento de medición, recibiendo una señal neumática o electrónica, dependiendo del tipo de instrumentación, diciéndose entonces que el control es de tablero.

En el capítulo 5 se exponen las consideraciones que se deben hacer tanto para la selección del tipo de señal que más conviene, como para la decisión de instalar un tablero central de control, siendo ésto último generalmente función del grado de automatización de la planta.

a) Definiciones Importantes.

Podemos definir al controlador como un aditamento que recibe el valor de una variable, lo compara contra el valor en que se desea se conserve la variable (punto de ajuste) y actúa para corregir ó limitar la desviación o error.

Las definiciones de las principales características de un proceso (definido al principio de este capítulo), son las siguientes:

I.- Capacidad.

Es la medida de la cantidad máxima de energía ó material que puede ser almacenada por el proceso. Se mide en unidades de cantidad.

II.- Capacitancia.

Es el cambio de la cantidad por unidad de cambio de una undad de referencia. Se mide en unidades de cantidad divididas por la variable de referencia.

III.- Resistencia.

Es la oposición al flujo de materia o de energía. Se mide en unidades de cambio de potencial necesarias para producir un cambio unitario en flujo.

IV.- Tiempo Muerto.

Es cualquier retardo entre dos acciones relacionadas. Se mide en unidades de tiempo.

V.- Autoregulación.

Es una reacción constante y propia del proceso que ayuda ó se opone al establecimiento del equilibrio.

VI.- Retraso.

Se suelen emplear varias formas del término retraso para expresar el retardo inherente en las características dinámicas de un sistema controlado. Las características relacionadas con dicho retraso son la capacitancia, la resistencia y el tiempo muerto, los cuales pueden existir individualmente ó en conjunto.

b.- Modos de Control.

Ya dijimos que el controlador realiza una acción tendiente a corregir el "error" en el valor de la variable. Esta acción correctiva puede ser hecha de diferentes maneras que dependen de las características y necesidades de control del proceso y que se conocen como "modos de control".

Los principales modos de control son los siguientes:

- Control de dos posiciones (dentro-fuera).

Este tipo de control (que también puede ser de 3 ó más posiciones aunque éstas rara vez se emplean), es aquél en el que el elemento final de control se mueve a una de dos únicas posiciones extremas, cuando la variable controlada alcanza un valor predefinido.

En otras palabras, si el valor de la variable está por arriba -- del punto de ajuste del controlador, éste enviará una señal para que el elemento final de control permanezca totalmente abierto ó

totalmente cerrado, dependiendo de lo que se desee. Y por el contrario, si el valor está por debajo del punto de ajuste, el controlador enviará una señal que haga la operación contraria a la del primer caso.

La gráfica de la Fig. 3.13 nos ilustra la forma en que actúa el control de dos posiciones de acuerdo al valor de la variable.

- Control flotante.

Este es el modo de control en el que el elemento final de control se mueve gradualmente de su posición abierta ó cerrada, dependiendo si la variable controlada está arriba ó abajo del punto de ajuste. En otras palabras, la válvula es gradualmente abierta ó cerrada y "flota" en una posición parcialmente abierta. Los tres tipos de control flotante son: (1) flotante de una sola velocidad (2) flotante de una sola velocidad con zona neutral y (3) flotante con varias velocidades.

El control flotante de una velocidad reacciona solamente en el tiempo de la desviación, siendo su velocidad constante, sin ser función de la magnitud de la desviación. Este tipo de control generalmente se efectúa con un control de dos posiciones y una válvula eléctrica que pasa de abierta a cerrada actuando a una velocidad predeterminada y constante.

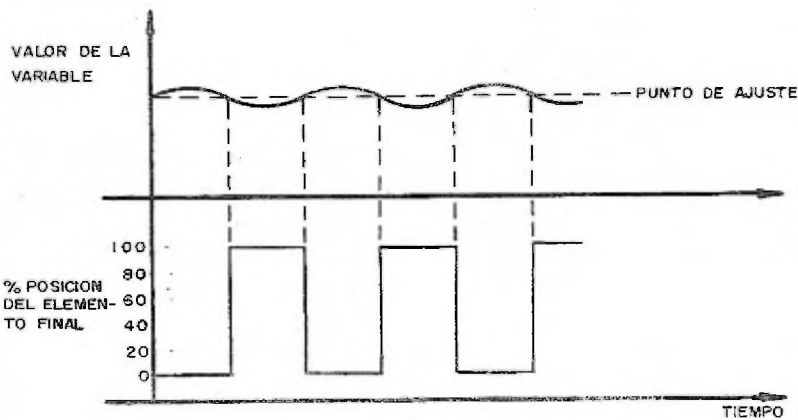
En el control flotante con zona neutral, el controlador no envía ninguna señal al elemento final de control si la variable está cerca del punto de ajuste. Esto se emplea para evitar las idas y vueltas demasiado frecuentes del motor. La Fig. 3.14 muestra la forma en que actúa este tipo de control.

El control flotante de varias velocidades es aquel en el cual el elemento final de control se mueve a diferentes velocidades, dependiendo si la variable controlada está cerca ó lejos de su punto de ajuste. Este tipo, por tanto, reconoce el tiempo y la magnitud de la desviación. La acción de este tipo de control se ve en la Fig. 3.15. Cuando la variable controlada está dentro de la zona neutra el elemento final de control está estacionario. Si se sale de la zona neutra, la válvula se moverá a una velocidad constante y, a una mayor duración, se mueve a una mayor velocidad.

- Control proporcional.

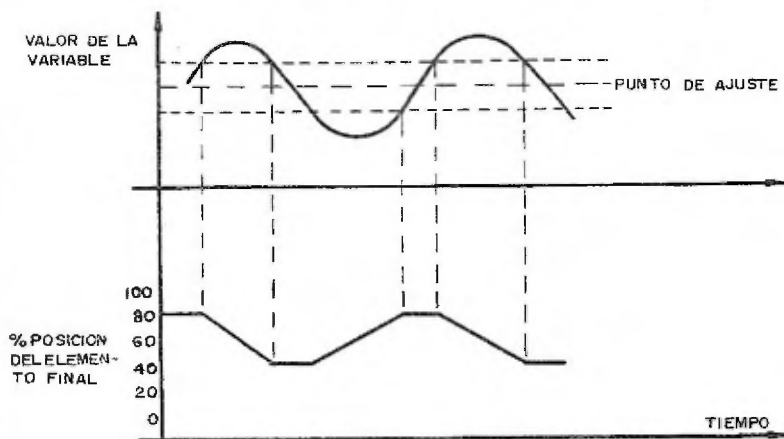
Este modo de control también conocido como modulante, es aquel en el cual el elemento final de control se posiciona en proporción a la magnitud de la variable controlada. La acción de la variable es simplemente reptida y amplificada en la válvula.

Banda proporcional es el por ciento de escala que la variable debe recorrer para mover el elemento final de control de una posi-



CONTROL DE DOS POSICIONES

FIGURA 3.13



CONTROL FLOTANTE CON

ZONA NEUTRAL

FIGURA-3.14

U. N. A. M.
FACULTAD DE QUIMICA

CONTROLES

TESIS PROFESIONAL
CARLOS CECENA C.

MEXICO D. F. 1972

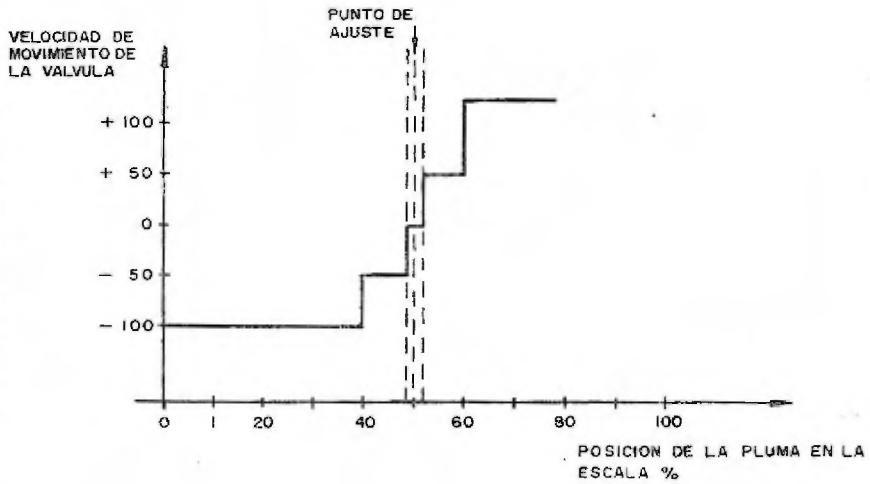


FIGURA - 3.15

U. N. A. M.	
FACULTAD DE QUIMICA	
CONTROL FLOTANTE DE VELOCIDAD MULTIPLE CON ZONA MUERTA	
TESIS PROFESIONAL	MEXICO D. F. 1972
CARLOS CECENA C.	

ción extrema a la otra. Esto es, con una banda proporcional angosta, sólo se requiere un pequeño cambio en la variable para operar la válvula en su carrera total. Cuando la banda es ancha se requiere un cambio grande en la variable controlada para mover la válvula en toda su carrera.

La Fig. 3.16 representa la relación entre la variable controlada y la posición de la válvula para diferentes bandas proporcionales. Nótese que cuando la banda proporcional es cero, equivale a tener un control de dos posiciones y cuando es mayor de 100%, no es posible abrir ó cerrar la válvula completamente aún cuando la variable controlada se sitúe en cero ó en el 100% de la escala del controlador.

ecuación del controlador proporcional en función de la posición absoluta del elemento final de control es la siguiente:

(3.16)

$$P = \frac{1}{S} (Y - Z) + M$$

donde:

- P = Posición de la válvula
- S = Banda proporcional
- Y = Variable en %
- Z = Punto de ajuste
- M = Constante que depende de la posición del reajuste

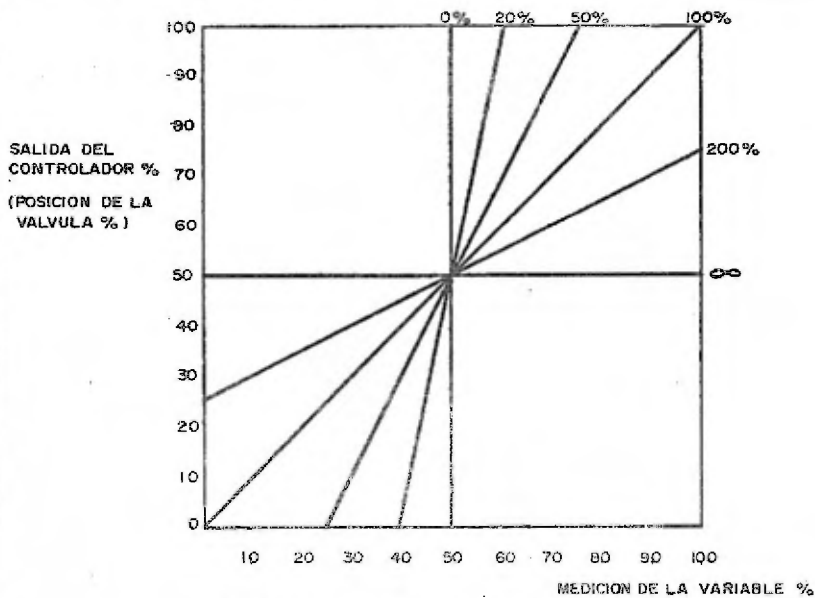
ganancia es el recíproco de la banda proporcional y expresa acción multiplicadora del modo proporcional.

modo proporcional se caracteriza por una desviación del punto ajuste al presentarse un cambio de carga. Esta desviación es proporcional al ajuste de la banda proporcional. La Fig. 3.17 muestra la acción que tiene un controlador proporcional sobre la variable que se está controlando.

Control proporcional más Reajuste.

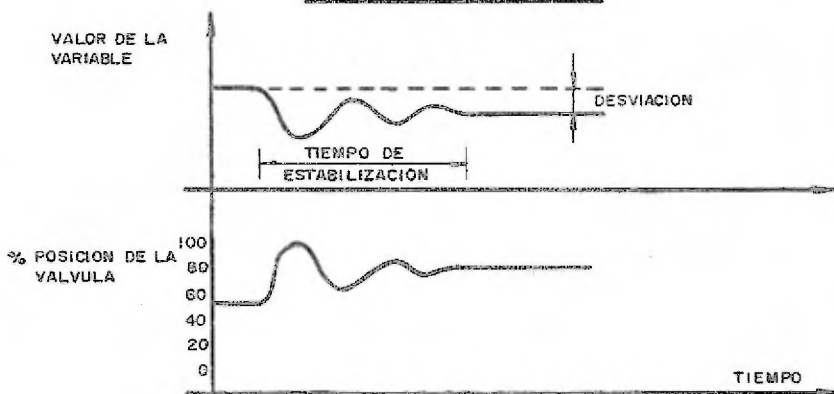
ha visto anteriormente que en el control proporcional se presenta una desviación al punto de ajuste que es necesario eliminar ajustando la amplitud de la banda proporcional para dar diferentes aberturas a la válvula cuando la variable está en el punto de control. Este ajuste se puede hacer manual, cuando se tiene solamente control proporcional, ó automático por medio del modo de control integral que consiste en correr la banda proporcional de un lado a otro de la escala hasta obtener una abertura de válvula tal que vuelva a la variable al punto de control. Esta operación se vé gráficamente en la Fig. 3.18.

El control proporcional duplica el cambio de elemento final de -



EFFECTO DE LA BANDA PROPORCIONAL

FIGURA - 3.16



ACCION DEL CONTROL

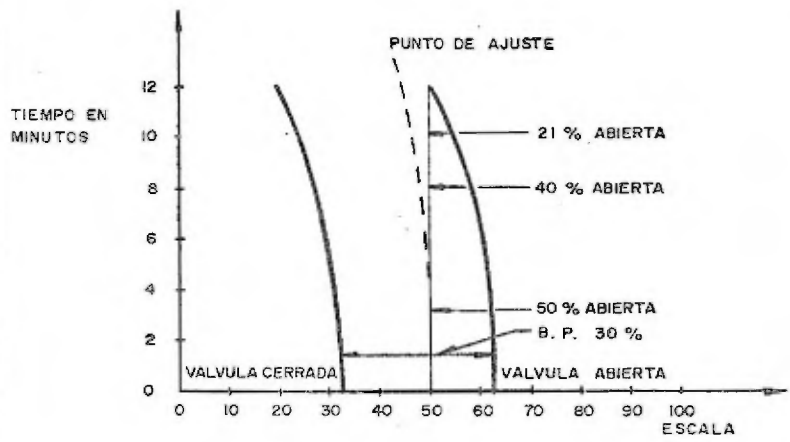
PROPORCIONAL

FIGURA - 3.17

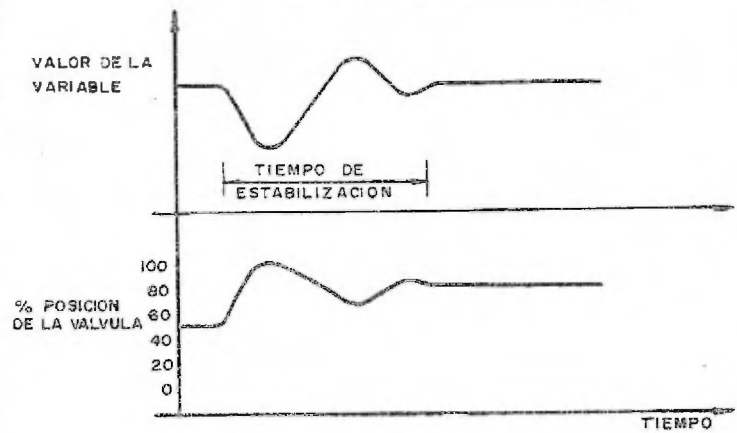
U. N. A. M.
FACULTAD DE QUIMICA

CONTROL PROPORCIONAL

TESIS PROFESIONAL MEXICO D. F. 1972
CARLOS CECENA C.



**RESPUESTA DE UN CONTROLADOR
CON REAJUSTE**
F I G U R A - 3.18



**ACCION DEL CONTROL
PROPORCIONAL CON REAJUSTE**
F I G U R A - 3.19

U. N. A. M. FACULTAD DE QUIMICA	
CONTROLADORES CON REAJUSTE	
TESIS PROFESIONAL CARLOS CECENA C.	MEXICO D. F. 1972

control en un cierto período de la variable, mientras que el --- reajuste integra continuamente el área bajo la curva de desviación de la variable, ésto es, actúa proporcionalmente a la integral del error (valor de la variable menos el valor del punto de ajuste). La suma algebraica de las dos respuestas es la acción del control proporcional con reajuste.

La ecuación del controlador proporcional con reajuste es, por -- tanto la suma de las dos respuestas individuales, esto es:

Ec (3.17)

$$P = \frac{1}{s} (Y - Z) + \frac{r}{s} \int_0^t (Y - Z) dt + n$$

en donde:

r = Velocidad del reajuste (min.)

t = Tiempo en minutos

n = Constante de integración, posición inicial de la válvula

Haciendo las siguientes conversiones para simplificar:

$Y - Z = \text{error} = e$

$1/r = \text{Constante de tiempo integral} = \tau$

$1/s = \text{Ganancia ó l/banda proporcional} = K$

$N = Kn$

Tenemos que:

Ec (3.18)

$$P = K \left(e + \frac{1}{\tau} \int_0^t e dt + n \right)$$

que es la representación matemática del control proporcional con reajuste.

La Fig. 3.19 muestra la acción de un controlador proporcional -- con reajuste.

- Control Proporcional con Reajuste y con Derivativa.

Algunas veces al controlador proporcional con ó sin reajuste, se le añade la acción derivativa también llamada modo anticipatorio ó componente de velocidad, que puede definirse como la respuesta del control con la cual la posición de la válvula puede ser proporcional a la velocidad de cambio de la desviación.

La relación matemática que describe la acción proporcional más -- derivativa es la siguiente:

$$\text{Ec (3.19)} \quad P = K \left(e + \frac{1}{T_d} \int_0^t e dt + T_d \frac{de}{dt} \right)$$

en donde T_d es la constante de tiempo derivada.

La Fig. 3.20 muestra la acción de un controlador de este tipo.

Derivando la Ec (3.19) para obtener la variación de la posición de la válvula y generalizando, tenemos que:

$$\text{Ec (3.20)} \quad \frac{dr}{dt} = K_0 e + K_1 \frac{de}{dt} + K_2 \frac{d^2e}{dt^2} + \dots + K_n \frac{d^ne}{dt^n}$$

en donde podemos notar que:

$K_0 e$ = Respuesta del reajuste

$K_1 \frac{de}{dt}$ = Respuesta proporcional

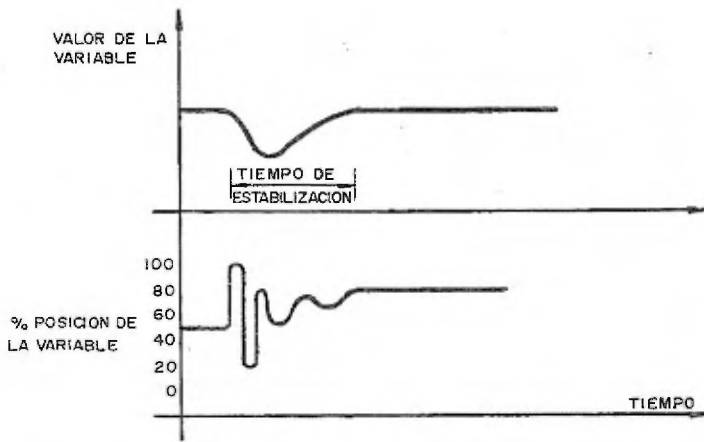
$K_2 \frac{d^2e}{dt^2}$ = Respuesta de la acción derivativa

Un controlador continuo es aquél que incluye uno o más de los términos de la ecuación anterior, siendo cada respuesta proporcional a la variable controlada ó a una de sus derivadas. De acuerdo con ésta ecuación general sería posible añadir una tercera, cuarta ó más altas derivadas, ó aún un término integral pero en general hay que añadir una pieza extra para tener una respuesta para cada derivado adicional. Hay, por lo tanto, un límite tanto físico así como económico, además de que cada derivada adicional requiere un ajuste. Manejar tres, cuatro o más ajustes semi-independientes es, en la práctica, sumamente difícil.

En el cuadro 3.2 se muestran las aplicaciones en las que se emplean los modos de control estudiados aquí.

c.- Tipos de Señal.

Los tipos de señal más empleados en circuitos de control de procesos son el neumático y el electrónico, siendo los rangos más comunes el de 3-15 PSI para el primero y 4-20 ma ó 10-50 ma para el segundo. Véase el capítulo 5 para ver que argumentos deben tomarse en cuenta para escoger un sistema ú otro.



**ACCION DE UN CONTROLADOR PROPORCIONAL
CON REAJUSTE Y CON DERIVATIVA**

FIGURA - 3.20

U. N. A. M.	
FACULTAD DE QUIMICA	
ACCION DE UN CONTROLADOR	
TESIS PROFESIONAL	MEXICO D. F. 1972
CARLOS CECENA C.	

CUADRO 3.2

APLICACIONES DE LOS DIFERENTES MODOS DE CONTROL

Modo de Control	Velocidades de Reacción del Proceso	Cambios de Carga		Aplicaciones
		Magnitud	Velocidad	
Control de dos Posiciones	Lenta	Cualquiera.	Cualquiera.	Instalaciones de temperatura y nivel de gran capacidad. Tanques de almacenamiento, tanques de suministro de agua caliente, calefacción.
Flotante-Velocidad constante con zona neutral.	Rápida	Cualquiera.	Cualquiera.	Procesos con tiempos muertos pequeños. Hornos industriales y aire acondicionado.
Proporcional	Lenta o Moderada	Pequeña	Moderada	Presión, temperatura y nivel en donde las desviaciones del punto de ajuste no sean objetables. Rehornos, estaciones reductoras de presión.
Proporcional con Reajuste	Cualquiera.	Grande	Lenta a Moderada	La mayoría de las aplicaciones - incluyendo flujo. No es recomendable para operación por lotes.
Proporcional con Reajuste y con Derivativa.	Cualquiera	Grande	Rápida	Control de procesos por lotes; procesos con cambios repentinos y grandes.

3.1.3 Elemento Final de Control

Es el elemento de un sistema de control que directamente -- cambia el valor de la variable manipulada. Aunque el término no abarca tanto válvulas de control como compuertas y motores eléctricos que de alguna manera posicionen algún elemento de una máquina o proceso, vamos a referirnos aquí únicamente a las válvulas controladoras, ya que es el elemento -- que se utiliza en la gran mayoría de las instalaciones industriales.

Podemos distinguir dos componentes fundamentales de una válvula de control: (1) el cuerpo ó válvula propiamente dicha y (2) el actuador u operador de la misma.

a.- Características del Cuerpo

La función de esta parte es directamente la de controlar -- el flujo del fluido manipulado, de acuerdo con una relación pre-establecida de acuerdo al movimiento del vástago accionado por el operador. Para cumplir con esta función, la -- válvula debe cumplir con lo siguiente:

- i.- Debe cumplir con las especificaciones mecánicas de la -- tubería en la que va a estar instalado, esto es, (1) los materiales de construcción deben ser los adecuados para resistir la corrosión y la erosión, al menor costo posible, (2) debe estar construída para resistir las condiciones del fluido como son presión, temperatura, velocidad, etc., y (3) las conexiones deben ser las adecuadas para el servicio y pueden ser bridas, roscadas ó soldadas considerando que no debe haber fugas.
- ii.- La capacidad de la válvula debe ser la suficiente y necesaria para manejar el gasto que se requiere. La importancia de un correcto cálculo del tamaño de la válvula tiene dos aspectos: (1) desde un punto de vista económico, una válvula demasiado grande representa un incremento en la inversión inicial, así como mayores gastos de mantenimiento y (2) desde el punto de vista operación, una válvula pequeña para el servicio, no puede funcionar y una válvula demasiado grande dá un control pobre y puede, incluso, causar inestabilidad. Vale la pena tomar en cuenta que el más caro, sensible y exacto controlador servirá de muy poco si la -- válvula no está correctamente dimensionada para mantener el valor deseado.

La teoría básica del cálculo de válvulas de control se puede expresar como sigue: la velocidad del fluido de proceso es convertida matemáticamente a una velocidad equivalente --

a un fluido de referencia. Al tener esta relación se selecciona un tamaño de válvula que, por pruebas, se sabe que es capaz de manejar el fluido equivalente que se usó como referencia a las condiciones especificadas del proceso. Para líquidos el fluido de referencia es el agua. Para flujos de gas y de vapor la referencia es el aire a condiciones estándar de presión y temperatura.

Esta relación está dada por un coeficiente de flujo llamado comúnmente Cv. Algunos fabricantes utilizan los coeficientes Cg y Cs cuando se trata de gases ó de vapor, para una mayor facilidad en el cálculo, ya que se pueden emplear las unidades adecuadas a estos servicios.

Las curvas de características de flujo típicas se muestran en la Fig. 3.21.

b.- Actuadores.

El actuador es la parte que recibe la señal del controlador y la transmite mecánicamente por medio de un vástago o una flecha al cuerpo de la válvula. Los actuadores más comunes son los neumáticos y los eléctricos. Dentro de los primeros, los más comunes son el de diafragma y el de pistón que puede ser de doble acción o con resorte. Las señales que reciben son normalmente de 3-15 PSI, de 6-30 PSI (empleando un posicionador) y de 60 PSI.

Los actuadores eléctricos reciben una señal de c.d. que opera un motor que puede girar en ambos sentidos. También son muy empleadas las solenoides, especialmente para controles de dos posiciones.

3.1.4 Instrumentos para otras funciones.

Es obvio que además de las funciones propiamente de control que ya fueron explicadas, existen otras funciones indispensables tanto para el control como para la supervisión de los procesos. Estas funciones son realizadas por diferentes instrumentos que, de alguna manera están conectadas con los elementos de circuito de control y que, aunque los podemos clasificar como de operación secundaria, son indispensables para el adecuado funcionamiento de un sistema automatizado. Entre otros citaremos los siguientes como instrumentos "secundarios."

