

T
629.8
D 687

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL



D-7005

CURSO ESPECIAL DE TECNOLOGO

TITULO: SISTEMAS DE INSTRUMENTACION Y CONTROL AUTOMATICO

MONOGRAFIA PREVIA A LA OBTENCION DEL TITULO DE TECNOLOGO EN :

ELECTROMECHANICA DE REFINERIA

DIEGO FRANCISCO DONOSO CHAVEZ

GUAYAQUIL-ECUADOR



PROLOGO

Es una realidad la época crítica que estamos viviendo, así como también los esfuerzos que hace nuestro país porque los fenómenos económicos y sociales, resultado de este período difícil, sean controlados en tiempo, cantidad y calidad.

Uno de los factores que puede ser definitivo para la supervivencia de muchas industrias tanto pequeñas como medianas y grandes, es el de un incremento sensible en su PRODUCTIVIDAD.

Se hace necesario revisar y actualizar las organizaciones, meditar sobre los sistemas en práctica y después de su estudio, decidir sobre nuevos métodos y formas de trabajo que mejoren substancialmente a la empresa y a su núcleo de trabajadores.

Un renglón importante para mejorar o incrementar la productividad en los procesos de transformación, es precisamente el de medir y controlar automática y continuamente las variables de los procesos.

Los resultados de una buena medición y control son inmediatos y tangibles; entre otros, podríamos citar.

- 1.- Incremento de la producción con la misma capacidad instalada.
- 2.- Un control de la calidad más rígido.
- 3.- Disminución de mermas, rechazos y desperdicios de producción.
- 4.- Un mejor control de los costos de producción.

- 5.- Registros continuos o constantes que desde el punto de vista histórico o estadístico, permiten estudiar mejoras en los procesos.
- 6.- Análisis de tiempos muertos o perdidos.
- 7.- Disminución y/o mejor aprovechamiento de los energéticos.
- 8.- Disminución del costo unitario del producto.

El objeto de ésta tesis es la de comprender la necesidad de incorporar más y mejores sistemas de instrumentación y control automático.

DIEGO DONOSO.

INDICE

1.- Introducción a los sistemas de control.	pag.- 1
2.- Historia del control automático.	pag.- 2
3.- Ejemplos de sistemas modernos de control.	pag.- 7
4.- Terminología de control automático.	pag.- 11
5.- Lista clasificaca de terminos y definiciones en control autamático.	pag.- 12
5A.- Controladores automáticos y sistemas de control.	pag.- 12
5A1.- Controlador automático.	pag.- 12
5A2.- Sistema de control automático.-	pag.- 13
5A3.- Controlador auto-operado.-	pag.- 13
5A4.- Controlador operado por relevador.	pag.- 13
5A5.- El valor deseado.	pag.- 14
5A6.- El punto de ajuste.	pag.- 14
5A7.- El punto de control.	pag.- 14
5B.- Características basicas.	pag.- 15
5B1.- Capacidad.	pag.- 15
5B2.- Capacitancia.	pag.- 15
5B3.- Resistencia.	pag.- 16
5B4.- Tiempo muerto.	pag 16
5C.- Procesos. Sus elementos y características	pag.- 16
5C1.- El proceso.	pag.- 17
5C2.- Auto-regulación.	pag.- 17
5C3.- La variable controlada.	pag.- 17
5C4.- El medio controlado.	pag.- 17

5C5.- La variable manipulada	pag.- 17
5C6.- El agente de control.	pag.- 18
5D.- Características de control automático.	pag.- 18
5D1.- La señal de actuación.	pag.- 18
5D2.- Desviación.	pag.- 18
5D3.- Desviación estable.	pag.- 19
5D4.- Acción correctiva.	pag.- 19
5D5.- Ciclaje.	pag.- 19
5D6.- Entrada de referencia.	pag.- 19
5D7.-Set-point.	pag.- 20
5D8.- Punto de control.	pag.- 20
5D9.- Retro-alimentación primaria.	pag.- 20
5E.- Tipos de funcionamiento del controlador automático.	pag.- 20
5E1.- Acción de posición.	pag.- 20
5E2.- Acción de dos posiciones.	pag.- 21
5E3.- Acción de dos posiciones con diferencial.	pag.- 21
5E4.- Acción de dos posiciones con un punto.	pag.- 21
5E5.- Acción de posición múltiple.	pag.- 22
5E6.- Acción de posición proporcional.-	pag.- 22
5E7.- Acción de posición promedial.	pag.- 22
5E8.- Acción integral.	pag.- 22
Acción flotante. (5E9)	pag.- 23
5E10.- Acción flotante de una velocidad.	pag.- 23
5E11.- Acción flotante de varias velocidades.	pag.- 23

5E12.- Acción flotante de velocidad proporcional.	pag.-23
5E13.- Acción flotante con posición promedial.	pag.- 24
5E14.- Acción derivativa.	pag.- 24
5E15.- Acción de rate.	pag.- 24
5E16.- Acción múltiple.	pag.- 25
5E17.- Acción proporcional mas flotante.	pag.- 25
5E18.- Acción proporcional con reajuste.	pag.- 25
5E19.- Acción proporcional mas derivativa.	pag.- 25
5E20.- Acción proporcional mas flotante mas derivativa.	pag.- 25
5E21.- Acción proporcional con reajuste y con acción derivativa.	pag.- 26
5F.- Ajustes de las acciones de los controladores automáticos.	pag.- 26
5F1.- Zona muerta.	pag.- 26
5F2.- Diferencial.	pag.- 26
5F3.- Banda proporcional.	pag.- 26
5F4.- Relación de velocidad flotante.	pag.- 27
5F5.- Velocidad flotante.	pag.- 27
5F6.- Régimen de reajuste.	pag.- 27
5F7.- Tiempo de rate.	pag.- 28
5G.- Elementos y características de los controladores automáticos.	pag.- 28
5G1.- Medios de medición.	pag.- 28

5G2.- Elemento primario.	pag. - 29
5G3.- Medios de medición auto-operado.	pag. - 29
5G4.- Medios de medición accionados por relevador.	pag. - 29
5G5.- Medios de control.	pag. - 29
5G6.- Motor operador.	pag. - 29
5G7.- Elemento final de control.	pag. - 29
5G8.- Medios de control auto-operados.	pag. - 30
5G9.- Medios de control accionado por relevador.	pag. - 30
6.- Simbología y nomenclatura de los instrumentos de un sistema de control automático.	pag. - 31
6A.- Inconsistencias pasadas.	pag. - 32
6B.- Símbolos ISA.	pag. - 32
6C.- Pequeños comentarios. Norma standar ISA.	pag. - 33
6C1.- Componentes de lazo.	pag. - 33
6C2.- Símbolo del actuador de alarma.	pag. - 33
6D.- Nuevo sistema de identificación de los instrumentos.	pag. - 34
6E.- Letras de los lazos.	pag. - 35
6F.- Símbolos básicos.	pag. - 36
6G.- Símbolos de flujo.	pag. - 36
6H.- Símbolos de presión, temperatura y nivel.	pag. - 36
6I.- Sistemas de alarma.	pag. - 36
6J.- Símbolos misceláneos.	pag. - 36
6K.- Símbolos de relay transducer.	pag. - 37
6L.- Símbolos de computador.	pag. - 37

6M.- Identificación simbólica mínima.	pag. - 37
7.- Simbología para instrumentación de calderas.	pag. - 40
7A.- Símbolos usados.	pag. - 41
7B.- Símbolos de medición y lectura.	pag. - 41
7C.- Diagramación y definición de un lazo de control básico.	pag. - 41
8.- Modos de control. (Introducción)	pag. - 43
8A.- Modos de control.	pag. - 45
8A1.- Control de dos posiciones.	pag. - 46
8A2.- Control de dos posiciones con apertura diferencial.	pag. - 46
8A3.- Control proporcional.	pag. - 47
8A4.- Control proporcional con reajuste.	pag. - 49
8A5.- Control proporcional mas rate.	pag. - 50
8A6.- Control proporcional con reajuste y con derivativa.	pag. - 51
8B.- Tipos de comportamiento dinámico de un proceso.	pag. - 51
8B1.- Retrazo de capacitancia.	pag. - 52
8B2.- Retraso de transmisión.	pag. - 52
8B3.- Respuesta instantánea.	pag. - 53
8B4.- Retraso de velocidad-distancia.	pag. - 54
9.- Ajustes de los modos de control.	pag. - 54
9A.- Ensayo sistemático.	pag. - 55
9A1.- Controlador proporcional.	pag. - 56

9A2.- Controlador proporcional, mas integral.	pag.- 56
9A3.- Controlador proporcional, mas integral mas derivativo.	pag.- 56
9B.- Mapas de entonamiento para ajustes optimos de los modos de control.	pag.- 57
9C.- Método de la ganancia límite.	pag.- 60
9D.- Método de la respuesta a una perturbación escalonada.	pag.- 61
9E.- Conclusiones.	pag.- 63
9E1.- Cuando usamos el ajuste proporcional.	pag.- 63
9E2.- Cuando usamos el reajuste o reset.	pag.- 64
9E3.- Cuando usamos la acción derivativa.	pag.p 64
10.- Aplicaciones del control automático.	pag.- 66
10A.- Control de temperatura.	pag.- 66
10B.- Control de presión.	pag.- 67
10C.- Control de flujo.	pag.- 68
10D.- Control de nivel.	pag.- 68
10E.- Control de interfase gas-liquida.	pag.- 68
10F.- Control de un corte lateral de una torre.	pag.- 68
10G.- Control de cascada.	pag.- 69
10H.- Alarmas.	pag.- 69
10I.- Control de nivel.	pag.- 70
10J.- Control de presión.	pag.- 70
10K.- Control de flujo.	pag.- 70
11.- Problemas sencillos de instrumentación.	pag.- 71

11A. - Problema #1

11B. - Problema #2

11C. - Problema #3

11D. - Problema #4

INDICE DE FIGURAS.

Fig.- 1	Proceso para ser controlado.	pag.- 10a
Fig.- 2	Sistema de control de red abierta.	pag.- 10a
Fig.- 3	Sistema de control con retro-alimentación de red cerrada.	pag.- 10a
Fig.- 4	Sistema de control de multiples variables	pag.- 10a
Fig.- 5	Regulador centrífugo de Watt.	pag.- 10b
Fig.- 6	Regulador de flotador de agua.	pag.- 10b
Fig.- 7	Sistema de control de la dirección de un automovil.	pag.- 10b
Fig.- 8	Sistema básico de control con red cerrada.	pag.- 10b
Fig.- 9	Sistema de control coordinado para un generador de vapor.	pag.- 10c
Fig.- 10	Diagrama de un sistema de control.	pag.- 30a
Fig.- 11	Desviación estable.	pag.- 30b
Fig.- 12	Diagrama de un sistema de control automatico.	pag.- 30b
Fig.- 13	Diagrama de un controlador auto-operado.	pag.- 30c
Fig.- 14	Diagrama de un controlador operado por relevador.	pag.- 30c
Fig.- 15	Acción proporcional.	pag.- 30c
Fig.- 16	Acción proporcional mas integral.	pag.- 30c
Fig.- 17	Efectos de la acción de posición propor- cional " de la acción proporcional mas rate.	pag.- 30c

Fíg.- 18	Símbolos básicos de instrumentación.	pag.- 39a
Fíg.- 19	Símbolos de flujo.	pag.- 39b
Fíg.- 20	Símbolos de presión.	pag.- 39c
Fíg.- 21	Símbolos de temperatura.	pag.- 39d
Fíg.- 22	Símbolos de nivel.	pag.- 39e
Fíg.- 23	Símbolos de alarma.	pag.- 39f
Fíg.- 24	Símbolos miscelaneos.	pag.- 39g
Fíg.- 25	Relays.	pag.- 39h
Fíg.- 26	Transducer.	pag.- 39h
Fíg.- 27	Lazo controlado por computador.	pag.- 39h
Fíg.- 28	Enlace por computadora.	pag.- 39h
Fíg.- 29	Ejemplo de identificación mínima.	pag.- 39h
Fíg.- 29a	Sistemas de señales procesadas.	pag.- 42b
Fíg.- 29a	Sistemas de señales procesadas.	pag.- 42c
Fíg.- 29a	Sistemas de señales procesadas.	pag.- 42d
Fíg.- 29b	Diagramación de un sistema de control básico.	pag.- 42e
Fíg.- 29c	Ejemplos de diagramación. 1.- Control en cascada. 2.- Control "Feedforward". 3.- Control "Cascade-Feedforward". 4.- Control de relación (Ratio).	pag.- 42e
Fíg.- 30	Circuito básico de control.	pag.- 54a
Fíg.- 31	Control de dos posiciones.	pag.- 54a

Fig.- 32	Acción de dos posiciones con apertura diferencial.	pag.- 54a
Fig.- 33	Acciones de control proporcional.	pag.- 54b
Fig.- 34	Acción del reajuste manual en un controlador proporcional.	pag.- 54c
Fig.- 35	Acción de control proporcional mas reajuste.	pag.- 54d
Fig. -36	Acción de control proporcional mas rate.	pag.- 54e
Fig.- 37	Acción de control proporcional mas reajuste mas rate.	pag.- 54f
Fig.- 38	Relación entre el error de entrada y la salida del controlador, para cada una de las tres acciones.	pag.- 54g
Fig.- 39	Comportamiento dinámico de un proceso con retraso de capacitancia.	pag.- 54g
Fig.-40	Comportamiento dinámico con un proceso con retraso de transmisión.	pag.- 54h
fig.-41	Comportamiento dinámico de un proceso con respuesta instantanea.	pag.- 54h
Fig.- 42	Comportamiento dinámico de un proceso con retraso de velocidad-distancia.	pag.- 54i
Fig.-43	Amortiguación a un cuarto	pag.- 65a
Fig.- 44	Forma de respuesta de cada una de los modos de control por separado.	pag.- 65a

Fig.- 45	Factor de amortiguamiento.	pag.- 65a
Fig.- 46	Mapa de entonamiento para un controlador de banda proporcional mas reajuste.	pag.- 65b
Fig.- 47	Mapa de entonamiento para un controlador de banda proporcional +reajuste+rate.	pag.- 65c
Fig.- 48	Oscilación permanente.	pag.- 65d
Fig.- 49	Curba de reacción.	pag.- 65d
Fig.- 50	Control de temperatura en un intercam- biador.	pag.- 70a
Fig.- 51	Control de temperatura en un horno	pag.- 70b
Fig.- 52	Control de temperatura en la cabeza de un fraccionador.	pag.- 70b
Fig.- 53	Control de temperatura en un fraccionador	g.- 70c
Fig.- 54	Control de presión.	pag.- 70c
Fig.- 55	Control de flujo.	pag.- 70d
Fig.- 56	Control de nivel.	pag.- 70d
Fig.- 57	Control del corte de keroseno en la fraccionadora de crudo.	pag.- 70e
Fig.- 58	Control en cascada nivel-flujo.	pag.- 70f
Fig.- 59	Control de nivel.	pag.- 70g
Fig.- 60	Control PRC.	pag.- 70h
Fig.- 61	Control FRC.	pag.- 70i
Fig.- 62	Suma de señales multiples.	pag.- 78
Fig.- 63	Resta de dos señales y amplificación de la diferencia.	pag.- 78
Fig.- 64	Suma de dos señales.	pag.- 78
Fig.- 65	Resta de señales.	pag.- 78

INTRODUCCION A LOS SISTEMAS DE CONTROL

La ingeniería de control se basa en los fundamentos de la teoría de la retroalimentación y el análisis de sistemas lineales, e integra los conceptos de las teorías de redes y comunicación. Por tanto, la ingeniería de control no está limitada a ninguna disciplina de la ingeniería sino que es igualmente aplicable a las ingenierías aeronáutica, química, mecánica, del medio ambiente, civil y eléctrica. por ejemplo, muy frecuentemente un sistema de control incluye componentes eléctricos, mecánicos y químicos. Además, al aumentar el conocimiento de la dinámica de los sistemas comerciales, sociales y políticos, también se incrementará la habilidad para controlar estos sistemas.

Un Sistema de Control es una interconexión de componentes que forman una configuración del sistema, la cual proporcionará una respuesta deseada del mismo sistema. La base para el análisis de un sistema es el fundamento proporcionado por la teoría de los sistemas lineales, la cual supone una relación de causa-efecto para los componentes de un sistema. Por tanto, un componente o proceso que vaya a ser controlado puede representarse mediante un bloque como se muestra en la figura N° 1., La relación entrada-salida representa la relación causa y efecto del proceso, la cual a su vez representa un proceso de la señal de entrada para proporcionar una variable de señal de salida, frecuentemente con una amplificación de potencia. Un sis

tema de control con red abierta utiliza un regulador o actuator de control con el objeto de obtener la respuesta deseada - según se muestra en la figura N° 2 .

En contraste con un sistema de control con red abierta, uno con red cerrada utiliza una medición adicional de la salida real con el objeto de comparar ésta con la respuesta deseada de salida. En la Fig. 3 se muestra un sistema de control simple con retroalimentación en red cerrada. La definición Stándar de un sistema de control con retroalimentación es la siguiente : Un sistema de control con retroalimentación es aquel que tiende a mantener una relación prescrita de una variable del sistema a otra, comparando funciones de estas variables y usando las diferencias como un medio de control. El concepto de retroalimentación ha sido la base para el diseño y análisis de los sistemas de control.

Debido a una mayor complejidad del sistema bajo control y al interés en obtener el óptimo funcionamiento, en ésta década - Ha crecido la importancia de la ingeniería de sistemas de control. Además, conforme los sistemas se hacen más complejos, deben considerarse en el esquema de control las interrelaciones de muchas variables controladas. En la fig. 4 se muestra un diagrama en bloques que describe un sistema de control de múltiples variables.

HISTORIA DEL CONTROL AUTOMATICO.-

El uso de la retroalimentación con el objeto de contro

lar un sistema ha tenido una historia fascinante. Las primeras aplicaciones del control con retroalimentación se basan en los mecanismos regulados con flotador, desarrollados en Grecia en el período 0 a 300 a.c. El reloj de agua de Ktesibios usaba un regulador con flotador. Una lámpara de aceite inventada por Philon aproximadamente en el año 250 a.c., usaba un regulador con flotador para mantener un nivel constante de aceite.

Herón de alejandría, quién vivió en el primer siglo d.c. publicó un libro titulado Pneumatica en el cual mostró varias formas de mecanismos de nivel de agua mediante reguladores con flotador.

El primer sistema con retroalimentación inventado en la Europa Moderna, fue el regulador de temperatura de Cornelis - Drebbel (1572-1633) de Holanda.

Dennis Papin (1647-1712) inventó el primer regulador de presión para calderas de vapor en 1681. El regulador de presión de Papin fue una especie de regulador de seguridad semejante a la válvula de las ollas a presión.

El primer regulador con retroalimentación automática usado en un proceso industrial, según se acepta generalmente, fue el regulador centrífugo de James Watt, desarrollado en 1769 para controlar la velocidad de una máquina de vapor.

El dispositivo, completamente mecánico, según se muestra en la fig 5, medía la velocidad del eje de salida y utilizaba el movimiento centrífugo del volante para controlar la válvula y

por tanto la cantidad de vapor que entraba a la máquina.

Conforme aumenta la velocidad se levanta el volante y se aleja del eje, cerrando así la válvula. Los sobrepesos requieren potencia de la máquina con el objeto de girar y por tanto-- hacen menos exacta la medición de la velocidad.

El regulador de nivel de agua a base de flotador que se dice fue inventado por I. Polzunov en 1765, es el primer sistema histórico dado a conocer por la Unión Soviética. Dicho sistema se muestra en la Fig N° 6. El flotador detecta el nivel de agua y controla la válvula que tapa la entrada de la caldera.

El período que precede a 1868 se caracterizó por el desarrollo de sistemas de control automático inventados intuitivamente. Los esfuerzos para aumentar la exactitud de los sistemas de control condujeron a disminuir la amortiguación de las oscilaciones transitorias, e incluso a sistemas inestables. Por consiguiente, fue imperativo desarrollar una teoría del control automático. J.C. Maxwell formuló una teoría matemática relacionada con la teoría del control usando el modelo de ecuación diferencial de un regulador. El estudio de Maxwell consideró el efecto que tuvieron los diversos parámetros de un sistema sobre su funcionamiento.

Durante el mismo período, I.A. Vyshnegradskii formuló una teoría matemática de los reguladores.

Antes de la II Guerra Mundial, la práctica y teoría del control se desarrollaron en Estados Unidos de América y Europa

Occidental de diferente forma que en la U.R.S.S. y en Europa Oriental. Un impulso importante para el uso de la retroalimentación se usó principalmente el dominio de la frecuencia en términos del ancho de banda y otras variables de la frecuencia. En contraste, los eminentes matemáticos y mecánicos prácticos en Rusia estimulaban y dominaban el campo de la teoría del control. Por tanto, la teoría rusa tendió a utilizar una formulación del dominio del tiempo usando ecuaciones diferenciales.

Durante la II Guerra Mundial se presentó un impulso muy grande para la práctica y teoría del control automático, ya que fue necesario diseñar y construir pilotos automáticos para aeroplanos, sistemas de localización de cañones, sistemas de control por antenas de radar y otros sistemas militares basados en los métodos de control por retroalimentación. La complejidad y funcionamiento esperado de estos sistemas militares requirió una extensión de las técnicas de control disponibles y fomentó el interés en los sistemas de control y en el desarrollo de nuevos métodos e ideas. Antes de 1940, para la mayoría de los casos, el diseño de los sistemas de control fue un arte que comprendía aproximaciones por ensayo y error. Durante la década de 1940 se incrementaron en número y

utilidad los métodos matemáticos y analíticos y la ingeniería de control llegó a ser una disciplina completa.

Después de la II Guerra Mundial, con el mayor uso de la transformada de Laplace y el plano de frecuencia compleja, continuaron dominando las técnicas del dominio de la frecuencia en el campo del control. Durante la década de 1950 el énfasis en la teoría de la ingeniería de control estuvo en el desarrollo y uso de los métodos en el plano s y, particularmente, el enfoque de los lugares geométricos de las raíces. además, durante esa época fue posible la utilización de las computadoras analógica y digital como componentes de control. Estos nuevos elementos de control proporcionaron una capacidad para calcular con rapidez y exactitud, que no existían antes para el ingeniero de control. En la actualidad hay instaladas varios cientos de computadoras digitales para el controlador de procesos.

Estas computadoras se emplean principalmente para sistemas de control de procesos en los cuales se miden y controlan simultáneamente muchas variables.

Con el advenimiento del Sputnik y la era espacial se dio otro nuevo impulso a la ingeniería de control. Se hizo necesario diseñar sistemas de control complejos y altamente precisos para proyectiles y pruebas espaciales. Además, la necesidad de minimizar el peso de los satélites y controlarlos muy exactamente ha incrementado el importante campo del control óptimo.

Debido a estas necesidades, despertaron gran interés en

la última década los métodos del dominio-tiempo debidos a Liapunov, Minorsky, y otros. También, L. S. Pontryagin en Rusia y R. Bellman en E.U.A. desarrollaron nuevas teorías del control óptimo. En la actualidad parece que la ingeniería de control debe considerar tanto el dominio-tiempo como el dominio frecuencia simultáneamente en el análisis y diseño de sistemas de control.

La ingeniería de control está interesada en el análisis y diseño de sistemas dirigidos hacia un objeto. Como consecuencia la mecanización de planes de acción dirigidos a un objetivo se ha incrementado hasta establecer una jerarquía de los sistemas de control dirigidos hacia un objetivo. La teoría moderna del control está interesada en sistemas con cualidades de auto-organización, de adaptación y de aprendizaje.

El control de un proceso industrial (fabricación producción etc.) por medios automáticos en vez de humanos se conoce frecuentemente como automatización.

El concepto de automatización es punto básico de nuestra sociedad industrial.

La teoría, la práctica y la aplicación del control automático es una disciplina extensa, excitante y extremadamente útil.

Fácilmente se puede entender la motivación para un estudio de los sistemas modernos de control. (1)

EJEMPLOS DE SISTEMAS MODERNOS DE CONTROL.-

El control por retroalimentación es un factor fundamental de la

industria y la sociedad modernas. Es una tarea placentera el manejar un automóvil cuando éste responde rápidamente a las órdenes del conductor. Muchos autos tienen dirección y frenos de potencia con amplificadores hidráulicos para aumentar la fuerza de los frenos o el volante de la dirección de un automóvil. El rumbo deseado se compara con una medición del rumbo real con el objeto de generar una medida del error. Esta medición se obtiene por medio de una retroalimentación adicional de la visual y táctil (movimiento del cuerpo). Existe una retroalimentación adicional de la sensación percibida por la mano (sensor) colocada sobre el volante de la dirección. Este sistema de retroalimentación es una versión familiar del sistema de control de la dirección en una nave marítima o los controles de vuelo en un gran avión. Todos estos sistemas operan con una secuencia de red cerrada como se muestra en la figura N° 7. Las salidas real y deseada se comparan y una medida de la diferencia se usa para accionar el amplificador de potencia. El amplificador de potencia actúa en el proceso con el objeto de reducir el error. La secuencia es tal que si la nave se conduce incorrectamente hacia la derecha, se actúa sobre el timón a fin de dirigir hacia la izquierda.

El sistema mostrado en la fig. N° 8 es un sistema de control con retroalimentación negativa, ya que la salida se resta de la entrada y la diferencia se usa como señal de entrada al amplificador de potencia.

También ha tenido un aumento importante el control de las centrales eléctricas para minimizar la contaminación. Las plantas modernas de gran capacidad, las cuales exceden de varios cientos de megawatts, requieren sistemas de control automático considerando la interrelación de las variables de proceso y la producción óptima de potencia. En la fig 9 se tiene un modelo simplificado que muestra varias de las variables importantes de control en un gran sistema generador-caldera. La industria de generación eléctrica ha utilizado los aspectos modernos de la ingeniería de control para aplicaciones significativas e interesantes. Parece ser que en la industria de proceso, el factor que mantiene el vacío con respecto a las aplicaciones es la falta de instrumentación para medir todas las variables importantes del proceso, incluyendo la calidad y composición del producto. A medida que puedan obtenerse estos instrumentos, se incrementarán considerablemente las aplicaciones de la teoría moderna del control a los sistemas industriales.

Otros sistemas de control muy conocidos tienen los mismos elementos básicos del sistema mostrado en la fig. . Un refrigerador tiene un ajuste de temperatura o temperatura deseada, un termostato para medir la temperatura real y el error, así como un motor compresor para amplificación de potencia.

Otros ejemplos en el hogar son el horno y los calentadores de agua y habitacionales. En la industria hay controles de velo

idad, presión, temperatura, posición, espesores, composición y calidad, entre muchos otros.

La aplicación futura potencial de los sistemas y modelos de control con retroalimentación es ilimitada. Parece que la teoría y práctica de los sistemas modernos de control tienen un brillante e importante futuro que ciertamente justifica el estudio de la teoría y aplicaciones de los sistemas modernos de control automático (1).

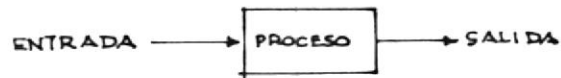


FIG ①.-PROCESO PARA SER CONTROLADO

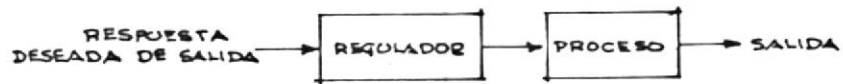


FIG ②.-SISTEMA DE CONTROL CON RER ABIERTA

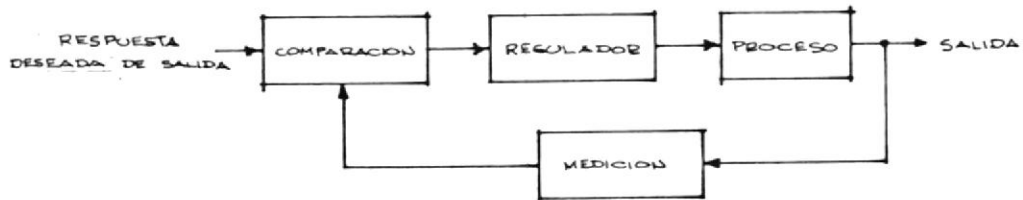


FIG ③.-SISTEMA DE CONTROL CON RETROALIMENTACION DE RED CERRADA

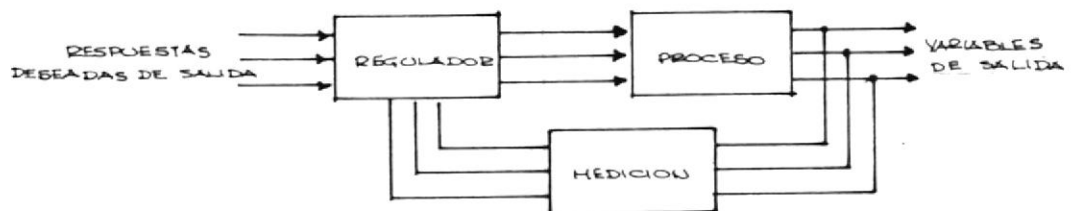


FIG ④.-SISTEMA DE CONTROL DE MULTIPLES VARIABLES

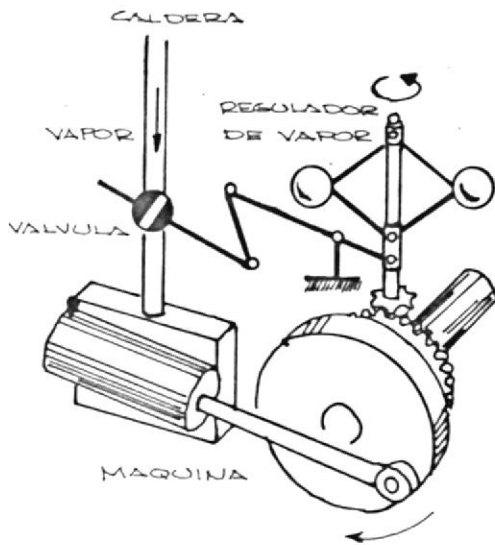


FIG. 5) REGULADOR CENTRIFUGO DE WATT

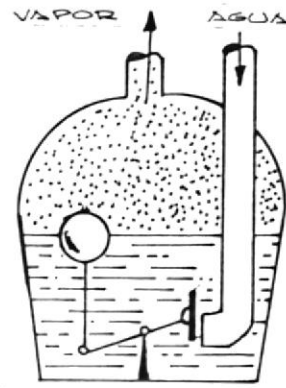


FIG. 6) REGULADOR DE FLOTADOR DE AGUA



FIG. 7) SISTEMA DE CONTROL DE LA DIRECCION DE UN AUTOMOVIL

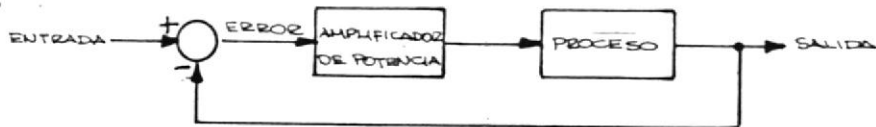


FIG. 8) SISTEMA BASICO DE CONTROL CON RED CERRADA.

