

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE QUIMICA

ELABORACION DE UN PROGRAMA DE CAPACITACION EN LA ESPECIALIDAD DE INSTRUMENTOS DE CONTROL.

T E S I S P R O F E S I O N A L

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
I N G E N I E R O Q U I M I C O**

P R E S E N T A

SERGIO ARTURO GARCIA MENESES



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis 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.

CLAS. Tesis
ADQ. 1975
FECHA _____
PROC. Mf. 121



QUIN. 02



FACULTAD DE QUIMICA
DEPTO. DE PASANTES Y
EXAMENES PROFESIONALES.

FORMA C

Universidad Nacional
Autónoma de
México

(AUTORIZACION PARA ESCRIBIR DEFINITIVAMENTE EL TEMA REVISADO)

C. Director Genl. de Servicios Escolares
Universidad Nacional Autónoma de México,
Presente.

Me permito comunicar a usted, que el tema de TESIS

Titulado: "ELABORACION DE UN PROGRAMA DE CAPACITACION EN LA
ESPECIALIDAD DE INSTRUMENTOS DE CONTROL"

que presenta: EL SR. SERGIO ARTURO GARCIA MENESES

Pasante de la Carrera de: INGENIERO QUIMICO

Fué aceptado por el Jurado nombrado para dicho examen, el cual quedó inte -
grado en la siguiente forma:

- Presidente Prof.: ROBERTO ENRIQUEZ MENDOZA
- V o c a ! " : OCTAVIO FIGUEROA ARRECHAVALET
- Secretario " : CUTBERTO RAMIREZ CASTILLO
- 1er. Suplente " : ANTONIO VALIENTE BARBERAS
- 2o. Suplente " : MAYO MARTINEZ KHANN

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU "
Cd. Universitaria D.F., a 10 de junio de 1975

EL JEFE DEL DEPTO. DE PASANTES
Y EXAMENES PROFESIONALES.

QUIM. JULIO TERAN Z.

Con todo cariño a mis padres
Arturo César y Lucía por su-
sacrificio y abnegación.

Con todo cariño a mi Tía Eva--
por su paciencia y comprensión.

A mis hermanos:

Pablo Héctor
Marta Aurelia
Aydeé Hilda y
Elizabeth

Con gran amor a mi esposa
María del Socorro y a mis
hijos:

Jorge Alberto
María Fanny y
Sergio Enrique

Con sincero agradecimiento a los Sres. Ings. Hugo Perales Sandoval, Luis Puig Lara y Alfonso Robles Acevedo, por las facilidades -- brindadas para la realización de este trabajo.

A mi Facultad de Química y a la Universidad-Nacional Autónoma de México.

Con todo respeto a los Sres. Profesores que integran el jurado.

ELABORACION DE UN PROGRAMA DE CAPACITACION
EN LA ESPECIALIDAD DE INSTRUMENTOS DE CON-
TROL.

INTRODUCCION.

PRIMERA PARTE: INSTRUMENTACION PARA OPERA-
DORES DE PLANTAS DE PROCESO.

SEGUNDA PARTE: LA ELABORACION DE PROGRAMAS
DE CAPACITACION.

CONCLUSIONES.

BIBLIOGRAFIA.

I N T R O D U C C I O N .

Debido a que México es un país en vías de desarrollo se requiere que se aprovechen y fomenten al máximo los recursos básicos necesarios para estimular al mismo. Se ha experimentado que los adelantos de la época presente exigen no únicamente la investigación, aprovechamiento y adquisición de los recursos tecnológicos, materiales y financieros necesarios para nuestro desarrollo, sino que también exigen la capacitación de los recursos humanos.

Dicho de otra forma, se requiere la formación de la mano de obra especializada necesaria para afrontar el desarrollo de nuestro país, y además para poder continuarlo. Es necesario entonces que se adopten urgentemente programas de capacitación para los trabajadores. La capacitación en la industria procura estimular el desenvolvimiento de los trabajadores, y por consiguiente, de las empresas, habilitándolos para que efectúen sus tareas en forma más eficiente y con mayor facilidad.

La capacitación en sí, es la comunicación en forma or

ganizada e intencional de los conocimientos teóricos, habilidades prácticas y actitudes acerca de una actividad específica. Entre las especialidades de la capacitación de tipo industrial encontramos aquellas tales como Tubería, Pailería, Soldadura, Carpintería, Electricidad, Dibujo, Mecánica de piso, Máquinas-herramientas, Instrumentos de control, Operación de plantas de proceso, Telecomunicaciones, Computación, Laboratorio químico, Electrónica, Relaciones humanas, Administración, etc.

El presente trabajo inscrito como Tesis profesional, trata de cubrir necesidades de capacitación en la especialidad de Instrumentos de control y está dirigido a quienes operan plantas de proceso. La Tesis se divide en dos partes principales; primero se presenta a la consideración del lector un texto elaborado intitulado "Instrumentación para operadores de plantas de proceso" y segundo, se discuten las etapas que debe contener la elaboración de cualquier programa de capacitación.

Los objetivos que se persiguen en cada una de las dos partes en que se divide el presente trabajo son:

a) Instrumentación para operadores de plantas de proceso.

Al finalizar este programa, Usted:

-ajustará los modos de control de los controladores, considerando las características de las variables del proceso por controlar.

-operará a través del sistema de circuitos automáticos las variables de proceso, haciendo los ajustes y cambios Manual a Automático y viceversa necesarios.

Realizará estas actividades con seguridad, conservando las condiciones óptimas de operación requeridos.

b) La elaboración de programas de capacitación.

Al finalizar esta unidad, Usted:

-fijará los objetivos generales de un programa de capacitación.

-elaborará el modelo del programa de capacitación, -- identificando las etapas del proceso.

Realizará estas actividades basándose en los resultados de una investigación de necesidades de capacitación.

En cada una de las dos partes se tiene al inicio un índice de los contenidos correspondientes, constituido por la relación de capítulos y subcapítulos y las páginas en que se encuentran. Cada parte es independiente de la otra y pueden analizarse por separado, aunque el desarrollo de la parte de instrumentación es consecuencia de los ejemplos de la parte de elaboración de programas de capacitación.

PRIMERA PARTE

INSTRUMENTACION PARA OPERADORES
DE PLANTAS DE PROCESO.

CONTENIDO.

Páginas.

CAPITULO I: La importancia del control automático.....	A-5
CAPITULO II: Las variables de proceso.....	A-10
1. El control de las variables de proceso.....	A-11
2. El sistema básico automático de control.....	A-15
3. Nomenclatura y Simbología de la instrumentación 3.1 Identificaciones generales -- 3.2 Identificaciones específicas 3.3 Simbología.....	A-18
CAPITULO III: Los sistemas de control.....	A-26
1. Circuitos abiertos.....	A-26
2. Circuitos cerrados 2.1 Control por retroalimentación simple 2.2 Control de alimentación de agua a una caldera 2.3 Doble control 2.4 Control de proporción -- 2.5 Control de cascada 2.6 Control por programación.....	A-29
CAPITULO IV: El controlador.....	A-49
1. Los medios de control.....	A-50
2. Las funciones básicas de un controlador.....	A-51
3. El relevador piloto neumático.....	A-53
4. El controlador neumático 4.1 Diferentes clases de controladores.....	A-57
5. Los elementos básicos de un controlador - 5.1 El punto fijo ó set point 5.2 El selector de control Manual-Automático.....	A-62
CAPITULO V: Los modos de control.....	A-68
1. Control de dos posiciones.....	A-69
2. Control proporcional 2.1 Característica de las respuestas de un controlador proporcional 2.2 Sensibilidad del controlador proporcional.....	A-74
3. Control proporcional más derivativo.....	A-85
4. Control proporcional más integral.....	A-93
4.1 El controlador neumático proporcional más integral.....	A-97
5. Control proporcional más integral más derivativo 5.1 Procedimiento de ajuste del controlador proporcional más integral más derivativo.....	A-100
6. La selección del modo de control.....	A-104
Tabla de selección del modo de control.....	A-105

C A P I T U L O ILA IMPORTANCIA DEL CONTROL AUTOMATICO.

La tecnología industrial busca producir en gran escala y económicamente los satisfactores humanos requeridos. --- Gran parte de estos satisfactores se producen ya económicamente y en grandes cantidades debido a la utilización de nuevos y más eficaces procesos, y al desarrollo de modernas técnicas de control de los mismos.

Este desarrollo y utilización de nuevos procesos ha - llevado al hombre a manejar condiciones extremas, tales como altas temperaturas, altas presiones, flúidos tóxicos y corrosivos, temperaturas bajo cero, vacío, etc.; tal que actualmente, operar con seguridad y eficiencia una planta industrial, es una actividad variada y compleja.

Para la operación de este tipo de procesos (instalaciones industriales con sistemas a presión, altas temperaturas, etc.) se ha diseñado una serie de dispositivos que auxi-

lien al operador humano, en el manejo de las cantidades y con diciones variables características del proceso en cuestión -- (variables de proceso).

Así, cada cantidad ó condición variable del proceso, -- es operada por un sistema de control particular, constituido -- éste por un conjunto de instrumentos que miden, comparan con tra un standard y corrigen el valor de cada variable. Este -- sistema de control es autónomo y sus acciones son automáti--- cas.

Mediante estos sistemas de control automático, los -- procesos pueden ser controlados continuamente y en forma pre cisa, para obtener productos más uniformes y de más alta cali dad. Esto conduce a mayores ganancias debido tanto al menor - despilfarro de materias primas como al mayor valor del prod uc to debido a su alta calidad.

Al conjunto de dispositivos o instrumentos se les de- nomina Instrumentos de Control simplemente, y son muy utiliza dos. Entre las ventajas más importantes de la utilización de los instrumentos de control encontramos:

- a) Automatización en el control y manejo de las varia bles de proceso.

- b) Operación segura y eficiente.
- c) Aumento en la producción con bajos costos de fabricación.
- d) Calidad elevada y uniforme del producto ó del servicio.
- e) Centralización del control en Casas ó Cuartos de control.
- f) Fácil adaptación de sistemas de aviso y de protección contra fallas, emergencias, etc.

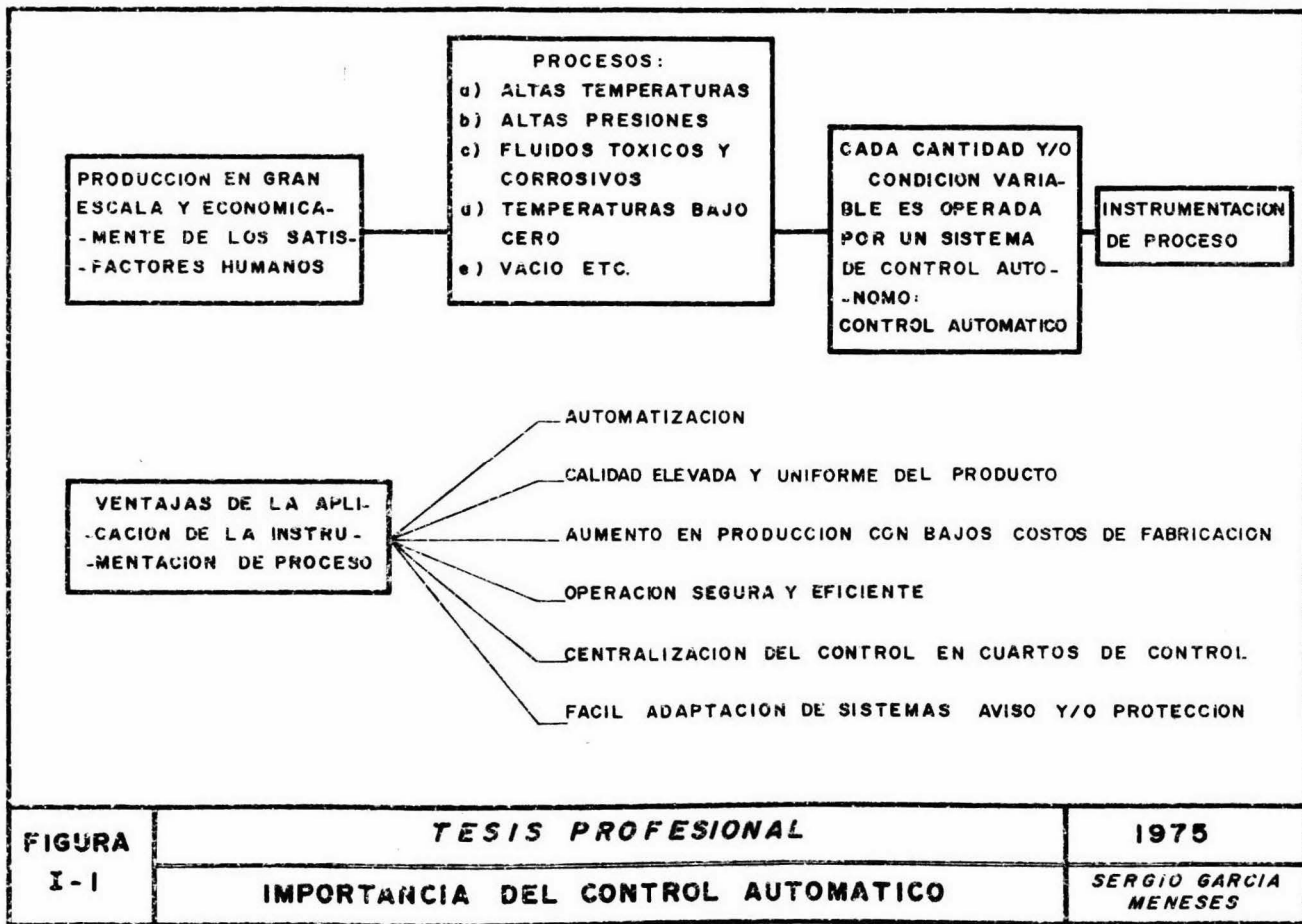
En la Figura I-1 se representan esquemáticamente las ventajas del control automático. Se denomina control automático al conjunto de acciones y arreglos de los sistemas de control.

Otra excelente ventaja de la utilización de instrumentos de control es la facilidad de operación que otorgan cuando las instalaciones industriales son de gran tamaño.

Actualmente es necesario unificar en una planta única aquellas industrias que trabajan productos que se derivan de una misma materia prima. Esto hace necesario el uso de una gran cantidad de instrumentos de control debido al gran número de variables que se necesita mantener a un valor fijo, con control automático.

Es pues fundamental para la operación adecuada de procesos y sus variables, identificar los sistemas de control -- empleados y las características especiales de los instrumentos utilizados.

Control de procesos:
Identificar las características especiales del proceso.
Identificar las variables de proceso.
Identificar los sistemas de control.
Identificar las características especiales de los instrumentos.



C A P I T U L O I ILAS VARIABLES DE PROCESO.

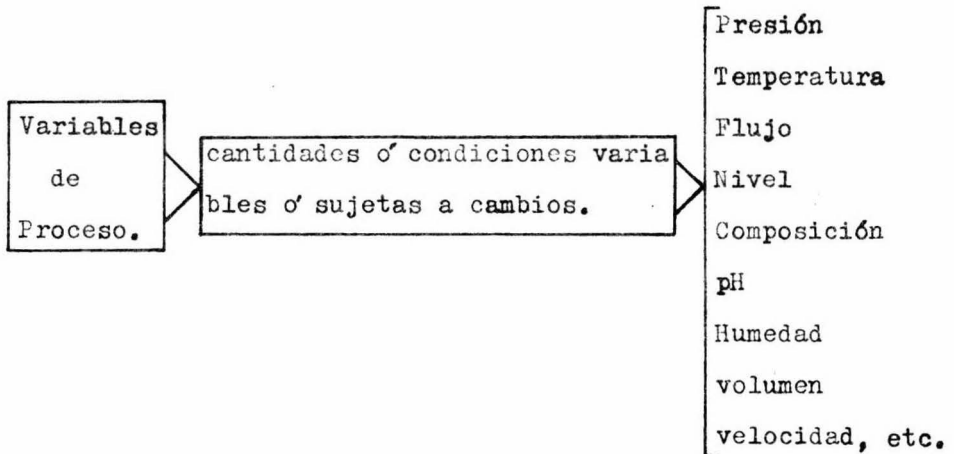
Si una cualquiera ó varias de las propiedades de un sistema varían, se dice que el sistema ha sufrido un proceso. Las propiedades de un sistema son sus características descriptivas: presión, temperatura, volumen, energía interna total, conductividad térmica, etc.

Por consiguiente, durante un proceso una, algunas ó todas las características de un sistema sufren un cambio. Se denominan variables de proceso a las características variantes del sistema sufriendo esos cambios y se consignan como -- las cantidades ó condiciones variables, ó sujetas a cambios -- en el sistema. Estas variables de proceso pueden ser reguladas a un valor dado ó simplemente medidas, tal es el caso de la presión en el interior de un recipiente.

Entre las variables de proceso más comunes encontramos: presión, temperatura, flujo, nivel, composición, humedad,

concentración, pH, densidad, volumen, velocidad, conductividad térmica y eléctrica, voltaje, resistividad, etc.

Estas variables de proceso están íntimamente relacionadas entre sí, tal que la influencia de cualquiera de ellas se reflejará en las demás al existir los cambios y viceversa. Analicemos el ejemplo del sistema de generación de vapor.



1. EL CONTROL DE LAS VARIABLES DE PROCESO.

En un sistema de generación de vapor de agua utilizado como medio de calentamiento gas combustible (caldereta), existen tres variables principales de proceso a controlar: -- presión del vapor, flujo del agua de repuesto y nivel líquido en el recipiente.

Si la presión del vapor generado (domo de la caldera) cae, debido a incrementos en la demanda de vapor, por debajo de lo especificado, digamos que se requiere vapor de 5.5 -- Kg/cm², un sistema de control automático operará simultáneamente las válvulas de admisión de gas combustible y de aire de combustión hacia el hogar de la caldera, aumentando su --- posición de abertura para incrementar el poder de calentamiento.

Este incremento en el poder de calentamiento hará que la presión del vapor generado alcance los 5.5 Kg/cm² requeridos. Mientras la presión del vapor no alcance este punto de control, el sistema de instrumentación mantendrá en estas posiciones de mayor abertura las válvulas mencionadas. El sistema se muestra en la Figura II-1.

En caso contrario, si la presión es superior en un momento dado a los 5.5 Kg/cm² requeridos, el sistema de control automático abatirá inmediatamente el poder de calentamiento, disminuyendo al mínimo el flujo de gas combustible y consiguientemente del aire de combustión hacia el hogar de la caldera.

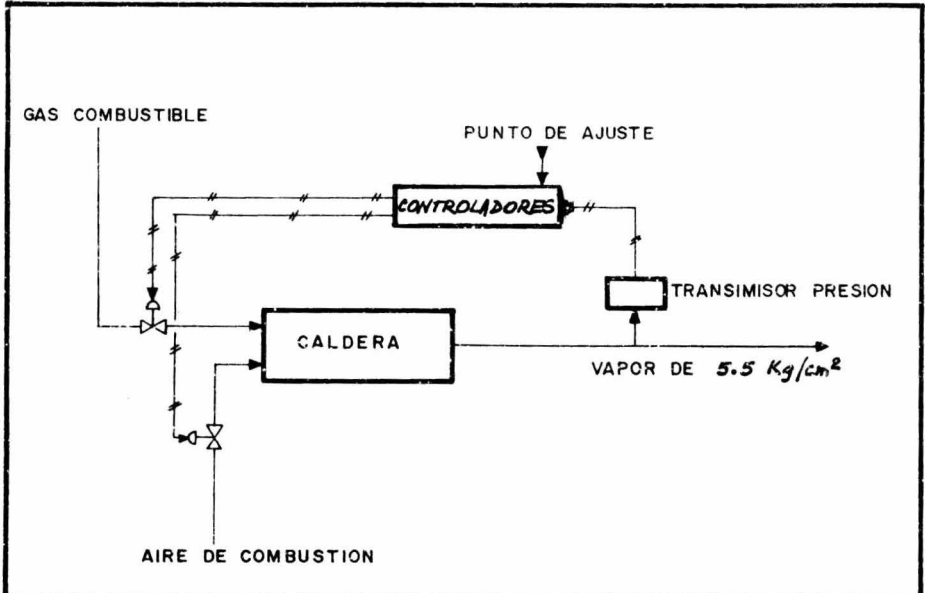
Es decir, se controla la presión del vapor generado por la caldera, regulando la combustión en la misma.

Existe igualmente un balance entre la demanda de vapor generado (Kg/hr) y el flujo del agua de reposición hacia la caldera, tal que si se aumentase la demanda de vapor, aumentará proporcionalmente el flujo del agua de repuesto, operado por un sistema de control. Obsérvese que el sistema de control automático responde a los cambios de la demanda, variando el suministro (aumentando ó disminuyendo éste).

El flujo del agua de repuesto es también regido por el nivel líquido en el recipiente, tal que estarán combinados el consumo de vapor y el nivel para regular el régimen de flujo del agua hacia la caldera. El sistema se muestra en la Figura II-2.

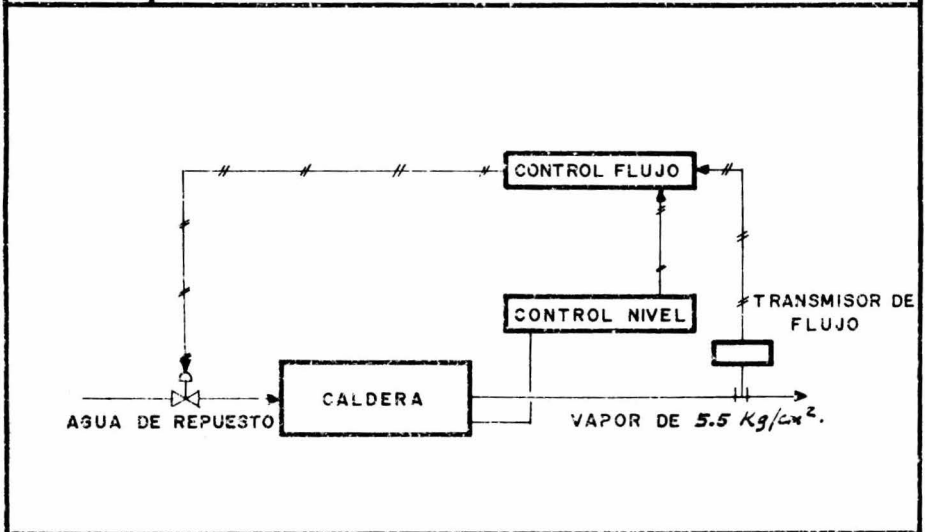
En este ejemplo analizado es notoria la relación que existe entre las variables de un proceso. En este caso, se necesita más o menos gas combustible al hogar de la caldera para controlar la presión del vapor generado, y así mismo, se regula la cantidad del agua de repuesto dependiendo del consumo de vapor. Esta dependencia entre las variables de proceso se aprovecha para los fines de control.

Básicamente, el control puede definirse como la técnica de balancear el suministro, material ó energético, contra la demanda, sobre un periodo de tiempo tal que se mantendrá al proceso en algún predeterminado nivel de operación.



**FIGURA
II-1**

**CONTROL DE LA COMBUSTION
EN UNA CALDERETA**



**FIGURA
II-2**

**TESIS PROFESIONAL
CONTROL DEL AGUA
DE REPUESTO**

1973

**SERGIO GARCIA
MENESES**

2. EL SISTEMA BASICO AUTOMATICO DE CONTROL.

La idea esencial de cualquier sistema de control automático es aquella en la cual el proceso y el sistema de control forman un circuito cerrado de acción y respuesta.

En este arreglo existe una información continua de la variable a controlar desde el proceso hacia el sistema, el cual regula al proceso en forma tal que la variable a controlar alcanza un valor deseado. Así por ejemplo, el sistema automático de control responde modificando el flujo de gas combustible y del aire de combustión hacia el hogar de la caldera, incrementándolos para mantener la presión del vapor en el domo en los 5.5 Kg/cm^2 requeridos (ej. de la caldereta).

Los componentes esenciales de un arreglo (circuito) básico de control automático son:

- a) La variable controlada; por ejemplo, Temperatura.
- b) El dispositivo ó mecanismo para medir la magnitud de esta variable, ó unidad de medición. La información la envía hacia el controlador.
- c) El dispositivo capaz de efectuar un cambio en el proceso, tal que afecte la magnitud de la variable controlada en una dirección definida. Este dispositi

tivo se denomina unidad de regulación y es operado por el controlador.

- d) El punto fijo, valor de referencia ó set point que indica la magnitud deseada y que se busca para la variable controlada, y
- e) El dispositivo comando, director ó controlador, -- que opera a la unidad de regulación en respuesta a la información emanada de la unidad de medición.

Estos componentes se encuentran enlazados formando un circuito cerrado dinámico incluyendo al proceso. Analícese el diagrama de la Figura II-3.

Como complemento al circuito básico de control ó a -- cualquier otro se cuenta con dispositivos indicadores ó registradores, como puede verse en el mismo diagrama. Estos dispositivos de información adicionales se emplean para dar una visión de conjunto al operador humano de lo que está sucediendo en el proceso. Son muy importantes.

Así mismo se adaptan a los sistemas de control dispositivos de aviso y/ó protección para indicación y protección en casos de operación anormal y en emergencias.

3. NOMENCLATURA Y SIMBOLOGIA DE LA INSTRUMENTACION.

Para facilitar la identificación, localización y clasificación de los instrumentos en planos y diagramas de flujo mecánico ó instalados en cualquier planta industrial, se emplea un sistema adecuado de símbolos y notaciones, aceptado en forma generalizada aunque existan algunas modificaciones de un usuario a otro. Este sistema de identificación individualiza cada instrumento e indica además la función ó propósito del mismo en el complejo arreglo de equipos y recipientes que caracterizan a una instalación industrial.

La identificación de un instrumento será entonces:

a) Identificación general, la cual utiliza una combinación de letras mayúsculas para designar a la variable de proceso y la función o propósito del instrumento.

b) Identificación específica, la cual añade a la combinación de letras una cifra numérica para designar al instrumento.

3.1 Identificaciones generales.

Las identificaciones generales consisten en las letras mostradas en la Figura II-5, usadas en combinaciones, como lo muestra la Figura II-6.

