

U. C. A.

Universidad Autónoma de Guadalajara

Incorporada a la Universidad Autónoma de México.

Facultad de Ciencias Químicas.

La Ingeniería Química

y

La Instrumentación en Generadores de Vapor

Tesis

que presenta

Horfirio Navarro Ramírez

para obtener el título de

Ingeniero Químico

Guadalajara, Jal., Junio de 1959.



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Dedico este trabajo:

A la Inmaculada Virgen María
como Testimonio de
Filial Devoción.

A la Memoria de
mi Padre

A mi Madre
y Hermanos.

Al Ing.
Alberto Blanchú Lima

A mis Maestros
compañeros y amigos

" LA I N S T R U M E N T A C I O N "
Y
L A I N G E N I E R I A Q U I M I C A E N
G E N E R A D O R E S D E V A P O R

- - -

CAPITULO	I	INTRODUCCION
CAPITULO	II	DESCRIPCION Y PRINCIPIO DE OPERACION DE EQUIPO DE MEDICION Y CONTROL
		a.- DIVISION; MEDICION Y CONTROL
		b.- TEMPERATURA
		c.- PRESION
		d.- NIVEL
		e.- FLUJO DE FLUIDOS
CAPITULO	III	IDEAS SOBRE CONTROL
CAPITULO	IV	SISTEMAS, INTERPRETACION DE LECTURAS Y, PROBLEMAS DE CONTROL
CAPITULO	V	CONCLUSIONES
CAPITULO	VI	BIBLIOGRAFIA

C A P I T U L O I

INTRODUCCION

Al iniciar este pequeño trabajo no pretendo hacer una exposición completa ni mucho menos sentar las bases acerca del papel que desempeña la Ingeniería Química (o bien un Ing. Químico), en una planta generadora de vapor, sino más bien dar ideas generales y en cuanto sea posible prácticas, tomadas algunas, de la experiencia; así mismo del valioso auxiliar que representa "la instrumentación" en el correcto mantenimiento y uniformidad de operación en los procesos.

Los problemas en los que interviene la ingeniería Química son los relacionados con los siguientes procesos unitarios:

- a) Flujo de Flúidos
- b) Transmisión de calor
- c) Evaporación

Los dos primeros tienen primordial importancia, ya que este último es el caso especial de un EVAPORADOR A FUEGO DIRECTO y el problema es principalmente de Diseño, quedando, además, dentro del terreno de la Ingeniería Mecánica.

Cuando en el desarrollo del presente trabajo sea necesario hacer mención o bien se juzgue oportuno hacerlo se hará, tomando en cuenta, de antemano, que "En Operación" -- "La Evaporación" como tal no es uno de los principales problemas, en una planta y la influencia que este tiene sobre los otros procesos, se reduce a un mínimo cuando los otros en sí mismos son controlador en su totalidad.

Los procesos antes mencionados se verifican con efectividad y exactitud, tanto más, cuanto es posible la correcta medición y control de las siguientes cantidades (o variables) físicas: a) Temperatura, b) Presión, c) Gasto (Flujo de flúidos) d) Diferencias de Nivel.

Siendo de notar que la mayoría de los instrumentos en la industria, están relacionados con la medición y control de las variables antes mencionadas.

A lo anterior debemos añadir que la uniformidad, eficiencia, y por tanto economía, dependerá en gran parte de un correcto estudio y control de la combustión.

Creo oportuno hacer notar que el problema de controles primordialmente de medición y así al hablar de "Descripción de equipo" se dará preponderancia al de medición, tomando en cuenta que el de control es esencialmente el mismo utilizado en los diferentes sistemas, habiendo solo variaciones, en combinaciones que permiten hacer los ajustes necesarios para obtener velocidades de respuesta, de acuerdo con las características y condiciones del proceso a controlar.

Cabría preguntar, si es justificable el costo de la instrumentación en una planta. Por supuesto en industria, solo cabe una respuesta "ECONOMIA" y esta a su vez entendida no como la supresión de lo que puede aparecer como "gastos" sino en la orientación correcta de "inversiones" y el rendimiento (utilidad) de las mismas. Podemos ennumerar alguno de los factores determinantes:

1.--SEGURIDAD. Al lograrse el diseño de unidades de alta capacidad operando a presiones y temperaturas elevadas, se han aumentando también las dimensiones físicas, resultando por tanto más o menos considerables las distancias entre los puntos de control. (Válvulas, Compuertas etc.) - existen además, en cada caso, una serie definida de condiciones en los flúidos (Aire, combustible, gases de combustión, agua y vapor) para cada carga, las cuales deben mantenerse tan fielmente como se desee, para el mejor aprovechamiento de la energía en el combustible y mayor vida --- útil en la unidad. Esto requiere el control preciso de --- esas condiciones y que la corrección a desviaciones se -- efectúe en el menor tiempo posible, especialmente en generadores modernos en los que la razón "Agua almacenada, Eva por hora" es baja. Un incremento en el tiempo --- transcurrido, entre el momento que haya una desviación del valor deseado de una condición y aquel en que se corrige, o una maniobra precipitada puede crear situaciones peligro sas para equipo y operadores.

2...a) BAJO COSTO DE OPERACION b) "EFICIENCIA"
a) Para eliminar en parte, la parte negativa expuesta-

en el párrafo anterior sería necesario, sin instrumentación, aumentar considerablemente el personal de operación.

b) La eficiencia en una caldera, está en gran parte determinada, por el aprovechamiento del poder calorífico del combustible y éste se logra manteniendo la relación Aire-Combustible en condiciones óptimas, reduciendo el exceso de aire a tal punto que se reduzca al mínimo la fuga de K.cal (BTU.) en los gases de combustión, pero que también asegure una combustión total correcta.

3.- ELIMINACION DE ERRORES DE OPERACION

Al haber necesidad de modificar la posición o condición de un elemento final de control o una variable, la percepción de un instrumento es superior a la del ojo humano, con la consecuente reducción de los límites (tolerancia) de operación.

Es obvio también que al desembararse el operador, del cuidado constante que debe tener para mantener correctas sus condiciones de operación, estará en mejores condiciones para darse cuenta de cualquier anomalía y además podrá inspeccionar y conservar en mejores condiciones el equipo auxiliar en la planta.

Finalmente, no se negará la efectiva ayuda que representa; para el personal técnico, el registro diario de las variables más importantes o generales que le permitirá confrontar datos y tomar las medidas necesarias al respecto, cuando encuentre desviaciones, en los valores, en operación normal.

4.- UNIFORMIDAD EN CALIDAD

Cualquiera que sea la utilización del vapor generado, los rendimientos serán superiores si la calidad del mismo se mantiene constante, y eso se logrará al ELIMINAR ERRORES DE OPERACION. Indiscutiblemente cuando el vapor es utilizado en procesos industriales de transformación, la uniformidad de la calidad adquiere mayor importancia.

La satisfacción de cualquiera de los factores anteriores, responde perfectamente a la cuestión.

A lo anterior añadiremos que: cuando la producción de vapor se utiliza en varios procesos, solo una CORRECTA MEDICION nos dará los datos necesarios para la verificación de BALANCES ECONOMICOS los cuales resultan indispensables en "ORGANIZACION INDUSTRIAL".

C A P I T U L O I I

DESCRIPCION Y PRINCIPIO DE OPERACION DE EQUIPO DE MEDICION Y CONTROL

A.- DIVISION: MEDICION Y CONTROL

B.- TEMPERATURA

C.- PRESION

D.- NIVEL

E.- FLUJO DE FLUIDOS

GENERALIDADES

Siendo materialmente imposible hacer una descripción sistemática y total del equipo de medición y control, existente en industria, por su amplia variedad nos limitaremos a describir sus partes constitutivas generales. Siendo, -- por supuesto, válido lo que se diga de algún instrumento, -- en particular, para todos aquellos que llenando las condiciones y características queden dentro del grupo, quepa la expresión, del equipo a que se haga referencia.

ELEMENTOS DE MEDICION.. En medición podemos dividir -- los instrumentos en tres grandes grupos.

- 1.-Elementos primarios. 2.-Elementos secundarios. --
- 3.- Elementos intermedios.

Son varias las definiciones que pueden hacerse de un elemento primario; de este se dice ser, en un sistema de medición, la parte o conjunto que primero es afectada por el cambio de magnitud de la variable que se desea medir y a la cual se aplica el instrumento. El elemento puede responder directamente como en el caso de un flotador o bien ser productor de un efecto, de la cantidad mensurable, capaz de ser utilizado; en otras palabras, como en el caso de un orificio, cambiando una magnitud física (velocidad) -- en otra diferencia de presión) utilizable.

Algunos obedecen no a un cambio de la magnitud, sino a uno de sus efectos. v.g.: "La humedad relativa deducida: a) de la lectura de un termómetro b) del efecto causado en una sustancia higroscópica. O bien el caso de una mezcla de gases en la que pueden medirse las proporciones, utilizando: a) la termo-conductividad de la mezcla b) su densidad. Un caso más claro aún "la deflexión de un tubo Bour -- don (en un termómetro de gas) ocasionada por un cambio de presión."

Elemento secundario es la pieza o conjunto, cuya función es recibir e indicar los cambios bien detectados o -- causados por el elemento primario. Puede ser: Indicador, -- Registrador Integrador o combinación de este con aquellos.

El cualquiera de los casos la idea fundamental es que

nos indica o da "valores numéricos" en función de las variaciones recibidas del elemento primario.

El elemento secundario varía grandemente con la función del medidor y el diseño del elemento primario. En un medidor, puede consistir en un mecanismo que transforme el movimiento lineal de una pieza, en movimiento circular de una aguja sobre una escala, en este caso, el mecanismo, la aguja y la escala formarán el elemento secundario; en cambio en algunos indicadores, el elemento secundario será la escala únicamente.

Cuando para hacer factible o mejorar el correcto funcionamiento de un elemento primario o secundario (de acuerdo con las necesidades del caso) se añaden otros auxiliares, el conjunto recibirá el nombre de Sistema Primario o Secundario. La diversidad de elementos que pueden existir entre el elemento primario y el secundario propiamente dichos, reciben el nombre de Elementos Intermedios, los cuales pueden ser Transmisores, Relevadores etc.

La división anterior ha sido utilizada durante mucho tiempo. Actualmente existe la tendencia a reunir en un solo tablero o sala de control la mayor parte de equipo, --- principalmente de indicadores, registradores etc., además para ganar en espacio sencillez y economía, se han desplazado, fuera del cuarto de control todos aquellos elementos cuya presencia no es indispensable a la vista del operador. Esto ha creado la necesidad de aumentar el número de elementos intermedios, haciendo a la vez un tanto oscura la división hecha anteriormente, aún cuando puede aplicarse, --- siendo necesario, por tanto, separarlos de manera diferente y general, esto es en:

1) Elementos Primarios 2) Transmisores 3) Receptores

Esta división aún cuando más general nos parece lógica ya que puede aplicarse a cualquier sistema de medición, desde el más sencillo al más complejo v.g. un tubo Bourdon para medir presión, Fig. 1

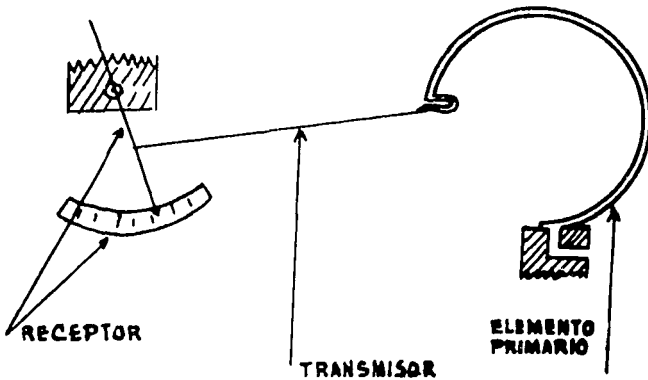


FIG. 1

Como en un principio se dijo, el problema de control incluye medición y creo por tanto necesario insistir una vez más en que la idea "control" nos habla de límites, y decir límites incluye cantidades. En otras palabras, para limitar las desviaciones de una "condición variable" es necesario conocer su magnitud refiriéndola a un valor Pre-seleccionado. Esto nos muestra lo difícil que resulta separar completamente los elementos de control de los de medición. Así puede verse con frecuencia que un medidor, con una pequeña modificación, se convierte en un Medidor-Controlador. Sin embargo por las funciones que desempeñan en un sistema de control, encontramos elementos que son exclusivamente de control y de acuerdo con esas funciones podremos dividirlos en: Relevadores, Elementos Auxiliares y Elemento final de Control; éstos últimos pueden ser: Auto-Operados, Servo-Operador y Relevador-Operados.

El Relevador es el elemento que recibe la señal del medidor. Actualmente este elemento puede o no, ser parte integral del "medidor indicador o registrador". Normalmente los movimientos de la plumilla indicadora o registradora, se imparten (en el primer caso) al vástago o alguna parte móvil del Relevador, recibiendo entonces el nombre de "Válvula Piloto".

En el segundo caso recibe la señal de un transmisor, este elemento, como su nombre lo indica, es capaz de modificar o retransmitir la señal recibida.

Elementos auxiliares: son aquellos que sin modificar o modificando, interceptan, desvían etc., la señal, facilitan la manipulación y reajustes de parte o partes del sistema.

El Elemento Final, generalmente válvula, compuerta, etc., que limita la magnitud de la variable o el agente de control, de la cual se ha tenido información del equipo -- de medición. Auto-Operado, generalmente forma un sistema -- separado y se Auto-Opera utilizando energía del medio controlado. Servo-Operado cuando su posición se regula por medio de un servo-mecanismo. Relevador-Operado, cuando su posición es una función directa de la señal recibida de un Relevador, o sea, la señal se recibe directamente del Relevador al elemento final.

T E M P E R A T U R A .

La temperatura ha sido catalogada por la mayoría de los autores, como la variable más importante (y muchas veces más difícil de controlar) en cualquier proceso industrial.

En el caso "Generadores de vapor" tenemos dos casos -- específicos, cuando la producción es "vapor saturado" en ese caso, es obvio, el control queda incluido en el de presión; reduciéndose el problema exclusivamente a Medición, pero cuando se tiene vapor sobrecalentado, y a presiones más o menos altas, el problema es un tanto complejo.

Tomando en cuenta que la temperatura es una de las funciones más importantes y el mantenimiento exacto de lecturas de un termómetro depende, la mayoría de las veces, de la comparación del mismo con algún patrón o standard y este a su vez debe referirse a una escala básica de temperaturas. Normalmente se toma, y es lógico, la escala centígrada cuyos puntos básicos para su subdivisión son: la temperatura del hielo fundente y el punto de ebullición -- del agua.

La escala fundamental entre 100 y 1500°C está dada -- por el termómetro de nitrógeno del tipo "VOLUMEN CONSTANTE". Este termómetro consiste en un bulbo, conteniendo Nitrógeno e inmerso en un medio cuya temperatura se desea me

dir, y un mecanismo apropiado para medir la presión desarrollada, al calentar el gas, manteniendo el volumen constante. Si existiera un gas ideal, un termómetro con dicho gas y a volumen constante nos reproduciría la escala termodinámica en todos los rangos de operación. De acuerdo con la ley general de los gases, ese termómetro nos obedecería a su fórmula $T_2 = \frac{P_2 T_1}{P_1}$

Los gases reales se desvían de esa ley y dichas desviaciones difieren de acuerdo con el rango y naturaleza del gas. Como consecuencia de lo anterior se usan diferentes gases para los diferentes rangos.

Se ha encontrado, también, que un termómetro de resistencia o un termopar de metales nobles REPRODUCEN CON LA MISMA EXACTITUD que el termómetro de gas la escala termodinámica en rangos entre 0°C y 1100°C, cuando se les calibra en tres puntos fijos. Así se acepta para temperaturas entre - 40°C y 450°C el termómetro de resistencia de platino calibrado a 0°C (hielo fundente) 100°C (Ebullición del agua) y 444.6°C (Vapores de azufre en ebullición a presión atmosférica) y para temperaturas entre 450°C y 1100°C utilizando un termopar Platino - Platino Rodio; calibrado a 419.4°C (Punto de fusión del Zinc) 630°C (Fusión del Antimonio) y 1083°C (Fusión del cobre) Arriba de 1500°C el termómetro de gas sufre desviaciones que no permiten usarlo.

En nuestro caso "Generadores de Vapor" se opera dentro de los rangos antes señalados.

Como con mucha frecuencia se usa, como patrón, el termómetro de mercurio y éste es quizá el más común, sólo quiero mencionar que, en comprobaciones del mismo debe hacerse una compensación por efecto de inmersión obedeciendo a la fórmula Empírica $S = a_n (T-t)$ (1)

a = coeficiente de expansión del mercurio en tubos de vidrio (0.00016/oC, 0.0009/oF)

T = temperatura del baño donde está el bulbo

t = temperatura del medio que rodea la parte que emerge del baño

n = número de grados de la parte que emerge

Los termómetros más usados en industria (Generadores de Vapor) los podemos dividir en dos grupos atendiendo al efecto que se emplea para su operación.

1.- Termómetros de expansión

- a) Expansión cúbica de un líquido a presión constante.
- b) Presión desarrollada por una masa de una sustancia a Volúmen constante.

2.- Electrotermómetros

- a) Cambio de resistencia eléctrica en un filamento
- b) Fuerza Electro motriz generada por un termopar

Este último por conveccionalismo se le ha llamado Pirómetro Termoeléctrico, por el hecho de usarse normalmente en temperaturas elevadas aún cuando se usan con exactitud a bajas.

TERMOMETRO DE EXPANSION.--Este aprovecha el efecto producido por la diferencia entre las dilataciones cúbicas de un fluido y el recipiente que lo contiene.

TERMOMETRO DE EXPANSION A PRESION CONSTANTE.-- Un ejemplo de ellos es el de mercurio. En general en todos ellos se utiliza un líquido cuyos puntos de congelación y ebullición sean inferiores y superiores a las temperaturas mínima y máxima por medirse. El espacio para expansión del líquido está o bien al vacío o lleno con un gas inerte. El líquido más usado es el mercurio.

TERMOMETROS ACTUADOS POR PRESION DE UN FLUIDO A "VOLUMEN-CONSTANTE".

Probablemente es el tipo de termómetro más general-

zado.

Las partes comunes a este tipo de instrumentos son:

1.-Bulbo metálico que debe estar sumergido en el medio cuya temperatura se desea conocer y conteniendo el elemento productor del cambio de presión.

2.-Un tubo capilar, conectando al bulbo con el indicador o registrador.

3.-Un elemento elástico que responda a los cambios de presión del fluido en el bulbo e instalado en el registrador o indicador.

4.-Un mecanismo que modifique (generalmente multiplica) los movimientos del elemento elástico.

5.-Una escala o carátula, donde se indique o registre las temperaturas. Si es registrador se incluirá un mecanismo que accione la gráfica.

6.-Una camisa metálica para proteger el bulbo. Esta es opcional o indeseable en algunos casos.

Las partes 1, 2 y 3 forman un Sistema sellado, conteniendo el fluido.

BULBO.-El papel del bulbo, como ya se indicó, es detectar los cambios de temperatura del medio en el cual está sumergido, produciéndose cambios de presión del fluido que llena el mismo y estos a su vez dependerán de la absorción o desprendimiento de calor del bulbo. La característica más importante de un bulbo es "la velocidad a la cual responde a cambios de temperatura. Las maneras de mejorar esta característica son:

- a.- Aumentar la relación:
Area expuesta al medio/Volúmen del bulbo
- b.- Reducir la masa metálica hasta donde no se afecte la seguridad.
- c.- Usar metales cuyo coeficiente de conducción térmica sea alto.