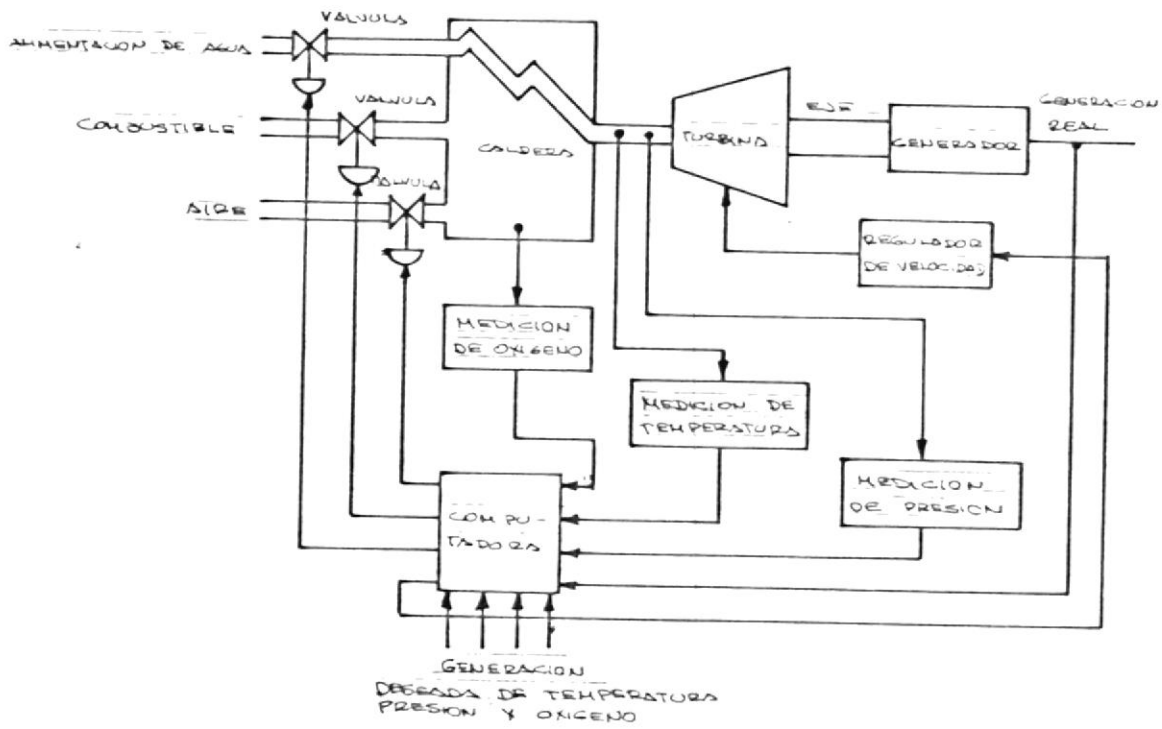


FIG. (9) SISTEMA DE CONTROL COORDINADO
PARA UN GENERADOR-CALDERA

TERMINOLOGÍA DE CONTROL AUTOMÁTICO.

En cualquier discusión, lectura o escritura que esté sujeta al control automático muchas confusiones podrán ser eliminadas si se usa una terminología standart o común por ejemplo.

Cada aplicación del control automático es un circuito cerrado como el mostrado en la figura No 10, en donde para que el proceso sea controlado es necesario que primero una variable sea medida. La VARIABLE CONTROLADA está siendo medida continuamente por los MEDIOS DE MEDICION, y la medición es referida al SET-POINT (*) o ENTRADA DE REFERENCIA. Si existe una DESVIACION, la SEÑAL DE ACTUACION, a través de los MEDIOS DE CONTROL, opera un ELEMENTO FINAL DE CONTROL que obra sobre la VARIABLE MANIPULADA para restablecer la VARIABLE CONTROLADA a un estado estacionario en el PUNTO DE CONTROL.

En el control de la ACCION DE POSICIONAR, el valor de estado estacionario de la VARIABLE CONTROLADA o PUNTO DE CONTROL puede ser cualquiera dentro de un rango predeterminado de valores de la VARIABLE CONTROLADA; y el PUNTO DE CONTROL puede entonces diferir por una cantidad de CORRIMIENTO (OFFSET), como se muestra en la figura No 11.

En una forma de control de ACCION MULTIPLE, (como por ejemplo control proporcional más acción de reajuste), el valor de estado estacionario de la VARIABLE CONTROLADA O PUNTO DE CONTROL PODRÁ, para todos los propósitos prácticos, coincidir con el SET-POINT.

En lo escrito anteriormente, a propósito se han puesto algunas palabras en puras mayúsculas, para denotar que son términos propios de la terminología del control automático, y esta terminología tuvo que ser creada para evitar muchas confusiones.

En 1944 la división de instrumentos y reguladores de la Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos (ASME) comenzó a trabajar sobre "Términos de Control de proceso dando como resultado la siguiente Terminología de Control Automático.

Siendo la siguiente una lista de los términos y definiciones más comunes, que han sido extraídas de la Terminología de Control Automático publicada por dicha Asociación. (ASME).

LISTA CLASIFICADA DE TERMINOS Y DEFINICIONES EN CONTROL AUTOMATICO.

100.- CONTROLADORES AUTOMATICOS Y SISTEMAS DE CONTROL.

101.- CONTROLADOR AUTOMATICO.- Es un dispositivo que mide una cantidad o condición variable, y opera para corregir o limitar la desviación de este valor medido, de una referencia seleccionada (SET-POINT).

Simplemente establecido, el controlador automático opera para corregir o limitar, la cantidad que la medición actual de la Variable Controlada difiere de la medición deseada, o valor de estado estacionario de esa variable.

Un controlador automático incluye tanto los Medios de Medición como los Medios de Control; y el Sistema de Control Automático Real siempre contiene uno o más circuitos de retroalimentación,

de los que uno cuando menos incluye tanto el Controlador Automático como el proceso, ilustrados en la figura No 12 .

101 a.- SISTEMA DE CONTROL AUTOMATICO.- Un sistema de control automático es cualquier arreglo operable, de uno o más controladores automáticos conectados en circuitos cerrados, con uno o más procesos.

102.- CONTROLADOR AUTO-OPERADO.- Es aquel en el cual toda la energía para operar el elemento Final de Control se deriva del Medio Controlado, a través del Elemento Primario.

Este tipo de controlador debe tener medios de medición auto-operador y medios de control auto-operados también, como se ilustra en la figura No 13 .

103.- CONTROLADOR OPERADO POR RELEVADOR.- Es aquel en el cual la energía transmitida a través del Elemento Primario es suplementada o amplificada para operar el Elemento Final de Control empleando energía de otra fuente.

Este tipo de controlador automático puede tener medios de medición auto-operados y medios de control operados por relevador (controlador de temperatura de sistema de llenado); medios de medición operados por relevador y medios de control auto-operados; o medios de medición operados por relevador y medios de control operados también por relevador (controlador de temperatura Dynaloo del tipo de resistencia).

La figura No . 14 muestra un controlador operado por relevador.

104.- EL VALOR DESEADO.- Es el valor de la variable controlada que se desea mantener.

105.- EL PUNTO DE AJUSTE.- Es la posición a la cual el mecanismo de ajuste del índice de control se fija.

En caso de que el controlador automático tenga escala para el punto de ajuste el punto de ajuste es la lectura de la escala traducida a unidades de la variable controlada. En caso de que no se tenga escala para el punto de ajuste, el punto de ajuste es la posición del mecanismo de ajuste del punto de control traducido a unidades de la variable controlada.

En algunos tipos de controladores automáticos, como por ejemplo los de dos posiciones con diferencial, flotante con posición neutra o con posición proporcional, el punto de ajuste se relaciona con la posición de una gama de valores de la variable controlada. En este caso el punto de ajuste se escoge generalmente como el centro de esta gama de valores.

El punto de ajuste puede cambiarse manual o automáticamente, como por ejemplo en el caso de procesos programados o control de relación.

106.- EL PUNTO DE CONTROL.- Es el valor de la variable controlada que en cualquier momento mantiene u opera para mantener el controlador automático.

En algunos tipos de controladores automáticos, por ejemplo los que tienen acción de dos posiciones con diferencial o flotante con zona neutra, el punto de control viene a ser una gama de valores de la variable controlada, y no precisamente un so

lo valor.

En el tipo de controlador de acción posicionante, el punto de control puede encontrarse en cualquier lugar de una gama predeterminada de valores de la variable controlada.

El punto de control puede en este caso diferir del punto de ajuste en una cantidad correspondiente a la desviación característica.

En el control flotante con zona neutra igual a cero, coinciden el punto de ajuste y el de control.

200.- CARACTERISTICAS BASICAS.

Los efectos de retraso asociados con el control de procesos industriales se originan por capacitancia, resistencia y tiempo muerto, (ya sea por separado o en combinación) y a menudo se les ha llamado con el nombre genérico de "retraso".

Los tres términos anteriores satisfacen los conceptos relacionados con ellos, y con objeto de gozar de más claridad deben usarse en lugar del término menos explícito de "retraso".

201.- CAPACIDAD.- Es la medida de la máxima cantidad de energía o material que puede almacenarse.

Se mide en unidades de cantidad. La capacidad volumétrica de un tanque abierto, por ejemplo, es el volumen máximo de líquido que puede contener sin desbordarse. La capacidad en peso de un tanque para aire comprimido es el peso máximo de aire que se puede contener sin exceder la presión de seguridad.

202.- CAPACITANCIA.- Es el cambio en cantidad contenida por un

dad de cambio de alguna variable de referencia. se mide en unidades de cantidad dividida por la variable de referencia.

La energía ó material contenida y la variable de referencia determinan el tipo de capacitancia. La capacitancia de un proceso puede incluir diferentes cantidades y variables de referencia, y varios tipos distintos pueden coexistir en un proceso dado.

La capacitancia de volúmen en un tanque abierto con respecto a la altura hidrostática, es el cambio en volúmen de líquido almacenado por unidad de cambio de altura lo cual es equivalente en valor al área de la superficie líquida.

Debe de tomarse en cuenta que si la figura del tanque ocasiona un cambio en la superficie líquida para un cambio en la altura hidrostática, entonces la capacitancia cambiará también con la altura hidrostática.

La capacitancia en peso para un tanque lleno con gas, respecto a la presión, es en cambio en peso del gas almacenado por unidad da cambio en la presión.

203.- LA RESISTENCIA.- Es la oposición al flujo. Se mide en unidades de cambio de potencial necesarias para producir la unidad de cambio en flujo.

204.- TIEMPO MUERTO.- Es cualquier período de retraso entre dos acciones relacionadas entre sí. se mide en unidades de tiempo.

300.- PROCESOS- SUS ELEMENTOS Y CARACTERISTICAS.-

301.- EL PROCESO.- El proceso comprende las funciones colectivas realizadas en y por el equipo en el cual la variable va a ser controlada.

"El equipo" que es lo que se encubre en esta definición de be entenderse que no incluye el equipo de control. El proceso puede también referirse como el sistema controlado, como por ejemplo: la producción de gasolina es un proceso que consiste de un número determinado de componentes o sub-procesos; y el proceso completo se controla, controlando estos sub-procesos."

302.- AUTO REGULACION.- Es una característica inherente de un proceso, que ayuda a limitar la desviación de la Variable Controlada.

303.- LA VARIABLE CONTROLADA.- Es aquella cantidad o condición que es medida y controlada.

304.- EL MEDIO CONTROLADO.- Es aquella energía o material del proceso en el cual la variable es controlada.

La Variable Controlada es una condición o característica del medio controlado, como por ejemplo, cuando la temperatura del agua en un tanque es automáticamente controlada, la variable Controlada es la temperatura y el Medio Controlado es el agua.

305.- LA VARIABLE MANIPULADA.- Es aquella cantidad o condición que es variada por el Controlador Automático, de modo que afecta el valor de la Variable Controlada.

306.- EL AGENTE DE CONTROL.- Es aquella energía o material del proceso en el cual la Variable Manipulada es una Condición o Característica.

La Variable manipulada es una condición o característica del agente de control; y por ejemplo: cuando un elemento final de control (Válvula de Control), cambia el flujo del gas combustible a un quemador, la variable manipulada es el flujo, el Agente de Control es el gas; y de nuevo, si un elemento final de control cambia el flujo de vapor a un cambiador de calor, la Variable Manipulada es el flujo, y el Agente de Control es el vapor. Un controlador de temperatura puede decirse que es un controlador de flujo de BTUs.

400.- CARACTERISTICAS DE CONTROL AUTOMATICO.-

401.- LA SEÑAL DE ACTUACION .- Es la diferencia en cualquier ocasión entre la Entrada de Referencia y una señal relacionada a la Variable Controlada.

Simplemente establecido la Señal de Actuación es la diferencía en cualquier ocasión entre la medición actual y la medición deseada de la Variable Controlada. Esto ha sido llamado - la señal de error; y cuando la medición actual y la medición deseada son las mismas, la señal de error es cero.

402.- DESVIACION.- Es la diferencia entre el valor actual de la Variable Controlada y el valor de la variable controlada de acuerdo con el SET-POINT (Ver figura No 11 .)

La Señal de Actuación y la Desviación son frecuentemente usadas como intercambiadas, pero puede considerarse que la Señal

Señal de Actuación es el resultado de la Desviación.

La Señal de Actuación puede ser una magnitud, un movimiento o un régimen.

403. (CORRIMIENTO (OFFSET)).- Es la diferencia de estado estacionario entre el Punto de Control y el valor de la Variable Controlada que corresponde con el SET-POINT.

El corrimiento se muestra en la figura No. 14 y es una característica inherente de la acción de posición del controlador.

404.- ACCION CORRECTIVA.- Es la variación de la Variable Manipulada producida por los Medios de Control.

Los Medios de Control operan el Elemento Final de Control (Válvula de Control), el que de hecho varía la Variable Manipulada.

405.- CICLAJE.- Es un cambio periódico de la variable controlada de un valor a otro.

("Oscilación" es un sinónimo del efecto anterior).

Existen tres tipos de ciclaje, es decir ciclaje en donde la amplitud decrece gradualmente; ciclaje donde la amplitud permanece constante y ciclaje donde la amplitud crece gradualmente.

406.- ENTRADA DE REFERENCIA.- Es la Señal de Referencia dentro de un Controlador Automático.

La entrada de referencia podría ser el resultado de manipulación del SET-POINT. Dentro de la operación de un control neu

mático el SET-POINT y la entrada de referencia podrán considerarse como lo mismo.

407.- SET-POINT.- Es el punto en el cual se coloca el mecanismo de posición del SET-POINT.

Cuando el controlador automático tiene una escala de SET-POINT, éste es la lectura de escala en términos de las unidades de medición de la Variable Controlada, o sea: libras por pulgada cuadrada, grados fahrenheit, galones por hora, etc. Cuando no se suministra escala, el Set-point es la posición del mecanismo de control del Set-Point, en términos de las unidades de medición de la Variable Controlada.

El Set-Point puede ser variado manualmente o por medios automáticos.

408.- PUNTO DE CONTROL.- Es el valor de la Variable Controlada sobre la que opera el Controlador Automático, para mantener la bajo cualquier juego de condiciones fijadas. (Ver figura No. 11)

409.- RETROALIMENTACION PRIMARIA.- Es una señal que se relaciona a la Variable Controlada y que es comparada con la Entrada de Referencia, para obtener la Señal de Actuación.

Simplemente establecido, la Retroalimentación Primaria es la medición actual de la Variable Controlada, que cuando se compara con la medición deseada de la Variable Controlada, produce la Señal de Actuación.

500.- TIPOS DE FUNCIONAMIENTO DEL CONTROLADOR AUTOMATICO.

501.- ACCION DE POSICION.- Es aquella en la cual hay una rela

ción predeterminada en tre el valor de la Variable Controlada y la posición del Elemento final de control.

Establecido en otra forma, es una acción en la cual hay - una acción predeterminada entre la medición actual de la Variable Controlada y la posición de la Válvula de Control.

501 a.- ACCION DE DOS POSICIONES. _ Es aquella en la cual un - Elemento Final de Control se mueve entre dos posiciones fijas.

"Acción de abrir y cerrar o acción de on - off" es una acción de dos posiciones. (Fig 32)

501a a.- ACCION DE DOS POSICIONES CON DIFERENCIAL . _Es aquella en la que un elemento final de control se mueve de una a otra de dos posiciones fijas cuando la variable controlada alcanza un valor predeterminado de acuerdo con una dirección y después pasa a la otra posición tan solo después que la variable se ha movido en la dirección opuesta a través de una gama de valores - a un segundo valor predeterminado. (Fig 32)

501 a b.- ACCION DE DOS POSICIONES CON UN PUNTO.- Es aquella en la cual el elemento final de control se mueve de una de dos posiciones fijas a la otra, con un solo valor de la variable controlada.

La diferencial de este tipo de acción de dos posiciones es cero. Dicha acción de controlador puede también considerarse como una acción de posición proporcional en la cual la banda - proporcional es cero, o una acción flotante con zona neutra igual a cero y con velocidad flotante infinita.

501 b.- ACCION DE POSICION MULTIPLE.- Es aquélla en la que un elemento final de control se mueve de una de 3 ó más posiciones predeterminadas, correspondiendo cada una a una gama definida de valores de la variable controlada.

501 c.- ACCION DE POSICION PROPORCIONAL.- Es aquella en la cual hay una relación lineal continua entre el valor de la medición actual de la variable Controlada, y la posición de la válvula.

La figura No. 15 ilustra la acción de posición proporcional.

501 d.- ACCION DE POSICION PROMEDIAL.- Es aquella en la que existe una relación predeterminada entre el valor de la variable controlada y la posición de un elemento final de control-referida a un promedio del tiempo que permanece en una u otra posición.

La acción de este controlador es parecida a la de dos posiciones en la cual el porcentaje de tiempo que permanece accionado el elemento final depende del valor de la variable controlada. El porcentaje de tiempo en que se halla accionado puede tener un valor fijo o un número infinito de valores correspondiendo a cualquiera de las otras acciones posicionantes de los controladores descritos anteriormente.

502.- ACCION INTEGRAL.- Es aquélla en la que existe una relación predeterminada entre una función integral de la variable controlada y la posición del elemento final de control.

502 a.- ACCION FLOTANTE.- Es aquélla en la cual hay una rela
ción determinada entre la Desviación y la velocidad del Elemen
to Final de Control.

Bajo esta definición hay muchas clasificaciones. El tipo de acción flotante más comúnmente usado en los instrumentos de control de procesos operados neumáticamente es la acción de reposición(reset), en la cual el Elemento Final de Control (válu
la de Control), es movido a una velocidad proporcional a la extensión de la Acción de Posición Proporcional. Este términ
o se aplica sólo a una acción múltiple que incluye acción de Posición Proporcional.

La acción de reposición puede definirse como un movimient
o de válvula a velocidad proporcional a la magnitud de la desvi
ación.

502 a a.- ACCION FLOTANTE DE UNA VELOCIDAD.- Es aquélla en la que el elemento final de control se mueve a una sola velocid
ad.

502 a b.-ACCION FLOTANTE DE VARIAS VELOCIDADES.- Es aquélla en la cual un elemento final de control se mueve a dos o más vel
ocidades, cada una correspondiente a una gama definida de val
oresde la variable controlada.

502 a c.- ACCION FLOTANTE DE VELOCIDAD PROPORCIONAL.- Es aquél
la en la cual se tiene una relación lineal continua entre el valor de la variable controlada y la velocidad del elemento fi
nal de control.

502 a d.- ACCION FLOTANTE DE POSICION PROMEDIAL.- Es aquélla en la cual se tiene una relación predeterminada entre el valor de la variable controlada y la rapidez de cambio de la posición promedial con el tiempo de un elemento final de control que se mueve periódicamente de una de dos posiciones fijas a la otra

Esta acción controladora es parecida a la acción de dos posiciones en el hecho de que el porcentaje de tiempo que permanece accionado el elemento final de control se cambia gradualmente a una velocidad dependiente del valor de la variable controlada. La rapidez del cambio del porcentaje de tiempo que permanece accionado el elemento final de control, puede tener ya sea un número fijo o un número infinito de valores, correspondiente a cualquiera otra de las acciones controladoras descritas previamente.

503.- ACCION DERIVATIVA.- Es aquélla en la cual hay una relación predeterminada entre la derivada de tiempo de la Variable Controlada y la posición de un Elemento Final de Control.

La forma más común de acción derivativa es la primera derivada o acción de Rate (**).

503 a.-ACCION DE RATE.- es aquélla en la cual hay una relación lineal continua entre el régimen de cambio de la Variable Controlada y la posición de un Elemento Final de Control.

La acción de rate produce un movimiento de válvula proporcional al régimen de cambio de la medición actual.

504.- ACCIÓN MULTIPLE.- Es aquélla en la cual se combinan dos o más acciones de control.

Las siguientes acciones son frecuentemente conocidas como modos de control: (a) Acción Proporcional y la acción de Rate; (b) Acción Proporcional más Reajuste (reset), en la que se combinan acción de Posición Proporcional y acción de Reajuste, y (c) Acción Proporcional, acción de Reajuste y acción de Rate.

NOTA.- (**) La acción de Rate (traducido literalmente régimen), también conocida simplemente como acción derivativa se usa en los controladores automáticos para contrarrestar los retrasos del proceso. Se conserva en su idioma original por así ser ampliamente conocida en la jerga de la instrumentación.

504 a.- ACCIÓN PROPORCIONAL MAS FLOTANTE.- Es aquélla en la cual la acción de posición proporcional y la acción flotante, se hallan combinadas.

504 a a.- ACCIÓN PROPORCIONAL CON REAJUSTE.- Es aquélla en la cual la acción de posición proporcional y la acción flotante de velocidad proporcional se hallan combinadas.

504 b.- ACCIÓN PROPORCIONAL MAS DERIVATIVA.- Es aquélla en la cual se combina la acción de posición proporcional y la acción derivativa.

504 c.- ACCIÓN FLOTANTE MAS PROPORCIONAL Y MAS DERIVATIVA.- Es aquélla en la cual la acción de posición proporcional, la acción flotante de velocidad proporcional y la acción derivativa se hallan combinadas.

504 c a.- ACCION PROPORCIONAL CON REAJUSTE Y CON ACCION DE RE
lacion derivativa.- Es aquélla en la cual se encuentran combi
nadas la acción de posición proporcional, la acción flotante -
de velocidad proporcional y la acción de relación derivativa.

600.- AJUSTES DE LAS ACCIONES DE LOS CONTROLADORES AUTOMATICOS.

601.- ZONA NEUTRA.-es una gama predeterminada de valores
de la variable controlada, en la cual no se lleva a cabo acción
correctiva alguna.

La Zona Neutra se expresa comúnmente como porcentaje de la
gama del controlador. En algunos tipos de acción flotante se
utiliza una Zona Neutra.

602.- DIFERENCIAL.- Refiriéndose a la acción de controladores
de dos posiciones, por la cual debe pasar la variable controla
dora con objeto de accionar el elemento final de control para
pasar sucesivamente de una a otra de sus posiciones fijas.

La diferencial se expresa generalmente como un porcenta
je de la gama de la escala del controlador.

603.- BANDA PROPORCIONAL .- Aplicándose a la acción del con
trolador de Posición Proporcional, es el rango de Valores de la
Variable Controlada que corresponde al rango de operación com
pleto del Elemento Final de Control.

Establecido en otra forma, la Banda Proporcional es aquel
porcentaje del total del rango de la Variable Controlada (escala
de medición), a través del cual la medición actual debe cambiar
para producir el rango de operación completo del Elemento Final

de Control (carrera completa de la válvula de Control). Ver figura No. 15 ,

604.- VELOCIDAD FLOTANTE.- Aplicada a acción controladora de varias velocidades, es la velocidad con que se mueve el elemento final de control. La velocidad flotante se expresa generalmente en por ciento de la gama total de movimiento por minuto.

605.- RELACION DE VELOCIDAD FLOTANTE, REFERIDA A LA ACCION CONTROLADORA FLOTANTE DE VELOCIDAD PROPORCIONAL.- Es la velocidad de movimiento del elemento final de control correspondiente a una desviación específica.

La relación de velocidad flotante se expresa generalmente en % de la gama total de movimiento por minuto y por ciento de desviación.

606.- REGIMEN DE REAJUSTE.- (Aplicándose a las acciones de Controlador Proporcional más Reajuste y Proporcional más Reajuste más Rate). Es el Número de veces por minuto que el efecto de la acción de posición Proporcional sobre el Elemento Final de Control, se repite por la acción Flotante de Velocidad Proporcional.

Existen dos formas comunes de expresar la acción de reajuste: como tiempo de reajuste y como régimen de reajuste. El régimen de reajuste se expresa comúnmente como un número de "repeticiones" por minuto; y se determina por división de (1) el viaje del elemento final de control (carrera de la válvula) en un minuto como un resultado del efecto de acción de Posición Propor-

cional) con la misma desviación en ambos casos. Ver figura N° 16

607.- TIEMPO DE RATE.- (Aplicándose al Controlador de acción Proporcional más Rate y al de Acción Proporcional más Reajuste más Rate). Es el intervalo de tiempo por el cual la Acción de Rate avanza el efecto de la acción de Posición Proporcional sobre el Elemento Final de Control. Ver figura N° 17 , .

El tiempo de Rate es comúnmente expresado en minutos; y se determina por sustracción (1), el tiempo requerido para un movimiento seleccionado del Elemento Final de Control resultante del efecto combinado de la Acción de Posición Proporcional más Rate, de (2), el tiempo requerido para el mismo movimiento como un resultado del efecto de la acción de Posición Proporcional sola, con el mismo régimen de cambio del control variable en ambos casos, o expresado en otra forma, es el conducto de tiempo en términos de presión de aire sobre la válvula de control producido por la acción de Rate, comparado con la acción de posición proporcional para el mismo régimen de cambio de la medición actual en ambos casos.

La figura N° 17 ilustra⁴ el efecto de la acción proporcional y de la acción proporcional más rate, para el mismo régimen y magnitud del cambio actual de medición.

700.- ELEMENTOS Y CARACTERISTICAS DE LOS CONTROLADORES AUTOMATICOS.

701.- MEDIOS DE MEDICION.- Consisten de aquéllos elementos de un Controlador Automático que están involucrados en la determinación y comunicación a los medios de control del valor de

la Variable Controlada.

Es un sistema de medición en un Controlador Automático.

701 a .- ELEMENTO PRIMARIO.- Es la porción de los Medios de Medición que primero utiliza o transforma energía del medio controlado para producir un efecto que es una función del cam
bio en el Valor de la Variable Controlada.

El Efecto producido por el Elemento Primario puede ser un cambio de presión, fuerza, posición, potencial eléctrico o re
sistencia.

701 b.- MEDIOS DE MEDICION AURO- OPERADOS.- Son aquellos en los que toda la energía necesaria para accionar los medios de con
trol de un controlador automático se obtienen del medio con
trolante por medio del elemento primario.

701 c.- MEDIOS DE MEDICION ACCIONADOS POR RELEVADOR.- Son aqué
llos en los que la energía transmitida por el elemento prima
rio se refuerza ó amplifica para accionar los medios de control de un controlador automático empleando energía adicional.

702.- (*UNIDAD DE FUERZA.*) MEDIOS DE CONTROL.- Son aquellos e
lementos de un Controlador Automático que producen la acción correctiva.

702 a.- MOTOR OPERADOR.- Es una porción de los Medios de Control que aplica potencia para operar el Elemento Final de Control.