- Registradores.
- Tableros de alarmas.
- Convertidores de señal:

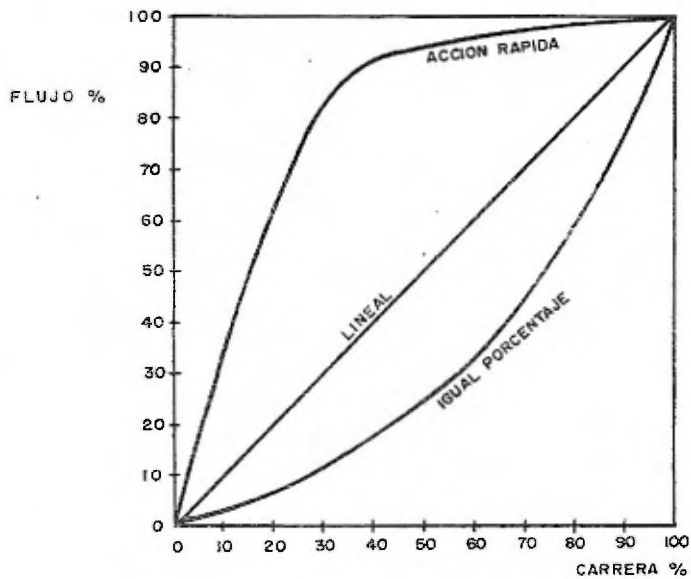


FIGURA - 3.21

U. N. A. M.	
FACULTAD DE QUIMICA	
CURVAS DE CARACTERISTICAS DE FLUJO PARA VALVULAS DE CONTROL	
TESIS PROFESIONAL	MEXICO D. F. 1972
CARLOS CECENA C.	

Corriente/neumática
 Milivolts/corriente
 Neumática/corriente

- Indicadores.
- Aditamentos de seguridad.
- Válvulas de alivio
 Discos de Ruptura
- Controladores de tiempo.
- Multiplicadores de señal.
- Extractores de raíz cuadrada.
- Válvulas autoreguladas, etc.

3.2. COMPUTADORAS DIGITALES APLICADAS AL CONTROL AUTOMATICO.

3.2.1. Generalidades

Existen tres objetivos fundamentales que cumplir al introducir el control automático en una planta de proceso, y se pueden mostrar en los siguientes niveles de prioridad:

- a) Operación de la planta.
- b) Especificaciones del Producto.
- c) Optimización del proceso.

Esta jerarquización de prioridad es objetiva e independiente de si se vé desde el punto de vista del ingeniero encargado del diseño del proceso, del ingeniero de producción u operación, o del ingeniero de control.

En principio, el interés principal está en el arranque de la planta y la estabilización de la operación del proceso. Cuando la planta está ya en operación, el interés se centraliza en la producción de un producto que cumpla con las especificaciones y normas de calidad requeridas. No es poco común que todo el esfuerzo se centre en estos dos aspectos y que se olvide el tercer punto que es la optimización.

Con el equipo convencional de control (como el analizado en la sección 3.1) es posible realizar tanto --

una operación adecuada cuanto llevar a cabo un control de calidad satisfactorio. Al control de especificaciones de los productos se le ha tomado especial interés en los últimos años debido al desarrollo de equipo analítico del tipo en línea y la especial tecnología para conectar en cascada analizadores no continuos con variables tales como reflujos de columnas o flujos de calor en rehervidores.

Las computadoras de control de procesos se han aplicado indistintamente a los tres niveles de prioridad. Sin embargo la mayor justificación para el empleo de computadoras de procesos es y será el tercer nivel, optimización. Este aspecto contesta la pregunta ¿Qué es necesario hacer para obtener los mayores beneficios? Naturalmente la solución no siempre requiere o justifica el uso de una computadora para todos los procesos, pero sí definitivamente es, en no pocos casos, el medio más efectivo para la obtención de mayores beneficios.

3.2.2 Datos sobre el empleo de computadoras en Control

En una encuesta realizada en los E.U.A. en 1970, por la "National Petroleum Refiners Association", hecha entre sus 106 miembros sobre las aplicaciones, requerimientos y beneficios obtenidos con sus instalaciones de computadoras para control de procesos, se obtuvieron, entre otros, los siguientes datos interesantes:

- i.- Se estimó que existen 60 computadoras de control de procesos instaladas en la industria de la refinación.
- ii.- Los tipos de sistemas instalados así como el porcentaje del total instalado que representa cada sistema, son los siguientes:
 - USC.- Sistema de control de supervisión unitario, que es un sistema de control por computadora de gaza (loop) abierta y/o gaza cerrada acoplado a un solo proceso para regular y/o optimizar variables medidas y/o calculadas, por medio de la manipulación de puntos de ajuste de controladores convencionales.

% de Instalaciones de este tipo: 32%.

- OIS.- Sistema de información de la operación de un sistema de control por computadora del tipo de gaza abierta acoplada a procesos de refinación, movimientos de aceite y sistemas de inventario de tanques, para automatizar los informes del funcionamiento del proceso y los datos contables.

% de Instalaciones de este tipo: 20%.

- MUSC.- Sistema de control de la supervisión múltiple, igual al anterior solamente que acoplado a más de un proceso.

% de Instalaciones de este tipo: 28%.

- RCC.- Sistema de control por computadora de una refinería que consiste en una combinación de un sistema de información de la operación y un sistema de control digital directo múltiple y/o un control supervisorio.

% de Instalaciones de este tipo: 8%.

- UDDC.- Sistema de control digital directo unitario, que es un sistema de control por computadora de gaza-cerrada ("closed-loop") acoplada a un proceso para regular directamente las variables del proceso, manipulando actuadores de válvulas, reemplazando a los controladores convencionales de temperatura, presión, flujo, etc., neumáticos o electrónicos.

% de instalaciones de este tipo: 4%.

- MUDDC.- Sistema de control Digital Directo múltiple acoplado a más de un proceso.

% de Instalaciones de este tipo: 8%.

- iii.- Son operaciones comunes a todos los sistemas anteriores las siguientes: exploración de datos, impresión de información, comunicación con el operador y alarmas.
- iv.- Los tipos de lenguajes que se emplean son, en orden de mayor o menor uso: Combinación de Simbólico y Fortran (40%), solo Fortran, (24%) solo simbólico (20%), Combinación de Fortran y Control estándar (8%) y combinación de simbólico, Fortan y control estándar (8%).
- v.- Los promedios de capacidad de menor a mayor y de costo son los siguientes:

TIPO DE SISTEMA	CAPACIDAD DE MEMORIA	COSTO DE LA COMPUTADORA
MUDDC	16 K	\$6,250.000.00 M. N.
USC	16 K	2,000,000.00 M. N.
MUSC	24 K	4,000.000.00 M. N.
OIS	32 K	5,000.000.00 M. N.

- vi.- El tipo y cantidad de personal empleado en las dife--

rentes instalaciones se puede resumir en el siguiente cuadro:

Ingenieros de Proceso	17
Ingenieros Instrumentistas	16
Programadores	15
Ingenieros de Sistemas	11
Ingenieros en Computación	9
Ingenieros Electricistas	4
Ingenieros de Control	4

vii.- Como ejemplos de los beneficios económicos involucrados con el empleo de estos sistemas se tienen los siguientes datos:

TIPO DE INSTALACION	PROMEDIO DE AHORRO U.S. ¢ Barril
UDDC en "Cat Cracker"	1.6
UDDC en "Light ends"	2.5
UDDC en Destilación de Crudos	0.6
UDDC en "Gasoline Blending"	1.0

viii.- Los beneficios generales obtenidos por las compañías, con la instalación de sistemas de control por computadora son, en orden de importancia:

- a) Mejor control
- b) Mejor información
- c) Minimización de costos
- d) Mejoramiento de la calidad de los productos
- e) Mejoramiento de las evaluaciones

ix.- Los principales problemas que han tenido estas compañías son, en orden de importancia:

- a) La necesidad del recorte de personal
- b) Mantenimiento de la instrumentación
- c) Costo
- d) Aceptación de los nuevos sistemas por parte del personal
- e) Justificación
- f) Demostrar ahorros
- g) Aceptación de la Gerencia

Con los datos mostrados anteriormente, nos podemos dar una idea muy general y al mismo tiempo muy realista, del empleo que se les está dando a los sistemas de control de procesos por computadoras, así como sus diferentes manifestaciones y sus ventajas y problemas más comunes, con lo cual nos podemos formar un criterio sobre la necesidad y ventajas del uso

de computadoras en el campo del Control de Procesos.

En seguida vamos a indicar cuales son los métodos más usuales para regular y/o recibir información de un proceso industrial empleando Computadoras Digitales.

3.2.3 Sistemas de Control con Computadoras.

El empleo de computadoras digitales para la operación, control y optimización de plantas de proceso se pueden llevar a cabo de diferentes maneras (véase inciso ii de la sección 3.2.2), dependiendo del proceso, de los recursos con que se cuenta, de las necesidades de regulación y/o manejo de información, de los beneficios técnicos y económicos que se de-
seen, etc.

Sin embargo, es posible agrupar en dos los tipos de sistemas que se han desarrollado con este fin:

- a) Control Digital Directo (DDC)
- b) Control Supervisorio.

Naturalmente, estos sistemas presentan una infinidad de variantes, llegándose inclusive, en algunas aplicaciones hasta a combinarse entre sí. En seguida estudiaremos cada uno de estos sistemas.

A.- Control Digital Directo (DDC).

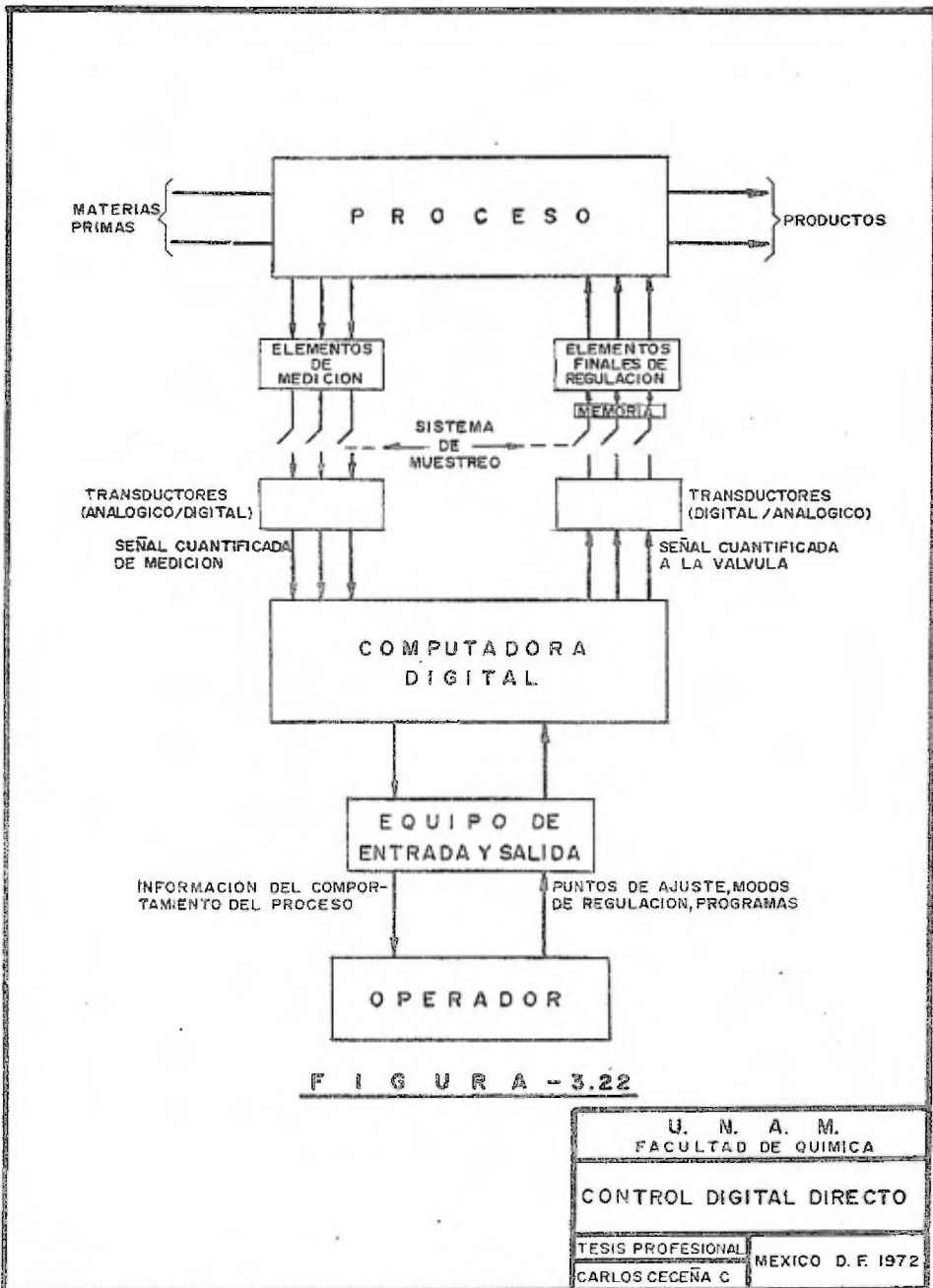
Definitivamente éste es el sistema más poderoso desarrollado hasta la fecha para el logro de los objetivos de mejoramiento de la operación y regulación y de la optimización de una planta industrial.

Podemos decir que consiste básicamente de un control -- por computadora a gaza cerrada, acoplada a uno o varios procesos con el fin de controlarlos y/o optimizarlos -- por medio del manejo directo de los elementos finales de control.

En este sistema, como en el control supervisorio, se emplean tanto instrumentos convencionales como computadoras digitales.

La figura 3.2.2 muestra la relación de estos elementos que se combinan por medio de transductores analógico-
digitales y digital-analógicos.

En un sistema analógico convencional de control, el controlador emplea una medición continua de la variable y manda hacia la válvula de una señal continua también. Los modos y el punto de control son ajustados manualmen



F I G U R A - 3.22

U. N. A. M.	
FACULTAD DE QUIMICA	
CONTROL DIGITAL DIRECTO	
TESIS PROFESIONAL	MEXICO D. F. 1972
CARLOS CECEÑA C	

te por el operador. En un sistema de control por computadora se envía una señal cuantificada y muestreada a la válvula. Tanto el ajuste del punto de control como el de los modos de control es requerido, pero adviértase que se están agregando dos variables adicionales al sistema: Tiempo de muestreo y cuantificación, que se explicarán más adelante.

El sistema digital puede usar diferentes formas de control lineales o no-lineales. También, se ha demostrado por experiencia, que se requiere una memoria de la señal de salida a la válvula, externa a la propia computadora. Con esta memoria se puede emplear cualquiera de los diferentes métodos de actuación de las válvulas de control.

- Aspectos importantes que se deben considerar en un Sistema DDC

En un sistema de Control Digital Directo hay cuatro aspectos fundamentales que deben tomarse en cuenta para diseñarlo, a saber:

- 1) Actuación de la válvula
- 2) Leyes del control
- 3) Tiempo de muestreo y
- 4) Cuantificación

Estos cuatro factores están en interacción de tal manera, - que la investigación de un efecto individual depende directamente de cómo se escojan los otros efectos.

i.- Actuación de la Válvula de Control.

Hay dos diferentes métodos que se pueden emplear para mandar la señal de control a una válvula: Transmitir un cambio de la posición de la válvula ó transmitir una señal que define la posición absoluta de la válvula.

Por consideraciones de seguridad y dado que se ha demostrado que se pueden usar cálculos de computadora más simples y que la transferencia de automático a manual es más sencilla, el método de enviar la señal del cambio de posición ha sido el preferido para ser usado en los sistemas de Control Digital Directo.

ii.- Leyes del Control.

Como ya vimos, la Ley de control de la posición teórica empleada hoy en controladores analógicos es:

$$\text{Ec. (3.20)} \quad P = K \left(e + \frac{1}{T_r} \int_0^t e dt + T_d \frac{de}{dt} \right)$$

en donde:

P = señal de posición

e = error = Y - Z

Z = referencia ó punto de ajuste

Y = medición o valor de la variable

K = ganancia ó 1/banda proporcional

\bar{z}_r = reajuste ó constante de tiempo integral

\bar{z}_d = constante de tiempo derivada

Varias son las formas de leyes equivalentes de control digital que pueden ser desarrolladas y usadas en un Sistema DDC. Por ejemplo, una ley de control de posición puede ser:

Ec. (3.21)

$$P_n = K \left[e_n + \sum_{n=-\infty}^{+\infty} \frac{\Delta T}{\bar{z}_r} e_n + \frac{\bar{z}_d}{\Delta T} (e_n - e_{n-1}) \right]$$

en donde:

$e_n = Z - Y_n$

T = Tiempo de muestreo

n = número de muestreos

Una ley equivalente de regulación de velocidad es la siguiente:

Ec. (3.22)

$$V_n = \frac{\Delta P_n}{\Delta T} = K \left[\frac{e_n - e_{n-1}}{\Delta T} + \frac{1}{\bar{z}_r} e_n + \frac{\bar{z}_d}{\Delta T^2} (e_n - 2e_{n-1} + e_{n-2}) \right]$$

Sin embargo, como ya se mencionó, la experiencia ha demostrado que es mejor emplear un tipo de válvula que pueda posicionarse enviándole solamente una señal de cambio de posición (ΔP) no una señal de posición absoluta, debemos emplear una ecuación adecuada y esta es:

Ec. (3.23)

$$\Delta P_n = K \left[(e_n - e_{n-1}) + \frac{\Delta T}{\bar{z}_r} e_n + \frac{\bar{z}_d}{\Delta T} (e_n - 2e_{n-1} + e_{n-2}) \right]$$

Es conveniente notar que en esta forma los modos de control $\Delta t/\bar{z}_r$ y $\bar{z}_d/\Delta t$ son constantes adimensionales. Por tanto, son solamente una función de la dificultad del control del proceso.

Otra ecuación equivalente que suele ser usada es:

Ec. (3.24)

$$\Delta P_n = K \left[(M_{n-1} - M_n) + K_r (R - M_n) + K_d (2M_{n-1} - M_{n-2} - M_n) \right]$$

en donde:

$$K_r = \frac{\Delta T}{\bar{z}_r}$$

$$K_d = \frac{\bar{z}_d}{\Delta T}$$

Esta forma tiene la referencia ó punto de control, apareciendo solamente en el término integral. Esta situación tiene la ventaja que el cambio de punto de control no producirá efectos en el proceso por el modo proporcional ó por el derivativo.

Para poder obtener un ajuste completamente independiente de los modos de control, se puede usar la siguiente forma:

Ec. (3.25)

$$\Delta P_n = K_1 (M_{n-1} - M_n) + K_2 (R - M_n) + K_3 (2M_{n-1} - M_{n-2} - M_n)$$

en donde:

$$K_1 = K$$

$$K_2 = K \frac{\Delta T}{\bar{z}_r}$$

$$K_3 = K \frac{\bar{z}_d}{\Delta T}$$

Como puede verse de las consideraciones anteriores, existen muchas formas de las leyes del control con retroalimentación de los reguladores analógicos convencionales, que se pueden usar en un sistema de control Digital Directo, debiendo aplicar en cada caso la más conveniente.

iii.- Tiempo de Muestreo.

Técnicamente el tiempo de muestreo más adecuado para ser usado en un circuito de control dado, es una función de la dinámica del proceso y de las leyes de control que se usen. Experimentalmente se ha demostrado que la eficiencia de un sistema de regulación primeramente decrece, después mejora notablemente y por último vuelve a decrecer, conforme se - - -

aumenta el tiempo de muestreo. El mejor funcionamiento fué observado generalmente al tener un período de muestreo aproximadamente igual a la constante de tiempo de todo el proceso.

En procesos cuya regulación es sencilla, donde el sistema se caracteriza por tener varios retrasos, esta respuesta no fué observada normalmente. En estos casos parece ser que mientras mayor sea el tiempo de muestreo, la regulación es mejor y por tanto el tiempo de muestreo más rápido que prácticamente sea conveniente aplicar, debe ser el empleado.

Sin embargo, desde un punto de vista práctico, deben considerarse varios factores para definir el tiempo de muestreo ideal. En un Sistema DDC es deseable, desde el punto de vista del equipo, el fijar el tiempo de muestreo más largo que sea posible, ya que esto reduce los requerimientos de velocidad de los aditamentos de entrada y salida y de los cálculos en la computadora.

Esto, además permite el manejo de un mayor número de circuitos de regulación para un Sistema DDC dado, o un sistema más sencillo para manejar el mismo número de circuitos. Por otro lado, es necesario que un circuito de regulación responda rápidamente cuando el operador haga un cambio en el punto de ajuste de un circuito dada la inconveniencia de tener que esperar varios minutos para que un circuito crítico de regulación empiece a responder, especialmente en una situación de emergencia. Es cierto que teóricamente es posible iniciar la acción correctiva inmediatamente, pero esto requeriría programas de computadora mucho más complejos.

Se ha visto que el menor tiempo de muestreo requerido para circuitos de regulación de flujo de líquidos es de 1.0 a 1.5 segundos. Para otros tipos de circuitos este valor puede variar grandemente, dependiendo de la dinámica del proceso, pero normalmente no se deberá exceder un tiempo de 10 a 20 segundos, si se desea tener una respuesta razonable a cambios de puntos de ajuste y para condiciones de alarma.

iv.- Cuantificación de la entrada y de la salida.

En un sistema DDC deben ser tomados muy en cuenta los niveles de cuantificación tanto de la entrada como de la salida.

El nivel de cuantificación de la entrada debe ser suficientemente bueno para conservar la sensibilidad básica del elemento transmisor de la medición si esta señal se va a usar en el sistema para otros cálculos del proceso. Se ha aceptado que esta magnitud sea de uno al millar para los instrumentos de medición actuales.

Esto asegura que no se introducirá ningún error significativo por cuantificación.

La mejor cuantificación de la señal de salida es función solamente de la regulación y el mejor nivel dependerá de varios factores como son el tipo de actuación de la válvula y el ruido en el circuito de regulación. Este efecto ha sido observado en circuitos de flujo donde se encontró que un cuanto de salida de 1:250 a 1:400 dió una mejor regulación. Sin embargo, hasta hoy este efecto no ha sido estudiado profundamente, de tal modo que no se ha podido determinar su efecto real.

v.- Tipo de Computadora Digital.

Una de las decisiones fundamentales que se deben hacer para seleccionar un procesador digital central es entre usar una computadora programable por medio de cables -en general, una computadora de propósito específico- ó una computadora convencional de propósito específico- ó una computadora convencional de propósito general.

El primer tipo presenta ciertas ventajas, especialmente de tipo económico -pero hace difícil el trabajo de experimentación y naturalmente es poco versátil. Además esta falta de flexibilidad va en detrimento de la facilidad con que pueda modificarse el sistema, si es que fuera necesario, una vez que está operando.

Por otro lado, una característica importante de una computadora de propósito general es la facilidad con que se pueden cambiar, eliminar ó agregar los tipos y cantidad de funciones que se desee.

Algunos aspectos de la organización e implementación de la computadora son dictados por la aplicación. Por ejemplo, -para un propósito específico, se puede requerir una memoria de núcleo magnético ó un aditamento de velocidad similar, y en tal caso, sería imposible utilizar una memoria de tambor o de disco en donde el tiempo de respuesta sería una limitación. Para un Sistema DDC parece ser satisfactorio un tiempo del ciclo de memoria del orden de 5 a 10 microsegundos, -en combinación con circuitos lógicos de similar velocidad.

Por otro lado, es necesario adaptarse a las necesidades del proceso para definir la velocidad a la que la computadora -deberá realizar cada operación ya que por ejemplo, para un sistema de 100 circuitos de regulación con un período de muestreo de 1 segundo, se tendrían 10 milisegundos para realizar las operaciones, entonces cada una deberá llevarse --solamente unos cuantos cientos de microsegundos, ya que si se pone por ejemplo, un sistema que trabaje a 2 ó 3 milise-

gundos por operación, tendremos problemas, ya que se invertirían 6 milisegundos en dos multiplicaciones (de acuerdo con la ley de regulación que se esté usando) y quedarán solamente 4 para las operaciones de entrada y salida y otros cálculos, lo cual no sería suficiente.

Es necesario pues, tomar muy en cuenta los factores que nos dicta el proceso para poder definir el tipo de equipo más conveniente para cada aplicación específica. Sin embargo, para procesos grandes y continuos, la experiencia ha demostrado que para un sistema DDC la elección de una computadora de propósito general es, en general, la más apropiada.

PROCESOS NO CONTINUOS.

Hasta hace poco tiempo, la aplicación de computadoras para la regulación de procesos químicos estaba limitada a plantas grandes y de trabajo continuo como son refinerías, unidades petroquímicas, productoras de acero, etc. Una área sobre la cual no se había intentado hacer mucho a este respecto, es la de procesos que trabajan por lotes o en forma discontinua.

Sin embargo, este criterio se ha ido cambiando poco a poco, con el desarrollo de un nuevo tipo de sistema: las minicomputadoras.

Este tipo de computadora es, como se puede deducir de su nombre, una computadora de propósito general, con una capacidad limitada a las necesidades del proceso y por ende, de un costo reducido.

El aumento de la complejidad de los procesos de tipo discontinuo ó por lotes, hace que se requieran nuevas técnicas para regularlos. Algunas de estas plantas se han hecho tan complejas que regularlas por métodos convencionales resulta casi imposible y en no pocas ocasiones mucho más caro.

El costo de una minicomputadora está por abajo de \$125,000.- M.N. Esto significa que, en general, el costo de la computadora será menor que el costo de los instrumentos que va ventajosamente a substituir.

B.- Control Supervisorio.

Este sistema consiste, en términos generales, de una regulación por computadora que puede trabajar a gaza cerrada y/o a gaza abierta acoplado a uno o varios procesos con el fin de regularlos y/o optimizarlos, por medio del ajuste de los puntos de regulación (Set points) en controladores convencionales.

Es decir, en este sistema se utilizan tanto computadoras digitales cuanto controladores de tipo analógico como los descritos en el Capítulo 3.1.

La figura 3.23 es un diagrama que muestra la interrelación entre el equipo analógico convencional, la computadora digital, el operador y el proceso. Cabe señalar que en este caso el sistema tiene la opción de manejarse manualmente, es decir, el operador puede mandar señales de control al proceso directamente, sin necesidad de que intervenga la computadora. Este tipo de operación desde el punto de vista de la computadora es un sistema a gaza abierta.

En cambio, cuando se está operando a través de la computadora -en automático según el selector auto-man- la operación se está llevando a gaza cerrada.

Esta opción -de poder trabajar a gaza abierta o a gaza cerrada- presenta la ventaja de que todos los circuitos de control pueden seguir operando aún cuando la computadora esté fuera de servicio. De otro modo, al fallar la computadora, se tendría la necesidad de parar todo el proceso lo cual trae consigo diversos problemas, especialmente de tipo económico.