Siempre que es posible se aumenta la longitud, aumen

tando así el área. Se reducirá el espesor para disminuir la inercia térmica tomando en cuenta la presión que soportará internamente y el material que deba usarse dependerá del medio ambiente, corrosivo etc. Siempre que sea posible se usará Cobre o aleación conteniéndolo dado su alto coeficiente de conductividad térmica.

CAPILAR.- Como es bien claro debe ser tan fino y bien acabado como sea posible. La tersura interna tiene influencia sobre todo en aquellos cuyo medio operante es un líquido.

Las limitaciones acerca de la longitud están dadas de acuerdo con la forma de bulbo y el medio operante. Se ha encontrado práctica y experimentalmente que la razón Volúmen del bulbo/Volúmen del capilar no debe ser inferior de 20.

La tabla No. 1 y Fig. 2 muestra las limitaciones para capilar y las secciones (de bulbo) 1 y 2 muestran la construcción de un bulbo y capilar para un transmisor Bailey para una temperatura máxima de 315.55°C (600°F)

X	Y	Z	Clase	Cap. Max.
5	3/8	15	II	25
10	3/8	20	II	75
5	3/4	15	II	200
1	1/2	11	II	200
15	3/4	25	III	150
20	3/4	30	III	200
10	3/4	20	III	80
5	1	15	III	80
7 1/2	1	18	III	150
10	1	20	III	200
3 1/2	1/2	13 1/2	IV	50
4 1/2	1/2	14 1/2	IV	50
5 1/2	1/2	15 1/2	IV	50

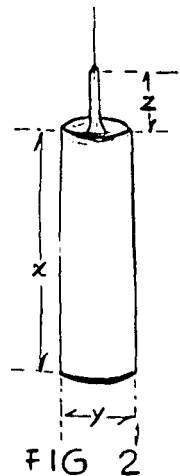


FIG 2

- I.-Líquido excluyendo mercurio
- II.-Tensión de vapor. (Substancia volátil)
- III.-Usando gas
- IV.-Mercurio

(Nomenclatura comercial)

ELEMENTO ELASTICO.--Son prácticamente los mismos usados para indicadores y registradores de presión y se verán con detalle en la "sección" correspondiente a la medición de presión. Se emplean tres diferentes elementos dependiendo de las presiones desarrolladas por el medio operante, estos son:

- 1.- Diafragma
- 2.- Tubo de Bourdón y Fuelle (0.7 Kg/cm² a 5.3 Kg/cm²)
- 3.-Tubo helicoidal o espiral (5.3 Kg/cm² a 140 Kg/cm²)

Cuando el medio en que se mide la temperatura es corrosivo, o por razón de mantenimiento, en conductos a presión, se recomienda la instalación de una camisa protectora. Con ésta se introduce un retardo en la respuesta. Para reducir este efecto se recomienda hacer contacto con láminas metálicas (entre camisa y bulbo) eliminando así el coeficiente de película.

CLASIFICACION DE TERMOMETROS ACTUADOS A PRESION (dependiendo del medio operante) SE DIVIDEN:

- a.-Termómetros que usan gas (clase VI)
- b.-Termómetros que usan una substancia volátil y sus vapores (clase II)
- c.-Termómetros que usan un líquido cualquiera, excluyendo mercurio (clase I)
- d.-Termómetros que usan mercurio (clase IV)

"TERMOMETRO DE GAS"

Como antes se mencionó, el bulbo, capilar y elemento elástico forman un sistema sellado, esto es, el volumen permanece constante. Quedando su teoría automáticamente, gobernada por la Ley de Charles. $P_1 / P_2 = \frac{T_1}{T_2}$

Es evidente, también, que habiendo una proporcionalidad directa tendremos graduaciones uniformes en la escala. Las desviaciones que sufre un gas real, en el rango de temperaturas usadas en el terreno industrial, son pe-

queñas. Así se ha encontrado (Rhodes P. 55) que el Nitrógeno en un rango de 100 a 1200°C sufre una desviación de + 1°C. Esto en el terreno Industrial resulta despreciable. La desviación anterior, más la que se origina por el cambio de volumen del sistema por dilatación de los metales, se toma en cuenta y corrige al hacerse la calibración.

Al seleccionar el gas que se usará en un termómetro se tendrá en cuenta el rango dentro del cual vaya a operar; así se usará uno cuyas propiedades aseguren una operación correcta en esas condiciones.

Las propiedades que deberán tomarse en cuenta son:

- 1.-Temperatura crítica
- 2.-Calor específico
- 3.-Coeficiente de expansión
- 4.-Inercia Química

A lo anterior se añadirá que debe ser fácil de adquirir.

Como el bulbo y el resto del sistema estarán a diferentes temperaturas; si la temperatura ambiente tiene variaciones muy amplias, esto afectará las indicaciones, especialmente cuando el rango del termómetro es bajo. Para corregir el error ocasionado en esas condiciones, los métodos más empleados son:

- 1.-Aumentar la razón "Volúmen del bulbo/Volumen capilar y elemento elástico".
- 2.-Empleo de un eslabón bimetálico en el mecanismo del registrador o indicador.
- 3.-Empleando un sistema idéntico, sin bulbo conectado con el mecanismo, de manera que produzca movimiento opuesto al de medición (Fig. 3)

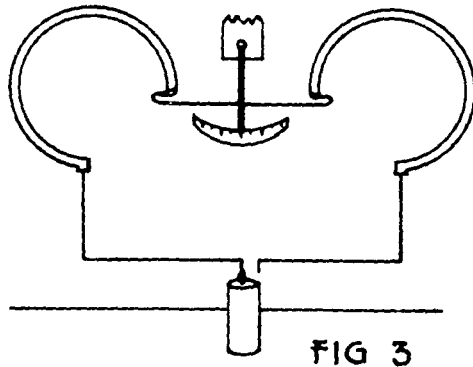


FIG 3

El primero es el más usado siendo el más simple y económico. Teniendo las siguientes limitaciones:

- 1.-Dificultad de instalar bulbos muy grandes en ciertas instalaciones.
- 2.-Reducción de las deflexiones y fuerza desarrolladas por el tubo Bourdón, si se reduce el tamaño del mismo.

Cuando no es posible corregir por alguno de los métodos antes indicados, se hacen correcciones mediante la fórmula siguiente:

$$\Delta c = \frac{Vc}{Vb} \quad (^\circ C)$$

Δc = Variación en temperatura en el capilar

Vc = Volúmen del capilar

Vb = Volumen del bulbo

BULBO.

Las dimensiones prácticas del bulbo están comprendidas entre 10 a 50 cm de longitud y 1 a 2.5 cm de diámetro y su volumen entre 50 y 100 c.c. la forma deberá adaptarse a las necesidades de instalación. Los bulbos para me -

dir temperaturas en ductos se fabrican en diámetros de 3- a 12 mm. y su volumen varía de 2.0 a 125 c.c./m .

CAPILAR Y HELICE

La longitud del tubo capilar que se usa es una función de las dimensiones del bulbo, se han encontrado resultados prácticos con la siguiente relación.

$$\frac{\text{Volumen del bulbo}}{\text{Volumen del capilar} + \text{Volumen de la hélice}} = 8 \quad (3)$$

El capilar más empleado es el de 0.0079 cm. de diámetro interno con un volumen aproximado de 4.9 c.c./m. y la hélice o espiral normalmente 1.5 c.c. con estos valores se puede calcular el volumen necesario, bien del capilar o bulbo de acuerdo con las necesidades de instalación.

El elemento elástico que actúa el mecanismo registrador, es casi siempre un tubo helicoidal o espiral, excepto en caso de transmisores en donde por lo general es un tubo Bourdón simple; el helicoidal tiene deflexiones más amplias, eliminando así reducciones de engranes que aumentarían "banda muerta" y fricción. A fin de tener diferencia, de presión suficiente para producir las deflexiones en la hélice y reducir al mínimo errores por fricción, debe satisfacer la relación:

$$\frac{\text{Temperatura Máxima absoluta } (^{\circ}\text{K})}{\text{Temperatura Mínima absoluta } (^{\circ}\text{K})} > 1.3 \quad (4)$$

Siendo temperaturas "Máxima" y "Mínima" del rango de operación seleccionado.

TERMOMETROS QUE ACTUAN POR PRESION DE VAPOR DE UN LIQUIDO VOLATIL.

Principio de operación.--En este tipo de termómetros el sistema está parcialmente lleno de un líquido volátil y el resto por sus vapores en equilibrio. Como se comprenderá este tipo de termómetros, están esencialmente gobernados por la "Ley de Dalton" (para vapores) esto es: "LA PRESION DE UN VAPOR SATURADO DEPENDE UNICAMENTE DE SU TEMPERATURA.

Estos termómetros, por su bajo costo, facilidad de reparación y la amplísima gama de líquidos que pueden emplearse; (también de acuerdo con el rango) tienen amplia aplicación en la industria, aun cuando en "Generadores de Vapor" su uso es reducido.

Como el sistema está actuado por la tensión de vapor, el termómetro obedece y está sujeto a las leyes de termodinámica aplicables a un pequeño generador de vapor operando a las condiciones específicas del caso.

La selección del medio activo se reducirá a la consulta de curvas isométricas teniendo en cuenta las siguientes propiedades:

- 1.- Punto de ebullición
- 2.- Punto de saturación
- 3.- Temperatura crítica (superior a la máxima del termómetro)
- 4.- Inactividad química (relativa)

Los líquidos más empleados son:

Cloruro de metilo

Bióxido de azufre

Eter

Alcohol etílico

Tolueno

Debe recordarse que "la curva Presión-Temperatura" de un líquido a volumen constante, no es una línea recta. Lo anterior tiene como consecuencia inmediata que la escala en un termómetro de este tipo, no será uniformemente graduada; siendo esta una desventaja en aquellos casos donde se desee tener lecturas exactas, o bien su señal se utilice en un sistema de control y en combinación con transmisores cuyas características difieren o sean línea-

les.

Con pequeñas variantes se tendrán los mismos problemas al determinar:

Forma de bulbo, longitud del capilar etc. que los mencionados en el termómetro de gas. Hay sin embargo, factores que lo distinguen de aquel.

1.- La relación Volumen bulbo al resto del sistema puede ser muy inferior.

2.- La posición del bulbo no puede ser cualquiera, sin afectar los resultados.

3.- Las variaciones de temperatura ambiente no lo afectan. El bulbo estará siempre parcialmente lleno del líquido a la temperatura del medio que lo rodea, y la presión del sistema dependerá exclusivamente de esa temperatura. Los cambios de temperatura ambiente tenderán a variar ligeramente el volumen líquido en el bulbo, pero como antes se dijo, esos cambios no afectarán la presión.

TERMOMETROS QUE UTILIZAN UN LIQUIDO

El principio de operación de este tipo de termómetro está basado en la propiedad de "Dilatación cúbica de los líquidos" obedeciendo la expresión $V_t = V_0 (1 + \alpha t)$ (5)

Sabemos que la relación Presión-temperatura es casi directa, las desviaciones obedecen a que α no varía linealmente a todas las temperaturas. Sin embargo las desviaciones son pequeñas y puede aceptarse como lineal dentro de rangos normales de operación.

Los líquidos empleados deben reunir las siguientes propiedades:

1.- Alto coeficiente de expansión

2.- Inactividad química (relativa)

3.- Bajo calor específico, Alto coeficiente de conductividad térmica.

El líquido más usado es el mercurio teniendo casi exclusividad.

En este tipo de termómetros tiene menos influencia -- la mayor o menor razón de volúmenes. Bulbo-Capilar y las compensaciones por diferencias de temperatura se logran -- introduciendo en el capilar un alambre cuyo coeficiente -- de expansión sea diferente al del material del bulbo, de manera que las variaciones de volumen de ambos queden compensadas.

Al instalar bulbos, en ductos, deberá tomarse en cuenta la diferencia que puede existir en velocidades del -- fluido especialmente después de cambios de dirección. Ade más se evitará que el bulbo esté expuesto a Radiación, ya que al calibrarse normalmente se considera que el calor-- se transmite por convección.

ELECTROTERMOMETROS

Como antes se mencionó estos reciben el nombre de Pi rómetros, particularmente cuando se usa un "Termopar" como elemento primario y en general cualquier tipo al em -- plearse para medición de temperaturas elevadas.

TERMOMETROS DE RESISTENCIA ELECTRICA.

Los termómetros de expansión tienen uso práctico has ta una temperatura máxima de 540°C (1000°F). Cuando se -- tiene necesidad de medir temperaturas más elevadas se em -- plean termómetros eléctricos, cuya aplicación se extiende hasta los 975°C (1790°F) Normalmente las temperaturas que se miden en generadores de vapor están bajo 500°C; pero -- en algunos casos los termómetros de resistencia eléctrica presentan ventajas sobre los de presión.

PRINCIPIO DE OPERACION.- Se basa en la propiedad que tie nen los metales de aumentar su resistencia eléctrica cuan do se eleva su temperatura. El elemento primario, en este caso, es un filamento metálico de resistencia conocida, -- por el que se hace pasar una corriente eléctrica y de las variaciones de su resistencia se deduce la temperatura a -- que está sometido.

Los factores que determinan la elección de un termómetro de resistencia son:

- a.- Ofrece mayor exactitud que los demás tipos
- b.- Permite mayor distancia entre el elemento primario y el registrador, que los actuados a presión
- c.- Es posible la medición de temperaturas más altas e bajas con la misma exactitud que con los actuados a presión.

Los metales empleados en los filamentos, deben tener las características siguientes:

- 1.- Alto coeficiente de resistencia por temperatura
- 2.- Fácil reproducción (metales puros)
- 3.- Resistencia a la corrosión

Los metales más empleados son el Platino y Niquel, - cuya resistencia aumenta proporcionalmente con la temperatura (Dando graduaciones uniformes) y llenan, mas que ---- otros, las características antes citadas.

(El elemento primario se fabrica, normalmente, enrollando el filamento en una placa de un material dieléctrico, mica generalmente, y cubriendo ésta con otros dos del mismo material, este ensamble se introduce en un tubo metálico de pared delgada, que va unido con otro de menor diámetro, por el que se conducirán los alambres a las terminales de las resistencias y todo el conjunto se aloja, - ajustado, dentro del bulbo protector, que irá en contacto con el medio, cuya temperatura se desea medir).

CIRCUITO DEL INSTRUMENTO.- El circuito más común en medidores de temperatura es el de "PUENTE DE WHEASTONE" que se muestra en la Fig. 4

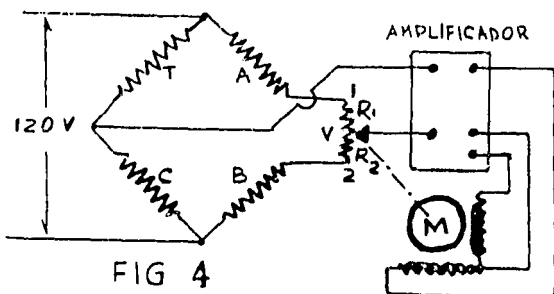


FIG 4

Las resistencias A B y C son fijas; la resistencia T es también parte del puente y es el "elemento primario del instrumento, que irá en el punto cuya temperatura se mide; V es una resistencia variable y aumenta o disminuye los valores de A y B, según la posición del contacto, todas las resistencias son de valores conocidos. M es un motor que varía la posición del contacto sobre V. Cuando el sistema está en equilibrio tendremos:

$$T (B + V - R_1) = C (A + V - R_2) \quad (6)$$

Cuando esta condición se satisface, no habrá ninguna f.e.m. a través del amplificador y el motor permanecerá sin movimiento.

Si la temperatura T aumenta, aumentará su resistencia aparecerá una f.e.m. que se amplificará y hará girar el motor, moviendo el contacto hacia 1 hasta el punto en que el circuito vuelva a estar en equilibrio y así el motor permanecerá en esta nueva posición. De esa manera el contacto estará en 1 cuando la temperatura sea máxima y en 2 cuando sea mínima.

El motor sirve, además, para mover el mecanismo de la aguja registradora sobre la gráfica.

Además de las ventajas dichas anteriormente, vale mencionar tres más que distinguen notablemente éste instrumento.

1.- Con este sistema se pueden medir temperaturas en puntos distantes hasta 500 m. del registrador.

2.- Usar exclusivamente corriente alterna en el sis-

tema.

3.- Velocidad de respuesta. Como se comprenderá, los retardos se ocasionarán principalmente por la inercia térmica del conjunto de ensamble del "elemento primario". -- Con uno de construcción normal se pueden obtener respuestas de un 95% de una variación en temperatura, en un tiempo de 30 segundos. (Conferencia B.M Co 9-14-56 George Somers).

TERMOMETROS USANDO UN TERMOPAR

El uso de este tipo de termómetros lo determinan los factores siguientes:

- 1.- Rango: temperaturas a las cuales no se tiene seguridad de operación correcta en los actuados a presión.
- 2.- Exactitud: la exactitud es inferior a los mencionados anteriormente; $\pm 8.33^{\circ}\text{C}$ ($\pm 15^{\circ}\text{F}$) en rangos de 37.78°C (100°F) a 1204°C (2200°F). Lo asentado es tomando como base termopares de uso comercial, cuando se desea puede lograrse mayor exactitud en equipo de laboratorio.
- 3.- Velocidad de respuesta: en este caso, como en los de resistencia, el retardo se deberá casi en su totalidad a la inercia térmica de la camisa protectora.
- 4.- Mantenimiento: relativamente bajo y fácil de reparar en caso de algún daño en el elemento primario.

El efecto utilizable en este tipo de termómetros es la Fuerza-Electro-Motriz (F.E.M.) generada por dos metales (generalmente en forma de alambre) de diferente tensión electrofónica, cuando unidos en sus extremos uno de ellos, se somete a calentamiento.

El conjunto recibe el nombre de Termopar y el valor de la f.e.m. generada, varía aproximadamente en razón directa con la temperatura.

Como solución al problema de selección de metales, se han encontrado aleaciones cuyo uso es el más común y conocidas con nombres comerciales; las más usadas y sus temperaturas máximas se dan en la tabla 2.

+	--	Máxima °C	°F
Cromel	Alumel	1204	2200
Fe	Constantan	815.6	1500
Cu	Constantan	315.55	600
Cromel	Cope1	537.8	1000

	Ni	Cr	Al	Mn	Cu	Silicon
Cromel	90%	10%				
Alumel	94%		2%	3%		1%
Constantan	40%				60%	
Cope1	45%				55%	

Tabla 2

FACTORES GENERALES QUE DEBEN TOMARSE EN CUENTA AL SELECCIONAR UN ELEMENTO PRIMARIO DE TEMPERATURA

- 1.- Servicio
- 2.- Temperatura máxima
- 3.- Temperatura de operación
- 4.- Temperatura mínima
- 5.- Presión (del ducto, línea etc.)
- 6.- Medio (reductor, oxidante, corrosivo, abrasivo, etc.)
- 7.- Velocidad del fluido
- 8.- Lugar de instalación (esquema de tubería o ducto etc.)
- 9.- Condiciones a soportar (choques, vibración, etc.)
- 10.- Funciones del instrumento (medición, medición y control)
- 11.- Velocidad de respuesta

" P R E S I O N "

Las mediciones de presión necesarias en generadores de vapor, comprenden una gama amplísima desde unos 4 cm. de --mercurio (absoluta) hasta 100 kg/cm² (manométrica) en diseños normales, aún cuando se ha llegado a presiones más-elevadas.