702 b.- ELEMENTO FINAL DE CONTROL.- Es aquella porción de -
los medios de control que cambia directamente el valor de--

la Variable Manipulada.

Este puede ser una válvula de control, un amortiguador, u otra forma de restrictor variable y ajustable, que pueda cambiar el flujo del Agente de Control.

702 c .- MEDIOS DE CONTROL AUTO- OPERADOS.- Son aquellos en los que toda la energía necesaria para operar el elemento final- de control proviene de los medios de medición. (FIG.-13)

702 d.- MEDIOS DE CONTROL ACCIONADOS, POR RELEVADOR.- Son a aquellos en los que la energía transmitida por los medios de - medición, se refuerza o amplifica para accionar el elemento - final de control por medio del uso de energía adicional. (FIG.-14)



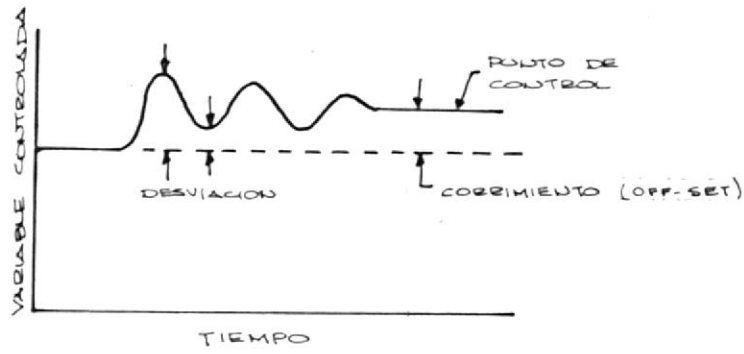


FIG. 11. DESVIACION ESTABLE

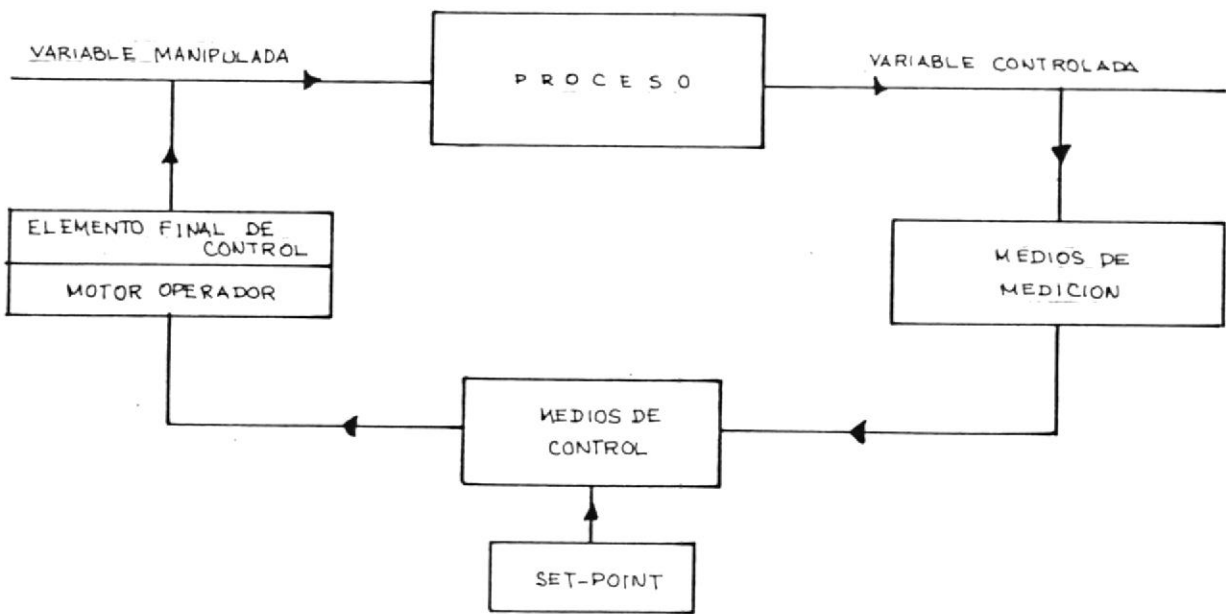


FIG. 12. DIAGRAMA DE UN SISTEMA DE CONTROL AUTOMATICO.

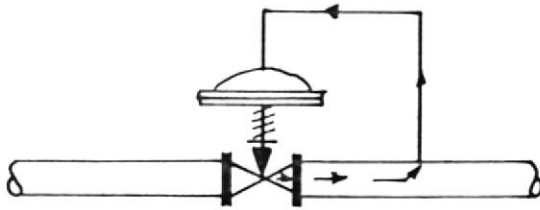


FIG. 13.. DIAGRAMA DE UN CONTROLADOR AUTO - OPERADO.

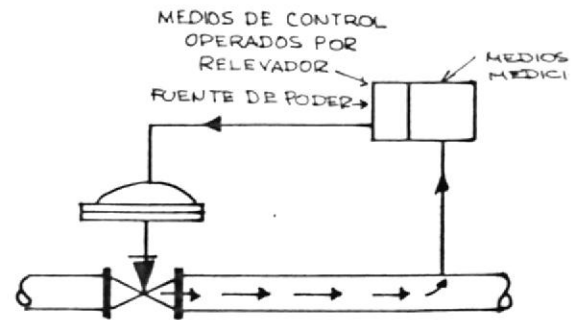


FIG. 14. DIAGRAMA DE UN CONTROLADOR OPERADO POR UN RELEVADOR

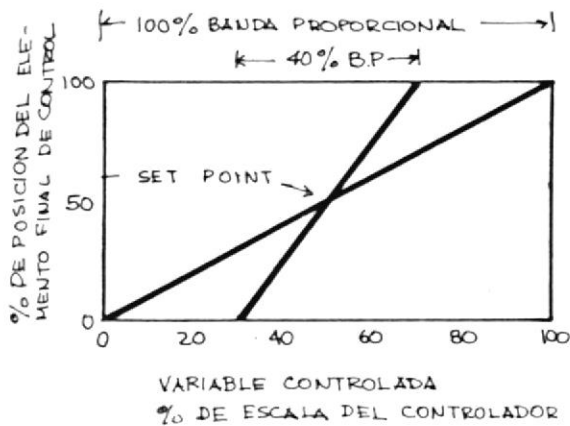


FIG. 15. ACCION PROPORCIONAL

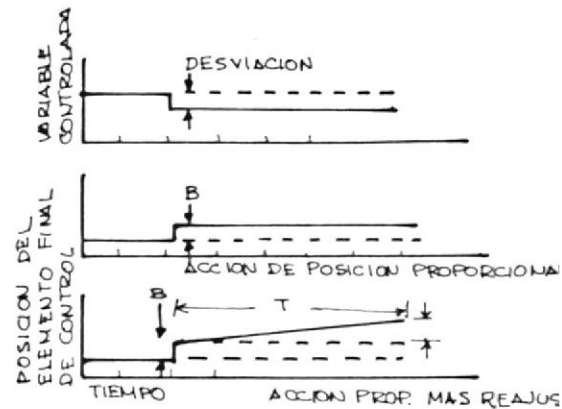


FIG. 16.. ACCION PROPORCIONAL MAS INTEG

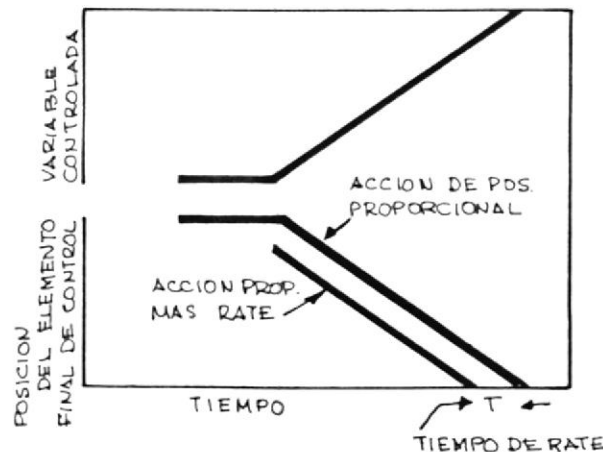


FIG 17. EFECTOS DE LA ACCION DE POSICION PROPORCIONAL Y DE LA ACCION PROPORCIONAL MAS RATE.

SIMBOLOGIA Y NOMENCLATURA DE LOS INSTRUMENTOS EN UN SISTEMA DE CONTROL AUTOMATICO.-

La información que aquí se suministra es recomendada por la sociedad Americana de Instrumentos (ISA) constituyéndose este en un nuevo sistema en la simbología y nomenclatura de la instrumentación se recomienda su uso de la manera más frecuente.

Grandes diferencias encontramos entre los diseñadores y consultores de plantas procesadoras de petróleo por lo que es muy difícil referirse a esos diseñadores o constructores y recurrir a los símbolos de la ISA, procediendo a su explicación.

El mayor uso de este sistema es el de identificar, más precisamente toda la instrumentación sobre diagramas de flujo, tubería e instrumentación, durante el diseño de las unidades químicas o de petróleo.

Esto deberá reducir las fallas corrientes sobre la selección de instrumentos y su almacenamiento, conexiones en acumuladores y tubería, detalles en el alambrado y en instalación de tubería, instalación de sistemas y muchos otros.

La simplificación es realizada por el uso solamente de una letra de la familia del sistema y un número para identificar todos los componentes dentro del sistema.

Un paso más adelante podría ser el de identificar solamente

el mayor componente de la familia del sistema con una letra y un número; e identificar los otros componentes con solamente el sufijo de la letra, porque el entendimiento común en la identificación del lazo.

Esto verdaderamente podría ser de máxima simplificación.

INCONSISTENCIAS PASADAS.- En 1949 el método usado para presentar los datos de instrumentación sobre los "diagramas de flujo, tubería e instrumentación" fue inconsistente de una organización a otra y en muchos casos hubo inconsistencias en la misma organización. Estas inconsistencias impusieron un trabajo muy fatigoso, molesto e incongruente sobre ingenieros, personal de construcción y operación especialmente donde la transmisión de datos de ingeniería y el uso de diagramas fue importantícimo.

SÍMBOLOS ISA.- X Dentro de la respuesta a los requerimientos industriales para un método standar de presentar los símbolos de instrumentación, la Sociedad Americana de Instrumentos ISA desarrolló y publicó una práctica recomendada "símbolos de instrumentación" papel N° RP5.1. Este papel presenta un buen método organizado de diagramar los símbolos de instrumentación, sus tipos y funciones; letras específicas para identificar los instrumentos con las variables de proceso y las funciones del instrumento como un buen método, standar, las letras (cuando) se arreglarán también cuando se usa dentro de una combinación de dos o más;

siendo una manera de identificar a la familia de lazo; y una

manera de identificar a la familia del sistema; y una base para indicar los terminales de transmisión y control.

Las recomendaciones son bien concebidas y prácticamente para las necesidades del tiempo, y la adopción de esta práctica eliminará cualquier confusión que haya existido.

PEQUEÑOS COMENTARIOS DE LA NORMA STANDARD ISA.-

1.- COMPONENTES DE LAZO.- Cuando se aplica esta práctica ISA a la instrumentación dentro de la industria de la ingeniería y construcción, unos cortos comentarios se hacen necesarios una fue la falla al identificar separadamente los componentes individuales dentro de un lazo de control. Por ejemplo, cuando usamos un lazo de control de flujo, el transmisor, el controlador, la válvula de control y el elemento primario podrían todos ser identificados como FRC-1. Esta identificación común de todos los items dentro de lazo mantienen una confusión en el diseño y diagramación, almacenamiento, almacenamiento en el campo e instalación en el campo. Esta situación podrá ser muy fácilmente remediada adicionando una letra sufixa en la identificación de la familia de lazo para cada item. Con referencia al ejemplo anterior el transmisor podría ser ahora identificado como FRC-1T; la válvula de control, FRC-1P y el elemento de flujo FRC-1E.

2.- SIMBOLO DEL ACTUADOR DE ALARMA .- Otro pequeño comentario fue la falla de la práctica ISA (fue) al mostrar la alarma pero no el símbolo para el dispositivo usado que actúa la alarma. la omisión. del dispositivo actuador sobre el diagra-

ma de flujo no llama la atención la parte que se requiere para localizarlo sobre cualquier diagrama de tubería o alambrado dentro del CAMPO.

Consecuentemente si está a la izquierda dentro de muchos casos. La solución, en nuestro caso requiera que el dispositivo actuador se muestre sobre los diagramas de flujo; estableciendo su localización dentro del campo o sobre el panel principal; indicando también la acción sea neumática o eléctrica; y finalmente nombrando el ítem con una letra sufijo.

como un ejemplo, un switch de presión podrá ser identificado como PA-4S; y la alarma como PA-4.

NUEVO SISTEMA DE IDENTIFICACION DE LOS INSTRUMENTOS ..- Porque muchos nuevos tipos de instrumentos y también computadoras, la escritura recomienda un nuevo sistema de identificación de instrumentos el cual deberá satisfacer las demandas actuales.

Como un arranque inicial, se deberá definir las ventajas de la presente práctica ISA, el uso de la presente nomenclatura de letras y su manera de identificar a un lazo común y de aplicar los mismos símbolos. dentro de esta manera la transición de la presente práctica a revisar uno o cualquier lazo podía ser hecho suavemente y con mínimo efecto.

Para simplificar la presentación y flexibilidad de acomodarse a los cambios, tal como adicionando o eliminando un sistema de lazo, este es el propósito que la identificación de un lazo entero sea reducido a una sola ley (como comparamos dos o más dentro de la presente práctica) y un número.

Cada componente en su turno podrán ser identificados separadamente por la adición de una letra sufija. con referencia al lazo de flujo del ejemplo usado previamente, el transmisor podría ser ahora identificado como F4T; el registrador controlador F4RC; la válvula de control F4V; y el elemento primario F4E. Note que cuando se usa este método de identificación el marvete del componente no se afectará cuando su ítem sea cancelado adicionándolo o cambiándolo. Por ejemplo, si el controlador registrador es cambiado a un controlador indicador o un controlador ciego, el ítem que solamente se cambia es de F4RC a F4IC o F4C.

Los otros componentes no serán afectados.

LETRAS DE LOS LAZOS.- La tabla 1 correspondiente a las variables de proceso y actuación tiene una lista de letras de lazo y también letras sufijas para identificar ítem específicos. Note que esta lista influye letras para analizadores, actuación eléctrica, unidades, discos, swich, etc. Los cuales son presentados dentro de la demanda. En muchos casos, la indicación de una multifunción en instrumentos de puntos múltiples, tal como registradores y unidades de alarma, representan todas una sociedad de ítems son muy imprácticos o extremadamente difícil de aplicar. Esto es especialmente apreciado cuando los ítems son ampliamente repartidos sobre los diagramas de flujo o también combinan numerosos instrumentos con un solo tag (ver nota 3 tabla 1) como una manera de simplificación, la

letra U ha sido usada para identificar como un solo instrumento . Este método ha sido usado por muchos años y aprobado ser muy efectivo.

SIMBOLOS BASICOS.- "bajo " símbolos básicos de instrumentación" figura.- 17 un nuevo símbolo fue adicionado para computadora y una para regulador auto contenido, para diferenciarlo del tipo directamente conectado. El símbolo del regulador auto contenido es introducido para llamar la atención del diseñador de tubería que una toma de tubería externa no es requerida,

SIMBOLOS DE FLUJO.- Sobre la figura.-19 , símbolos de flujo, por favor note que se está usando en la parte inferior del círculo la letra R para 'radio'; La palabra 'radio' es adicionada a un lado del círculo. De esta manera, la simplicidad de identificación de lazo y la flexibilidad es mantenida. Porque el uso es infrecuente y la escritura de la palabra 'ratio' no imponen un trabajo duro.

SIMBOLOS DE PRECION, TEMPERATURA Y NIVEL.- Las figuras.-20-21-22 muestran el formato ISA con excepción de los switches de alarma y las alaeamas son identificadas separadamente.

SISTEMAS DE ALARMA.- Diferentes aplicaciones y los métodos de diagramar las alarmas y los switches de actuación se muestran en la figura 23.

SIMBOLOS MISCELANEOS.- La figura N°24, símbolos misceláneos, adicionada a la práctica ISA se basan en los ejemplos usados, como un motor o válvula selenoide, E2V accionado por potencia eléctrica; el switch manual H2C el cual actúa la válvula se_

lenoidae H2aV, posicionando una válvula operada por pistón, H2bV; y la aplicación de la letra U.

SÍMBOLOS DE RELAY Y TRANSDUCER.- Son ilustrados en las figuras 25 y 26. permitiendo que la letra sufixa T que representa a un transmisor, relay o transducer no presente problema alguno porque el símbolo retratado de cada función es diferente. Un transmisor tiene su señal en el proceso generando una señal neumática o eléctrica; y un relay tiene el mismo tipo de señal de transmisión principal; y un transducer tiene un solo tipo de señal principal. Solamente la excepción es el del caso de convertir EMF de una termocupla a una señal compatible del receptor. Los datos, para esta aplicación no presentan problemas.

SÍMBOLOS DEL COMPUTADOR.- Ejemplos del símbolo del computador demuestran las figuras 27 y 28. Nuestra experiencia nos indica de cual instrumento van a ir al computador; que instrumento recibe los terminales del computador; y también indica la función del computador. Esta información es toda la que se requiere para satisfacer el diseño e instalación eléctrica en el campo del área del proceso al computador, y también satisface la información requerida para un proceso con instrumentación específica compatible con el computador.

IDENTIFICACION SIMBOLICA MINIMA.- Este sistema reduce la identificación simbólica de la instrumentación al mínimo, como indica el ejemplo de la figura 29.

LETRAS DE IDENTIFICACION DE VARIABLES DE PROCESO Y ACTUACION

TABLA 1

LETRA	LETRA DEPENDIENTE DE LA VARIABLE DEL PROCESO TIPO DE ACTUACION O ITEM ESPECIAL	LETRA SUFIJO QUE DEPENDE DEL TIPO DE INSTRUMENTO O FUNCION
A	ANALIZADOR	ALARMA
C	CONDUCTIVIDAD	CONTROL
D	DENSIDAD	DISCO (ruptura o seguridad)
E	ELECTRICO	ELEMENTO (elemento primario para medir el proceso)
F	Flujo	-----
G	-----	VIDRIO (glass)
H	MANUAL	-----
I	-----	INDICACION
L	NIVEL	LOGGED-----
M	HUMEDAD	NADA
O	-----	ORIFICIO
P	PRESION	PATCH PANEL
R	-----	REGISTRO
S	VELOCIDAD	SWITCH
T	TEMPERATURA	TRANSMISOR, RELAY TRANSDUCER
U	UNIDAD (Multifunción)	-----
V	VISCOSIDAD	VALVULA
W	PESO	POSO

Nota.- Cuando se requiere, lo siguiente podra ser usado opcio_ nalmente como una primera letra para otras variables de proce_ so: 1(Los simbolos de definicion quimica como CO₂, C₂, etc. quizas puedan ser usados para ese instrumento de analisis espe_ v cifico. (2) El simbolo de pH podria ser usado para la concen_ tracion del ion hidrogeno.

Nota.- Cuando considere necesario, es tambien permitido aumentar la palabra " ratio " o " relay " fuera del circulo para clarificar el item. Lo mismo que en el caso de la " D " minuscua (d) debera ser incertada antes de la letra " T" To de la letra " P " para distigir la diferencia de temperatura o diferencia de presión o " m " para un medidor por desplazamiento.

Nota._ La letra " U " es usada para simplificar el marvete de un instrumento especialmente cuando el instrumento tiene un minimo de tres puntos y el total de puntos representa dos o mas variables de proceso. " U " debera generalmente aplicarse a un registrador multi-punto y una multi-unidad de alarmas visual.

TUBERIA DE INSTRUMENTOS.-

LINEA DE AIRE PARA INSTRUMENTOS. 

INSTRUMENTO CON TOBO CAPILAR.- 

INSTRUMENTO CON TERMINAL ELECTRICO.- 

TUBERIA DE INSTRUMENTOS EN EL
PROCESO 

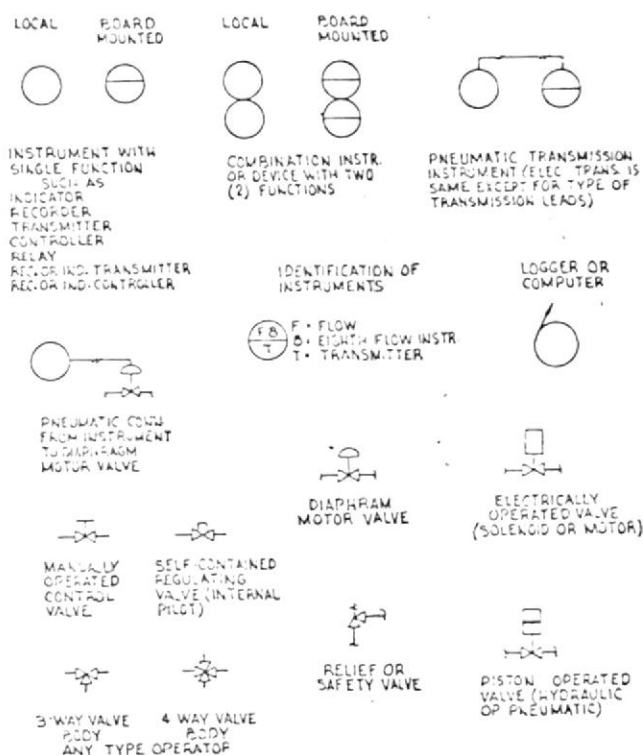


Fig. (18) Basic instrument symbols.

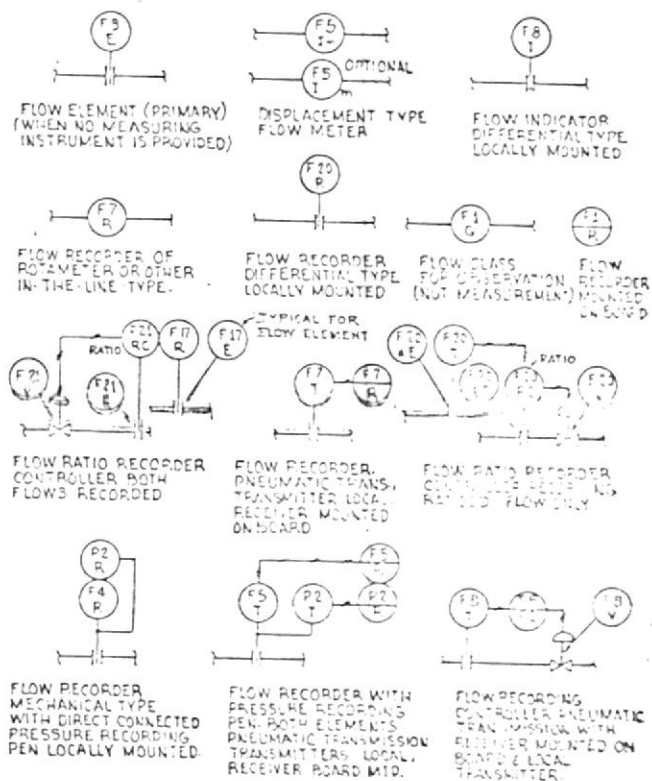
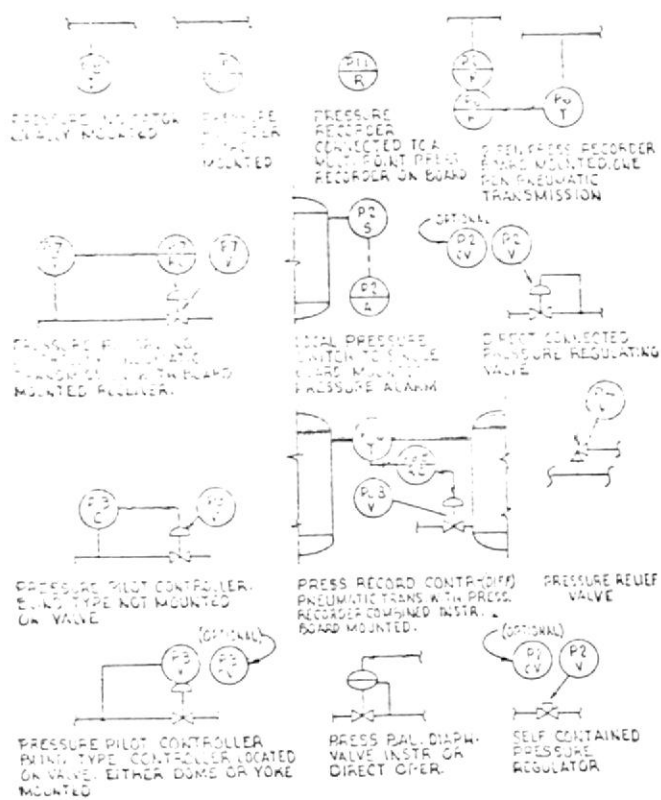
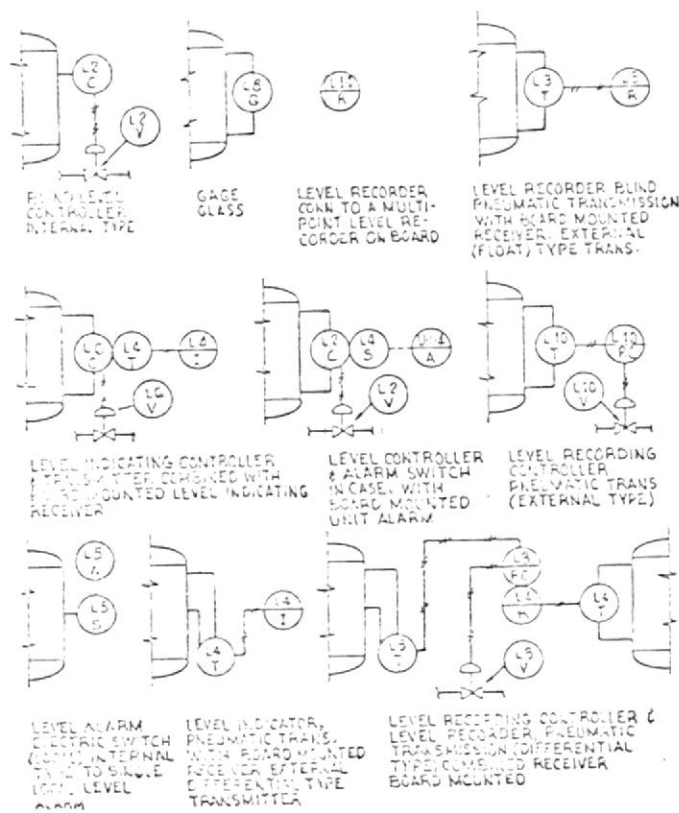


Fig 19 - Flow symbols.



Fig(20)-Pressure symbols.



1. UNLESS OTHERWISE NOTED ALL ALARMS SHALL CONSIST OF AN AUDIBLE AND VISUAL SIGNAL. WHEN ANY ALARM IS ACTIVATED IT SOUNDS A HORN OR WORKS LOCATED IN PLANT AREA OR CONTROL HOUSE AND ENERGIZES ITS INDIVIDUAL LIGHT OR LIGHTS IN AREA NOTED ON SYMBOL.
2. ALL ALARM SWITCHES SHALL BE SHOWN AS A SEPARATE FUNCTION AND HAVE AN INDEPENDENT NUMBER WHETHER IT IS LOCATED IN AN INSTRUMENT CASE OR LOCATED SEPARATELY.

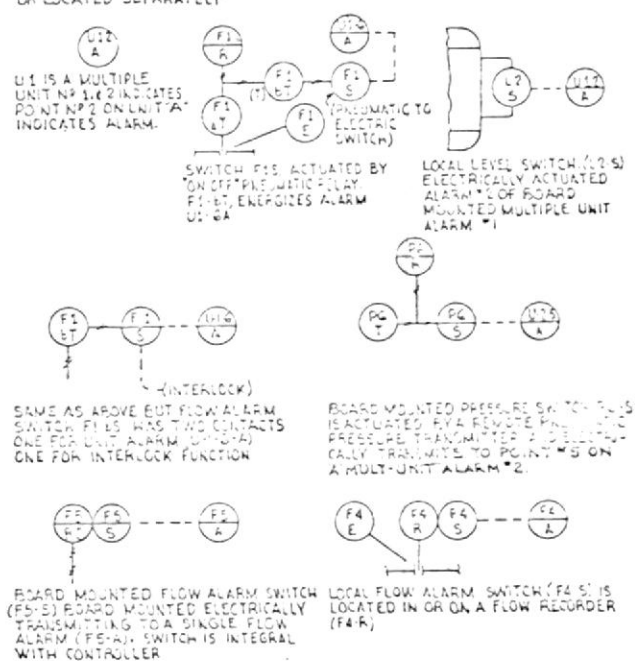


Fig 23 Alarm symbols.

INSTRUMENT SYMBOLS—A NEW APPROACH . . .