Otra ventaja que presenta esta opción, es que en el momento del arranque del sistema, se puede operar manualmente mientras se logra la estabilización del proceso. Esto simplifica y acelera la operación de arranque de una planta, ya que como es obvio, es mucho más sencillo ir estabilizando poco a poco el sistema, operando primeramente en forma manual y después ya automáticamente.

- Factores a considerar en un Sistema de Control Supervisorio.

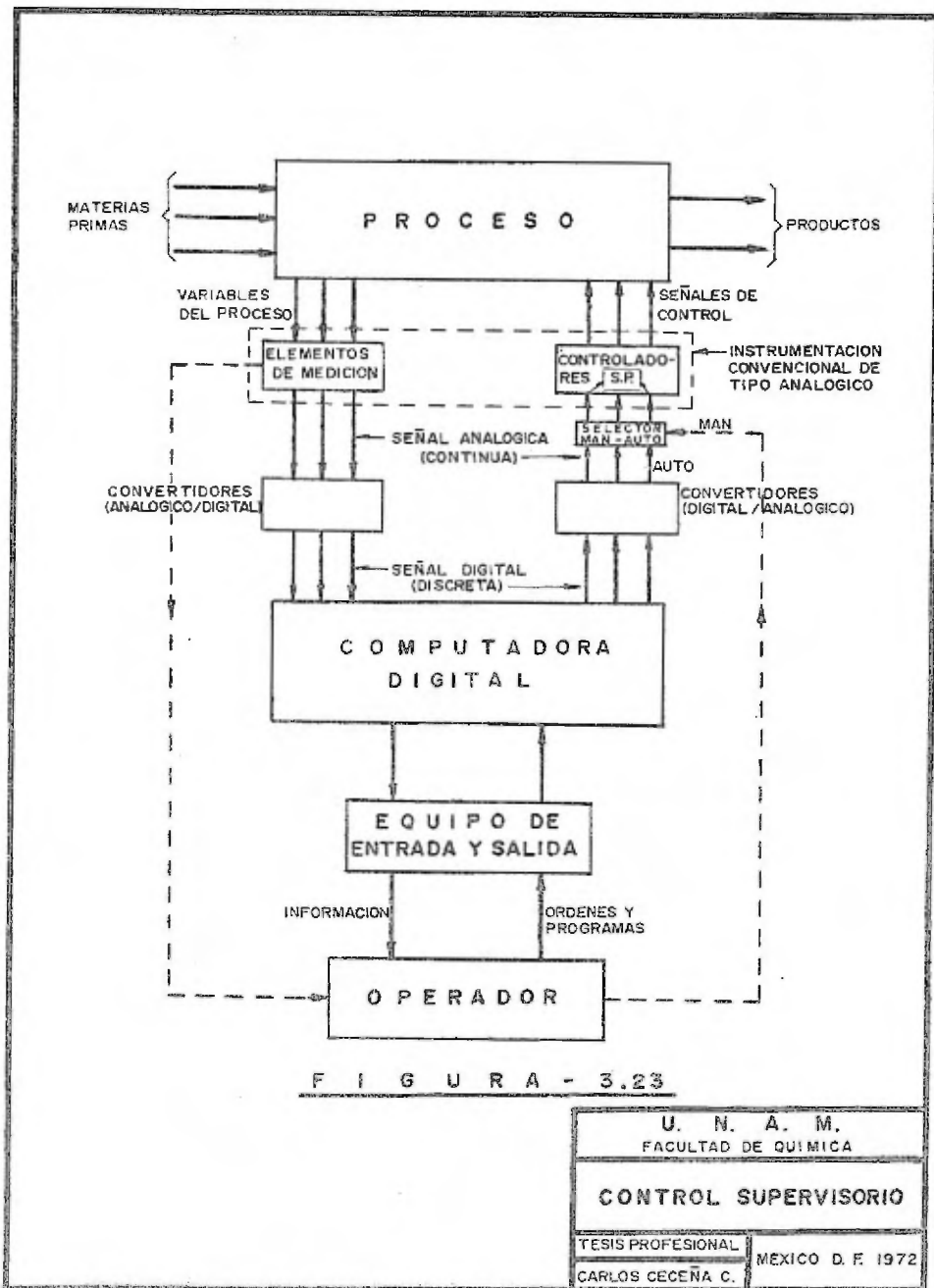
Para la implantación de un sistema de control supervisorio es necesario tomar en consideración los mismos factores que los indicados para la regulación digital directa, a saber:

i.- Actuación de la válvula.

Al estarse empleando reguladores analógicos convencionales, el problema de selección del más adecuado modo de actuación de las válvulas de regulación, se reduce al mínimo, ya que dependerá no del tipo de computadora ó de las leyes de regulación aplicadas, sino fundamentalmente, como en los métodos convencionales de regulación, del tipo de instrumentos que se estén usando.

ii.- Leyes del Control.

Es obvio que las ecuaciones que se deberán resolver en la -



computadora, en este caso son sustancialmente diferentes a las aplicadas en el caso del control digital directo.

En este último caso, es necesario calcular por medio de las ecuaciones ya planteadas, la posición que debe tener el elemento final de control, con el fin de que la variable permancea en el valor deseado.

En el caso del control supervisorio, lo que es necesario -- calcular, es el valor más adecuado de cada una de las variables para lograr los resultados de eficiencia, calidad y seguridad deseados en el proceso.

Esta situación se puede ejemplificar con el siguiente sistema:

Supóngase que se tiene un cambiador de calor (Fig. 3.24a) en donde se está calentando una cantidad conocida de un fluido, desde una temperatura inicial T_0 hasta una temperatura final T_1 .

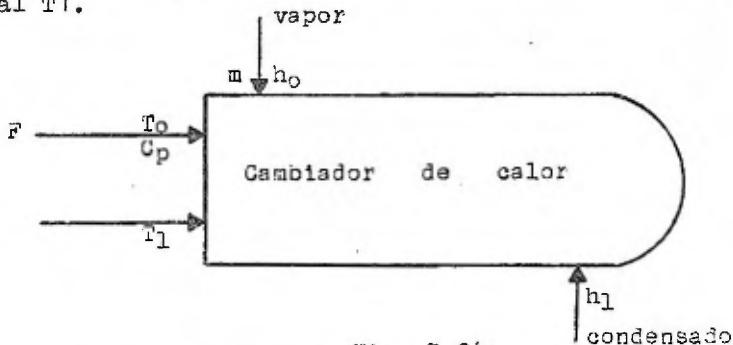


Fig. 3.24a

El calentamiento se está haciendo con vapor a una presión, y por tanto un contenido de calor conocidos. Así, la cantidad de vapor que se requiere para calentar una cantidad F del fluido será:

$$Q = F C_p \Delta T \quad \text{siendo} \quad T = T_1 - T_0$$

que deberá ser igual a la cantidad de calor que ceda el vapor ó sea:

$$Q = m \Delta h \quad \text{siendo} \quad \Delta h = h_1 - h_0$$

igualando:

$$m \Delta h = F C_p \Delta T$$

$$\text{Ec. (3.26)} \quad m = \frac{F C_p \Delta T}{\Delta h}$$

en donde:

Q = Cantidad de calor necesario para elevar la temperatura del fluido desde T_0 hasta T_1 .

T_0 = Temp. inicial del fluido.

T_1 = Temp. final del fluido.

C_p = Calor específico del fluido.

F = Cantidad de fluido.

m = Cantidad de vapor.

h_0 = Entalpia inicial del vapor.

h_1 = Entalpia final del vapor.

Aplicando un sistema de control predictivo, tendríamos que, en caso de haber un cambio en la carga F ó un cambio en la temperatura inicial del fluido, la computadora habría de resolver la Ec. (3.26) para obtener qué cantidad de vapor m se requiere para mantener la temperatura final en el valor deseado.

El valor obtenido de esta manera, se transmite al controlador convencional, el cual de inmediato operará la válvula de control para que permita el paso precisamente de m Kg/hr de vapor. El sistema está representado en la Fig. 3.24.

Pero si el procedimiento es emplear un sistema de regulación convencional con retroalimentación, entonces aunque la ecuación que se deberá resolver en la misma, el sistema de detección de la variable es diferente; ya que deberá detectar la temperatura T_1 a la salida del cambiador y en función de ésta el valor m de la cantidad de vapor requerida será calculada por la computadora y transmitida al controlador, para que éste posicione la válvula adecuadamente.

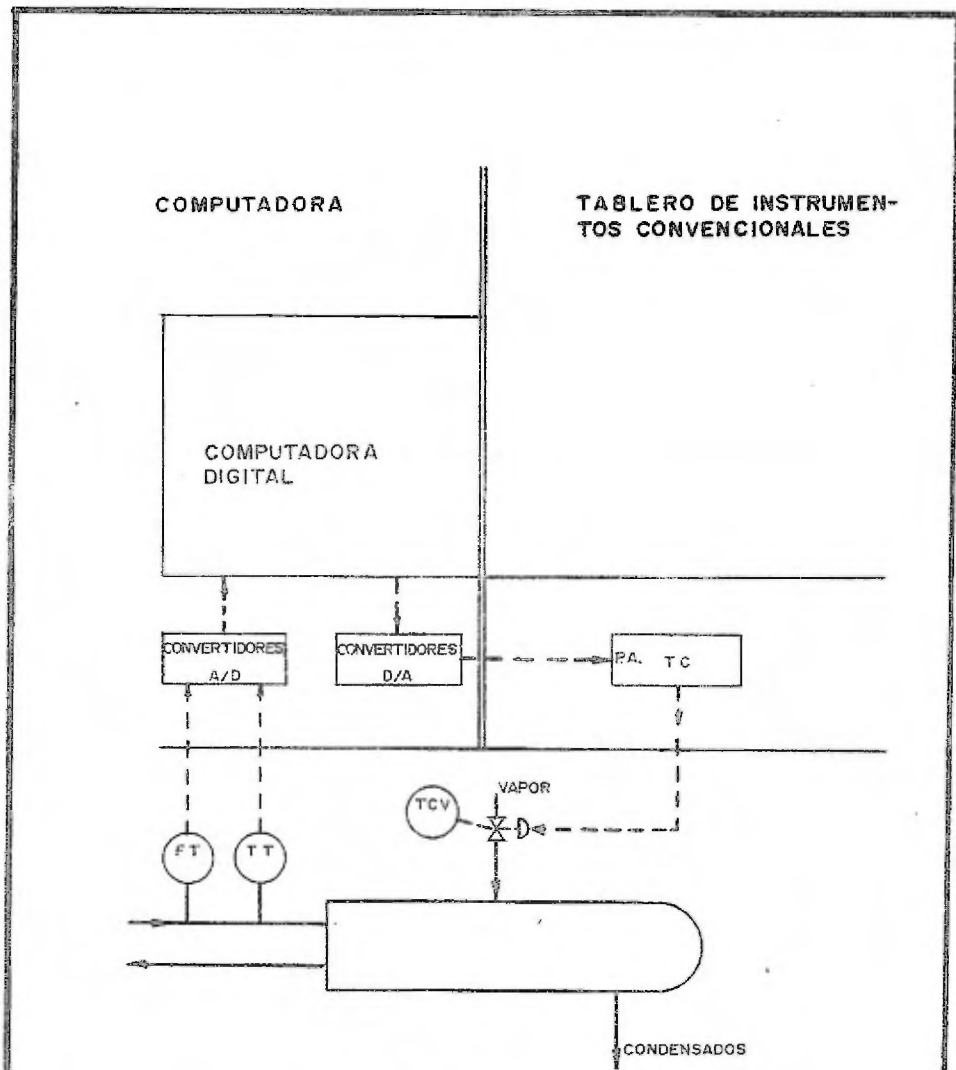
Como se ve, en la regulación supervisora, la computadora no interviene en los modos de control que deberán aplicarse para cada caso, si no que ésto se deja exclusivamente al instrumento.

iii.- Tiempo de Muestreo y Cuantificación.

Para estos factores, se aplica lo indicado en los incisos - iii y iv de la sección anterior.

iv.- Equipo.

Las consideraciones generales para la mejor selección, tanto del equipo que podemos llamar periférico, así como de la computadora en sí, hechos para el caso de un sistema DDC son válidos en general para un sistema supervisorio, haciendo hincapié en que es necesario hacer un estudio exhaustivo de las condiciones de cada aplicación particular, para llegar



F I G U R A - 3.24

U. N. A. M.	
FACULTAD DE QUIMICA	
CONTROL SUPERVISORIO	
TESIS PROFESIONAL	MEXICO D. F. 1972
CARLOS CECEÑA C.	

a la selección y establecimiento del sistema más adecuado en cada caso.

3.2.4 Operaciones generales de las computadoras en el control de procesos.

a) Enseguida enlistaremos algunas de las operaciones generales y comunes a casi todos los procesos que, adicionalmente a la función de control, se suelen llevar a cabo al emplear computadoras en procesos industriales:

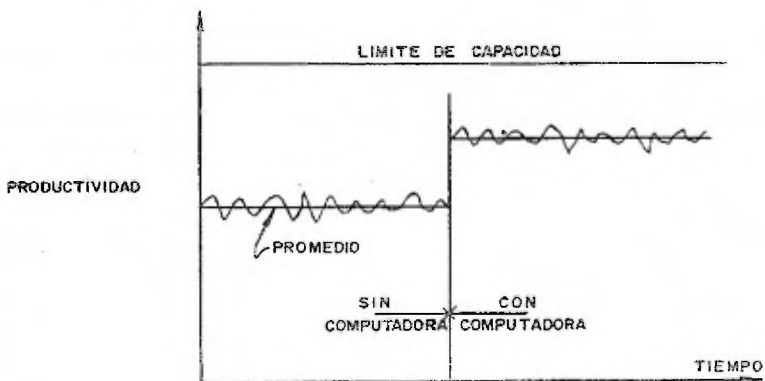
- i.- Recepción de todas las variables y su conversión a unidades de ingeniería.
- ii.- Indicación por medio de señales audibles y luminosas - de valores de variables que se salgan de los límites establecidos.
- iii.- Impresión automática de la magnitud y duración, de estas variaciones anormales.
- iv.- Impresión al solicitarlo de los valores límite máximo y mínimo de las diferentes variables, en la consola del operador.
- v.- Impresión al solicitarlo de datos técnicos de las variables del proceso, requeridas por el personal de producción de la planta.
- vi.- Impresión periódica automática ó a solicitud de datos de producción para la gerencia.

b) Además de las operaciones generales mencionadas anteriormente, para cada tipo de proceso se pueden establecer funciones muy diversas, entre las cuales podemos mencionar las siguientes:

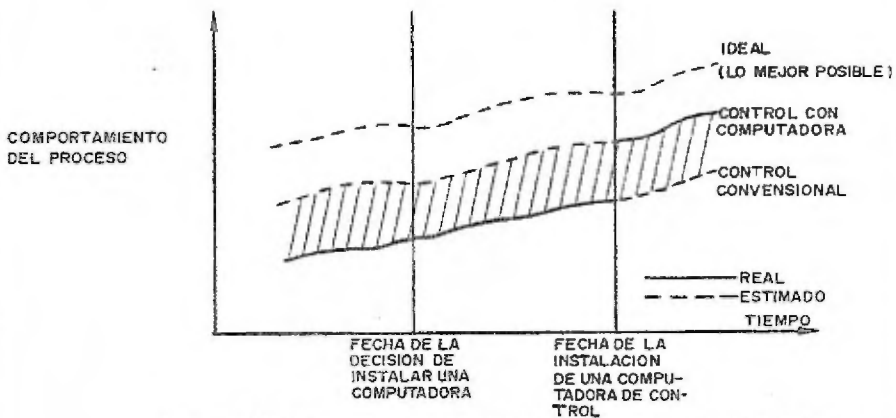
- i.- Cálculo de balances de materiales a través de cierto equipo ó de todo un proceso.
- ii.- Cálculo de eficiencias de equipos y procesos.
- iii.- Cálculo de conversiones a través de diferentes equipos ó procesos.
- iv.- Cálculo en cambiadores de calor y rehervidores de eficiencias y verificación de la operación.
- v.- Predicción de la vida útil de catalizadores y elaboración de programas de reemplazo.
- vi.- Cómputo de caídas de presión y obtención de los perfiles de temperatura en la operación de ciertos equipos.

- vii.- Para ciertos reactores el cálculo periódico, empleando un modelo matemático adecuado, del punto de ajuste óptimo para ciertas variables.
 - viii.- Elaboración automática de informes técnicos de producción, eficiencias, etc.
- c) Los beneficios de tipo económico que se obtienen al emplear estos sistemas se pueden clasificar en dos grupos:
- Beneficios directos.- Son los que directamente nos dan un ahorro, ya sea en equipo, en tiempo ó en personal necesario para realizar ciertas operaciones. Entre otros, podemos citar en este caso los siguientes ejemplos:
 - i.- Ahorro en tiempo de obtención de datos y cálculos de Ingeniería.
 - ii.- Eliminación de registradores convencionales.
 - iii.- Eliminación de tableros de anunciadores.
 - iv.- Eliminación de extractores de raíz cuadrada y otro tipo de instrumentos y accesorios.
 - v.- Disminución de las horas-hombre necesarias para realizar el trabajo.
 - vi.- Reducción del mantenimiento de diferentes equipos.
 - Beneficios indirectos ó intangibles.- Estos, como su nombre lo indica, son beneficios que no se pueden cuantificar pero que están presentes y representan un factor muy importante a ser considerado. Entre otros, podemos citar los siguientes ejemplos:
 - i.- Obtención de datos de operación más completos y exactos.
 - ii.- Información técnica del proceso más exacta.
 - iii.- Indicación automática de errores y de funcionamiento fuera de lo normal.
 - iv.- Una regulación óptima.
 - v.- Cálculos complejos y análisis de información del proceso, ya sea automáticamente ó a solicitud del operador.
 - vi.- Mejoramiento de la seguridad en la planta, tanto del equipo como del personal.

- vii.- Mejoramiento del manejo de inventarios y programaciones, etc.
- d) Las Fig. 3.25 y 3.26 ilustran gráficamente, con estos ejemplos típicos, cómo el uso de computadoras puede mejorar la eficiencia de los procesos a los que se aplican.



INCREMENTO DE PRODUCTIVIDAD CON EL USO DE COMPUTADORAS
 F I G U R A - 3.25



MEJORAMIENTO DEL COMPORTAMIENTO DE UN PROCESO CON EL USO DE COMPUTADORAS
 F I G U R A - 3.26

U. N. A. M. FACULTAD DE QUIMICA	
VENTAJAS DEL USO DE COMPUTADORAS DE CONTROL	
TESIS PROFESIONAL	MEXICO D. F. 1972
CARLOS CECEÑA C.	

CAPITULO IV

DESARROLLO DE UN PROYECTO DE INSTRUMENTACION

PARA CONTROL EN UN PROCESO

Habiendo analizado en los capítulos anteriores, las características generales que puede tener un sistema automático de control de procesos en lo que a equipo y sistemas se refiere, procederemos a señalar la forma en que se debe trabajar para la implantación de lo anterior a un proceso industrial. Es decir, indicaremos los pasos que se deben seguir, dentro de un proyecto industrial para el establecimiento, definición, selección, compra, instalación, calibración, pruebas y arranque de un sistema automático de control.

Naturalmente, centralizaremos nuestra atención en el trabajo que debe realizar el Ingeniero Instrumentista de diseño dentro de un proyecto industrial, pero antes será interesante ver el aspecto general del mismo.

4.1 Panorama General de un Proyecto Industrial.

Vamos a definir "proyecto industrial" como el desarrollo -- del trabajo necesario para el establecimiento de una planta industrial desde la concepción del proceso, hasta la erección física de la planta.

En general, podemos dividir el proyecto en las siguientes etapas:

- I. Estudio técnico-económico
- II. Diseño
- III. Construcción, pruebas y arranque
- IV. Operación

4.1.1 Estudio técnico-económico

Este estudio es el punto de partida del proyecto y es la -- parte que nos establece las bases sobre las cuales se desarrollará el resto de trabajo. La iniciativa para la realización de este estudio, puede surgir por cualesquiera de -- los siguientes factores:

- a) Factores económicos, como son: recuperación de la inversión, competencia, capital, mercado, etc.
- b) Factores sociales como son: necesidades del producto presentes y futuras, disponibilidad de mano de obra, desarrollo de la comunidad, etc.

- c) Factores políticos como pueden ser: estabilidad de la moneda, descentralización, establecimiento de zonas de integración, etc.

Este estudio técnico-económico deberá indicar el volumen óptimo de producción, la capacidad de la planta (actual y futura), la localización de la misma, la rentabilidad de la inversión que se desee hacer, etc., a partir de:

- a) El estudio del mercado
b) El estudio de viabilidad

El estudio del mercado nos indicará el volumen de ventas esperado del producto que se pretende elaborar, así como el precio más adecuado de venta, mientras que con el estudio de viabilidad se podrá decidir si es conveniente, desde el punto de vista económico, y en base a la información del estudio del mercado, la fabricación del producto que se está investigando.

Así mismo, el estudio de viabilidad nos indicará la ubicación más conveniente que debe tener la planta, considerando los siguientes factores:

Obtención de materias primas, cercanía de los centros de consumo y de distribución, comunicaciones y medios de transporte, mano de obra, disponibilidad de agua y servicios generales como son: combustibles y energía eléctrica, impuestos y políticas regionales y estatales, clima, etc.

Es obvio que, de acuerdo a los resultados que se obtengan en esta parte, es que se puede decidir continuar con el proyecto ó suspenderlo en esta etapa, debido a que se considere que no es conveniente seguir.

4.1.2 Diseño.

Podemos considerar que el Diseño o la Ingeniería, como también se le suele llamar, se divide en dos grandes etapas, a saber:

- a) Ingeniería Básica
b) Ingeniería de Detalle

Ingeniería Básica

La Ingeniería básica, es la parte inicial de todo el proyecto, ya que es la que nos establece el proceso que se empleará para la obtención del producto deseado. Es decir, en esta parte se establece cuáles serán las materias primas que deberán emplearse, cuáles serán las condiciones de operación, qué operaciones unitarias deberán aplicarse y bajo --

qué condiciones y en fin, nos dá, como su nombre lo indica, los datos básicos para el desarrollo del proceso.

En términos generales, podemos considerar que la Ingeniería Básica nos ofrecerá la siguiente información:

- a) Descripción del Proceso
- b) Diagramas de flujo, mostrando en forma de diagrama de bloques la siguiente información mínima:
 - Materias primas, catalizadores, inhibidores, aditivos, etc.
 - Operaciones unitarias que se van a establecer.
 - Condiciones mínimas, normales y máximas de operación, -tales como: presiones, temperaturas, tiempos de retención, etc.
- c) Especificaciones generales de equipo eléctrico, mecánico, tuberías, instrumentación, etc.

Es importante hacer notar que este punto se refiere a datos generales que deberán respetarse en el momento de la elaboración de las especificaciones particulares para cada equipo como por ejemplo:

- i.- Areas eléctricas a prueba de explosión
- ii.- Areas en donde habrá productos tóxicos
- iii.- Materiales generales de construcción
- iv.- Condiciones generales de seguridad para equipo y personal.

Esta Ingeniería básica puede ser obtenida por la empresa que va a establecer una planta industrial de dos maneras:

- Desarrollándola con sus propios recursos y personal, haciendo toda una labor de investigación tanto teórica como práctica ó
- Comprándola de la compañía que sea dueña de la patente.

En México, desgraciadamente, en muy contados casos se invierte en investigación para el desarrollo de nuevos procesos ó el mejoramiento de los existentes, por lo que en la gran mayoría de los casos, es necesario comprar a otras compañías, generalmente extranjeras, la patente del proceso que se va a utilizar.

Ingeniería de Detalle.

Una vez que se tiene la ingeniería básica del proceso que se va a establecer y que se conoce, en base a la información obtenida del estudio técnico-económico, la capacidad actual de la planta, así como si es necesario prever la instalación de equipo para futuras ampliaciones, se puede proceder a desarrollar la ingeniería de detalle que estará dividida, en general, en las siguientes áreas:

- a) Area Civil
- b) Area Eléctrica
- c) Area Mecánica
- d) Area de Procesos
- e) Area de Instrumentación
- f) Otras (aire acondicionado, arquitectónico, etc.)
- g) Compras y Expeditación

Todas estas áreas trabajarán ligadas entre sí y obedeciendo a un programa de diseño que abarcará desde la fecha de inicio del proyecto hasta la fecha de terminación del mismo, - así como las fechas de iniciación y terminación de la construcción.

Cada una de estas áreas tiene tanto actividades específicas para cada una de ellas, cuanto actividades comunes con otras áreas, por lo que es indispensable que halla una buena coordinación del trabajo de todas ellas que es llevada a cabo por el jefe o gerente del proyecto.

El trabajo esencial de cada área podemos resumirlo en lo siguiente:

- a) Civil.- Especificaciones generales de construcción civil, planos generales de localización mostrando edificios, camino de acceso, orientación de la planta, banquetas, etc.; cimentaciones y diseños estructurales, drenajes, etc.
- b) Eléctrico.- Elaboración de planos de alumbrado, de redes de tierra y de fuerza, elaboración de especificaciones de materiales y de equipo como subestaciones, centros de control de motores, etc.
- c) Mecánico.- Localización general de equipo, arreglos de tuberías y ductería, estructuras y soportería, listas de materiales, etc.
- d) Proceso.- Cálculo y especificación de equipos como: bombas, tanques, compresoras, etc., elaboración de diagramas de flujo, balances de materiales y energía, etc.
- e) Instrumentación.- Definición y especificación de los sistemas de instrumentación, elaboración de listas de equipo y materiales, planos de localización de instrumentos,

etc. (Este punto se tratará más extensamente en el inciso siguiente).

- f) Otras áreas.- Elaboración de planos arquitectónicos, cálculo y selección de equipo de aire acondicionado, elaboración de normas de seguridad, etc.
- g) Compras y expeditación.- Elaboración de solicitudes de -cotización, elaboración de tablas comparativas, elaboración de órdenes de compra, inspección y expeditación del equipo y de los materiales comprados, etc.

4.1.3 Construcción, arranque y pruebas.

Esta fase del proyecto requiere que intervenga una compañía constructora, especializada en plantas industriales, que será contratada bajo dos aspectos principales: obra civil y -montaje electromecánico.