Los instrumentos empleados varían de acuerdo con el-rango, por razones de sensibilidad, elasticidad, costo, -etc. En general podemos dividirlos en dos grandes grupos.

1... Oponiendo una fuerza conocida a otra desconocida:

- a) Columna de líquido
- b) Membrana flexible
- c) Campana invertida

2.- Por deformación de un elemento elástico

- a) Tubo Bourdón (simple, espiral, helicoidal)
- b) Fuelle y resorte

El grupo primero, usado para medición de bajas pre -siones. En los de "columna de líquido" se tienen lecturas directas, tomando en cuenta la densidad del líquido y ex-presadas, generalmente, en columna de H₂O o Hg.

En los de campana invertida y membrana elástica se -obtienen lecturas directas con datos experimentales y de-ajuste. Es muy común encontrar en plantas, instrumentos -de este tipo con rangos desde 0 a 5 mm H₂O y 0 a 250 cm -H₂O.

El principio de operación de este grupo se muestra -en la Fig. 5 (a, b,c.)

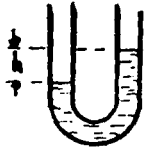


FIG. 5-a.

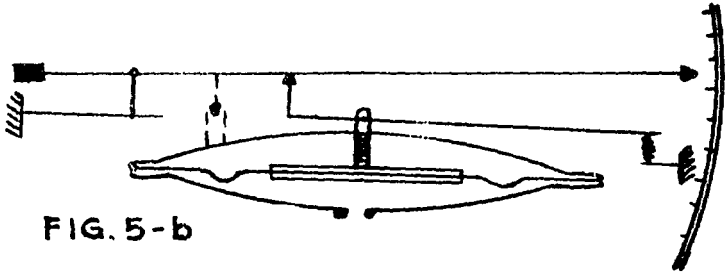
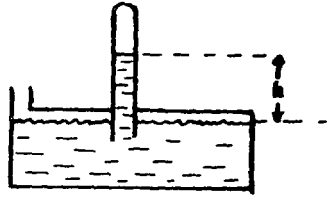


FIG. 5-b

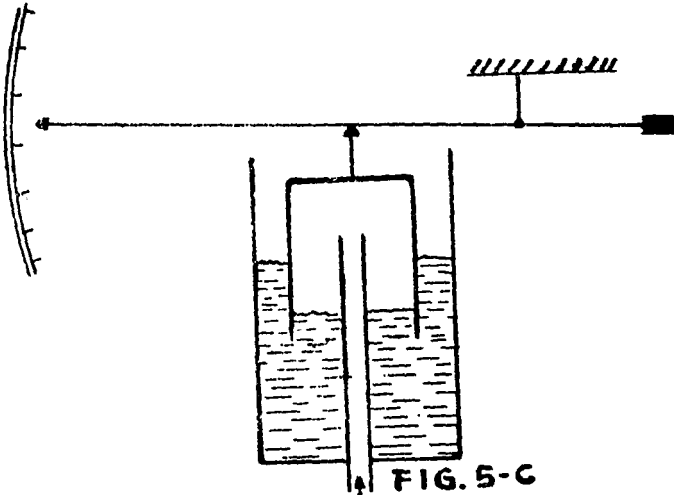


FIG. 5-c

Como se comprenderá, el manómetro, usando columna de líquido se usa solo como indicador.

Los de campana, tienen la característica ventajosa - derivada del área relativamente grande de la campana, de que aun con pequeñas variaciones de presión (mmH₂O) desarrolla fuerza suficiente para mover el mecanismo, razón - por la cual, se emplean para operar transmisores cuando - se tiene control automático.

La presión máxima de operación, está determinada por la diferencia entre el nivel mínimo del líquido dentro de la campana y el correspondiente externo.

Cuando sea una diferencial (ΔP) la que quiere registrarse o medir, bastará utilizar dos campanas.

DESVENTAJAS.-- Los instrumentos que usan campanas selladas con un líquido tienen el inconveniente de que el sello puede romperse al haber una variación súbita, como sucede durante cambios de carga en los generadores y trabajando -- "en automático"; si el instrumento forma parte del sistema de control, hay la posibilidad de que momentáneamente quede fuera de operación, o inclusive, pierda la calibración que se la ha dado.

MANOMETROS CON MEMBRANA ELASTICA.

Utilizando este tipo de instrumento se elimina el inconveniente mencionado en el párrafo anterior, ya que los diafragmas normalmente usados pueden soportar presiones hasta 200 grs/cm.²

Los rangos normales de operación están comprendidos entre -15 y + 25 cm. H₂O. Como puede observarse, también, bastará hacer una conexión a cada lado del diafragma para tener un medidor diferencial. Se usan también, como parte del sistema de control, ya que puede perfectamente actuar un transmisor neumático. Lo dicho anteriormente da idea de la amplia aplicabilidad de este tipo de instrumentos para medición y control de presiones bajas.

MANOMETROS QUE OPERAN POR DEFORMACION DE UN MIEMBRO ELASTICO.-- Su principio de operación se basa en el movimiento-

de un punto de un miembro elástico sometido a presión. La forma de este miembro puede ser: Tubular, Tubular corrugada (Fuelle) o una Membrana fija en su periferia. Estos tres tipos representan ventajas por su bajo costo inicial y de conservación, compacto y fácil de reemplazar.

MANOMETRO DE ELEMENTO TUBULAR.

El manómetro de tubo Bourdón, el más usado y de los más antiguos, consiste esencialmente en un tubo que, originalmente cilíndrico y recto, se deforma para quedar permanentemente con una sección transversal aproximadamente elíptica y formando un arco de circunferencia de más o menos 270° . Fig. 6

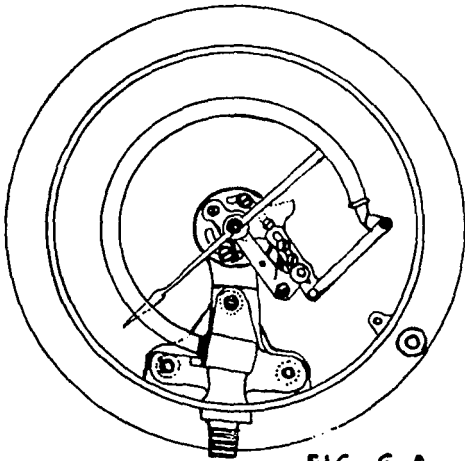


FIG. 6-A.

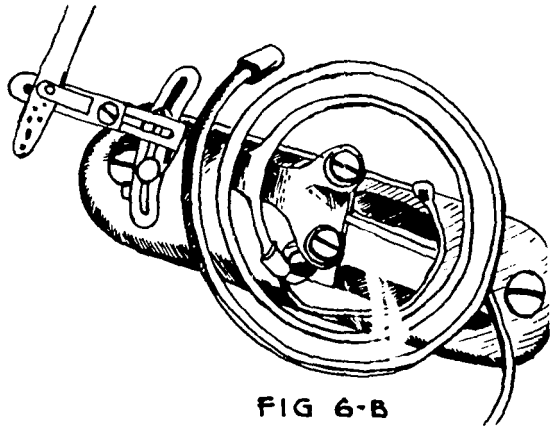


FIG 6-B

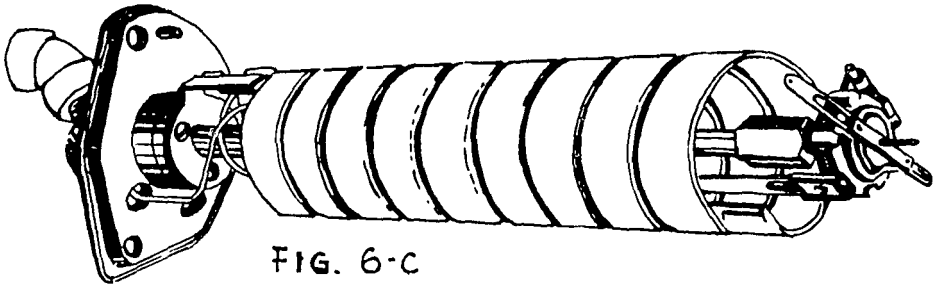


FIG. 6-C

Al aplicar un esfuerzo, internamente (presión) el tubo tratará de recuperar su forma original y el extremo libre se moverá en un plano perpendicular al eje de la circunferencia. Cuando esto pasa, la sección transversal varía constantemente, y esto hace complicado el análisis de esfuerzos del tubo. Experimentalmente se ha encontrado -- que el ángulo subtendido al centro, por el arco exterior del tubo, es proporcional a la presión aplicada y que, el movimiento del extremo libre, es también aproximadamente proporcional. (a la presión) Las pequeñas desviaciones -- que se encuentran en cualquier tubo Bourdón, son siempre corregibles mediante ajustes en el mecanismo de transmisión del movimiento, en el que siempre habrá un medio de modificar angularidades.

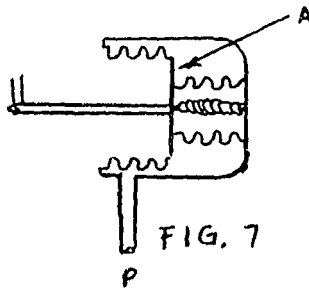
Cuando por razones de función del equipo, se requiera mayor exactitud y se desee tener mayor distensión se usará un tubo Heliocoidal o Espiral Fig. 6 b, c con 4 o 5 vueltas, lo que indiscutiblemente aumentará el desplazamiento del extremo libre. Tomando como base el tubo simple, este aumento estará en la razón $\frac{360 N}{270}$, en donde N es igual al número de vueltas en el tubo.

La ventaja del espiral o helicoidal sobre el sencillo es el poder eliminar el mecanismo multiplicador del movimiento, (engranes) reduciendo la "banda muerta y fricciones".

Lógicamente, el mecanismo de un tubo Bourdón (de cualquier tipo) podrá, con pequeñas modificaciones, usarse en un registrador o bien para mover el vástago de una válvula piloto, abrir o cerrar un circuito eléctrico etc. Esta circunstancia hace de este tipo de instrumento, uno de los más usados en sistemas de control.

F U E L L E S M E T A L I C O S

Los fuelles se usan para bajas presiones, especialmente para instrumentos controladores. En la mayoría de los casos se emplea en resorte auxiliar (Fig. 7)



para obtener características lineales, cuando el fuelle no está sujeto a esfuerzo de compresión; y además como medio de protección cuando por alguna razón, el fuelle soporta un esfuerzo superior al "Límite elástico" del material evitando así una deformación permanente.

Las ventajas del fuelle sobre el tubo Bourdón son:

- a.- Sensibilidad...Esto lo hace de un valor considerable en elementos de control. Se ha encontrado que un fuelle desarrolla una fuerza veinte o más veces mayor, que la de un tubo helicoidal para el mismo cambio de presión y operando dentro del mismo rango.
- b.- Se obtienen elementos de características lineales. (cuando el fuelle no está sujeto a esfuerzos de compresión) El resorte tiene un módulo elástico lineal y no lo afectan considerablemente, las contracciones y expansiones del fuelle.
- c.- Durabilidad.-Se ha determinado, experimentalmente, (B.Mco) que un fuelle puede soportar un millón o más de ciclos, sin llegarse a la ruptura.

Las limitaciones de los usos de fuelle, quedan sujetas a sus propiedades y características específicas; las cuales son:

- 1.-Flexibilidad... La flexibilidad de un fuelle metálico obedece a la Ley de Hooke, siempre que se le someta a esfuerzos de compresión. Las características físicas --

del fuelle afectan la flexibilidad y ésta varía:

Directamente con el número de pliegues y con el cuadrado del diámetro mayor, e inversamente con el módulo de elasticidad (del material) y el cubo del espesor de la pared.

El espesor es un factor muy importante, si se toma en cuenta que un fuelle ordinario tiene un espesor de --- aproximadamente 12 a 15 milésimas de centímetro, por tanto, cuando se aumente el espesor para resistir presiones mayores, se reducirá considerablemente la flexibilidad.

2.-DEFLEXION

Es el desplazamiento axial que puede soportar antes de presentar deformación permanente y varía directamente con el número de pliegues. Generalmente el recorrido es de 5 a 10% de la longitud del fuelle. Sin embargo, no puede aumentarse indefinidamente la longitud para tener un recorrido mayor, porque se tendría "efecto de histéresis" y necesitaría guías y esto introduciría un factor de error por fricción.

3.- RAZON LONGITUD-DIAMETRO.

Las dimensiones que han satisfecho experimentalmente están dentro del límite: $L/D < 1$. De otra manera, al aplicar presión se producen deformaciones laterales.

4.- AREA EFECTIVA

El área efectiva se debe tomar en cuenta para calcular la fuerza que puede desarrollar un fuelle sujeto a una presión determinada. Lógicamente el área efectiva será el área media.

$$A = \frac{(R + r)^2}{2} \pi \quad (7)$$

N I V E L

Los instrumentos utilizados en medición de nivel, pueden dividirse en cinco grupos generales:

- 1.- Indicadores visuales
- 2.- Actuados con flotador
- 3.- Utilizando contactos eléctricos
- 4.- Actuados por presión estática
- 5.- Actuados por presión diferencial.

En el caso particular "Generadores de Vapor" será -- por tanto "medición y control de nivel" en recipientes cerrados y a presión, siendo aplicable y de uso generalizado el 1o. y 5o. grupos.

La importancia de la medición y control de nivel en una caldera es indiscutible, si se toma en cuenta que la calidad de vapor que sale del domo, la efecta aquel y que desviaciones considerables del valor correcto, pueden ocasionar serios trastornos y pérdidas.

INDICADORES VISUALES.

En estos obtenemos indicación y lecturas, si hay escala, utilizando la propiedad de "vasos comunicantes", --- usando un tubo de cristal relativamente corto y apropiado para soportar las condiciones de operación en el domo y conectado a dos puntos equidistantes de la línea de nivel normal. Generalmente, se instala verticalmente y a alguna distancia para amortiguar las variaciones de las condiciones dentro del domo. Fig. 8

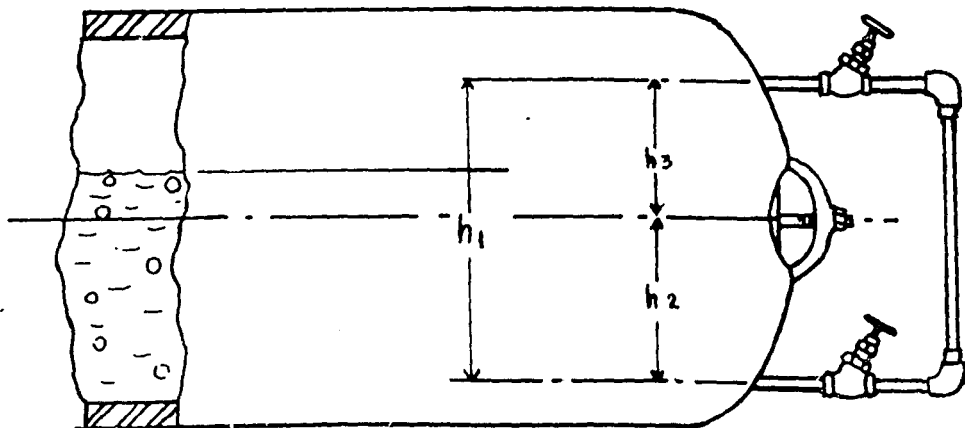


FIG. 8

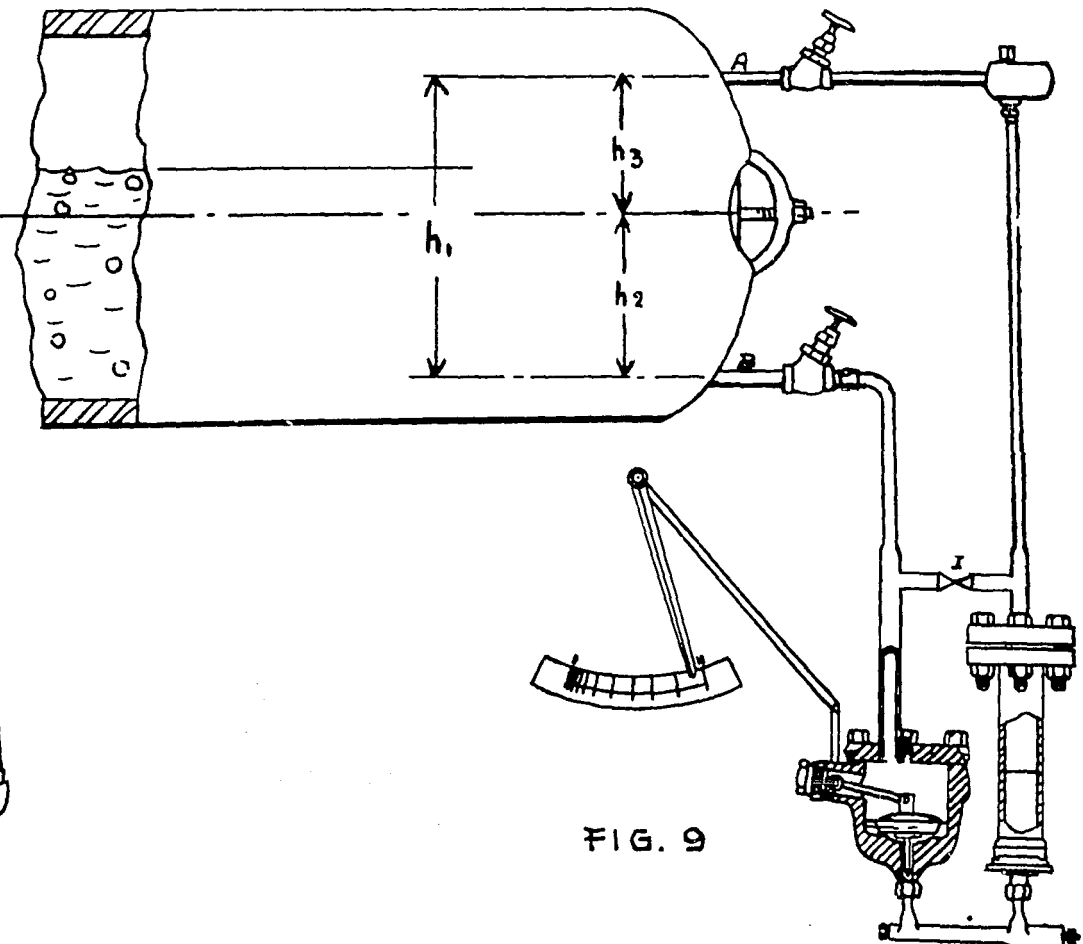
INDICADORES Y REGISTRADORES ACTUADOS POR PRE- SION DIFERENCIAL

Este presenta la ventaja de adaptarse con facilidad para servir como elemento de control.

Los elementos secundarios de estos instrumentos, son similares a los Medidores de flujo y el principio de operación el mismo, éstos se verán con mayor detalle al hablar de aquellos.

El indicador es actuado por un flotador en tubo en U con mercurio.