LETRAS MAYUSCULAS	DEFINICIONES Y POSICIONES PERMITIDAS EN CUALQUIER COMBINACION		
	1ª LETRA VARIABLE DE PROCESO	2ª LETRA TIPO DE REGISTRO U OTRA FUNCION	3ª LETRA FUNCION ADICIONAL
A		ANALIZADOR, ALARMA	ALARMA
C	CONDUCTIVIDAD	CONTROLADOR	CONTROLADOR
E		ELEMENTO PRIMARIO	
F	FLUJO		
G		CRISTAL	
H	MANUAL		
I		INDICADOR	INDICADOR
L	NIVEL		
M	HUMEDAD		
P	PRESION		
R		REGISTRADOR	REGISTRADOR
S	VELOCIDAD	SEGURIDAD, SWITCH	
T	TEMPERATURA		
V	VISCOSIDAD		VALVULA
W	PESO	POZO	
Y		CONVERTIDOR COMPUTADOR	
FIGURA II-5	TESIS PROFESIONAL		1975
	LETRAS PARA IDENTIFICACION		SERGIO GARCIA MENESES

La tabla de la Figura II-5 contiene las letras que -- pueden usarse, con el significado de cada una de ellas y la -- posición o posiciones permitidas, en las cuales pueden combi-- narse.

En el uso de estas letras, y sus combinaciones, se de-- ben aplicar las siguientes reglas o instrucciones:

a) Las letras de identificación se escribirán en to-- dos los casos como mayúsculas. Las únicas excepciones lo son-- el uso de "d", "r" y "p" (Esta última en la combinación pH ú-- nicamente).

b) Cada letra tendrá un solo significado al usarse co-- mo primera letra en cualquier combinación, definiendo la va-- riable del proceso.

c) Igualmente cada letra tendrá un solo significado -- cuando se use como segunda o tercera letra en una combinación al definir el tipo de función del Instrumento.

d) Lo anterior es particularmente importante al for-- mar las combinaciones de letras que indica la tabla de la Fi-- gura II-6.

e) No pueden utilizarse letras o combinaciones de le-- tras intermedias.

VARIABLE	ABREVIATURA	MEDIDORES					CONTROLADORES			VALVULAS		SWITCHS	
		INDICADORES	REGISTRADORES	TRANSMISORES	INDICADORES DE CRISTAL	ELEMENTO PRIMARIO	CON INDICADOR INTEGRADO	CON REGISTRADOR INTEGRADO	DISPOSITIVO CIEGO	DE CONTROL	DE SEGURIDAD	DE VALOR ALTO	DE VALOR BAJO
TEMPERATURA	T	TI	TR	TT	TG		TIC	TRC		TCV		TSH	TSL
FLUJO	F	FI	FR	FT		FE	FIC	FRC		FCV		FSH	FSL
NIVEL	L	LI				LG				LC	LCV	LSH	LSL
PRESION	P	PI	PR	PT			PIC	PRC	PC	PCV*	PSV	PSH	PSL
PRESION DIFERENCIAL	Pd	PdI	PdR	PdT								PDSH	
VACIO	V**										VSV		

* INCLUYE A LOS REGULADORES DE PRESION

** LETRA QUE TAMBIEN IDENTIFICA LA VARIABLE VISCOSIDAD

FIGURA II-6

COMBINACIONES USUALES EN IDENTIFICACIONES GENERALES

TESIS PROFESIONAL

1975

Sergio García Meneses

3.2 Identificaciones Específicas.

Para complementar la identificación del Instrumento - en cuestión, es necesario agregar a la identificación general, una cifra numérica para así establecer su identificación específica. Cualquier sistema de números en serie puede ser usado y pueden pertenecer a un solo proceso unitario, o bien pueden ser todo un sistema completo de números seriados para una planta, o un grupo de plantas que formen una organización.

En cualquier caso, la serie de números consecutivos - deberá ser apropiada para usarse en las identificaciones generales.

En un trabajo escrito, el número vá inmediatamente -- después de la combinación de letras y separado de ésta por medio de un guión. Por ejemplo, el Controlador-Registrador de temperatura número uno se representará por TRC-1.

3.3 Simbología.

Los símbolos se utilizan para indicar la posición de cada instrumento en los diagramas de flujo mecánico y otros y se ilustran a continuación. La Figura II-7 muestra los dibujos básicos de los arreglos mas comunes.

Se dan a continuación las siguientes notas con el objeto de que se usen los símbolos adecuadamente.

a) El círculo, que debe ser aproximadamente de $7/16$ - de pulgada de diámetro, se emplea para localizar la posición de cada instrumento propiamente dicho.

b) Generalmente no es necesario repetir la identificación para el transmisor, válvula de control, elemento primario, etc., son nombrados de acuerdo con el instrumento principal al cual están conectados.

c) Si se considera necesario, puede agregarse una pequeña nota junto al símbolo para aclarar la función o propósito de cualquier componente del circuito de medición o control ya que una pequeña nota, evita el aplicar o usar una gran variedad de símbolos complicados.

Como ejemplo de la simbología y de las identificaciones utilizadas en instrumentación se muestra un sistema de control de intercambio de calor, en la Figura II-4.

Es interesante notar que cualquier combinación de letras y símbolos identifica en primer lugar a la variable de proceso.

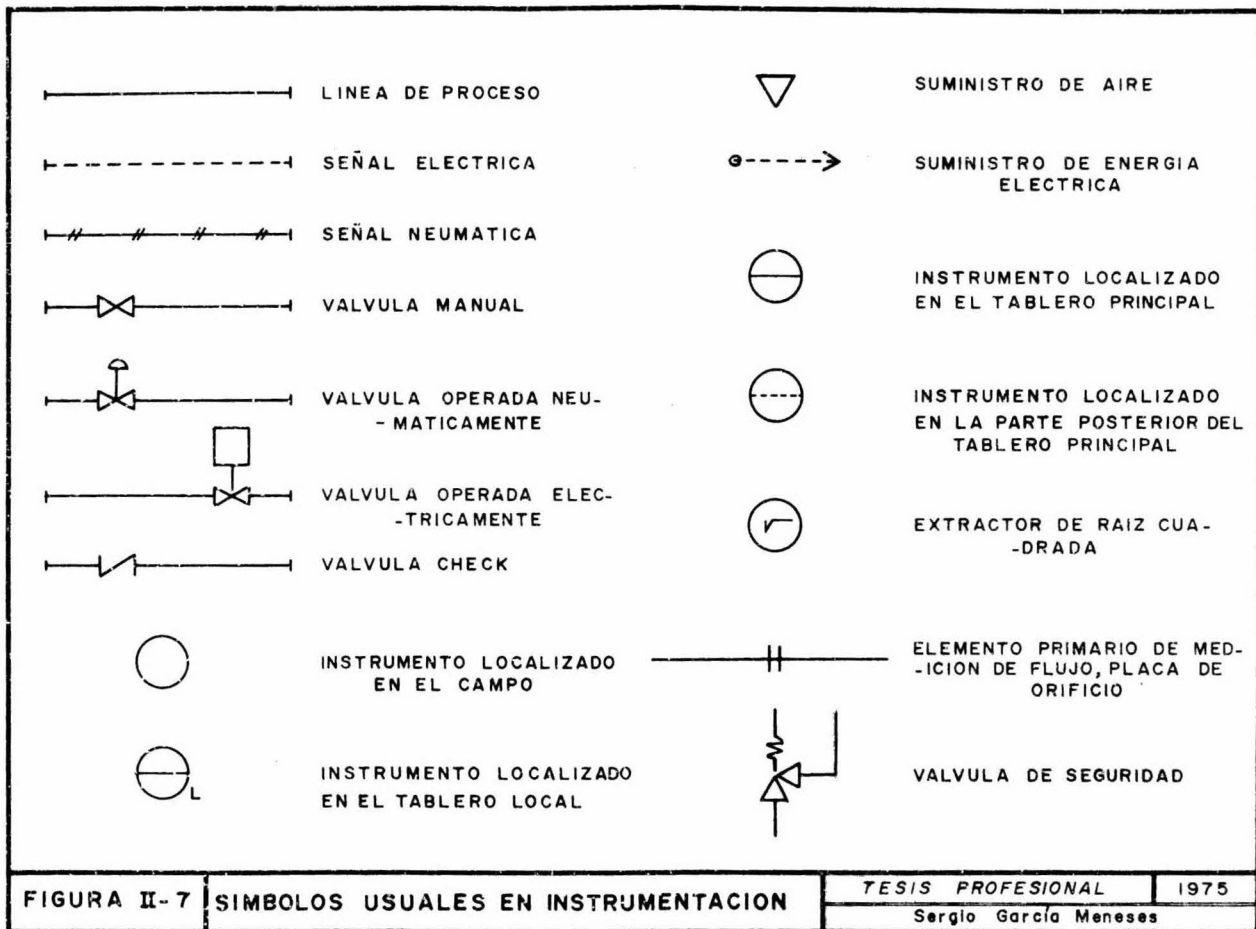
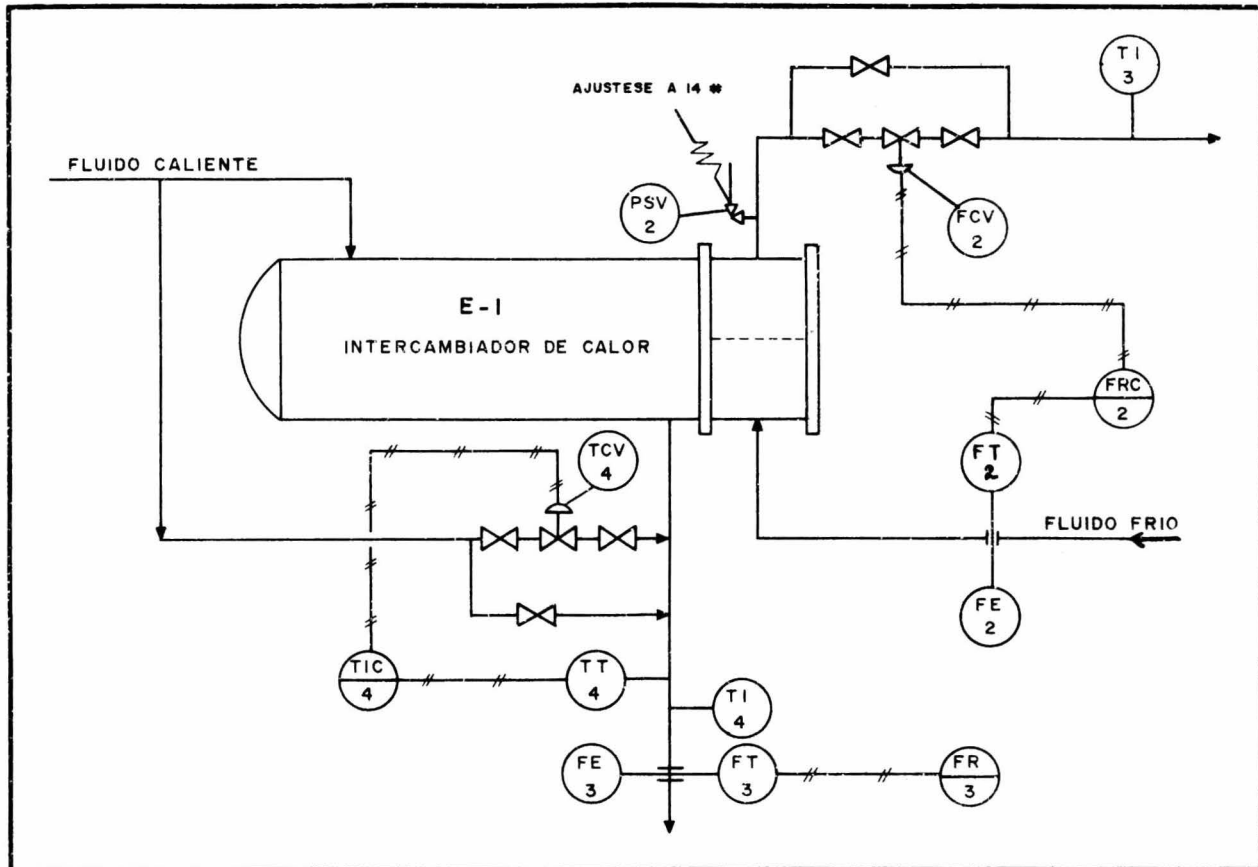


FIGURA II-7 SIMBOLOS USUALES EN INSTRUMENTACION



4-25

FIGURA II-4

APLICACION DE LAS IDENTIFICACIONES EN INSTRUMENTOS

TESIS PROFESIONAL

1975

Sergio García Meneses

C A P I T U L O I I ILOS SISTEMAS DE CONTROL.

Los sistemas de control automático se dividen en dos categorías generales. Se caracterizan porque la información es ó nó retroalimentada del proceso al controlador, para que éste actúe corrigiendo adecuadamente.

Se clasifica entonces al control automático en sistemas de control de circuito abierto y de circuito cerrado ó -- loops.

1. CIRCUITOS ABIERTOS.

En el control de circuito abierto no hay información del proceso hacia el controlador; es decir, no hay retroalimentación, interrumpiéndose el circuito de control por la falta del dispositivo de medición. Existe a cambio un "programa-fijo" de regulación de energía ó materiales hacia el proceso-

comúnmente, siendo operado el controlador manualmente. Un --- ejemplo lo constituye el Clorador de agua.

En este caso, mediante la perilla de control en el -- controlador del Clorador, se mantiene constante una dosifica-- ción continua de Cloro a la corriente de agua alimentada por ejemplo al cárcamo de bombeo de una Torre de enfriamiento. El Clorador no recibe información del cloro libre residual en el agua de enfriamiento y por lo tanto, se mantiene fijo el pro-- grama de dosificación de cloro. Únicamente el operador humano basado en los análisis de Laboratorio modifica esta dosifica-- ción de cloro, aumentando, disminuyendo o cortándola por com-- pleto.

El control de circuito abierto ó de "programa fijo", - es encontrado muy familiarmente en procesos industriales. Véa se el diagrama de la Figura III-1.

El control de circuito abierto se utiliza principal-- mente cuando a cualquiera de las corrientes principales de un proceso, o dentro de cualquiera de los recipientes, se dosifi-- ca una pequeña cantidad de algún aditivo, materia prima, cata-- lizador, ó agentes protectores, estabilizantes, etc.

Se tiene así que dentro de las corrientes de proceso-- se inyectan a las mismas agentes inhibidores de corrosión, es-- pumamiento, antioxidantes, fungicidas y bactericidas, coagu--

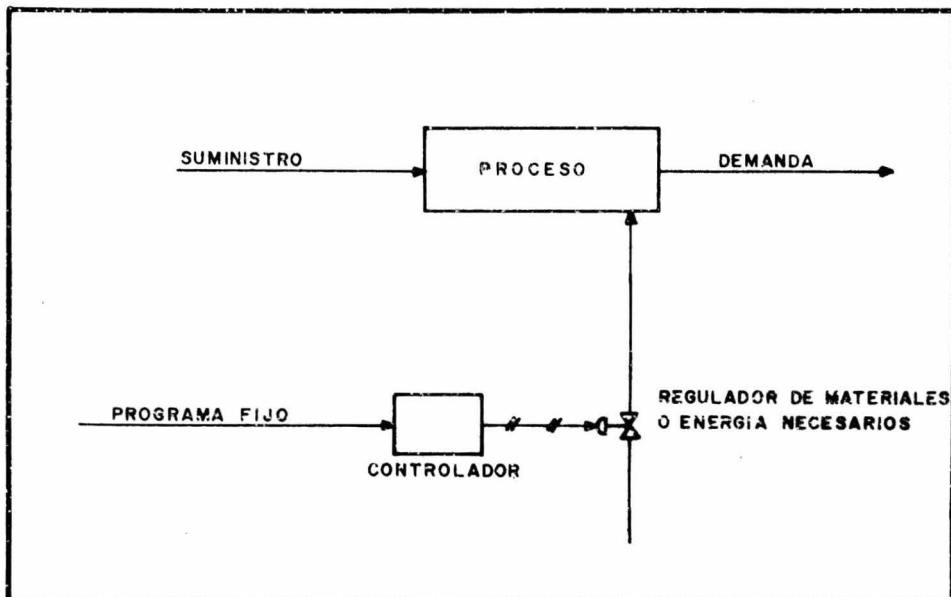


FIGURA III-1

CONTROL DE CIRCUITO ABIERTO

TESIS PROFESIONAL 1975
Sergio Garcia Meneses

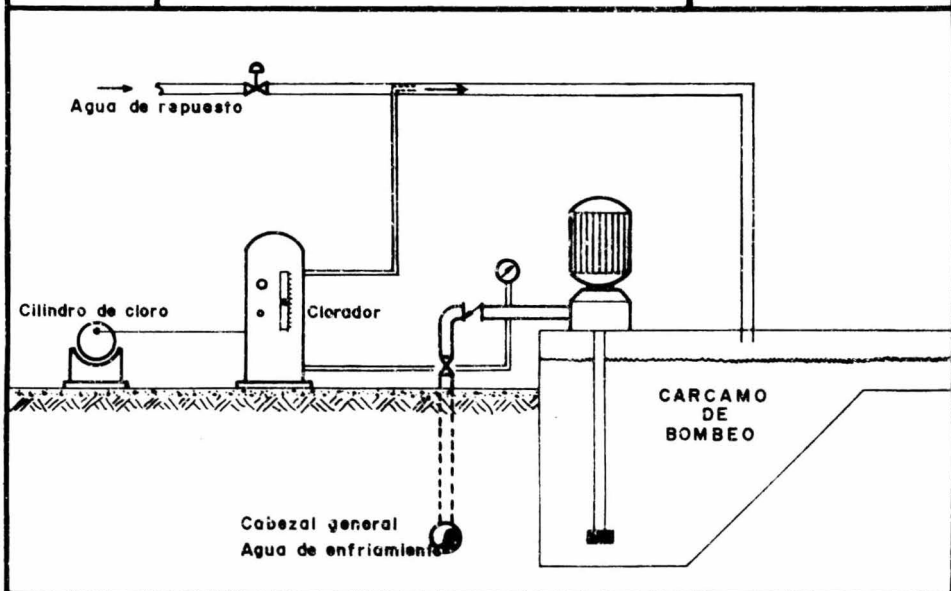


FIGURA III-1A

SISTEMA DE CLORACION DE AGUA

TESIS PROFESIONAL 1975
Sergio Garcia Meneses

lantes, depositantes de lodos, emulsionantes, antiformadores de natas, etc.

Usualmente el circuito es cerrado por la acción directa del operador humano, quién controlará el pH, las partes -- por millón ó la concentración óptima que se alcanzará con la dosificación programada de estos aditivos.

2. CIRCUITOS CERRADOS.

El control de circuito cerrado es el ilustrado en el diagrama de la Figura II-3 (pág. A-17). En este sistema de -- control si hay retroalimentación.

En este circuito la información del proceso al controlador se transmite a través del mecanismo de medición ó Transmisor. La señal de salida del transmisor se convierte en la -- señal de entrada al controlador. Un dispositivo detector de -- desviaciones en el controlador compara esta entrada con una -- señal fija, denominado punto fijo y que indica el valor deseado para la variable controlada. Si existe una desviación ó diferencia arriba o abajo del punto fijo, ésta se multiplica y se constituirá en aumento ó disminución de la salida del controlador hacia la unidad de regulación ó elemento final de -- control.

El elemento final de control operará sobre la variable manipulada provocando cambios en el proceso, que modificarán el valor de la variable controlada en una dirección tal, que tienda a anularse la desviación. El cambio en la variable controlada es detectado por el mecanismo de medición, que retransmitirá la nueva información hacia el controlador.

Se tiene así un circuito cerrado dinámico en el cual la información se retroalimenta del proceso al dispositivo de control o controlador.

Es interesante notar que el controlador de circuito cerrado incluye un circuito de retroalimentación interna, donde de la salida del controlador se retroalimenta a etapas anteriores en el mecanismo. Por medio de esta retroalimentación la salida del controlador es estabilizada y caracterizada.

El control de circuito cerrado posee distintas aplicaciones, encontrándose entre las más comunes:

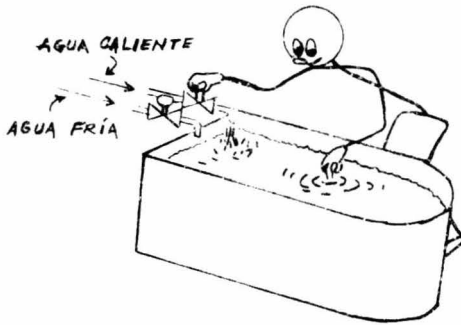
- a) Control por retroalimentación simple.
- b) Control de alimentación de agua a una caldera.
- c) Doble control.
- d) Control de proporción.
- e) Control de cascada.
- f) Control por programación.

2.1 Control por retroalimentación simple.

El control por retroalimentación simple es básico en toda automatización. El control automático puede definirse como la técnica de balancear el suministro, material o energético, contra la demanda, sobre un periodo de tiempo tal que se mantendrá al proceso en algún predeterminado nivel de operación. Para mantener el balance entre demanda y suministro, es necesario medir alguna propiedad de la corriente de salida -- del proceso (flujo, presión, temperatura, etc.) y utilizar ésta información retroalimentándola a través del sistema de control, para regular la entrada al proceso. Es el sistema de -- control discutido hasta el momento.

Varios de los principios básicos asociados con el control por retroalimentación simple (feedback) pueden notarse - considerando una situación familiar de control, -la temperatura del agua en la tina de baño-, Figura III-2.

Este es obviamente un sistema manualmente controlado. En la figurita superior, el "controlador manual" está utilizando un dedo para medir la temperatura del agua. El podría - perfeccionar la medición y mejorar el control utilizando un - termómetro como se indica en la figurita inferior. Si se perfecciona la medición siempre resultará en un mejor control.



BATHUB SE CONVIERTE EN
UN SISTEMA DE CONTROL
POR RETROALIMENTACION
SIMPLE.

AHORA UTILIZA UN
TERMOMETRO PARA
PERFECCIONAR EL CONTROL.

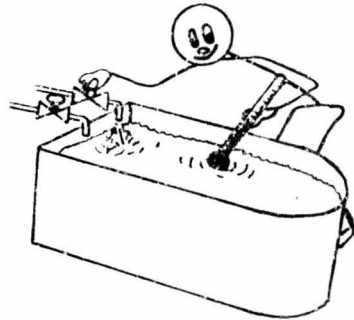


FIGURA III-2

CONTROL POR RETROALIMENTACION SIMPLE

1975

TESIS

S. GARCIA MENESES

La tina de baño también ilustra el efecto importante de la capacidad de un sistema para absorber materiales ó energía necesarios para que el mismo sistema sufra un cambio. A esta propiedad se le denomina Capacitancia, y es una medición de cuánta energía ó materiales se necesitan para variar en un sistema una unidad de medición. Por ejemplo, la capacitancia-térmica se expresa en Cal/°C, é indica la cantidad de calor - necesario para variar en un °C, la temperatura del sistema.

Como la tina de baño de este ejemplo tiene gran capacidad, una persona puede controlar la temperatura fácilmente en cualquiera de varias formas; él podría llenar parcialmente la tina con agua fría, y entonces añadir suficiente agua caliente para alcanzar la temperatura deseada, ó podría mezclar las dos corrientes y obtener el mismo resultado. Este caso -- con sistemas con alta capacitancia es comúnmente encontrado en procesos discontinuos ó tipo batch.

2.2 Control de alimentación de agua a una caldera.

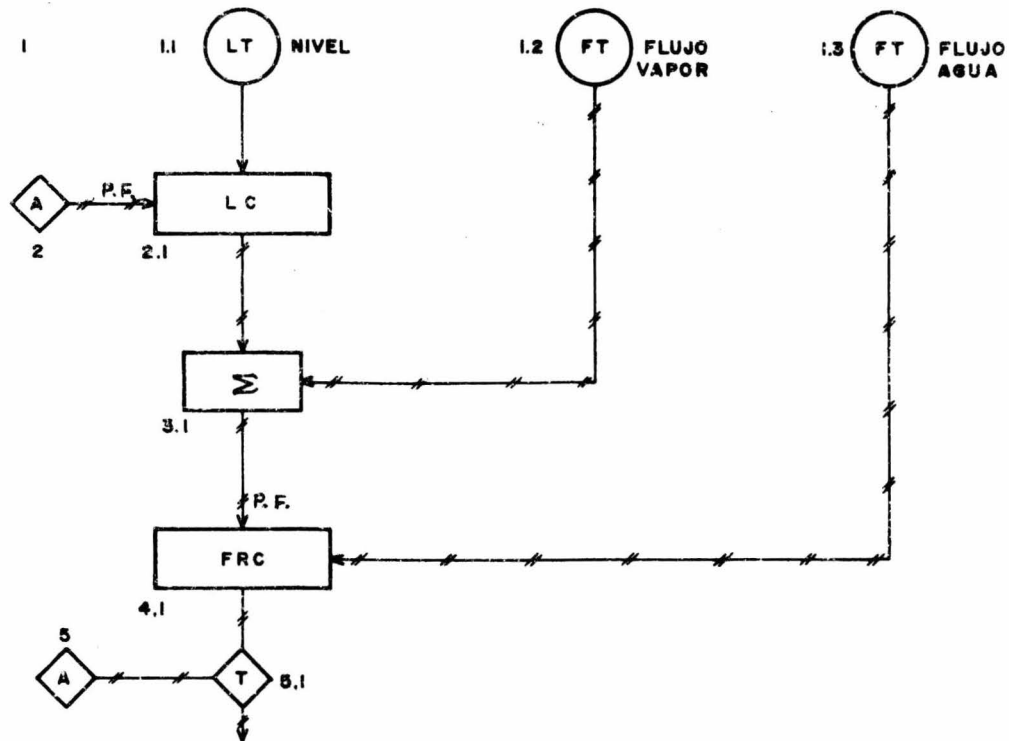
El propósito del control de alimentación de agua a -- una caldera es regular el flujo del agua de repuesto en calderas generadoras de vapor, tal que el nivel de agua en el tambor de vapor, se mantiene en un punto deseado. Este sistema -- puede variar desde un simple control por retroalimentación -- simple en calderas pequeñas, hasta sistemas de control preci-

son y altamente instrumentados, en grandes estaciones generadoras.