El personal básico que se requiere para este trabajo es: un superintendente general, un ingeniero civil, un ingeniero -mecánico, un ingeniero electricista, un ingeniero instrumen -tista, sobrestantes para cada área, etc. Es obvio que se -requiere también personal de tipo administrativo como son : un contador, un pagador, un comprador, tomadores de tiempo, secretarias, etc.

La primera actividad a realizarse es la preparación del terreno, como puede ser el desmonte, la nivelación, etc.

Enseguida vienen los trabajos de excavación para las cimentaciones y los servicios subterráneos, según la información -proporcionada por los topógrafos. El siguiente paso es rea -lizar la construcción de los edificios, caminos y demás obra civil.

Ya bien avanzada la obra civil se empieza el montaje elec--tromeccánico que consiste básicamente en:

- a) Montaje del equipo mecánico
- b) Tendido de tuberías mecánicas
- c) Montaje del equipo eléctrico
- d) Conexionado y tendido de cables eléctricos
- e) Montaje de instrumentos
- f) Conexionado de instrumentos

Aunque puede variar, de acuerdo a los términos del contrato, generalmente es deseable que la Compañía Constructora haga todas las pruebas de los equipos y sistemas y que en combinación con el personal que se va a quedar en operación y mantenimiento de la planta, hagan el arranque de la misma que comúnmente se lleva a cabo con pruebas y arranques parciales por áreas, hasta la integración del proceso completo.

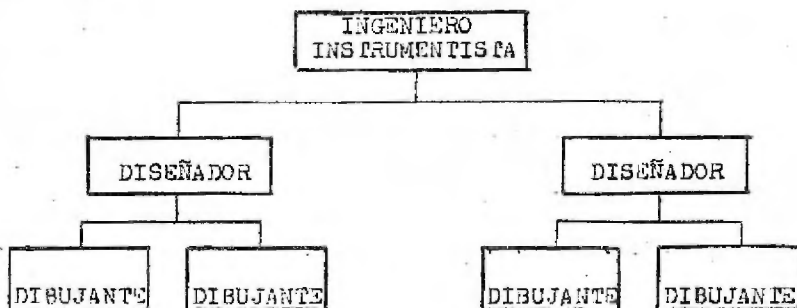
4.1.4 Operación.

La fase de operación se traslapa con la del arranque de la planta y, desde el punto de vista proyecto, consiste en lograr el funcionamiento satisfactorio y estable del proceso, y la obtención normal y con las características requeridas del producto deseado a entera satisfacción del personal encargado de la operación de la planta, a partir de lo cual, desde el punto de vista "Ingeniería-Construcción", se considerará terminado el proyecto.

Por último, el cierre final del proyecto se realiza cuando se lleven a cabo los últimos pagos tanto de equipos como de ingeniería y se pueda hacer un balance final del costo total del proyecto.

4.2. DESARROLLO DEL PROYECTO DE INSTRUMENTACION.

El trabajo de instrumentación dentro de un proyecto industrial puede ser desarrollado por una cantidad muy variable de personas, dependiendo de la magnitud del mismo. Sin embargo, en general podemos considerar el siguiente personal fundamental:



4.2.1 Definición de criterios a seguir durante el proyecto.

Al iniciarse un proyecto, el ingeniero instrumentista deberá insistir en el establecimiento de una serie de criterios de tipo técnico sobre los cuales se desarrollará el trabajo de instrumentación (los procedimientos de tipo administrativo se definirán separadamente y serán comunes para todas las áreas del proyecto).

Estos criterios serán establecidos en general, en base a las siguientes consideraciones:

a) Recomendaciones ó exigencias del cliente.- Como se indicó anteriormente, lo más común es que una compañía de ingeniería sea contratada por la empresa que desea instalar una planta industrial, la cual se guiará por las recomendaciones ó exigencias de ésta. Estas recomendaciones pueden derivarse de diferentes situaciones, como son:

- i.- Experiencia previa del cliente para utilizar determinado tipo y marca de equipo.
- ii.- Compromisos del cliente con ciertas marcas de instrumentos, por pertenecer al mismo grupo financiero, por ejemplo.
- iii.- Estandarización del diseño con sus normas.
- iv.- Estandarización del equipo nuevo con otro previamente instalado.
- v.- Políticas de expansiones futuras, etc.

b) Experiencia previa del grupo de ingenieros que se encargarán de la realización del trabajo de instrumentación.

Las experiencias que hayan podido tener los ingenieros instrumentistas, ya sea en el desarrollo de proyectos similares ó en el trabajo, ya sea en operación o en mantenimiento en una planta similar, proporcionará al diseño una gran ayuda y será el punto de partida para la decisión tanto en aspectos generales como en situaciones particulares, de los mejores caminos a seguir.

c) Facilidad para la adquisición, tanto de equipo como de partes de repuesto, en la zona en donde se instalará la planta.

Este aspecto es sumamente importante para definir el tipo y la cantidad de instrumentos que se emplearán, considerando que en un momento dado se pueda conseguir un - -

En base a las anteriores consideraciones generales, los siguientes son los puntos más importantes que se deben definir al iniciar un proyecto.

a) Grado de automatización.

Este punto es el que nos dará la pauta a seguir en lo -- que se refiere a cantidad y tipo de instrumentación y si se requiere el empleo de computadoras ya sea de propósitos generales o de propósitos específicos como se apuntó en el capítulo 3.

La respuesta a la pregunta ¿qué tan automatizado estará el proceso que se está diseñando? Nos indicará si el -- equipo que se instalará será únicamente el indispensable para una operación normal o si se considerará la mayor -- automatización posible.

Entre estos dos extremos, hay desde luego una gran cantidad de criterios que pueden ser seguidos dependiendo de varios factores como pueden ser: necesidad de un control estricto debido a las condiciones del proceso, costos, estandarización, etc.

b) Tipo de instrumentación que se empleará.

Este concepto tiene, fundamentalmente, dos alternativas: instrumentación neumática o instrumentación electrónica.

Como se vió en el capítulo 3, la instrumentación neumática tiene, en general, un menor costo inicial y aunque su mantenimiento es continuo, no requiere de personal muy -- especializado para hacerlo. La distancia a la que se -- puede enviar una señal neumática, con garantía de un -- buen tiempo de respuesta, no es superior a 100 metros. Es el tipo de equipo que se ha empleado más extensamente -- hasta la fecha y se aplica a casi todo tipo de industrias, incluyendo a las que tienen áreas a prueba de explosión, aunque en procesos en donde hay mucho polvo (cementeras, por ejemplo) su aplicación no es muy aconsejable.

En cambio, la instrumentación electrónica es, en principio, más cara y su mantenimiento aunque es mínimo, requiere de personal especializado para hacerlo.

Las distancias a las cuales se pueden enviar señales, -- son prácticamente ilimitadas. Su compatibilidad con computadoras hace que la instrumentación electrónica tenga cada día un mayor auge y, es de esperarse, que gracias -- al gran desarrollo actual de la electrónica, al mismo -- tiempo que se mejoren los equipos, se abatan sus costos,



con lo cual, se incrementará aún más su empleo, previniéndose desde ahora que en el futuro llegaría a desplazar por completo a la instrumentación neumática.

c) Simplicidad o sofisticación de los sistemas.

Este punto está muy ligado con el grado de automatización requerida, ya que, dependiendo de esto, habrá necesidad de una mayor o menor complejidad en los sistemas de regulación.

Sin embargo, es necesario definir este criterio desde un principio, debido a las diferentes variantes que se presentan en la regulación de un sistema y tenerlo en mente para la selección del equipo más adecuado a cada aplicación.

d) Sistemas centralizados o locales.

Existe una gran tendencia desde hace varios años a agrupar en un tablero una serie de instrumentos como son: registradores, reguladores, indicadores, anunciadores, convertidores de señal, etc., debido a que esto presenta en tre otras, las siguientes ventajas:

- Un solo operador puede hacerse cargo de la supervisión y vigilancia de la operación de toda la planta o del sector de ella, cuyo control esté centralizado en un tablero.
- Se tiene centralizada en un solo lugar toda la información del proceso, de tal modo que en cualquier momento, fácil y rápidamente se pueden obtener los datos que se requieran del mismo.

En caso de un proceso controlado con una computadora, esta situación es forzosa, debido a las necesidades y características del propio sistema de control.

Sin embargo, y en caso de plantas no muy instrumentadas, puede ser preferible tener los sistemas de instrumentación localizados junto a los equipos que estén regulando, con el consiguiente ahorro de equipo y de costos de instalación sin menoscabo de la calidad del control.

4.2.2 Información que maneja el grupo de instrumentación de un -- proyecto.

Una vez definidos los criterios de diseño indicados en el punto anterior, el Ingeniero Instrumentista recibirá una -- cierta información mínima -- dada por la Ingeniería Básica, a

partir de la cual realizará la Ingeniería de Detalle propiamente dicha. Dependiendo del caso, hay cierta información que el Ing. Instrumentista puede recibir o tiene que generar. Enseguida estudiaremos los diferentes tipos de documentos con los que trabaja.

Diagramas de Flujo.

Los diagramas de flujo, también conocidos como diagramas de tuberías e instrumentos, son como éste nombre lo sugiere, dibujos en donde se muestran, junto con todos los equipos de proceso tales como reactores, bombas, tanques de almacenamiento, compresoras, etc., todas las tuberías que los interconectan y todos los instrumentos que estarán midiendo o controlando las diferentes variables del proceso.

Aunque pueden existir diferentes criterios sobre la cantidad y calidad de información que sobre la instrumentación nos deben proporcionar los diagramas de flujo, en general deben contener lo siguiente:

- a) Todos los instrumentos que intervienen en el proceso, con su identificación.
- b) Localización correcta de los puntos de medición y control, mostrando en qué equipos o tuberías van instalados los instrumentos.
- c) Interconexiones entre los instrumentos.
- d) Tipo de instrumentación (neumática, electrónica, etc.)
- e) Localización de los instrumentos: local o en tableros.
- f) En general, en un diagrama de flujo no se muestran aditamentos que podemos considerar como accesorios, como son: filtros reguladores de presión de aire, interruptores automáticos, extractores de raíz cuadrada, convertidores, etc., aunque esto queda a criterio del ingeniero que deberá buscar incluir en el diagrama de flujo el óptimo de información para una buena comprensión del mismo.
- g) Condiciones de operación como son capacidad de tanques, presiones y flujos en las líneas, temperaturas, etc., en base a las cuales se podrán elaborar las especificaciones de los diferentes instrumentos.
- h) Identificación de todos los equipos y tuberías que aparezcan en el diagrama.

Los diagramas de flujo deberán ser elaborados y/o revisados por el Ingeniero de Diseño del proceso, conjuntamente con -

el Ingeniero Instrumentista que determinarán en base a los requerimientos del proceso y a los criterios generales de diseño detallado anteriormente, la instrumentación que deberá considerarse.

Como se ve, los diagramas de flujo son el elemento básico para el desarrollo de un proyecto y es a partir de ellos que se generará el resto del trabajo del mismo, en sus diferentes áreas.

Como ejemplo de un diagrama de flujo típico, véase el dibujo que corresponde a un sistema de clasificadores-floculadores de aguas industriales a las que se les aplica este tratamiento para poder utilizarlas nuevamente, en este caso, como aguas de servicio.

Diagramas de gaza ("Loop sheets")

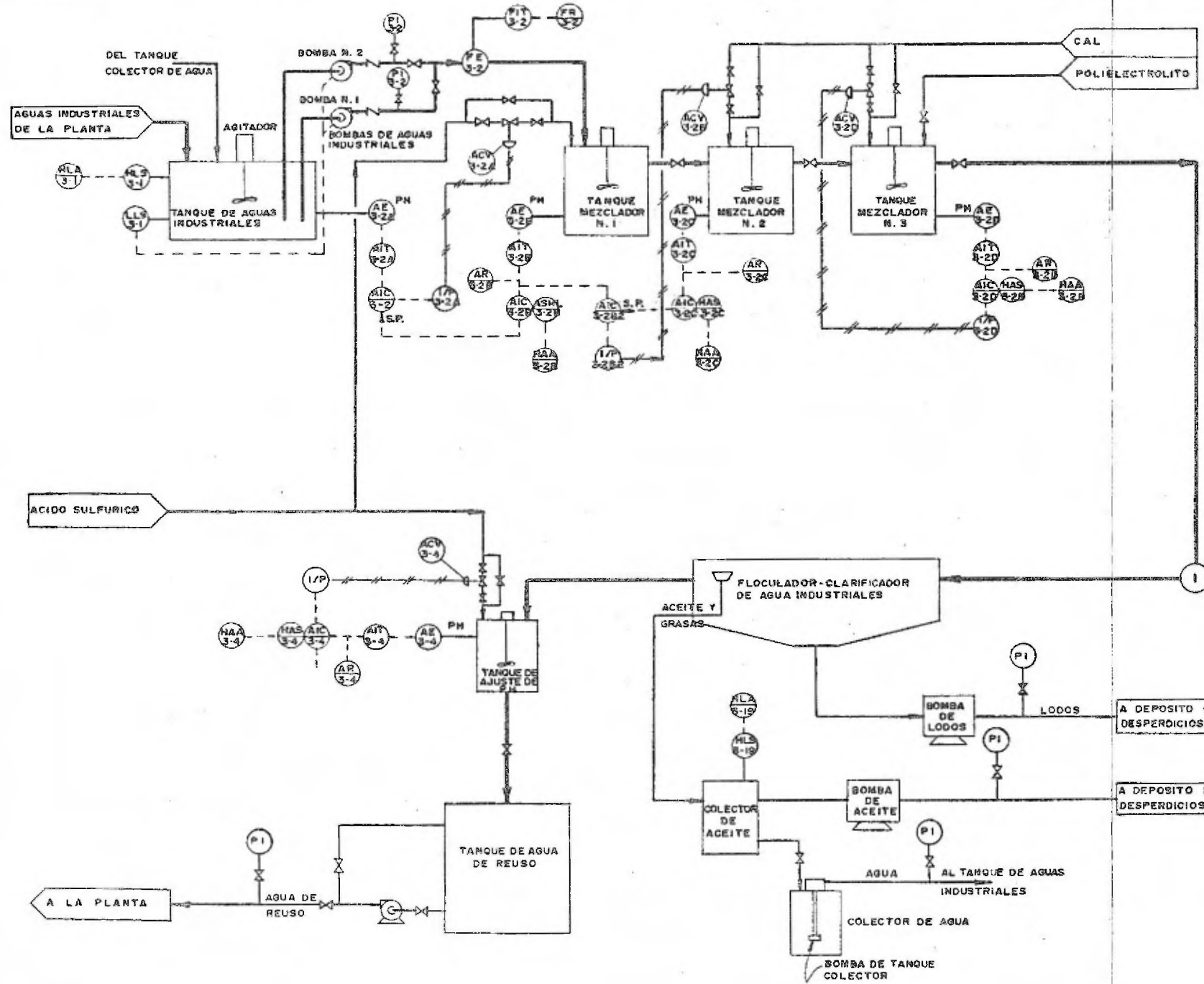
Ya dentro del área de instrumentación y a partir de los diferentes diagramas de flujo del proyecto, el Ingeniero Instrumentista deberá elaborar los diagramas de gaza ó diagramas de instrumentación y control o diagramas de "loop" como se les suele llamar también, los cuales contendrán ahora si detalladamente todos y cada uno de los instrumentos y accesorios que intervienen en un circuito de regulación esto es: el elemento primario, el regulador y el elemento final con sus interconexiones y con los aditamentos necesarios para su adecuado funcionamiento, como pueden ser: convertidores de señal, extractores de raíz cuadrada, interruptores automan, relevadores, luces, bocinas, controles de tiempo, etc.

En el capítulo V se ilustra, con varios ejemplos, lo que debe contener un diagrama de gaza en donde se muestran los instrumentos que pertenecen a un circuito de control divididos en tres zonas perfectamente definidas:

- a) Instrumentos y accesorios que están montados localmente.
- b) Instrumentos y accesorios que están montados atrás de un tablero de control.
- c) Instrumentos y accesorios que están montados al frente del tablero de control.

En estos diagramas se debe incluir la siguiente información:

- a) Todos los instrumentos y accesorios que pertenecen al circuito de control, así como los equipos y tuberías que sea conveniente mostrar, adecuadamente identificados.
- b) Todas las interconexiones y, de ser posible la identificación de los puntos de conexión de los instrumentos.



NOMENCLATURA:

- AE ELEMENTO DE PH.
- AIC CONTROLADOR INDICADOR DE PH.
- AR REGISTRADOR DE PH.
- AIT TRANSMISOR INDICADOR DE PH.
- FE ELEMENTO DE FLUJO.
- FR REGISTRADOR DE FLUJO.
- FT TRANSMISOR DE FLUJO.
- HAA ALARMA POR ALTO PH.
- HAS INTERRUPTOR POR ALTO PH.
- HLA ALARMA POR ALTO NIVEL.
- HLS INTERRUPTOR POR ALTO NIVEL.
- I/P CONVERTIDOR DE SEÑAL ELECTRICA A NEUMATICA.
- LLS INTERRUPTOR POR BAJO NIVEL.
- PI MANOMETRO.

SIMBOLOGIA:

- INSTRUMENTOS LOCALES.
- ⊖ INSTRUMENTOS DE TABLERO.
- SEÑAL ELECTRICA.
- SEÑAL NEUMATICA.
- TUBERIA DE PROCESO.
- TUBERIA DE SERVICIO O SECUNDARIA.
- IDENTIFICACION DE LINEAS.

U. N. A. M. FACULTAD DE QUIMICA	
DIAGRAMA DE FLUJO (TIPICO)	
TESIS PROFESIONAL	MEXICO D. F. 1972
CARLOS CECENA C.	

- c) Tipo de instrumentación empleada (neumática, electrónica, etc.)
- d) Suministros neumáticos o eléctricos (20 PSI, 120 V. 60 cy, etc.)
- e) Identificación de las tablillas de conexiones entre los instrumentos de campo y los del tablero.
- f) Identificación de los puntos de conexión neumática entre los instrumentos de campo y los de tablero.
- g) Algunos datos de operación de los instrumentos en sí como son posiciones de las válvulas en fallas de suministro (N.A. o N.C.) rangos de operación de interruptores, leyendas, en alarmas, etc.
- h) Algunos datos de operación del proceso, como son presiones, temperaturas, flujos, tiempos de residencia, etc.

Especificaciones de Instrumentos.

Una vez que se tienen definidos los datos de operación y -- los criterios generales de diseño apuntados anteriormente, -- se puede proceder a la elaboración de las especificaciones de todos los instrumentos y accesorios del proyecto.

Estas especificaciones deberán contener, entre otros, los siguientes datos:

- a) Datos de operación como pueden ser: fluido, temperaturas, presiones, etc.
- b) Materiales de construcción.
- c) Rangos de operación y características generales del instrumento.
- d) Identificación adecuada de cada instrumento.

En el Capítulo V se incluyen, a manera de ejemplo, las especificaciones de algunos instrumentos que se muestran en los diagramas de gaza correspondientes.

Especificaciones y Planos de Tableros.

Al tener ya decidido cuántos y cuáles instrumentos, así como qué accesorios eléctricos como son estaciones de botones, luces piloto, interruptores, selectores, etc., irán localizados en un tablero central de control, el Ingeniero Instrumentista deberá hacer el diseño del mismo, lo cual incluye

lo siguiente:

- a) Dimensionarlo.
- b) Especificar el tipo de tablero: consola, abierto, gráfico, semi-gráfico, etc.
- c) Hacer la distribución de los instrumentos y accesorios - tanto en el frente como en la parte interior del tablero.
- d) Especificar materiales de construcción, tipo de acabados, requerimientos eléctricos, etc.

Para lo anterior, es necesaria la elaboración de planos con la siguiente información:

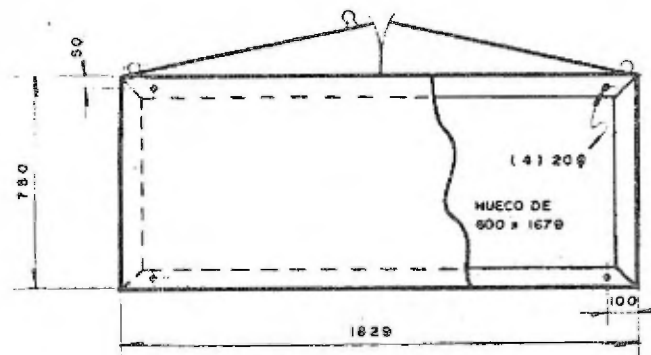
- a) Dimensiones, forma y localización de los instrumentos y accesorios.
- b) Diagrama de conexiones eléctricas, ya sea el diagrama de "punto a punto" ó diagrama de "escalera".
- c) Diagrama de conexiones neumáticas, mostrando esquemáticamente todas las interconexiones neumáticas entre los diferentes instrumentos.
- d) Especificaciones de materiales como son espesores y materiales de lámina, tipo de conectores, tipo de soportes interiores, etc.
- e) Especificaciones de algunos detalles generales de construcción como son: tipo de alambrado, tipo de abrazaderas para el tubo de cobre, tipo y color de los acabados, etc.

En el dibujo se muestra el arreglo general de un tablero de instrumentos, mostrando la distribución de los mismos, así como las dimensiones generales y la forma y tipo del tablero.

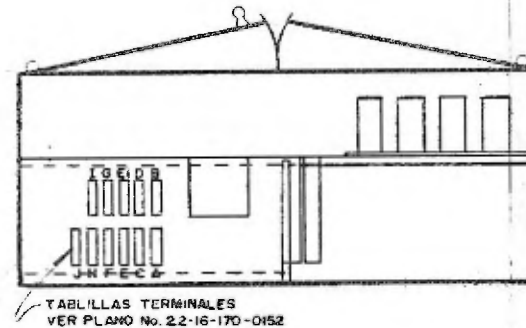
Planos de localización de Instrumentos y Rutas de Señales.

Basados en los planos de localización del equipo y de la distribución de tuberías, el Ingeniero Instrumentista deberá elaborar planos en donde muestre la localización exacta de los instrumentos, así como la ruta que deberán llevar los cables o tuberías neumáticas para la interconexión física de los diferentes instrumentos, con el fin de que el Ingeniero constructor pueda localizarlos, instalarlos e interconectarlos adecuadamente.

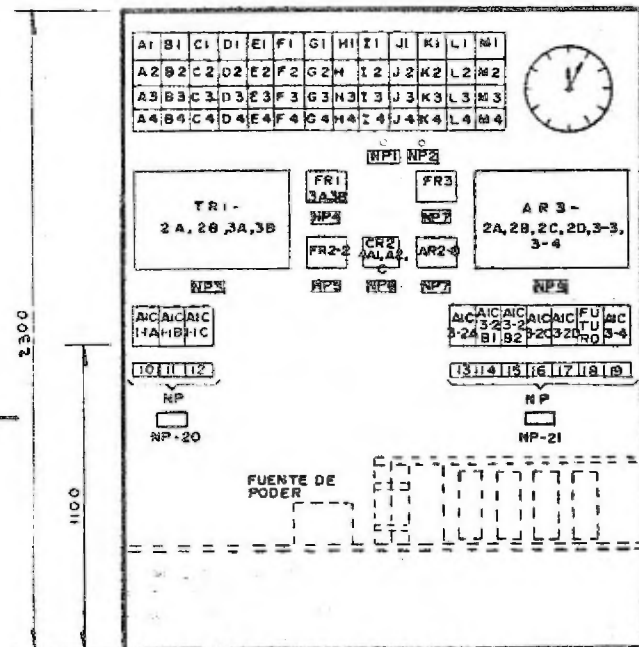
Estos planos deberán contener entre otros datos, la siguiente



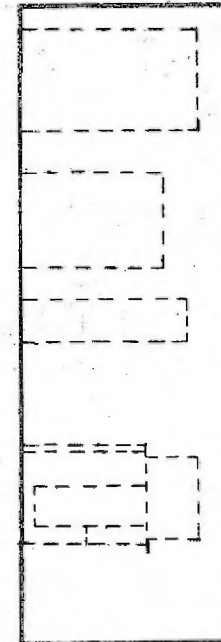
VISTA DE PLANTA



CORTE - A A



VISTA FRONTAL



VISTA LATERAL

No.	LEYENDAS
NP-1	PRUEBA
NP-2	RECONOCIMIENTO
NP-3	PURPURA POZO CALIENTE °C
	ROJA POZO FRIO °C
	NEGRA POZO CALIENTE ACIDO °C
	AZUL POZO FRIO ACIDO °C
NP-4	ROJA ALIMENTACION AGUA DE ENFRIAMIENTO LIMPIA x 100 M ³ /HR
	AZUL ALIMENTACION AGUA DE ENFRIAMIENTO ACIDA x 100 M ³ /HR
NP-5	FLUJO AGUA DE SERVICIO M ³ /HR
NP-6	ROJA SISTEMA 1-PRIMER PASO CONDUCTIVIDAD µMOS
	AZUL SISTEMA 2-PRIMER PASO CONDUCTIVIDAD µMOS
NP-7	AGUA DE DESECHO-FLUJO M ³ /HR
NP-8	AGUA ALIMENTACION CALDERA-SILICE PPM
NP-9	PURPURA AGUA DE DESECHO pH
	ROJA TANQUE MEZCLADOR N.1 pH
	NEGRA TANQUE MEZCLADOR N. 2 pH
	AZUL TANQUE MEZCLADOR N. pH
	VERDE TANQUE DE AJUSTE DE pH N. 1 pH
	CAFE TANQUE DE AJUSTE DE pH N. 2 pH
NP-10	TANQUE DE AJUSTE DE pH N. 1 CONTROL ANTICIPATORIO
NP-11	TANQUE DE AJUSTE DE pH N. 1 pH
NP-12	TANQUE DE AJUSTE DE pH N. 2 pH
NP-13	TANQUE MEZCLADOR N. 1 CONTROL ANTICIPATORIO
NP-14	TANQUE MEZCLADOR N. 1 pH
NP-15	TANQUE MEZCLADOR N. 2 CONTROL ANTICIPATORIO
NP-16	TANQUE MEZCLADOR N. 2 pH
NP-17	TANQUE MEZCLADOR N. 3 pH
NP-18	TANQUE DE AJUSTE DE pH N. 1 pH
NP-19	TANQUE DE AJUSTE DE pH N. 2 pH
NP-20	SISTEMA DE AGUA DE ENFRIAMIENTO ACIDA
NP-21	SISTEMA DE AGUA DE DESECHO

NOTAS:

- 1.-ACOTACIONES EN MILIMETROS.
- 2.-EL EQUIPO MOSTRADO EN LA VISTA FRONTAL CON LINEA PUNTEADA (---) VA ADENTRO DEL TABLERO.
- 3.-LAS ESPECIFICACIONES DE LOS INSTRUMENTOS ESTAN DADAS EN HOJAS POR SEPARADO.
- 4.-EL TABLERO IRA INSTALADO SOBRE UNA BASE DE CONCRETO CON HUECOS PARA LA ENTRADA DE CONDUITS Y CABLES.