En la Fig. 9 se muestra esquemáticamente, ésta y la instalación de líneas



El efecto que se utiliza es la diferencia de presiones que actúan sobre el sello de mercurio, y aquellas son las establecidas entre un punto bajo el nivel del agua -- (B) y otro en la región del vapor dentro del domo (A). La línea de la conexión A lleva una cámara de condensación para mantener así, una columna constante. La inferior B -- tendrá una columna variable cuyo valor dependerá del nivel del agua en el domo.

La separación de las conexiones A y B (las establece el fabricante de la caldera) dependen del diámetro del domo. La diferencial de presión entre los puntos A y B será:

$$H = h_1 \delta_1 - (h_2 \delta_2 + h_3/v) \quad (8)$$

en donde:

H = Diferencial de presión entre A y B

h_1 = Distancia entre A y B

h_2 = Distancia entre B y el nivel del agua en el domo

h_3 = Distancia del nivel del agua y A

δ_1 = Peso específico del agua a temperatura ambiente

δ_2 = Peso específico del agua a la temperatura correspondiente a la presión de saturación

V = Volumen específico del vapor a las condiciones de operación

Como las diferenciales de presión, en este tipo de instrumentos está expresado en columna de H₂O y ésta referida a 20°C, la fórmula nos servirá de base para calcular diferenciales máxima, mínima e intermedias disponibles. Como es lógico para tener nuestros datos referidos a "Columna de agua a 20°C" bastará dividir nuestra fórmula por δ = peso específico del H₂O a 20°C quedando entonces:

$$H = \frac{h_1 \delta_1 - (h_2 \delta_2 + h_3 / V)}{\delta} \quad (9)$$

" M E D I C I O N D E F L U J O "

En una planta, en general, hay dos razones por las cuales se hace la medición de flúidos: Primera, controlar cantidades demandadas en los procesos y segunda, conocer cantidades y su distribución para un correcto manejo en el "CONTROL DE COSTOS".

La primera razón, justificaría perfectamente la medición de flúidos, pero práctica y fundamentalmente la mayoría de los medidores instalados en una planta obedecen a la segunda. Esto explicable perfectamente, si se toma en cuenta lo que inicialmente se dijo, "Difícilmente se puede hablar de ORGANIZACION INDUSTRIAL sin control de costos".

Nuevamente limitaremos nuestra expresión "medidor de flujo" aplicándola a medición de un flúido en un conductor cerrado. Los vertederos, o cualquier otro tipo de medidores en canales abiertos, rara vez se encuentran en una planta generadora de vapor. Así mismo haremos mención únicamente de aquellos cuya aplicación, sencillez y economía los hace de uso más general en el terreno industrial. Estos medidores son del tipo Inferencial. Podemos dividirlos, en general, utilizando:

- a.- Presión diferencial; 1) orificio 2) Tobera 3) Tubo Benturi 4) Tubo Pitot
- b.- Area; 1) Rotámetro 2) Area Variable
- c.- Bléctricos

De estos los más usados son: 1 y 2 del grupo "a" y 2 del grupo "b".

El principio de operación del grupo "a" está basado en tres leyes fundamentales:

1.-CONTINUIDAD DE FLUJO; $Q = AV = A'V'$ (10) (la cantidad de flúido a través de una línea es la misma en las diferentes secciones transversales.)

2.- Teorema de Bernoulli, conservación de la energía.

(" en un sistema cerrado la energía total permanece constante")

3.- Teorema de Torricelli; velocidad de un fluido a través de un orificio (es igual a la que adquiere un cuerpo cayendo en el vacío de una altura igual a la carga, en columna de agua, en el orificio)

Basados en esos principios y usando un gran número de datos experimentales, (cuya aplicación depende del fluido a medir) se verifican los cálculos y seleccionan los elementos primarios. Según autores (H.B. Fundamentals of instrumentation for the Industries P. 45) el orificio es el más usado y ofrece exactitud para la medición de los fluidos más comunes. Siendo necesario solamente seleccionar el tipo, (concéntrico, excéntrico, segmental) más indicado de acuerdo con los factores determinantes en instalación y condiciones de operación deseadas o existentes.

En términos generales podemos asegurar, que el orificio concéntrico se usa 100% en plantas generadoras de vapor.

Este mismo abarca un 70 a 80% de las instalaciones de orificios y los tres en conjunto, un 95% de los elementos primarios instalados en el campo. (B.M.Co. Lec. No. - 15,8-13-56) para medición de fluidos.

FLUJO A TRAVES DE UN ORIFICIO

En la Fig. 10, partiendo del teorema de Bernoulli, - suponiendo que no hay pérdidas por fricción tenemos:

$$Z_1 + P_1/\rho + V_1^2/2g = Z_2 + P_2/\rho + V_2^2/2g \quad (11)$$

substituyendo valores y simplificando tenemos:

$$2 hg = V_2^2 - V_1^2 \quad (12)$$

Ahora de la ley de continuidad de flujo:

$$Q = A_1 V_1 = A_2 V_2 \therefore V_1 = \frac{A_2 V_2}{A_1} \quad (13)$$

substituyendo en 12 y simplificando:

$$v_2 = \sqrt{2gh} \sqrt{\frac{1}{1 - \frac{A_2^2}{A_1^2}}} \quad (14)$$

Si hacemos $\beta = d/D$ (15)

Tendremos:

$$v_2 = \sqrt{2hg} \sqrt{\frac{1}{1 - \beta^4}} \quad (16)$$

La expresión $\sqrt{\frac{1}{1 - \beta^4}}$ se llama coeficiente de aproximación y se designa con la letra F.

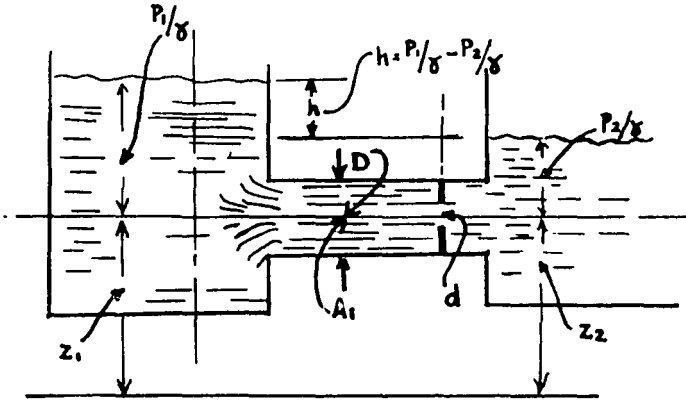


FIG. 10

En las ecuaciones anteriores:

- Z = Carga de altura (m)
- P_2/γ = Carga de Presión (m)
- $V/2g$ = Carga de Velocidad (m)
- A = Area Transversal (m²)
- D = Diámetro interno tubería (m)
- d = Diámetro del orificio (m)
- g = Aceleración de la gravedad (m/seg²)
- $h = \frac{P_1 - P_2}{\gamma}$ (17)

se representa por un coeficiente Cv y se denomina coeficiente de velocidad. Este coeficiente es posible determinarlo solo experimentalmente. Como Cc también se desconoce al hacer determinaciones experimentales, se incluyen ambos en uno sólo denominándose "COEFICIENTE DE DESCARGA".-C.

En el caso de una tobera, la reducción es gradual -- dentro del elemento mismo, y la contracción casi se elimina y Cc se aproxima a 1.0.

De lo anterior nuestra ecuación hidráulica es:

$$V_2 = C_F \sqrt{2gh} \quad (19)$$

"ECUACION HIDRAULICA EN TERMINOS DE PESO".

En la medición de líquido, por lo general, se desean tener lecturas en unidades de peso, con ese objeto la ecuación (16) debe modificarse.

$$\text{De (13) tenemos } V_2 = \frac{Q}{A_2} \quad (20)$$

$$\text{y } Q = \frac{W_1 V}{3600} \quad (21)$$

substituyendo en (2) tenemos:

$$V_2 = \frac{W_1 V}{3600 A_2} = \frac{4 W_1 V}{3600 \pi d^2} \quad (22)$$

en donde: W_1 = peso del gasto kg/H.

V = volumen específico del fluido m^3/Kg

Como toda presión diferencial, comercialmente se expresa en pulgadas o centímetros de agua a 68°F o 20°C (temperatura durante la calibración) tenemos:

$$\delta h = \gamma_a \frac{h_a}{100} \quad (23)$$

dond :

γ = peso específico del fluido cuyo gasto se mide
 γ_a = peso específico del H₂O a 20°C - 994 Kg/m³

ha = Altura de columna de H₂O a 20°C en Cm.

de donde:

$$h = \frac{994 \text{ ha}}{100 \delta} = \frac{9.94 \text{ ha}}{\delta} = 9.94 \text{ ha} \nu \quad (24)$$

en donde $\nu = \frac{1}{\delta}$

Substituyendo h y V₂ en la ecuación general tenemos:

$$\frac{4 W_1 \nu}{0.36 \pi d^2} = CF \sqrt{2g 9.94 \text{ ha} \nu} \quad (25)$$

$$W_1 = 3.947 \text{ CFd} \sqrt{\text{ha} \delta} \quad (26)$$

Esta es la ecuación básica empleada en cálculo de medidores. BCo Lec No. 10,7-16-56 y Ecuación 99 Pág. 49 -- del reporte de ASME, comité de investigación sobre medidores de flujo). Algunas veces el producto CF se representa como K coeficiente de flujo y entonces:

$$W_1 = 3.947 \text{ Kd}^2 \sqrt{\text{ha} \delta} \quad (27)$$

DIFERENTES ELEMENTOS PRIMARIOS

La elección del elemento primario mas conveniente depende de varios factores tales como; costo, pérdidas de presión en la línea, arreglo de instalación (tubería etc)

Todos los elementos primarios (como antes se dijo) -- originan pérdidas "presión no recuperable", las mismas -- que se expresan como porcentaje de la caída creada a través de la restricción. Estas pérdidas son mínimas en el caso de un Venturi y máximas cuando se usa placa de orificio. En generadores de vapor son de uso universal estos y como se verá más adelante, sólo en casos en los que no -- sea posible se usa Tobera. ("donde quiera y siempre que -- sea posible" SPRENKLE. BCo H. Eng. "piping arrangement -- for acceptable meter accuracy")

El tubo Venturi, tiene escasa aplicación, especialmente por su alto costo de fabricación. Se emplea algunas

veces en medición de aire para combustión o en casos en los que la pérdida de presión es crítica.

En muchos casos la medición del aire de combustión se hace utilizando la caída de presión en los pasos de la caldera; en éste caso la caldera funge como elemento primario.

Para líquidos viscosos, como petróleo, se usa con frecuencia para su medición un medidor de área variable, en el que se mantiene una diferencial constante para cualquier flujo, siendo el área de paso el factor que varía al cambiar el flujo.

Tipos de Orificio.

En la práctica se emplean tres tipos; Fig. 12 (a, b, c.)

a.- Concéntrico.- De uso general

b.- Excéntrico.- Se usa cuando físicamente la presión de baja no es posible hacerla a la distancia recomendada; con este orificio se desplaza la sección de la vena contracta.

c.- Segmental.- Cuando el anterior no alcanza a satisfacer las necesidades, y para las líneas que conducen gases sucios.

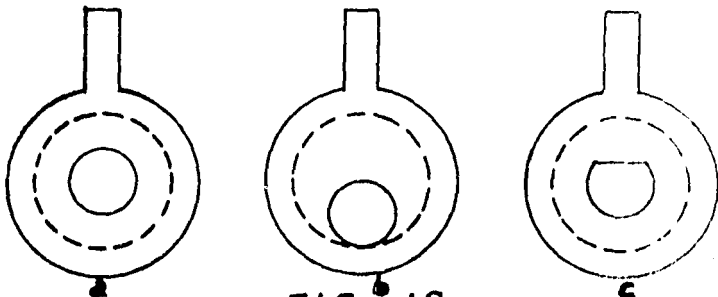


FIG. 12

Toberas.-

Cuando al usarse orificios, y por razones de capacidad la relación $\beta = d/D$ va aumentando, se pierde exactitud. Hasta 0.8 se tienen resultados aceptables. Cuando esta relación es mayor para una diferencial determinada, se emplea tobera, esta tiene mayor capacidad para la misma β

. Las principales ventajas y desventajas de uno y otro se dan a continuación.

	Ventajas	Desventajas
Orificio	1 Menos costoso	1 Alta pérdida de presión
	2 Fácil instalación	2 Acumulación de impurezas
	3 Mayor exactitud, al determinar el coeficiente de descarga	3 Baja capacidad
	4 Desgaste mínimo en operación	4 Condiciones de operación máximas: 70 Kg/Cm ² y 425°C
		5 Debe instalarse entre bridas
Tobera	1 60% mayor capacidad que un orificio	1 Mayor costo que un orificio
	2 Instalación con o sin bridas	2 Pérdida de presión igual que un orificio de la misma capacidad.
	3 Soporta temperatura y presiones mayores	3 Posible obstrucción con sólidos u óxidos en la tubería

La selección del tipo de elemento primario, considerando las características antes expuestas, dependerá de las condiciones de operación y derivándose de ellas la relación β . Este es un factor determinante.

En los cálculos iniciales para determinar el tipo y dimensiones del elemento primario, se toma como uno de los datos básicos, alguna "diferencial" (ha) Standard establecida por los fabricantes de equipo. Ahora si tomamos de la ecuación 15, $d = D$ y sustituimos esta expresión en la ecuación 27 tenemos: $W_1 = 3.947 KD^2 \sqrt{\beta^3 / ha \gamma}$ (28)

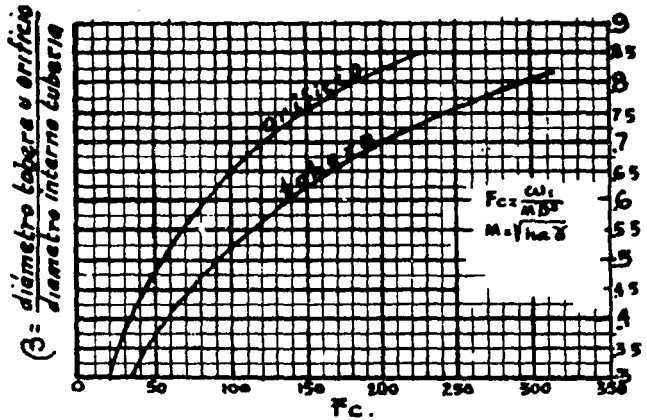
en esta ecuación solo desconocemos β . Si hacemos $3.947 K \beta^2 = Fc$ (29)

y $\sqrt{ha \delta} = M$ tendremos:

$$W_1 = Fc D^2 M \therefore Fc = \frac{W_1}{D^2 M}$$

Este Fc es llamado factor de capacidad. Si damos valores a β se encontrará la relación $\beta - Fc$ expresadas en las curvas de la Fig. 13

FIG 13



Como antes se indicó, este valor de β , dependiendo de Fc , nos dará el tipo de elemento primario. Si este satisface, con los valores ahora conocidos se hace la sustitución en la ecuación 27 y se recalcula con exactitud.

Cabe mencionar que en los cálculos de medidores comerciales se incluyen factores de corrección, derivados de las condiciones de operación y tipo de fluido, siendo:

- 1.- Dilatación térmica (de la placa)
- 2.- Variación de densidad a través del orificio
- 3.- Corrección por el Número de Reynolds. (Normalmente el fabricante toma un Rn . base y desviaciones de este afectarán la medición)
- 4.- Conexión fuera de la vena contracta

La inclusión de los factores anteriores, no modificarán por supuesto, el procedimiento general de cálculos.

ELEMENTOS SECUNDARIOS

La función del elemento secundario es convertir las diferenciales desarrolladas por el elemento primario, en desplazamiento de una plumilla registradora o indicadora, sobre la gráfica del instrumento. Este desplazamiento -- puede ser proporcional a la diferencial, o al flujo directamente. Trataremos aquí solamente, de aquellos elementos secundarios de aplicaciones prácticas en generadores de vapor, que son normalmente del tipo registrador.

En las mediciones de flujo de Vapor, Agua, Aire y Combustible, se tiene la necesidad no solo de conocer -- sus valores en un momento dado, sino la de tener un registro de los mismos para efectuar cálculos de costos, estudio de las características de demanda etc.,

IDEAS SOBRE DISEÑO DEL MEDIDOR

El diseño no es sino una modificación del Manómetro de tubo en "U" con un flotador que acciona el mecanismo-registrador. El líquido más empleado es Hg. cuyo alto paso específico disminuye las dimensiones físicas del instrumento.

CARACTERISTICAS

De acuerdo con la ecuación (27), el flujo varía con la raíz cuadrada de la diferencial a través del elemento primario, por tanto, el flotador se desplazará linealmente con la diferencial, consecuentemente las graduaciones en la escala serán progresivamente mayores a medida que el flujo aumenta; en tales condiciones es difícil apreciar lecturas correctamente dentro del primer 25% de la escala. Un medidor de tales características no es del todo apropiado para sistemas de control, ya que al trabajar en combinación con otro u otros cuyas características sean lineales, se tendrían desviaciones entre unos y otro dependiendo de la demanda.

De lo anterior se desprende la conveniencia de seleccionar, siempre que sea posible, un medidor de características lineales con el flujo.

Uno de los medidores de mayor uso en generadores de vapor es el de la Casa "Bailey Meter Co."; el cual posee la característica antes dicha, de manera que automáticamente extrae la raíz cuadrada a la diferencial que se le aplica. El flotador es del tipo "Campana de Ledoux" y su forma interior es parabólica Fig. 14

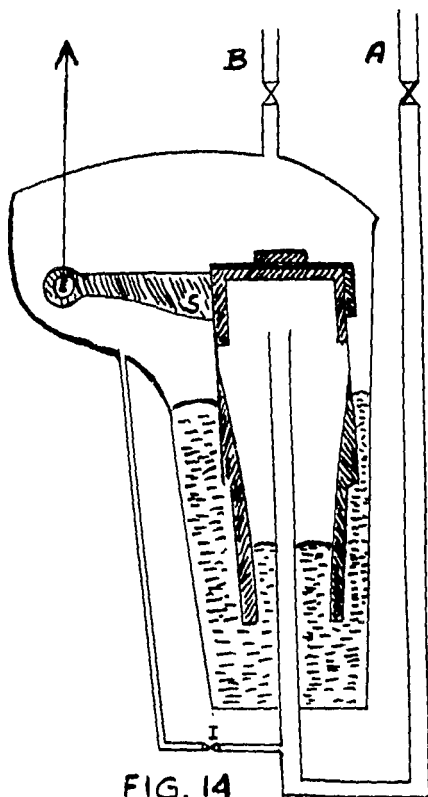


FIG. 14

El mecanismo consiste solo en un soporte "S" articulado al flotador y unido al eje "B" que gira al desplazarse la campana y transmite el movimiento a la plumilla registradora. La línea y válvula "I" sirven para igualar las presiones en ambas cámaras, interior y exterior a la campana, al poner fuera de servicio el medidor.

La fuerza desarrollada por la campana depende de su área activa y de la diferencial aplicada a la misma.