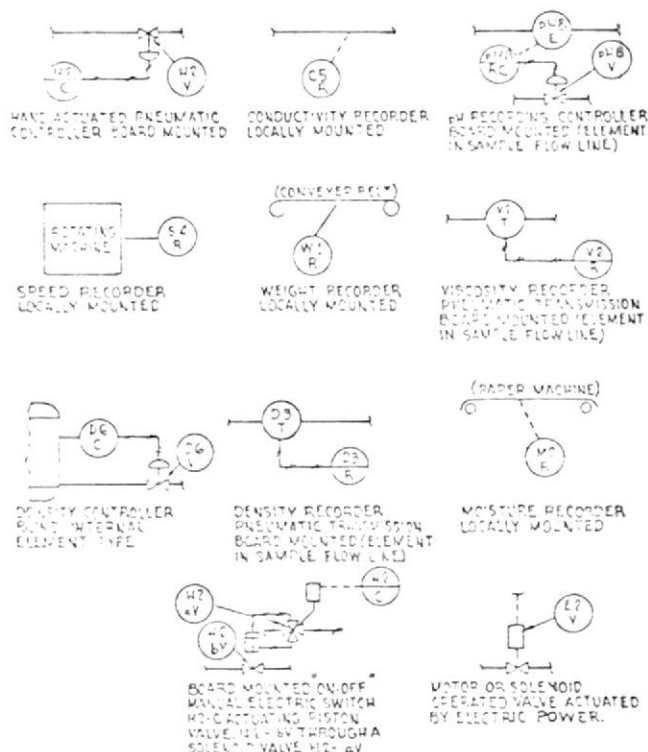
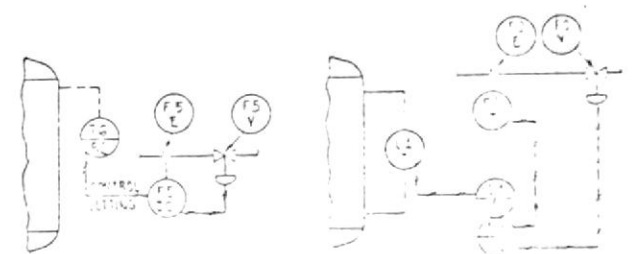
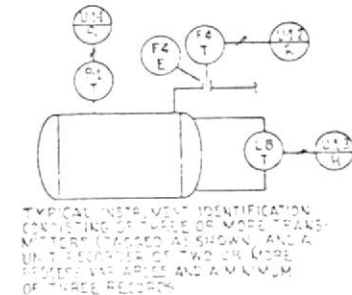
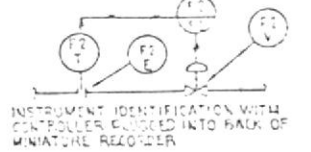
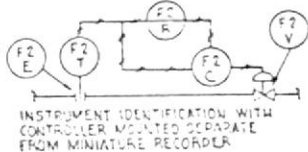
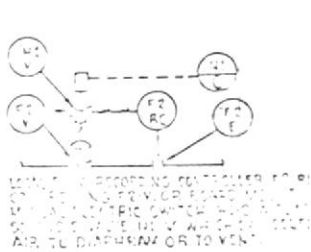
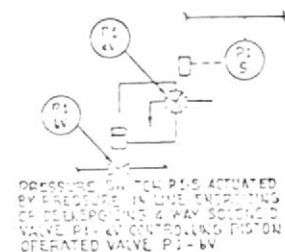
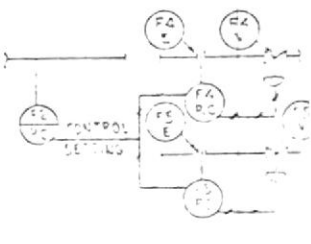
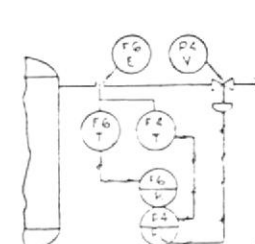
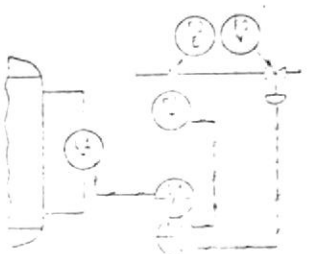


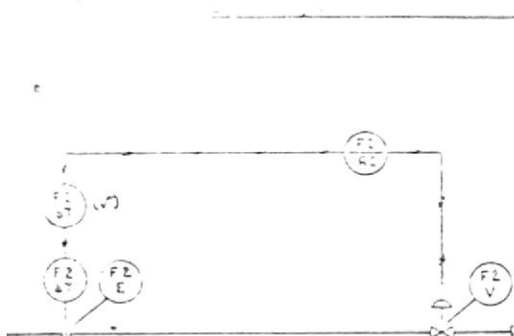
Fig. 24 Miscellaneous symbols.



TEMPERATURE RECORDING CONTROLLER BOARD MOUNTED (ELEMENT IN SAMPLE FLOW LINE) (NOTE THAT CONTROLLER SETTING IS SHOWN AS 100% AND IS TO INDICATED CASCADE CONTROL)



UNIT RECORDER: RECORDING TWO OR MORE POINTS OF TWO OR MORE PROCESS VARIABLES. (UNIT NO. 1 & POINT NO. 1) (UNIT NO. 2 & POINT NO. 2) & FUNCTION IS RECORDER



RELAY SYMBOLS (DEFINITION)

- (+) SUMMATION RELAY
- (-) SUBTRACTING RELAY
- (X) MULTIPLYING RELAY
- (S) SQUARE ROOT RELAY
- (B) BOOSTER RELAY
- (T) TRIP TYPE RELAY

(MAY ALSO BE APPLIED TO ELECTRICAL CIRCUITS)

Fig. 25 - Pneumatic relays.

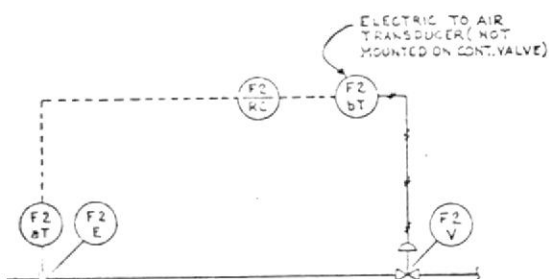
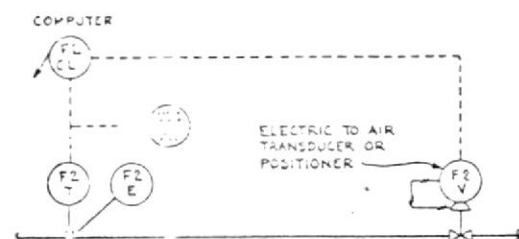
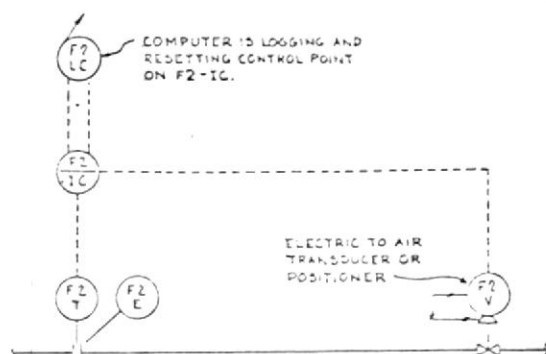


Fig. 26 - Transducers (electric to air or air to electric).

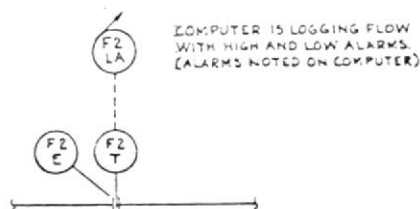


U1-1-PR IS A PATCH PANEL, UNIT #1, THAT HAS OPTIONAL RECORDING TO A MULTI-PEN RECORDER. F2 WILL BE IDENTIFIED AS "POINT" ON UNIT #1.

Fig. 27 - Computer controlled loop.



- (F2 LC) INDICATING CONTROLLER (BOARD MOUNTED)
- OR
- (F2 RC) RECORDING CONTROLLER (BOARD MOUNTED)
- OR
- (F2 C) BLIND CONTROLLER (BOARD MOUNTED)



COMPUTER LOGS ABNORMAL CONDITIONS AND ALSO INDICATES A MULTI-UNIT ALARM FOR HIGH AND LOW FLOW RATES.

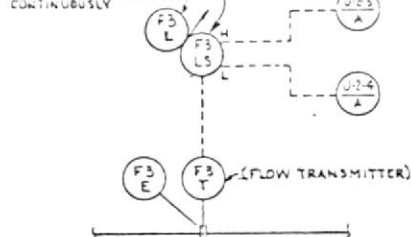
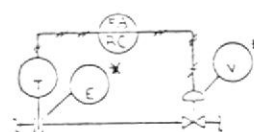
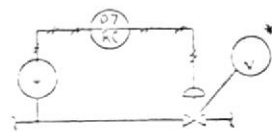


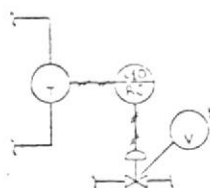
Fig. 28 - Computer tie-in.



PNEUMATIC FLOW TRANSMITTER WITH BOARD MOUNTED RECORDER CONTROLLER AND CONTROL VALVE



PNEUMATIC PRESSURE TRANSMITTER WITH BOARD MOUNTED RECORDER CONTROLLER AND CONTROL VALVE



PNEUMATIC LEVEL TRANSMITTER WITH BOARD MOUNTED RECORDER CONTROLLER AND CONTROL VALVE

* CIRCLES FOR INSTRUMENT IDENTIFICATION APPLIED AT OPTION OF USER.

Fig. 29 - Examples of minimum symbolic identification.

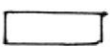
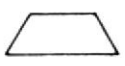
SIMBOLOGIA DE INSTRUMENTACION PARA CALDERAS

En el continuado progreso dentro de los sistemas de control, la sofisticación de los generadores de vapor, se hace necesario definir los conceptos de control de manera que puedan ser entendidos y aplicados fácilmente, al mismo tiempo algunas sociedades tienen símbolos standard y métodos para preparar diagramas de control, una de las técnicas más ampliamente usada es la de la asociación marcadora de aparatos científicos (SAMA) standard RC22-11. Este incluye ■ ambos los símbolos lógicos y un formato de diagramación, las mayores ventajas de este standard son:

- 1) FLEXIBILIDAD.- Como el diagrama es básicamente funcional, el concepto de control es fácilmente transferido y es aplicable a cualquier medio operable esto es, los mismos símbolos son usados para sistemas de control mecánicos, neumáticos o electrónicos
- 2) FAMILIARIDAD.- La familiarización con el equipo de control no es necesario para entender el programa.
- 3) APLICACIONES DE CONTROL.- Los diagramas de aplicación de control pueden ser fácilmente hechos dentro de un proyecto, antes que los detalles específicos sean finalizados.

Para desarrollar los diagramas de control en la industria de calderas, los datos que contienen las siguientes tres tablas son las suficientes. Note que un símbolo completo consiste de un símbolo encerrado con el cual indicamos la función de la señal de proceso o con letras su lectura o medición. La función completa está representada por la combinación de estos símbolos.

SÍMBOLOS ENCERRADOS.- (Tabla N° 10)

Función	Símbolo*
Medición o lectura	
Señal Manual	
Señal automática	
Función Controladora Final	

NOTA.- En el círculo usamos letras para indicar la variable del proceso, y en los otros símbolos usamos las designaciones que indican la función o la señal del proceso.

SÍMBOLOS DE MEDICION Y LECTURA.- (Tabla N° 2)

Variable del Proceso

Función

A.- Análisis*

I.- Indicador

C.- Conductividad

R.- Registrador

D.- Densidad

T.- Transmisor

F.- Flujo

IT.-Indicador-Transmisor

L.- Nivel

RT.-Transmisor -Registra
dor

P.- Presión

T.- Temperatura

NOTA.- La definición de los símbolos como, O_2 , pH etc pueden substituirse por la letra A.

DIAGRAMACION Y DEFINICION DE UN LAZO DE CONTROL BASICO.-

La preparación de un diagrama lógico podrá ser simplifica

da por el diagrama del sistema de control sobre una grilla cuadrada normalmente, un símbolo encerrado ocupa un cuadrado de esta manera, no todos los cuadrados deberán ser llenados.

La realización de este procedimiento permite un espacio - adecuado y alineamiento de los símbolos, facilitando la organización de interpretación. En adición, se ofrece un camino para identificar y localizar cualquier función lógica y específica por la posición dentro del diagrama.

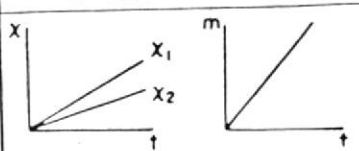
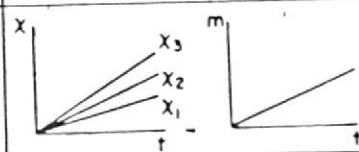
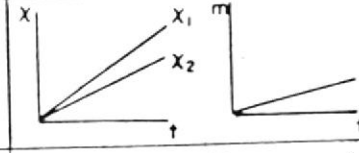
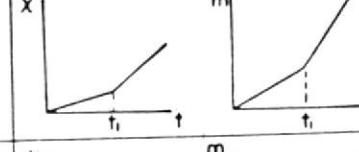
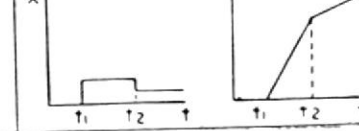
En la figura 29b una función lógica en la quinta fila y la segunda columna podría ser numerada 5.2. El diagrama es completo al remover la grilla y adicionar las líneas de interconexión y su dirección.

Los diagramas pueden ser simplificados omitiendo detalles como la señal del set-point .

Formatos horizontales o verticales son permitidos dentro de un mandato horizontal , las funciones de medición son localizadas a la izquierda con el flujo del diagrama hacia la derecha . En diagramas verticales el flujo va de arriba hacia bajo.

Las funciones auxiliares por ejemplo, operaciones manuales, vías etc. estarán perpendiculares a la señal principal de flujo en ambos formatos. Las señales de salida a dispositivos de lectura son tomados del punto de medición y dibujado perpendicular a la señal de flujo principal.

TABLE 1.2. Signal Processing Systems (Tabla N°3) - 42b)

FUNCTION & SYMBOL	MATH EQUATION *	GRAPHIC REPRESENTATION *	DEFINITION
SUMMING Σ	$m = X_1 + X_2 + \dots + X_n$		The output equals the algebraic sum of the inputs.
AVERAGING Σ/n	$m = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n}{n}$		The output equals the algebraic sum of the inputs divided by the number of inputs.
DIFFERENCE Δ	$m = X_1 - X_2$		The output equals the algebraic difference between the two inputs.
PROPORTIONAL K OR P	$m = Kx$		The output is directly proportional to the input.
INTEGRAL J OR I	$m = \frac{1}{T_i} \int x dt$		The output varies in accordance with both magnitude and duration of the input. The output is proportional to the time integral of the input.

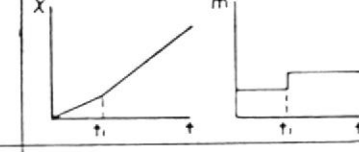
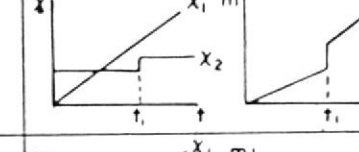
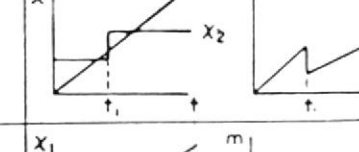
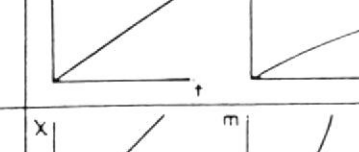
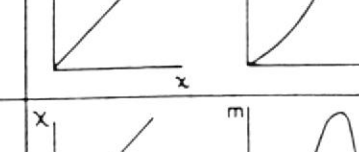
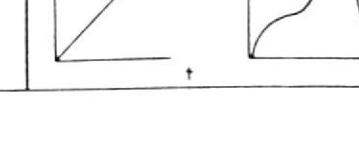
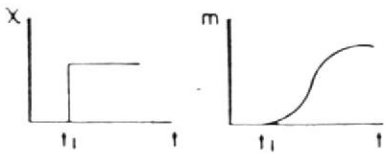
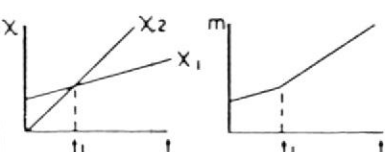
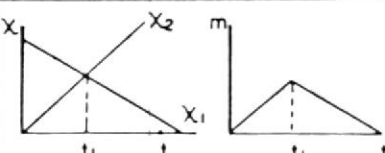
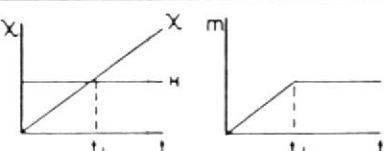
DERIVATIVE d/dt OR D	$m = T_0 \frac{dX}{dt}$		The output is proportional to the rate of change (derivative) of the input.
MULTIPLYING X	$m = X_1 X_2$		The output equals the product of the two inputs.
DIVIDING $\div$	$m = \frac{X_1}{X_2}$		The output equals the quotient of the two inputs.
ROOT EXTRACTION $\sqrt{\quad}$	$m = \sqrt{X}$		The output equals the root (i.e., square root, fourth root, 3/2 root, etc.) of the input.
EXPONENTIAL x^n	$m = x^n$		The output equals the input raised to a power (i.e., second, third, fourth, etc.).
NONLINEAR OR UNSPECIFIED FUNCTION $f(X)$	$m = f(X)$		The output equals some nonlinear function of the input.

TABLE 1.2. (Continued) (Cont. Tabla n°3)

- 42c -

FUNCTION SYMBOL	(Cont.) MATH EQUATION	GRAPHIC REPRESENTATION	DEFINITION
TIME FUNCTION $f(t)$	$m = X f(t)$ $m = f(t)$		The output equals the input times some function of time or equals some function of time alone.
HIGH SELECTING >	$m = \begin{cases} X_1 & \text{FOR } X_1 \geq X_2 \\ X_2 & \text{FOR } X_1 \leq X_2 \end{cases}$		The output is equal to that input which is the greatest of the inputs.
LOW SELECTING <	$m = \begin{cases} X_1 & \text{FOR } X_1 \leq X_2 \\ X_2 & \text{FOR } X_1 \geq X_2 \end{cases}$		The output is equal to that input which is the least of the inputs.
HIGH LIMITING ∇	$m = \begin{cases} X & \text{FOR } X \leq H \\ H & \text{FOR } X \geq H \end{cases}$		The output equals the input or the high limit value whichever is lower.

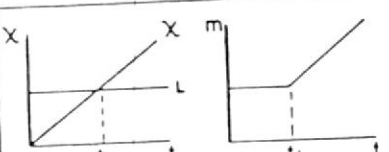
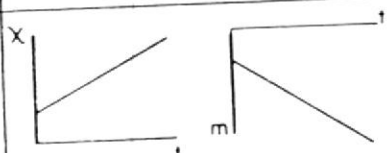
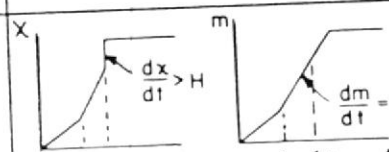
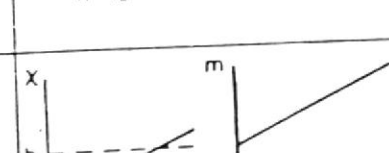
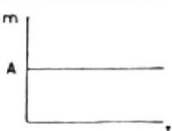
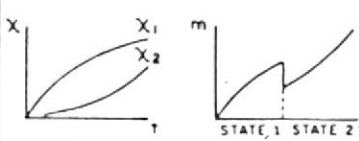
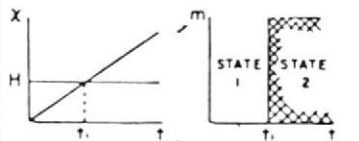
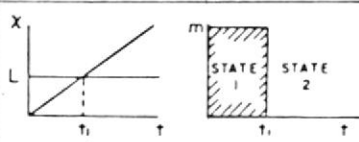
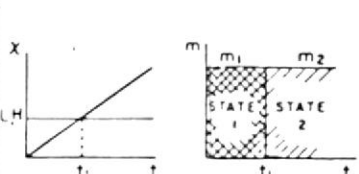
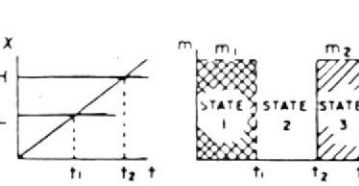
LOW LIMITING ∇	$m = \begin{cases} X & \text{FOR } X \geq L \\ L & \text{FOR } X \leq L \end{cases}$		The output equals the input or the low limit value whichever is higher.
REVERSE PROPORTIONAL $-K$ OR $-P$	$m = -KX$		The output is reversely proportional to the input.
VELOCITY LIMITER ∇	$\frac{dm}{dt} = \frac{dx}{dt} \begin{cases} \frac{dx}{dt} \leq H \text{ AND} \\ m = x \end{cases}$ $\frac{dm}{dt} = H \begin{cases} \frac{dx}{dt} > H \text{ OR} \\ m \neq x \end{cases}$		The output equals the input as long as the rate of change of the input does not exceed a limit value. The output will change at the rate established by this limit until the output again equals the input.
BIAS +, -, OR $\pm$	$m = x \pm b$		The output equals the input plus (or minus) some arbitrary value (bias).

TABLE 1.2. (Continued) (Cont. Tabla N° 3)

- 42d -

FUNCTION SYMBOL	MATH EQUATION	GRAPHIC REPRESENTATION	DEFINITION
ANALOG SIGNAL GENERATOR A	$m = A$	DOES NOT APPLY 	The output is an analog signal developed within the generator.
TRANSFER T	$m = \begin{cases} X_1 & \text{FOR STATE 1} \\ X_2 & \text{FOR STATE 2} \end{cases}$		The output equals the input which has been selected by transfer. The state of the transfer is established by external means.
SIGNAL MONITOR H/	STATE 1 $X \leq H$ STATE 2 (ENERGIZED OR ALARM STATE) $X > H$		The output has discrete states which are dependent on the value of the input. When the input exceeds (or becomes less than) an arbitrary limit value the output changes state.
/L	STATE 1 (ENERGIZED OR ALARM STATE) $X < L$ STATE 2 $X \geq L$		
H/L	STATE 1 (FIRST OUTPUT m_1 ENERGIZED OR ALARM STATE) $X < H, L$ STATE 2 (SECOND OUTPUT m_2 ENERGIZED OR ALARM STATE) $X > H, L$		
H//L	STATE 1 (FIRST OUTPUT m_1 ENERGIZED OR ALARM STATE) $X < L$ STATE 2 (BOTH OUTPUTS INACTIVE OR DE-ENERGIZED) $L \leq X \leq H$ STATE 3 (SECOND OUTPUT m_2 ENERGIZED OR ALARM STATE) $X > H$		

The variables used in the table are:

A — An arbitrary analog signal

m — Analog output variable

b — Analog bias value

n — Number of analog inputs or value of exponent

 $\frac{d}{dt}$ — Derivative with respect to time

t — Time

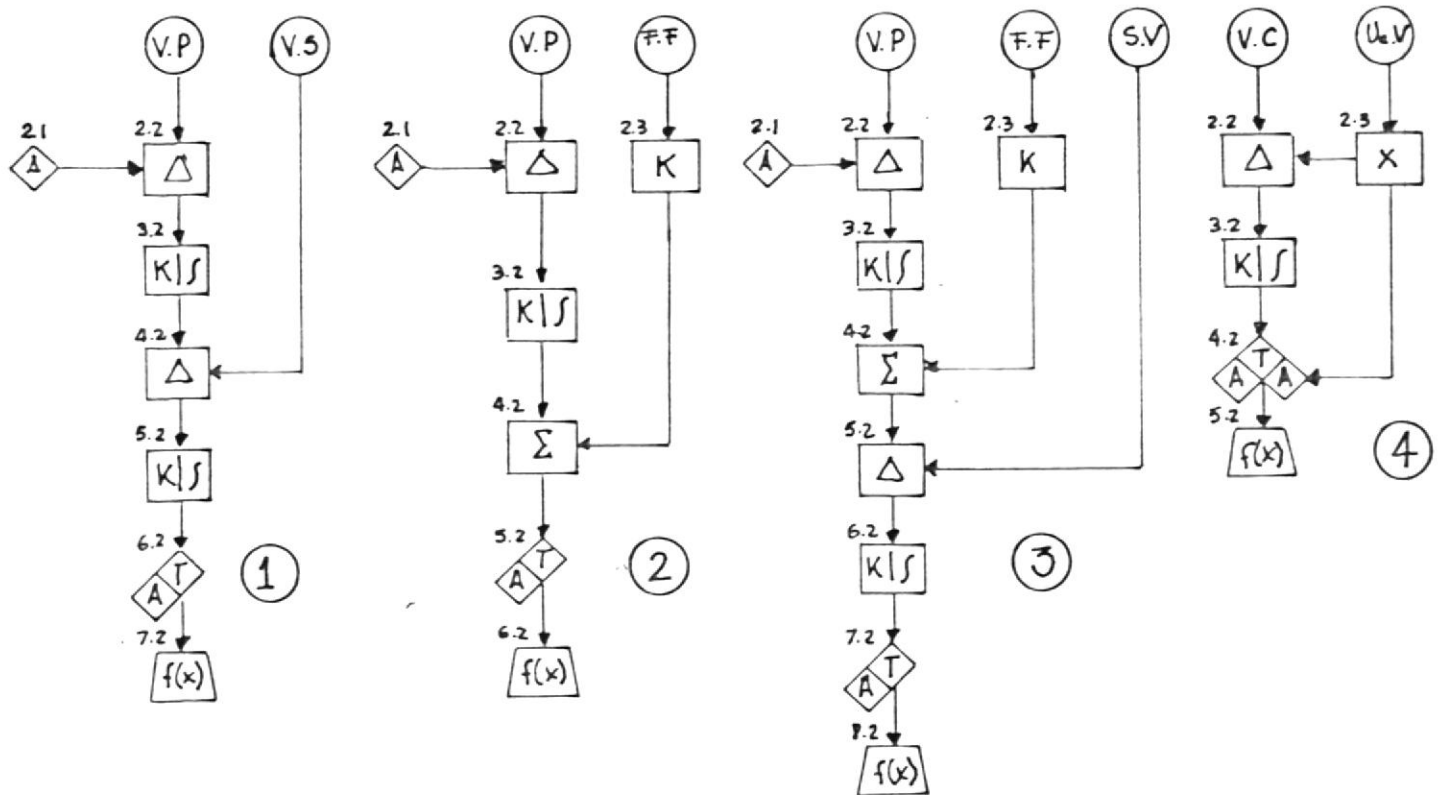
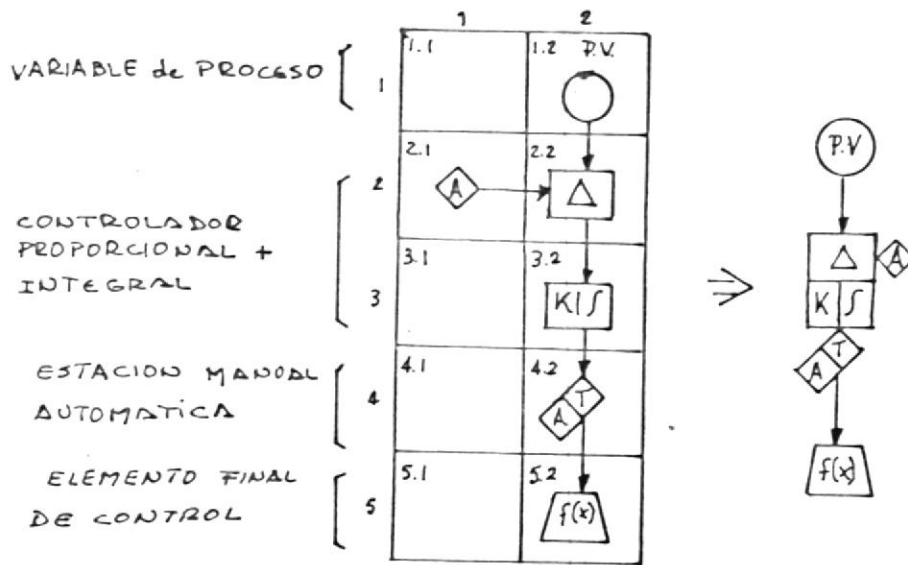
H — An arbitrary analog high limit value

 T_D — Derivative time $\frac{1}{T_i}$ — Integrating rate

x — Analog input variable

L — An arbitrary analog low limit value

 $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ — Analog input variable (1 to n in number)



Ejemplo N° 1

Control " CASCADA "

Ejemplo N° 2

Control " FEEDFORWARD "

Ejemplo N° 3

Control " CASCADE-FEEDFORWARD "

Nota.- Este control provee una respuesta rapida a los cambios de variable de proceso que un sistema de un solo elemento genera , sistema usado frecuentemente en calderas pequeñas.

Ejemplo N° 4

Lazo de control de relación (RATIO)

Nota.= Mantiene una relación pre-determinada de una variable a otra . El set point para el controlador variable es estabilizado por una señal manual (4.2) y la variable no controlada.

Nota.- Algunas observaciones.-

PV o VP = Variable del proceso (PRINCIPAL)

SV o VS = Variable del proceso (SECUNDARIA)

FF = Índice de alimentación hacia adelante

VC = Variable controlada

VIIc = Variable no-controlada

MODOS DE CONTROL

Los controladores automáticos generalmente operan a través de MODOS DE CONTROL tales como: "abierto-cerrado" (on-off), Proporcional y otros, los que determinan como reacciona un Sistema de Control a ciertas condiciones de operación, y la selección del mejor modo para una aplicación requiere del entendimiento de: 1) el circuito de control básico, 2) los diferentes modos obtetenibles y 3) el comportamiento dinámico del proceso que está controlando.