En la Figura III-3 se muestra un sistema de este tipo denominado de tres elementos. En este sistema se detectan --- tres variables de medición y sus valores se alimentan al sistema de control: el nivel del agua en el tambor de vapor, el flujo de vapor debido a la demanda, y el flujo del agua de -- repuesto. Tiene gran aplicación y es necesario para calderas con capacidades superiores a 30,000 Kg/hr de vapor generado.

Teóricamente, el sistema de control automático necesita únicamente balancear la alimentación del agua de repuesto (suministro) contra el flujo de vapor de salida (demanda); en la práctica, sin embargo, el nivel del agua en el recipiente se utiliza como verdadera señal de control, no únicamente como medio de seguridad, sino debido a las pérdidas de agua por purgas de la caldera, y que en este caso, son ajenas a las -- pérdidas por generación de vapor. Las purgas que se efectúan a una caldera son con el fin de abatir la concentración de sales y partículas sólidas acarreadas por el agua de repuesto.

Las variaciones en la proporción de las purgas de a-- gua provocan cambios en la salida del controlador de nivel en el recipiente, tal que siempre se mantendrá el nivel correcto. De ésta forma, la medición de nivel es usada para forzar un -- más perfecto balance entre la demanda y el suministro.



ELEMENTO FINAL DE CONTROL
(VALVULA DE CONTROL O GOBERNADOR VELOCIDAD BOMBA ALIMENTADORA)

FIGURA III-3	CONTROL DE ALIMENTACION DE AGUA A UNA CALDERA CON TRES ELEMENTOS DE MEDICION.	TESIS PROFESIONAL	1975
		Sergio García Meneses	

En la Figura III-3 se observa a los tres transmisores de variable. El controlador 2.1 aplica una señal de control - debido a la desviación entre la señal de medición de nivel en el recipiente y su punto fijo. La suma de ésta señal de control (salida de 2.1) y la señal de flujo de vapor del transmisor de flujo correspondiente, se convierte en la señal de demanda de agua de repuesto (salida de 3.1).

Esta señal de demanda de agua de repuesto es comparada con el flujo actual instantáneo del agua que está siendo alimentada a la caldera (señal del transmisor correspondiente). Cualquier desviación ó diferencia provocará una acción correctiva del controlador 4.1 hacia el sistema a través del elemento final de control.

En este caso, el elemento final de control es una válvula neumática operada por un motor de diafragma, sobre la línea de alimentación de agua, ó es el gobernador de velocidad de la bomba alimentadora.

2.3 Doble control.

Un sistema de doble control es aquél que tiene una sola señal de entrada, y emite una doble señal de control, ó -- con una única señal de control opera dos válvulas mediante relevadores ó posicionadores (elementos finales de control con-

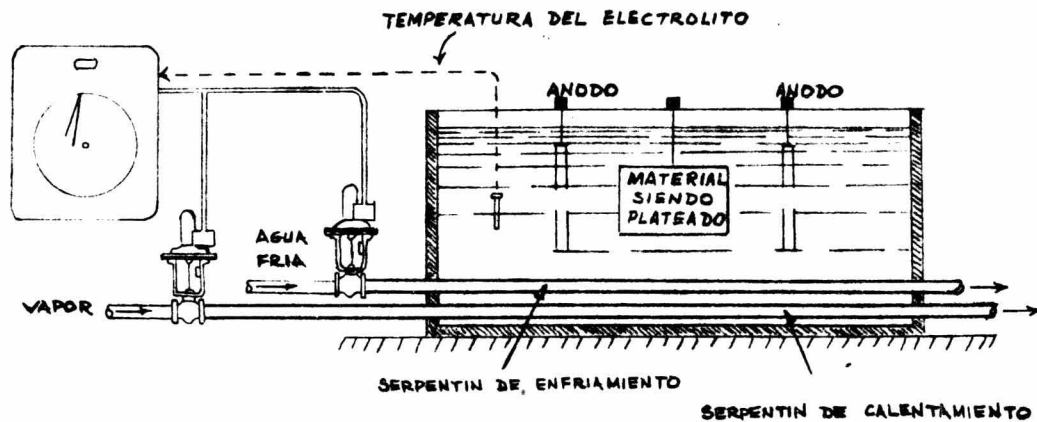
rango dividido). En el primer caso, el sistema posee dos mecanismos controladores recibiendo la misma señal, y en el segundo es un solo controlador.

La utilidad de un sistema tal puede apreciarse en un proceso como lo es el Electroplateado, Figura III-4. La corriente eléctrica de plateado, fluyendo a través del electro-lito, genera calor el cual es normalmente disipado mediante un flujo controlado de agua de enfriamiento a través de serpentines.

Frecuentemente, piezas metálicas de gran tamaño a platearse, enfrían la solución al grado de evitar el buen electroplateado. Igualmente, en arranques, la temperatura de la solución debe llevarse al nivel de operación, de lo contrario la primera producción estará fuera de especificaciones.

El problema se resuelve con doble control, el cual --añade agua de enfriamiento cuando la temperatura es alta, y --añade vapor a los serpentines de calentamiento si la temperatura es baja. Si la temperatura de la solución está dentro de los límites aceptables, no se admite a ninguna de las dos corrientes.

La acción de control es neumáticamente producida por un controlador convencional y simultáneamente alimentada tanto al posicionador de la válvula de agua de enfriamiento, como al posicionador de la válvula de vapor.



A-38

PROCESO DE ELECTROPLATEADO CON
VALVULAS DE CONTROL CON RANGO -
DIVIDIDO (VAPOR Y AGUA FRIA).

FIGURA III-4

SISTEMA DE DOBLE CONTROL CON SALIDA DIVIDIDA

1975

TESIS

SERGIO GARCIA MENDEZ

Si la gama de control es de 0.21 a 1.05 Kg/cm², la válvula de vapor estará totalmente abierta con 0.21 Kg/cm² y cerrará conforme esta presión aumente hasta cerrar totalmente en 0.63 Kg/cm². La válvula de agua de enfriamiento estará totalmente cerrada en 0.63 Kg/cm² y abrirá conforme la presión aumente hasta abrir totalmente en 1.05 Kg/cm².

Observe que las direcciones de abertura de las válvulas están en sentido contrario, estando totalmente cerradas - en el 50% de la gama de control (0.63 Kg/cm²) y abrirán en direcciones opuestas hacia los extremos de la gama de control.

Una calibración adecuada en el controlador neumático producirá una salida de 0.63 Kg/cm² cuando la señal de medi--ción y la del punto fijo concuerden. En este ejemplo ambas -- válvulas están cerradas con una señal de salida del controlador de 0.63 Kg/cm². Si la temperatura aumenta, ó es menor de la indicada por el punto fijo ó set point, el agua ó el vapor circularán en una proporción adecuada a la desviación, por -- los serpentines correspondientes.

Este caso analizado de doble control es denominado comúnmente como sistema de control con elementos finales de control con rango dividido.

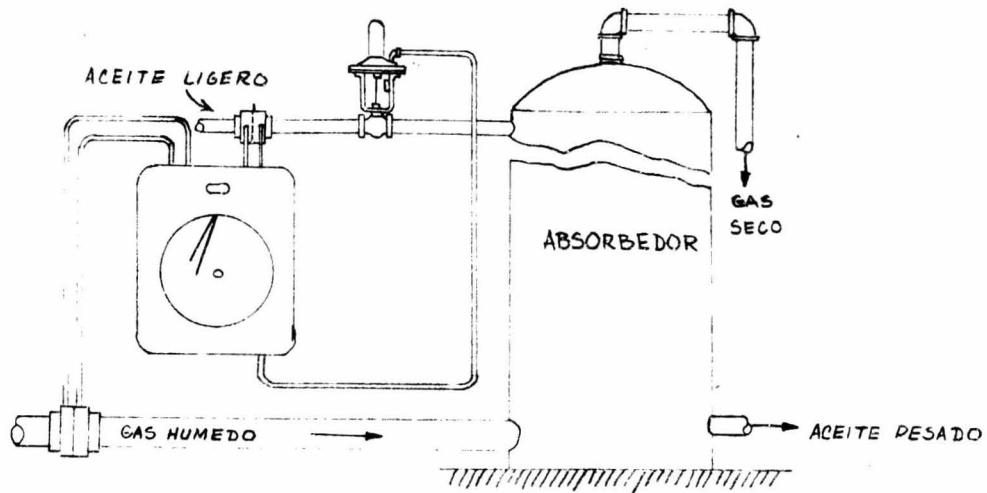
2.4 Control de proporción (ratio).

En una aplicación típica de control de proporción, el controlador del sistema tiene dos entradas de medición y solo una señal de salida de control. Una de las entradas de medición corresponde a una variable no controlada (carga a una torre de absorción ó gas a quemarse en un horno), que está enlazada a través de un mecanismo de proporción ó multiplicador - como punto fijo de la otra variable; en este caso, la variable controlada ó regulada.

Es decir, en el control de proporción, se controla a una variable con respecto a otra no controlada, en las cuales se mantiene una proporción entre las mismas.

En una aplicación muy utilizada (Figura III-5) la entrada de medición de la variable no controlada es el flujo de gas húmedo a una torre de absorción, que entra a contracorriente con un flujo de aceite como solución absorbente ó secadora. La entrada de medición de la variable controlada es el flujo de aceite ligero, el cual se controla a una proporción fija (ratio) con respecto a la carga de gas húmedo.

El mecanismo de proporción es un dispositivo de multiplicación que relaciona las dos variables en proporciones que generalmente quedan entre los límites 0.3 a 1 hasta la proporción 3 a 1. La escala de proporción en este caso tendrá graduaciones de 0.3 a 3.



LA CARGA DE ACEITE LIGERO SE CONTROLA
 CON RESPECTO A LA CARGA DE GAS HUMEDO
 CONSERVANDO UNA RELACION FIJA (RATIO)

EJEMPLO:

$$\frac{\text{FLUJO ACEITE}}{\text{FLUJO GAS}} = 0.5$$

FIGURA III-5

CONTROL DE PROPORCION (MULTIPLICACION)

1975 TESIS PROFESIONAL
 SERGIO GARCIA MENESES

El control de proporción mantiene una proporción fija de una corriente con respecto a otra controlada por un sistema de control independiente (ejemplo analizado), pero también puede aplicarse para mantener proporciones fijas de dos ó mas corrientes con respecto a una sola corriente. Este caso corresponde al denominado control múltiple de proporción.

2.5 Control de cascada.

Un sistema de control de cascada consiste de un controlador primario ó maestro controlando la variable que debe mantenerse a un valor constante, y de un segundo controlador, secundario ó esclavo, el cual controla alguna otra variable que pueda causar fluctuaciones a la primera. El controlador primario posiciona el punto fijo del secundario, y éste, opera a la válvula de control.

El objetivo del sistema de control en cascada es el mismo que la de cualquier controlador en circuito cerrado simple. Su función es simplemente asegurar un balance entre la demanda y el suministro, y por consiguiente, mantener a una variable controlada en un determinado valor requerido. Sin embargo, el circuito secundario es introducido para reducir los retrasos y estabilizar las mismas operaciones más precisamente.

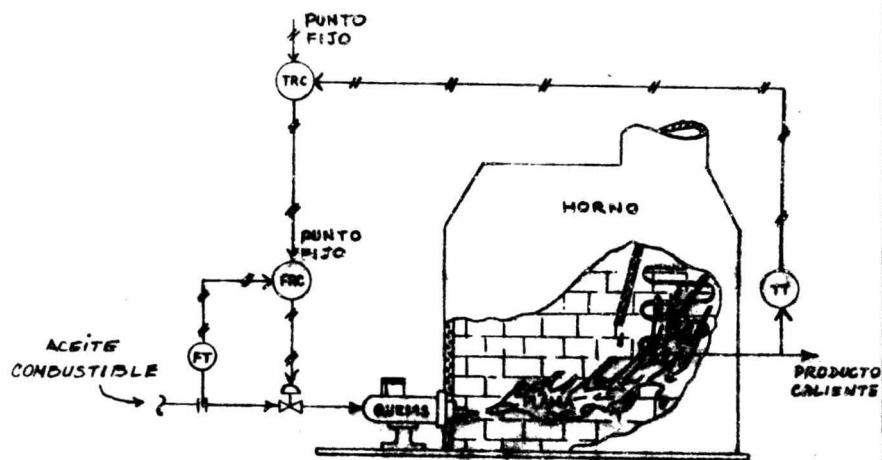
El controlador secundario puede reconocerse como un elemento final de control más elaborado, posicionado por el controlador primario en la misma forma que un controlador simple podría ordinariamente posicionar una válvula de control.

Considere un proceso consistiendo en el calentamiento de un producto que pasa a través de tubos sobre quemadores -- alimentados con aceite combustible (Figura III-6). La temperatura del producto debe mantenerse dentro de límites muy estrechos, haciéndose difícil debido a continuas y erráticas variaciones en la presión del combustible.

Un aumento en la presión del combustible incrementará el poder de calentamiento de los quemadores, resultando en aumento de la temperatura del producto. Si la presión del combustible se reduce en el momento en que la temperatura del producto se eleva, un controlador convencional podría hacer una corrección reduciendo el flujo del combustible justo en el momento cuando la presión en el mismo se ha abatido. Como resultado, la temperatura del producto ha fluctuado fuertemente fuera de lo tolerable.

En el caso de control en cascada, el controlador secundario protege al proceso de los efectos consecuencia de las variaciones erráticas en la presión del combustible, detectándolas y corrigiendo adecuadamente, y permite al controlador maestro regular la temperatura del producto con una muy buena estabilidad.

TRC ES EL CONTROLADOR PRIMARIO
 FRC ES EL CONTROLADOR SECUNDARIO



TT = TRANSMISOR DE TEMPERATURA
 FT = TRANSMISOR DE FLUJO
 TRC = CONTROLADOR REGISTRADOR DE TEMP.
 FRC = CONTROLADOR REGISTRADOR DE FLUJO
 QUEMAS = QUEMADORES

SE CONTROLA LA TEMPERATURA DEL PRODUCTO
 DE SALIDA REGULANDO UN FLUJO CONSTANTE
 DEL ACEITE COMBUSTIBLE A PESAR DE -
 CAMBIOS BRUSCOS EN LA PRESION DE ESTE.

Las ventajas más evidentes de la utilización de control en cascada son: (1) efectos muy reducidos provocados por perturbancias en el suministro al proceso, (2) ajustes más exactos en la presencia de estas perturbancias, y (3) la posibilidad de incorporar límites altos y bajos en el controlador secundario. Estas ventajas son consecuencia de la reducción de retrasos en el proceso: incremento en la frecuencia natural del proceso y reducción de constantes de tiempo.

2.6 Control por programación.

El control por programación (ó anticipación) significa acercarse al problema de control mediante la predicción de señales de manipulación para hacer los ajustes necesarios al proceso, antes de que la variable controlada sea afectada por los disturbios.

La programación generalmente se obtiene calculando de acuerdo con algún modelo matemático y la información Coleccionada de las mediciones de las varias corrientes del proceso involucrados. El diagrama típico de control por programación es mostrado en la siguiente figura:

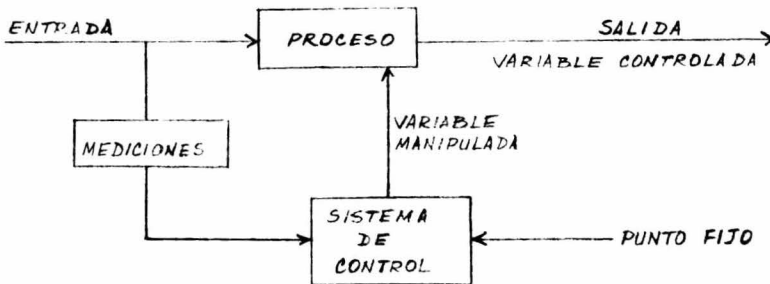


DIAGRAMA DEL CONTROL POR PROGRAMACION

El control por programación ó anticipación (feedforward) requiere de un razonable conocimiento del proceso siendo manejado, para fijarle un modelo matemático y para que el sistema de control sea lo más preciso posible. Entonces es necesario acercar lo más posible el modelo simulado a las características del proceso a controlar. Con el modelo matemático y la información de las condiciones de entrada al proceso, la variable controlada ó salida del proceso se mantendrá en un valor deseado.

En muchos casos el control por programación tendrá éxito donde el control por retroalimentación simple ha fallado. Esto es especialmente cierto para procesos difíciles, tales como aquellos que están sujetos a frecuentes y muy prolongados cambios de carga.

El éxito del control por programación es siempre de--

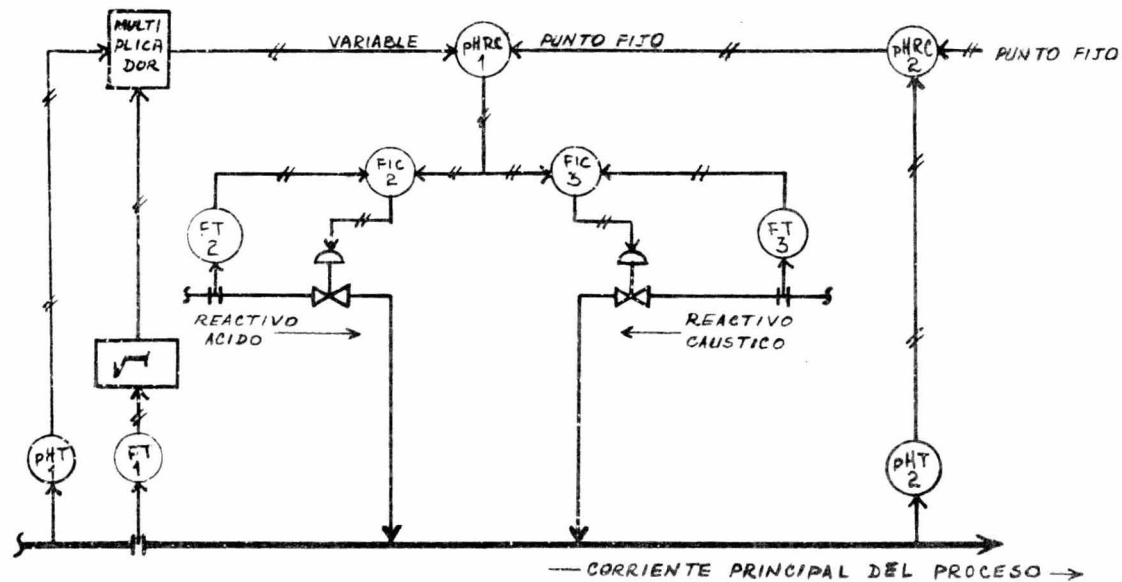


FIGURA
III-7

CONTROL DE pH POR PROGRAMACION Ó ANTICIPACION
(CONTROL FEEDFORWARD)

1975

TESIS

S. GARCIA M.

pendiente de la exactitud; cualquier error que resulte de mediciones, cálculos, ó negligencia en los ajustes de factores-significantes del modelo matemático, causará desviaciones permanentes en la variable controlada (offset). En tales casos - se aplica al control por programación un circuito de retroalimentación simple para la corrección de errores acumulativos.- Este es el caso del control de alimentación de agua a una caldera mostrado en la Figura III-3 (control por programación básico), y para el caso del control de pH, mostrado en la Figura III-7.

El sistema de control por programación ó anticipación con un circuito de retroalimentación simple incluye es muy - utilizado para el control de procesos.

C A P I T U L O I VEL CONTROLADOR.

El controlador es el dispositivo comando ó director - en el sistema de control. Es el dispositivo que ejercerá a -- través del elemento final de control la acción dinámica requereida por el proceso bajo control, para mantener precisamente- ésta característica.

En un sistema de control puede haber más de un controlador, siendo únicamente uno de ellos el comando; los demás - se convierten en solo mecanismos reguladores. El verdadero -- controlador del sistema es denominado maestro ó principal, -- quedando relegados los demás, denominados secundarios, como - medios ó subsistemas de control para que se cumplan estrictamente las directrices emanadas del controlador maestro.

En un sistema de control el controlador recibe la información, simple ó complejamente elaborada por los dispositivos de medición ó procesamiento, que será única y servirá de-

base para que el controlador ejercite su acción de control. - Esta acción de control es ejecutada por los mecanismos de regulación acoplados directamente al proceso.

El controlador es pues quien decide el rumbo que llevará el proceso para que de éste emane la característica demandada del mismo: cantidad ó calidad, energía ó propiedad.

1. Los medios de control.

Los cuatro diferentes medios utilizados en sistemas de control automático para ejecutar las funciones de transmisión, respuesta y ejecución, son:

- a) Mecánicos.
- b) Neumáticos.
- c) Eléctricos.
- d) Hidráulicos.

Estos medios están en ocasiones relacionados para un mejor funcionamiento. Ejemplos:

a) Mecánico-neumáticos:

Mecánico: proceso-transmisor-controlador,

Neumático: controlador-válvula de control.

b) Eléctrico-neumáticos:

Eléctrico: proceso-transmisor-controlador-conver-
tidor,

Neumático: convertidor electroneumático-válvula-
de control.

A pesar de la existencia de mecanismos eléctricos y -
electrónicos capaces de medir y controlar; la simplicidad, --
economía, funcionamiento probado y seguridad intrínseca de --
los mecanismos neumáticos, afirma la posición competitiva de --
éstos para muchos años mas. Cuando se diseñan y eligen adecua-
damente, los mecanismos neumáticos satisfacen la mayoría de -
las aplicaciones de control.

Por las razones antes expuestas se discutirán solamen-
te los mecanismos utilizados por controladores neumáticos, y-
que en la mayoría de las veces son similares a los empleados-
por controladores eléctricos ó hidráulicos.

2. Las funciones básicas de un controlador.

Las funciones básicas de un controlador neumático ó -
de cualquier otro tipo, mostradas en la Figura IV-1, incluyen:

- a) Recibir la medición M, magnitud instantánea de la-
variable siendo controlada,

- b) Comparar este valor con uno de referencia, punto - fijo ó valor deseado R,
- c) Determinar la magnitud y dirección de cualquier -- desviación ó error E, y
- d) Proveer una salida Y como alguna función de la des - viación entre la variable medida y el punto fijo.

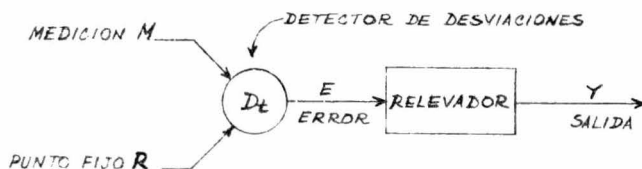


FIGURA IV-1 ESQUEMA DE LAS FUNCIONES BASICAS DE UN CONTROLADOR.

Para desarrollar estas funciones se requiere de deter - minados mecanismos, básicos para todos los instrumentos neumá - ticos.

El mecanismo básico neumático convierte un movimiento, posición ó fuerza, en una salida neumática continua, equivalen - te y proporcional a esa excitación mecánica continua.

Los mecanismos neumáticos emplean presiones de aire - de 0.21 a 1.05 Kg/cm² (3 a 15 psig) para cubrir del 0 al 100% de la escala ó rango de operación. Por lo tanto, los mecanis - mos neumáticos deben tener la capacidad de convertir la exci - tación de tipo mecánico (posición ó fuerza) en un rango neumá -

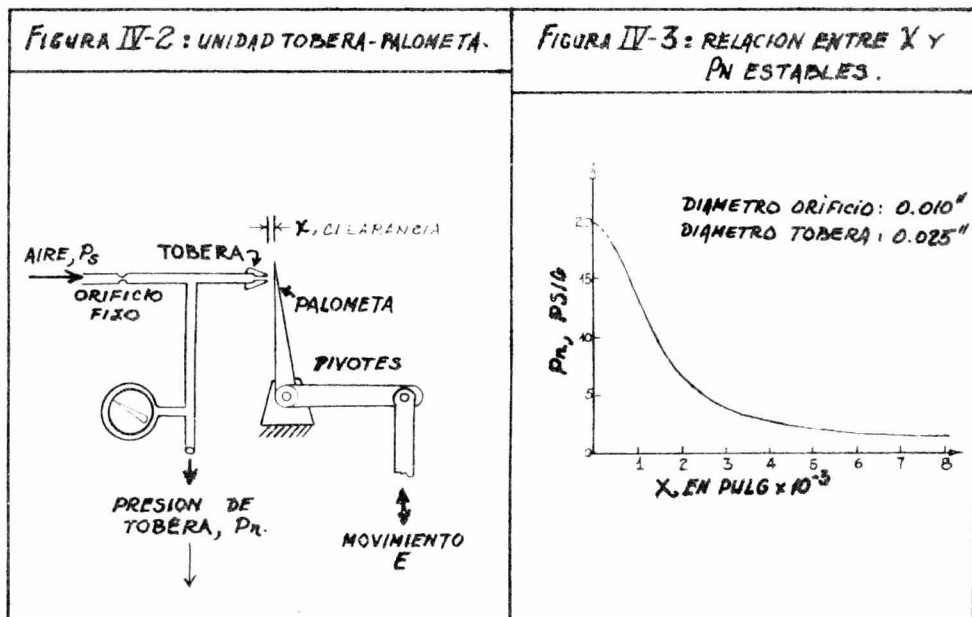
tico de 0.84 Kg/cm^2 (gama entre 0.21 y 1.05 Kg/cm^2). La salida neumática siempre será proporcional a la magnitud de la excitación mecánica. El mecanismo neumático mas simple que cumple esta característica se denomina relevador piloto.

3. El relevador piloto neumático.

El relevador piloto neumático consta de dos unidades, denominadas unidad tobera-palometa, y el relevador propiamente dicho.

La unidad tobera-palometa, también denominada tobera-baffle ó tobera-orificio, mostrada en la Figura IV-2, consiste de una restricción fija en serie con una tobera con restricción variable. El movimiento de entrada E es aplicado a un baffle pivotado ó palometa para variar la clearancia X, entre la superficie plana de la palometa y la tobera. Con una presión de 1.4 Kg/cm^2 el aire es alimentado al dispositivo a través de la restricción fija y desfoga a la atmósfera a través de la clearancia tobera-palometa, con una determinada presión de tobera, denominada P_n , y que está en relación directa a la magnitud de clearancia X. Como X se incrementa desde cero, la presión de tobera P_n disminuye conforme se muestra en la Figura IV-3.

Es decir, el movimiento de entrada E aplicado a la pa



lometa, modula una presión de salida P_n del dispositivo, que vá desde un valor mínimo hasta 1.4 Kg/cm^2 (presión de suministro de 20 psig), con el perfil de presiones mostrado en la Figura IV-3.