En casos en los que la diferencial máxima es muy pequeña, el área de la campana necesita ser grande, resultando poco práctico el uso de "Campana Ledoux". En ese caso se usa una campana recta y un desplazador parabólico Fig. 15 cuya operación es semejante al de campana. Este medidor se usa con diferencial hasta de 50 mm. H₂O

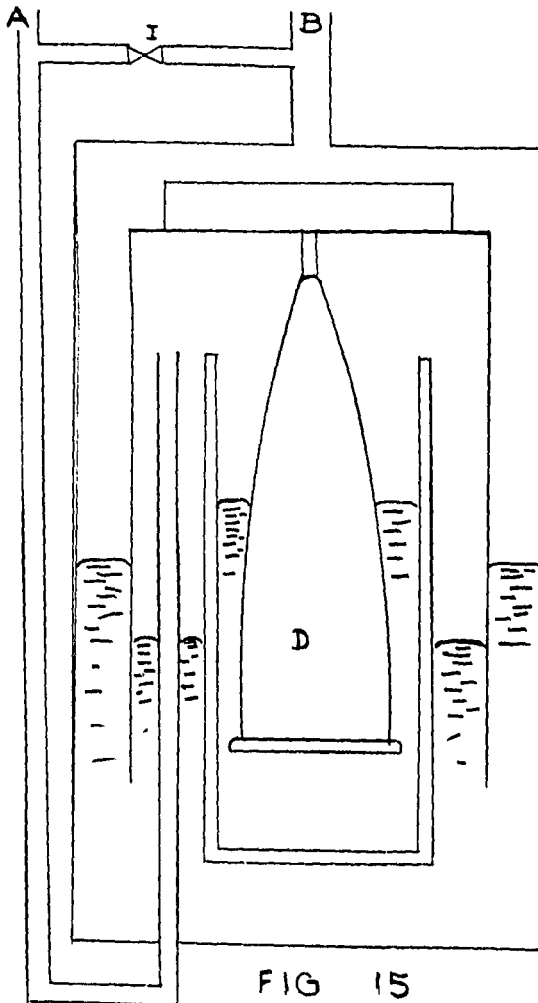


FIG 15

"LA MEDICION DE AIRE PARA LA COMBUSTION" presenta peculiaridades y al seleccionar el medidor se tomarán en cuenta las siguientes consideraciones:

- 1.-Generalmente las presiones a que se maneja el aire -- son del orden mm. de H₂O, por lo que no se dispone de grandes caídas en el ducto suficiente para emplear al guno de los medidores descritos anteriormente.
- 2.-El elemento primario indicado sería un tubo Venturi o un segmento, y esto se hace en casos especiales, de acuerdo con necesidades e instalaciones y hacen necesaria la inversión, normalmente elevada.
- 3.-La medición de aire se requiere como guía de la combustión por lo cual es siempre relativa al gasto de combustible o al flujo de vapor.

Lo anterior ha llevado a la solución de "hacer la medición de los gases de combustión y utilizando la caída de presión a través de los pasos de la caldera". Como el volumen de gases es aproximadamente proporcional a la cantidad de aire entrando, se tendrá una indicación perfectamente aceptable.

En la mayoría de los casos el medidor es, o bien -- transmisor o controlador de la relación Aire-Combustible esto conduce a que el medidor responda a pequeñas variaciones y desarrolle suficiente fuerza para actuar el --- transmisor o controlador.

Generalmente se emplean medidores del tipo de "Campanas con sello de aceite" o "Diafragma". Ambos con desplazador.

MEDIDORES DE AREA VARIABLE

En mediciones de petróleo (o líquidos viscosos) se emplea un medidor de área variable Este medidor de la -- BMCo. Fig. 16, va instalado directamente en la línea y -- mantiene una caída de presión constante en todo el ran -- go de operación.

El medidor consiste de un cuerpo con conexiones a la línea, dentro de éste un cilindro (c) y un pistón (p) que se desplaza descubriendo las lumbreras al aplicar la presión. La entrada del medidor comunica con el interior del cilindro. Al haber demanda se establece una diferencial entre A y B ésta se mantiene constante regulando la posición del pistón mediante la tensión del resorte R, que operará a tensión contra el líquido. El movimiento del pistón se aprovecha para actuar un transmisor Neumático. (o eléctrico).

Este medidor, tiene la ventaja de ser compacto. Como desventaja presenta la posibilidad de obstruirse cuando el fluido no se mantiene dentro de los límites de limpieza.

ELEMENTOS DE CONTROL

Como en un principio se dijo, podemos dividirlos en:

Relevadores, Elemento Auxiliar. Elemento Final.

El relevador llena varias funciones en un sistema, las principales son: modificación y combinación de señales, mejorar características y velocidad de respuestas.

En párrafos subsecuentes haré mención a piezas de equipo Bailey principalmente, ya que su uso en generadores de vapor representa un elevado porcentaje.

El relevador mostrado en la Fig. 17 lo forman esencialmente las cámaras A, B, C y D. separadas A y B, C y D por un fuelle metálico. En cada una de dichas cámaras hay conexiones para recibir señales o quedar a presión atmosférica. Un vástago atraviesa las cuatro cámaras, haciendo contacto en la parte inferior con el Balancín f que actúa las válvulas de admisión A, y escape B y en el extremo superior con un resorte, el cual puede aplicar una fuerza axial, en ambos sentidos. Los fuelles van unidos al vástago y sirven como medio de separación entre las cámaras. Los pequeños fuelles "S" proporcionan un sello entre fuelles y la presión atmosférica. En esas condiciones el vástago participa del movimiento de los

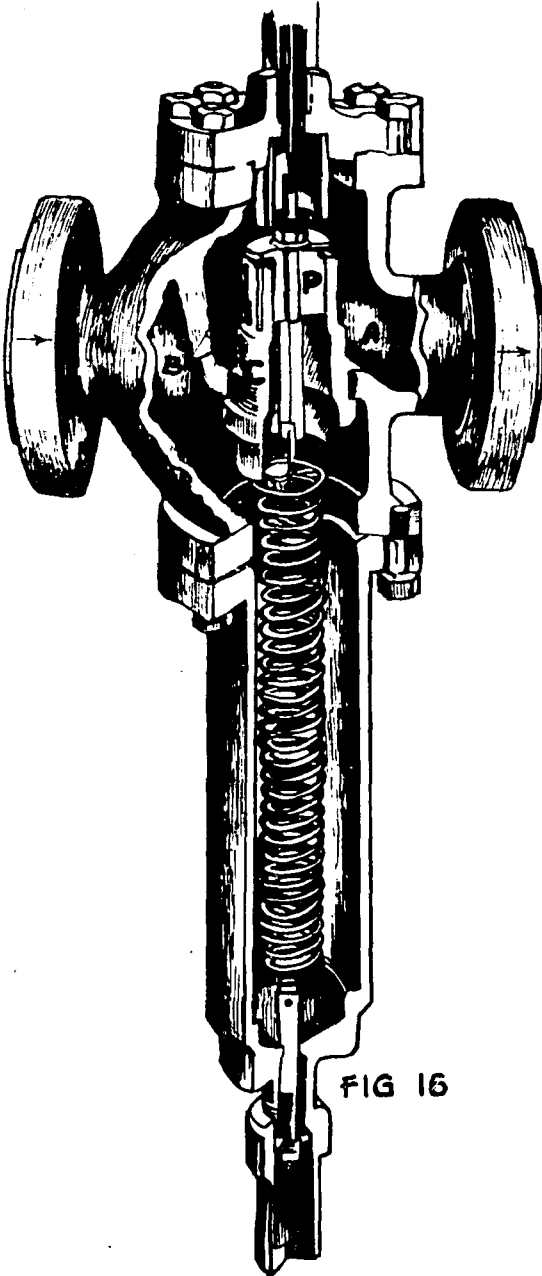


FIG 16

fuelles ocasionado por aplicación de presión a cualquiera de las cámaras.

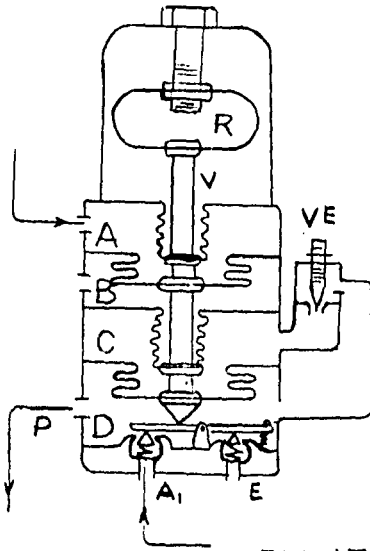


FIG 17

El relevador tiene una alimentación de aire comprimido a presión constante en A_1 y un escape constante a través de B, dependiendo su magnitud de la posición del vástago. Normalmente se emplea la presión de la cámara D como la señal que envía el relevador. Con esta pieza de equipo estamos en condiciones de: retransmitir, sumar, restar, totalizar presiones recibidas, dependiendo de las cámaras que se empleen. El relevador estará en equilibrio cuando

$$P_A + P_C = P_B + P_D + T. \quad (31)$$

En donde: P_A , P_B , P_C , P_D :: Presiones en las cámaras A, B, C, y D.

T :: Presión equivalente a la acción del resorte.

En tales condiciones el relevador mandará siempre,-

una señal proporcional y como tal recibe el nombre de -- "Elemento de Control Proporcional".

Si interconectamos las cámaras C y D a través de la válvula estranguladora V.E. tendremos un relevador con acción reposicionadora o estabilizadora. Supongamos que el relevador se le proporciona aire, a través de A_1 , a una presión de 2 Kg/cm^2 y que en A recibe una señal de un transmisor cuyo punto de control, equivalente en señal, sea 1 Kg/cm^2 y que el relevador tiene un rango de operación de 0.25 a 1.75 Kg/cm^2 . Si mediante ajuste del resorte R y teniendo una presión de 1 Kg/cm^2 en A, hacemos la presión en D de 1 Kg/cm^2 ; a través de la válvula V.E. obtendremos la misma presión en C. En tales condiciones podemos asegurar que el resorte está ejerciendo una tensión equivalente a 1 Kg/cm^2 . Ya que C y D están equilibradas y en A tenemos tal esfuerzo. Supongamos ahora que la variable sufre una desviación y A recibe una señal de 1.1 Kg/cm^2 ; roto el equilibrio el vástago se moverá hacia abajo aumentando así la presión en D (a través de A_1) y a través de V.E. se obtendrá el equilibrio entre D y C. Si la desviación de la variable persiste, así también tendremos el desequilibrio entre A y R y la presión en D y C aumentará paulatinamente. Si después de cierto tiempo dicha presión ha aumentado digamos a 1.5 Kg/cm^2 y en esas condiciones la variable recupera su punto de control y en el relevador recibimos 1 Kg/cm^2 tendremos en equilibrio nuestro sistema: A y R = 1 Kg/cm^2 y C y D = 1.5 . Esto es, nuestro elemento final de control estará recibiendo esa señal, y mantendrá esa nueva posición hasta no haber una nueva desviación en la variable. El relevador acondicionado para tener dicha acción recibe el nombre de Standatrol.

Vale la pena mencionar el relevador posicionador; este se usa en válvulas de control servo-mecanismo en los que se quiere tener una característica determinada o sea que el vástago de una válvula, o su equivalente, tenga desplazamientos proporcionales a los incrementos de la señal recibida.

La Fig. 18 muestra el posicionador Bailey, en ésta la señal se recibe en el fuelle F cuyas expansiones o --

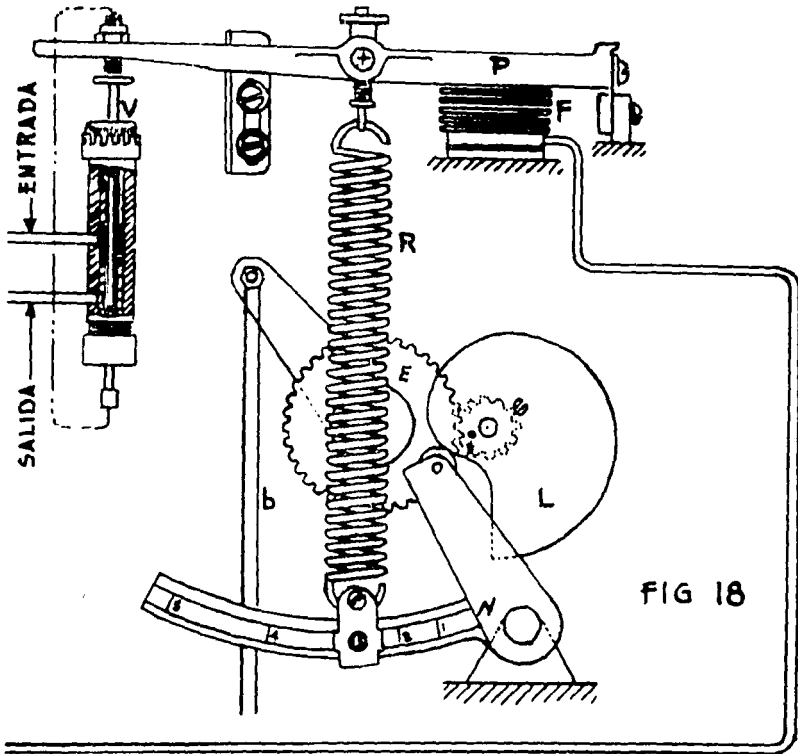


FIG 18

contracciones se traducen en movimientos de la palanca P y del vástago V de la válvula piloto, variando la señal que va de ésta al diafragma de la válvula de control. El movimiento del vástago de la válvula de control se transmite por medio del brazo b y los engranes E a la leva L, la cual a través de la palanca N varía la tensión del resorte R cuyos esfuerzos serán opuestas a los del fuelle. Se verá que la posición de la válvula de control dependerá del punto donde se equilibren los esfuerzos del fuelle y resorte. Cambiando la tensión de éste se podrá cambiar el rango de operación de la válvula. Observando el mecanismo se puede ver que si se cambia el perfil de la leva, se cambiará la curva característica "Presión de Control" "Abertura" dentro del rango establecido con el resorte.

Esto lo hace de una utilidad enorme cuando se quiere tener paralelismo en varios elementos finales.

ELEMENTOS AUXILIARES.- El elemento auxiliar más común y útil es el llamado "Válvula Selector". Su finalidad es proporcionar un medio de: 1.- Interceptar la señal entre transmisores relevadores etc. y el elemento final, y 2.- poder mandar desde ella una señal a voluntad; o sea operar el elemento final automática o manualmente.

ELEMENTO FINAL.- El elemento final de control es el que opera directamente sobre el flúido de controlar. Indiscutiblemente será una válvula en el caso de tuberías o compuertas en caso de ductos o descargas de ventiladores, - etc., cuya posición dependerá de la señal recibida a través de un servo-mecanismo.

C A P I T U L O I I I

" I D E A S S O B R E C O N T R O L " "

Voluntariamente he mantenido el presente trabajo alejado del terreno teórico de la instrumentación; el fin ha sido como inicialmente lo indiqué, dar alguna idea práctica útil, al alumno que está por salir de la facultad y que encontrará siempre, en la industria problemas relacionados con instrumentos. Desafortunadamente la amplitud del tema incluye la imposibilidad de tratar con mayores detalles muchos aspectos. Sin embargo sobrepasará su cometido si logra despertar cierto interés en el estudiante, quien afortunadamente cuenta en la actualidad con textos y "literatura" general sobre el tema.

Podemos decir que la mayoría de los sistemas de control en generadores de vapor, o un proceso cualquiera, son del tipo "circuito cerrado" esto es, el elemento final de control está accionando por una señal desarrollada a través de los diferentes componentes del sistema, y originado por una variación del medio o condición que se controla. Encontraremos, por tanto, en todo sistema cuatro componentes fundamentales:

- a.- Proceso
- b.-Medios de medición
- c.-Medios de control
- d.- Elemento final de control.

Hay expresiones que tienen un significado específico dentro de la terminología utilizada en control. Un entendimiento claro de las mismas, ayudará a normar nuestro criterio. Siguiendo la pauta que nos hemos trazado, en vez de hablar de la teoría de los diferentes tipos de control, trataremos de aclarar el significado de las expresiones que tienen íntima relación con los mismos. Estas son: 1.-Punto deseado de control 2.-Banda proporcional 3.-Reajuste 4.-Acción anticipada.

1.- "Punto deseado de control".-Es el valor preasignado a la variable controlada y mantener ese valor, tan constante como sea posible, es la función de todo el sistema de control.

2.- "Banda proporcional":-La expresión tiene ciertas variaciones, algunas veces referidas a una pieza de equipo, otras a un conjunto, sin embargo el significado básico es relación entre una señal recibida y la modifica --

ción que de ésta se obtiene. Así en una válvula piloto es la relación entre el movimiento impartido al vástago por un elemento de medición y el cambio de señal, emitida, ocasionada por ese movimiento. En un relevador Neumático es la relación entre el cambio de una señal recibida y la modificación de la señal emitida, expresada como porcentaje.

$$BP = \frac{\text{Cambio señal que llega}}{\text{Cambio señal que sale}} \times 100 \quad (32)$$

Otras, se expresan como el porcentaje de desviación del punto deseado de control, necesario para que el elemento final de control opere en todo su rango; de cualquier manera sabemos que la posición del elemento final dependerá de la señal que reciba el medidor que ha registrado la desviación. Finalmente recuérdese al hacerse ajustes de banda proporcional, mientras más angosta es la banda mayores serán las modificaciones de la señal. Tomando como ejemplo un relevador neumático, tendríamos una banda proporcional, de 5% cuando un cambio de 0.025 Kgs/cm² de la señal recibida es capaz de producir un cambio de 0.5-Kgs/cm².

$$5 = \frac{0.025 \times 100}{0.5}$$

Mientras que el mismo relevador con una banda proporcional de 75% necesitará una variación de 0.375 para obtener el mismo cambio $75 = \frac{0.375 \times 100}{0.5}$

El control que se logra, en una variable, mediante ajustes de banda proporcional se le llama "control proporcional". Se tiene siempre desviación del punto deseado; al haber variaciones en la velocidad de demanda en el proceso.

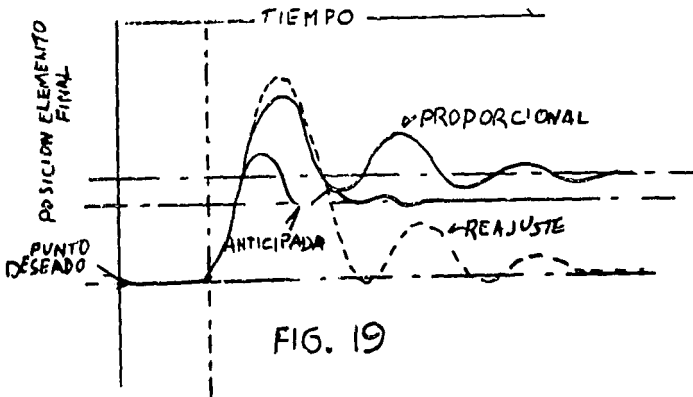
3..-"Reajuste":- Es el impulso que debe recibir el elemento final para corregir la desviación del punto deseado, ocasionada por cambios de velocidad de demanda. A este reajuste se le llama también Acción Integral.

4... "Acción Anticipada"...Llamada también "Acción Deriva-

tiva". Su primera acepción hace pensar en una señal anticipación a una desviación prevista, sin embargo, es más bien una anticipación a la magnitud de la desviación --- amortiguando las oscilaciones que accionaría el reajuste.

En la Fig. 19 se muestran las características que se obtendrán por la acción de cada uno de los tipos de control, representados por las expresiones antes expuestas, si se tabula "tiempo de estabilización-posición del elemento final" (u oscilaciones de la variable) al haber un incremento brusco de demanda en el proceso.