La figura N° 30 muestra un circuito de control de retroalimentación básico, y muchos sistemas de control industrial puededen ser reducidos a uno a más de dichos diagramas; dependiendo la selección del controlador del análisis de los elementos fundamentales representados en dicho diagrama.

Primero, se debe definir los términos para las varias señales mostradas y notar que el controlador (en el cuadro de líneas punteadas), tiene dos partes: una que es el elemento de sustracción y que recibe el Set-Point (valor deseado de la variable controlada) y la señal de retroalimentación del proceso y genera una señal error; y otra que recibe la señal error y realiza las funciones de control necesarias (tales como acciones proporcionales, de ajuste o de rate), que dan por resultado una señal de salida del controlador.

La señal de salida del controlador va a un elemento final

de control, el cual es generalmente una válvula operada automáticamente aunque podría ser un amortiguador, un excitador variable de velocidad, un reóstato variable, un auto-transformador, una resistencia variable, o cualquier dispositivo similar capaz de cambiar la variable de un proceso.

Si se trata de una válvula, esta, dirigida por la señal recibida varía el flujo a través de ella, y éste es una variable del proceso (no una señal como se consideró previamente), y es llamado la variable manipulada.

El elemento final de control sirve por lo tanto, para convertir variaciones en la señal de salida del controlador, en variaciones correspondientes en la variable manipulada. Como se muestra en la figura N° 30, la variable manipulada forma parte de un circuito básico de control que conduce al proceso controlado. Las líneas gruesas se usan para distinguir "variables" de las "señales", representadas por líneas más delgadas.

La variable controlada es, de seguro, la condición del proceso que deseamos regular a un valor igual o muy cercano al set point. Las variables controladas son a menudo: nivel, flujo, presión o temperatura.

El proceso controlado toma muchas formas, y en el caso de un sistema de control de nivel, es un tanque con su capacidad relativa, (o habilidad de retención), y las características del flujo que entra y sale del tanque. En el caso de un control de flujo, la variable manipulada es la variable controlada, y el concepto de proceso controlado puede ser descrito meramente co

mo "el equipo que establece las relaciones estáticas y dinámicas entre la variable manipulada y la variable controlada".

Las perturbancias pueden entrar al elemento final de control o al proceso en cualquier forma, para cambiar sus relaciones entrada-salida, y esta es la razón fundamental para usar un circuito de control, el que actúa para mantener la variable controlada a un valor deseado a pesar de las perturbancias.

Si deseamos controlar una variable de proceso por medio de un sistema de retroalimentación, un controlador debe medir esa variable y crear una señal que realmente represente la variable, tanto con respecto a la posición como a la velocidad de medición.

Los elementos de medición en la figura N°30 representan todos los elementos usados para convertir la variable controlada, en una señal de la misma naturaleza que la señal de set-point en el controlador. Estas señales pueden tomar la forma de un movimiento, una presión neumática, una corriente eléctrica, una fuerza u otras, dependiendo del diseño del controlador. Por lo tanto, receptores, tubos, dispositivos servo-eléctricos así como dispositivos de detención en sí mismos, son todos considerados partes de los medios de medición.

MODOS DE CONTROL.- Los más comunes medios de control obtenidos en varios diseños de controlador son: abierto-cerrada, apertura diferencial(tipos de control de dos posiciones), proporcional, proporcional más ajuste, más rate, y proporcional más reajuste más rate. Los términos de estos modos varían un poco

en la industria, y algunos son dados en la siguiente descripción de cada uno.

La tablâ 1 resume estos modos de control.

CONTROL DE DOS POSICIONES DEL TIPO "ABIERTO-CERRADO".=

El controlador de abierto-cerrado (ver figura N°31), es meramente un "switch" que se mueve a una posición cuando el error es positivo (señal del set-point mayor que la del proceso), y a otra posición cuando el error es negativo. Este modo de control se diseña generalmente para operar con una zona o banda muerta tan pequeña como sea posible, cuando las posiciones no son las de completamente abierto o completamente cerrado, se conoce como control de "alto-bajo".

CONTROL DE DOS POSICIONES CON ABERTURA DIFERENCIAL.-

Este es una modificación al control de abierto-cerrado con dos valores de salida (abierto-cerrado), pero la acción de switcheo ocurre sólo después de que el error de entrada pasa a través de una abertura o zona diferencial. Si, por ejemplo, el error fue previamente negativo y regresa a cero, no hay switcheo del controlador hasta que el error alcanza algún valor positivo. Entonces, si el error de nuevo decrementa, debe caer a algún valor negativo como se requirió en el lado positivo.

La abertura diferencial entre estos dos puntos de switcheo es ajustable, y el set-point está en el punto medio de dicha abertura.

La figura N°32 muestra las diferencias principales entre los controladores de abierto-cerrado simple y con abertura diferencial.

CONTROL PROPORCIONAL.=

Este es uno de los tipos más comúnmente usados y produce una salida que es proporcional a la señal de error. La salida no está restringida a dos valores como en el caso del control de dos posiciones, sino que puede ser cualquier valor de señal de mínimo a máximo. Generalmente el instrumento se alinea de modo que ocurra salida a 50% de la escala cuando el error es exactamente cero, pero se incluye en ocasiones una polarización manual ("reajuste manual"), para permitir salidas distintas a error cero.

El factor de proporcionalidad entre la salida y el error es llamado la ganancia, siendo la ecuación siguiente una respuesta típica del control:

$$\text{Salida} = (\text{Ganancia}) (\text{Error}) + 1/2 \text{ Salida de Escala.}$$

Si la ganancia es positiva la salida incrementa con un incremento del error; y si es negativa, decrementa con un decremento del error.

A menudo se usa el término banda proporcional para describir la ganancia del controlador, y se define como sigue:

$$\text{B.P.} = \frac{100}{\text{GANANCIA}} \quad (\text{donde B.P. se expresa en por ciento})$$

La banda proporcional es el por ciento de escala completa a través de la cual debe variar la señal error para causar una variación completa de la señal de salida.

Si, por ejemplo, el set-point se coloca a 50 por ciento de escala y la banda proporcional a un valor de 20 por ciento (ganancia = 5) la señal del proceso deberá variar de 40 por ciento de escala a 60 por ciento de escala para hacer que el elemento final de control varíe a través de su carrera completa. En el caso de una válvula, esta se cierra cuando la señal del proceso es 40 por ciento, se abre a la mitad en 50%, y se abre completamente a 60 por ciento.

La figura N° 33 muestra las acciones del control proporcional para tres tipos de banda: ancha, moderada y angosta, y en ellas se nota que al llegar el control a la estabilización, siempre existe una desviación. Esto se debe a que el control proporcional corrige cuando siente un cambio en el error de entrada, o lo que es lo mismo, una desviación de la variable controlada con respecto al set-point, y no habrá corrección si no hay desviación. En otras palabras, la desviación de la variable controlada es una característica de control proporcional.

Para un caso específico de un proceso determinado, si tenemos un cambio de carga se aplica corrección porque hay banda proporcional.

Si el error de entrada volviera al punto original, entonces la corrección desaparecería y tendríamos el mismo valor de la variable controlada para una carga diferente, con la misma

cantidad de variable manipulada (o agente de control que para el caso es lo mismo), lo cual es imposible. Debemos entonces tener una desviación para que la corrección del control proporcional se aplique.

La figura N° 34 muestra el caso de la acción proporcional, pero con un reajuste manual para volver el error de entrada a su valor original.

CONTROL PROPORCIONAL MAS REAJUSTE.- La limitación de un controlador proporcional es la de que se requiere un error permanente d para hacer que la salida asuma un valor cualquiera excepto el de media escala; y aunque para ganancias altas (banda proporcional angosta ver figura N° 33b), esto no es muy serio debido a que solo se requieren errores pequeños para que la salida alcance sus extremos; si la ganancia debe ser mantenida muy baja, (banda proporcional ancha, ver figura NO 33a), para hacer que el circuito de control se mantenga estable, el controlador proporcional permite que la señal del proceso se desvíe más que ampliamente del set-point, por lo que el control no será satisfactorio.

En este último caso, (banda proporcional ancha), debe ser agregado reajuste automático al controlador, por lo que se convierte en un controlador de dos modos, proporcional más reajuste, algunas veces también llamado proporcional más integral.

La figura N° 35 muestra la respuesta del controlador proporcional más reajuste a un error de entrada; y puede notarse co-

mo la acción del reajuste persiste mientras existe el error, parando sólo cuando éste último es exactamente cero.

La ecuación matemática para la acción del control proporcional más reajuste es :

$$\text{Salida} = (G) \left(e + \frac{1}{T_R} \int_0^t e \, dt \right)$$

En donde G es la ganancia, e es el error, t es el tiempo, y T_R es el tiempo de reajuste en minutos. El tiempo de reajuste es ajustable y junto con la ganancia determinada la tan gente de las curvas en la figura N°35. Se define como el tiempo necesario para que la acción de reajuste duplique la respuesta proporcional inicial a una variación en la entrada en un circui to abierto de prueba. Algunas veces se usa el régimen de reajuste en lugar del tiempo; siendo ambos mutuamente recíprocos.

CONTROL PROPORCIONAL MAS "RATE".- En este tipo de contro lador la acción proporcional es aumentada por otra componente - que provee respuesta al régimen de cambio del error y si el error no es cambiante, la salida es la misma que la de un controlador simplemente proporcional.

La figura N°36 muestra como varía la acción de un control- proporcional más "rate" (también llamado proporcional más deri vada), y nótese que la acción de "rate" ayuda a la respuesta pro porcional. La cantidad de acción de "rate" es ajustable y la salida del controlador sigue la ecuación matemática:

$$Salida = (G) \left(e + T_D \frac{de}{dt} \right) + (1/2 \text{ salida de escala})$$

Donde G es la ganancia, e el error, t el tiempo y T_D el tiempo de "rate" en minutos. El tiempo de "rate" se define como el retardo causado por la respuesta del "rate", sobre el tiempo al cual un controlador proporcional alcanza una cierta salida, durante un período de cambio constante de la señal error.

Control proporcional más reajuste más "rate". - Las tres acciones mencionadas anteriormente pueden ser incorporadas en un solo controlador; y la salida es entonces:

$$Salida = (G) \left(e + \frac{1}{T_R} \int e dt + T_D \frac{de}{dt} \right)$$

La figura N° 37 muestra la acción de este tipo de control, y la figura N° 38 como se suman una a una las acciones para dar una sola salida final.

TIPOS DE COMPORTAMIENTO DINAMICO DE UN PROCESO.-

La selección de un modo de control está basada en la naturaleza dinámica y estática del elemento final de control, el proceso controlado, las perturbancias y los elementos de control medición. Generalmente el comportamiento de válvulas y elementos de medición es mucho más rápido que el proceso en sí mismo, de modo que solo es necesario considerar a este último. Algunos tipos típicos de comportamiento dinámico de procesos, se

describe en los parágrafos que siguen:

RETRASO DE CAPACITANCIA.-Este comportamiento se caracteriza por un efecto de amortiguamiento causado por el almacenamiento de fluido o energía en el proceso. Si la variable controlada es el nivel de un tanque con tiempo de almacenamiento relativamente grande, es claro que ningún cambio en el flujo de entrada puede ser causa de un cambio brusco en el nivel.

Si la respuesta a un cambio en la entrada se muestra gráficamente aparecerá como en la figura N° 39 .

Notese que el retraso en la capacitancia produce una respuesta inmediata pero inicialmente pequeña, y que cuando se analiza resulta una curva exponencial de primer orden. Tal proceso puede ser controlado fácilmente por controladores de abierto-cerrado de banda proporcional, donde no es necesario el reajuste.

RETRASO DE TRANSMISION.- Este tipo de respuesta produce una contestación a un cambio en la entrada como se muestra en la figura N° 40 inicialmente solo hay un cambio pequeño, pero ocurre un incremento posterior hasta que se alcanza una pendiente máxima, decreciendo posteriormente en una forma similar a la curva para el retraso de la capacitancia. La mayor respuesta viene mucho más que después en un sistema con retraso de transmisión, por lo que es una buena selección, generalmente un controlador con acción proporcional más rate.

La acción de rate no puede ser empleada si la señal del proceso es errática y "ruidosa", debido a que exagera su res-

puesta a cambios bruscos y amplificados grandemente la componente de ruido de la señal; pero los sistemas con retardo de transmisión son por lo general circuitos de control que involucran cambios de calor, y la señal de temperatura es plana y libre de ruido. La acción de mate siente la pendiente de la curva de respuesta y provee una corrección adicional a la válvula mucho más rápida, que la que puede ser alcanzada con la acción proporcional solamente.

Dependiendo de las condiciones particulares del tamaño de la válvula, rango de temperaturas y capacidades de calor, el tamaño de la banda proporcional requerido para buena estabilidad puede ser de 10 por ciento o más; y si este es el caso, debe agregarse reajuste automático para evitar el comportamiento asociado con ajustes de banda proporcional ancha; por lo que el controlador tendrá tres modos: proporcional, reajuste y mate.

RESPUESTA INSTANTANEA.- En control de flujo y la mayor parte de las formas de control de presión de líquidos, la variable controlada constata a la variable manipulada inmediatamente (ver figura N° 41). - Por lo tanto, el único retraso remanente en el circuito es el debido a la válvula, medios de medición y elementos de transmisión; y aunque estos tienen respuesta rápida, pueden ser causa de que el circuito se comporte en forma inestable si las bandas proporcionales son menores que 125 por ciento. Tales sistemas, de este modo, siempre requerirán reajuste automático para evitar los grandes comportamientos que pueden ocurrir con tales bandas proporcionales tan amplias; por lo

que los controladores proporcionales son lo mejor que puede seleccionar por control de flujo y presión de líquidos en tuberías.

RETRASO DE VELOCIDAD-DISTANCIA.- Como se muestra en la figura N° 42, la respuesta del proceso puede consistir meramente de un desplazamiento en tiempo; y tales condiciones pueden ser causadas porque el elemento de medición ha sido localizado a alguna distancia flujo abajo del punto de efecto de la variable manipulada; teniendo el fluido que gastar una cierta cantidad de tiempo en alcanzar el elemento de medición.

A menudo el último puede relocalizarse para evitar el retraso velocidad-distancia (o tiempo muerto); y otras veces es necesario usar bandas proporcionales amplias y largos tiempos de reajuste.

El rate no es una acción buena para procesos con respuesta de tiempo muerto; y más bien, en ciertos casos, un control integral puro (reajuste), se ha encontrado apropiado; pero la cosa importante que debe enfatizarse es que no hay un buen esquema de control para este tipo de proceso. Una disturbancia nunca empezará a corregirse mientras no transcurra el tiempo muerto y lo mejor que puede hacerse es evitar las disturbancias mayores y abruptas si es posible.

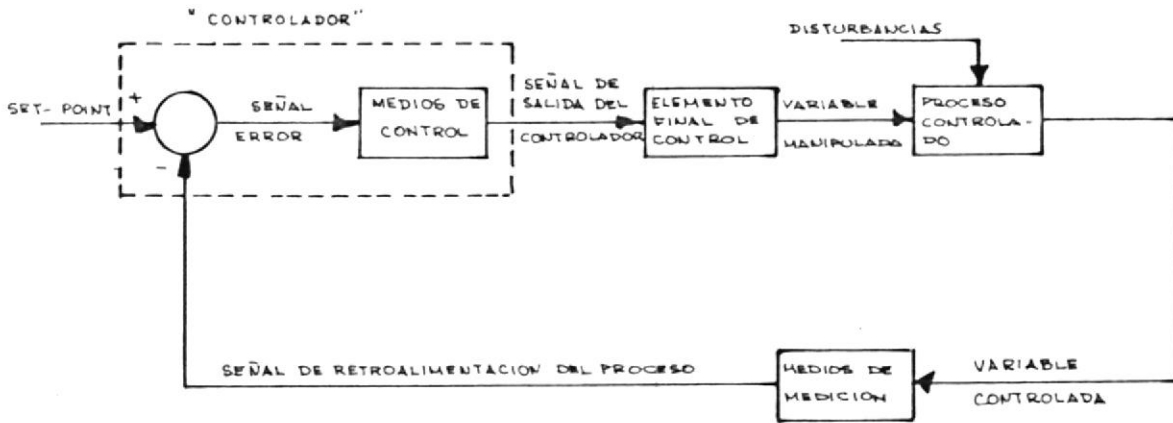


FIG. 30 CIRCUITO BASICO DE CONTROL.

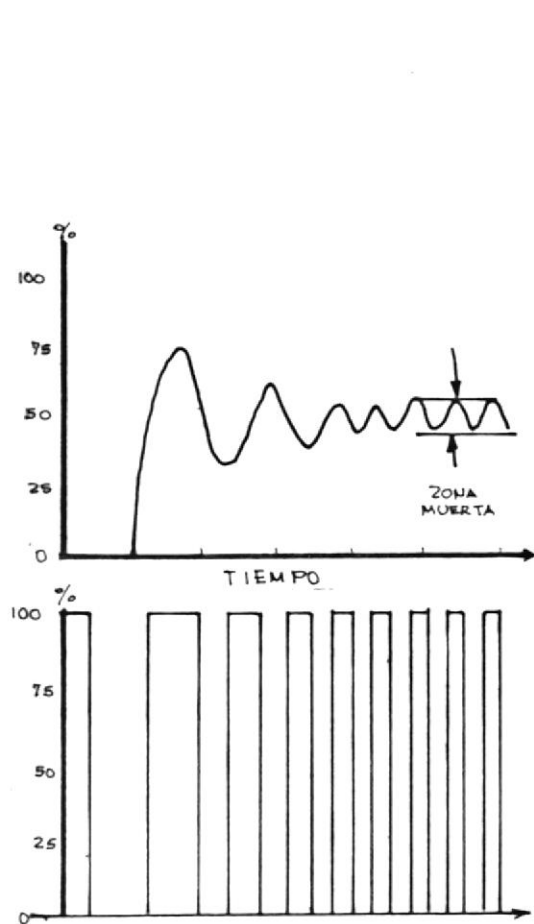


FIG. 31. CONTROL DE DOS POSICIONES.

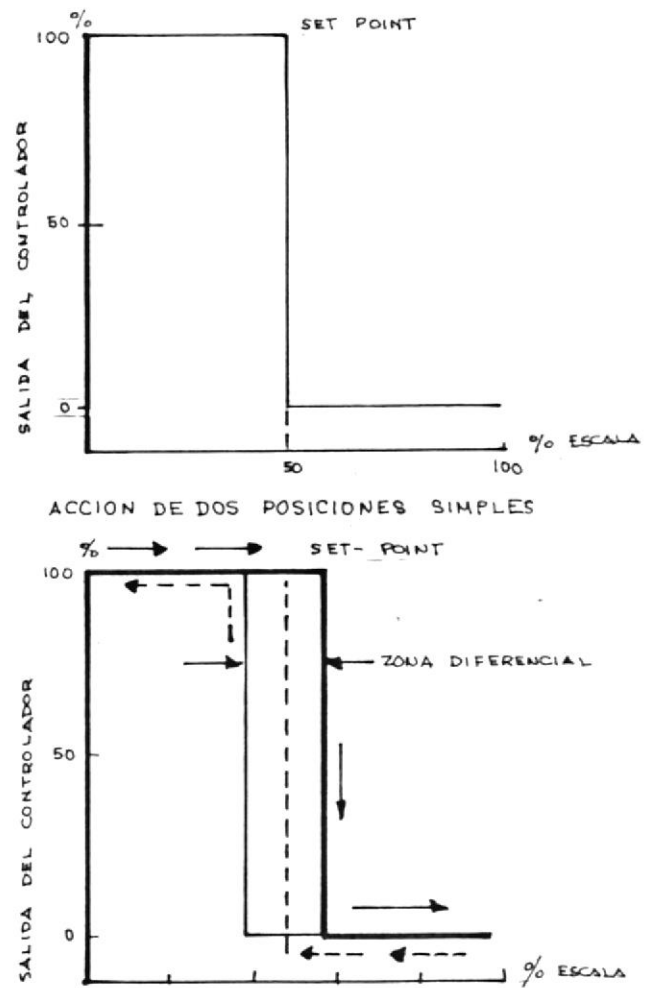


FIG. 32. ACCION DE DOS POSICIONES
CON ABERTURA DIFERENCIAL

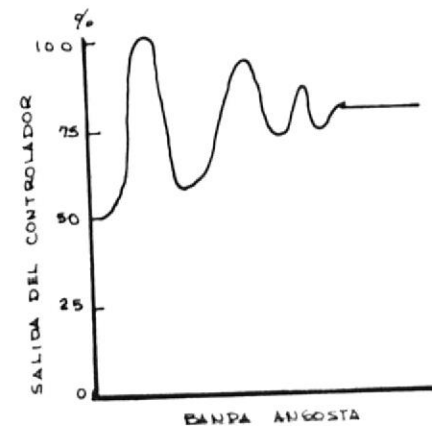
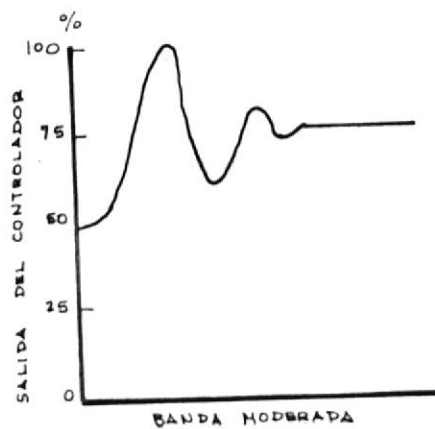
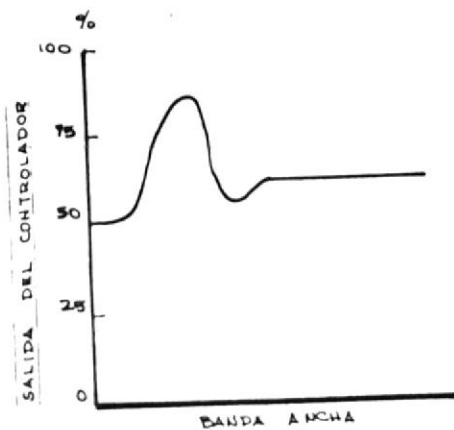
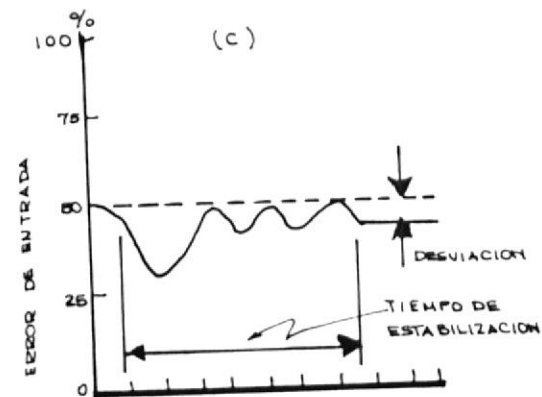
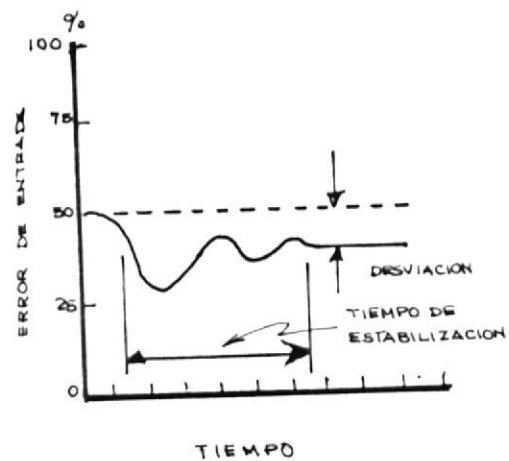
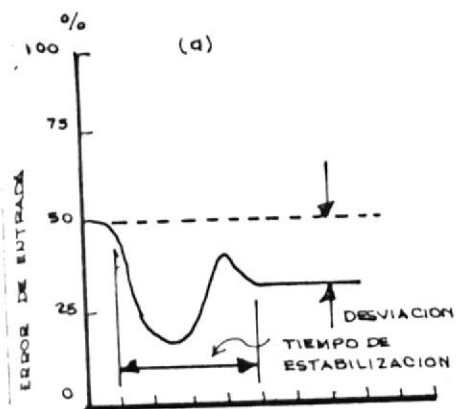
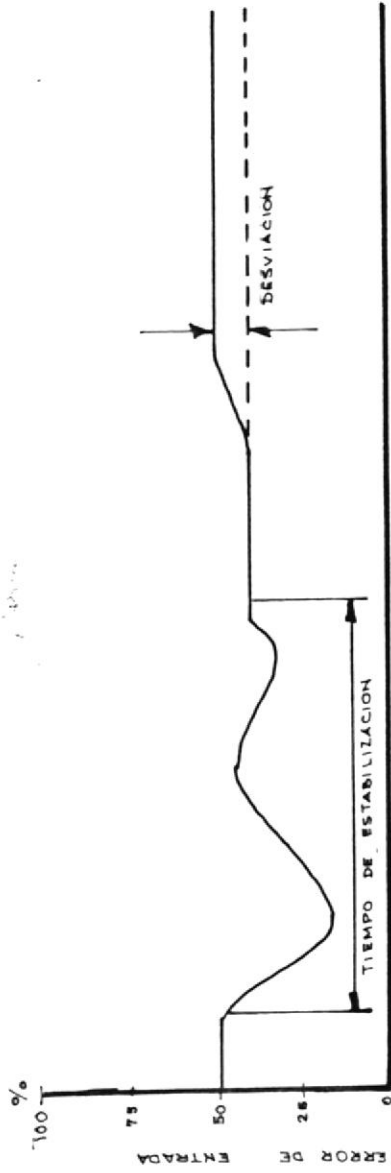
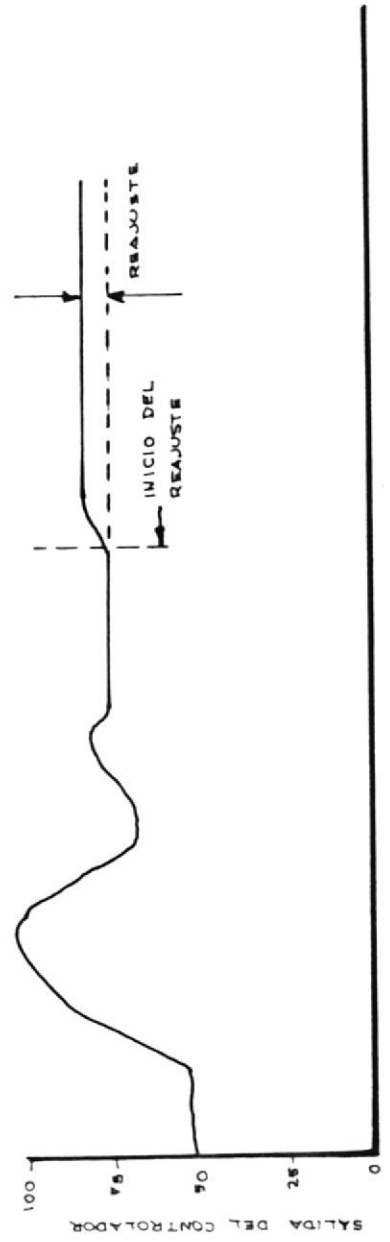
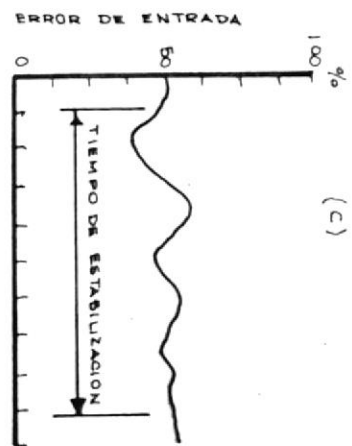
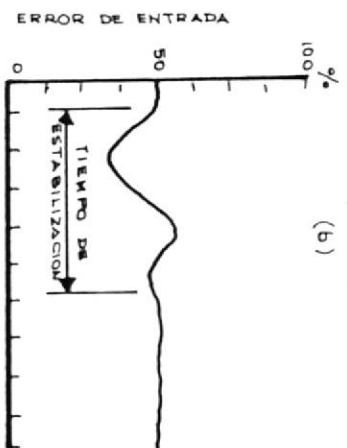
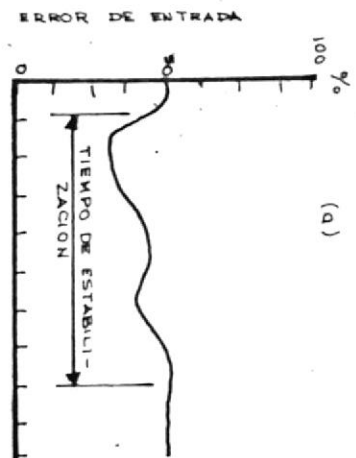


FIG. 33. ACCIONES DEL CONTROL PROPORCIONAL



TIEMPO





TIEMPO

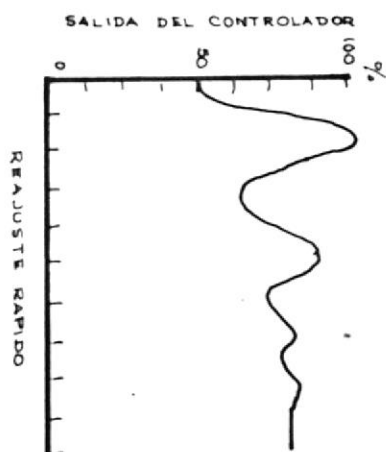
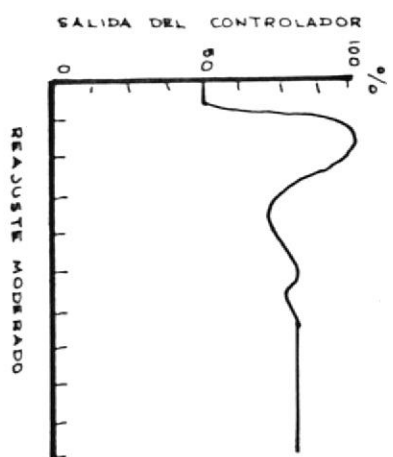
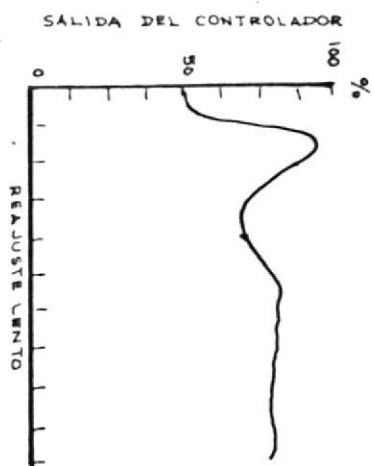
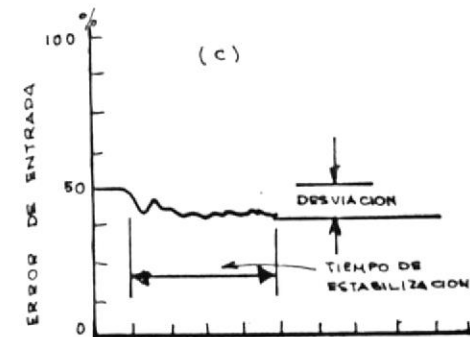
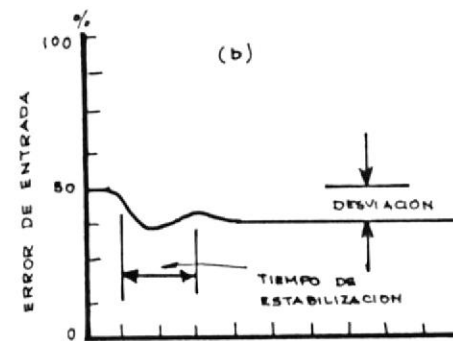
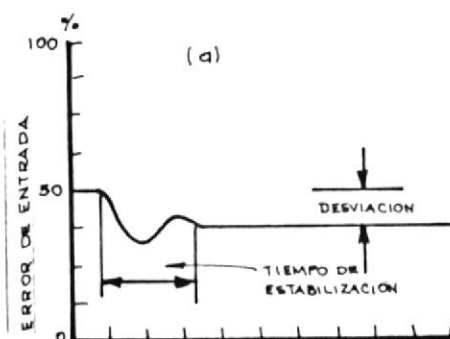


FIG. 35. ACCION DEL CONTROL PROPORCIONAL MAS REAJUSTE.