U. N. A. M. FACULTAD DE QUIMICA	
TRATAMIENTO DE AGUA-TABLERO DE INSTRUMENTOS DISTRIBUCION GENERAL	
TESIS PROFESIONAL	MEXICO D. F. 1972
CARLOS CECENA C.	

te información:

- a) Equipos y tuberías a los que van conectados los instrumentos.
- b) Rutas que físicamente seguirán los conductos, cables o tubos, ya sea para conectar los instrumentos entre sí o a un tablero de control.
- c) Detalles o cortes de los equipos para indicar exactamente el lugar en donde deben estar instalados los instrumentos.
- d) Cortes de las líneas de transmisión de señales, con el fin de aclarar lo más posible las interconexiones que se están haciendo.

De estos planos, el Ingeniero Instrumentista podrá obtener una parte de la lista del material necesario para la instalación de los instrumentos.

Detalles Típicos de Instalación.

A partir de los planos de localización de instrumentos, se desarrollan los detalles típicos de instalación que, como su nombre lo indica, muestran en detalle la manera como deberán instalarse en el campo los instrumentos. Estos dibujos deberán contener los siguientes datos:

- a) El tipo de soporte sobre el cual va a ir montado cada instrumento (cuando requiera soporte).
- b) La lista del material necesario para la instalación del instrumento.

A partir de estas listas de materiales parciales, se elaborará la lista de materiales total, que contendrá todos los materiales necesarios para la instalación y el conexionado de los instrumentos, incluyendo: tubo para soportes, placas, tornillería, empaques, tubo conduit, cable, tubería para aire, válvulas de corte, etc., etc.

4.2.3 Relación del Grupo de Instrumentación con los otros Grupos de un Proyecto.

En la sección 4.1 se han enlistado las diferentes áreas en que se divide el trabajo de un proyecto y se han explicado las diferentes funciones de cada una de ellas.

Es importante, sin embargo, el detallar las relaciones que existen entre estas áreas y la de instrumentación, ya que tienen que realizar parte del trabajo de común acuerdo, para

evitar, tanto repeticiones, cuanto deficiencias en la elaboración de la información.

a.- Area Eléctrica.

Dependiendo del tipo de instrumentación que se esté empleando (electrónica o neumática), es que habrá un mayor o menor número de puntos de contacto entre estas dos áreas. Sin embargo, aún siendo instrumentación neumática, hay mucho trabajo que deberá ser hecho de común acuerdo entre las dos partes.

Entre otras, las siguientes actividades deberán ser realizadas en conjunto entre el Ingeniero Electricista y el Ingeniero Instrumentista de un proyecto:

- Elaboración de los diagramas elementales de control, esto es, de las secuencias de control, cuya elaboración es indispensable y en los cuales se establecerán tanto los circuitos de seguridad del sistema -paro de bombas, cierre de válvulas, etc.-, cuanto las secuencias de operación del proceso.

Estos diagramas además servirán de base para saber qué aditamentos eléctricos irán montados en los tableros de instrumentos.

La elaboración de estos diagramas debe hacerse tomando en cuenta tanto la seguridad del equipo -por ejemplo, parar una bomba cuando el nivel del tanque del cual está bombeado sea muy bajo, asegurando así que la bomba nunca trabajará en vacío -cuanto la necesidad de seguir una secuencia de operación definida por el proceso mismo, como puede ser una torre de recuperación de glicol en donde al llegar ésta a cierta composición, deberá abrir una válvula para desviarlo hacia el tanque de almacenamiento correspondiente, mientras que durante el tiempo que se estuvo destilando agua, metanol y otras impurezas, se desviaba hacia otro recipiente.

Estos diagramas, como ya dijimos, deben hacerse en conjunto y, una vez definidos, el Ingeniero Electricista será responsable del equipo y aditamentos eléctricos que estén fuera de los tableros de instrumentación, esto es, en los centros de control de Motores, tableros de alumbrado, tableros de relevadores, etc. y el Ingeniero Instrumentista trabajará sobre los tableros de control y los instrumentos tanto de campo como de tablero.

- Elaboración de dibujos de suministros e interconexiones eléctricas.

El ingeniero instrumentista elaborará una lista de instrumentos que deben llevar suministro eléctrico, indicando el voltaje (110, 220 etc.) y el ciclaje (50 o 60 Hz) para cada uno, así como el lugar exacto de localización, con el fin de que el Ingeniero Electricista haga su diseño de rutas de señal eléctrica hasta los instrumentos.

Lo mismo acontece con los instrumentos que van interconectados con equipo eléctrico (mostrados en los diagramas de secuencias), ya que el encargado de mostrar todas esas interconexiones es el ingeniero electricista, de acuerdo precisamente a los diagramas elementales de control elaborados junto con el ingeniero de instrumentación.

Es práctica común que el ingeniero electricista sea responsable de la interconexión de todo lo que está fuera de los tableros de control y que el ingeniero instrumentista se haga cargo de todo lo que está dentro de los mismos, conectándose entre sí a través de tablillas terminales ubicadas en el tablero.

- Intercambio de información. Además de la información que obviamente manejan juntos debido al trabajo realizado en común, los ingenieros de éstas dos áreas deben intercambiar la siguiente información: El ingeniero electricista deberá informar sobre la disponibilidad de voltajes y ciclajes, sobre requerimientos eléctricos en las diferentes áreas de la planta (usos generales, a prueba de vapores, a prueba de explosión, etc.), marcas y modelos de los accesorios que se utilizarán para estandarizarlos en toda la planta, etc., mientras que el ingeniero instrumentista deberá indicar el consumo de energía esperado, de acuerdo a la cantidad y tipo de instrumentos empleados, para que se puedan calcular y seleccionar los transformadores, interruptores y demás equipos eléctricos relacionados con instrumentación adecuadamente.

b.- Area Mecánica.

En el área mecánica, también existen actividades diversas que se traslapan con trabajos del área de instrumentación, entre las que podemos destacar las siguientes:

- Especificaciones Mecánicas.- En primer lugar, el ingeniero instrumentista se deberá basar en las especificaciones generales de tuberías y equipos, en lo que a materiales se refiere para poder especificar los instrumentos del material adecuado para cada fluido que se maneje.

Así por ejemplo, si para determinado servicio el tanque en donde se va a instalar un transmisor de nivel tipo flotador es de acero inoxidable porque se esté manejando un

fluido corrosivo, entonces se especificarán todas las partes del transmisor en contacto con el fluido de acero inoxidable.

Estas especificaciones afectan tanto a materiales de construcción como tipos de conexiones (roscadas, bridadas, soldables, etc.) y otras características como cédulas de tuberías, presiones de trabajo de los elementos (150 PSl, 300 - PSl), etc.

- Planos de tuberías. Para la elaboración de planos de tuberías, el ingeniero instrumentista deberá proporcionar toda la información relativa a los instrumentos y accesorios que van intercalados en las mismas, como son: válvulas de control, rotámetros, medidores de flujo, interruptores de flujo, manómetros, termómetros, etc., dando la localización, las dimensiones y la orientación de las tomas, de todos los instrumentos considerados.

- Dibujos de equipo.- En el diseño de algunos equipos, el ingeniero mecánico requiere algunos datos del ingeniero instrumentista. En el caso de tanques y otros equipos en donde es común que se instalen indicadores ó transmisores de nivel, termopozos, mirillas, electrodos de pH, etc., - el ingeniero instrumentista deberá informar acerca de los requerimientos de las tomas, tamaño y tipo de las conexiones, orientación de boquillas, dimensiones, etc.

e.- Otras Areas.

El resto de las áreas normales de un proyecto también tienen puntos de contacto con instrumentación pero en mucho menor escala.

- Civil. Con el área civil, se deberán definir la localización y dimensiones de los cuartos de control, así como de las bases (comúnmente de concreto) para tableros localizados fuera de cuartos de control.

- Aire Acondicionado. En realidad un sistema de aire acondicionado tiene una gran cantidad de instrumentos especialmente medidores de temperatura, humedad, etc. Sin embargo, consideramos que se aplican los mismos lineamientos generales descritos para cualquier proceso y que podemos tomarlo simplemente como un caso particular al cual se le pueden aplicar las mismas consideraciones generales descritas anteriormente, por lo cual no tiene caso hacer una descripción más detallada de esta área.

4.2.4 Construcción y Arranque.

La última fase del trabajo que hemos venido describiendo, es la de la construcción de la planta que se iniciará poco antes de que el diseño se termine.

a.- Coordinación entre el proyecto y la construcción

Es práctica común que el ingeniero de diseño tenga, al menos durante un tiempo adecuado una estrecha comunicación con el ingeniero de la obra, con el fin de enterarlo tanto de las cuestiones generales del proyecto, cuanto de los detalles del mismo.

En principio, es necesario que el ingeniero constructor -en cuanto a la instalación de instrumentos se refiere- reciba la siguiente información terminada y aprobada: Diagramas de flujo, Diagramas de Gasa, Especificaciones de Instrumentos, Detalles típicos de instalación y planos de localización de instrumentos, para que pueda empezar tanto a entender el proceso como a preparar las instalaciones correspondientes.

El trabajo general del ingeniero instrumentista en el campo se divide básicamente en las siguientes actividades:

- Instalación. Instalación presupone varias actividades diferentes como son: fabricación y montaje de soportes, tendido de tuberías y/o conduits, fabricación y montaje de charolas para tubo, recepción y almacenaje de los instrumentos, así como montaje de los mismos.
- Calibración y pruebas. Ya que se han instalado los instrumentos se debe proceder a la calibración de los mismos, de acuerdo a los rangos de operación marcados en la especificación de cada uno de ellos.

Una vez habiéndolos calibrado, se procede a la prueba de cada circuito de control, simulando cambios de carga y observando el comportamiento del sistema de control.

Cuando ya se tiene el equipo de proceso en condiciones de operar, se hacen pruebas del sistema completo, debiendo quedar, al terminar las pruebas, listo todo el sistema de control para el arranque y operación normal de la planta.

- Arranque. Ya que se han hecho las pruebas de todos los sistemas, se procede al arranque de todo el proceso, que durará hasta la obtención del producto deseado y de la estabilidad del proceso completo.

Una vez obtenido lo anterior, se puede considerar terminado el proyecto y será responsabilidad únicamente de los operadores el funcionamiento adecuado de los equipos y el desarrollo normal del proceso.

CAPITULO V

ANALISIS DE LOS SISTEMAS DE CONTROL PARA PROCESOS CONVENCIO- NALMENTE EMPLEADOS EN LA INDUSTRIA

5.1 Sistemas de control en una columna de destilación.

5.1.1 Entre las operaciones unitarias más comunes e importantes en la industria química, está indudablemente la de la destilación, por lo que la hemos escogido en primer término para plantear algunas de las consideraciones más importantes en lo que se refiere al control para el óptimo funcionamiento de una columna de destilación.

Una destilación se puede regular de muchas maneras y no existe ninguna que se puede decir que "es la mejor". La escogida depende en cada caso del objeto de la operación, los tipos de instrumentos disponibles para cada servicio, la variabilidad de las condiciones y las importancias relativas de la recuperación y la pureza de los productos. Cada caso debe analizarse individualmente, aunque se pueden dar algunos criterios generales, como los que se indican en los casos que se discuten en esta sección.

a.- Variables Independientes.

Una columna de destilación dada, cuyas dimensiones estén definidas y que trabaje del modo más eficaz (con la alimentación en el plato correcto) y adiabáticamente (esto es, sin intercambio de calor con el medio ambiente), tiene solamente seis variables independientes de operación que son:

Variables externas:

- i.- Flujo de alimentación.
- ii.- Composición de la alimentación.
- iii.- Temperatura o condiciones de la alimentación.
- iv.- Presión exterior.

Variables internas:

v y vi.- Dos de las cuatro siguientes:

- Composición del producto de cabeza.
- Composición del producto de colas.
- Relación entre los flujos de vaporización y de alimentación.
- Relación de fraccionamiento de la alimentación o relación destilado - colas.

b.- Variables Dependientes.

Las variables dependientes en una columna de destilación son:

- i.- Todas las composiciones de las corrientes líquidas no especificadas anteriormente de colas, del destilado y de cada plato.
- ii.- Composiciones del vapor en cada punto.
- iii.- Temperaturas de cada punto de la columna.
- iv.- Todos los flujos de líquido y de vapor no especificados, incluyendo los de destilado y colas.

c.- Variables Semi-independientes.

Las siguientes se pueden considerar como variables semiindependientes de funcionamiento de la columna:

- i.- Plato de alimentación.
- ii.- Temperatura del reflujo de la columna o la temperatura del agua de refrigeración.
- iii.- Presión del vapor de calentamiento.

Estas últimas pueden afectar el funcionamiento de la columna pero generalmente se consideran constantes.

d.- Con la anterior lista de variables, se puede plantear la solución del problema básico del control de destilación de la siguiente forma:

- i.- Determinando, entre las cuatro variables independientes del inciso 5.1 v y vi, las dos variables a las que ha de ajustarse el control.
- ii.- Determinando el método más directo de instrumentación para detectar las alteraciones en las variables independientes tomadas como constantes.

- iii.- Determinando cómo puede ser restituida a su valor pre fijado la variable desplazada mediante el ajuste del sistema de control, esto es, determinando los modos de control más adecuados.

- e.- En función de las condiciones de las variables independientes, esto es, de la variabilidad de las mismas, es que podemos establecer diferentes sistemas generales de control que vamos a resumir en el siguiente cuadro, en el cual, dependiendo de si se pueden considerar las diferentes variables, como tales o como constantes, se es tablecen las dos variables independientes internas y se propone el diagrama de control más adecuado.

CUADRO 5.1

CUADRO DE RELACION DE VARIABLES

VARIABLES EXTERNAS				Elección de las variables internas.	CASO
Flujo de Alimentación	Composición de la Alimentación	Condiciones de la Alimentación	Presión Exterior		
Fija	Fija	Fija	Fija	1) Relación entre - los flujos de vaporización y de alimentación. 2) Relación destilado-colas.	A
Fija	Variable	Variable	Fija	1) Idem. al caso A(1) 2) Composición del producto de cabeza	B.
Variable	Variable	Variable	Fija	1) Idem al caso A (1) 2) Idem al caso B (2)	C
Variable	Variable	Variable		1) Idem al caso A (1) 2) Idem al caso B (2)	D

CASO A

Este ejemplo es el que se requiere una composición constante, es el más sencillo y resulta irreal en la mayoría de los casos. Este método se denomina inferencial, de entrada ó ambiental y es adecuado sólo cuando se puede evitar que todas las perturbaciones originadas por causas externas alcancen la columna. En este caso los instrumentos para controlar el flujo, son suficientes para mantener una operación estable, ya que sólo se necesitan mantener constantes los flujos de vaporización y de destilado.

En la Fig. 5.1 se muestra la instrumentación completa para un caso como éste.

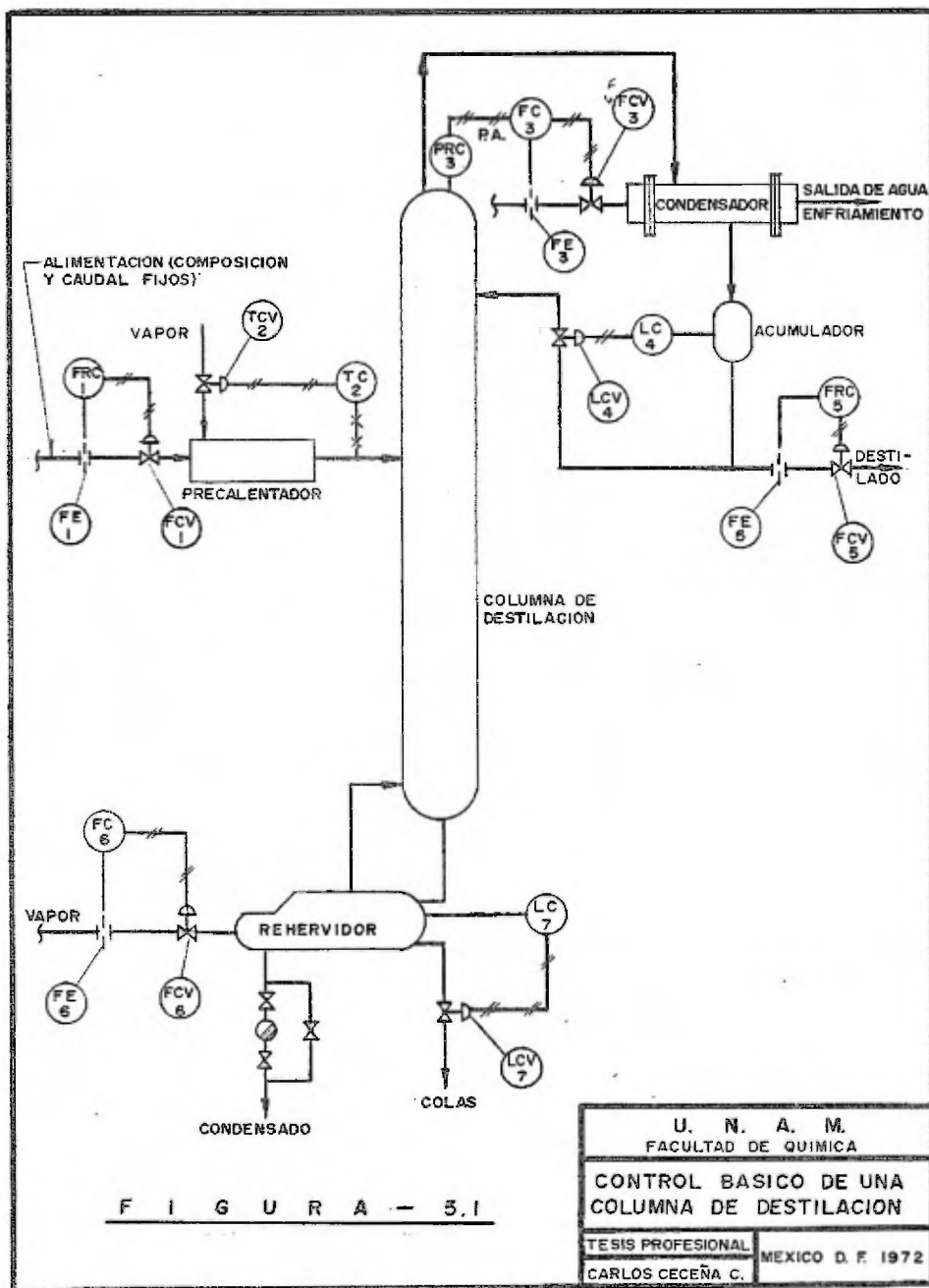
CASO B

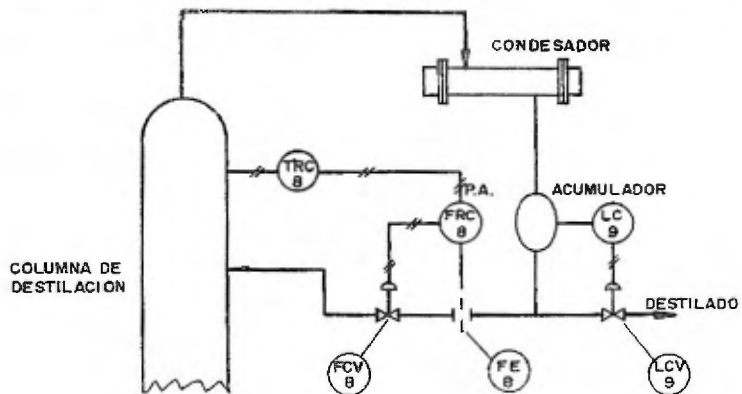
En el caso de que la composición y las condiciones de la alimentación sean variables, conviene tener un sistema de control de reflujo de tipo cascada, como el que se muestra en la Fig. 5.2 para compensar por los cambios de temperatura de la alimentación.

El establecimiento de la relación de flujos de vaporización a flujos de alimentación y la composición del producto de cabeza como variables internas especificadas, permiten que la fracción líquida de la alimentación varíe con la composición de la misma. Ligeras variaciones del flujo de destilado se compensan automáticamente por las variaciones de flujo producidas por cambios en la fracción líquida. Así pues, se puede conservar en todos estos ejemplos el control simple de una temperatura constante en el precalentamiento de la alimentación, como se indica en la Fig. 5.2. Si se pudiera ajustar esta temperatura para dar una fracción líquida de alimentación igual a la unidad cuando la composición de la alimentación tenga la composición más baja y si el dispositivo de alimentación a la columna pudiese operar con una alimentación mixta (de líquido y de vapor) se ha visto que tal dispositivo aminoraría las fluctuaciones de la composición de la columna producidas por un cambio en la composición de la alimentación.

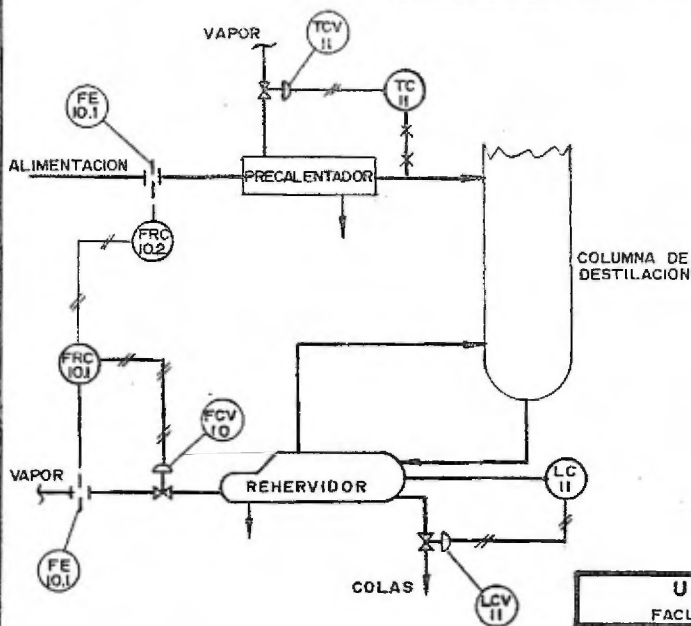
CASO C

La Fig. 5.3 muestra un sistema que presenta mucha más flexibilidad de operación. En este caso, es posible mantener constante la relación del flujo de vaporización al flujo de alimentación regulando el flujo de entrada de vapor de calentamiento al rehervidor por medio de un instrumento de control en cascada que opere en función del flujo de alimen





CONTROL PARA COMPOSICION VARIABLE
F I G U R A 5.2



F I G U R A - 5.3

U. N. A. M.	
FACULTAD DE QUIMICA	
CONTROL PARA FLUJO Y COMPOSICION VARIABLES	
TESIS PROFESIONAL	MEXICO D. F. 1972
CARLOS CECEÑA C.	

tación. Manteniendo el flujo necesario de destilado, es -- posible conservar en el valor requerido la relación entre -- el destilado y las colas por compensación de los cambios -- instantáneos de la composición de la alimentación. El flujo de la alimentación y su composición pueden modificarse -- independientemente, con menoscabo de la eficiencia del control, mientras no se pase de las limitaciones físicas de la columna, tal como la velocidad de inundación.

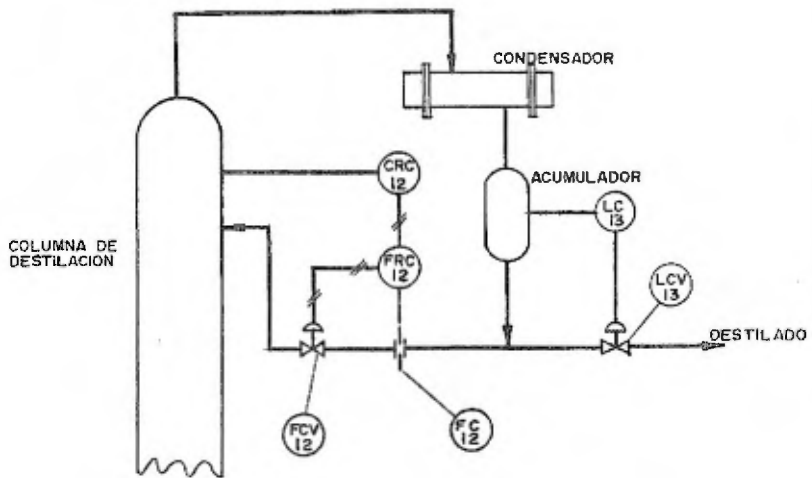
CASO D

La Fig. 5.4 amplía el esquema de la Fig. 5.3 a una etapa -- posterior que permite variar la presión de funcionamiento -- en la cúspide de la columna. Esto simplifica el control -- del agua de refrigeración, pero ahora es imposible determinar la composición conociendo solamente la temperatura. En este caso, se debe utilizar algún mecanismo que mida directamente la composición o valores de alguna propiedad que -- varíe con la composición, pero no con la temperatura, puesto que ésta variará notoriamente con la presión.

El estudio de la variación de la temperatura de ebullición -- del líquido (temperatura del plato) en función de su composición, para distintas volatilidades relativas de mezcla bi -- narias, ha demostrado que es absolutamente necesario mantener un estrecho control de la presión si se emplea la temperatura como variable primaria de la columna para detectar -- la composición de la mezcla; en caso contrario habrá de utilizarse otra propiedad para un control satisfactorio. No -- obstante, si no se dispone de instrumentos ó los existentes no son aptos para este objeto, nos vemos obligados frecuentemente a medir la temperatura de la columna para conocer -- la composición.

La relación entre los flujos de vaporización y de alimentación y la composición del producto de cabeza constituyen -- las variables óptimas para el control. El caso indicado en la Fig. 5.3 permite que el flujo de salida de colas se determine mediante un aparato auxiliar de control de nivel en la caldera. Se mantiene así un área constante de transferencia de calor al rehedvidor y el control del flujo de vaporización puede estar ligado directamente con el flujo de entrada de vapor de calefacción. Cualquier otro esquema conduciría a fluctuaciones del nivel con las correspondientes -- variaciones en el área de transferencia de calor en el rehedvidor, y para mantener el flujo de vaporización en el valor establecido tendría que variar de forma compleja el caudal de vapor de calefacción, su presión o ambas cosas.