El límite superior para la presión de tobera P_n es de terminado por la presión del aire de suministro cuando X es cero; el límite inferior es fijado por la resistencia al flujo de aire establecido por la relación de diámetros entre el orificio fijo y la tobera, cuando X es muy grande.

Para la combinación comúnmente utilizada de diámetro de orificio de 0.01" y diámetro de la tobera de 0.025", un movimiento de la palometa de 0.001" dentro de la zona de influencia, provoca un cambio en la presión de la tobera de 8 psig en

la porción central de la curva. Esta zona de influencia se denomina también región de sensibilidad óptima.

La unidad amplificadora ó relevador piloto, se utiliza en combinación con la unidad tobera-palometa para incrementar la salida neumática de esta última.

El relevador incrementa la capacidad de flujo de aire cuando un cambio en la presión de salida de un mecanismo neumático lo requiere. Esto perfecciona la respuesta dinámica del instrumento neumático, controlador ó transmisor, cuando están conectados a líneas de transmisión muy largas ó a grandes volúmenes (motor de diafragma de una válvula de control).

Los relevadores neumáticos están diseñados en forma tal que no habrá respuesta de salida hasta que la presión de entrada de la tobera se haya incrementado del mínimo. Entonces, la tobera operará en la porción lineal central de su curva característica; es decir, operará en su región de sensibilidad óptima. Este efecto proporciona la respuesta lineal proporcional de cualquier mecanismo neumático ante excitaciones de tipo mecánico. El relevador amplifica la salida de la unidad tobera-palometa en proporciones tales que fluctúan entre 5 y 10 veces, dependiendo del tipo.

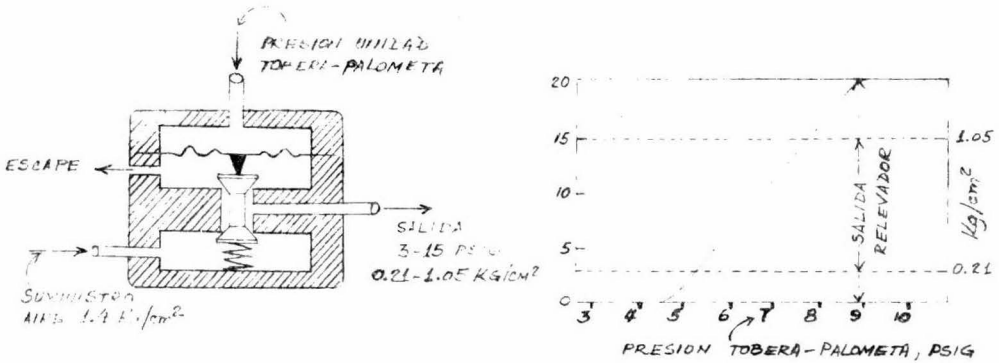


FIGURA IV-4 ESQUEMA DE UN RELEVADOR PILOTO TÍPICO

Un relevador del tipo de actuación directa se muestra en la Figura IV-4, incluyendo la curva de respuesta neumática de estos dispositivos. El diafragma metálico está preformado teniendo el puerto de suministro de la válvula de doble asiento totalmente cerrado, y el puerto de venteo totalmente abierto, hasta que la presión de entrada de tobera-palometa se incrementa hasta un valor mínimo, típicamente 5 psig. Posteriores incrementos en la presión de entrada tobera-palometa superarán la fuerza del resorte inferior, permitiendo que la válvula de doble asiento se mueva hacia abajo, abriendo el puerto de suministro, cerrando el puerto de venteo, é incrementándose la presión de salida del relevador, en forma proporcional directa a los incrementos de la presión de entrada tobera-palometa.

En el caso contrario, una disminución pequeña de la presión de entrada tobera-palometa, desplazará el diafragma metálico hacia arriba impulsado por el resorte inferior, cerrando el puerto de suministro y abriendo el puerto de venteo disminuyendo la presión de salida del relevador, conforme a -

la disminución de la presión de entrada P_n . Es decir, la presión en la unidad tobera-palometa modulada por una excitación de tipo mecánico, es amplificada en presión y volumen por el relevador.

4. El controlador neumático.

Para aplicaciones industriales de control automático de procesos, es deseable modular ó hacer proporcional la salida del controlador del sistema automático de control (0.21 a 1.05 Kg/cm²), con respecto a señales de entrada (0 a 100%). - Para lograr esto, la palometa del relevador neumático debe -- ser situada mecánicamente dentro de la región de sensibilidad óptima. Las figuras IV-6 y IV-7 son esquemas que muestran como esto puede realizarse mediante un circuito de retroalimentación interna en el controlador.

En la Figura IV-6, la señal de acción se representa por un eslabón conectado al extremo izquierdo de la palometa, la cual se moverá hacia abajo obturando la tobera (acción directa), con un aumento en la señal de entrada. En el extremo derecho de la palometa está conectado un fuelle neumático contra un resorte con tensión ajustable que se le opone. El conjunto fuelle-resorte se moverá hacia arriba con un aumento en la salida del relevador.

Comenzando con cero entrada y salida (3 psig ó 0.21 Kg/cm²), considere un pequeño aumento en la señal de entrada que sitúa la palometa más cerca de la tobera. Simultáneamente la salida del relevador aumenta y mediante el fuelle neumático de retroalimentación, la nueva posición de la palometa se mantendrá dentro de la región de sensibilidad óptima.

La salida del relevador (3 a 15 psig ó 0.21 a 1.05 Kg/cm²) estará en cierta proporción a las posiciones de entrada. Esta proporción es ajustable variando la ventaja mecánica de posición de entrada vs. posición de retroalimentación, moviendo la tobera hacia la izquierda ó derecha a lo largo de la palometa. A este dispositivo se le conoce como de movimiento-balance, aunque en la práctica se realiza un balance de posiciones.

La Figura IV-7 es un esquema que muestra como un balance de pares de torsión se utiliza para producir salida proporcional. La palometa es ahora una barra rígida que hace pivote en un fulcro ó punto de apoyo ajustable. La señal de medición es una entrada neumática de 0.21 a 1.05 Kg/cm² y tiene en oposición una señal fija ajustable de 0.21 a 1.05 Kg/cm² - similarmente. Estos fuelles neumáticos de medición y punto fijo son de características similares.

El fuelle de retroalimentación que tiene un resorte en oposición es similar a los anteriores. Ahora, cualquier di

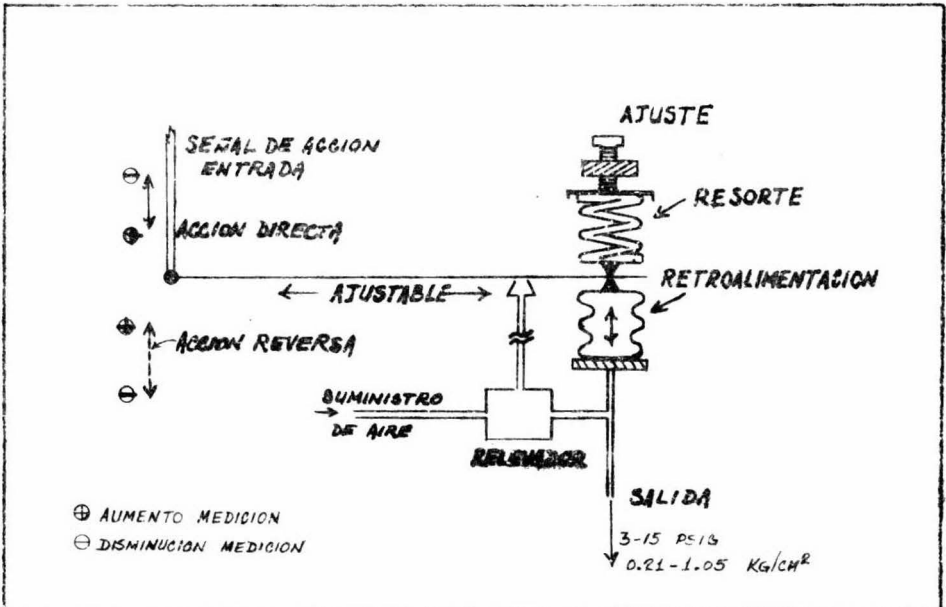


FIGURA IV-6

ESQUEMA CONTROLADOR BALANCE DE MOVIMIENTOS

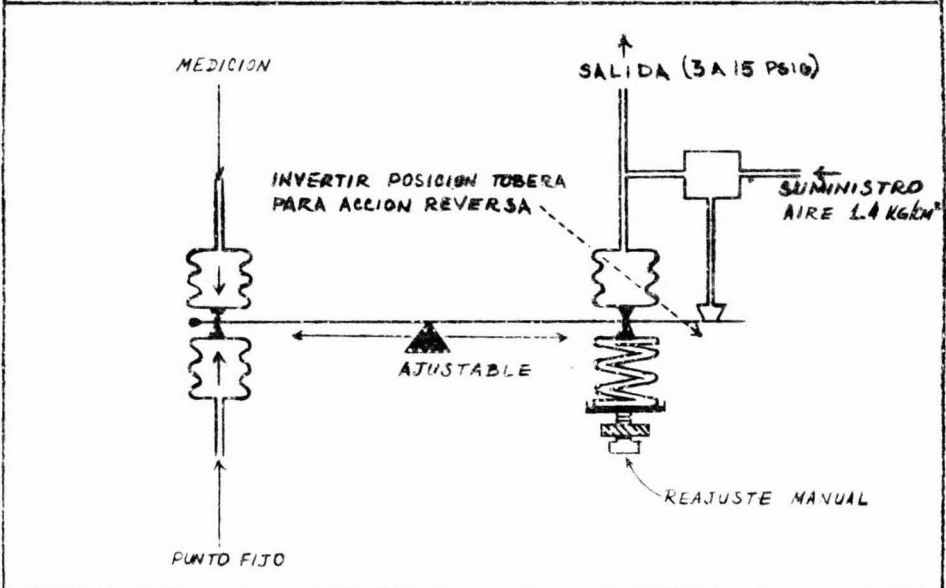


FIGURA IV-7

ESQUEMA CONTROLADOR BALANCE DE FUERZAS

ferencia de fuerzas entre los fuelles de medición y de punto-fijo producirá un par el cual es la señal de acción.

Considere un aumento en la señal de medición. Esto hará que la palometa obture al relevador aumentando la salida, generando en el conjunto del fuelle de retroalimentación un par que equilibre exactamente el par de la señal de acción. La palometa permanece en la región de sensibilidad óptima.

El cambio en la salida del relevador (salida del controlador) será en alguna proporción con respecto al cambio de la señal de acción. La ventaja mecánica del par de acción vs. el par de retroalimentación puede modificarse moviendo el fulcro hacia la derecha ó izquierda, variando por consiguiente la relación de cambio de salida con respecto al cambio en la entrada.

Como la posición de la palometa en la región de sensibilidad óptima está relacionada con el balance de fuerzas que actúa en la barra de la misma, se conoce a este dispositivo como de "balance de fuerzas".

4.1 Diferentes clases de controladores.

Los controladores pueden clasificarse fundamentalmente considerando dos aspectos: (1) la dirección de la señal de salida con respecto a la señal de entrada al controlador, y (2) según la respuesta ó acción de control ante la magnitud y velocidad de desviación de la variable controlada del punto fijo ó set point.

Si la respuesta del controlador es aumentar la magnitud de la salida cuando incrementos en la señal de entrada su ceden, se denomina a este tipo de respuesta como acción directa, y al controlador como controlador con acción directa. Si la entrada disminuye también disminuirá la salida del controlador.

En caso contrario, si la respuesta del controlador es disminuir la magnitud de la salida cuando suceden incrementos en la señal de entrada, se dice que el controlador es de -- acción reversa, y la respuesta de control es en sentido opuesto a la acción directa. Si la entrada disminuye, la salida -- del controlador se incrementará.

En las Figuras IV-6 y IV-7 se incluyen los arreglos - para acciones directa y reversa en mecanismos de movimiento - balance y balance de fuerzas de los controladores.

Ahora, según el tipo de la respuesta del controlador ante la magnitud y la velocidad de la desviación de la variable controlada del punto fijo ó set point, existen comúnmente cinco clases de controladores:

- a) Controlador de dos posiciones (on-off).
- b) Controlador con acción proporcional.
- c) Controlador con acción proporcional más integral.
- d) Controlador con acción proporcional más derivativa.
- e) Controlador con acción proporcional más integral - más derivativa.

La discusión de estas clases de controladores es tema del capítulo V.

5. Los elementos básicos de un controlador.

Cada controlador neumático ó de cualquier otro tipo, - consiste de tres partes principales y son:

- a) La estación para el operador humano.
- b) El mecanismo de control.
- c) El block de conexiones.

La estación para el operador humano provee un botón - para ajustes del punto fijo, siempre calibrado para leer di--

rectamente en unidades de la variable de proceso (0 a 100%, °C, Kg/cm², GPM, etc.), ó el indicador está directamente sobre la escala de medición, tal que será fácilmente fijado el valor deseado para la variable medida ó controlada.

La estación para el operador humano también incluye:-
(1) un selector para escoger control automático ó manual, (2) los medios para variar la posición de la válvula de control ó botón para ajuste de salida manual, cuando se tiene al proceso bajo control manual, y (3) varios indicadores suficientes para exhibir el valor de la variable medida, la posición de la válvula de control, y cualquier otra condición ó instrumento en el circuito de control.

El mecanismo de control es la parte interna del controlador, en donde se realizan las operaciones de computación de señales de error y de señales de corrección. Está constituido por el conjunto de fuelles neumáticos, unidad tobera-palmeta, relevador piloto, y los medios y mecanismos adecuados para ajustar la respuesta del controlador hacia determinados tipos y velocidades de desviación entre la variable medida y el punto fijo. En controladores de campo, el mecanismo de control y los medios de medición de la variable de proceso, se encuentran alojados en el mismo cajón del instrumento.

El block de conexiones constituye la parte del controlador destinada a las conexiones mecánicas y neumáticas en el

caso de controladores neumáticos, y son comúnmente las siguientes:

- a) Entrada de alimentación de aire de suministro, SUPPLY (20 psig ó 1.4 Kg/cm²).
- b) Entrada del punto fijo ó set point neumático, si es externo, con señal modulada entre 3 y 15 psig ó 0.21 a 1.05 Kg/cm².
- c) Entrada de señal de medición que puede ser mecánica ó neumática (3 a 15 psig ó 0.21 a 1.05 Kg/cm²). En el caso de entrada de medición neumática ésta procede del transmisor neumático directamente ó a través de mecanismos computadores.
- d) La salida neumática hacia la válvula de control, OUTPUT (3 a 15 psig ó 0.21 a 1.05 Kg/cm²)

5.1 El punto fijo ó set point.

El punto fijo ó set point es el mecanismo de mando en el controlador; generalmente es operado manualmente por el operador humano quién lo ajusta dependiendo de las condiciones que desea en un momento dado para el proceso; ó puede tener una operación programada automáticamente. En el caso de operación programada con fines de control suplementario ó de operación remota del mismo, el set point es operado neumáticamente (control en cascada, por programación, etc.).

El set point se fijará en el valor que sobre la escala de medición de la variable de proceso se seleccione, y --- para que el sistema de control automático opere y mantenga a esta variable controlada en el valor seleccionado.

Si se desea en un momento dado variar positivamente - el valor de la variable controlada, se moverá el indicador de set point hacia el valor deseado sobre la escala de medición, mediante el mecanismo de ajuste (botón en la estación manual del controlador). El controlador corregirá, mediante los dispositivos de regulación acoplados directamente al proceso, -- tal que la variable bajo control alcanzará el nuevo valor en poco tiempo ó instantáneamente.

El set point de un controlador es similar al sintonizador de radio. En el caso del sintonizador, éste se fija en el valor que en kilociclos se desee dentro de la frecuencia - de la radiodifusión. El reflejo del valor fijado por el sintonizador será la radiotransmisora que se está escuchando. Es decir, mediante el botón del set point se le ordena al controlador el punto de control que se desea para la variable controlada y por ende determinada condición de operación al proceso involucrado.

5.2 El selector de control Manual-Automático.

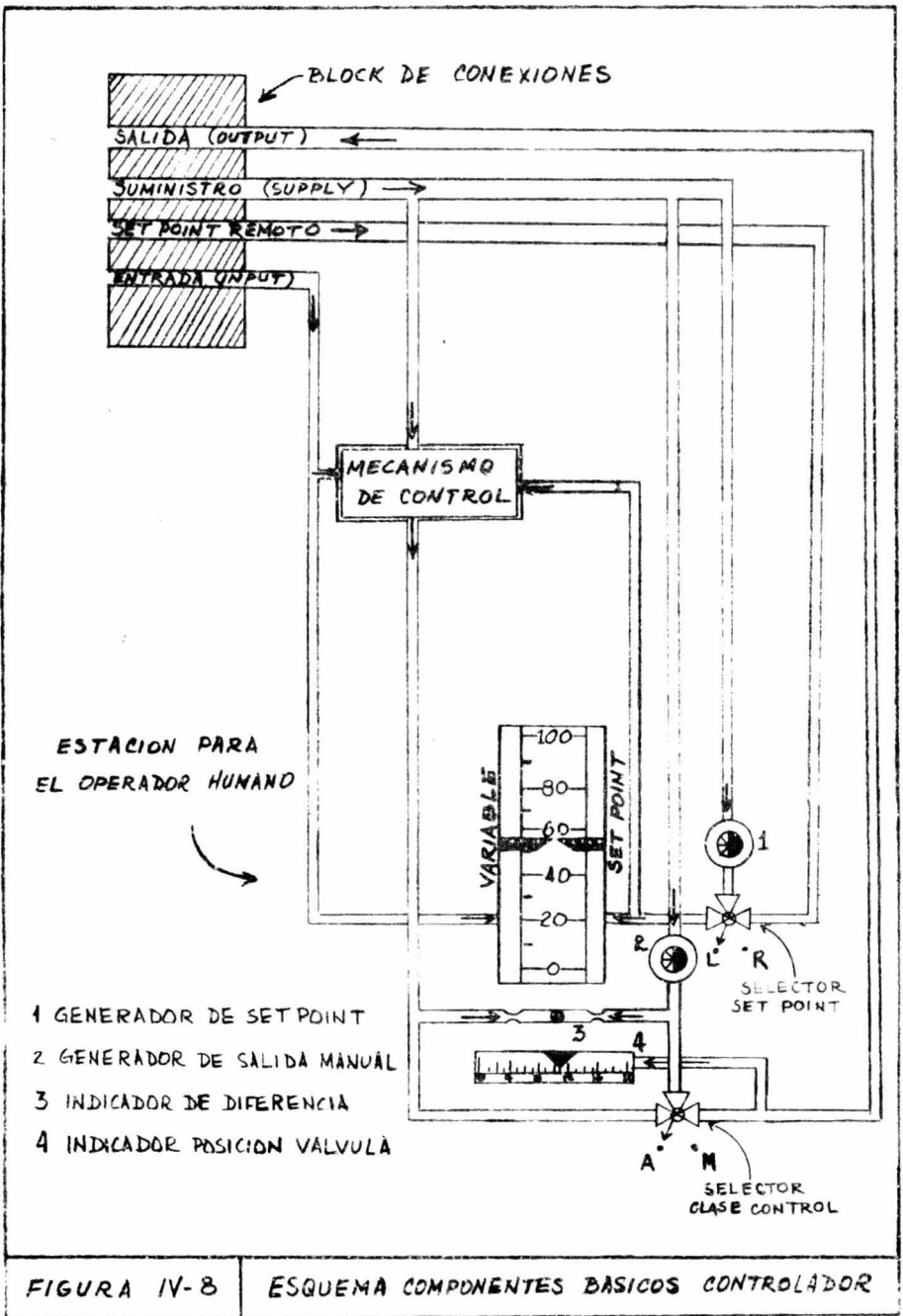
En controladores neumáticos el selector de control --

Manual-Automático consiste de una válvula de tres vías operada desde la estación manual del controlador. En una posición comunica la salida neumática del mecanismo de control con la salida hacia la válvula de control ó hacia cualquier otro elemento final de control; ésta posición se identifica como la posición de Automático.

En la posición Manual, a través de la válvula de tres vías, se comunica el generador de salida neumática manual con la salida hacia el elemento final de control.

Las salidas neumáticas tanto del mecanismo de control como de la unidad generadora de salida manual se comparan a través de un indicador de diferencia. Este indicador de diferencia se localiza en la estación manual, en la parte frontal del controlador. Es muy importante que las salidas neumáticas sean igualadas, guiándose con el indicador de diferencia, antes de hacer cualquier cambio de control Manual a Automático ó viceversa.

En la Figura IV-8 se representa esquemáticamente un controlador neumático, mostrando sus elementos básicos.



C A P I T U L O VLOS MODOS DE CONTROL.

El modo de control caracteriza fundamentalmente las acciones del sistema de control automático; es el modo ó forma de acción con el cual se tratará de eliminar las desviaciones de un proceso de sus condiciones deseadas. Dentro del sistema de control automático el modo de control es el tipo de acción específica que el controlador tomará como respuesta a señales de entrada de error, ó desviaciones de la variable-medida del punto fijo.

Por ejemplo, mediante la aplicación adecuada de algún tipo de corrección en exceso, tanto la magnitud como la duración de las desviaciones serán minimizadas. Pero la aplicación impropia de la corrección, ya sea en la forma ó en la duración de la aplicación, puede dirigir hacia una mayor y más persistente desviación de la variable medida del punto fijo, ó incrementar las oscilaciones del proceso bajo control hasta alcanzar los posibles límites y resultar en falla de alguna parte del sistema.

Por consiguiente, para definir exactamente el modo de control del controlador en un sistema de control automático, es necesario considerar tres aspectos básicos del sistema total; es decir, del proceso junto con el sistema de control -- aplicado al mismo. Estos aspectos son:

- a) El tamaño, duración y frecuencia de los cambios de carga en el proceso bajo control.
- b) La velocidad de reacción ó respuesta del proceso -- bajo control a cualquiera de esos cambios, incluyendo los causados por el sistema de control.
- c) La calidad del control ó necesidad de retomar rápidamente al proceso a su punto fijo.

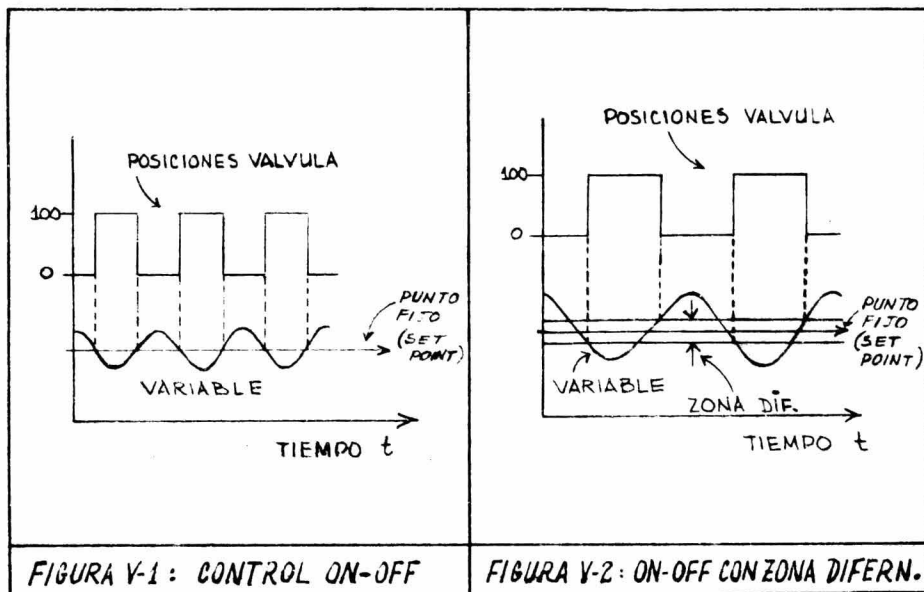
Con la selección adecuada del modo de control se garantiza la eficiencia del sistema de control y las respuestas pueden ser rápidas. Varios modos básicos de control han sido desarrollados y aceptados como tipos estándar de acción en -- controladores.

1. Control de dos posiciones (on-off).

El más simple y mas común modo de control es el de -- dos posiciones. En este tipo de control, el controlador cambia el valor de la salida, valor de la variable manipulada ó posición de la válvula de control de un extremo al otro del -- rango de operación, dependiendo de sí la desviación de la variable medida es hacia arriba ó abajo del punto fijo ó set -- point.

El cambio en la salida del controlador es a una velocidad constante, no importando la magnitud de la desviación - ni la velocidad de la misma. Por ejemplo, si el controlador es de temperatura, la válvula de control viajará hacia su posición de cerrado a determinada velocidad cuando la temperatura se eleve arriba del punto fijo. Cuando la temperatura ó variable medida disminuya abajo del punto fijo, la válvula de control viajará desde su posición de cerrado hasta la posición abierto, con la misma velocidad anterior, impulsada por el controlador.

Es decir, en el control de dos posiciones, cualquier desviación de la variable controlada arriba ó abajo del punto fijo causará que la válvula de control se posicione en cualquiera de sus dos extremos.



La figura V-1 muestra la operación de un sistema de control ideal de este tipo, con controlador de dos posiciones. La oscilación resultante de la variable controlada es de tipo senoidal, siendo esta característica permisible únicamente cuando el control de la variable medida debe ser tolerante.

Los controladores de dos posiciones reales operan con un pequeño intervalo, denominado zona diferencial. Este es -- ilustrado en la figura V-2 para el mismo sistema. La amplitud de las oscilaciones de la variable controlada han aumentado, aunque ésta pérdida de sensibilidad es más que compensada debido al menor agotamiento del mecanismo de control y de la -- válvula, debido a la mas baja frecuencia de operación.

Así mismo, los cambios de carga en el proceso que aumentan o disminuyen el valor de la variable controlada instán taneamente, provocan que la válvula de control permanezca posicionada en alguno de sus extremos mas tiempo, hasta que la variable medida cruce nuevamente la zona diferencial del set-point.

El control de dos posiciones es considerado un tipo -- muy drástico de control. Se obtiene un control imperfecto debido a la ciclación y desviaciones arriba y abajo del set -- point casi permanentes. El control de dos posiciones es satisfactorio cuando:

- a) Los cambios de carga en el proceso no son grandes ni frecuentes.
- b) La velocidad de reacción del proceso hacia las disturbancias es lenta.
- c) Los atrasos de medición y control son pequeños.