Combinando los tipos de control citados, según el caso se obtendrán características promedio, con influencia mayor o menor de cada una, según la preponderancia que se les de.



C A P I T U L O I V

" SISTEMAS, INTERPRETACION DE LECTURAS Y
PROBLEMAS DE CONTROL "

SISTEMAS DE CONTROL EN EL GENERADOR DE VAPOR.

En un generador de vapor que opera automáticamente, todos los instrumentos deben coordinar sus funciones para suministrar combustible y aire en proporciones correctas y suficientes para mantener una presión constante en el domo a diferentes velocidades de evaporación; así mismo, una presión (generalmente negativa) constante en el horno. Esta sería la función del CONTROL DE COMBUSTION. Indiscutiblemente debe abastecerse agua suficiente a la caldera para mantener un nivel constante en el domo, esto es, un correcto CONTROL DE AGUA DE ALIMENTACION. En generadores de regular capacidad, especialmente en "Plantas de Fuerza" se requiere, además, que el vapor se mantenga a una temperatura constante. Esa función quedará a expensas del CONTROL DE TEMPERATURA.

Para ganar en objetividad y sencillez, he seleccionado para "la descripción de estos sistemas", el conjunto propuesto por la "Bailey Meter Co." a la "General Electric International" para "La Mariposa" Planta de fuerza en Caracas, de la "Corporación Venezolana de Fomento" y puesto en servicio, como consta en el informe rendido a la B y W de México con fecha 18 de Septiembre de 1957. Siendo el equipo de operación Neumática y con un rango de señales de 0.2309 a 1.8981 Kg/cm² (3 a 27 Lbs/pul²).

El conjunto esta representado en el diagrama No. D5023176 F. Por conveniencia las separaremos en Sistemas Individuales.

CONTROL DE AGUA DE ALIMENTACION.

Su función es variar el flujo de agua a la caldera, en cantidades proporcionales a las demandas de vapor y a una velocidad tal que mantenga el nivel normal de operación.

El sistema, esquema A, es llamado de tres elementos o sea el flujo de agua estará controlado por las señales recibidas de los transmisores F-1, F-2 y F-3.

El relevador F-4a recibe las señales de los transmisores F-1, y F-2 y, en igualdad de flujos (vapor y agua)

debe mandar una señal de relación constante al Standatrol F-4b, por conveniencia dicha señal debe ser aproximadamente igual a la que mande el transmisor F-3 cuando el nivel esté correcto. En esas condiciones al haber una variación en la demanda, el primer impulso que recibirá el sistema, será el del transmisor de flujo de vapor, al igualarse la señal del flujo de agua, si hubo variación en el nivel, el transmisor F-3 mandará la señal correcta, y ésta, modificada por el Standatrol, mantendrá la apertura de la válvula F-6 de manera que satisfaga las nuevas condiciones.

El interruptor P recibe señal del transmisor F-2, y abre o cierra un circuito eléctrico que energizará o desenergizará la válvula de solenoide P₃, abriendo o cerrando las válvulas P₂. El objeto de éstas es poder recircular cierta cantidad de agua, a través de la bomba de agua de alimentación cuando se trabaja a baja carga, evitando así el que la bomba se dañe por sobrecalentamiento.

Control de Combustión.

El sistema del esquema B parece un tanto complejo y sería largo enumerar las funciones de cada pieza de equipo, por tanto hablaremos de las que tienen mayor importancia; estas son los relevadores "C-6a, C-6c, C-6k y C-6d" los demás si carecer de importancia, nos dan solamente señales de reajuste para dar mayor estabilidad al sistema y flexibilidad en la respuesta de los elementos finales de control. (Servo-mecanismo y válvulas del C8 - al C13).

El relevador C-6a recibe señal del transmisor (C-1) de "Presión de vapor" cuyas variaciones dependerán de los cambios en la demanda de vapor o alguna variación, anómala, del combustible. Este C-6a, se llama con frecuencia "Maestro de control" por ser el que mantiene el "punto de control". El relevador C-6k recibe señal del transmisor C2 de flujo de gas y del sistema "C-3a, C-3b, C-6e" flujo de petróleo, mandando una señal de "combustible total" al Standatrol C-6c. Este recibe además la señal del transmisor C-4 flujo de aire, a través del reajustador C-6b. Por ajuste y calibración, el transmisor del "flujo de aire" tendrá una característica igual al medidor del combustible principal". En esas condiciones, cuando se tengan "aire y combustible", en las proporciones correctas, las señales que reciba el Standatrol C-6c serán iguales, y tratará de mantener esta relación. En operación automática, normal, al haber un pequeño cambio en la demanda de vapor, se establecerá un desequilibrio entre ésta y la velocidad de generación, consecuentemente la presión se desviará del punto de operación, mismo que tratará de corregir el Standatrol C-6a mandando una señal correctiva, paralelamente a los servomecanismos C8-a, a través de la selectora C-7a, relevador C-6M y la selectora C-7b, y a las válvulas de control de combustible C-10a o C-11 o ambas, a través de la selectora C-7a, el relevador C-6d y la selectora C-7c o d, o ambas.

Si la señal que mando el maestro (C-6a) estableció alguna diferencia en la relación aire-combustible, el Standatrol C-6c mandará una señal de reajuste al combustible, a través de C-6d y al aire a través de C-6f y --

C-6M.

Formando un sistema aparte, pero incluido en el de combustión, tenemos el control de presión en el Horno. - El medidor-controlador C-5 recibe directamente, sobre el diafragma, las variaciones de presión en el horno y mandará una señal constante, mientras la presión se mantenga correcta; al haber una desviación, el Standatrol mandará la señal correctiva a través de las selectoras ---- C-7e y C-7f al servomecanismo de control de velocidad -- del ventilador y al de apertura de la compuerta.

"CONTROL DE TEMPERATURA"

En este caso el atemperador está instalado después del sobrecalentador primario y antes del secundario. --- Siendo también un sistema de tres elementos que recibe -- señales de los transmisores C-4 flujo de aire, T-1 tempe ratura de vapor a la salida del atemperador T-2 Tempera tura final. El relevador T-3c enviará una señal, a la -- válvula de control T-5, a través de la selectora T-4, -- que será la resultante de la combinación; la anticipada, del medidor C-4 de flujo de aire; auxiliada por la del - transmisor T-1 y reajustada por la del Standatrol T-3a - cuya magnitud dependerá de las desviaciones que perciba el transmisor T-2.

Las gráficas 1 a 5 muestran 24 horas de operación - automática del sistema descrito y controlando la unidad número 2 de dicha planta. En la número 1 tenemos el re - gistro de flujo de vapor, superior y agua inferior. En - la número 2 nivel, inferior Presión de vapor superior. - En la número 3 la relación combustible-aire. En la número 4 exceso de aire y la número 5 temperaturas de vapor: Inferior, salida del atemperador; Intermedia, después -- del sobrecalentador primario y superior temperatura fi - nal.

"PROBLEMAS"

En el sistema de "agua de alimentación se tuvieron dos problemas principales de ajuste; primero, el que va anexo a toda caldera operando a velocidades de evaporación considerables. Con la caldera en operación hay una producción constante de burbujas y estas distribuidas en el seno del agua. Al ocurrir una variación súbita, en demanda de vapor, la presión en el domo varía (por el natural retardo del sistema de combustión para proporcionar el combustible correcto para satisfacer las nuevas condiciones) con el cambio de presión variará también, momentáneamente, "el punto de ebullición" y por tanto "la velocidad de producción de las burbujas"; además, las ya existentes, estarán sujetas a las leyes de los gases (vapores) y su volumen sufrirá cambios cuando la presión -- los tenga. Eso trae como consecuencia que el transmisor de nivel dará una indicación falsa momentánea, de la cantidad de agua existente en el domo. Ese efecto podemos verlo con claridad en las gráficas 1 y 2. Tomemos por ejemplo la variación de flujo de vapor ocurrida a las 3 (AM), en la gráfica 1 vemos que el flujo de vapor disminuyó en aproximadamente 16000 Kg/H; ahora en la gráfica 2 vemos que la presión aumenta aproximadamente 1 Kg/cm² y el nivel bajó 1.5 cm. Volviendo a la gráfica 1 vemos que el flujo de agua tuvo una disminución inicial de apenas 8 o 10,000 Kg/Hr para después, a medida que la presión se normalizó, disminuir aproximadamente en la misma magnitud que el vapor. El efecto contrario se registra al tener la variación opuesta a las 3.45. Cuando se desea disminuir al mínimo posible, este efecto, en unidas cuya razón: agua almacenada/evaporación por hora es pequeña, basta añadir un relevador al sistema de combustión para introducir la señal del medidor de flujo del vapor; anticipándose así a la señal que deberá mandar el "maestro de presión" y mantener ésta tan constante como sea posible.

En el sistema descrito como puede verse en el registro del nivel, gráfica No. 2, en 24 horas de operación y con variaciones considerables de carga, la máxima desviación de nivel del valor ideal, fue aproximadamente 2.7 cm (3.40 A.M.) teniendo además influencia del siguiente-

agravante. Este se deriva de las desviaciones que sufren las mediciones de flujo de vapor y agua a diferentes cargas, por el hecho de que el agua que se manda al atemperador no pasa a través del medidor. Esto podemos también comprobarlo, observando los datos registrados. Así vemos en la gráfica 1 a las 11 A.M. tienen una demanda de vapor de 164,000 Kgs/Hr. y se tiene 148,000 Kg/Hr de agua. Si ahora tenemos las mismas variables a la 1.20 P.M. tenemos: Flujo de vapor 86000 Kgs/Hr. y 80000 Kgs/Hr. de agua. Comprobaremos que realmente hubo disminución de agua, yendo al atemperador y por lo tanto "la diferencia Agua-Vapor" es menor al disminuir la carga; observando el efecto registrado en la gráfica No.5. A las 11 A.M. se tenían temperaturas aproximadas: Saliendo del sobrecalentador primario 440°C, saliendo del atemperador 376°C y final 478°C. A la 1.20 P.M. saliendo del sobrecalentador primario 420°C, saliendo del atemperador 394°C y final 482°C, o sea al disminuir la temperatura a la salida del sobrecalentador primario era necesario disminuir el agua al atemperador, y consecuentemente, aumentar la temperatura del vapor a su salida para poder mantener la temperatura final con pequeñas desviaciones.

En el control de combustión, el problema principal estriba en encontrar las características que deben seguir el medidor de flujo de aire y los elementos finales de control, para proporcionar "combustible y aire", en cantidades y proporción correctas a las diferentes velocidades de evaporación.

En la lámina No. 1 se muestra la característica encontrada, mediante pruebas de combustión para el medidor de "flujo de aire". En esas condiciones, este medidor sigue al de "Flujo de gas" en operación normal. Como puede verse en la gráfica No. 3 el paralelismo sigue, sino de una manera perfecta, si aceptable y la proporción de Aire-Combustible mantenido en estas condiciones, lo muestra la gráfica No. 4 en donde puede apreciarse el exceso de aire mantenido durante 24 horas de operación tomando en cuenta además, que son tres turnos de operadores en ese lapso los que deben vigilar y tener cuidado del equipo.

Para lograr mayor suavidad en respuesta, y que los impulsos de reajuste mandados a los elementos finales de control sean aproximadamente iguales, se buscará obtener paralelismo en las características de los elementos finales. En las curvas de la lámina No. 2 se muestran las características iniciales encontradas en las pruebas de combustión de servo-mecanismos de Tiro Forzado, Tiro Inducido y Válvula de Control de Gas; y en la No. 3, los que se lograron para Tiro Forzado y Válvula de Control de Gas.

En las curvas de la lámina 1 se tienen como coordenadas gramos tomados como parámetro, que nos representan una caída de presión determinada, y lecturas en la escala del medidor en porcentaje. en la 2 y 3 demandas de vapor y presiones de control.

Siguiendo tal paralelismo las correcciones que el sistema deba hacer a las señales que envíe el Standatrol C-2a, al Tiro Forzado y combustibles, serán mínimas.

En el control de temperatura, en este caso, no presenta más problemas que los de ajustes; reduciéndose a coordinar la velocidad y magnitud de los impulsos.

Cabe mencionar aquí, que en algunos casos de unidades con capacidad considerable, a baja carga, donde la temperatura del vapor saliendo del último sobrecalentador es inferior a la deseada, se recurre a medios que sin disminuir considerablemente la eficiencia de la caldera, ayuden a mantener la temperatura entre límites aceptables. Los principales son:

- a.- Aumentar el exceso de aire.
- b.- Cambiar la zona de combustión dentro del horno. (caso típico en calderas de combustión en las que puede cambiarse la posición del quemador).
- c.- Introduciendo una película de gases "inertes", mediante recirculación de gases de combustión en la zona de evaporación (caso en calderas B y W).

CAPITULO V

"CONCLUSIONES."

- 1.- El Ingeniero Químico debe tener conocimientos - (el estudiante de Ingeniero Químico debe adquirirlos) sobre instrumentación, para llenar mejor su cometido dentro del campo industrial.
- 2.- La instrumentación es necesaria, si no indispensable, en toda planta en donde se tenga un concepto claro de "Economía y Organización Industrial".
- 3.- El aumentar: Eficiencia, Uniformidad y Seguridad de operación, el costo disminuye. Factores-estos, que justifican, traduciendo en economía, la inversión hecha en la automatización de una planta.
- 4.- El Ingeniero Químico, en una planta, es el más indicado para entender y resolver los problemas de instrumentación, dado que él conoce los procesos cuyas variables se controlan.

CAPITULO VI

BIBLIOGRAFIA

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

- 1.- Cadet Engineering Course 1956.- Bailey Meter Company. Cadet and Technician Lectures.

L I B R O S

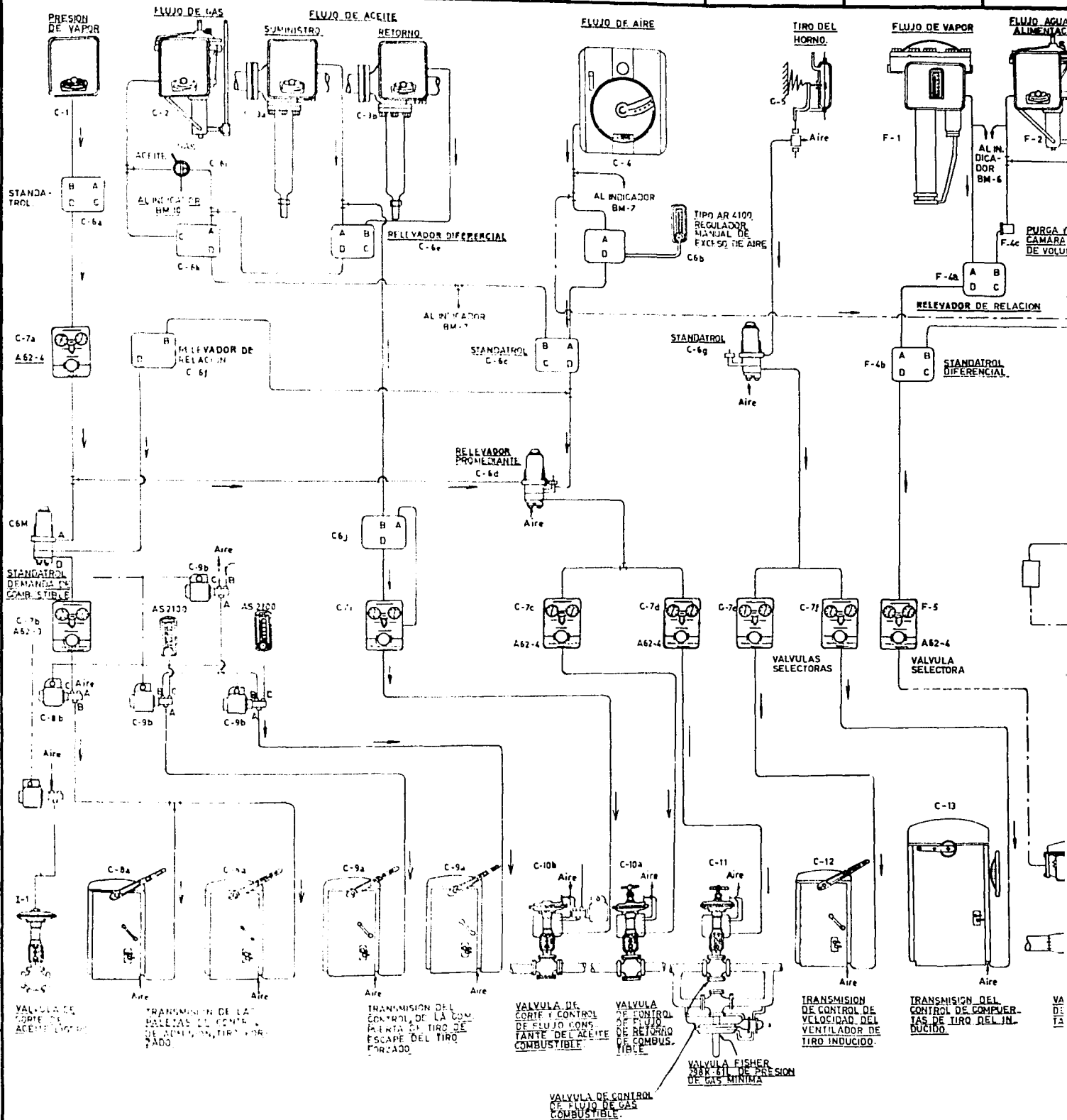
- 2.- Industrial Instruments for measurement and Control. Thomas J. Rbodes
- 3.- Temperature, its Measurement and Control in Science- and Industry,- American Institute of Physics,
- 4.- Industrial Control Instruments.- B Chester Dela - - hooke.
- 5.- Elements of Chemical Engineering.- Bodger and McCabe

B O L E T I N E S

- 6.- Combustion Control (Reprinted from a series of ar - ticles published in "Power Plant Engineering").- - Bailey Meter Company.
- 7.- Limiting Factors in Reducing Excess Air in Boiler - Furnaces.- E.G. Bailey. (B.M.Co.)
- 8.- Combustion Control Especifications.- Richard H. Mo - rris.
- 9.- Trends in Combustion and Steam Temperature Control. P. S. Dikey (B. M. Co.)
- 10.- Piping Arrangements for Acceptable Flow-Meter Accu - racy.- R. S. Sprenkle (B. M. Co.)
- 11.- Modern Feed-Water Control.- G.H. Barnard (B.M.Co.)
- 12.- Principios Básicos de Control.- Honeywell-Brown (Bo - letín No. M95-1)
- 13.- Fundamentals of instrumentation for the Industries. Honeywell-Brown.