La composición de las colas puede utilizarse como una variable independiente, pero como el volumen contenido en la caldera suele ser diez o más veces mayor que el retenido en -- los platos, la composición de las colas varía a velocidades



F I G U R A - 5.4

U. N. A. M.	
FACULTAD DE QUIMICA	
CONTROL CON ANALIZADOR DE LA COMPOSICION	
TESIS PROFESIONAL	MEXICO D. F. 1972
CARLOS CECENA C.	

mucho más bajas que las composiciones en los platos. Puede obtenerse una sensibilidad mucho mayor empleando la composición del producto de cabeza como variable independiente, -- aún cuando el producto de cola sea el producto deseado.

Un error frecuente en la instalación del control de una columna de destilación, aunque esta apreciación se puede entender al control de todas las plantas de proceso, es la excesiva instrumentación o sobrecorrección de una perturbación. Por ejemplo, es práctica corriente emplear un termómetro o detector de temperatura en el tope de la columna para corregir el flujo de salida del producto de cabeza y -- otro en el fondo de la columna para corregir el flujo de vaporización, estando ambos diseñados para compensar las variaciones de composición de la alimentación. De esta manera, se hacen dos correcciones para una misma perturbación y si los aparatos de control no se ajustan muy cuidadosamente pueden producirse sobrecorrecciones de uno sobre otro, que originen perturbaciones internas y funcionamiento oscilatorio.

Probablemente la más importante de las variables semiindependientes de funcionamiento de la columna es la posición del plato de alimentación; si la composición de la alimentación no varía mucho, es suficiente con un lugar fijo para la alimentación a la columna, es decir, un solo plato de alimentación; sin embargo, para variaciones grandes de la composición de la alimentación, puede ocurrir que la línea de operación y la curva de equilibrio lleguen a estar muy próximas, con la correspondiente reducción de la capacidad de separación de la columna, lo cual cae fuera de las posibilidades de corrección del sistema de control. En este caso, convendría tener algún dispositivo de cambio automático del plato de alimentación.

La localización del plato de alimentación es función de las condiciones y la composición de la alimentación. Para una columna y una mezcla dadas, se puede construir una gráfica que especifique el plato de alimentación óptimo. Los datos de dicha gráfica pueden emplearse para el ajuste del sistema de control que, por medio de válvulas de apertura rápida, puede transferir la alimentación de un plato a otro, lo que es necesario cuando varía la composición de la misma.

En todos los casos, excepto en el caso A, se ha tenido cuidado de controlar la cantidad de reflujo que vuelve a la columna en lugar de controlar directamente la cantidad de destilado que sale de la misma. Esto es, debido a que en el esquema de la Fig. 5.1 (Caso A), cualquier fluctuación del flujo de vapor al condensador podría propagarse a la corriente de reflujo por medio de un instrumento de control de nivel instalado en el acumulador. Esto se ha de evitar.

siempre que sea posible, ya que se ha demostrado que tales fluctuaciones pueden autopropagarse y conducir a oscilaciones sustanciales del control si se emplea reflujo frío en la columna.

En el cuadro 5.2 y en la Fig. 5.5 se resumen las consideraciones anteriores que conducen al sistema óptimo de control global de una columna de destilación.

5.1.2

Como ilustración sobre la elaboración de un diagrama de gaza véase las figuras 5.6 y 5.7, que representan sendos circuitos de control que forman parte del control de la columna de la Fig. 5.5.

Nótese que la información contenida en estos diagramas de gaza, como indicamos en el capítulo 4, es mucho más completa que la que se puede mostrar en un diagrama de flujo y -- que debe ser así, ya que servirá tanto al ingeniero de diseño como a cualquier otra persona que desee entender el funcionamiento de un sistema de control.

Así mismo, como ejemplo de elaboración de especificaciones se anexan las especificaciones 5.1 a 5.6, en donde se describen los instrumentos contenidos en los diagramas de gaza antes mencionados, considerando en este caso exclusivamente instrumentación neumática.

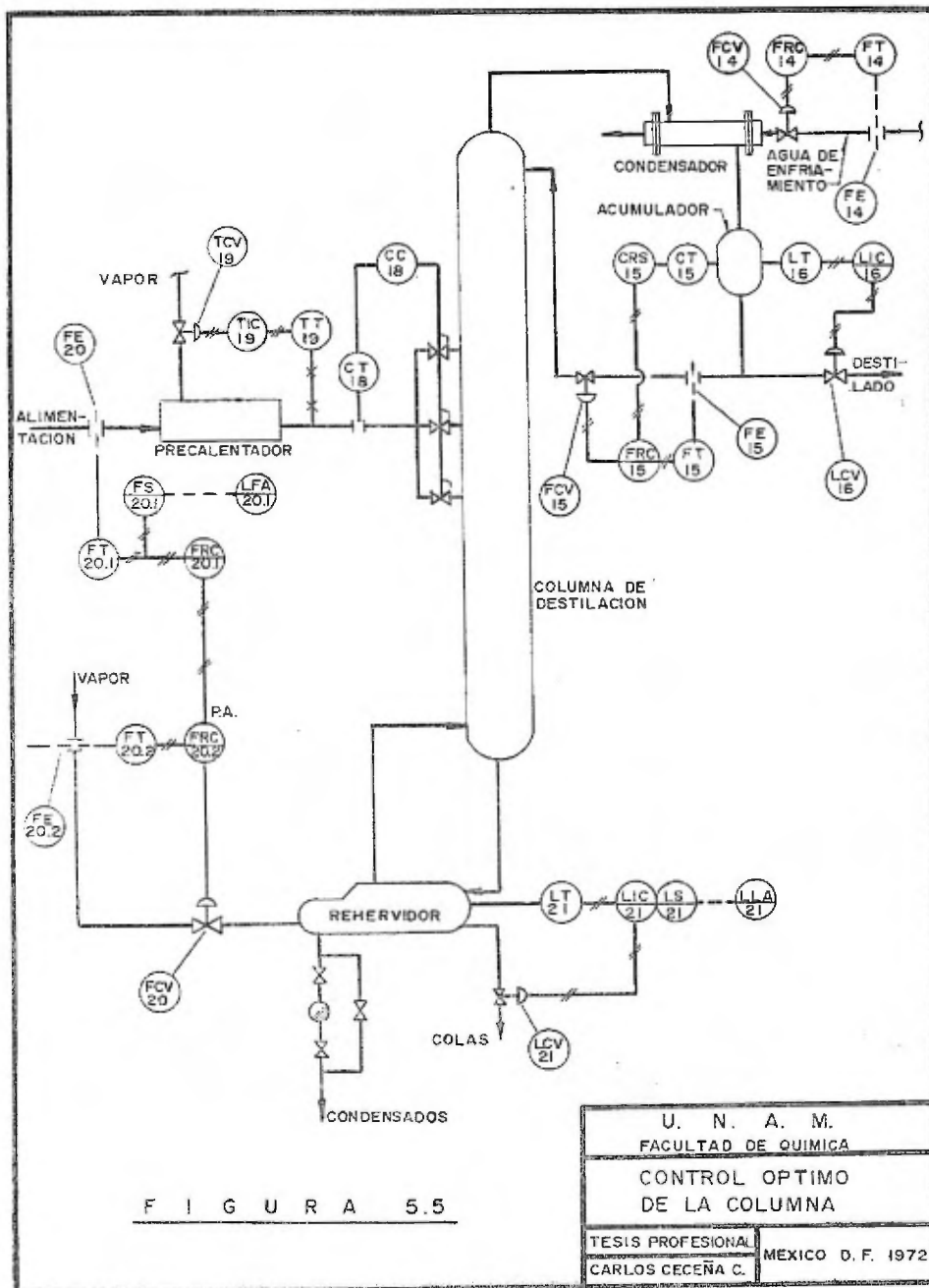
CUADRO 5.2

FUNCIONES DE CONTROL PRINCIPAL

Variable Independiente Interna Establecida	Métodos de Determinación y Regulación de la Variación Requerida
Composición del Producto de Cabeza.	Analizada por variable dependiente próxima al tope de la columna y mantenida por reajuste del controlador de reflujo tan constante como sea posible.
Relación de fraccionamiento de la alimentación (flujo de vapor - producido (flujo de alimentación).	Las variaciones del flujo de alimentación, detectadas por un controlador de flujo se utilizan para reajustar el controlador del flujo de entrada del vapor de calentamiento que ha sido previamente regulado a mano para un valor medio de operación.

CONTROLES SUBSIDIARIOS REQUERIDOS

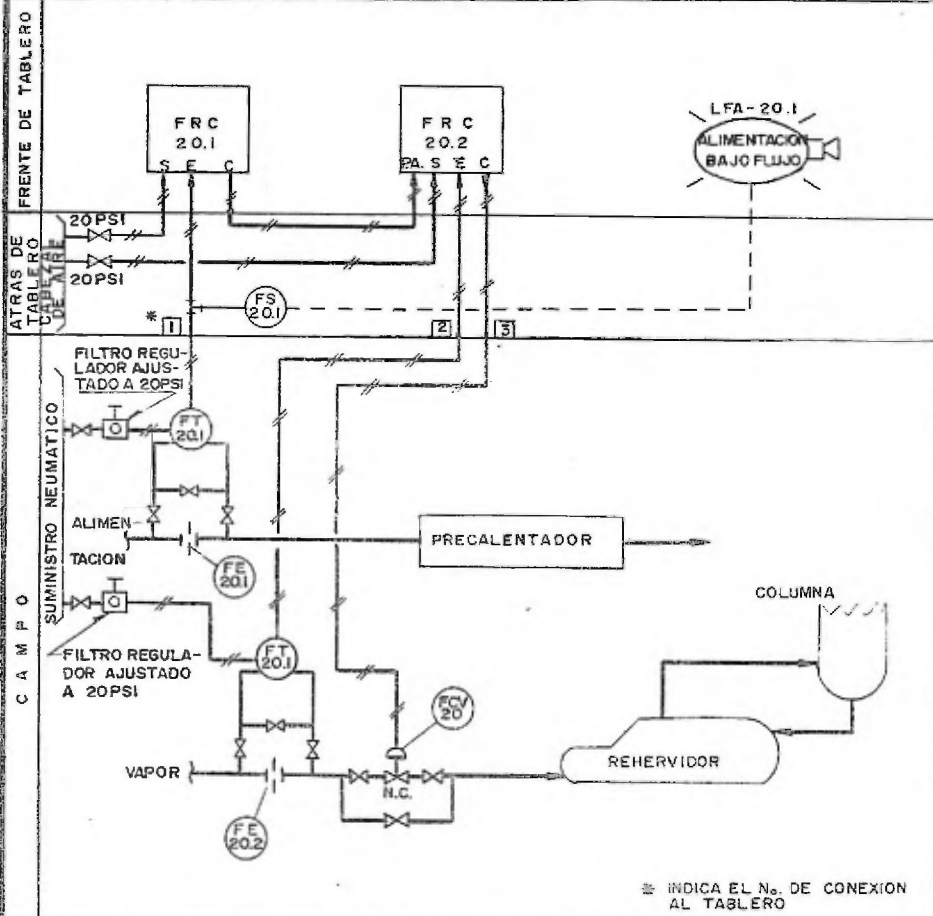
VARIABLE SUBSIDIARIA	METODO DE CONTROL
Temperatura de la alimentación	Precalentador de la alimentación ó una fuente de alimentación de temperatura - constante.
Flujo de salida de colas	Control de nivel sobre el rehervidor.
Presión (donde sea necesaria para los elementos térmicos)	Variación del flujo de agua de refrigeración al condensador ó sistema independiente de control de presión.
Flujo de destilado.	Control de nivel en el acumulador.



F I G U R A 5.5

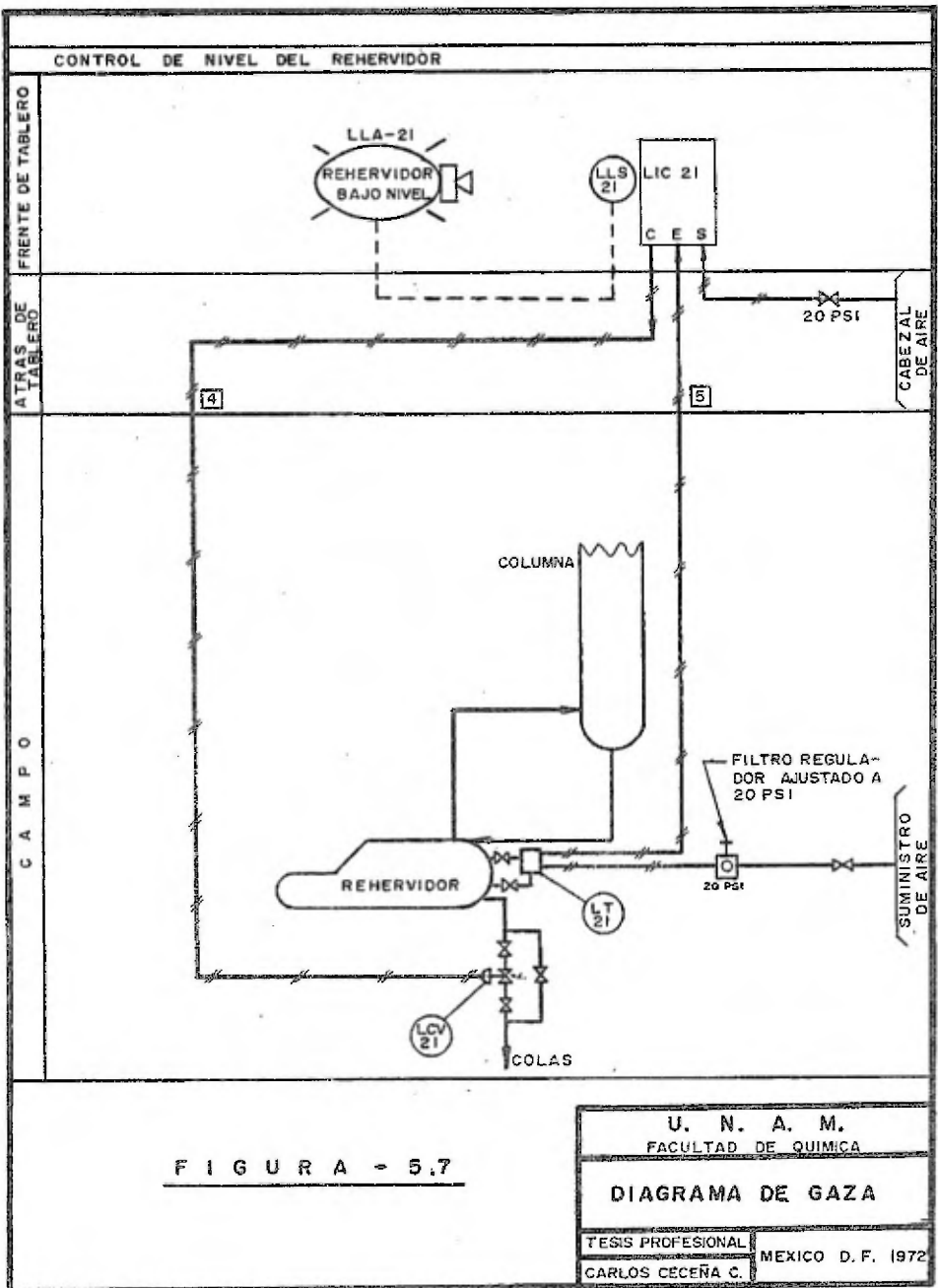
U. N. A. M.	
FACULTAD DE QUIMICA	
CONTROL OPTIMO DE LA COLUMNA	
TESIS PROFESIONAL	MEXICO D. F. 1972
CARLOS CECENA C.	

CONTROL DE VAPOR AL REHERVADOR Y ALARMA POR BAJO FLUJO DE ALIMENTACION



F I G U R A 5.6

U. N. A. M.	
FACULTAD DE QUIMICA	
DIAGRAMA DE GAZA	
TESIS PROFESIONAL	MEXICO D. F. 1972
CARLOS CEGEÑA C.	



5.2. Análisis de la instrumentación requerida en un generador de vapor.

Los servicios de generación de vapor son indispensables en toda planta en que se lleve a cabo un proceso químico en -- donde se requiera -- lo que sucede en la inmensa mayoría -- calentamiento indirecto en reactores, tanques, tuberías, etc. Por tanto, es importante establecer el mejor sistema de control posible, con el fin de tener una operación eficiente y, por tanto, económica.

5.2.1 Elementos de un generador de vapor.

Un sistema de generación de vapor requiere de los siguientes materiales:

- a) Agua.
- b) Combustible.
- c) Aire.

Obteniéndose los siguientes productos:

- a.- Vapor de agua que se utiliza en el proceso o en máquinas o unidades generadoras de corriente eléctrica.
- b.- Gases de combustión, que deberán desecharse.

5.2.2 El proceso de generación.

La generación de vapor consta de varios procesos ligados entre sí como se ilustra en la Fig. 5.8. Estos procesos son:

a.- Combustión.

La combustión se efectúa en el horno de la caldera, -- cuando se combinan los elementos combustibles con el oxígeno del aire, liberando en esta forma una cierta cantidad de calor que, obviamente dependerá del poder calorífico del combustible que se utilice.

Para poder obtener todo el calor disponible en cada libra de combustible, es necesario tener una combustión completa para lo cual es importante el control de aire a suministrar.

b.- Evaporación.

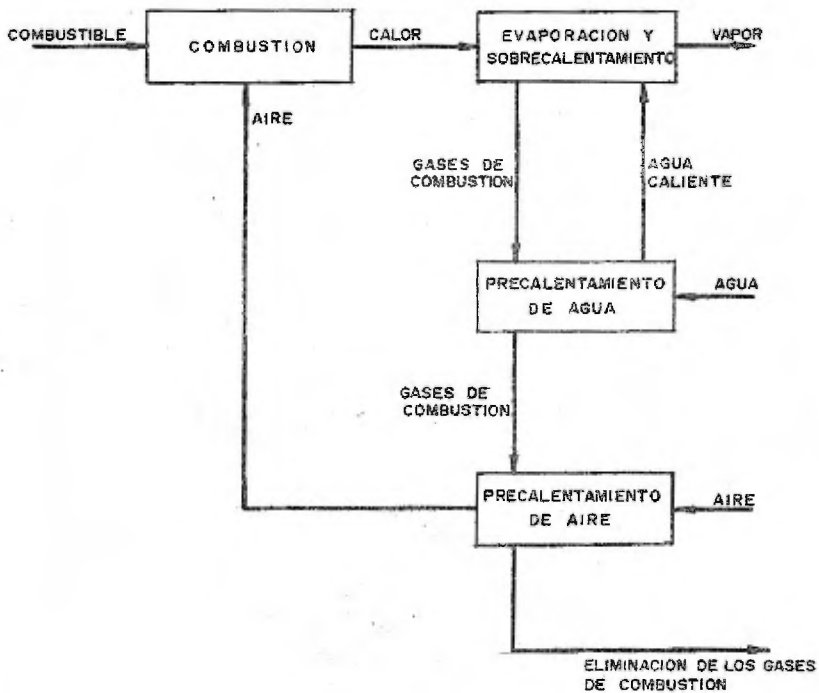


FIGURA No. 5.8

U. N. A. M. FACULTAD DE QUIMICA	
PROCESOS QUE INTERVIENEN EN LA GENERACION DE VAPOR	
TESIS PROFESIONAL CARLOS CECENA C.	MEXICO D. F. 1972

ESPECIFICACION 5.1 N° IDENTIFICACION FRC-20.1

DESCRIPCION: REGISTRADOR INDICADOR CONTROLADOR TRANSMISOR CIEGO
 CAJA: TIPO RECTANGULAR CIRCULAR OTRO _____
 COLOR NEGRO OTRO STD.
 MONTAJE: EMBUTIDO SUPERFICIAL HORQUILLA
 NO. DE PUNTOS: REGISTRO UNO INDICADOR _____
 GRAFICA, TIPO: CIRCULAR OTRA _____
 RANGO 0-10 NUMERO _____
 MECANISMO CUERDA VELOCIDAD GRAFICA _____ CUERDA _____
 ELECTRICO VOLTS 110 CICLOS 60 P. EX. NO _____
 NEUMATICO. PRESION DEL AIRE _____
 OTRO _____

TRANSMISOR, TIPO: NEUMATICO ELECTRICO
 SEÑAL DE SALIDA: 0.2 - 1.0 Kg/cm2 OTRA _____

CONTROL

TIPO: NEUMATICO ELECTRICO OTRO _____
 PROPORCIONAL 0-100 % REPOSICION VELOCIDAD REPOSICION
 DOS POS. OTRO _____
 SEÑAL DE SALIDA 0.2 - 1.0 Kg/cm2 OTRA _____
 CON AUMENTO MEDICION SALIDA AUMENTA SALIDA DISMINUYE

INTERRUPTOR AUTO-MANUAL

No. POSICIONES DOS EXTERNO INTERNO INTEGRAL

OPERACION PUNTO DE AJUSTE

MANUAL SI NO INTERNO EXTERNO NEUMATICO ELECTRICO
 AUTOMATICO SI NO NEUMATICO ELECTRICO
 BANDA SI NO FIJA AJUSTABLE
 OTRO _____

ELEMENTO DE PRESION

TIPO: ESPIRAL FUELLE BOURDON DIAFRAGMA HELICOIDAL
 MATERIAL: BRONCE ACERO AC. INOX. OTRO _____
 COMPENSACION: PRESION ABS. _____ COLUMNA ESTATICA _____
 RANGO 3-15 PSI UNIDADES DE CALIBRACION LPS
 CONEXION NPT 6 mm (1/4") 13 mm (1/2") OTRA _____
 POSTERIOR BASE OTRA _____

ACCESORIOS

FILTRO Y REGULADOR _____ MANOMETRO _____
 INDICADOR LOCAL _____ GRAFICAS Y TINTA SI
 HORQUILLA DE MONTAJE _____ AMORTIGUADOR PULSACIONES _____
 SIFON _____ INTERRUPTOR ALARMA _____
 INTERRUPTOR ALARMA _____
 SELLO HERMETICO A PRUEBA DE EXPLOSION A PRUEBA DE GOTEO.

CONDICIONES DE OPERACION

PRESION NORM./MAX. 3-15 PSI TEMP. NORM./MAX. AMB
 FLUIDO AIRE FLUIDO DE SELLO NO
 MARCA Y MODELO _____ HOJA DE _____

ESPECIFICACION 5.2 N° IDENTIFICACION FRC-20.2

INSTRUMENTOS DE PRESION

DESCRIPCION: REGISTRADOR INDICADOR CONTROLADOR TRANSMISOR CIEGO

CAJA: TIPO RECTANGULAR CIRCULAR OTRO _____
 COLOR NEGRO OTRO STD.

MONTAJE: EMBUTIDO SUPERFICIAL HORQUILLA

No. DE PUNTOS: REGISTRO UNO INDICADOR _____

GRAFICA, TIPO: CIRCULAR OTRA _____

RANGO 0-10 ✓ NUMERO _____

MECANISMO CUERDA VELOCIDAD GRAFICA _____ CUERDA _____

ELECTRICO VOLTS 110 CICLOS 60 P.Ex. NO

NEUMATICO. PRESION DEL AIRE _____

OTRO _____

TRANSMISOR; TIPO: NEUMATICO ELECTRICO

SEÑAL DE SALIDA: 0.2 - 1.0 Kg/cm² OTRA _____

CONTROL

TIPO: NEUMATICO ELECTRICO OTRO _____

PROPORCIONAL 0-100 % REPOSICION VELOCIDAD REPOSICION

DOS POS. OTRO _____

SEÑAL DE SALIDA 0.2 - 1.0 Kg/cm² OTRA _____

CON AUMENTO MEDICION SALIDA AUMENTA SALIDA DISMINUYE

INTERRUPTOR AUTO-MANUAL

Nº. POSICIONES DOS EXTERNO INTERNO INTEGRAL

OPERACION PUNTO DE AJUSTE

MANUAL SI NO INTERNO EXTERNO NEUMATICO ELECTRICO

AUTOMATICO SI NO NEUMATICO ELECTRICO

BANDA SI NO FIJA AJUSTABLE

OTRO _____

ELEMENTO DE PRESION

TIPO: ESPIRAL FUELLE BOURDON DIAFRAGMA HELICOIDAL

MATERIAL: BRONCE ACERO AC. INOX. OTRO _____

COMPENSACION: PRESION ABS. _____ COLUMNA ESTÁTICA _____

RANGO 3-15 PSI UNIDADES DE CALIBRACION _____

CONEXION NPT 6 mm (1/4") 13 mm (1/2") OTRA _____

POSTERIOR BASE OTRA _____

ACCESORIOS

FILTRO Y REGULADOR _____ MANOMETRO _____

INDICADOR LOCAL _____ GRAFICAS Y TINTA _____

HORQUILLA DE MONTAJE _____ AMORTIGUADOR PULSACIONES _____

SIFON _____ INTERRUPTOR ALARMA _____

INTERRUPTOR ALARMA _____

SELLO HERMETICO A PRUEBA DE EXPLOSION A PRUEBA DE GOTEQ

CONDICIONES DE OPERACION

PRESION NORM./MAX. 3-15 PSI TEMP. NORM./MAX. AM B

FLUIDO AIRE FLUIDO DE SELLO _____

MARCA Y MODELO _____ HOJA DE _____

ESPECIFICACION 5.3 N° IDENTIFICACION VER ABAJO

PLACAS DE ORIFICIO Y BRIDAS

PLACAS DE ORIFICIO

FABRICADAS DE ACUERDO A: AGA ASME ESTANDARD. OTRO _____
 MATERIAL PLACA: AC.INOX. OTRO _____
 ANILLO: TIPO _____ MATERIAL _____
 VELOCIDAD MAXIMA _____ DIAMETRO INTERIOR _____
 NORMAS: ISA OTRO _____

BRIDAS DE ORIFICIO

VELOCIDAD _____ CARA REALZADA
 TIPO: SOLDABLE OTRO _____
 MATERIAL: ACERO OTRO _____
 CONEXION: MACHO 1/2" NPT OTRO _____
 BRIDAS POR EL VENDEDOR

LATOS GENERALES

IDENTIFICACION No.	FE-20.1	FE-20.2
LINEA No.		