En algunas aplicaciones del control de dos posiciones, únicamente una parte de la entrada al proceso es operada por la válvula de control. El resto entra directamente. Esto resulta en una operación suave debido a que la variable manipulada cambia en un pequeño rango de operación, nunca llega a un valor cero. Esta aplicación del control de dos posiciones está limitada a procesos con solo pequeños cambios de carga.

El control de dos posiciones es muy utilizado debido a que es barato, simple y fácilmente aplicado. Es muy común en instalaciones con gran capacidad para cambios en la temperatura o en el nivel de líquidos, tales como hornos industriales, tanques de almacenamiento, precalentadores, refrigeración, acondicionamiento de aire, etc. En procesos con altas velocidades de respuesta o atrasos muy fuertes en alguna parte del sistema, el control de dos posiciones no es adecuado.

En la figura V-3 se muestran dos diagramas esquemáticos de controladores neumáticos de dos posiciones, con ajuste de la zona diferencial.

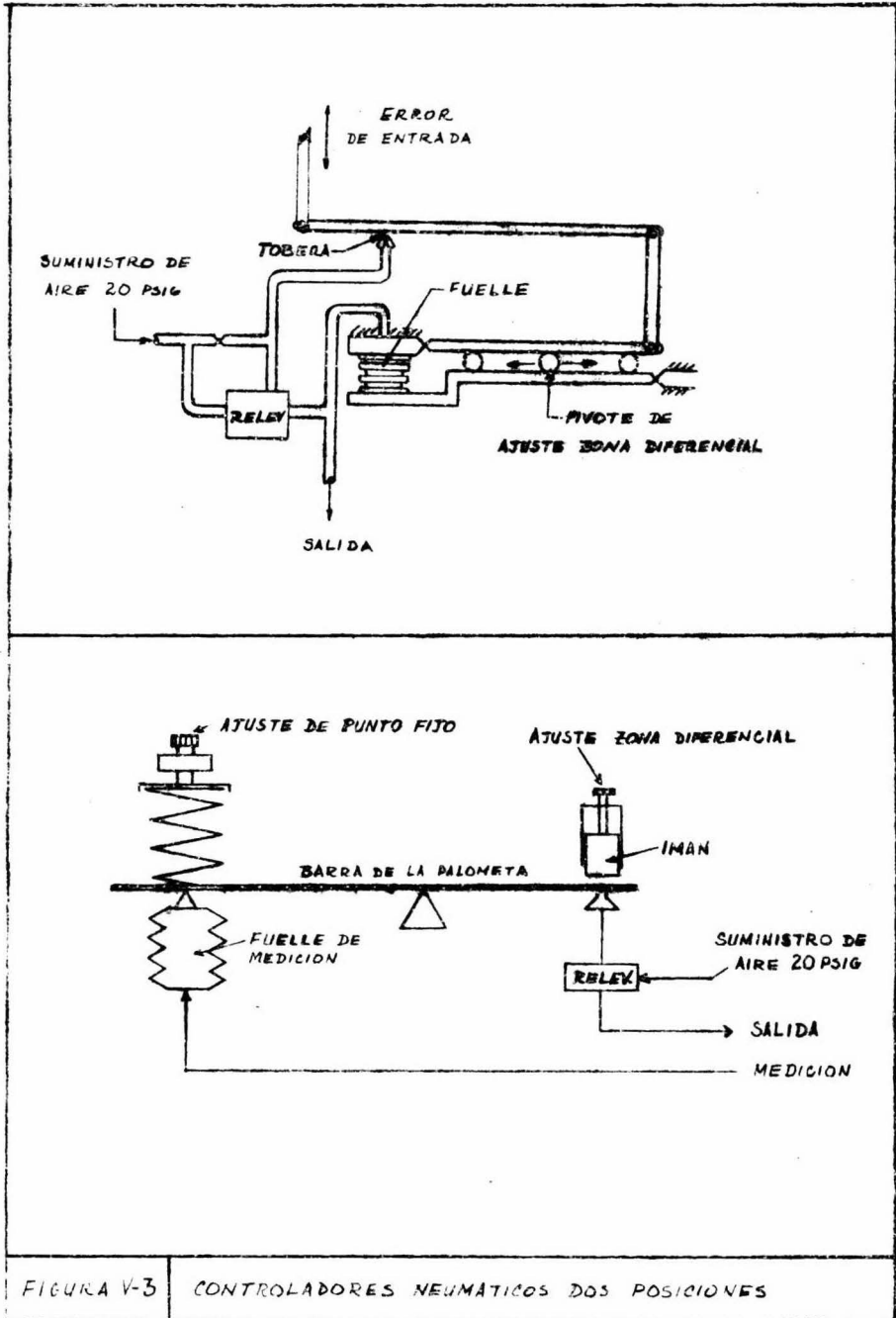


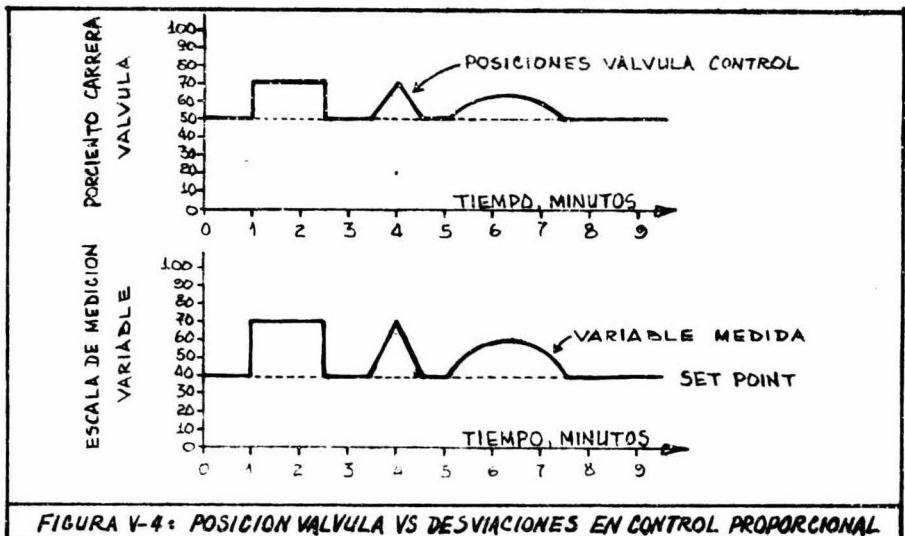
FIGURA V-3

CONTROLADORES NEUMATICOS DOS POSICIONES

2. Control proporcional.

Es el modo de control en el cual la salida del controlador es proporcional a la señal de error o desviación entre la variable medida y el set point. La salida del controlador proporcional no está restringida a dos valores como en el caso del control de dos posiciones, sino que puede ser cualquier valor de mínimo a máximo del rango total de la salida.

En este tipo de control la magnitud de la desviación causará una determinada carrera de la válvula de control en dirección tal que tienda a anularse la desviación. Los efectos causados por las desviaciones sobre la válvula de control con control proporcional son mostrados en la Figura V-4. La posición de la válvula cambia en proporciones exactas a las excursiones de la variable medida del set point.



Comúnmente el controlador proporcional se calibra mediante el "reajuste manual" para que ocurra una salida del 50% cuando el error ó desviación es cero. Así, cuando coinciden en el mismo valor la variable medida y el set point ó punto fijo, el controlador posiciona a la válvula de control en el 50% de su carrera.

El control proporcional puede expresarse con la ecuación de la recta, donde la pendiente (m) es el factor de proporcionalidad entre la salida del controlador (Y) y la señal de error (E). Este factor de proporcionalidad se denomina también ganancia. Entonces:

$$Y = mE + b$$

donde, $m = G$ = ganancia, y $E = M - R$ = desviación ó error. Substituyendo:

$$Y = G(M - R) + b$$

donde, Y = salida del controlador en % de la gama de salida.
 G = ganancia.
 M = valor de la variable medida, en %.
 R = valor del set point ó punto fijo, en %.
 b = 50 ó cualquier otro valor constante dependiendo -- del ajuste con el "reajuste manual".

Frecuentemente se utiliza el término Banda proporcional (B) para describir la ganancia del controlador y se define ($B = 100/\text{ganancia}$) como el porciento de la escala de medición que deberá recorrer la variable medida para causar una - carrera del 100% de la válvula de control. Entonces, la ecua

ción completa para el modo de control proporcional es:

$$Y = \frac{100}{B} (M-R) + b \quad (1)$$

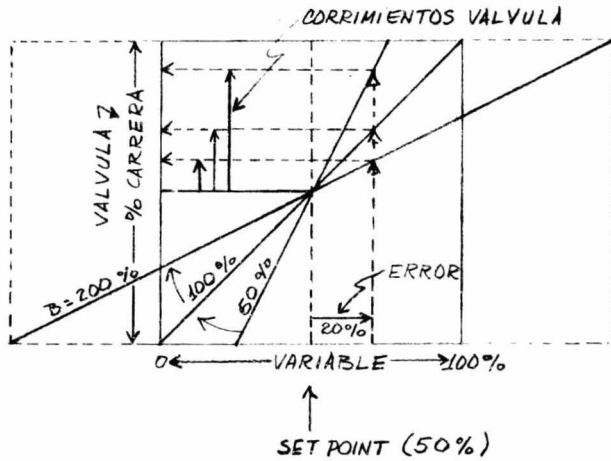
De la ecuación (1) se deduce que la salida del controlador proporcional es:

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

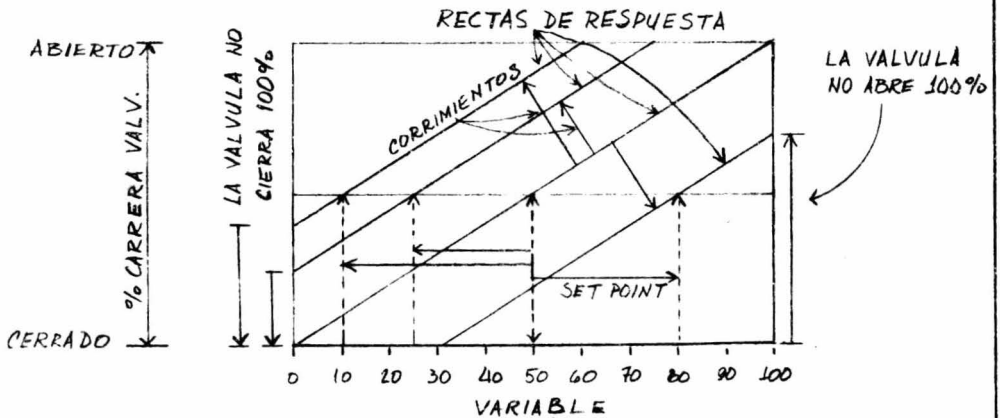
Por consiguiente, la respuesta de un controlador proporcional está caracterizada por la magnitud de desviación y por el ajuste de banda proporcional.

2.1 Característica de las respuestas de un controlador proporcional.

Si el set point de un controlador proporcional se fija en el 50% de la escala de medición y el ajuste de banda proporcional se mueve a diferentes valores, por ejemplo, $B = 50\%$, 100% y 200% , se obtendrá una familia de rectas representando las diferentes respuestas del controlador (Figura V-5a).



a) AJUSTE DE BANDA PROPORCIONAL



b) AJUSTE DE SET POINT

Como se aprecia en la Figura V-5a, un error de 20% entre la variable medida y el set point causará corrimientos de posición de la válvula de control que dependerán del ajuste de banda proporcional. Mientras más amplia sea la banda proporcional menor será el desplazamiento de la válvula.

Así mismo se aprecia que cuando $E > 100\%$, la válvula de control no abre ni cierra totalmente; aquí la variable manipulada no es operada 100% a pesar de las magnitudes de desviación.

El ajuste de banda proporcional usualmente cubre un rango de 1 a 400%, considerándose ajuste de banda angosta de 1 a 50%; de banda moderada de 50 a 150% y de banda ancha de 150% en adelante.

Ahora, si la banda proporcional se fija en 100% y el ajuste de set point se mueve a diferentes valores, por ejemplo, $R = 10, 25$ y 80% , se obtendrá un corrimiento proporcional de la recta de respuesta del controlador, corriéndose igualmente la zona de influencia sobre la válvula de control (Figura V-5b). Como puede apreciarse, al correrse la recta de respuesta del controlador habrá posiciones en las cuales la válvula de control no abre o no cierra totalmente.



QUIMICA

2.2 Sensibilidad del controlador proporcional.

Derivando la ecuación (1) con respecto al tiempo, se obtiene la ecuación de sensibilidad del controlador proporcional:

$$\frac{dY}{dt} = \frac{100}{E} \left(\frac{dE}{dt} \right) \quad (2)$$

De la ecuación (2) se deduce que la velocidad de respuesta del controlador proporcional es:

- a) Directamente proporcional a la velocidad de desviación entre variable medida y set point.
- b) Inversamente proporcional al ajuste de banda proporcional.

Para un buen control la velocidad de respuesta del controlador proporcional debe ser ligeramente mayor que la velocidad de reacción del proceso cuando ésta es alta, y ligeramente menor cuando la reacción del proceso es lenta.

Por consiguiente, la banda proporcional debe ajustarse de acuerdo con la velocidad de reacción del proceso bajo control. Si la velocidad de reacción del proceso es alta, se requiere alta sensibilidad del controlador (banda proporcional angosta), y por lo contrario, para baja velocidad de reacción se requieren bandas proporcionales anchas.

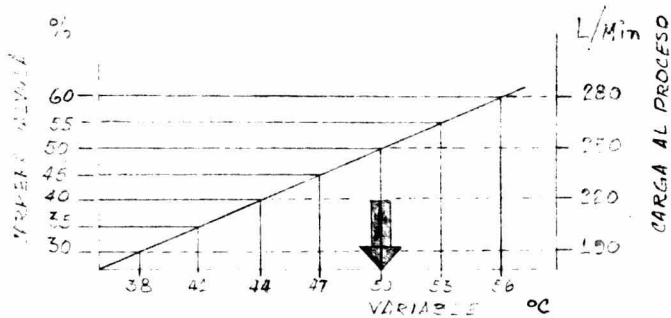


FIGURA V-6: CURVA EQUILIBRIO - CARGA AL PROCESO VS CARRERA VALVULA VS VARIABLE (TEMPERATURA).

El controlador proporcional fija a la válvula de control en el 50% de la carrera (reajuste manual) cuando coinciden la variable medida y el set point ó punto fijo. El sistema se estabilizará en estas condiciones única y exclusivamente para un determinado régimen de carga al proceso bajo control. Cualquier otro régimen de carga al proceso causará una "desviación permanente fija" ó offset entre la variable medida y el set point. En la Figura V-6 se observa como para solo un determinado punto sobre la curva de regímenes de carga al proceso se cumple con la condición de equilibrio set point-variable-50% carrera.

Un régimen de carga diferente al de 50% se equilibrará con una carrera fija de válvula y con un valor específico- constante de variable medida, siempre diferente al del set point. El offset es característico del control proporcional y será mas amplio mientras más ancha sea la banda proporcional. En la Figura V-7 se muestran diferentes respuestas y offset para cambios de carga en un proceso bajo control proporcional, con diferentes ajustes de banda proporcional.

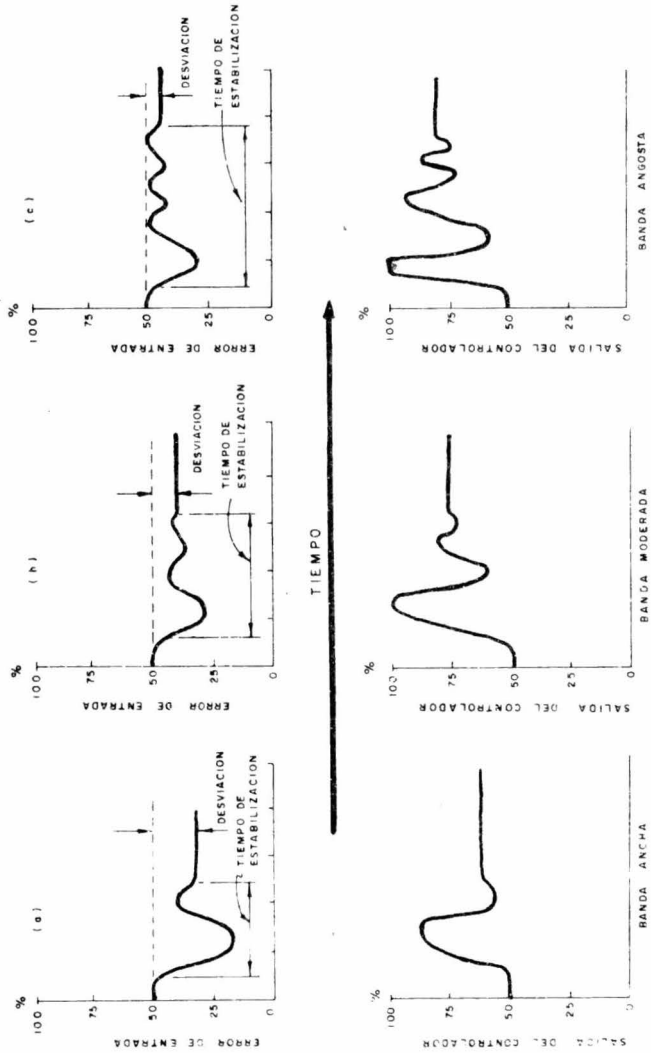


FIGURA V-7

RESPUESTAS CARACTERISTICAS DEL CONTROL PROPORCIONAL

1975

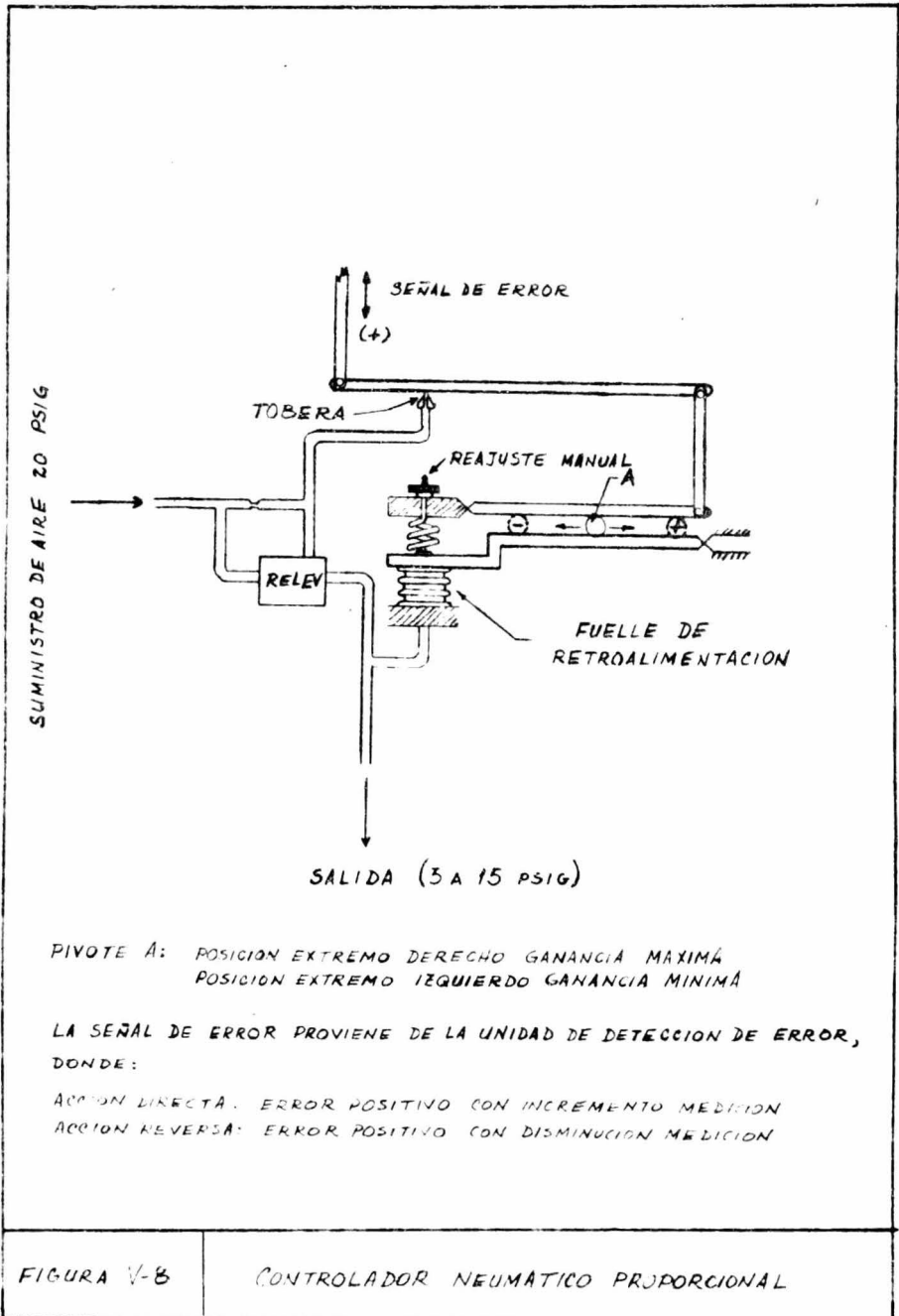
TESIS
SERGIO GARCIA M.

Resumiendo, el control proporcional es adecuado cuando:

- a) Los cambios de carga en el proceso son moderados y de baja frecuencia.
- b) La velocidad de reacción del proceso hacia las disturbancias es moderada.
- c) Los atrasos de medición y control son pequeños.

El control proporcional es muy utilizado para control de presión, temperatura y nivel cuando el offset no es objeccionable. Como ejemplos encontramos control proporcional para nivel en rehervidores, tanques de balance, calderetas, etc.; control proporcional de temperatura en secadores, hornos industriales, cambiadores de calor, etc.; control proporcional de presión en estaciones reductoras de presión, domo de vapor de calderetas, presión en recipientes, etc.

En la Figura V-8 se representa esquemáticamente un controlador neumático proporcional. La salida del controlador se aplica a un fuelle de retroalimentación para reducir el cambio en la posición de la palometa, generado por el cambio inicial de la señal de error. La posición del pivote ajustable (A) en un extremo de la barra de ganancia prácticamente elimina el efecto de la retroalimentación, produciendo una ganancia elevada de la salida del controlador, o banda proporcional angosta.



La posición del pivote ajustable (A) en el otro extremo de la barra de ganancia, hace máximo el efecto de retroalimentación, produciendo una ganancia mínima en la salida del controlador con respecto a los cambios de entrada, ó banda -- proporcional ancha. En este tipo de controladores la ganancia tiene un ajuste continuo, típicamente de 0.25 a 100.

Los controladores proporcionales frecuentemente tie--nen un ajuste denominado "reajuste manual" ó de alineamiento. Con este ajuste se provee una fuerza en oposición al fuelle -- de retroalimentación, haciendo posible aumentar ó disminuir -- la salida del controlador a un valor fijo, para asegurar el -- balance variable medida-set point. Es decir, cuando se alcan--za el equilibrio variable medida-set point, el controlador retorna al valor del ajuste de b (reajuste manual).

En la práctica la banda proporcional debe ajustarse -- tan angosta como sea posible sin llegar a causar oscilaciones -- contínuas de la variable medida. Si la banda proporcional resultante es amplia, ocurrirá un offset ó desviación fija per--manente, incuestionablemente.

3. Control proporcional mas derivativo (rate).

Ciertos procesos principalmente aquellos de control de temperatura están sujetos a desviaciones relativamente fuertes cuando son afectados por un desajuste transitorio de cualquiera de sus condiciones, si son controlados proporcionalmente. Esto es debido a características del proceso por las cuales se absorbe y se almacena energía, provocando un retraso de tiempo entre el disturbio y la manifestación de desviación de la variable controlada del set point.

La acción correctiva del controlador proporcional se inicia entonces tiempo después de que ha sucedido el desajuste, causando que la desviación se acreciente demasiado. Estos efectos requieren bandas proporcionales anchas para evitar inestabilidad del control. A su vez la banda proporcional ancha permite mayor desviación y un retorno mas lento al set point, que lo deseable.

Es necesario por consiguiente, adicionar al control proporcional una acción de anticipación en tiempo de la corrección proporcional, posicionando la válvula de control en función del régimen de cambio de la desviación; esto es, se necesita detectar no solo la magnitud de la desviación, sino la velocidad a la cual la variable medida se separa del set point.

Esta anticipación en tiempo en la posición de la válvula de control debe tener lugar en cualquiera de las direcciones de movimiento de la variable controlada, de manera que cuando el proceso haya retornado a su set point, la válvula estará en su posición normal proporcional.

El modo de control proporcional más derivativo (rate) es una acción de control en el cual la salida del controlador es proporcional a la combinación lineal de la desviación más la rapidez de cambio de esa desviación ó señal de error. Esta acción de control se logra instalando una restricción ajustable entre la salida del relevador y el fuelle de retroalimentación de un controlador proporcional neumático (Figura V-11).

La acción de control proporcional más derivativa se expresa matemáticamente por la siguiente ecuación:

$$Y = GE + GTdE' + b$$

donde, Y = salida del controlador en % gama total de salida.
 G = ganancia proporcional = 100/B
 E = desviación ó error en %
 Td = tiempo derivativo (minutos)
 E' = la primera derivada del error con respecto al tiempo = dE/dt.
 b = 50 ó cualquier otro valor fijado por el reajuste manual.