TIEMPO

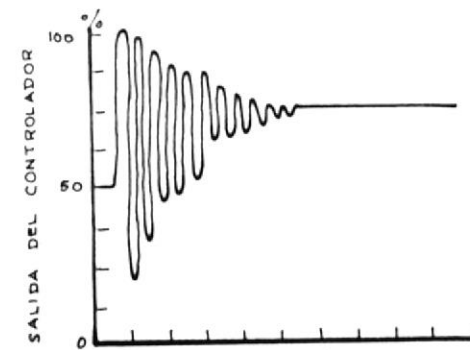
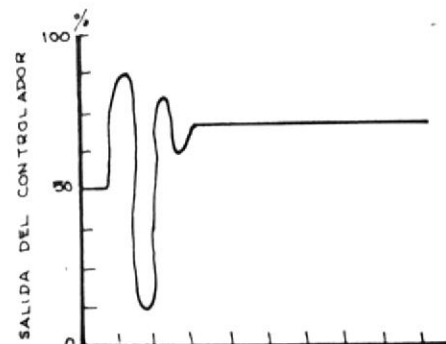
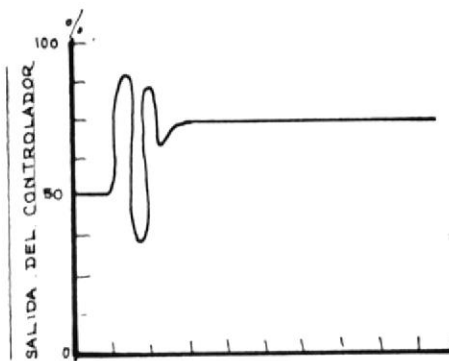
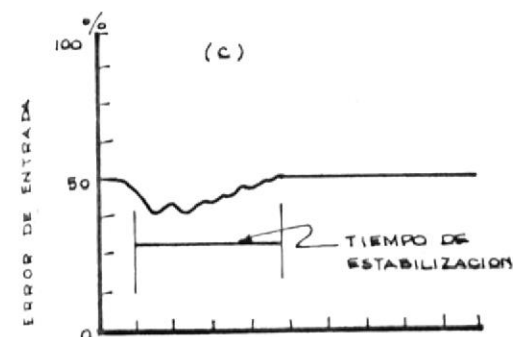
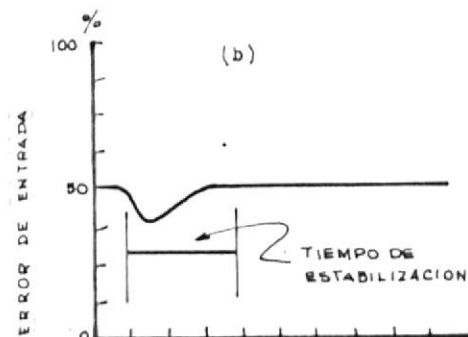
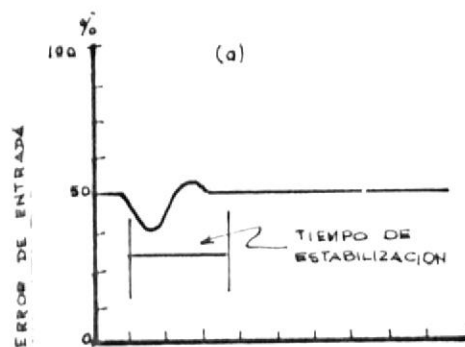
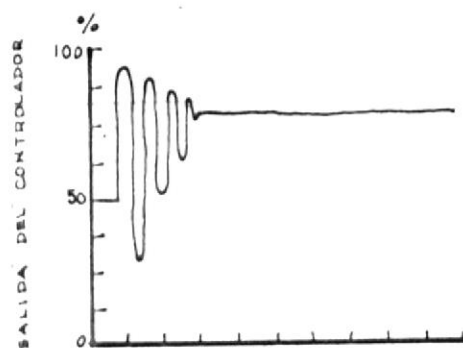


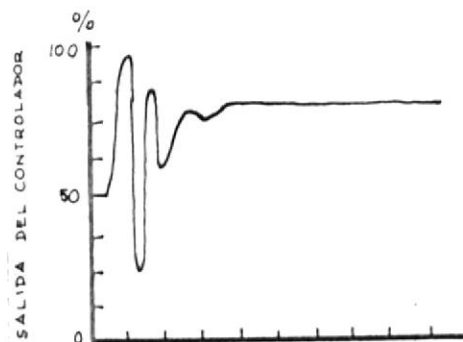
FIG. 36. ACCION DEL CONTROL PROPORCIONAL MAS RATE.



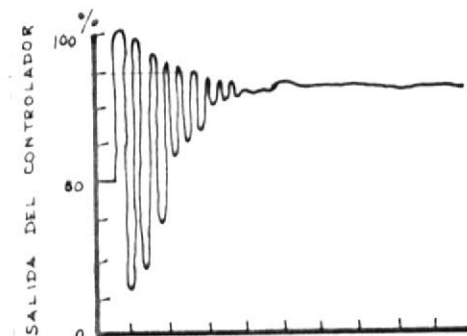
TIEMPO



PACA ACCION DE RATE



ACCION DE RATE MODERADA



DEMASIADA ACCION DE RATE

FIG. 37 ACCION DEL CONTROL PROPORCIONAL MAS REAJUSTE MAS RATE.

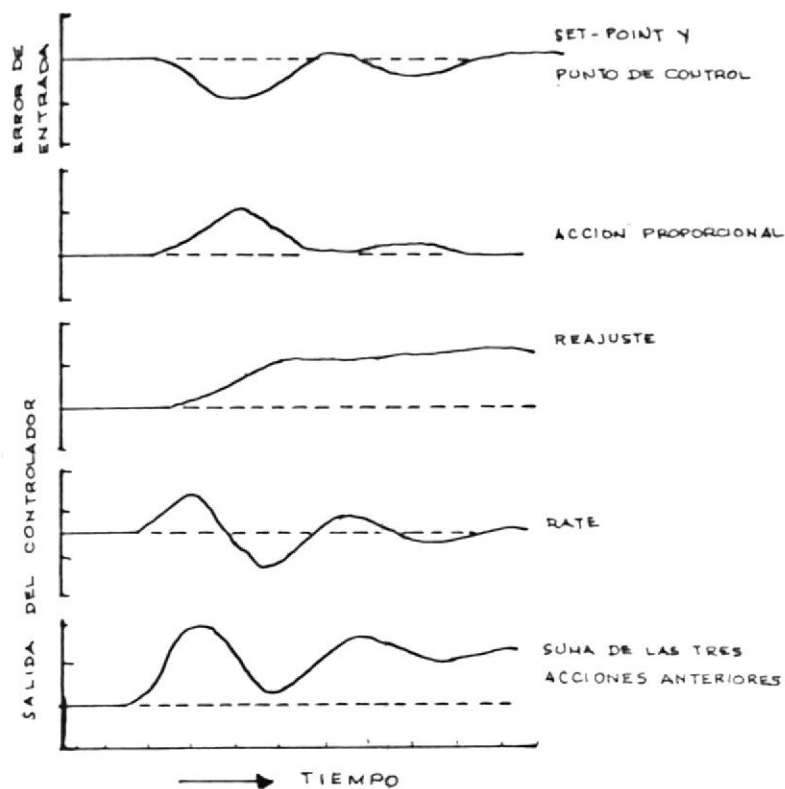


FIG. 38. RELACION ENTRE EL ERROR DE ENTRADA Y LA SALIDA DEL CONTROLADOR, PARA CADA UNA DE LAS TRES ACCIONES

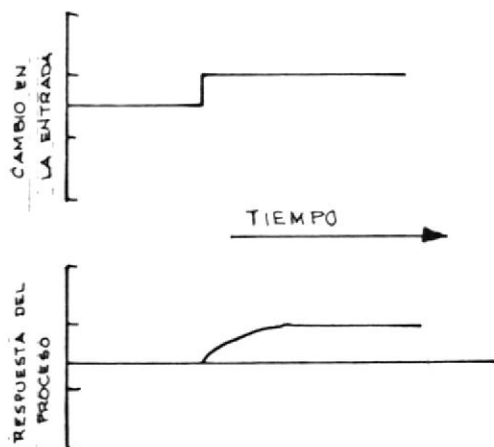
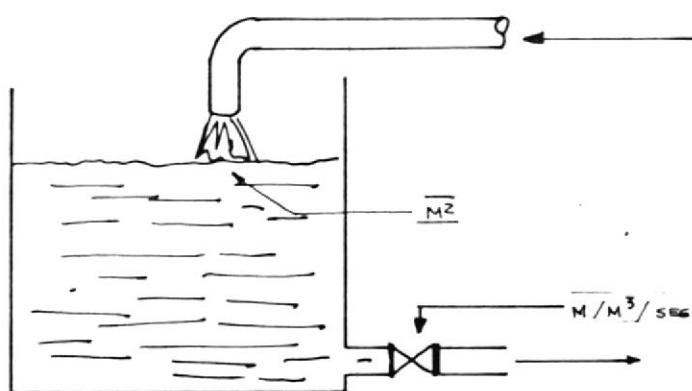


FIG. 39. COMPORTAMIENTO DINAMICO DE UN PROCESO CON RETRASO DE CAPACITANCIA.

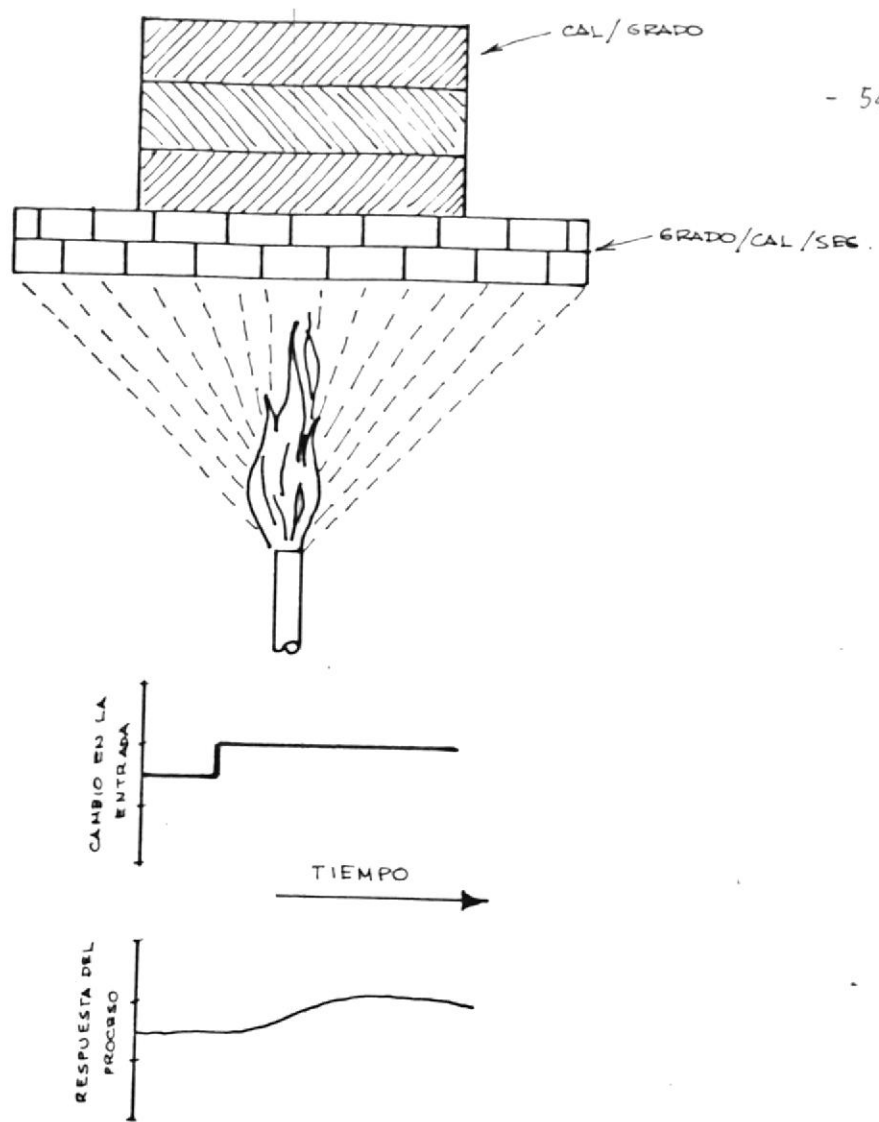
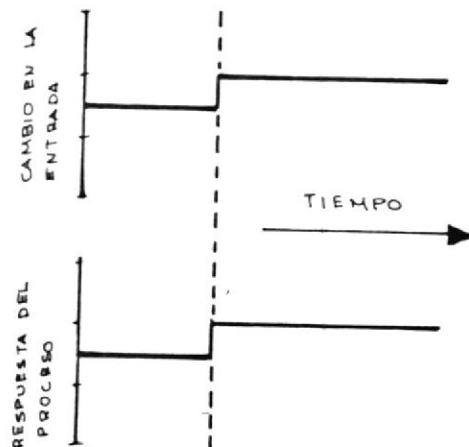
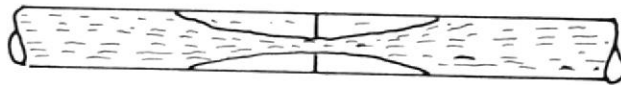
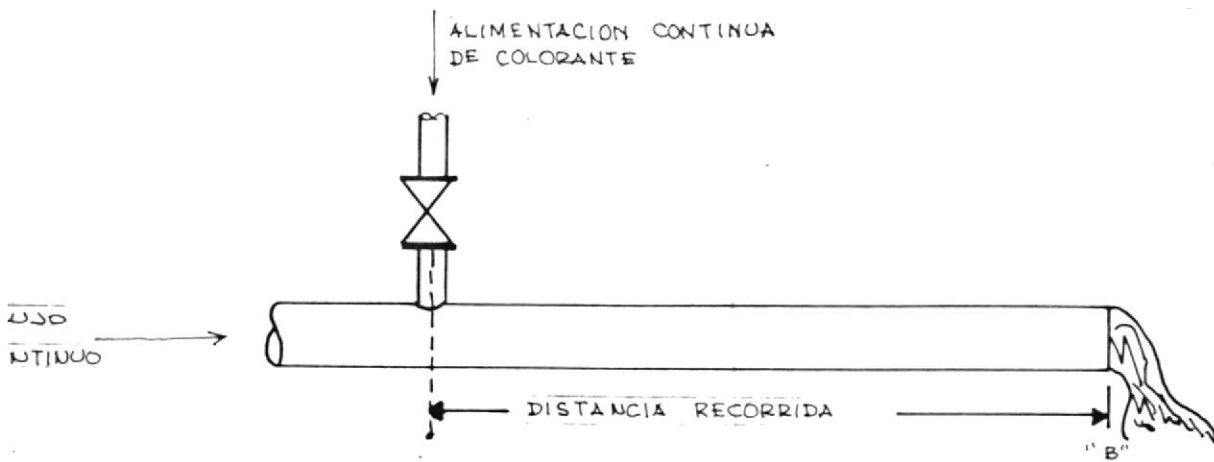


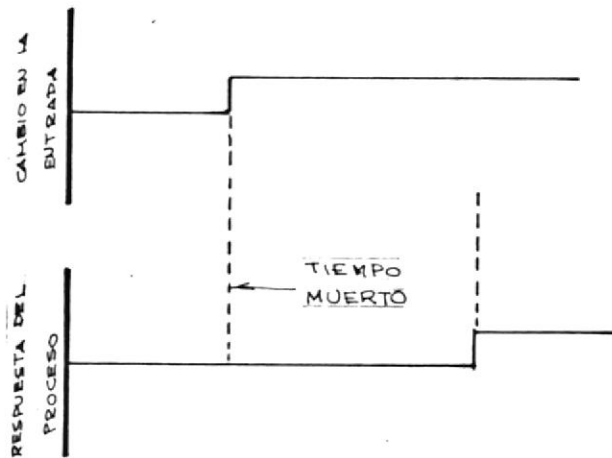
FIG. 40 COMPORTAMIENTO DINAMICO DE UN PROCESO CON RETRASO DE TRANSMISION.



41 COMPORTAMIENTO DINAMICO DE UN PROCESO CON RESPUESTA INSTANTANEA.



$$\text{RETRASO} = \text{DISTANCIA RECORRIDA} / \text{VELOCIDAD DEL FLUIDO}$$



COMPORTAMIENTO DINAMICO DE UN PROCESO CON RETRASO DE VELOCIDAD-DISTANCIA

AJUSTES DE LOS MODOS DE CONTROL

Uno de los aspectos más importantes, desde el punto de vista de aplicación práctica, de un controlador en un proceso es la determinación de los valores apropiados de los parámetros del controlador, como son la banda proporcional (B.P.), el tiempo integral (T_i) y el tiempo derivativo (T_d), con el fin de garantizar la menor desviación posible de la variable controlada respecto al punto de ajuste. Por esta razón, dedicaremos estas notas a la descripción de los métodos más comunes y simples - que se emplean para la obtención de dichos parámetros:

- a) Ensayos Sistemáticos
- b) Ganancia Límite
- c) Respuesta a una Perturbación Escalonada
- a) ENSAYOS SISTEMATICOS.-

En éste método se comienza con una B.P. amplia (Regulación poco sensible) y se va disminuyendo hasta conseguir la estabilidad deseada.

Para efectuar estos ensayos, se deben producir perturbaciones uniformes del proceso. Esto se puede obtener variando el punto de control y evitando hasta donde sea posible la presencia de otras perturbaciones.

Los cambios que hagan en el punto de ajuste deben ser por encima y debajo del punto de control normal del proceso, pero sin causar ningún perjuicio en la instalación o material que se está procesando.

Ahora veamos cómo se aplica este método para las acciones de control más comúnmente usadas:

1. REGULADOR PROPORCIONAL. (P)

Para este tipo de controlador se empieza, como se indicó, con una B.P. amplia (p.e.40%) y se varía el punto de consigna - en una cantidad apropiada de acuerdo con el proceso, esperando - el tiempo suficiente para observar el efecto completo del cambio originado en la variable controlada.

2. REGULADOR PROPORCIONAL MAS INTEGRAL (P I)

En este caso se elimina, inicialmente, la acción integral. Para conseguir lo anterior es necesario conocer las unidades del tiempo integral (Ti): Si está dado en repeticiones por minuto se colocará el ajuste correspondiente en cero: si viene indicado en minutos o segundos se ubicará dicho ajuste en el mayor valor de esta escala (ó infinito). Después de esto, se varía la B.P. hasta obtener un amortiguamiento de 1/4 (figura 43), o sea la relación entre las áreas de dos semi-amplitudes, o aproximadamente $\frac{A_2}{A_1} = \frac{1}{4}$

Luego se aumenta la acción integral hasta que la eliminación del error de la acción proporcional por el modo integral, no sea más lento que la desaparición del régimen oscilatorio.

3. REGULADOR PROPORCIONAL MAS INTEGRAL MAS DERIVATIVO (P+I+D)

a) Eliminar los modos Integral (I) y Derivativo(D).

El tiempo derivativo(Td) se elimina colocando en cero dicho

ajuste y el T_i procediendo como ya se dijo.

- b) Ajustar B.P. como se indicó.
- c) Aumentar T_i hasta la oscilación permanente del sistema.
- d) Aumentar T_d lentamente, hasta conseguir la estabilidad.
- e) Si es factible, ensayar nuevamente reduciendo la B.P.

MAPAS DE ENTONAMIENTO PARA AJUSTES OPTIMOS DE MODOS DE CONTROL

En lo que sigue se da un método conveniente de hacer los ajustes de los modos de control, conocido como entonamiento del controlador, para cualquier tipo de controlador estandar.

Prácticamente todos los procesos se ponen en control automático con posiciones de los modos de control obtenidos de pasadas experiencias y juicios; y por lo tanto, la habilidad para ajustar simultáneamente todos los modos de control en la dirección apropiada, para obtener una respuesta óptima, es deseable y se da en esta tesis.

La figura N°44, ayuda a entender el efecto de cada modo de control independientemente.

El ajuste óptimo de la banda proporcional es aquél que da un factor de amortiguamiento, figura N°45, que es satisfactorio para las condiciones del proceso. Una banda proporcional muy baja produce una oscilación prolongada, con bajo factor de amortiguamiento; pero si es muy alto producirá una desviación del set-point grande y prolongada, con un factor de amortiguamiento alto.

El ajuste del tiempo de reajuste óptimo es aquel en que la medición, después de una desviación inicial, regresa y cruza el set-point en una cantidad satisfactoria. Tiempos de reajuste muy bajos (minutos por repetición), permiten que la medición cruce el set-point excesivamente y produce oscilación pro

longada; mientras que tiempos muy altos. (minutos por repetición) producen desviación prolongada del set-point, antes que la medición cruce este último.

El ajuste del tiempo de rate (o derivada), es de lo más crítico ya que incrementándolo (en minutos), se reduce el ciclaje a un valor óptimo; pero arriba de este valor, se incrementa dicho ciclaje. El ajuste de tiempo de rate óptimo es aquél al cual, más allá de él, no aumenta ni disminuye el ciclaje.

MAPAS DE ENTONAMIENTO.- Las figuras 46 y 47 muestran los mapas de entonamiento correspondientes a las acciones de banda proporcional más reajuste y de banda proporcional más reajuste más rate, respectivamente, los que son válidos para cualquier tipo de controlador. Dichos mapas están basados en un sistema de control de circuito cerrado, con cambios de carga (y no del set-point), de modo que son bastante aproximados a lo que es un proceso real.

Para usar los mapas de entonamiento, simplemente:

- 1.- Determine que mapa de entonamiento se aproxima al registro de gráfica actual.
- 2.- Seleccione el mapa de entonamiento que a su juicio, es el más satisfactorio para la respuesta deseada.
- 3.- Ajuste la banda proporcional, el reajuste y el rate en la dirección indicada para obtener un registro de gráfica más satisfactorio.

Solo la dirección apropiada del ajuste se da, dado que las magnitudes serán dictadas por los procesos en el momento necesario.

Los "mapas de entonamiento" se muestran con una magnitud de desviación y una respuesta de tiempo satisfactoria para la ilustración, y aunque los registros de la medición variarán en desviación y tiempo de respuesta, de los "mapas de entonamiento", los efectos relativos pueden compararse fácilmente.

Ejemplo: "Entonamiento de un controlador con banda proporcional más reajuste automático, más rate."

El "mapa de entonamiento" marcado "A" se aproxima al registro de la gráfica actual, aunque las desviaciones y el tiempo de respuesta pueden ser diferentes. Se desea obtener una respuesta de medición similar a la del "mapa de entonamiento" marcado "B".

Nótese que los efectos relativos de la banda proporcional, rate y reajuste pueden determinarse fácilmente de los mapas de entonamiento. Comenzando en el mapa de entonamiento "A":

Un incremento en la banda proporcional disminuye el ciclaje pero aumenta la desviación.

Un decremento en la banda proporcional disminuye la desviación, pero ocasiona una oscilación prolongada si es muy bajo.

Un incremento en el rata disminuye la desviación y también la oscilación a un valor crítico; más allá del cual la desviación aumenta y ocurre oscilación prolongada.

Un incremento en el reajuste automático disminuye la cantidad de veces que se cruza la línea del set-point y disminuye la oscilación, pero si es muy alto causará una desviación prolongada.

En este caso, la banda proporcional debe disminuirse, y el reajuste y el rate aumentarse para obtener los resultados deseados.

b) METODO DE LA GANANCIA LIMITE.

Para utilizar este método se eliminan o reducen al mínimo T_i y T_d , y se ajusta la B.P. hasta la oscilación permanente del sistema controlado.

Se mide el período último (P_u , figura 47), y se anota el valor de la B.P. con la cual se consiguió el régimen oscilatorio, (B.P.)_u.

Los ajustes de control serán:

1.- Regulador P; B.P. (%) = $2(B.P.)_u$

2) Regulador P + I: B.P. (%) = $2.2(B.P.)_u$

$$T_i \text{ (Repeticiones por minuto)} = \frac{1.2}{P_u}$$

3) Regulador P + I + D:

$$B.P.(\%) = 1.6 (B.P.)_u$$

$$T_i \text{ (Rep./Min)} = \frac{2}{P_u}$$

$$T_d \text{ (minutos)} = \frac{P_u}{8}$$

c) METODO DE LA RESPUESTA A UNA PERTURBACION ESCALONADA.

Este método se basa en considerar el comportamiento de un sistema dinámico complejo como un sistema compuesto únicamente por una sola constante de tiempo y un solo tiempo muerto. Para llevarlo a cabo, se abre el circuito de control después del regulador, y se registra la respuesta del proceso (curva de reacción) a una señal escalonada o estímulo peldaño. (Fig. 49)

Esta señal se puede aplicar con el controlador en operación "manual" y cambiando rápidamente el punto de ajuste, teniendo en cuenta las siguientes precauciones:

- 1.- El cambio escalonado (P) debe ser de tal magnitud que no perjudique el proceso, pero que se pueda registrar o interpretar.
- 2.- El estímulo peldaño debe comenzar con la variable controlada justamente por debajo del punto de control y terminar justamente por encima del mismo.
- 3.- Los cambios escalonados deben hacerse por encima y por debajo del punto de ajuste, si se sospecha que el sistema no es lineal.
- 4.- No se debe permitir que alguna de las variables alcance una posición extrema (máxima o mínima).

Generalmente, la curva de reacción del proceso es similar a la que aparece en la figura N° , y en ella se traza una tangente en el punto de inflexión para determinar el tiempo muerto (L) y la máxima velocidad de reacción (N). con éstos valores y el estímulo peldaño (P) se deducen las condiciones del ajuste.

$$a) \text{ Regulador } P: \text{ B.P. (\%)} = \frac{100 \cdot NL}{P}$$

$$b) \text{ Regulador } P + I: \text{ B.P. (\%)} = \frac{100NL}{P}$$

$$Ti \text{ (Rep./min)} = \frac{0.3}{L}$$

$$c) \text{ Regulador } P+I+D: \text{ B.P. (\%)} = \frac{83 \text{ NL}}{P}$$

$$Ti \text{ (rep./min)} = \frac{0.5}{L}$$

$$Td \text{ (min)} = 0.5 \text{ L}$$

CONCLUSION.