CONDICIONES DE OPERACION

FLUIDO	ETILEN GLICOL	VAPOR
UNIDADES DE FLUJO		
FLUJO: MAXIMO/NORMAL	LPS	Kg/HR
PRESION DE FLUJO	5/4	1000/850
TEMPERATURA DE FLUJO	4 Kg/cm ²	16 Kg/cm ²
DENSIDAD RELATIVA A °C Y Kg/cm ² AMB		VAPOR SAT
FACTOR DE COMPRESIBILIDAD	1.1	
PESO MOLECULAR		
VISCOSIDAD P. °C	62.07	

ESTACION DE MEDICION

ORIFICIO ACTUAL, DIAM. INT.	1.3621"	
BRIDA LINEA, DIAM. INT.	3.068"	1.610"
SELLO, DENSIDAD REL. A 25°C	-----	-----
MANOMETRO TIPO		
RANGO DIFERENCIAL	100" H ₂ O	100" H ₂ O
RANGO ESTATICO Kg/cm ² ABS		
GRAFICA O RANGO DE LA ESC	-----	-----
MULTIPLICADOR DE GRAFICA		
CALCULADA	.4444	
MARCA Y MODELO		

OBSERVACIONES:

HOJA DE

ESPECIFICACION 5.4

INTERRUPTORES DE PRESION

IDENTIFICACION No.	FS-20.1
CANTIDAD	UNO
SERVICIO	ALIM. A LA COLUMNA

ESPECIFICACIONES DE CONSTRUCCION

ELEMENTO DE PRESION: TIPO	BOURDON
MATERIAL	BRONCE
RANGO	1-20 PSI
CONEXION, TIPO/DIAM.	13 mm (1/2") NPT
LOCALIZACION	ABAJO
INTERRUPTOR: TIPO	CAPSULA DE MERCURIO
CANTIDAD/FORMA	UNO/SPDT
CUBIERTA	USOS GENERALES
CONEXION CONDUIT, DIAM/TIPO	13 mm (1/2") NPT
RANGO: VOLTS/FREC.	110 V / 60 HZ
AMPS./WATTS	10 A /
TIPO DE CARGA	RESISTIVA
DIFERENCIAL MINIMA	1 PSI
DIFERENCIAL, FIJA/AJUSTABLE	FIJA
AJUSTE, INTERNO/EXTERNO	EXTERNO
CONTACTOS: ALTA/BAJA	
ABREN/CIERRAN	CIERRAN
CON AUMENTO O DISMINUCION DE PRESION	DISMINUCION

DATOS DE PROCESO

FLUIDO	AIPE
TEMPERATURA: OPER./MAX.	AMB.
PRESION: OPER./MAX.	3-15 PSI
DENSIDAD REL. OPER./MAX.	
PUNTO DE DISPARO	DEBERA AJUSTARSE EN CAMPO
ACCESORIOS	
MARCA Y MODELO	

OBSERVACIONES:

HOJA DE

ESPECIFICACION 5.5

TRANSMISORES DE FLUJO

IDENTIFICACION No.	FT-20.1	FT-20.2
CANTIDAD	UNO	UNO
SERVICIO	Alimentación a la columna	Vapor al re hervidor.
FUNCION		
MONTAJE	YUGO	YUGO

ESPECIFICACIONES DE CONSTRUCCION

TRANSMISOR: TIPO	NEUMATICO	NEUMATICO
SEÑAL DE SALIDA	3-15 PSI	3-15 PSI
ELEMENTO: TIPO	DIAPHRAGMA	DIAPHRAGMA
MATERIAL	AC. INOX.	AC. INOX.
CUERPO: MATERIAL	ACERO	ACERO
CONEX.DE PROCESO	13 mm (1/2")	13mm (1/2")
RANGO DIFERENCIAL	0-100"H ₂ O	0-100"H ₂ O
CONEX. NEUMATICA, DIAM.	6 mm (1/4")	6 mm (1/4")
SUMINISTRO NEUMATICO	20 PSIG	20 PSIG

DATOS DE PROCESO

FLUIDO	ETILENGLICOL	VAPOR
PRESION:NORM./MAX.	4 Kg/cm2/	16Kg/cm2/
TEMPERATURA:NORM./MAX.	AMB	VAPOR SAT.
FLUJO: NORM./MAX.	4 / 6 LPS	350/1000Kg/H
DENSIDAD REL. A 25°C	1.1	
VISCOSIDAD A _____ °C		
DIAM. DE LA TUBERIA	75mm (3")	38 mm (1 1/2")
CEDULA DEL TUBO	40	40
ACCESORIOS	FILTRO-REGULADOR C/MAN	FILTRO-REGULADOR C/MAN.
MARCA Y MODELO		

OBSERVACIONES:

ESPECIFICACION 5.6

VALVULAS DE CONTROL

(HOJA 1)

NO. DE IDENTIFICACION	FCV-20		
CANTIDAD	UNA		
SERVICIO	Vapor al re-hervidor.		
CUERPO :			
TAMAÑO DE CUERPO	32 mm (1 1/4")		
TAMAÑO DEL PUERTO	32 mm (1 1/4")		
FORMA	GLOBO		
MATERIAL	ACEPO		
CONEXIONES	ERTIDADAS		
CASQUETE	STD		
CAJA O SELLO	STD		
GUIAS ESPECIALES	NO		
EMPAQUE	TEFLON		
INTERIORES			
MATERIAL	AC. INOX.		
NO. DE PUERTOS	UNO		
FORMA DEL TAPON	IGUAL PORCENTAJE		
MATERIAL DEL TAPON Y EL ASIEN TO	AC. INOX.		
GUIAS	STD		
ACCION			
CERRADO/ABIERTO	3 PSI/15 PSI		
POSICION EN FALLA	CERRADA		
POSICIONADOR			
REQUERIDO	NO		
DERIVACION/MANOMETROS	-- --		
PARA UNA SEÑAL DE ENTRADA DE LA SALIDA DEBERA SER DE	-- --		
ACCESORIOS			
FILTRO Y REGULADOR	NO		
VOLANTE	NO		
INDICADOR DE DESPLAZAMIENTO	SI		

HOJA DE

FORMA D-3-65-007/1

ESPECIFICACION 5.6

VALVULAS DE CONTROL

(HOJA 2)

NO. DE IDENTIFICACION	FCV-20	
OPERADOR		
NEUM: RESORTE Y DIAF.	SI	
CARRERA PSI	3-15 PSI	
OTRO		
SUMINISTRO		
OTRO		
SUMINISTRO		
DATOS DE PROCESO		
FLUIDO	VAPOR SAT	
FLUJO MIN/MAX	KG/HR	/1000
FLUJO NORMAL a P.T.	KG/HR	850
PRESION MAX. ENTRADA/NORMAL SALIDA	16/15 Kg/cm ²	
AP MAX/AP RESL	1 Kg/cm ²	
TEMP. MAX/NORMAL	VAPOR SAT	
DENSIDAD RELAV. a 60' F/a F.T.		
VISCOSIDAD a F.T.		
C _v CALCULADO	27	
MARCA		
MODELO		
NOTAS:		

HOJA DE

Este proceso se lleva a cabo mediante la transferencia de calor de los gases de combustión al agua dentro de los tubos. Este es un proceso físico que varía el estado del agua de líquido a vapor al elevar su temperatura. En la Fig. 5.9 se ilustran los elementos de este proceso.

c.- Precalentamiento de agua.

Este proceso se utiliza para incrementar la eficiencia del ciclo térmico de la unidad generadora. Se efectúa mediante la transferencia de calor de los gases de combustión una vez que se han utilizado para el proceso de evaporación, haciéndola pasar a través de un cambiador de calor (economizador), a contraflujo con el agua.

d.- Precalentamiento de aire.

Este es un proceso similar al anterior, que se utiliza para incrementar la eficiencia de la combustión y consiste en el calentamiento del aire en un cambiador de calor fluyendo a contra corriente con los gases de combustión que ya han salido del economizador.

e.- Temperatura del vapor.

La temperatura del vapor es función directa de su presión, en caso de utilizarse directamente del domo superior ya que se obtendrá vapor saturado. Para obtener temperaturas mayores (vapor sobrecalentado), se pasa el vapor saturado a través de serpentines expuestos al paso de gases calientes.

5.2.3 Sistemas de control.

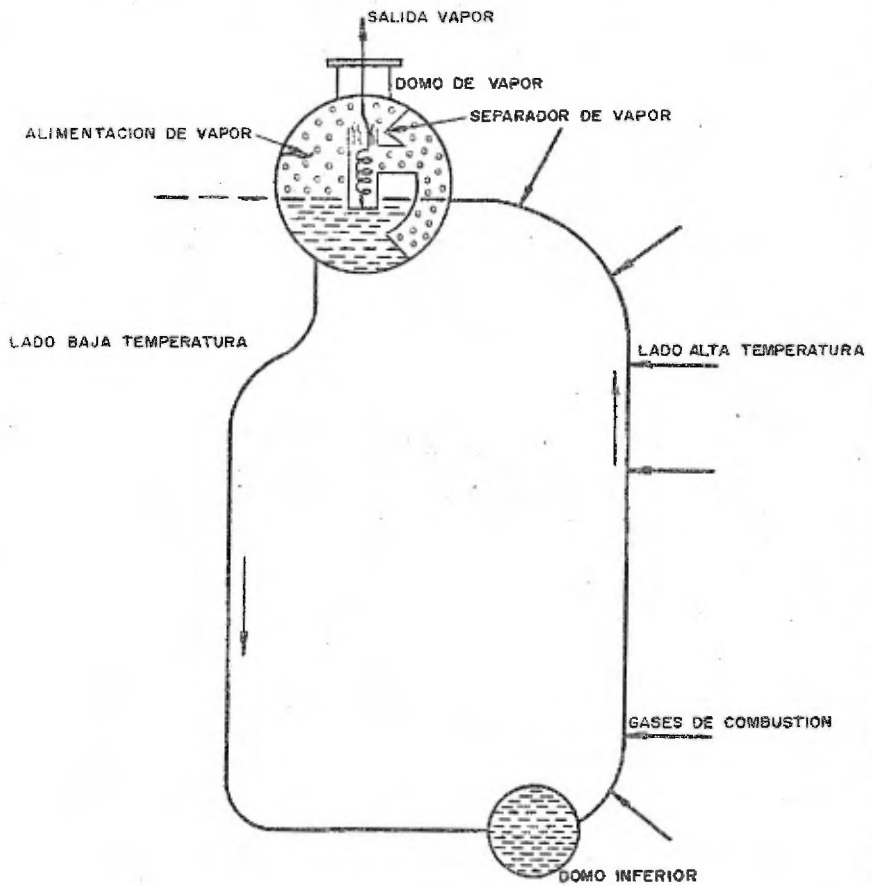
a.- Control de la combustión.

1. Requerimientos.- Como apuntábamos anteriormente, el proceso de la combustión requiere de dos suministros que son el combustible y el aire.

La eficiencia de la combustión, radica en la relación de las cantidades combustible y aire.

La falta de aire trae consigo el desperdicio de combustible, el cual se tira a la atmósfera provocando además contaminación del ambiente.

El aire en demasía, significa el desperdicio de energía en los ventiladores de tiro forzado (aire hacia quemadores) y de tiro inducido (gases de combustión



F I G U R A - 5.9

U. N. A. M.	
FACULTAD DE QUIMICA	
PRODUCCION DE VAPOR SATURADO	
CIRCULACION NATURAL	
TESIS PROFESIONAL	MEXICO D. F. 1972
CARLOS CECENA C.	

a la chimenea) al manejar una masa mayor innecesaria.

Estos requerimientos, traen consigo la necesidad de medir la cantidad de combustible, así como la cantidad de aire.

En la figura 5.10 se muestra esquemáticamente a un sistema de control de combustión sencillo.

2. El circuito de Control de Combustión.- El circuito se compone de dos señales básicas; la primera es la señal de demanda representada por el valor de la presión de vapor; la segunda, es la señal de combustión y está representada por la combinación de flujo combustible y flujo de aire.

Una variación de la demanda de vapor, provoca una desviación de la presión de vapor del valor de control deseado.

Esta desviación se detecta y se le aplica una acción de control proporcional e integral. La señal así obtenida se utiliza para operar a la válvula de combustible, abriéndola o cerrándola.

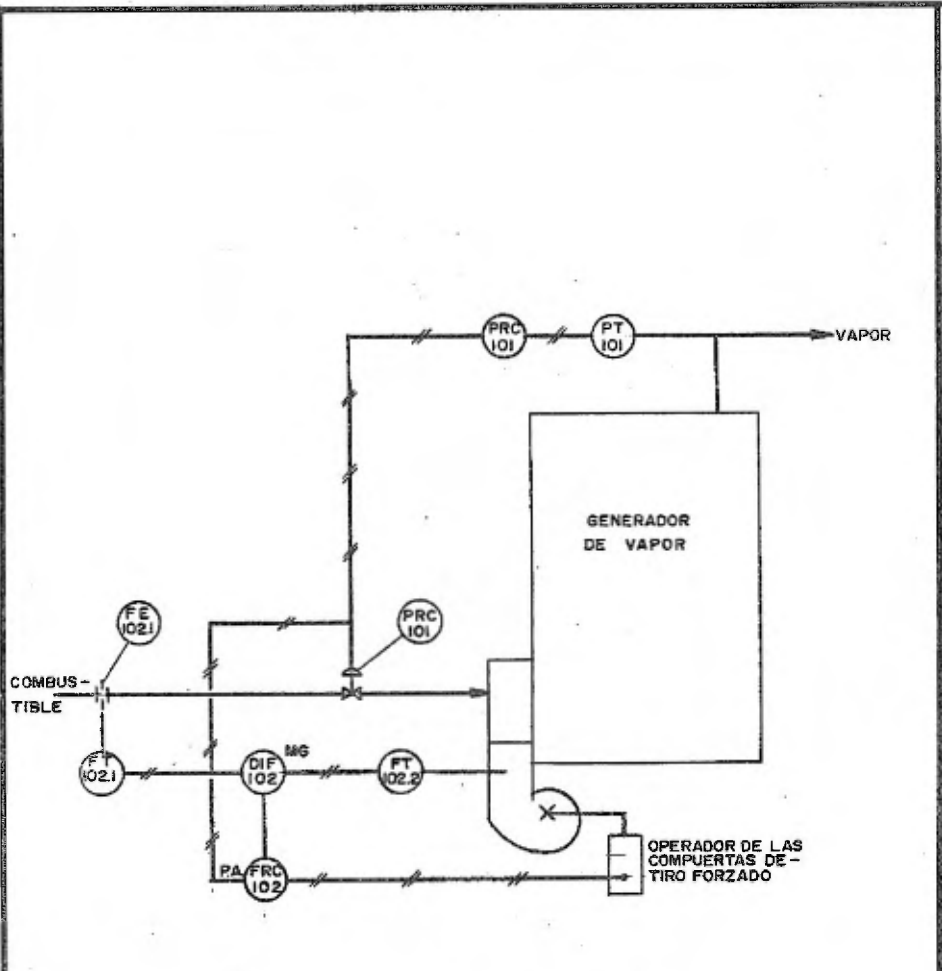
La válvula de combustible quedará estable, cuando se esté alimentando el combustible necesario (calor), para este nuevo valor de la demanda de vapor.

Para la dosificación correcta del aire de combustión se utilizan las dos señales, la señal de demanda (1) y la señal de combustión (2).

La Fig. 5.11 representa la relación que debe existir entre la cantidad de combustible y la cantidad de aire para combustión óptima que se obtiene con las pruebas de combustión, analizando los gases a la salida de la caldera.

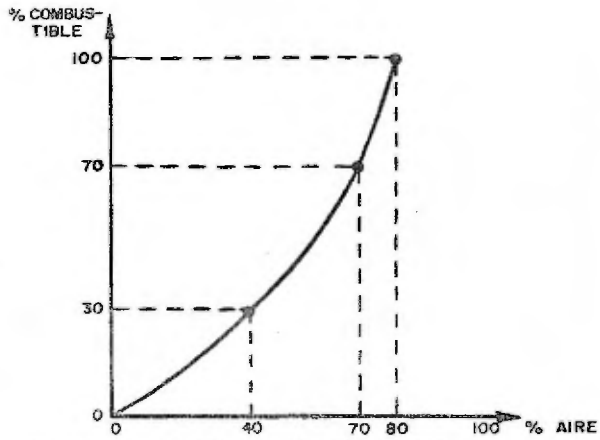
La Fig. 5.12 representa la calibración de la señal de salida del transmisor de flujo de aire (caracterización), de modo que cuando se cumpla la condición de buena combustión dicha señal de salida tendrá el mismo valor de la señal de salida del transmisor de flujo de combustible.

Cuando existe diferencia entre dichas señales, se efectúa la corrección mediante la señal de combustión (2), (Fig. 5.13), a la cual se le aplica una acción de control proporcional e integral, obteniendo así una señal correctiva de la señal de control de demanda de combustible aplicada en paralelo a las compuertas del tiro forzado (aire de combustión).

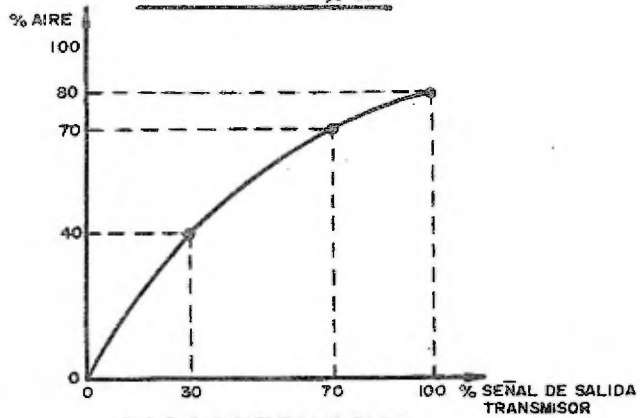


F I G U R A - 5.10

U. N. A. M.	
FACULTAD DE QUIMICA	
CONTROL DE COMBUSTION	
TESIS PROFESIONAL	MEXICO D. F. 1972
CARLOS CECENA C.	



RELACION DE FLUJO DE COMBUSTIBLE A
FLUJO DE AIRE
FIGURA No. 5.11



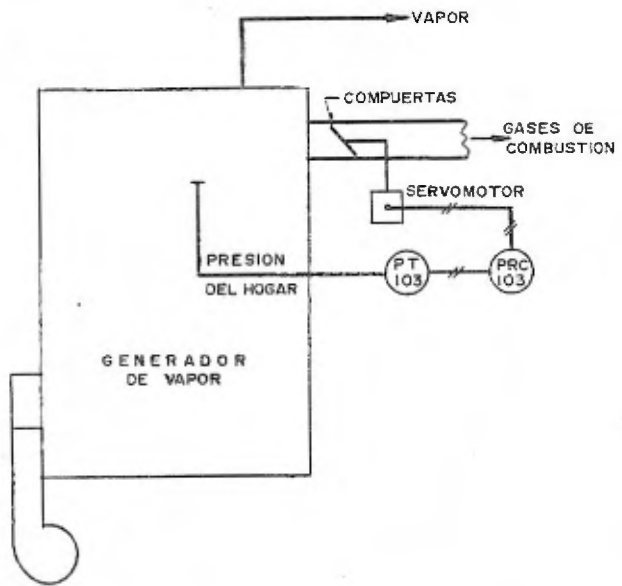
CARACTERIZACION
FIGURA No. 5.12

U. N. A. M.
FACULTAD DE QUIMICA

TESIS PROFESIONAL

CARLOS CECENA C.

MEXICO D. F. 1972



F I G U R A - 5.13

U. N. A. M.	
FACULTAD DE QUIMICA	
CONTROL DEL TIRO BALANCEADO	
TESIS PROFESIONAL	MEXICO D. F. 1972
CARLOS CECENA C.	

b.- Control del tiro balanceado.

- 1.- Requerimientos. El hogar de las calderas, trabajan con presión positiva o con presión negativa.

Cuando la unidad trabaja con presión positiva en el hogar, no es necesario controlar la salida de los gases de combustión a la atmósfera.

Si la unidad está diseñada para trabajar con hogar balanceado (presión negativa), es necesario controlar la salida de los gases de combustión, operando las compuertas del ventilador de tiro inducido ó de la chimenea.

El valor de la presión negativa en el hogar es fija para cada caldera y puede ser del orden de 2 mm columna de agua a 25 mm columna de agua.

El valor de la presión negativa dentro del hogar, debe mantenerse en un valor constante para poder obtener una combustión estable y para protección de los materiales, ya que una flama demasiado larga puede provocar falla de los tubos o de las mamparas.

- 2.- El circuito de control del tiro balanceado.- El valor actual de la presión negativa se compara con el valor de control deseado y a la desviación o diferencial así conseguida, se le aplica una acción de control proporcional e integral, la señal correctiva se aplica al servomotor, el cual reposicionará a las compuertas reguladoras de flujo de gases hasta que el valor actual de la presión del hogar se iguale al valor deseado. Esto se muestra en la figura 5.13.

c.- Control del agua de alimentación.

- 1.- Requerimientos. En el proceso de la evaporación, se necesita la alimentación de agua a la caldera y esta alimentación debe ser en tal forma, que tome en cuenta los siguientes factores.

- i.- Un nivel bajo en el domo superior, daña los tubos, al elevarse su temperatura hasta reventarlos.
- ii.- Un nivel alto en el domo superior, daña al equipo que utiliza el vapor, debido al arrastre de humedad y de posibles sólidos.

- iii.- Cambios bruscos en la cantidad de agua, trae consigo choques térmicos y la frecuencia de estos cambios puede dañar a la unidad.
 - iv.- Cambios bruscos en la cantidad de agua, provoca desviaciones adicionales del valor de la presión de vapor y de la temperatura del mismo. Estas desviaciones provocan a su vez, cambios en la cantidad de combustible y aire dando por resultado una operación inestable e indeseable.
 - v.- Cambios bruscos en la cantidad de agua, también provoca operación inestable y no eficiente del equipo auxiliar, como precalentador de agua (economizador), sistemas de bombeo, etc.
2. El circuito de control de agua de alimentación. En cualquier sistema de alimentación de agua, son tres los elementos que en forma continua intervienen en la operación y éstos son:
- i.- Nivel en el domo.
 - ii.- Demanda de vapor.
 - iii.- Velocidad de alimentación.

Ahora bien, existen tres tipos de circuitos de control, dependiendo del número de mediciones que intervienen en el mismo (Cuadro 5.3) estos son:

- Circuito de control de un elemento. En este circuito, la medición que se efectúa es el nivel del domo.
- Circuito de control de dos elementos. En este circuito, son dos las mediciones; el nivel del domo y el flujo de vapor (demanda).
- Circuito de control de tres elementos. Son tres las mediciones que intervienen; nivel del domo, flujo de vapor y flujo de agua (velocidad de alimentación).

En una unidad generadora de vapor, podemos aplicar cualquier sistema de los mencionados, pero esto no significa que estemos aplicando el sistema correcto.

A continuación se muestra una guía general para seleccionar el circuito más adecuado y recomendable en función de las características básicas de la unidad y su operación.

CUADRO 5.3

CIRCUITOS DE CONTROL DE AGUA DE ALIMENTACION A UNA CALDERA

Tipo del Circuito de Control	CAPACIDAD		
	Menor de 34 Ton/Hr.	de 34 a 90 Ton/Hr.	Mayor que 90 Ton/Hr.
Tres elementos	No se aplica	Fluctuacion frecuente en la demanda.	Para todos los tipos de demandas.
Dos elementos	Fluctuaciones grandes de demanda.	Demandas con ó sin fluctuación.	Demandas sin fluctuaciones o fluctuaciones medias.
Un elemento	Demandas estables	Cargas estables y buena regulación de la presión del agua	No se aplica

NOTA: El tipo del circuito, de control a recomendar, depende también del diseño de la caldera (capacitancia y velocidad de respuesta), del equipo de bombeo y calentamiento del agua, de la concentración de sólidos y de si se cuenta con dispositivos modernos para la separación del vapor.

3. Circuito de control de tres elementos.- El circuito de control de tres elementos es un sistema en cascada con señal anticipatoria del flujo de vapor. (Figura 5.14).

En este circuito, se mantiene un flujo de agua igual a la demanda de la misma.

La medición de nivel mantiene el nivel correcto en el domo, ya que pueden existir desviaciones del mismo, motivadas por error en los medidores de flujo de vapor y agua, por las purgas de fondo, etc.

A la señal de desviación del nivel con respecto a su valor de control, se le aplica una acción de control proporcional. La suma de la señal de desviación del nivel con la señal del flujo de vapor, es la señal de la demanda de agua.

Esta señal, es el flujo de agua deseado y su comparación con la señal del flujo de agua actual, produce una diferencia. A esta diferencia se le aplica una acción de control proporcional e integral y la señal de control resultante es la que corrige la abertura de la válvula o del regulador de velocidad de la bomba de agua.

4. Circuito de control de dos elementos. Este sistema de control contiene un circuito sencillo y una señal anticipatoria. Utiliza la medición del flujo de vapor, para regular la cantidad de agua y la medición del nivel asegura un nivel correcto en el domo (Fig. 5.15).

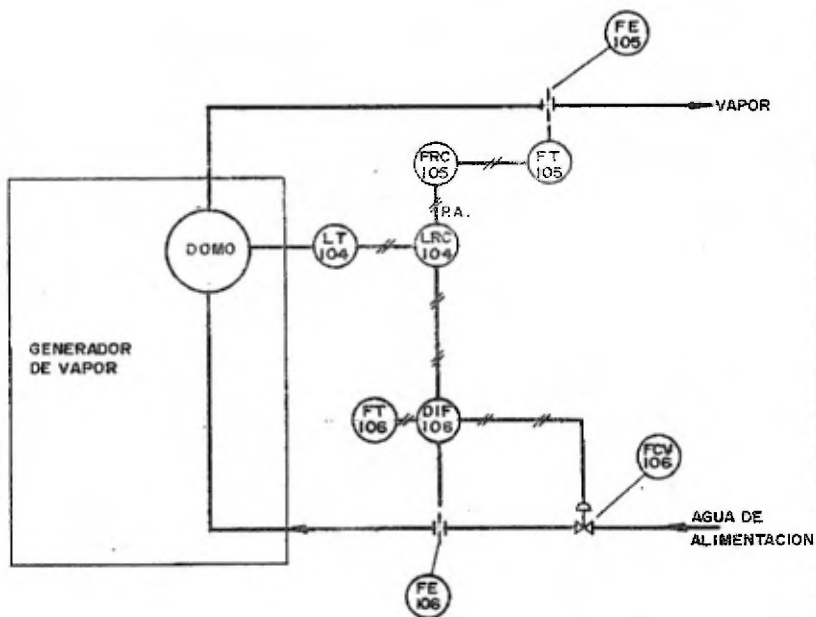
A la diferencia entre el valor de control del nivel y el nivel actual, se le aplica una acción proporcional y se produce la señal correctiva del nivel.