Analizando el segundo miembro de la ecuación, relacionando la salida del controlador con la acción derivativa pura $Y = GTdE'$, ó sea:

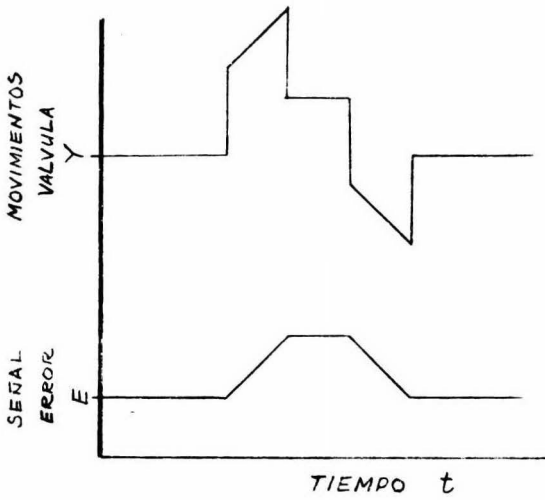
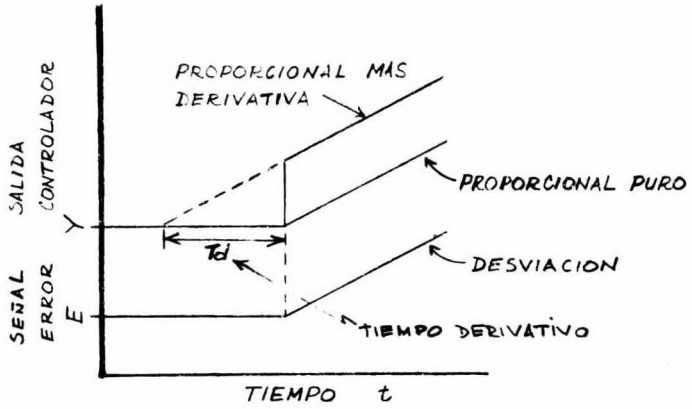
$$Y = \frac{100}{B} T_d \left(\frac{dE}{dt} \right) \quad (3)$$

se deduce que la posición de la válvula de control con la acción derivativa pura es:

- a) Directamente proporcional al ajuste de tiempo derivativo T_d .
- b) Inversamente proporcional al ajuste de banda proporcional.
- c) Directamente proporcional a la velocidad de desviación entre variable medida y el set point.

El efecto causado por una desviación entre variable medida y set point sobre la válvula de control, con control proporcional mas derivativo, se muestran en la Figura V-9. Obsérvese la desaparición de la acción derivativa al estabilizarse la desviación. Cuando ya no existe régimen de cambio de la desviación, únicamente se tiene la respuesta proporcional del controlador.

La acción derivativa proyecta a la acción proporcional anticipándola en la ordenada de tiempo. El tiempo derivativo T_d (Figura V-9) es la cantidad de anticipación expresada en unidades de tiempo con la cual este modo de control aventaja a la acción de control proporcional puro.



En la Figura V-10 se representa un cambio de carga en un proceso que provocará que la variable medida "temperatura" se separe del set point. En este proceso hay un retraso de tiempo debido a la alta capacidad del mismo. Se representan asimismo la posición de válvula debido a la acción proporcional mas derivativa y la posición hipotética de la válvula debido a la componente proporcional de la acción total. Con control proporcional puro, el perfil de oscilaciones de la temperatura es mostrado por la línea punteada.

Obsérvese que el incremento fijo de la carga en el proceso causa offset del control. Es importante notar que el controlador con respuesta proporcional mas derivativa es un dispositivo cuyo sólo propósito es estabilizar rápidamente una medición del proceso. Está sujeto a la desviación permanente fija (offset) en la misma forma que el controlador que solo tiene respuesta proporcional.

Por consiguiente, el modo de control proporcional mas derivativo es adecuado cuando:

- a) Existe una constante de tiempo fuerte en el proceso (retraso).
- b) La desviación permanente entre variable medida y set point provocada por cambios de carga en el proceso no es objeccionable.
- c) No hay cambios excesivos ni frecuentes de carga.

NOTA: OBSÉRVESE ACCION ESTABILIZADORA DEL CONTROL DERIVATIVO.
 LA VARIABLE NO RETORNA AL SET POINT (OFFSET) PERO ES -
 RAPIDAMENTE ESTABILIZADA.

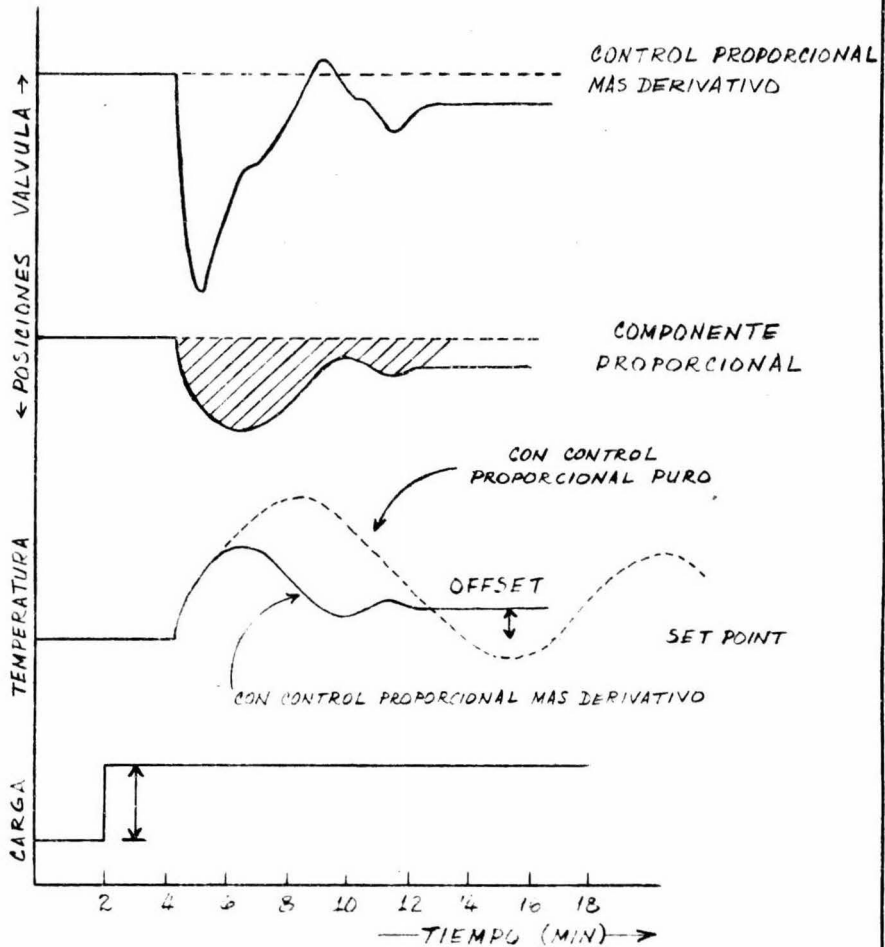


FIGURA V-10

ACCIONES CONTROL PROPORCIONAL MAS DERIVATIVO

d) Se requiere rápida estabilización del sistema.

La utilización frecuente del rate o acción derivativa en combinación con otras acciones de control se encuentra en instalaciones donde hay un control crítico de temperatura, nivel, presión, flujo, etc. El rate en una combinación de control proporciona la acción anticipatoria necesaria para eliminar los retrasos en el sistema, también denominados "tiempo muerto". El offset entonces será minimizado por cualquier otra acción del modo de control, tal como la acción integral, o de reposición automática.

La acción derivativa o rate también es denominada acción anticipatoria. Al tiempo derivativo T_d también se le conoce como "tiempo de rate".

SUMINISTRO DE
AIRE 20 PSIG

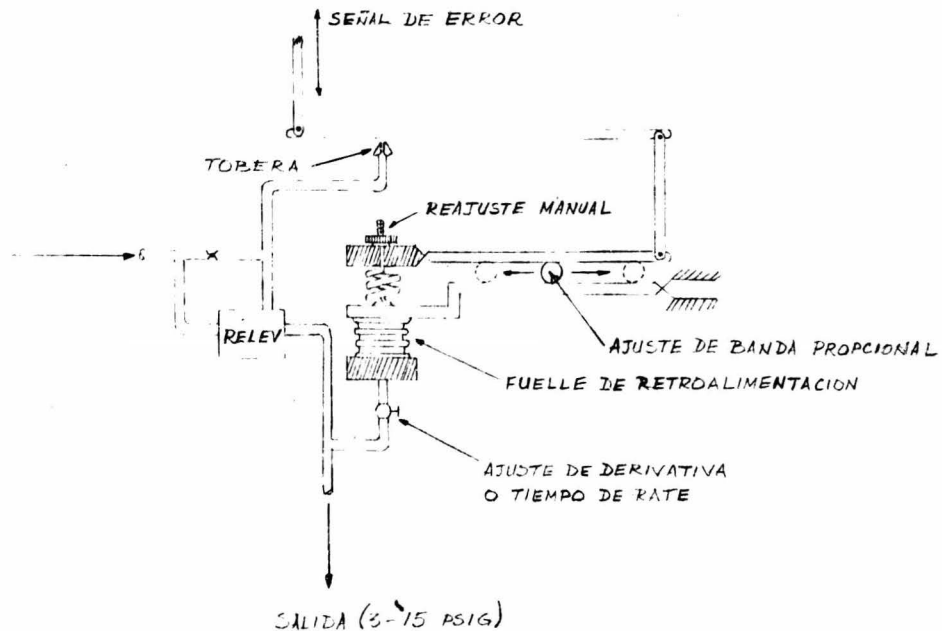


FIGURA V-11

CONTROLADOR NEUMATICO PROPORCIONAL MAS DERIVATIVO

1975 TESIS PROFESIONAL
SERGIO GARCIA MENESES

4. Control proporcional mas integral (reset).

La adición de la acción integral a un controlador proporcional constituye uno de los más utilizados modos de control. La acción proporcional provee excelente respuesta a todo tipo de variaciones y puede utilizarse donde hay retrasos moderados de tiempo. La acción integral compensa para cambios grandes de carga, eliminando el offset. Consideremos un controlador con acción integral solamente.

La acción integral pura ajusta la salida del controlador integrando la desviación ó señal de error, sobre el tiempo de manifestación. Matemáticamente la salida integral está dada por:

$$Y_i = f \int_{t_0}^{t_i} E dt + K$$

Si en un momento se tiene una desviación ó error E -- constante, durante un tiempo total t_i , la salida del controlador con acción integral pura será:

$$Y_i = fE \int_{t_0}^{t_i} dt = fE(t_i - t_0) = fEt_i$$

donde f se denomina velocidad de reposición (reset) y tiene unidades de tiempo recíproco. Usualmente se expresa en repeticiones por minuto. Si en el ejemplo anterior f es igual a dos repeticiones por minuto, y t_i es de dos minutos, el cambio en

la salida del controlador alcanzará un valor equivalente a -- cuatro E (Figura V-12a). Veamos:

$$Y_i = fEt_i = \frac{2 \text{ rep.}}{\text{minuto}} \times E \times 2 \text{ minutos} = 4E$$

de esta forma las correcciones por acción integral para son - dependientes de la magnitud de E, del ajuste de f, y de la du ración ó persistencia de E. El controlador continuará las re- peticiones de la corrección por minuto, hasta que E sea cero; es decir, hasta eliminar la desviación.

La acción integral es única en este aspecto y realiza correcciones exactas para cualquier perturbancia o cambio de- carga en el proceso, retornando el valor de la variable medi- da al set point.

Pero la acción integral es demasiado lenta para utili- zarse por sí sola, permitiendo mayor magnitud y duración de - las desviaciones debido a que es una integración de la desvia- ción; por el otro lado, si se incrementa el ajuste de f (reset), la salida del controlador se vá al máximo cuando la desviación ya tiene un valor y duración por encima del set point y perma necerá así, hasta que la desviación tenga un valor y duración por abajo del set point. Esto provoca oscilaciones en el pro- ceso.

En la combinación de control proporcional más control

integral se suman la velocidad proporcional con la integración de la acción integral, siendo la respuesta total la combinación de las dos acciones. Matemáticamente:

$$Y = GE + Gf \int_{t_0}^{t_i} Edt + K$$

donde Y es la salida total del controlador y G es la ganancia proporcional.

En la figura V-12c, se representa el comportamiento de un sistema bajo control proporcional mas integral. La acción integral elimina el offset y la acción proporcional estabiliza al proceso.

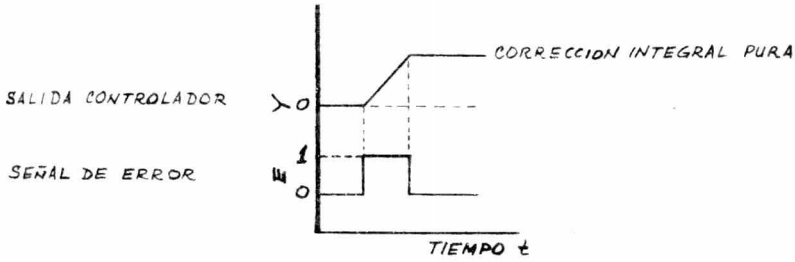
El control proporcional mas integral es adecuado cuando:

do:

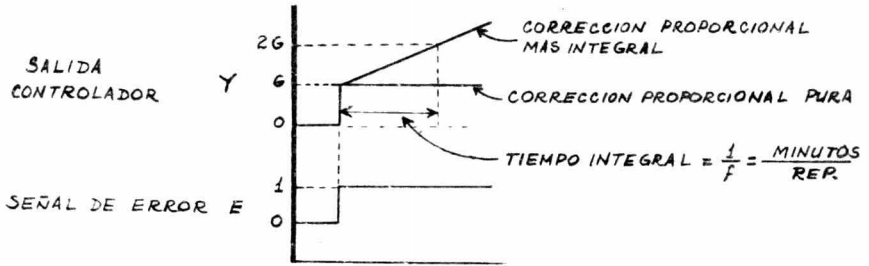
- a) Los cambios de carga en el proceso son grandes pero de velocidad moderada.
- b) Las velocidades de respuesta del proceso son de moderadas a altas.
- c) No hay retrasos fuertes de tiempo en el sistema.

Una seria desventaja de este modo de control ocurre cuando se arranca en automático un proceso, debido a que la variable medida tiene un valor inicial de cero. Esta señal de error máximo posiciona la válvula de control en un extremo, y permanecerá así hasta que la variable medida alcance y cruce-

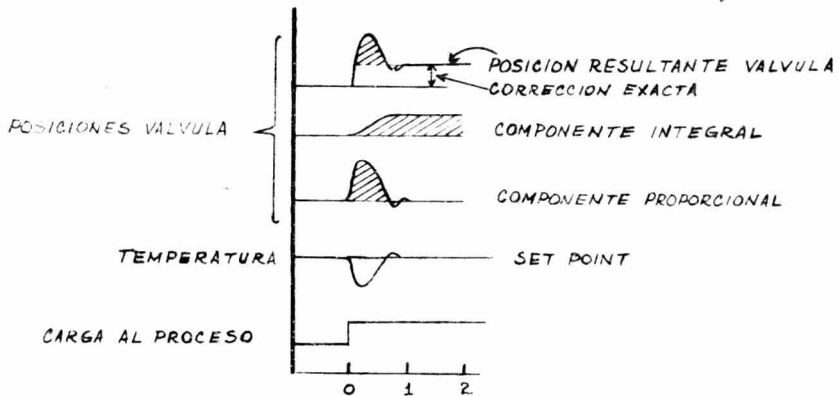
A ACCION INTEGRAL PURA.



B ACCION PROPORCIONAL MAS INTEGRAL.



C APLICACION A CONTROL PROCESOS.



el set point. Un proceso es difícil que soporte esta condición ya que un arranque implica llegar a determinadas condiciones de operación, pero gradualmente.

La adición de la acción derivativa ó rate es benéfico a este respecto, desde que la salida derivativa actúa la posición de la válvula de control conforme la señal de error comienza a disminuir.

4.1 El controlador neumático proporcional mas integral.

La adición de un fuelle neumático de reset (Figura V-13) alimentado a través de una restricción ajustable en la línea de aire, en el arreglo de un controlador neumático proporcional, de iguales características al fuelle de retroalimentación, adiciona la acción integral al controlador. El fuelle de reset se opone al fuelle de retroalimentación.

Un incremento en la señal de entrada provoca un aumento en la salida del relevador que se retroalimenta tanto al fuelle de retroalimentación como al fuelle de reset. La presión en el fuelle de reset aumenta gradualmente, tanto como el aire pasa a través de la restricción ajustada, oponiéndose al fuelle de retroalimentación, causando un aumento adicional continuo y gradual de la salida del relevador.

El efecto sumado obligará a la variable medida a re--

tornar al set point, disminuyendo la señal de entrada al controlador y disminuyendo la salida del relevador, retardándose la salida neumática debido a que el fuelle de reset está ahora depresionándose lentamente. Al coincidir variable medida y el set point, dejará de actuar la señal de error permitiendo, que la presión en los fuelles de retroalimentación y reset instantáneamente se equilibren prácticamente con la presión de salida al suceder el balance. Se tiene ahora al mecanismo equilibrado con una nueva presión de salida, diferente de la original y con la variable medida en el set point.

El ajuste de reset está calibrado de 0.001 a 10 repeticiones por minuto, correspondiendo 0.001 repeticiones por minuto a la posición de cerrado de la restricción.

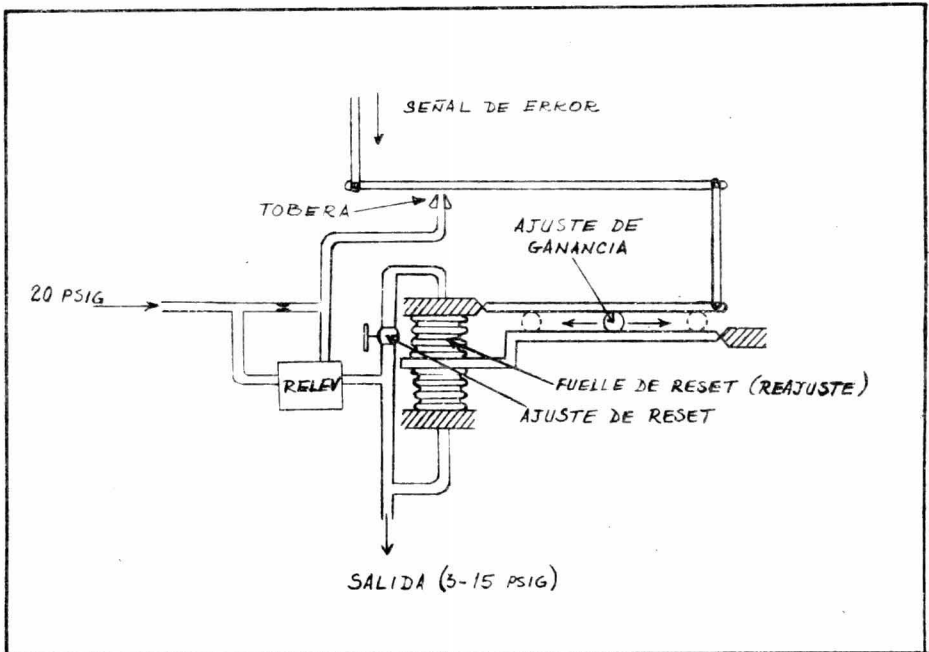


FIGURA V-13 CONTROLADOR PROPORCIONAL MAS INTEGRAL

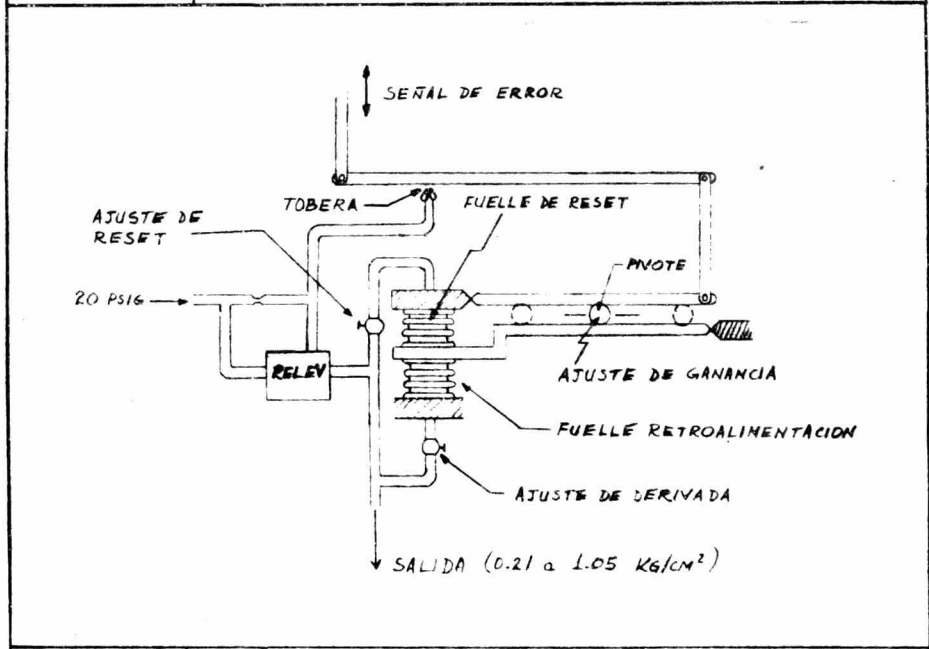


FIGURA V-14 CONTROLADOR PROPORCIONAL MAS INTEGRAL MAS DERIVATIVO

5. Control proporcional más integral más derivativo.

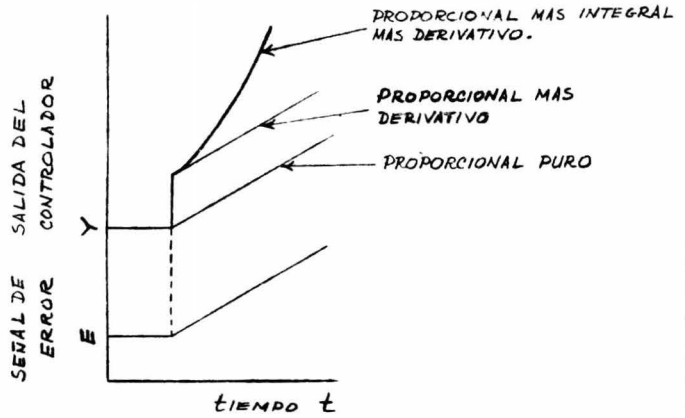
La combinación de las tres acciones de control provee el mejor modo de control posible a utilizarse para el control de procesos. Las ventajas de cada acción se combinan: la corrección directa de la acción proporcional, complementada con la eliminación del offset, naturaleza propia de la acción integral; y la estabilizante, rápida respuesta de la acción derivativa, la cual es efectiva para absorber todo tipo de retrasos de tiempo en el proceso bajo control.

La respuesta del controlador proporcional más integral más derivativo ante una señal de error o desviación de la variable medida del set point, se representa esquemáticamente en la Figura V-15a. En la Figura V-15b se muestra la aplicación típica a un proceso. En estas representaciones puede apreciarse como cada acción contribuye con su propiedad especial en la caracterización de la salida del controlador.

Por consiguiente, la respuesta de este controlador está en relación directa a la combinación lineal de la magnitud del error, más la integración del error durante el tiempo de manifestación y a la velocidad a la cual se manifiesta el error.

La ecuación matemática que representa a este modo de control es la siguiente:

A CARACTERISTICA DE LA RESPUESTA ANTE UNA SEÑAL DE ERROR



B APLICACION A CONTROL UN PROCESO

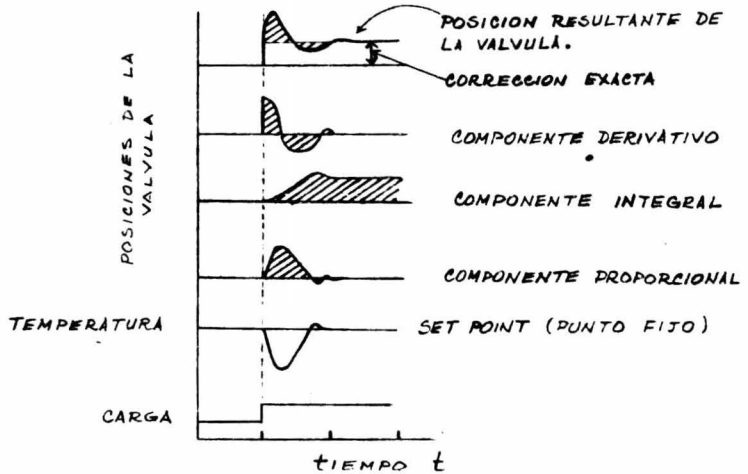


FIGURA V-15

CONTROL PROPORCIONAL MAS INTEGRAL MAS DERIVATIVO

$$Y = GE + Gf \int_{t_0}^{t_i} Edt + GTdE' + K$$

donde, Y = salida del controlador en %.
 G = ganancia (100/ajuste de banda proporcional).
 E = desviación ó señal de error.
 f = magnitud de reset (1/ajuste de tiempo integral).
 Td = ajuste de tiempo derivativo.
 E' = dE/dt
 K = posición inicial de la válvula de control al manifiestarse E.

Un controlador proporcional más integral más derivativo se representa esquemáticamente en la Figura V-14. Los fabricantes de instrumentos diseñan estos controladores de forma que los ajustes integral y derivada tengan escalas similares, expresadas en minutos. Por lo tanto el ajuste de reset ó integral está graduado en minutos (minutos por repetición), - que corresponden al tiempo integral T_i .

El modo de control proporcional más integral más derivativo es adecuado cuando:

- a) Los cambios de carga en el proceso se manifiestan a cualquier velocidad, duración y frecuencia.
- b) La velocidad de reacción del proceso a las perturbancias es muy variable.
- c) Existen retrasos de tiempo.
- d) El proceso es de tipo batch o discontinuo y sufre desviaciones súbitas del set point.

5.1 Procedimiento de ajuste del controlador proporcional más-integral más derivativo.

Para ajustar empíricamente el controlador y satisfacer las características del proceso bajo control, deben seguirse los siguientes pasos:

1. Controle el proceso en Manual desde la estación del operador; es decir, pase de control automático a control manual. Cuando haya estabilidad en el proceso:

2. Ajuste el tiempo derivativo al mínimo (efecto derivativo mínimo); ajuste el tiempo integral al máximo (efecto integral mínimo); y ajuste la banda proporcional al máximo (efecto proporcional mínimo).

3. Retorne el proceso a control automático, y disminuyendo a pasos la banda proporcional observe la aparición de oscilaciones leves. Aumentando a pasos el tiempo derivativo, elimine estas oscilaciones. Nuevamente disminuya la banda proporcional hasta causar de nuevo las oscilaciones. Siga aumentando el tiempo derivativo. Cuando a pesar de los ajustes de aumento del tiempo derivativo no se eliminan las oscilaciones, regrese al ajuste inmediato anterior, y ampliando ligeramente la banda proporcional, estabilice la operación del proceso.