CONTROL PROPORCIONAL

Se aplica para obtener Estabilidad y donde no se requiere gran precisión en la regulación de la Variable Controlada, tomando además en cuenta todas sus limitaciones, que son:

- a) No absorbe las desviaciones sostenidas.
- b) Si la Banda Proporcional es mayor de 100% (cuando es requerido por el Proceso), la válvula no abre ni cierra totalmente, siendo con esto incapaz de absorber cualquier disturbio considerable.
- c) Si se varía la orden que se dá al controlador (Punto de Ajuste), se corre el riesgo, de que la válvula no abra o no cierre totalmente; si en un momento dado el control requiere tal condición para absorber un disturbio de gran magnitud. Esto ocurre cuando la banda proporcional es regular o grande. Mientras más grande sea la Banda Proporcional, mayor será la limitación, ejemplos:
 - 1) Si se tiene una banda de 50%, se puede variar el punto de ajuste desde 25% a 75%, garantizando que la válvula puede abrir y cerrar totalmente, si el caso lo requiere.
 - 2) Si se tiene una Banda de 100%, no se puede variar el Punto de Ajuste de 50%, se pena de sufrir las consecuencias, debido a que la válvula no abra o no cierre, cuando fuera necesario.

REAJUSTE AUTOMATICO INTEGRAL O "RESET"

Se aplica, donde se requiere mayor precisión en la regulación de la Variable Controlada, y donde sea necesario eliminar las limitaciones del Control Proporcional, o sea :

- a) Absorbe las desviaciones sostenidas y como consecuencia, la Variable controlada, tenderá a coincidir siempre con el Punto de Ajuste (orden que se le dá al autómatas).
- b) Aunque la Banda Proporcional sea mayor de 100%, la válvula siempre podrá abrir o cerrar totalmente (en caso de que ésto se requiera), ya que la característica principal del Reajuste Automático, es mantener la Variable igual al Punto de Ajuste a costa de la abertura de la válvula
- c) Por la misma razón anterior, si se varía la orden que se dá al Controlador (Punto de Ajuste), la válvula automática, está en posibilidad de abrir o cerrar (dentro de sus límites), según sea requerido por la señal correctiva debida al Reajuste Automático, para llevar a la Variable Controlada al nuevo valor del punto de Ajuste. Además, no afecta el Valor de la Banda Proporcional ajustada (según las características del proceso).

En general, el Reajuste Automático, se utiliza junto con el Control Proporcional para conseguir mejores resultados de estabilidad.

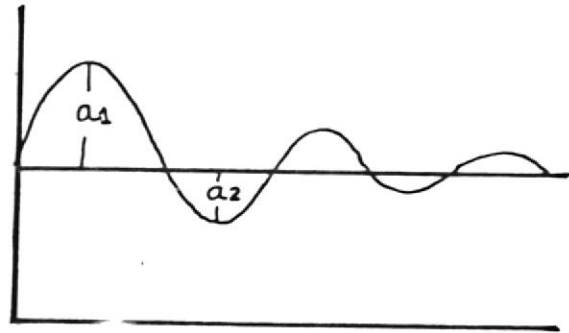
ACCION DERIVATIVA.-

Se aplica siempre, junto con el Control Proporcional y el Reajuste Automático, en procesos donde existe Tiempo Muerto y

se desea, una estabilización más rápida con mínima desviación; - características que en este caso, el Control PROPORCIONAL CON - Reajuste Automático únicamente, no pueden conseguir.

El buen éxito del funcionamiento de un control automático depende de la sintonización de los modos de control. Si esto no se lleva a cabo adecuadamente, no se obtendrá la máxima eficiencia de los controladores y por tanto, no se lograrán los propósitos perseguidos.

Dejando además estos ajustes al buen juicio y experiencia de quién los realiza, hasta lograr la optimización del funcionamiento de todos los Sistemas Automáticos.



FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO

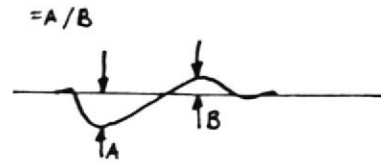


FIG. 45. FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO

FIG. 43. REGULADOR PROPORCIONAL MAS INTEGRAL MAS DERIVATIVO

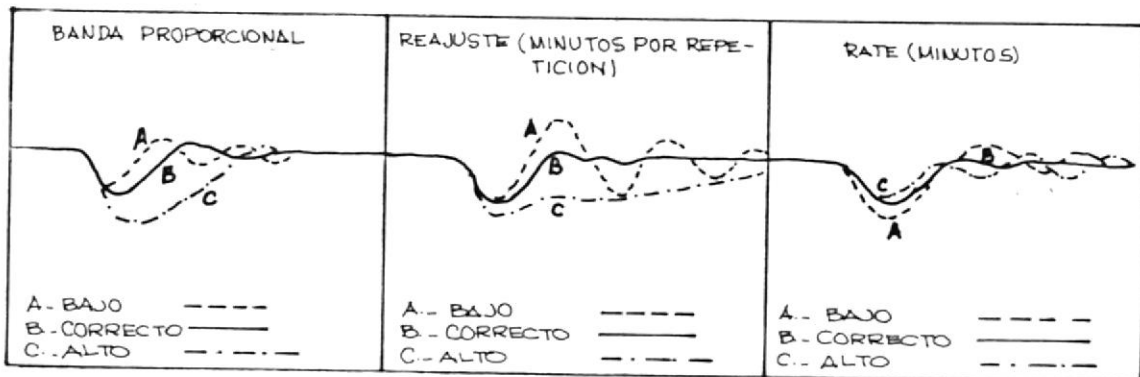


FIG. 44. FORMA DE RESPUESTA DE CADA UNO DE LOS MODOS DE CONTROL POR SEPARADO.

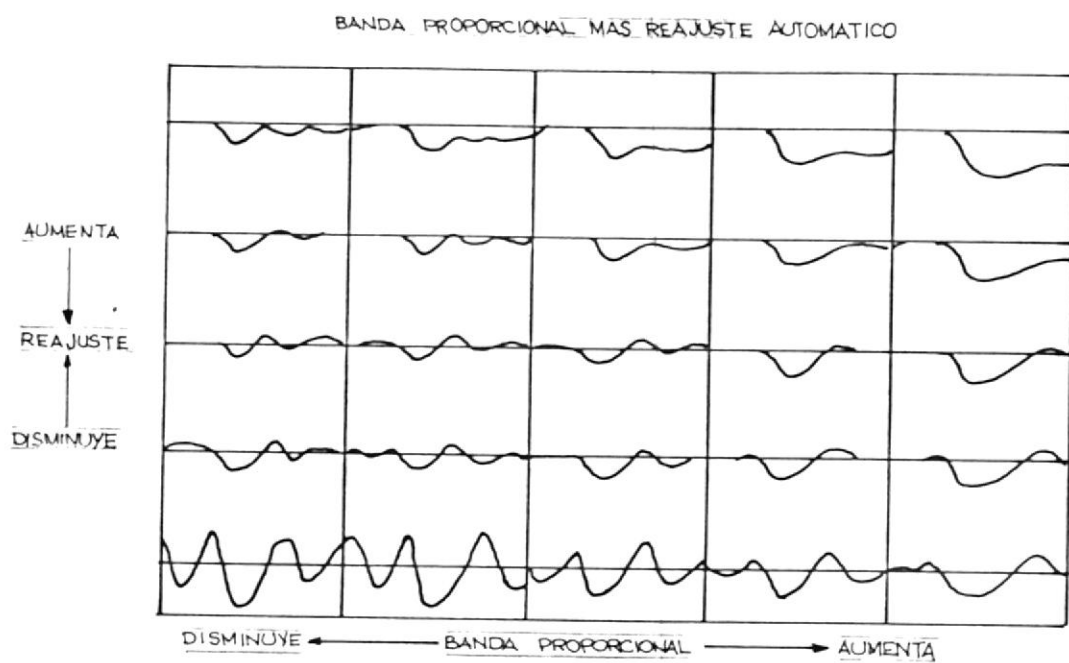
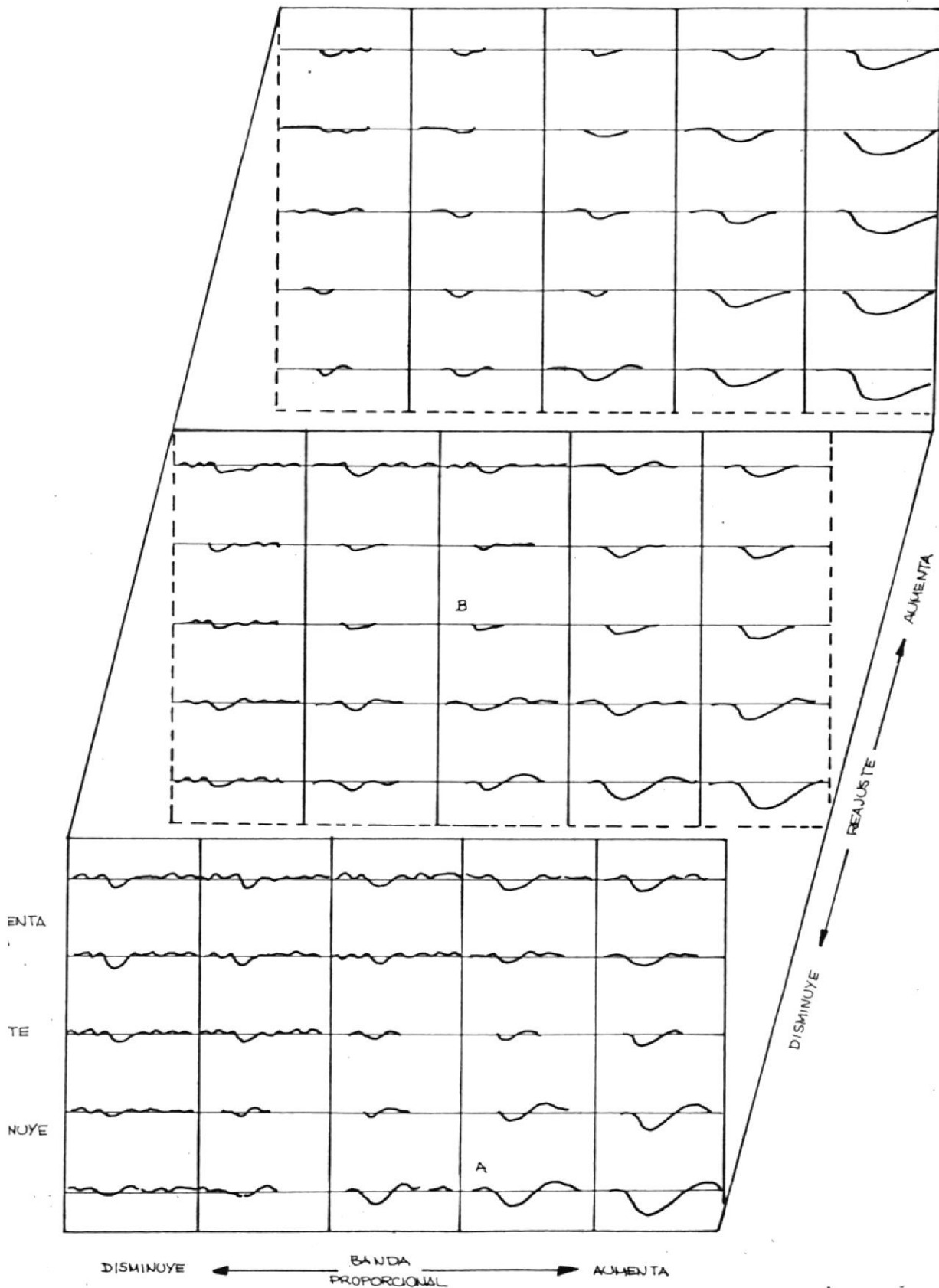


FIG. 46. MAPA DE ENTONAMIENTO PARA UN CONTROLADOR DE BANDA PROPORCIONAL MAS REAJUSTE AUTOMATICO.



7. MAPA DE ENTONAMIENTO PARA UN CONTROLADOR DE BANDA PROPORCIONAL MAS REAJUSTE AUTOMATICO MAS RATE.

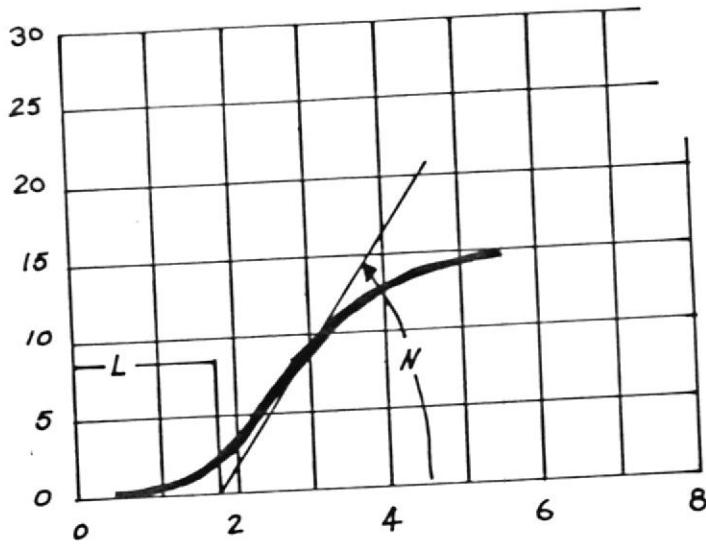


FIG. 49. CURBA DE REACCION

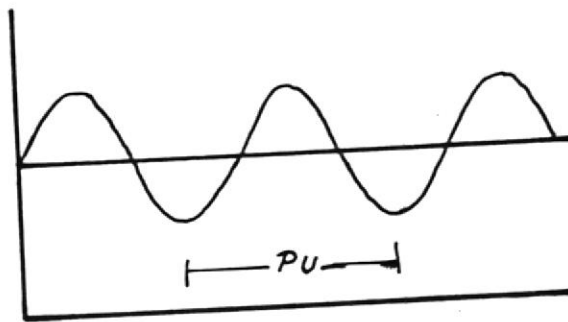


FIG. 48. - OSCILACION PERMANENTE

APLICACION DEL CONTROL AUTOMATICO

Los sistemas de control por medio de instrumentos se usan en refinería en varias aplicaciones. Un sistema de control completo para una aplicación específica, se llama a menudo un bucle o un circuito de control. La mayoría de los circuitos de control que se encuentran serán tratados a continuación.

CONTROL DE TEMPERATURA.

El control de temperatura de una carga de hidrocarburo calentado con vapor se muestra en la figura 50. El transmisor de temperatura compara la temperatura del fluido del proceso después del intercambiador de calor con el valor deseado en el controlador de temperatura (TRC). El TRC regula entonces la válvula de control de vapor que va al intercambiador de calor para mantener la temperatura deseada en la corriente del proceso. Si se requiere menos calor (temperatura), el controlador disminuirá la presión del aire a la válvula de control, permitiendo que fluya menos vapor al intercambiador, reduciendo de esta forma la temperatura de salida del hidrocarburo del proceso.

Controlar la temperatura en un proceso con un horno es algo similar al anterior. En este caso sin embargo (Fig. 51) La temperatura de la corriente de proceso se controla por medio de la cantidad de gas y de aceite combustible..

Las columnas de destilación a veces tienen un control de temperatura de cabeza (Fig 52). La temperatura de la parte supe_

rior de la torre se transmite al controlador de temperatura.

Si esta temperatura es demasiado alta (sobre el set-point) el controlador disminuirá la presión de aire a la válvula de control (aire cierra) abriéndola para que permita el paso de mayor cantidad de reflujo frío, enfriando así la cabeza de la torre.

Cuando la cabeza está a la temperatura deseada, la abertura de la válvula de control mantiene la cantidad requerida de reflujo.

Algunas torres pueden tener el punto de control de temperatura situado algunos platos por debajo del plato superior, como indica la figura 53.

CONTROL DE PRESION.-

El control de presión puede tener varias variaciones.

Básicamente sin embargo se usa el circulo de control de presión de la figura 54. En este sistema, la presión a controlar se es transmitida al controlador. Si la presión es demasiada alta, se incrementa el aire a la válvula de control (Abre con aire) abriendo la válvula. Esta permite que mayor cantidad de gas descargue al sistema de desfogue de gas. Cuando la presión alcanza el punto deseado, se reduce el aire a la válvula de control para mantener la presión deseada en el proceso.

Los sistemas de control de presión pueden estar en recipientes de otro tipo o aun en líneas de proceso. El método de control es similar.

CONTROL DE FLUJO.

La figura 55 muestra un círculo típico de control de flujo . El valor real de flujo en la línea es transmitido al controlador.

La presión del aire al diafragma de la válvula de control es regulada para dar el caudal deseado.

CONTROL DE NIVEL.

El operario probablemente encontrará varios tipos de controles de nivel en una refinería. Básicamente todos son similares al sistema de la Fig 56. El nivel del líquido se transmite al controlador, el cual cambia la presión de aire sobre la válvula de control para mantener el nivel deseado, Si el nivel es demasiado alto el controlador incrementará la presión de aire sobre el diafragma de la válvula de control (abre con aire) causando así la disminución del nivel en el separador..

CONTROL DE INTERFASE LIQUIDA.

El control de interfase líquida en una refinería generalmente se utiliza cuando se separa una fase acuosa y una fase orgánica (hidrocarburo). Estos sistemas operan de forma idéntica a los controladores de nivel.

CONTROL DE UN CORTE LATERAL EN UNA TORRE.

En la Fig 57 se muestra un control sobre la corriente (corte) lateral en una torre. Este corte es un keroseno destilado con control de flujo. El caudal se controla por el mismo método

que el descrito antes pero aquí además se debe controlar el nivel del líquido en el fondo del stripper. esto se hace controlando la cantidad de líquido que se alimenta al stripper. Si el nivel de los fondos del stripper disminuye la válvula de control de la alimentación se abre retornando el nivel a su posición normal.

CONTROL EN CASCADA.

El control en cascada emplea dos controladores; se usa para proveer mejor control que el disponible con un solo controlador. Un sistema simple de control en cascada, nivel/flujo, se ilustra en la Fig 58. En este caso, el controlador de nivel no regula la válvula de control directamente. El LRC cambia el set-point del FRC, el cual controla el flujo a un nuevo punto de control. Supongamos que el nivel en el tambor es bajo. El transmisor de nivel envía esta señal al LRC. El LRC cambia el set-point del FRC para permitir un mayor flujo hacia el tambor. El FRC a un punto de control más alto incrementará la presión de aire a la válvula de control (abre con aire) de tal manera que el flujo más alto se mantenga.

Alarmas.

Los sistemas de alarma se instalan en áreas críticas donde se requiere atención inmediata cuando una variable de proceso se encuentra en una zona peligrosa en cuanto a operación. Estas alarmas son similares a las que existe en los automóviles para indicar cuando la presión del aceite es

demasiado baja, el alternador no funciona, etc. Los compresores de una refinería tienen, por ejemplo, luces y alarmas acústicas para indicar la necesidad de atención inmediata. En las áreas críticas de proceso ciertas presiones, temperaturas y niveles activan el sistema de alarma. Cuando el operador lleve estas variables a una zona de operación segura, la luz de la alarma se apagará.

CONTROL DE NIVEL (16-59)

SUPERIOR.= Muestra un tanque con un nivel normal de operación. El aire llega a la válvula de control a 9 psig y esta se abre el 50%

MEDIO.- El nivel en el tanque sube. El aire llega a la válvula de control a 15 psig y ésta se abre totalmente.

INFERIOR El nivel en el a tanque baja. El controlador manda una señal de 3-4 psig a la válvula de control y ésta se cierra hasta solo un 10% de abertura.

CONTROL DE PRESION (16-60)

SUPERIOR.- Muestra un recipiente a la presión deseada de 7,0 kg/cm².

MEDIO.= La válvula de control se halla abierta al 50% debido a una señal neumática que ésta recibe de 9-10 psig.

MEDIO!- La presión en el recipiente a bajado a 3.5 kg/cm². La señal neumática ha la de la válvula a variado a 12 psig y ésta se cierra al 25% de abertura.

INFERIOR.- La presión en el recipiente cambia a 10,5kg/cm². El aire en la válvula llega a 5-6 psig. La posición de la válvula es 75-80% abierta.

CONTROL DE FLUJO (16-61)

SUPERIOR.= Muestra la válvula de control en posición cerrada sin aire que la controle y sin flujo.

MEDIO.= La válvula está abierta el 50% con señal neumática de 9-10 psig y cinco unidades de flujo en el indicador local de flujo

INFERIOR.- La válvula está abierta al 100% cpm señal neumática máxima de 15 psig y el indicador local señala el caudal máximo.

CONTROL DE TEMPERATURA EN UN INTERCAMBIADOR

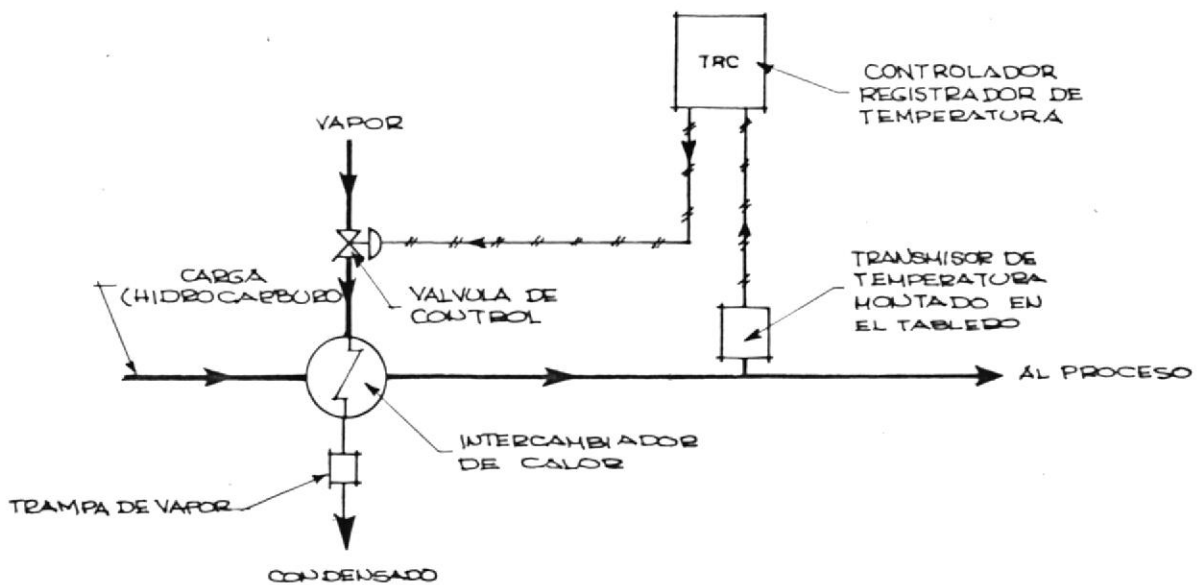


FIGURA (50)

CONTROL DE TEMPERATURA EN UN HORNO

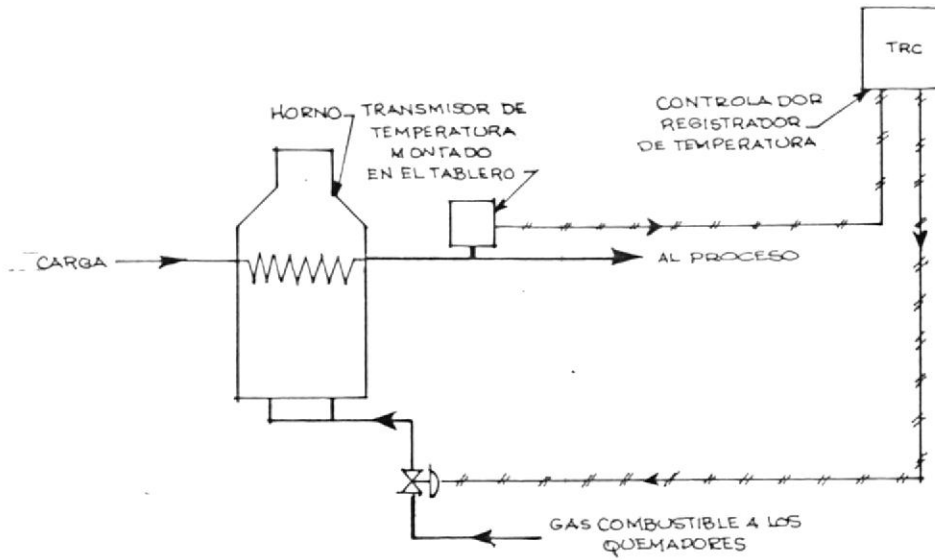


FIGURA 51

CONTROL DE TEMPERATURA EN LA CABEZA DE UN FRACCIONADOR

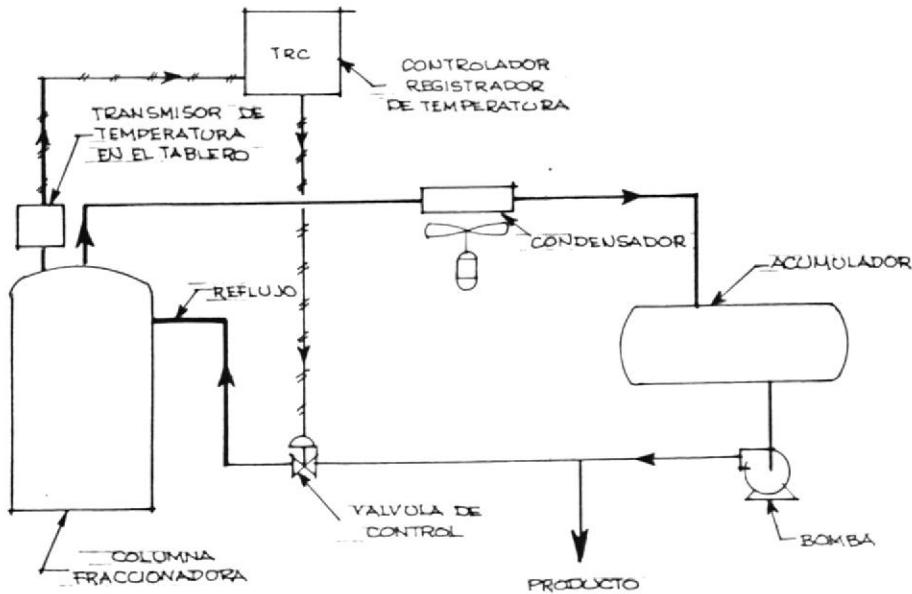


FIGURA 52

CONTROL DE TEMPERATURA EN UN FRACCIONADOR

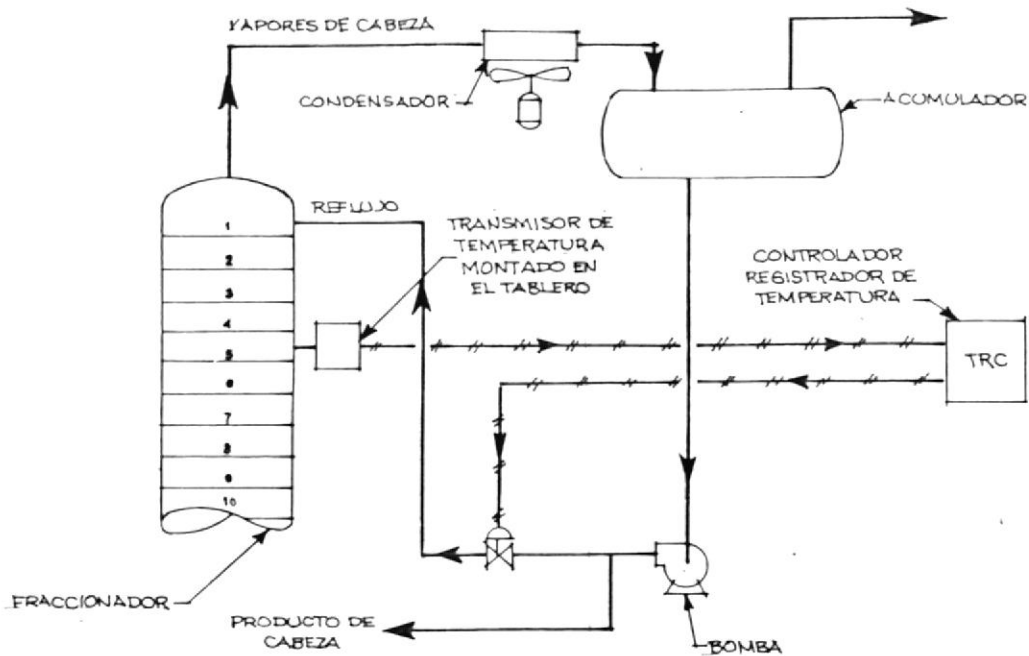


FIGURA (53)