INSTRUCTIVOS DE EQUIPO BAILEY

- 14.- Bulletin 233 A.
- 15.- Instruction Section: E-51-1, UN170, P.99-1, P.9911, P 99-12, P 99-21 P.99-31



PRESION DE VAPOR

FLUJO DE GAS

FLUJO DE ACEITE

FLUJO DE AIRE

TIRO DEL HORNO

FLUJO DE VAPOR

FLUJO AGUA ALIMENTAC

STANDATROL

ACEITE

AL INDICADOR BM-6

RELEVADOR DIFERENCIAL C-6e

AL INDICADOR BM-7

TIPO AR 4100, REGULADOR MANUAL DE EXCF-57 DE AIRE C6b

F-1

F-2

AL INDICADOR BM-6

PURGA Y CAMARA DE VOLU

F-4c

RELEVADOR DE RELACION

AL INDICADOR BM-7

STANDATROL C-6c

STANDATROL C-6g

F-4b

STANDATROL DIFERENCIAL

C-7a A62-4

RELEVADOR DE RELACION C-6f

RELEVADOR PROMEDIANTE C-6d

C6M

STANDATROL DEMANDA Y COMP. STABLE

C-7b A62-3

AS 2100

AS 2100

C6j

C-7c

C-7d A62-4

C-7e A62-4

C-7f VALVULAS SELECTORAS

F-5 VALVULA SELECTORA A62-4

C-8b

C-9b

C-9b

Aire

Aire

Aire

I-1

C-8a

C-8a

C-9a

C-9a

C-10b

C-10a

C-11

C-12

C-13

VALVULA DE CORTE Y CONTROL DE ACCION TIRO INDUCIDO

TRANSMISION DE LA PALETA DEL CONTROL DE ACCION TIRO INDUCIDO

TRANSMISION DEL CONTROL DE LA COMBUSTION Y TIRO DE ESCAPE DEL TIRO INDUCIDO

VALVULA DE CORTE Y CONTROL DE FLUJO COMBUSTIBLE

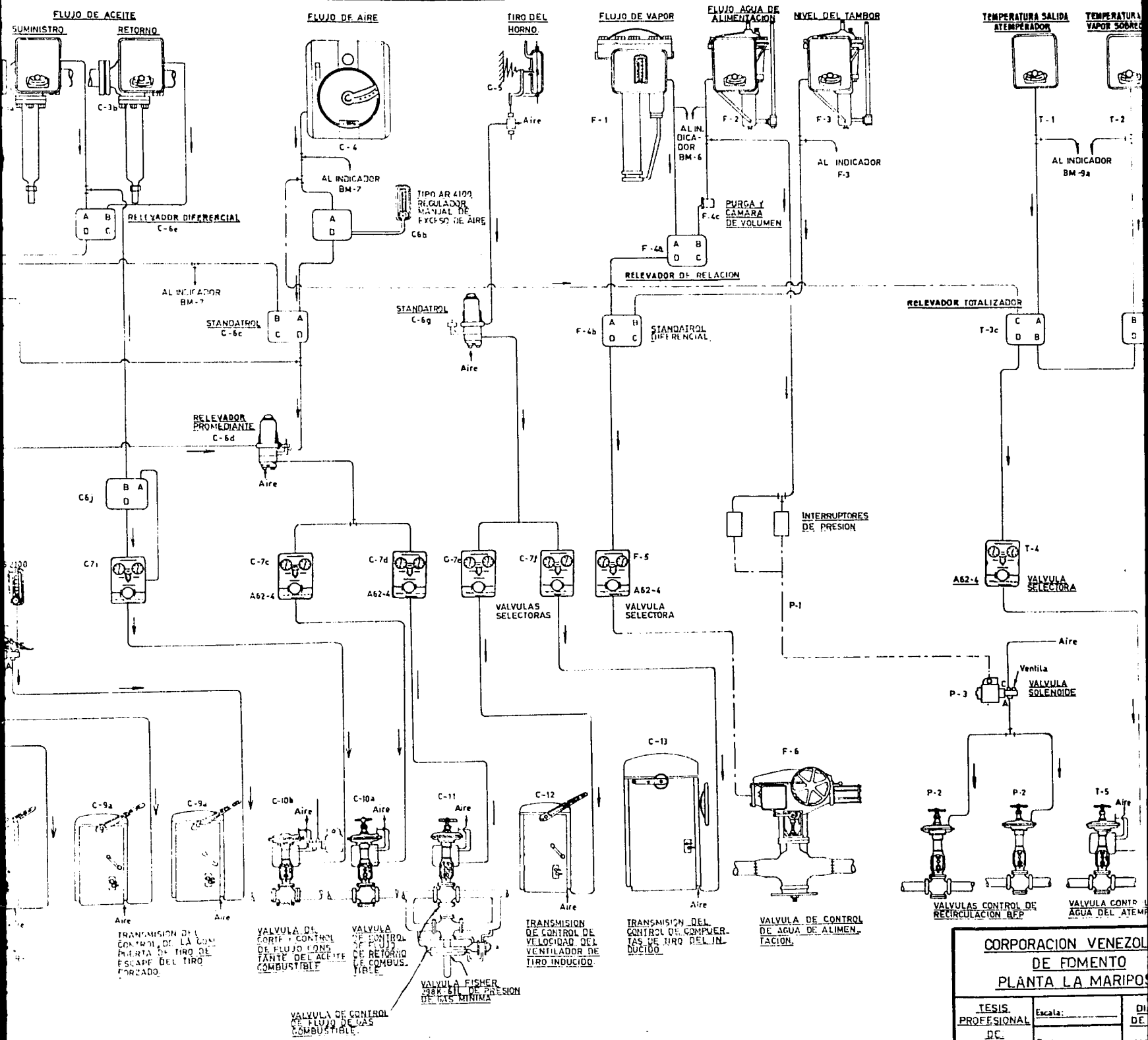
VALVULA DE CONTROL DE FLUJO DE RETORNO DE COMBUSTIBLE

TRANSMISION DE CONTROL DE VELOCIDAD DEL VENTILADOR DE TIRO INDUCIDO

TRANSMISION DEL CONTROL DE COMPUERTAS DE TIRO DEL INDUCIDO

VALVULA DE CONTROL DE FLUJO DE GAS COMBUSTIBLE

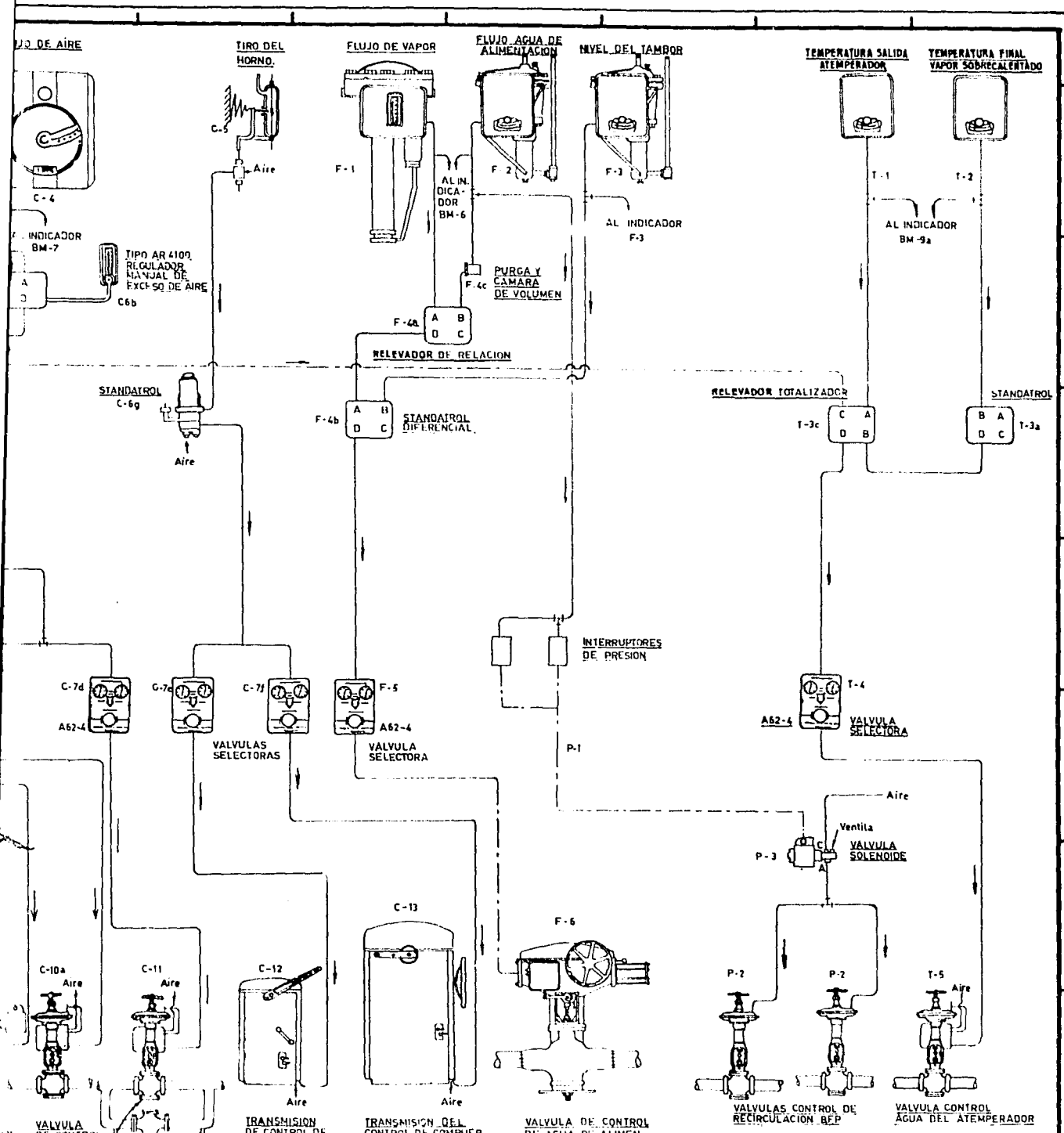
VALVULA FISHER 38X-64 DE PRESION DE GAS MINIMA



**CORPORACION VENEZOL
 DE FOMENTO
 PLANTA LA MARIPOS**

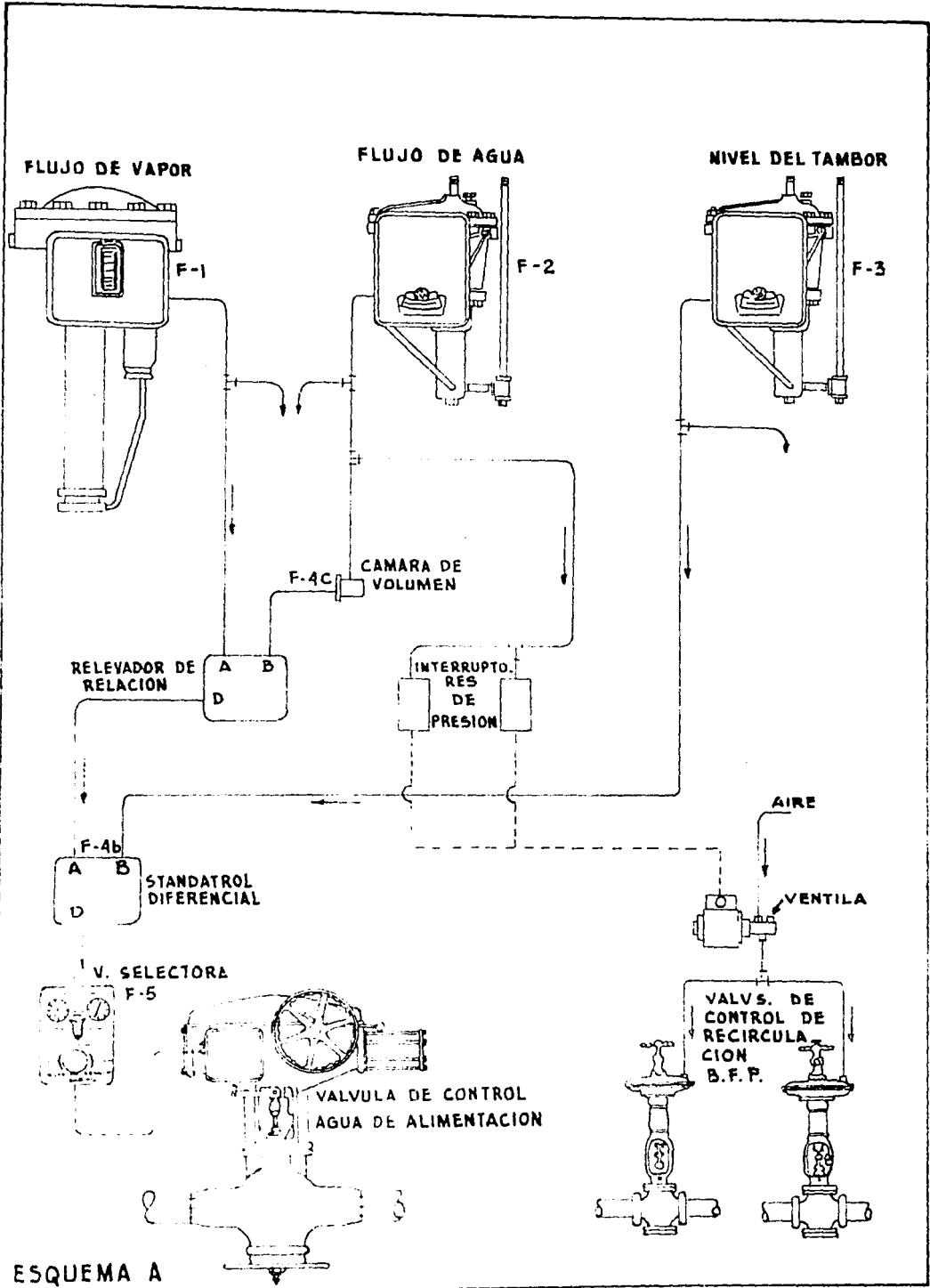
TESIS PROFESIONAL D.C.	Escala: _____	DI DE
	Fecha: _____	COM

Porfugo Navarro B

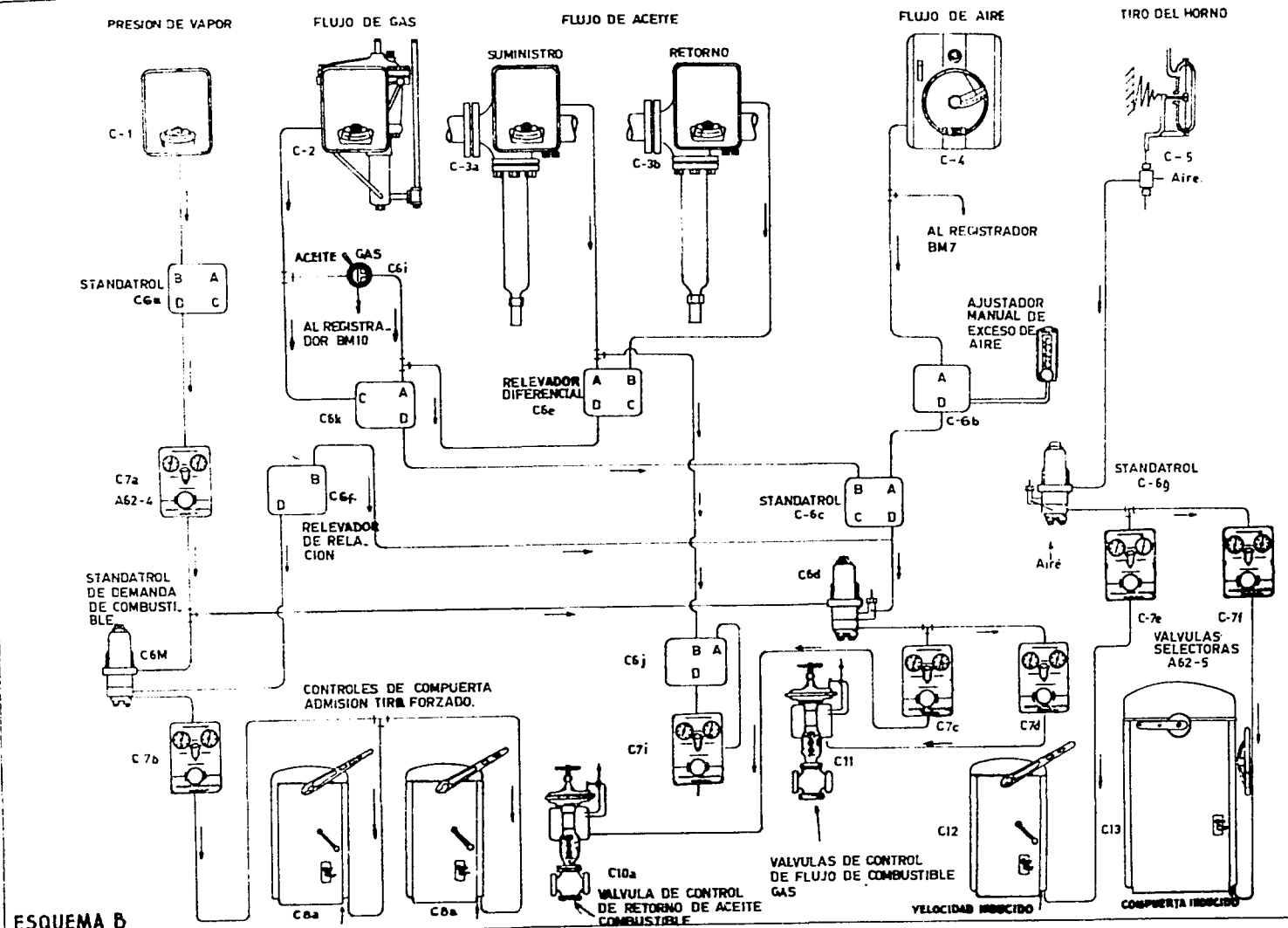


**CORPORACION VENEZOLANA
DE FOMENTO
PLANTA LA MARIPOSA**

IESIS PROFESIONAL DE Porfirio Navarro R	Escala: _____ Fecha: _____	DIAGRAMA DE CONTROL DE COMBUSTION
--	-------------------------------	--