4. Ajuste el tiempo de reset igualando el tiempo derivativo. Es todo.

6. La selección del modo de control.

En el diseño de sistemas de control automático de procesos probablemente la más difícil decisión es la de la selección del más adecuado y económico modo de control.

La selección es generalmente un balance entre la calidad del control a obtenerse y el costo inicial del sistema de control. El sistema de control debe satisfacer la calidad de control exigida por el proceso, y no deben incluirse refinamientos. Adiciones innecesarias hacen excesivo el costo.

Pero, si existiese cualquier duda, deben elegirse controles e instrumentos adecuados, debido a que la pérdida económica por sobreinstrumentación es pequeña comparada con la pérdida en calidad y cantidad resultantes de un restringido equipo de control.

En la siguiente Tabla se dan los modos de control adecuados a diversos tipos de procesos. Esta tabla es solamente una guía general y no debe considerarse más que como una aproximación para la selección de los modos de control.

Modo de Control	Velocidad de reacción del proceso.	Cambios de Carga		Aplicaciones.
		Tamaño	Velocidad	
Dos posiciones.	Lento	Cualquiera	Cualquiera	Instalaciones con gran capacidad para Temperatura y Nivel. Tanques de almacenamiento, precalentadores, refrigeración, etc
Proporcional.	Lento a moderado.	Pequeños.	Moderados.	Presión, Temperatura y Nivel, donde el offset no es objectionable. Rehervidores, Secadores Estaciones reductoras de presión.
Proporcional -- mas derivativo. (rate).	Moderado	Pequeños.	Cualquiera.	Donde se necesita más bien estabilidad, con offset mínimo. Rehervidores Calderetas, Hornos Presión en recipientes, etc.
Proporcional -- mas integral -- (reset).	Cualquiera.	Grandes.	Lentos a moderados	Muchas aplicaciones incluyendo Flujo. No conveniente para procesos batch y donde no se soporten "picos".
Proporcional -- mas integral -- mas derivativo.	Cualquiera.	Grandes.	Rápidos.	Control de procesos batches y donde hay desviaciones fuertes y repentinas.

SEGUNDA PARTE

LA ELABORACION DE PROGRAMAS
DE CAPACITACION.

CONTENIDO.

	Páginas
CAPITULO I: La importancia de los programas de capacitación.....	B-5
CAPITULO II: La determinación de necesidades de capacitación.....	B-9
1. Necesidades manifiestas.....	B-10
2. Necesidades encubiertas 2.1 Análisis de puesto 2.2 Inventario de habilidades 2.3 Técnica de las tarjetas 2.4 Cuestionario- 2.5 Combinación de técnicas.....	B-14
CAPITULO III: Redacción y análisis de objetivos.....	B-24
1. Redacción de los objetivos 1.1 Presentación 1.2 Formas de conducta 1.3 Condiciones de operación 1.4 Nivel de eficiencia- 1.5 Instructivo para la redacción de objetivos.....	B-24
2. Análisis de los objetivos 2.1 Instructivo para análisis de objetivos.....	B-33
CAPITULO IV: Estructuración del contenido y evaluaciones.....	B-40
1. Estructuración del contenido 1.1 Naturaliza de las tareas 1.2 Secuencia lógica -- 1.3 Unidades de instrucción.....	B-40
2. Planeación de la evaluación 2.1 Formas de conducta 2.2 Formas de evaluar.....	B-45
3. Elaboración de los instrumentos de evaluación 3.1 Pruebas escritas 3.2 Pruebas de ensayo 3.3 Evaluación de actitudes.....	B-51
CAPITULO V: Las tareas del instructor.....	B-57
Tabla del aprendizaje.....	B-62

C A P I T U L O ILA IMPORTANCIA DE LOS PROGRAMAS DE CAPACITACION.

Uno de los recursos que fundamentan la constitución y vida de una empresa, ya sea ésta proporcionadora de productos o servicios, es el humano. Los recursos humanos son tan importantes como los recursos materiales, financieros o tecnológicos.

Una empresa para su funcionamiento eficiente y seguro resuelve sus problemas o adopta soluciones a sus problemas en sus recursos básicos. Así, como existen problemas en los recursos materiales, financieros, tecnológicos, etc. a resolver, existen problemas fundamentales en los recursos humanos. Entre las consecuencias mas comunes de problemas en los recursos humanos encontramos:

- a) Ausentismo.
- b) Exceso de tiempo extra.
- c) Desgaste excesivo del equipo, maquinaria, herramientas, etc.

- d) Desperdicio de materiales y refacciones.
- e) Escasa productividad, baja calidad del producto ó del servicio y costos elevados.
- f) Alto índice de accidentes, irresponsabilidad, etc.
- g) Actitudes negativas hacia la empresa.

Las causas de tales problemas pueden ser personales ó de la organización. Cuando los problemas se deben a deficiencias en los conocimientos ó habilidades intelectuales, destrezas manuales ó actitudes personales en los trabajadores, se habla de necesidades de capacitación y que es fundamentalmente necesario satisfacer para que el personal resuelva con - - buen éxito los problemas y alcance así su nivel requerido.

Los programas de capacitación diseñados para resolver estas necesidades deben proporcionar los conocimientos, las habilidades, las destrezas, y las actitudes necesarias.

Así, las etapas ó fases que debe cumplir un programa de capacitación en la empresa, para que sea efectivo y alcance las metas propuestas, son:

- a) Determinación de necesidades de capacitación.
- b) Planeación de la instrucción.
- c) Preparación de la instrucción.
- d) Conducción de la instrucción.
- e) Organización del curso.

La determinación de necesidades proporciona los antecedentes para la elaboración del programa de capacitación. La planeación entonces consta de los siguientes pasos:

- a) Fijación de los objetivos ó metas del programa.
- b) Estructuración del contenido.
- c) Planeación y elaboración de los instrumentos de -- evaluación.

La preparación de la instrucción consiste en la preparación de las actividades necesarias para llevar a cabo el -- programa de capacitación y consta de las siguientes etapas:

- a) Selección de técnicas y materiales didácticos.
- b) Preparación de actividades.

Para la organización y conducción del curso deben considerarse aspectos tales como la comunicación y actitudes del instructor, características de los adultos, manejo de grupos-- de instrucción y manejo de aparatos y prácticas.

Para el desarrollo de la presente Tesis, además de la importancia de la capacitación, se considerarán los siguien--tes objetivos:

- determinará las necesidades de capacitación,
- redactará los objetivos generales de un programa de capacitación,

- desglosará los objetivos generales en objetivos específicos y en contenidos,
- estructurará los contenidos y los desarrollará,
- planeará y elaborará los instrumentos de evaluación,
- identificará las tareas del instructor.

Como ya se ha estipulado, los ejemplos de esta segunda parte, se desarrollan en el texto elaborado "Instrumentación para operadores de plantas de proceso".

C A P I T U L O I ILA DETERMINACION DE NECESIDADES DE CAPACITACION.

Para conocer con exactitud las necesidades de capacitación es necesario realizar una investigación. Esta determinación de necesidades constituye el obligado punto de partida para la elaboración de cualquier programa de capacitación que pretenda cumplir con su cometido.

Básicamente, es necesario contestar dos preguntas:

- a) ¿Quién necesita capacitarse?
- b) ¿En qué necesita capacitarse?

Los resultados concretos que debe arrojar la determinación de necesidades de capacitación, respuesta a las preguntas anteriores, son:

- a) Número exacto de participantes al programa.

- b) Descripción precisa y detallada de las actividades en que serán capacitados.
- c) Características de los participantes.

Además de estos resultados es útil obtener evidencias suficientes que justifiquen las necesidades detectadas. Ahora para iniciar la investigación es conveniente partir del hecho de que existen necesidades de capacitación manifiestas y necesidades de capacitación encubiertas.

1. NECESIDADES MANIFIESTAS.

Las necesidades de capacitación manifiestas, por ser evidentes, son establecidas con base en el sentido común y no requieren, para ser detectadas, de la utilización de técnicas como cuestionarios, pruebas, etc. Se localizan cuando:

- a) Se incorpora personal de nuevo ingreso a la empresa.
- b) Se asciende personal a categorías superiores o se desplaza a departamentos con actividades diferentes.
- c) La maquinaria, la herramienta o el equipo existentes son modificados o sustituidos por otros nuevos.

- d) Los procedimientos o métodos de trabajo son modifi-
cados o sustituidos.

La evidencia que justifica la necesidad de capacita--
ción y el número de participantes, están resueltos. Deben in-
vestigarse las características de los participantes:

- edad,
- escolaridad,
- experiencia en el trabajo, y
- características personales relacionadas con las ap-
titudes requeridas para el puesto.

Ahora, es necesario determinar con exactitud las acti-
vidades que se desarrollan en el puesto, los equipos y herra-
mientas que se manejan, y las condiciones en las que se desa-
rrollan las actividades. Es importante consignar el nivel de
ejecución requerido en cada actividad, ya se exprese en velo-
cidad, calidad, mínimo de producción, exactitud, etc. de - -
acuerdo a las políticas de producción de la empresa.

Nota: Deben considerarse únicamente las actividades nuevas o
diferentes que se desempeñarán.

El objeto de esta determinación de actividades es te-
ner un inventario completo de todas las habilidades e informa

ciones que se requieren en el puesto, y de las condiciones -- ambientales del mismo. Los datos obtenidos rellenan el -- -- -- "análisis de puesto":

ANALISIS DE PUESTO

ACTIVIDAD: _____

CATEGORIA Y ESPECIALIDAD: _____

QUE SE NECESITA HACER.	QUE EQUIPOS Y HERRAMIENTAS SE USAN.	QUE SE NECESITA SABER.

El procedimiento seguido en este caso de necesidades-manifestas ha consistido en:

- determinar el número total de participantes que requieren capacitación,
- determinar las características personales de los -- participantes, y
- describir detalladamente las actividades en que serán capacitados.

Se recomienda trabajar en cooperación con supervisores, especialistas, etc., cuyos conocimientos son de gran ayuda para elaborar la descripción detallada de actividades en que se requiere la capacitación.

Nota: En algunas situaciones el análisis de puesto se desarrolla únicamente con las columnas "que se necesita hacer" y "que se necesita saber".

En este momento es necesario puntualizar que la correcta determinación de necesidades de capacitación es importante por las siguientes razones:

- a) Ahorra tiempo y dinero.
- b) Permite que las actividades de capacitación se inicien sobre bases sólidas y realistas.
- c) Desarrolla una actitud favorable de los directivos y el personal hacia la capacitación, al obedecer a problemas reales y concretos.
- d) Proporciona los antecedentes necesarios para la elaboración de los programas de capacitación que la empresa requiera.

2. NECESIDADES ENCUBIERTAS.

Cuando las necesidades de capacitación no son tan --- obvias, es necesario realizar una investigación minuciosa, y desde luego, mas difícil. Para el caso, se debe:

a) Buscar evidencias generales y síntomas de que existen problemas en la empresa.

b) Buscar las causas de tales problemas, así como las soluciones mas rápidas, económicas y eficaces.

c) Si la solución es la capacitación, localizar las - áreas específicas en que se requiere, por medio de una o va- rias técnicas como son cuestionarios, entrevistas, etc. y pre- cisar:

c.1) Quienes requieren capacitación.

c.2) Las actividades en que se requiere capacitación.

c.3) Las características de los participantes.

En forma amplia se pueden considerar evidencias gene- rales y síntomas de problemas en la empresa, en lo que se re- fiere a la producción, la organización, la conducta y la mo- ral de los empleados, los siguientes:

a) Producción:

- escasa productividad,
- Baja calidad del producto o del servicio,
- costos elevados, desperdicios excesivos y daños en el material,
- embotellamientos, retrasos y fluctuaciones fuertes en la producción, etc.

b) Organización:

- desconocimiento de la estructura de la empresa - por parte del personal de la misma,
- ausencia de niveles de ejecución, disciplina inadecuada,
- carga de trabajo desigual, favoritismos,
- objetivos no muy claros y poco realistas, etc.

c) Conducta y moral de grupos de trabajo:

- ausentismo, retardos,
- alto índice de accidentes,
- irritabilidad, fricciones personales,
- pruebas evidentes de falta de interés,
- falta del sentido de responsabilidad, cooperación, actitudes negativas hacia la empresa, etc.

Cuando se han localizado las áreas críticas que impiden que la organización logre su cometido, se recomienda ordenarlas según su importancia y agruparlas bajo determinados -- criterios. Se procede entonces a buscar las causas de los problemas detectados y las soluciones mas viables y económicas.

En este punto, es de particular importancia investigar con la gerencia, con la administración, etc. los problemas que consideran mas urgentes y los medios que han propuesto para su solución. No hay que olvidar lo que los cuadros directivos (gerencia, dirección, etc.) piensan al respecto, ya que cualquier actividad de capacitación que ignore los problemas considerados como mas críticos, tiene escaso éxito.

La capacitación como solución no es lo mas indicado - cuando los problemas se deban a:

- a) Defectos en la organización, en la estructura o en las políticas de la empresa.
- b) La maquinaria o las herramientas son caducas o inadecuadas.
- c) Los salarios son bajos.

La capacitación es la solución indicada cuando las situaciones críticas se deben al personal y lo que se requiere-

es que éste aprenda nuevas habilidades, modifique ciertas con ductas o hábitos, adquiera conocimientos adicionales o modifi que sus actitudes.

Cuando se han decidido las áreas críticas en que se - requiere capacitación, el siguiente paso consiste en obtener la descripción precisa y detallada de las actividades en que - se requiere la capacitación. Existen varias técnicas.

2.1 Análisis de puesto.

En forma general, el análisis de puesto consiste en - enlistar ordenadamente lo que se hace en el puesto y lo que - se necesita saber para hacerlo bien. Se realiza de la siguien te manera:

- división del puesto en sus componentes mayores e
- identificación de todos los elementos que pertene-- cen a cada componente.

Los componentes y sus elementos se obtienen y revisan así:

- observación directa del trabajo;
- entrevistas con quienes ejecutan el trabajo y con - todos aquellos que estén directamente conectados --

con el mismo, como supervisores, técnicos, etc. para completar y analizar los datos obtenidos.

El análisis de puesto no dá necesariamente indicaciones de necesidades de capacitación, pero es muy útil para:

- precisar el contenido de un puesto (descripción del puesto).
- indicar las características personales en cuanto a las aptitudes requeridas para el puesto (especificaciones del puesto).

La descripción del puesto debe considerar:

- encabezado,
- descripción genérica: explica en forma muy breve -- las tareas que se realizan (lista de actividades),
- descripción específica: exposición detallada de cada una de las tareas que se realizan. Conviene presentar cada una en párrafo numerado y separado. Deben separarse las actividades continuas de las eventuales.
- especificaciones: incluye los requerimientos físicos, psicológicos, conocimientos teóricos, aptitudes especiales, experiencia previa mínima, etc.

A continuación se presenta una forma simplificada pa-

ra análisis de puesto muy comúnmente utilizada. Esta forma --
presenta únicamente tres columnas:

- número de la actividad
- "que se necesita hacer"
- "que se necesita saber".

ANALISIS DE PUESTO		
ACTIVIDAD _____		
CATEGORIA Y ESPECIALIDAD _____		
Nº	QUE SE NECESITA HACER	QUE SE NECESITA SABER

El inventario de habilidades es llenado generalmente por supervisores, jefes de línea, etc. quienes están en una posición muy favorable para hacer apreciaciones de sus subordinados. Es de particular importancia pedir a quienes llenen los inventarios, que indiquen en la columna de observaciones los problemas que manifiesten los sujetos con habilidades inferiores a las requeridas.

El inventario permite identificar muy fácilmente las actividades con niveles bajos, así como a los sujetos afectados.

2.3 Técnica de las Tarjetas.

Se enlistan las actividades, fases de un proceso, o áreas potenciales de capacitación. Se anota cada una de ellas en una tarjeta, para formar un equipo.

Se entrega el equipo de tarjetas al obrero, supervisor, etc. pidiéndole que seleccione las tarjetas en las que considere se requiere capacitación y que las ordene por su importancia. Los resultados se anotan en un cuadro de concentración.

2.4 Cuestionario.

Es uno de los métodos mas rápidos y económicos para determinar las necesidades de capacitación. Se utilizan para obtener apreciaciones del nivel general e individual de conocimientos y ejecuciones, así como para advertir las necesidades existentes. El procedimiento para la elaboración de cuestionarios es el siguiente:

- precise el puesto del que se desea obtener información;
- determine el tipo de personas que llenarán el cuestionario (supervisores, obreros, jefe de taller, etc)
- liste las actividades, procesos, etc. que desea investigar. Precise la información que mas interesa de cada uno de estos aspectos.
- redacte las preguntas necesarias acerca de cada elemento e indique la forma en que espera sean contestadas las preguntas,
- redacte las instrucciones.

2.5 Combinación de Técnicas.

Las técnicas de determinación de necesidades de capacitación se pueden aplicar combinándolas o ajustándolas a ca-

da caso específico, según diversos factores. Es imprescindible, contar con una buena descripción de puesto para conocer con precisión el contenido del mismo y estar así, en posibilidad de utilizar técnicas como el cuestionario, entrevistas, - etc.

Cuando no se disponga de una descripción de puesto, - es necesario utilizar el análisis de puesto antes que otra -- técnica. Cualquiera que sea el caso, las técnicas deberán ajustarse para lograr una buena descripción de las actividades en que se requiere capacitación y para obtener una evidencia sólida que justifique las necesidades detectadas.

Una vez obtenida la descripción precisa y completa de las actividades en que se requiere capacitación, es necesario precisar el número de los que requieren la capacitación y sus características personales.

Una buena determinación de necesidades de capacita---ción debe arrojar resultados completos y precisos, pero sobre todo válidos y confiables. De estos resultados depende, en -- gran parte, la eficiencia del programa de capacitación que se elaborará basado en ellos y la eficacia de todos los recursos humanos y materiales que se utilizarán en la capacitación.

C A P I T U L O I I I

REDACCION Y ANALISIS DE OBJETIVOS.

Los resultados de la determinación de necesidades de capacitación constituyen los antecedentes para la elaboración del programa de capacitación. Estos antecedentes son, en resumen:

- a) La descripción completa y precisa de las actividades en que se vá a capacitar a los trabajadores.
- b) Las características de los trabajadores que van a ser capacitados.
- c) El número de posibles participantes al curso.

El siguiente paso en la elaboración de programas de capacitación consiste en la fijación de los objetivos o metas.

1. REDACCION DE LOS OBJETIVOS.

El paso inicial es la redacción de los objetivos, que constituye la base de cualquier actividad posterior. Los objetivos deberán redactarse de una manera minuciosa y exacta, ya que de la correcta precisión de estos, dependerán:

- a) La amplitud del contenido.
- b) Las técnicas de instrucción.
- c) Los materiales didácticos.
- d) El tipo de evaluación.

Los objetivos deben ser claros y precisos para cumplir con las siguientes funciones:

- a) Comunicar a los participantes, a otros instructores o a cualquier persona, la intención del programa.
- b) Estimular y enfocar la atención de los participantes, precisándoles lo que se espera de ellos y el dominio que deben alcanzar en sus actividades.

Hay muchas formas de redactar objetivos. Una de ellas consiste en expresar la conducta que manifestarán los participantes.

pantes al finalizar su capacitación; estos objetivos reciben el nombre de "objetivos en términos de conducta".

Para redactar objetivos en términos de conducta, es necesario seguir un procedimiento que consiste en:

- a) listar las actividades en que se requiere capacitación, basándose en la descripción elaborada previamente,
- b) redactar los objetivos basándose en dicha lista,
- c) verificar que no faltem en los objetivos ninguna de las actividades o tareas.

En la redacción de los objetivos en términos de conducta, se incluyen cuatro elementos básicos:

- presentación,
- formas de conducta,
- condiciones de operación, y
- nivel de eficiencia.

1.1. Presentación.

Tiene por objeto hacer que los participantes sientan-

de manera personal, directa y cordial, lo que lograrán hacer como resultado de su capacitación. El valor motivacional de la presentación es hacer sentir como propias las metas del programa.

Ejemplos:

- Al finalizar el curso, Ud. realizará las siguientes tareas:
- Al término del programa, Ud.:
- Usted, como resultado de este programa:

1.2 Formas de conducta.

Después de la presentación se redactan las formas de conducta. Son la descripción de lo que se espera harán los participantes como demostración de que se han alcanzado las metas del programa. Por este motivo se redactan en futuro de indicativo (ajustará, dibujará, modificará).

Lo mas importante de los objetivos, reside en que se elijan formas de conducta que no se presten a más de una interpretación, esto es, que no tengan significados diversos, vagos o ambiguos.

Ejemplos de formas de conducta son:	
Con interpretaciones diversas (no recomendables)	Con interpretaciones precisas (recomendables)
Sabrá	Listará
Conocerá	Identificará
Entenderá	Resolverá
Comprenderá	Dibujará
Apreciará	Calculará
Estudiará	Dará lectura
Captará	Verificará

La redacción de los objetivos generales de un programa de capacitación deberá basarse en las actividades que se desea realice el trabajador; por lo tanto, no existe ningún problema para elegir las formas de conducta, ya que se refieren a las actividades presentadas en tiempo futuro.

1.3 Condiciones de operación.

Las condiciones de operación son las situaciones en las cuales se deben manifestar las formas de conducta. Las condiciones de operación precisan los objetivos que se persiguen. Por ejemplo, el siguiente objetivo: "reparará motores",

expresa la conducta deseada del participante, pero no la espe
cifica con claridad y puede prestarse a confusiones.

Para resolver este problema y evitar ser mal interpre-
tado o parcialmente comprendido, es necesario aclarar el tipo
de motor y las ayudas o medios que se emplearán para efectuar
la reparación.

El objetivo quedará así: "reparará motores de combus-
ción interna, empleando el equipo de herramientas y el ma- --
ual".

Las condiciones de operación se clasifican en cuatro-
rupos:

<u>partir de</u> <u>se infor--</u> <u>ación.</u>	<u>Ejemplos:</u> -cortará, labrará y ensamblará piezas de made- ra de acuerdo con los trazos. -de acuerdo con la descripción de actividades- verificará los objetivos del programa y deter- minará si coinciden con éstas.
<u>En que cir-</u> <u>cunstancias.</u>	<u>Ejemplos:</u> -ajustará la velocidad de la segadora a las con- diciones y altura del cultivo. -seleccionará las técnicas de instrucción consi- derando las características de los participantes.

Con qué equi-
pos y/o he--
rramientas.

Ejemplos:

- realizará mediciones de tensión utilizando -
el voltmetro.
- alineará y calibrará los electrodos utilizando
el calibrador para bujías.

En qué lugar.

Ejemplos:

- trazará sobre papel, codos de tres elementos
de sección rectangular.
- ensamblará 8 terminales en una base para ---
bulbo.

Las condiciones de operación pueden ser generales, --
esto es, para todas las formas de conducta, en cuyo caso se -
recomienda redactarlas en la presentación; o bién, pueden ser
específicas para cada forma de conducta, en cuyo caso se recond
mienda incluirlas junto con éstas.

1.4 Nivel de eficiencia.

Hasta aquí los objetivos ya son lo suficientemente es
pecíficos, pero falta indicar qué tan bien se desea que se --
realice la conducta prevista. ¿Es importante que dominen per-
fectamente las actividades, o es suficiente cierto nivel?.

La cantidad, calidad o precisión con que se exige que se manifiesten las formas de conducta, constituyen el nivel de eficiencia. El nivel de eficiencia, deberá ser fijado de modo muy preciso, de preferencia en términos cuantitativos. -
Ejemplos:

- trazará sobre papel, sodes de tres elementos de --- sección rectangular, con una tolerancia de $\pm 1/16"$.
- verificará los objetivos del programa y determinará si coinciden con la descripción de actividades, sin cometer omisiones.
- ajustará los modos de control de los controladores, con seguridad, conservando las condiciones óptimas de operación requeridos.

1.5 Instructivo para la redacción de Objetivos.

<u>Formas de--</u> <u>conducta.</u>	-Liste las actividades en que se requiere capa citación.
<u>Condiciones</u> <u>de opera- -</u> <u>ción.</u>	-Precise para cada actividad las condiciones - en que debe realizarse (a partir de que infor mación, con qué equipo, etc.). Si las condi--

ciones son las mismas para todas las actividades, enúncielas una sola vez.

Nivel de --
eficiencia.

-Fije la exactitud o rapidez que se requiere para que cada actividad sea aceptada. En ocasiones, el nivel de eficiencia es el mismo para varias formas de conducta o para todas.

Redacte los
objetivos.

-Inícielos con una expresión directa y personal, por ejemplo: "Al terminar este programa, Ud.".. "Como resultado de las actividades que se van a desarrollar, usted:.....", a continuación indique:

.formas de conducta utilizando el futuro de indicativo.

.Las condiciones de operación, y

.el nivel de eficiencia.

Coteje los-
objetivos.

-Verifique con la lista de actividades que no falte alguna.

Los objetivos de un programa deben incluir todas las actividades en que se requiere capacitación.

2. ANALISIS DE LOS OBJETIVOS.

Para precisar el contenido del programa de capacitación se deben analizar cuidadosamente los objetivos. Este análisis tiene la finalidad de obtener los conocimientos y habilidades necesarios para alcanzar esos objetivos.

Así se evita uno de los problemas mas graves en la -- elaboración de programas, que consiste en incluir contenidos-- innecesarios y en excluir algunos indispensables.

Aún cuando los objetivos se hayan precisado adecuadamente, la elección y especificación del contenido puede deformar el programa completo, si no se emplea un procedimiento -- adecuado. Se sugiere el siguiente:

- a) Listar las formas de conducta de los objetivos generales ya redactados.
- b) Desglosar las formas de conducta de los objetivos-- generales en objetivos específicos, hasta que se - obtengan conocimientos y habilidades concretas.
- c) Formar cuadros sinópticos con los conocimientos y-- habilidades obtenidos.

Los objetivos generales expresan, de manera global, - lo que el participante sabrá hacer al término de la capacitación.

Al desglosar los objetivos generales se determinan -- los objetivos específicos, es decir, se precisan las actividades detalladas que es necesario dominar para poder alcanzar - los objetivos generales.