CONTROL DE PRESION

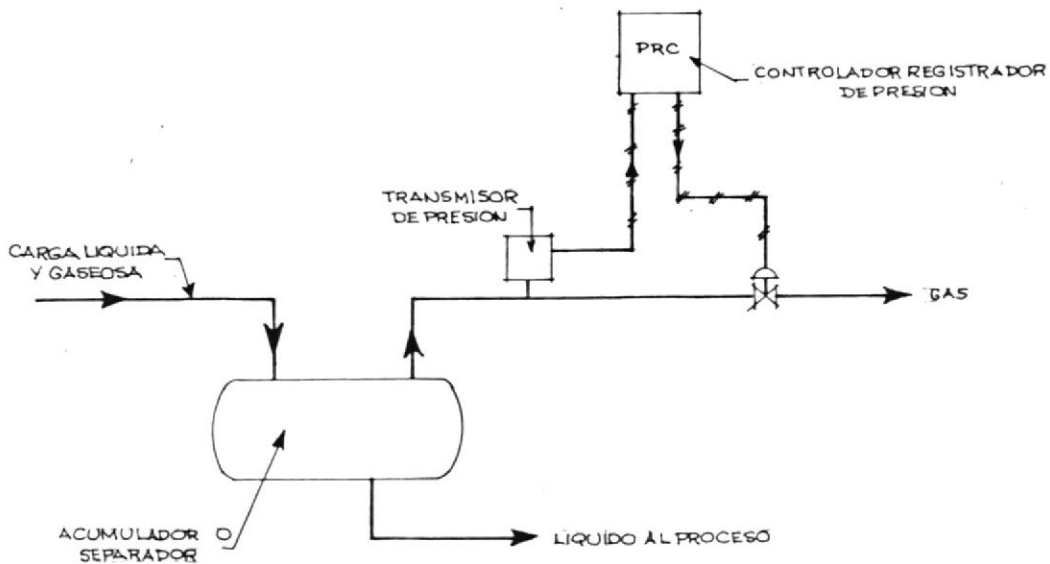


FIGURA (54)

CONTROL DE FLUJO (CAUDAL)

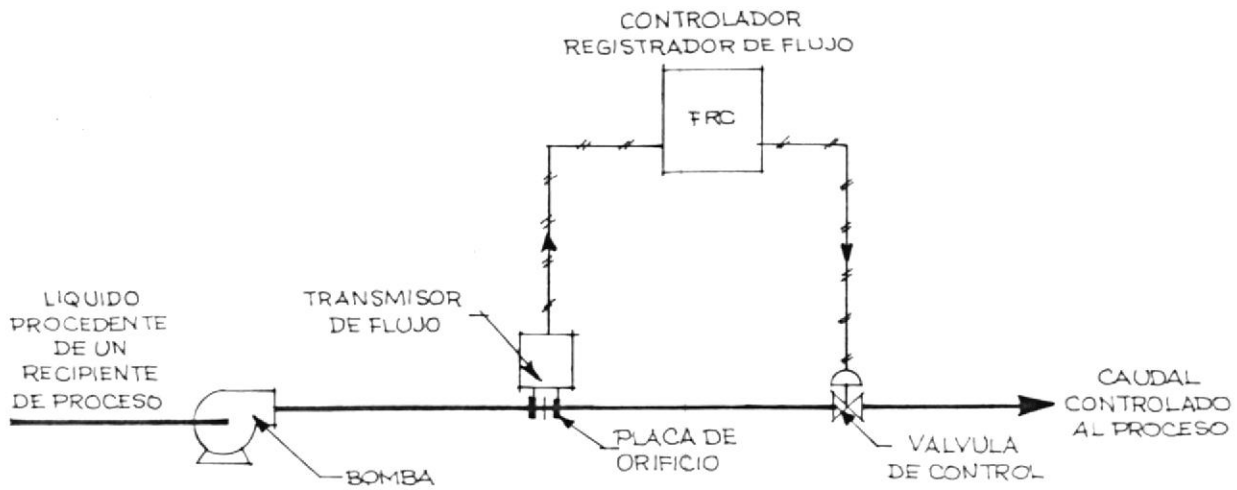


FIGURA 55

CONTROL DE NIVEL

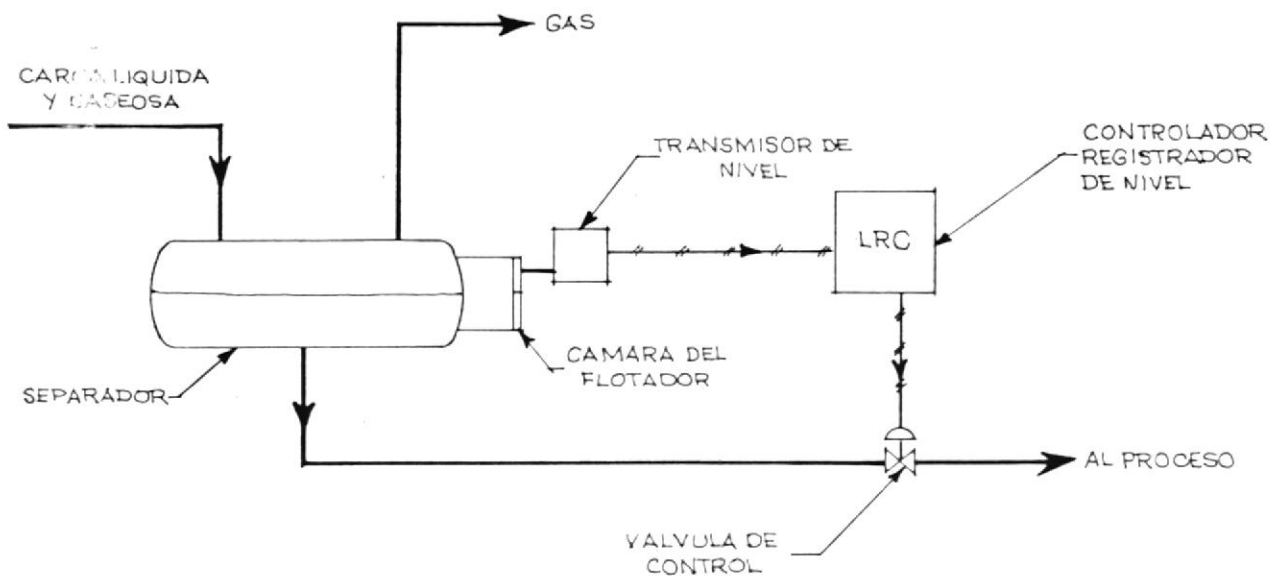


FIGURA 56

CONTROL DEL CORTE DE KEROSENO EN LA FRACCIONADORA DE CRUDO

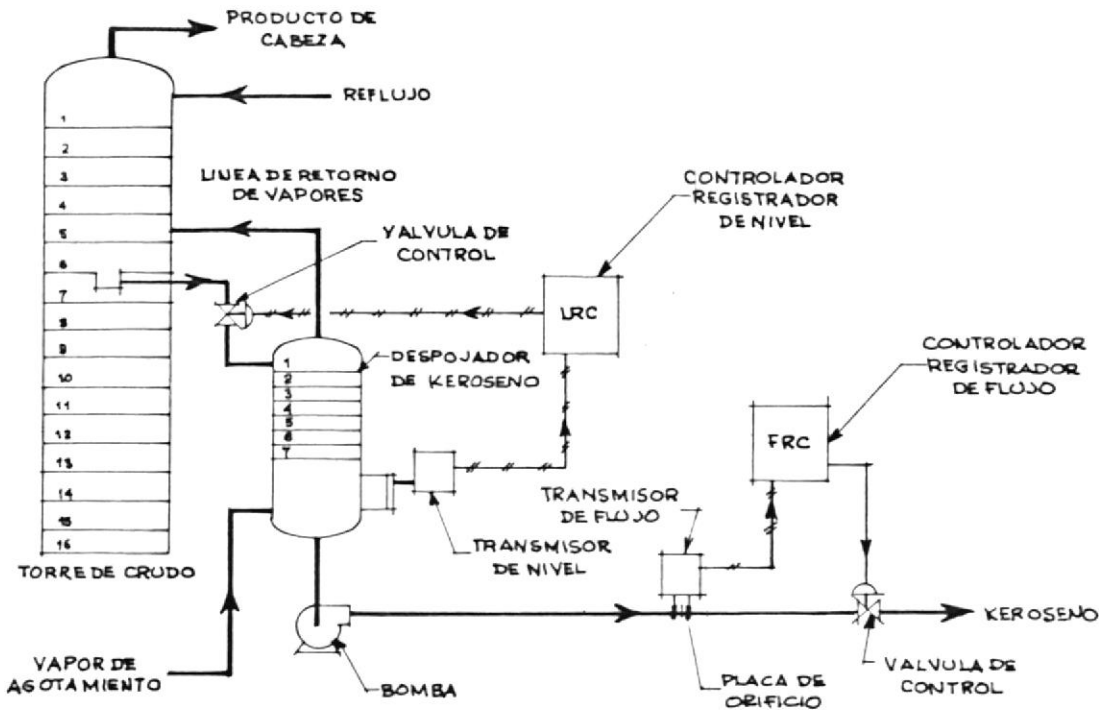


FIGURA 57

CONTROL EN CASCADA NIVEL FLUJO (CAUDAL)

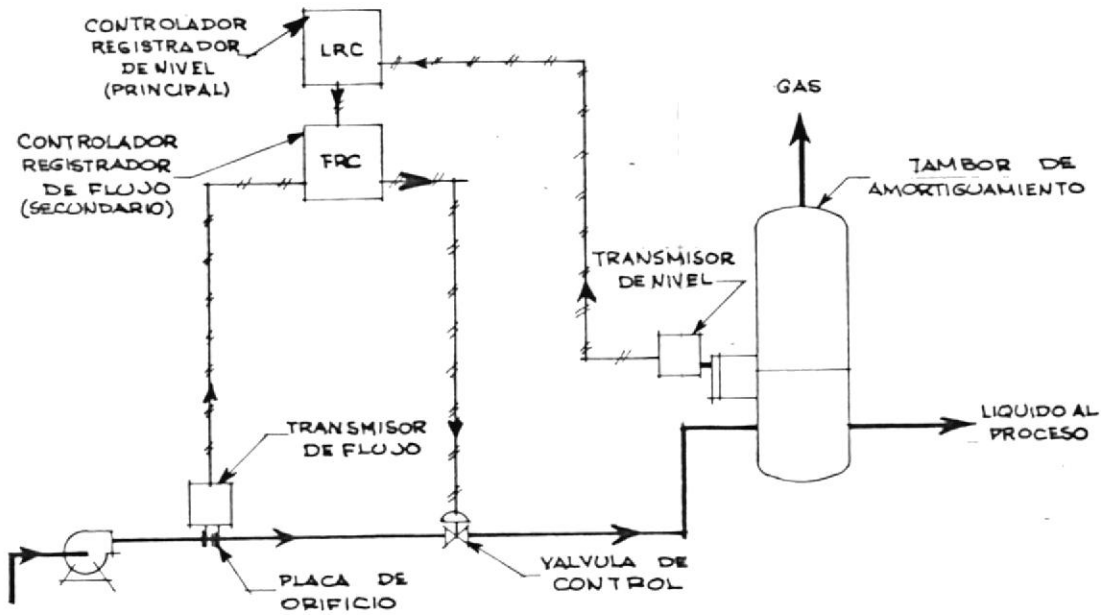


FIGURA 58

CONTROL DE NIVEL (LA VALVULA SE ABRE CON PRESION DE AIRE)

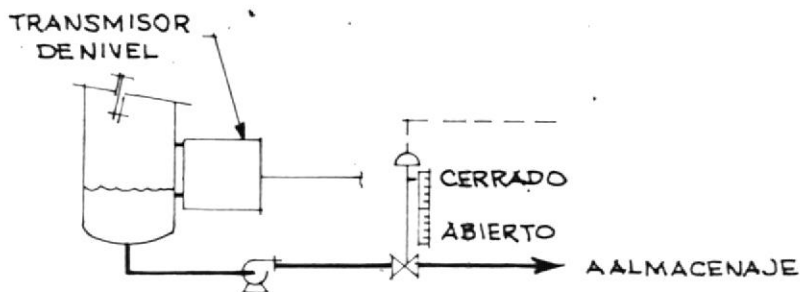
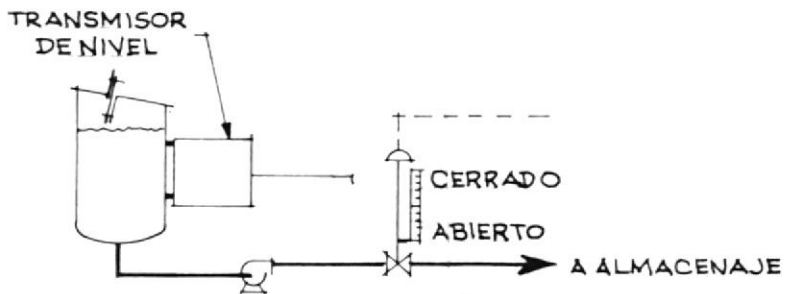
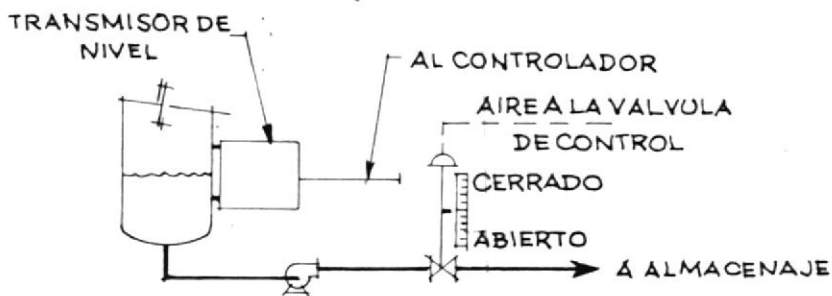


FIGURA 59

CONTROL PRC

LA PRESION DE AIRE CIERRA LA VALVULA

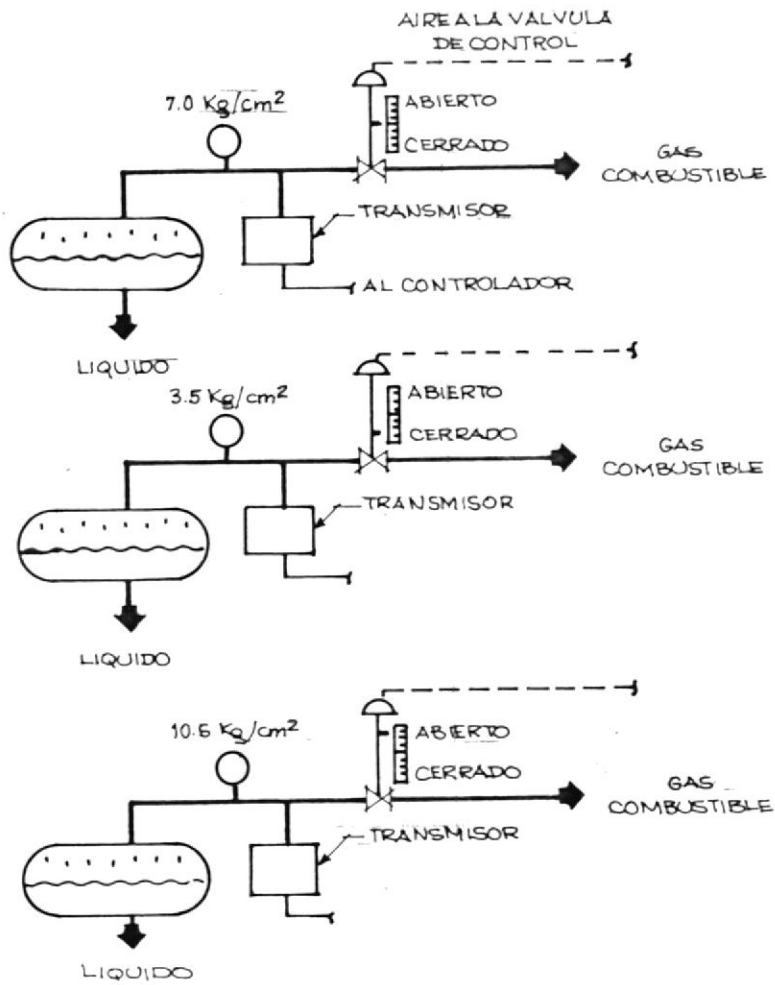


FIGURA 60

CONTROL FRC

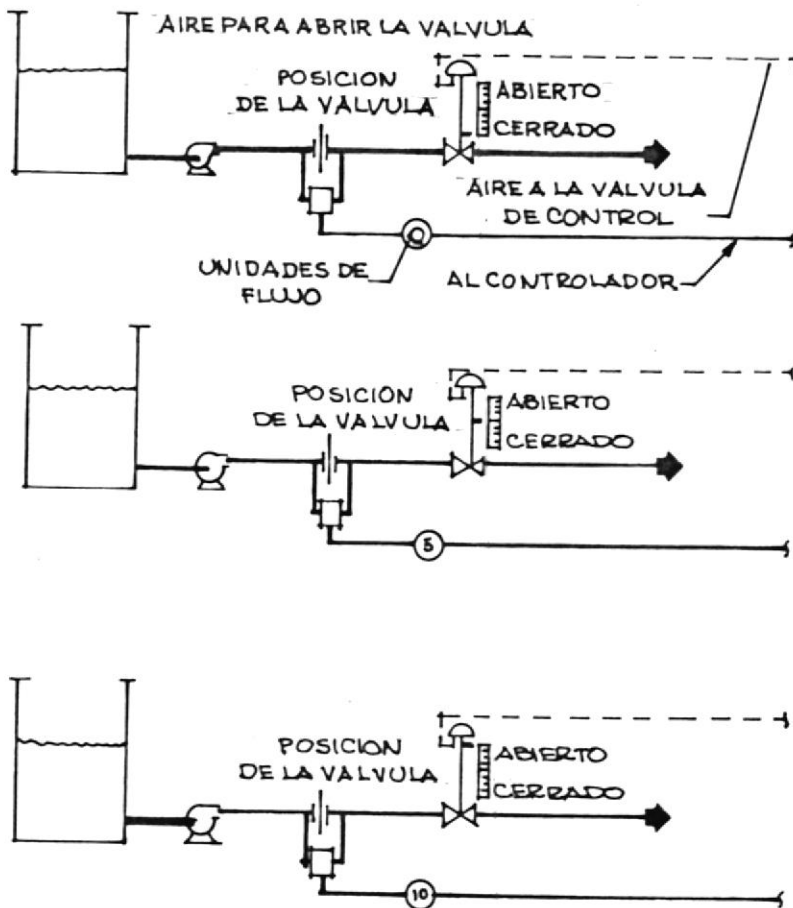


FIGURA (61)

PROBLEMAS SENCILLOS DE INSTRUMENTACION

Problema N°1 (Fig.- 62)

Determine el valor total de algunas señales de flujo .

Ejemplo :

Un proceso de almacenamiento recibe el producto de tres partes distintas , y se desea saber el valor total del producto que se está almacenando.

Consideraciones.-

Las señales que van a ser totalizadas todas deberán ser señales LINEALES, no deberán ser cuadráticas o que tengan otras relación entre ellas . El procedimiento requiere la suma de las señales 1 u 2 con un simple dispositivo de suma . Y el total de esta suma (1+2) se adicionará la tercera señal (3) en un segundo dispositivo de suma, dando la suma total de las tres señales (1+2+3). Este procedimiento podrá seguir totalizando cualquier número de señales - El número de dispositivos de suma que se usarán deberá ser uno menos que las señales de entrada que van a ser totalizadas .

Si algunas señales no tienen el mismo valor de la escala, se las deberá considerar para corregir el total de la suma por diferentes valores de escala.

Por ejemplo: Relay 1

Entrada A	0-60 gmp.
Entrada B	0-40 gpm.
Salida P1	0-100 gpm.

$$\begin{array}{l} \text{Corrección de ajuste} \\ \text{para el relay N°1} \end{array} = \frac{\text{MAX VALOR B}}{\text{MAX VALOR A}} \times 100 = \frac{40}{60} \times 100 = 66$$

Relay n° 2

Entrada A 0-80 gpm

Entrada B 0-100 gpm

Salida P₂ 0-180 gpm

$$\begin{array}{l} \text{Corrección de ajuste} \\ \text{para el relay N°2} \end{array} = \frac{\text{MAX VALOR B}}{\text{MAX VALOR A}} \times 100 = \frac{100}{80} \times 100 = 125$$

Equipo. -

El relay de suma debera totalizar dos señales y tener una señal de salida la cual es proporcional a la suma de las dos señales de entrada. Al mismo tiempo el relay sumador de berá estar en capacidad de corregir los diferentes rasgos de la escala .

Problema N° 2 (Fig.- 63)

Determinar la diferencia entre dos señales y amplificar esta diferencia .

Ejemplo :

Se desea determinar la diferencia entre dos temperaturas y leer sobre una escala esta diferencia amplificándola.

Consideraciones :

Un simple dispositivo restador podría ser usado. Las señales al restador deberán ser lineales y del mismo valor sobre la escala.

Una amplificación de la diferencia deberá solamente aumentar la habilidad de leer esta diferencia , pero no su precisión .

Se deberá tener cuidado en su uso para asegurarse que la imprecisión de la medición básica no sea más grande que es deseada o más alta en porcentaje de la diferencia .

Por ejemplo :

Rango de entrada A = 0-200 F (Siempre más grande que la entrada C)

Rango de entrada C = 0-200 F

Rango de salida P = 0-100 F

Ajuste de corrección = Rango max Salida

Rango max Entradas X 100

$$= \frac{100 \times 100}{200} = 50$$

Equipo. -

El reestador podría ser por ejemplo el modelo 56-3-3 o el modelo 5639 ambos de Foxboro . Si se usa el Relay reestador modelo 56-3-3 la diferencia deberá ser en una sola dirección y el Cero diferencial deberá ser Cero por ciento de la escala . Si se usa el Relay reestador modelo 56-3-9 la diferencia podría estar en cualquier dirección y el Cero diferencia deberá estar en el cincuenta por ciento de la escala.

Problema N°3 (Fig.- 64)

La entrada al proceso es igual a la suma de dos señales A y B pero el requerimiento de el proceso no podra nunca exceder el 100% de la señal B e.

Ejemplo.-

Un horno es alimentado con dos combustibles.

El combustible primario, Y, puede suministrar toda la entrada, pero, en otras condiciones, el suministro del combustible primario podria ser insuficiente, y de esta manera un segundo combustible, X, debera ser alimentado para eliminar cualquier deficiencia .

Consideraciones.-

Un simple dispositivo de suma puede ser usado.

La señal a totalizarse, A y B, deberan ser lineales, no deben ser cuadraticas. Si las dos señales no tienen el mismo valor de escala, debera considerarse el metodo de corregir el totalizador para la diferencia dentro de los valores de la escala

Rangos de flujo.-

Entrada A = 0-8000 BTU por H

Entrada B = 0-10000 BTU por h

Salida P = 0-10000 BTU por h

$$\text{corrección de ajuste} = \frac{\text{Valor max B} \times 100}{\text{Valor max A}} = \frac{10000 \times 100}{8000} = 125$$

Equipo.-

El modelo 56-4-3 es un Relay sumador que está en capacidad de totalizar las señales de entrada A y B y tener una señal de salida P proporcional a la suma de las dos entradas . Al mismo tiempo provee una palanca de ajuste como un método de corrección para rangos diferentes de escala .

Problema .4 .- (Fig.- 65)

Determinar el resultado de restar una señal de otra .

Ejemplo :

Un proceso tiene una entrada, pero una porción de esta entrada, recircula , y se desea medir la entrada total , pero es imposible medir directamente . Los dos instrumentos de medición no tienen el mismo rango .

Consideraciones :

Las señales que van a ser restadas deberán ser señales lineales y cuadráticas.

El dispositivo restador deberá reconocer la diferencia dentro del valor de escala de las dos señales.

El rango de escala de el resultado deberá ser igual al rango de el flujo de entrada . El valor restado deberá ser significativo o la imprecisión introducida superará cualquier ganancia realizada para la resta .

Entrada B = 0-15000 Lbs/h

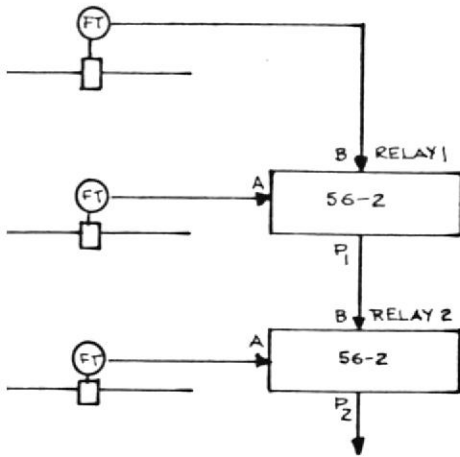
Entrada C = 0-5000 Lbs/h

Salida P = 0-15000 Lbs/h

$$\text{Palanca de ajuste} = \frac{\text{MAX VALOR ESCALA P} \times 100}{\text{MAX VALOR ESCALA C}} = \frac{15000 \times 100}{5000} = 300$$

Equipo.-

El modelo 56-5-6 Relay restador deberá restar las dos señales B y C , y tener una salida proporcional a la diferencia de las entradas . También al mismo tiempo esta en capacidad de corregir cualquier diferencia de valores en la escala.



62 SUMA DE SEÑALES MÚLTIPLES

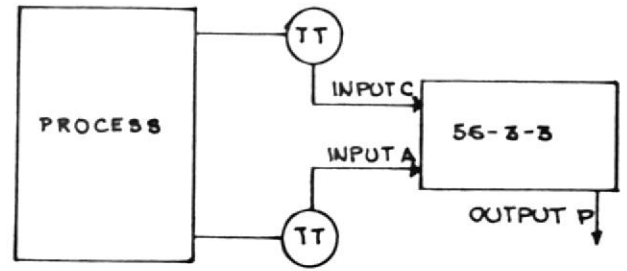
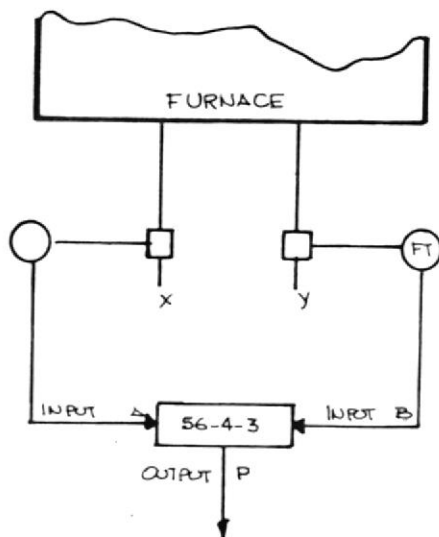


FIG.- 63. RESTA DE DOS SEÑALES Y AMPLIFICACION DE LA DIFERENCIA



64.- SUMA DE DOS SEÑALES

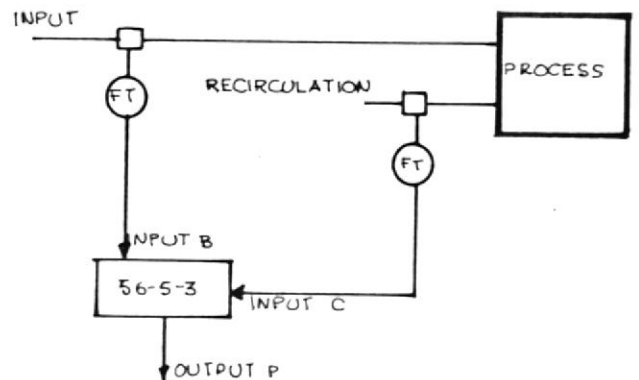


FIG.- 65.- RESTA DE DOS SEÑALES

CONCLUSION GENERAL.-

El campo de instrumentación y de control automático es nuevo, complejo y fascinante. Requiere de nuevas técnicas y ofrece nuevas alternativas para mejorar la producción de nuestra industria. Al mismo tiempo se convierte en un reto para los institutos tecnológicos y Universidades toda vez que tendrían que incorporar nuevos programas educativos.

Se podría seguir escribiendo mucho sobre este tema, cayendo en un plano completamente teórico, siendo este eminentemente práctico.

Parte de la información que aquí se ha dado es fruto de la experiencia en este campo y probablemente quede algún capítulo algo inconcluso.

La información que aquí se presenta bien podría ser usada con fines educativos y en caso de duda se podrían remitir al autor de esta Monografía de Grado para una ampliación de cualquier tema aquí presentado.

Con la tranquilidad y esperanza de haber contribuido para el bienestar de todos nosotros, en especial el de mi familia.

ATTE.

SR. DIEGO FCO. DONOSO

Bibliografía.

1.- RICHARD C. DORF

*Sistemas automáticos de control
teoría y práctica*
Fondo Educativo Inter-americano S.A.
Mexico 1977 Pag.- 1 - 13

2.- Honeywell

Fundamentals of industrial instrumentation.
Washington. 1973 Pag.- 1 - 12 ; 61 ; 80.

3.- A.S.M.E.

T Terminología de control automático
New York 1955 Bpletin

4.- L.M.SOULE

Basic concepts of automatic control pag.- 133-138
Basic control modes. pag.- 115-119
Controller tuning. pag.- 101-104
CHEMICAL ENGINEERING
New York 1970

5.- BOILER CONTROLS

POWER 1972 pab.- 21-24 Boletin

6.- JOSEPT CONISON

Instrumentation flow plan symbols
Paper n° RP5-1

7.- S.A.M.A. standar PCM 20-2-1970

Process Measurement and Control Terminology
Boletin.