La suma de esta señal correctiva y la señal del flujo de vapor, determina la posición de la válvula del agua.

Es decir, que la medición del flujo de vapor mantiene un flujo de agua que es proporcional al flujo de vapor.

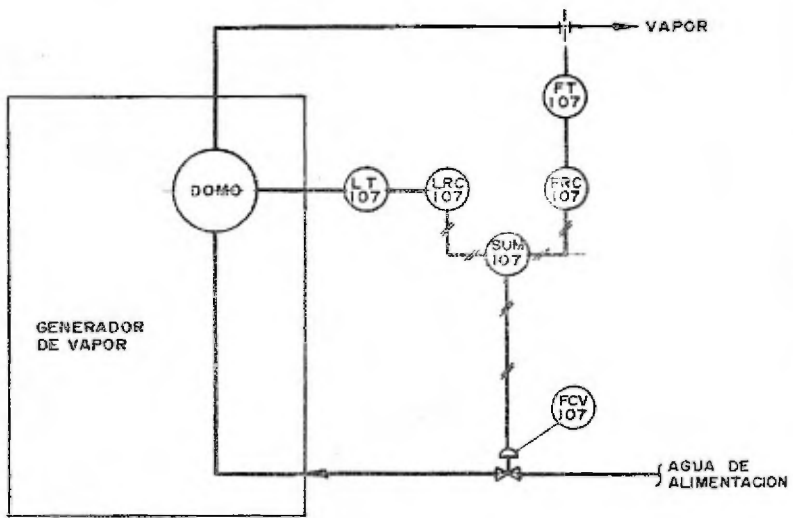
La medición del nivel corrige por cualquier desbalance de la proporcionalidad entre flujo de vapor y flujo de agua, debido a las desviaciones en la característica de abertura contra flujo de agua de la válvula de control.

5. Circuito de control de un elemento.- En este sistema el agua en el domo está al nivel deseado, cuando la señal del transmisor iguala al valor de control (Fig. 5.16). Si existe un nivel no deseable, se produce una



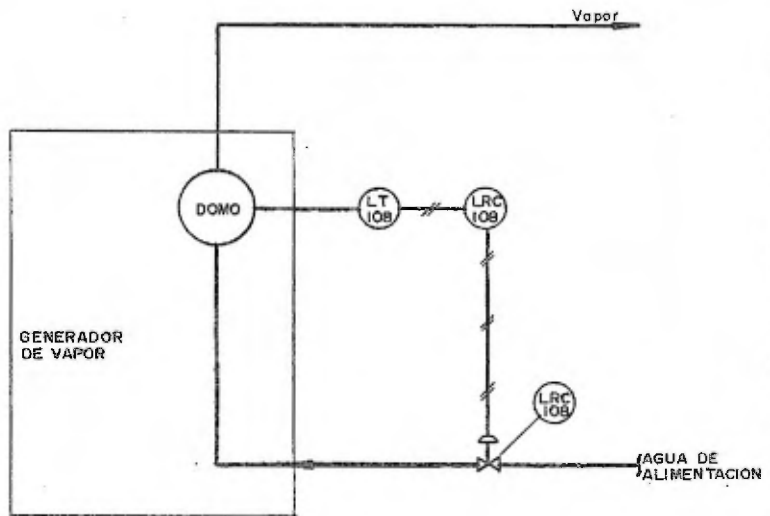
F I G U R A - 5.14

U. N. A. M.	
FACULTAD DE QUIMICA	
CONTROL DE AGUA DE ALIMENTACION(3ELEMENTOS)	
TESIS PROFESIONAL	MEXICO D. F. 1972
CARLOS CECENA C.	



F I G U R A - 5.15

U. N. A. M.	
FACULTAD DE QUIMICA	
CONTROL DE AGUA DE ALIMENTACION (2ELEMENTOS)	
TESIS PROFESIONAL	MEXICO D. F. 1972
CARLOS CECEÑA C.	



F I G U R A - 5.16

U. N. A. M. FACULTAD DE QUIMICA	
CONTROL DE AGUA DE ALIMENTACION (I-ELEMENTO)	
TESIS PROFESIONAL	MEXICO D. F. 1972
CARLOS CECENA C.	

señal igual a la diferencia entre el nivel deseado y el nivel actual, a esta señal se le aplica una acción de control proporcional e integral y la señal de control resultante es la que corrige la abertura de la válvula hasta obtener el nivel deseado.

d.- Control de la temperatura de vapor (tres elementos).

1. Requerimientos.- La temperatura de vapor, es una propiedad física del mismo y su valor depende del tipo y características del proceso ó maquinaria a manejar -- con ese vapor.

Este control se aplica obviamente al vapor sobrecalentado, ya que el vapor saturado tiene una temperatura fija que sólo depende de la presión.

La temperatura del vapor varía con la carga de la unidad generadora de vapor según se ilustra en la figura 5.17, a partir de cierta demanda de vapor Q , la temperatura es superior al valor de control y esto es característica propia de las calderas.

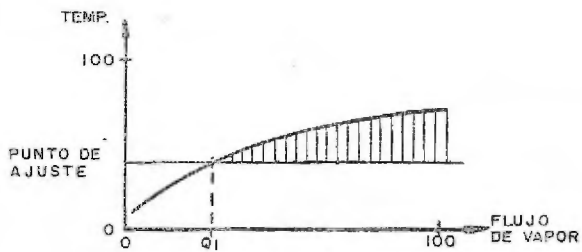
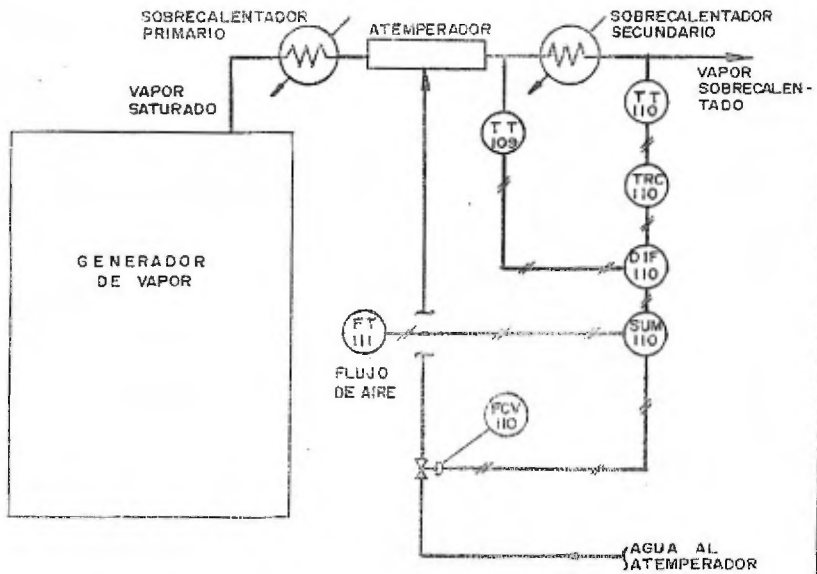
Lo que interesa es controlar la temperatura precisamente a partir de esta carga Q .

2. El circuito de control.- Este sistema opera de (1) -- flujo de aire (2) temperatura final de vapor y (3) -- temperatura de vapor a la salida del atemperador.

El control primario se hace de la medición de flujo de aire como un índice de carga para posicionar la válvula de control de agua al atemperador.

Se mide la temperatura final de vapor y cualquier error entre esta temperatura y la temperatura por controlar, se aplica al sistema con acción proporcional más integral.

La temperatura de vapor a la salida del atemperador -- también se mide y se utiliza como una anticipación de cambio de temperatura final. Las dos temperaturas se comparan antes de sumarse con el flujo de aire utilizado como índice de carga.



F I G U R A - 5.17

U. N. A. M.	
FACULTAD DE QUIMICA	
CONTROL DE LA TEMPERATURA DEL VAPOR (3 ELEMENTOS)	
TESIS PROFESIONAL	MEXICO D. F. 1972
CARLOS CECENA C.	

5.3 Sistemas de control en un cambiador de calor.

Los cambiadores de calor son equipos extensamente usados en todo tipo de procesos industriales. (Nótese que en las secciones 5.1 y 5.2 aparecen como partes integrantes de los procesos, en forma de rehervidores, de economizadores o de calentadores de aire). Es por esto que nos parece interesante el plantear y analizar las formas más usuales de control para su óptimo funcionamiento.

En general, podemos considerar que estos cambiadores de calor se pueden representar como en la Fig. 5.19. Aunque es muy común el empleo de agua helada y vapor de agua para ser usados para el enfriamiento y calentamiento, respectivamente, suelen utilizarse otros fluidos que haya disponibles, como pueden ser salmueras, dowtherm, gases de combustión, etc. cuyo empleo dependerá, en cada caso, de las necesidades del proceso y de la disponibilidad de tales fluidos.

5.3.1 Sistema convencional de control

En realidad, el control en un cambiador de calor es sencillo, ya que consiste en mantener una temperatura de salida del fluido que se requiere calentar o enfriar, constante por medio del manejo adecuado de la variable manipulada que en este caso es la cantidad de vapor o agua al cambiador. En la figura 5.20 está representado este sistema con instrumentación electrónica.

Sin embargo, existe un sistema aún más sencillo de control que se puede emplear cuando no se requiera una gran precisión en el mismo y cuando los requerimientos del fluido manipulado no excedan la capacidad de líneas de hasta 50 ó 75 mm. de diámetro (2" o 3"Ø) en cuyo caso se suelen instalar válvulas termostáticas que son obviamente muy económicas y que pueden dar una exactitud aceptable. En la Fig. 5.21 está representado este sistema.

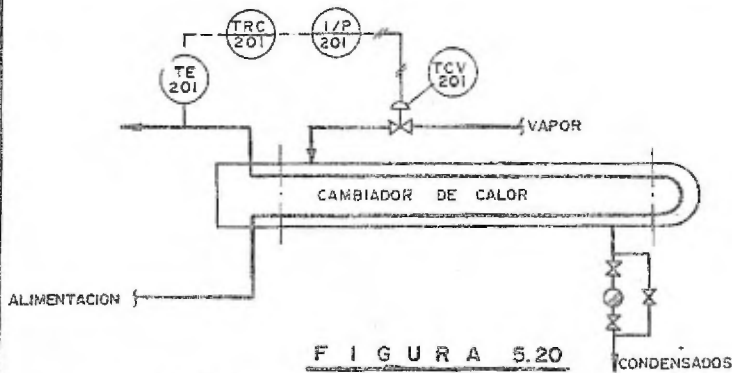
5.3.2 Casos especiales

Control del condensado.- En algunos casos, se prefiere instalar la válvula de control en la línea de salida del condensado, lo cual aunque se puede obtener algún beneficio económico en la inversión, en general no se recomienda cuando se tengan aplicaciones a procesos críticos, a menos que se realicen pruebas satisfactorias del funcionamiento del sistema, antes de aplicarlo, ya que el comportamiento de este tipo de control es difícil de predecir. La Fig. 5.22 muestra este sistema.



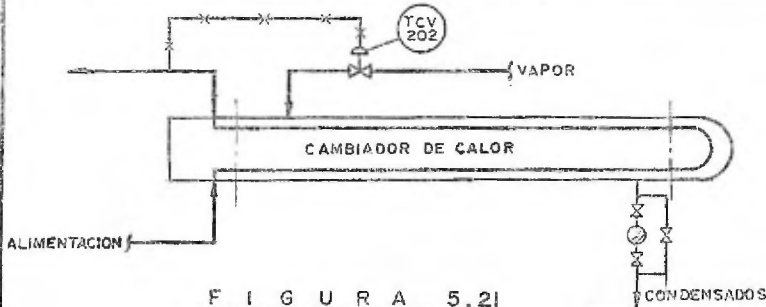
F I G U R A - 5.19

REPRESENTACION DE UN CAMBIADOR DE CALOR



F I G U R A 5.20

CONTROL CONVENCIONAL DE UN CAMBIADOR DE CALOR



F I G U R A 5.21

CONTROL DE UN CAMBIADOR DE CALOR EMPLEANDO UNA VALVULA TERMOSTATICA

U. N. A. M.
FACULTAD DE QUIMICA

CAMBIADORES DE CALOR

TESIS PROFESIONAL
CARLOS CECENA C.

MEXICO D.F. 1972

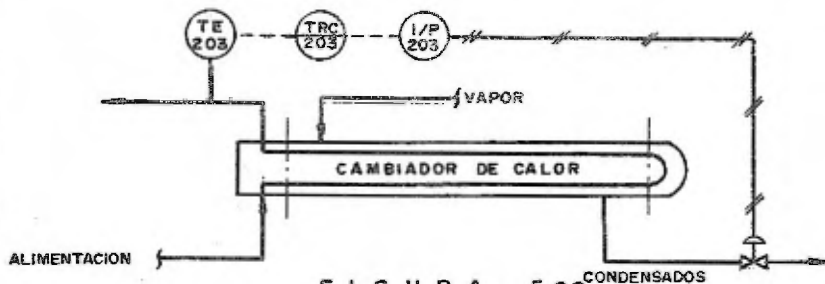


FIGURA 5.22

SISTEMA DE CONTROL DEL CONDENSADO

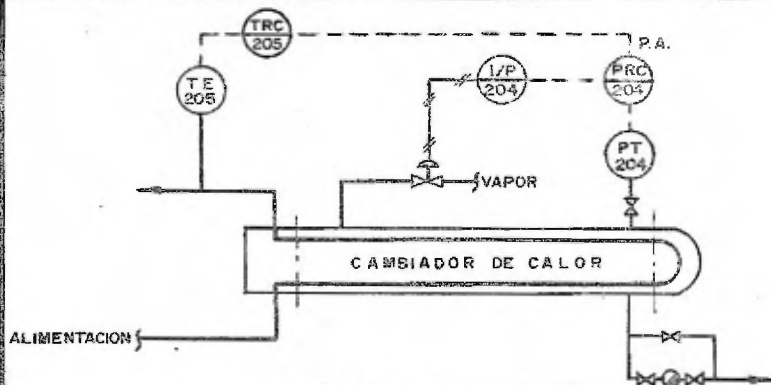


FIGURA 5.23

SISTEMA DE CONTROL EN CASCADA CON UN CONTROL DE PRESION

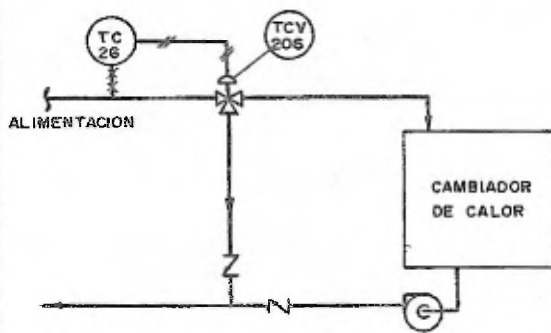


FIGURA 5.24

SISTEMA DE CONTROL CON DERIVACION

U. N. A. M.
FACULTAD DE QUIMICA

SISTEMAS DE CONTROL

TESIS PROFESIONAL
CARLOS CECENA C.

MEXICO D. F. 1972

Sistema de control en cascada con un controlador de presión.

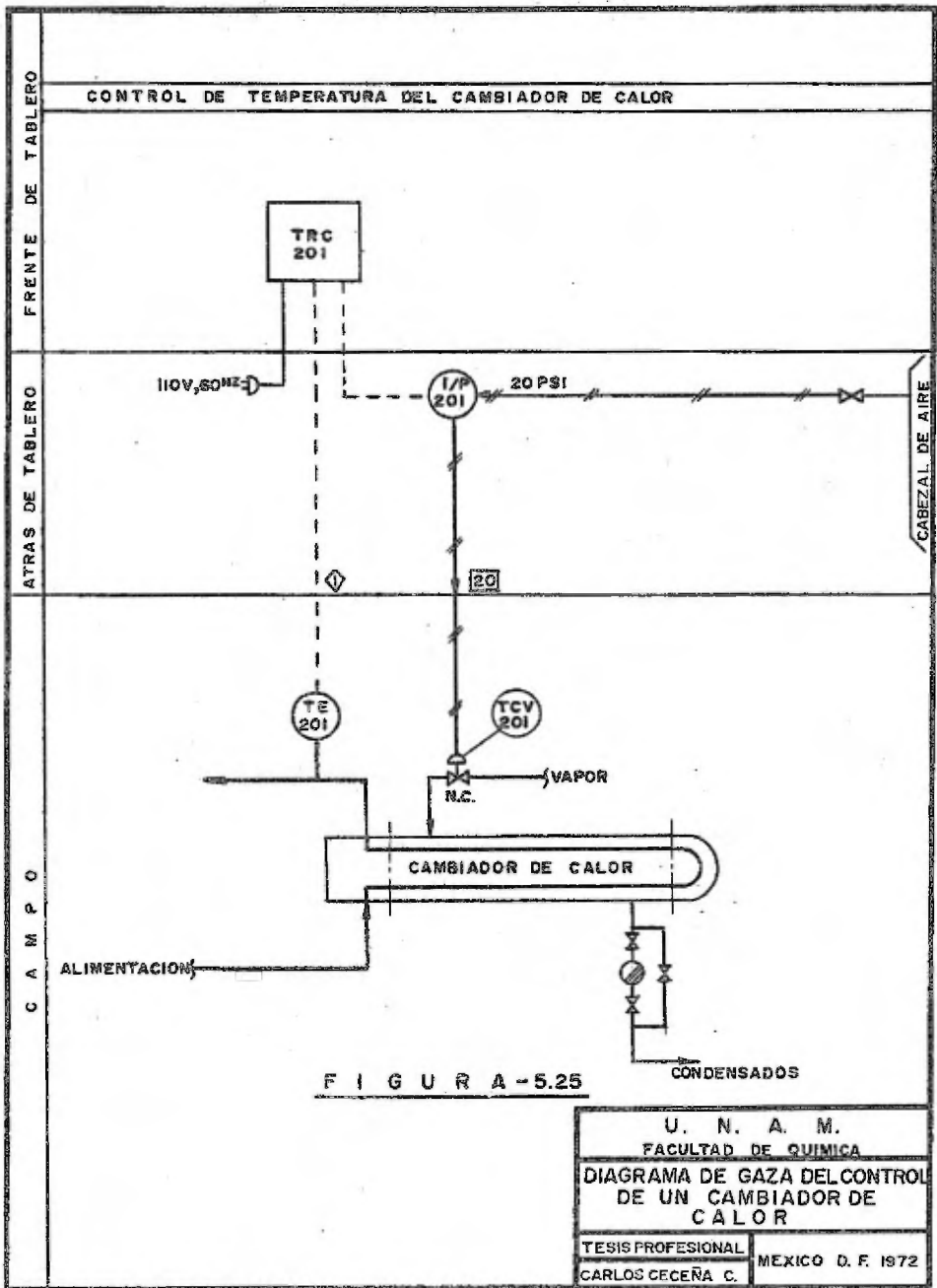
Para obtener una más rápida recuperación del sistema -- por cambios de carga, se suele conectar la salida de -- un controlador de temperatura de 3 modos en cascada -- con el punto de ajuste de un controlador de presión, -- como se muestra en la Fig. 5.23. El vapor al cambia-- dor es regulado por el controlador de presión que normalmente es de 2 modos (proporcional más reajuste). Un cambio de carga es rápidamente detectado por medio de un cambio en la presión de la carcaza, el cual es compensado por el control de presión. El controlador de temperatura detecta el error y reajusta el punto de -- control del controlador de presión.

Sistema de control con derivación.

Existen algunas aplicaciones en las que conviene evi-- tar que la alimentación pase a través del cambiador, -- cuando la temperatura de aquella es la que se desea. Esto se emplea, por ejemplo, en enfriamiento en siste-- mas de acondicionamiento de aire, en donde es preferible, para ahorrar energía de bombeo, fluido de enfria-- miento, etc., derivar el flujo de agua hacia el proce-- so cuando cumpla con las características deseadas, si-- tuación que puede ser muy frecuente en aire acondicio-- nado, dado que los cambios de carga son poco predicti-- vos y puede llegar el momento en que el agua esté reci-- culando sin sufrir alteraciones en su temperatura y en tal caso, se prefiere no pasarla a través del sistema_ de enfriamiento.

Este sistema está mostrado en la Fig. 5.24 y se reco-- mienda tener especial atención en el cálculo y selec-- ción de la válvula de control para obtener la caracte-- rística deseada de relación de flujo contra carrera.

- 5.3.3 Se anexa el diagrama de gaza 5.25 del control convencio-- nal de un cambiador de calor, ilustrando la información que debe contener para la mejor y más completa compren-- sión del sistema.



CAPITULO VI

CONCLUSIONES

Consideramos interesante el plantear las conclusiones desde dos diferentes puntos de vista: el aspecto técnico y el aspecto social.

- 6.1 Técnicamente podemos concluir que para la aplicación de la automatización en control de procesos se requiere, primeramente, del conocimiento del proceso en sí en lo que se refiere a sus condiciones de operación y características generales como son estabilidad de las variables, capacitancias, tiempos muertos, etc., y que mientras mejor se conozca, mejor se podrá determinar el sistema de control más adecuado. En segundo lugar, se requiere del conocimiento de los elementos que componen un sistema de control, como son: medidores, controladores, elementos finales de control, etc., para poder hacer la selección más adecuada para cada aplicación. En tercer lugar se deben conocer las razones que se tienen para la implantación de un sistema automático de control, así como conocer los recursos tanto económicos como técnicos y de personal con que se cuenta para que, ajustándose a éstos, se logren satisfacer las necesidades que motivaron al establecimiento de un sistema automático de control.
- 6.2 Como una de las primeras consecuencias de tipo social que puede traer el automatismo, surge la idea de que, al desplazar al hombre de muchas tareas que actualmente realiza, agravará el problema de desempleo que actualmente existe en no pocos países y por ello se piensa que su aplicación e impulso pueden ser perjudiciales más que benéficos.

Sin embargo, debemos considerar que las consecuencias de su aplicación dependerán, directamente, de las causas que la motiven y que si éstas son de lucro y basadas en un sistema de explotación del hombre por el hombre, los resultados serán negativos y producirán que los ricos sean cada vez más ricos y los pobres sean cada vez más pobres, recrudeciéndose así los problemas sociales derivados de una injusta distribución de la riqueza.

Pero si, por otro lado, pensamos en que el hombre necesita de más tiempo para dedicarlo a tareas creativas, debemos pensar en que la automatización le permitirá, apartándolo de tareas que pueden ser hechas por máquinas, dedicarse en primer lugar, a trabajos que requieren una mayor capacidad intelectual, con lo cual se obtendrá una superación general del hombre y, en segundo lugar, tendrá a su disposición un mayor tiempo libre que podrá dedicar tanto

a trabajos que tiendan al progreso de la humanidad, cuanto a labores creativas y de conocimiento de sí mismo, que lo liberen mental y físicamente de actividades enajenantes, permitiéndole así su realización plena como ser humano.

BIBLIOGRAFIA

A LOOK BACKWARD AT THE
"GESTATION OF A DIGITAL PROCESS CONTROL SYSTEM"
D. J. Fraade
Instrument Practice
Enero, 1971

AN INTRODUCTION TO CYBERNETICS
BY W. Ross Ashby
Science Editions
John Wiley & Sons Inc. New York
2a. Ed., 1965

AUTOMATIC CONTROL OF DISTILLATION COLUMNS
D. E. Luffey y W. Oglesby
Industrial and Engineering Chemistry
Vol. 53 N°12 Diciembre, 1961

CIBERNETICA SIN MATEMATICAS
H. Greniewski
Breviarios del Fondo de Cultura Económica
1a. Ed. en español, 1965

COMPUTER CONTROL IN THE INDUSTRY
Gerald L. Farrer
The Oil and Gas Journal
Diciembre, 1971

CONTROL AUTOMATICO
Boletín N° M95-2
Honeywell, S.A. de C.V.

CONTROL SYSTEM FOR DISTILLATION
E. Ross Forman
Fundamentals of Process Control Part 7
Noviembre, 1965

DIGITAL VS. ANALOG PROPORTIONAL FEED CONTROL
Leo D. McEvoy
Minerals Processing
Abril, 1965

DIRECT DIGITAL CONTROL
John W. Bernard y Joseph F. Cashen
Instruments & Control Systems
Septiembre, 1965

ENCYCLOPEDIA OF AUTOMATIC CONTROL
Douglas M. Considine
McGraw Hill
1972

FEEDBACK AND FEEDFORWARD CONTROL
E. Ross Porman
Fundamentals of Process Control Part 6
Chemical Engineering
Octubre, 1965

FEEDFORWARD CONTROL APPLIED
F.G. Shinskey
ISA Journal
Noviembre, 1963

HANDBOOK OF APPLIED INSTRUMENTATION
Douglas M. Considine
Mc. Graw Hill,
1969

INGENIERIA DE LOS PROCESOS INDUSTRIALES
Theodore J. Williams
Editorial Alhambra, S.A.
1a. Ed. en español, 1971

INTRODUCCION A LA ECONOMIA CIBERNETICA
Oskar Lange
Siglo XXI Editores, S.A.
1a. Ed. en español, 1969

INTRODUCCION E HISTORIA DE LA CIBERNETICA
A. V. J. Ramos
Ed. Grijalbo,
1a. Ed., 1969

INSTRUMENTATION FOR THE CHEMICAL AND CHEMICAL
PROCESSING INDUSTRIES
Boletín B-25
The Foxboro Company

LA CIBERNETICA EN LA ENSEÑANZA
L. Couffignal y Otros
Colección Dina
Ed. Grijalbo
1a. Ed., 1968

NUESTRO MUNDO DENTRO DE 20 AÑOS
S. Strumilin
Editorial Lantaro, 1965

PROCESS INSTRUMENTS & CONTROL HANDBOOK
Douglas M. Considine
Mc. Graw Hill, 1969

QUESTIONS AND ANSWERS ABOUT COMPUTERS
Charles A. Jones
Hydrocarbon Processing
Junio, 1970

SOCIOLOGIA, FILOSOFIA Y CIBERNETICA
Ilia B. Novik
Editorial Platina, 1965
Trad. por Salomón Merener

SUPEREXPLOTACION, DEPENDENCIA Y DESARROLLO
José Luis Ceceña Cervantes
Ed. Nuestro Tiempo
1a. Ed., 1970

TEORIA DE CONTROL AUTOMATICO
Boletín N°M95-2
Honeywell, S.A. de C.V.