Ejemplo:

En una investigación de necesidades de capacitación - se encontró que los operadores de plantas de proceso tenían - problemas para el manejo y ajuste de los controladores y sistemas automáticos de control de las variables de proceso. Se establecieron los siguientes objetivos:

El trabajador, después de la capacitación, ajustará - los modos de control de los controladores, considerando las - características de las variables del proceso por controlar y operará a través del sistema de circuitos automáticos las variables de proceso, haciendo los ajustes y cambios Manual a - Automático y viceversa necesarios. Realizará estas actividades con seguridad, conservando las condiciones óptimas de operación requeridos.

El análisis de estos objetivos generales proporciona los objetivos específicos siguientes:

- Identificará los modos de control de un controlador.
- Ajustará los modos de control de un controlador - -
dado.
- Identificará las funciones básicas del controlador.
- Identificará los componentes básicos de un controlador.
- Identificará las variables de proceso y sus características.
- Identificará los circuitos automáticos de control.
- Identificará los instrumentos que forman un circuito automático de control y su nomenclatura y simbología.
- Operará los circuitos automáticos de control.
- Hará los cambios Manual a Automático y viceversa ne
cesarios.

Al desglosar cada uno de los objetivos específicos se obtendrán los contenidos. El resultado de estos desgloses, se presenta en forma de cuadros sinópticos. Los resultados de -- este ejemplo se presentan en el cuadro B-III-1.

OBJETIVOS GENERALES	OBJETIVOS ESPECIFICOS	CONTENIDOS
<p>-ajustará los modos de control de los controladores considerando las características de las variables del proceso por controlar.</p> <p>-operará a través del sistema de circuitos automáticos las variables de proceso, haciendo los ajustes y cambios Manual a Automático y viceversa necesarios.</p>	<p>-Identificará los modos de control de un controlador dado.</p> <p>-ajustará los modos de control de un controlador dado.</p> <p>-identificará las funciones básicas del controlador.</p> <p>-identificará los componentes básicos de un controlador.</p> <p>-identificará las variables de proceso y sus características.</p> <p>-identificará los distintos circuitos automáticos de control.</p> <p>-identificará los instrumentos en planos y físicamente basándose en la nomenclatura y simbología utilizada.</p> <p>-operará los sistemas automáticos de control aplicados.</p> <p>-hará los cambios Manual a Automático y viceversa necesarios.</p>	<p>- Los diferentes modos de control o acciones de control son los siguientes: abierto-cerrado, --proporcional, reset y derivativo.</p> <p>- Para ajustar los modos de control de un controlador, es necesario que los ajustes de reset y derivativo estén al mínimo.</p> <p>- Las funciones básicas del controlador son: comparar y corregir. La comparación se efectúa entre la medición y el valor de referencia.</p> <p>- Los componentes básicos de un controlador son: el generador de señal de referencia, la unidad de comparación, el mecanismo de amplificación y la estación de control manual.</p> <p>- Las variables de proceso son: Presión, Flujo, Temperatura, Nivel, Vacío, Presión Diferencial, etc. y en un sistema o proceso están íntimamente relacionadas.</p> <p>- Los diferentes circuitos de control caen en cualquiera de las dos siguientes categorías: Circuitos abiertos y Circuitos cerrados o loops.</p> <p>- Las identificaciones en instrumentación se clasifican en generales y específicas. Se utiliza así mismo una Simbología adecuada, para su representación en planos y diagramas.</p> <p>- Para iniciar la operación de cualquier sistema de control deben chequearse que todos los instrumentos que forman el circuito de control, estén alineados.</p> <p>- Cuando se esté en posición de realizar cambios de Manual a Automático o viceversa, es necesario igualar las salidas del controlador para evitar los brinques del elemento final de control. Un cambio muy rápido de posición de una válvula de control debido a mala operación en el controlador, puede ocasionar oscilaciones muy bruscas en el proceso bajo control.</p>

No es necesario que los objetivos específicos, utilizados para determinar contenido, incluyan la presentación y los niveles de eficiencia. Son suficientes las formas de conducta con sus condiciones de operación.

En programas con objetivos generales poco amplios, -- puede ser suficiente un primer análisis, pero para programas con objetivos muy amplios será necesario un análisis mas fino. El análisis se puede llevar a diferentes niveles, según lo requiera el programa.

2.1 Instructivo para análisis de objetivos.

1. Liste las formas de conducta incluidas en los objetivos generales, con las condiciones de operación correspondientes. Asegúrese que estas formas de conducta corresponden a la descripción de actividades. Conserve un orden lógico para facilitar después la estructuración del contenido.
2. Desglose cada una de las formas de conducta en objetivos cada vez mas específicos, hasta obtener conocimientos y habilidades, lo mas concreto que sea posible.

3. Desarrolle cada uno de los puntos obtenidos en el último análisis, de modo que tenga ya toda la información necesaria para la capacitación (contenido del programa) de acuerdo con el nivel de eficiencia requerido.

4. Presente el análisis de objetivos en cuadros sinópticos.

La ordenación lógica de los contenidos obtenidos del desglose efectuado a los objetivos generales especificados en la Tabla B-III-1, dá lugar a las siguientes unidades de instrucción (entre paréntesis están los objetivos específicos de cada unidad de instrucción):

Capítulo I: La importancia del control automático

Capítulo II: Las variables de proceso

(identificará las variables de proceso y sus características con fines de control; identificará los instrumentos en planos y físicamente basándose en la nomenclatura y simbología utilizada).

Capítulo III: Los sistemas de control

(identificará los distintos circuitos automáticos de control; operará los sistemas de control automáticos empleados).

Capítulo IV: El controlador

(identificará las funciones básicas del controlador; identificará los componentes básicos del controlador; hará los cambios manual a automático y viceversa necesarios).

Capítulo V: Los modos de control

(identificará los modos de control de un controlador dado; ajustará los modos de control de los controladores).

C A P I T U L O I VESTRUCTURACION DEL CONTENIDO Y EVALUACIONES.

Entre los problemas a que se enfrenta el elaborador de programas están la estructuración del contenido y el desarrollo de los instrumentos de evaluación. Estos tópicos se --
tratan en este capítulo.

1. ESTRUCTURACION DEL CONTENIDO.

El contenido puede entenderse como aquello que ha de enseñarse para lograr los objetivos. El contenido consiste en un conjunto de conocimientos o manipulaciones que el participante debe conocer, dominar y aplicar. No existe un criterio único para estructurar un contenido; por consiguiente, el problema principal es elegir el criterio mas eficiente para cada caso.

1.2 Secuencia lógica.

Este procedimiento es útil para estructurar aquellos contenidos teóricos o tecnológicos, que pueden ser manejados de diferentes maneras; la base de la estructuración será el orden o secuencia que facilite al proceso de instrucción. En estos casos es conveniente asegurarse que:

- los elementos que son antecedentes generales para todo el programa, aparezcan en primer lugar,
- cada elemento pueda ser aprendido sin necesidad de conocer contenidos que aparecen mas adelante en el programa,
- cada elemento esté ubicado de manera que se comprenda claramente su relación con los demás,
- no aparezcan elementos aislados o desconectados del resto del contenido.

Debe aclararse que durante el análisis de los objetivos de un programa se obtienen los contenidos pero no precisamente en un orden que se facilite el proceso del aprendizaje. Entonces es necesario reordenarlos para facilitar su aprendizaje. Este reordenamiento no modifica a los objetivos específicos; por lo tanto, los contenidos respectivos tampoco va-

rían. Tan solo se modifica su ordenamiento. El criterio aplicado es el ordenar los contenidos conforme a una secuencia -- lógica.

1.3 Unidades de instrucción.

Determinar las unidades de instrucción de un programa, es el último paso para estructurar el contenido. Después de - ordenar los elementos, surge la necesidad de integrarlos en - grupos afines que constituyan una totalidad y tengan un signi- ficado por sí mismos. Ese conjunto de elementos interrelacio- nados, con significado propio, y que constituyen una totali- dad, se llama unidad de instrucción.

En programas amplios las unidades suelen agruparse -- formando módulos. El módulo es el conjunto de unidades estruc- turadas que pueden funcionar en forma independiente de las de más dentro de un programa.

La presentación del contenido a través de unidades de instrucción reporta las siguientes ventajas:

- organiza los elementos del contenido en función de una tarea específica, dándoles un significado mas - preciso para los participantes.

- las unidades facilitan que los participantes integren los elementos que aprenden.
- facilitan la planeación de las actividades de instrucción.

Se dan las siguientes instrucciones generales para la estructuración de contenidos:

a) Ordene los elementos del contenido de acuerdo con la naturaleza de la tarea, o de acuerdo con la secuencia lógica del tema a tratar.

b) Integre el contenido en unidades de instrucción, agrupando los contenidos en secciones significativas por sí mismas, con objetivos específicos delimitados y con marcada independencia entre cada una de las unidades.

c) Numere las unidades, de acuerdo con el desarrollo de la tarea a que corresponda el programa o siguiendo un orden lógico.

2. PLANEACION DE LA EVALUACION.

La función de la evaluación es conocer cuantitativa y cualitativamente los cambios de conducta que se han producido en los participantes como resultado de un programa de capacitación.

La evaluación permite:

- determinar la eficiencia del programa de capacitación y de cada una de las unidades que lo forman,
- localizar los aspectos positivos y negativos que -- permitan corregir y superar constantemente el programa,
- conocer la capacidad de los participantes para determinar su eficiencia ante un trabajo,
- detectar las deficiencias de los participantes para corregirlas,
- estimular en los participantes el interés por el -- aprendizaje, al informarles los resultados.

La evaluación debe ser planeada y estructurada durante el proceso de elaboración del programa, para lo cual se requiere:

- que la situación de evaluación sea la misma para todos los participantes, para que los resultados puedan compararse,
- que las respuestas o actividades de la evaluación estén prefijadas, para unificar el criterio de apreciación. No son convenientes las improvisaciones,
- que la forma de calificar sea la misma para todos los casos, sin que influya la personalidad del evaluador,
- que los resultados sean conocidos por los participantes, para que corrijan sus errores y refuercen sus conductas correctas.

Dado que la evaluación es una tarea compleja y variada, es conveniente clasificarla en varios tipos según su amplitud y según el momento en que se aplica:

Criterios	Tipos	Explicación
Por su amplitud	-general	<u>explora:</u> el contenido de todo el curso.
	-parcial	sólo una parte del mismo.
Por el momento- de aplicación.	-inmediata	<u>se realiza:</u> durante el programa o a su término.
	-mediata	al volver el <u>participante</u> a su trabajo.

La evaluación general estima los resultados de un programa completo. Se planea en función de los objetivos generales del programa, con el fin de conocer hasta que punto se alcanzan. Incluye apreciaciones de las diversas unidades del programa.

La evaluación parcial se administra para estimar los resultados de cada una de las unidades de instrucción o fases importantes del programa. Los objetivos de cada unidad sirven de base para la planeación de esta evaluación.

La evaluación parcial se aplica al término de cada -- unidad y permite:

- conocer el aprovechamiento de cada participante,
- en caso de bajo rendimiento, proponer las actividades necesarias para superar sus deficiencias,
- apreciar en cada unidad las dificultades de aprendizaje, para resolverlas.

La evaluación inmediata es la evaluación general o -- parcial que se efectúa durante el desarrollo del programa de capacitación; ofrece información inmediata sobre la eficiencia del programa.

Cuando la evaluación de la eficiencia del programa se realiza tiempo después de haber concluido éste, se llama evaluación mediata. Consiste en apreciar la aplicación de los conocimientos, habilidades o destrezas en la situación real del trabajo.

Se recomienda realizar este tipo de evaluación, comparando el rendimiento del grupo de participantes, con un grupo equivalente de trabajadores que no haya participado en el programa. Este tipo de evaluación demuestra en forma definitiva las ventajas de la capacitación.

2.1 Formas de conducta.

Siendo los objetivos la base para planear y elaborar la evaluación, es necesario analizar y determinar los tipos de conducta que incluyen los objetivos y, de acuerdo con eso, prever las actividades que será conveniente desarrollen los participantes para evaluar el aprendizaje.

De acuerdo con la forma de conducta por explorar, la evaluación utiliza diferentes actividades. Las formas de conducta se clasifican en tres categorías:

- a) Conocimiento o habilidades intelectuales:
 - identificará las variables de proceso y sus características.
 - identificará las funciones básicas del controlador.
 - fijará los objetivos generales de un programa de capacitación.

- b) Destrezas manuales o motoras:
 - trazará sobre papel, codos de tres elementos.
 - ajustará los modos de control de un controlador.
 - hará los cambios Manual a Automático y viceversa necesarios.

c) Actitudes:

- demostrará interés y comprensión hacia los problemas de trabajo de sus compañeros.
- aceptará las recomendaciones de trabajo que le haga sus superior.
- cooperará con su grupo de trabajo.

2.2 Formas de evaluar.

La evaluación de cada forma de conducta requiere de un plan diferente de actividades, de materiales y de instrumentos adecuados.

a) Conocimientos o habilidades intelectuales.

En general las situaciones usadas para evaluar conocimientos o habilidades intelectuales son pruebas escritas formadas por preguntas, por problemas o por afirmaciones incompletas o de análisis.

b) Destrezas.

En el caso de las destrezas motoras, es necesario observar cómo se realizan esas tareas y analizar la ejecución o la pieza terminada. Se utilizan las pruebas de ensayo.

3. ELABORACION DE LOS INSTRUMENTOS DE EVALUACION.

Instrumento de evaluación se denomina al conjunto de actividades que en una situación de evaluación, permite al participante emplear la información recibida durante la capacitación en la solución de problemas específicos.

Todo instrumento de evaluación está constituido por:

- Instrucciones: son la explicación de las actividades que tiene que realizar el participante para resolver la prueba y la forma en que anotará las respuestas.
- Reactivos: son las preguntas, o los problemas que se plantean al participante o son las actividades que serán observadas y analizadas.
- Clave: es la lista de respuestas esperadas para los reactivos; uniforma el criterio de calificación.

El procedimiento de elaboración incluye los siguientes puntos:

- a) Se clasifica el tipo de conducta, para determinar el instrumento que mejor evalúe dicha actividad.

- b) Se señalan las informaciones precisas para elaborar los reactivos, tomándolas de los contenidos obtenidos con el análisis de los objetivos.
- c) Se redactan los reactivos en base a las informaciones precedentes.

3.1 Pruebas escritas.

Los reactivos de las pruebas escritas pueden ser afirmaciones incompletas, preguntas o problemas para ser resueltos por medio de frases cortas, oraciones cortas, signos o símbolos.

Este tipo de pruebas permite observar la comprensión de vocabulario, la memorización de datos importantes, la comprensión de conceptos y la habilidad para resolver problemas.

3.2 Pruebas de ensayo.

Las pruebas de ensayo, llamadas también de práctica, son la ejecución de las operaciones que le han sido enseñadas al participante y son propias para evaluar destrezas manuales.

Estas pruebas se pueden realizar con los equipos e instalaciones habituales ya sea en planta o fuera de ella, o

con modelos y aparatos de menor tamaño. Para calificar las -- ejecuciones de pruebas de ensayo es necesario contar con:

- Una hoja de registro o un instrumento de evaluación que se elaborará para cada caso particular, según el tipo de situación.
- El nivel mínimo de eficiencia de los objetivos que permite saber si los participantes los han alcanzado.

Las pruebas de ensayo mas comunes son: escalas estimativas y listas de verificación.

a) Escala estimativa de ejecución.

Actividades	Grados		
	Mal	Regular	Bién
-Monta la pieza			
-Monta la herramienta			
-Verifica el montaje de la herramienta con un escantillón			
-Maquina la pieza			
-Verifica el fileteado			
Instrucciones: observe cuidadosamente la calidad de ejecución y califique con uno solo de cualquiera de los grados			

b) Escala estimativa de producto acabado.

Ejemplo: Acabado de un gabinete de madera para radio.

Variables	Grados		
	Color	inadecuado	aceptable
Veteado	manchado	aceptable	limpio
Desbarbado	mal	regular	bien
Superficie	rayada	aceptable	limpia

c) Lista de verificación de ejecución.

Acciones	Secuencia
Verifica la hoja	1
Ajusta la cuña separadora	2
Coloca la guía	3
Ajusta la altura de hoja y guarda	4
Verifica maquinaria	5

d) Lista de verificación de producto acabado.

Características	Se ajusta a especificaciones	
Longitud de la rosca	no	si
Diámetro exterior	no	si
Paso del filete	no	si
Acabado	no	si

e) Actitudes.

Para evaluar las actitudes se observa la conducta del participante, en las situaciones reales o simuladas en que -- éstas se manifiestan, utilizando una escala estimativa de actitudes como instrumento de control.

FORMAS DE CONDUCTA	INSTRUMENTO DE EVALUACION
Conocimiento o habilidades intelectuales.	Prueba escrita: - preguntas. - problemas.
Destrezas manuales o - motoras.	Lista de verificación o escalas estimativas: - de ejecución. - de producto acabado.
Actitudes	Escala estimativa de actitudes.

3.3 Evaluación de actitudes.

Todo programa de capacitación tiene entre sus propósitos, además de capacitar en un aspecto específico, fomentar un cambio de actitudes hacia el trabajo, la maquinaria, los compañeros, los superiores, etc. Existen además programas que tienen como propósito específico propiciar un cambio de actitudes en aspectos tales como: relaciones humanas, comunicación, organización dentro de la empresa, seguridad industrial, etc. Las actitudes son las formas de conducta más difíciles de evaluar.

La evaluación de actitudes exige que el observador -- tenga amplia experiencia en su trabajo para analizar correctamente las conductas. Estas conductas se evalúan con posterioridad a la realización de los programas y forman parte de la evaluación mediata. A continuación un ejemplo de escala estimativa de actitudes.

VARIABLES	GRADOS		
	No	Regularmente	Siempre
El instructor en las sesiones con su grupo respeta la personalidad de los participantes.	No	Regularmente	Siempre
El instructor emplea gestos, voz y actitudes corporales -- convenientes.	No	Regularmente	Siempre
El instructor mantiene el control del grupo.	No	Regularmente	Siempre

C A P I T U L O VLAS TAREAS DEL INSTRUCTOR.

La responsabilidad de la instrucción en la empresa -- recae, en gran parte, en el instructor; no se limita al momento de la instrucción, sino a todo lo que se relaciona con -- ella; él es responsable del éxito de la instrucción.

Durante sus actividades, el instructor adquiere gran influencia entre los trabajadores, se constituye en una autoridad, en un líder. Su opinión será de gran peso entre sus -- compañeros y ante la empresa. Por ello el instructor no puede ser cualquier persona, no basta que sepa mucho de un asunto, -- necesita saber instruir.

La preparación adecuada y el conocimiento de la responsabilidad de su función, ayudan al instructor a conseguir -- o mejorar las características personales que le llevarán al -- éxito en la instrucción.

Para cumplir correctamente con su papel, el instructor necesita:

- Conocer perfectamente la actividad en la que vá a instruir.
- Dominar las técnicas y los recursos que se emplean en la instrucción.
- Ser capaz de establecer relaciones cordiales con grupos de participantes, para lo cual se deben desarrollar las actitudes personales que favorecen la instrucción, como: cordialidad, madurez, serenidad, etc.

Las tareas del instructor, de acuerdo con el proceso del aprendizaje, son las siguientes:

- a) Estimular el deseo de aprender de los participantes.
- b) Comunicarles lo que van a aprender, y relacionarlo con sus experiencias.
- c) Proporcionarles la información y las actividades que permitan el aprendizaje.
- d) Hacer resúmenes frecuentes de lo que vayan aprendiendo.
- e) Comprobar y corregir lo que aprenden.

a) Estimular la motivación.

La motivación es el impulso que nace de una necesidad, y que conduce a la persona a lograr el objetivo.

Para estimular la motivación de los participantes, el instructor:

- Enfocará la atención de los participantes en los -- objetivos.
- Relacionará las necesidades y experiencias personales y de trabajo de los participantes, con los objetivos del curso.
- Estimulará el deseo de realizar las actividades para lograr los objetivos.

b) Comunicar a los participantes lo que van a aprender y relacionarlo con sus experiencias.

Cuando el participante conoce el objetivo de la instrucción, comprende el interés que tiene para él el propósito de la misma y se sitúa de acuerdo con sus experiencias personales.

El instructor debe comunicar claramente cuál es el ob

jetivo de la instrucción y cuales son las actividades que el participante aprenderá a realizar. De esta manera se facilita que el participante relacione lo que ya sabe con lo que está por aprender.

c) Proporcionar la información, las actividades, los ejemplos y los ejercicios que permitan el aprendizaje.

Está comprobado que sólo se aprende con la propia experiencia. Es indispensable que el participante obtenga toda la información y los ejemplos que le permitan realizar todas las actividades para lograr los objetivos.

Para que ésta información sea correctamente proporcionada es indispensable:

- Que la información sea suficiente y clara.
- Que los ejercicios ayuden a practicar lo que están aprendiendo, y sean suficientes.
- Que se corrijan los errores durante la ejecución de los ejercicios y se indique lo que está correcto.

El instructor debe vigilar que las actividades que realice el participante durante el aprendizaje, sean exactamente las necesarias para lograr los objetivos.

d) Resumir periódicamente lo que se vá aprendiendo.

Esta actividad es indispensable, ya que no debe pasar se a un punto nuevo, hasta que esté perfectamente dominado el anterior.

Los resúmenes parciales permiten concretar lo que se ha aprendido y organizarlo, así como ir corrigiendo errores y afirmando lo aprendido para estimular la motivación.

e) Comprobar y corregir lo que se aprende.

Es indispensable que el instructor informe al participante si aprende correctamente, para que pueda corregir errores.

Existen varios factores que durante el aprendizaje influyen en los resultados: la experiencia, edad y escolaridad de cada participante los hace diferentes; la atmósfera del grupo, cooperación, cordialidad o desconfianza y hostilidad, influye en el aprendizaje.

Las dificultades de los objetivos, son otros elementos que deben considerarse en la preparación de cualquier instrucción. Los objetivos muy fáciles no provocan interés y los

muy difíciles desalientan. Durante sus tareas, el instructor debe tomar en cuenta tanto a las personas a quienes se dirige como a los objetivos que se desea lograr.

Aprendizaje = cambios de conducta

Conocimientos

Destrezas

Actitudes

Condiciones del aprendizaje	Tareas del instructor
Motivación	Estimular la motivación
Planeación	Comunicar el plan de actividades
Actividades	Proporcionar y guiar las actividades
Resúmenes	Realizar resúmenes periódicamente
Evaluación	Comprobar y corregir el aprendizaje

Factores que intervienen:

Características de los participantes

Características del grupo

Dificultad de los objetivos

Condiciones materiales

C O N C L U S I O N E S .

El Ingeniero Químico en el desempeño de su profesión se encuentra a cada paso problemas en los cuales debe constituirse en el director para resolverlos. Posiblemente estos -- problemas se encuentren fuera del ámbito de su especialidad, -- pero debido a la naturaleza de sus funciones son cuestiones -- que le incumben directamente. Tal es el caso de la capacitación industrial.

Un ejemplo muy claro lo constituye el Ingeniero Químico de proceso; es decir, el ingeniero dedicado a las labores de prearranque, arranque y operación normal de plantas industriales. En este caso el Ingeniero Químico se enfrenta a problemas de capacitación de los trabajadores. Veamos.

Durante las labores de prearranque y arranque el ingeniero de proceso es auxiliado por un grupo de operadores, los mismos que durante la operación normal de las plantas se entenderán directamente de la operación de las mismas.

Entonces, el ingeniero de proceso, para liberarse de la operación física y directa de las plantas, función que ha desempeñado durante las labores de prearranque y arranque, debe capacitar a su grupo de operadores y así poder dedicarse únicamente a funciones de supervisión, adaptación, modificaciones necesarias y optimización del proceso de manufactura.

Este cambio de ingeniero operador a un verdadero ingeniero de proceso se realiza únicamente cuando el grupo de operadores está lo suficientemente preparado para llevar a cabo eficientemente sus funciones en la planta. Entonces la capacitación, llámese adiestramiento o entrenamiento, es el puente de tránsito.

Pero no se puede esperar a que el operador de plantas de proceso se capacite sólo con la experiencia que vá adquiriendo, ya que además del tiempo empleado que sería muy largo, sería muy costoso debido a que se arriesga tanto la seguridad de las instalaciones como la de los propios trabajadores. Es necesario acelerar este proceso de entrenamiento con buenos y previamente planeados programas de capacitación. Esto es de suma importancia.

Ahora, si se trata de capacitar a operadores de plantas de proceso, el programa de capacitación debe incluir cuatro grandes áreas:

a) Las características especiales del proceso, de los equipos e instalaciones necesarios.

b) Las características especiales de las variables de proceso, directrices o críticas del mismo.

c) Las características de los distintos sistemas de control de las variables de proceso empleados, manuales o automáticos.

d) Las características especiales de los dispositivos e instrumentos utilizados.

Este es el motivo fundamental de la presente Tesis, - auxiliar al futuro Ingeniero Químico de proceso en la identificación de los sistemas de control automático, identificar las características principales de los instrumentos empleados y además sentar las bases para que pueda capacitar a sus operadores eficientemente, para el desempeño correcto de las labores.

B I B L I O G R A F I A .

NORMAN A. ANDERSON

The Foxboro Co.

Instrumentation for process -
measurement and control.

1964

Instruments Publishing Co.

ROBERT H. PERRY
CECIL H. CHILTON
S.D. KIRKPATRICK
Editors.

Chemical Engineers' Handbook

1963

Fourth Edition

McGraw-Hill Book Co., N. York

HOWARD P. KALLEN

Handbook of instrumentation -
and controls.

1961

First Edition

McGraw-Hill Book Co., N. York

DOUGLAS M. CONSIDINE
Editor-in-chief.

Encyclopedia of instrumenta--
tion and control.

1971

McGraw-Hill Book Co., N. York

BIBLIOGRAFIA (Cont.)

ALEJANDRO MENDOZA

Determinación de necesidades-
de adiestramiento.

Segunda Edición

Colección Adiestramiento.

Servicio Nacional ARMO

México.

MANUEL ALVAREZ
ALEJANDRO MENDOZA
MA. DEL CONSUELO BONFIL
Y otros.

Manual para elaborar progra--
mas de adiestramiento.

Segunda Edición, 1972

Servicio Nacional ARMO

México

SERVICIO NACIONAL ARMO

Técnicas básicas para el - --
adiestramiento.

Manual para curso de 40 hrs.