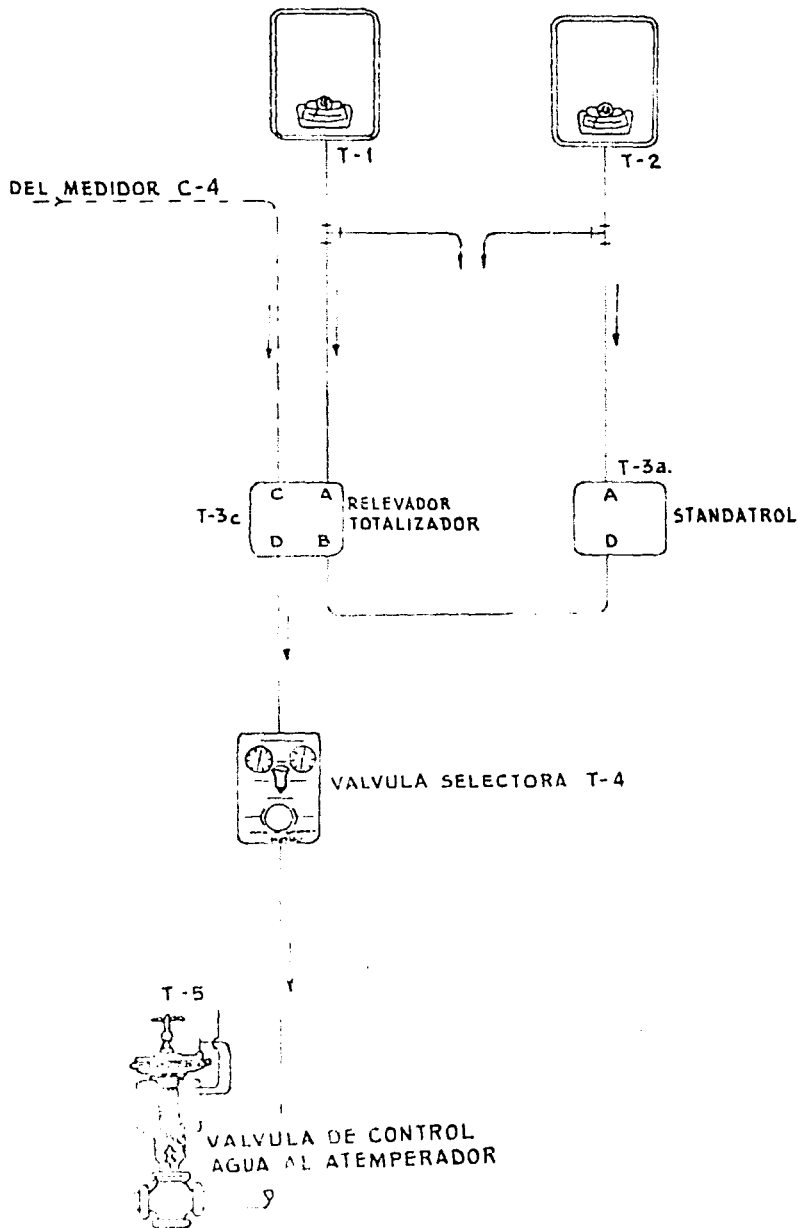
ESQUEMA A



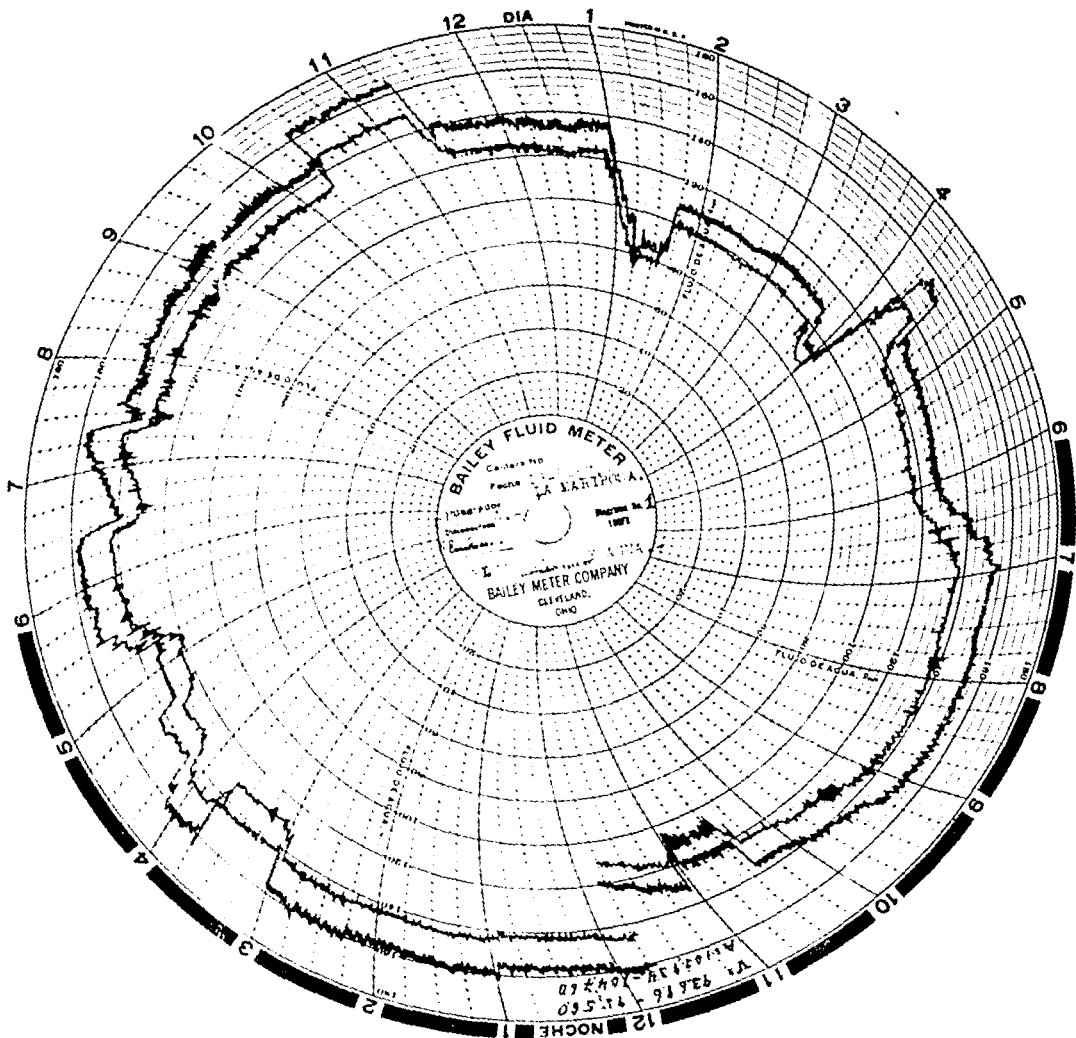
ESQUEMA B

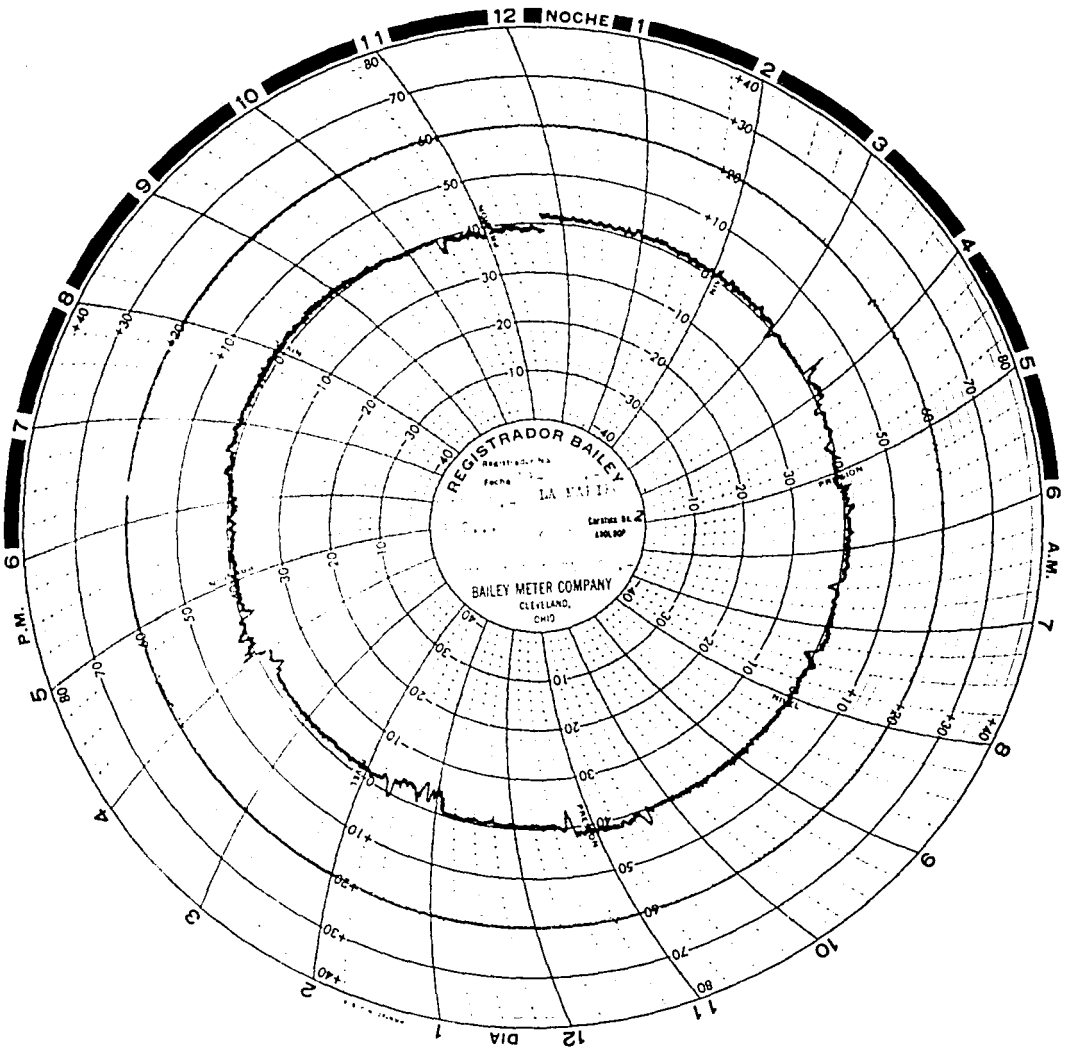
TEMPERATURA SALIDA
ATEMPERADOR

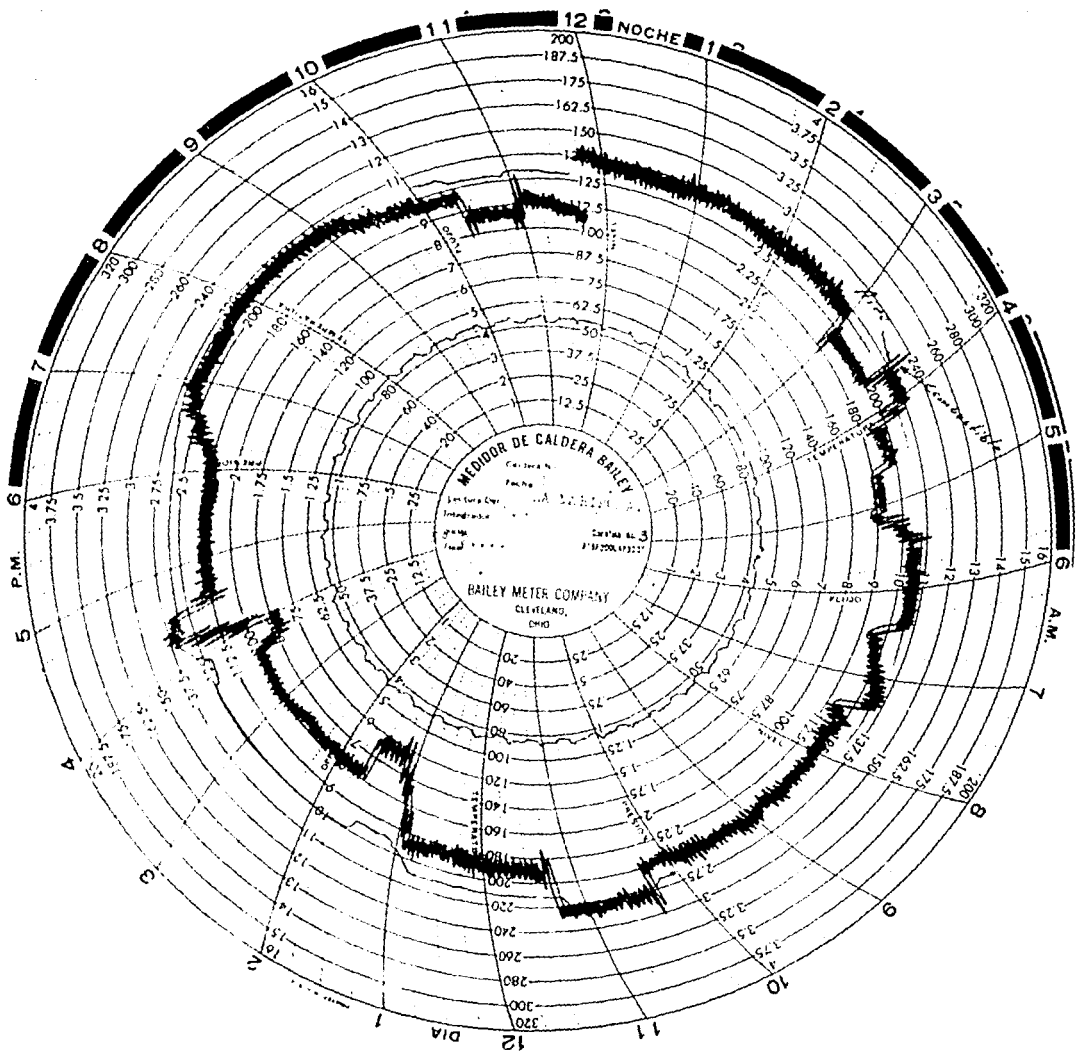
TEMPERATURA FINAL
VAPOR SOBRECALENTADO

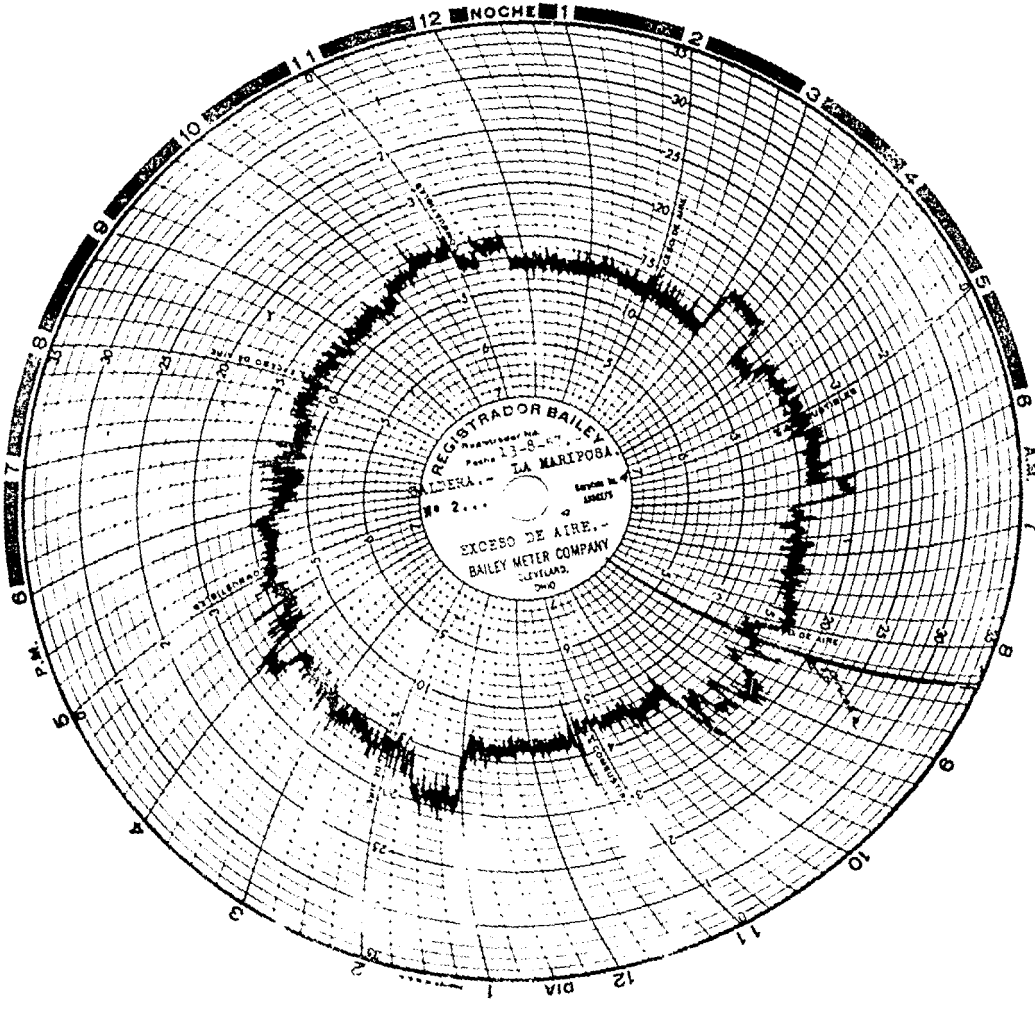


ESQUEMA C









12 NOCHE 1

2

3

4

5

6 A.M.

7

8

9

10

11

12

1 dia

1

2

3

4

5

6 P.M.

7

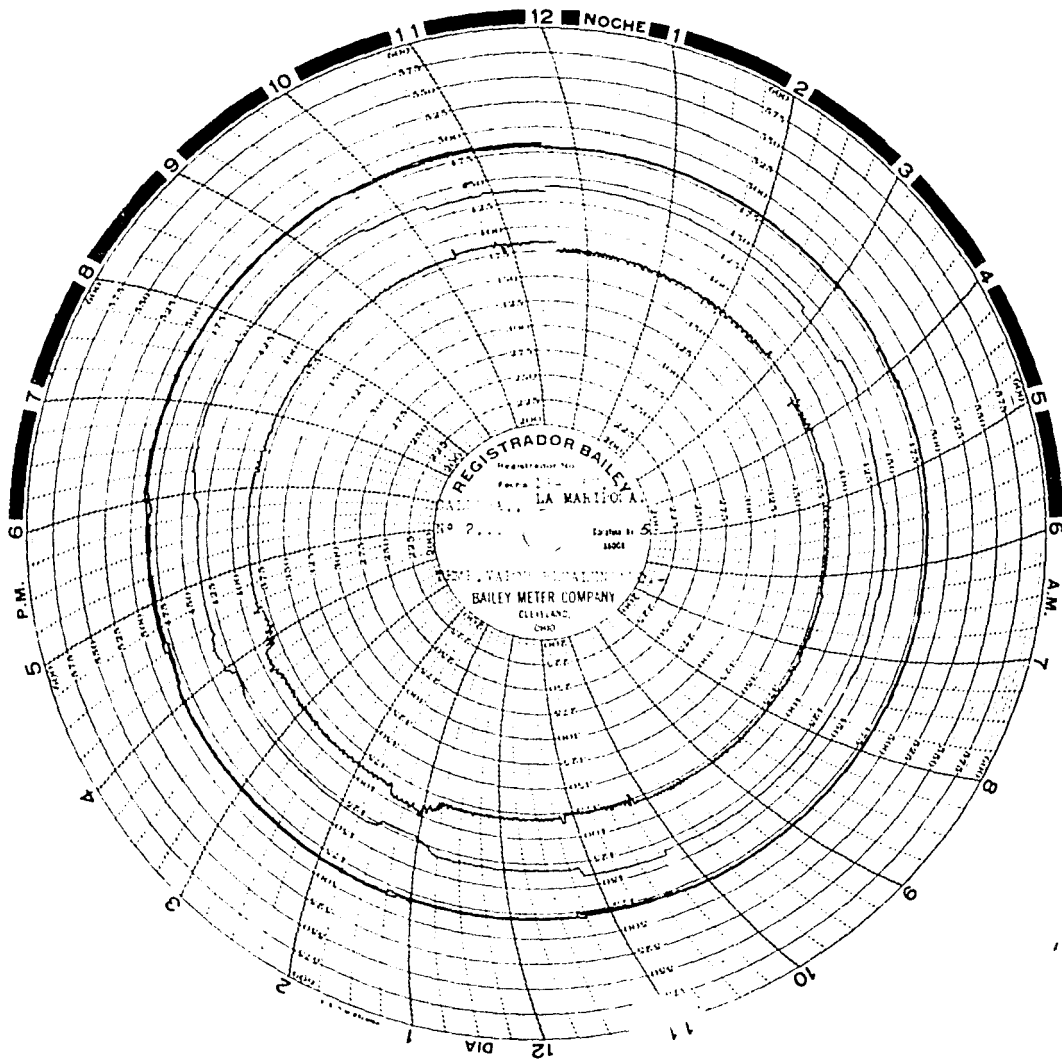
REGISTRADOR BAILEY
No. 21-8-117
LA MARIPOSA
EXCESO DE AIRE
BAILEY METER COMPANY
CLEVELAND, OHIO

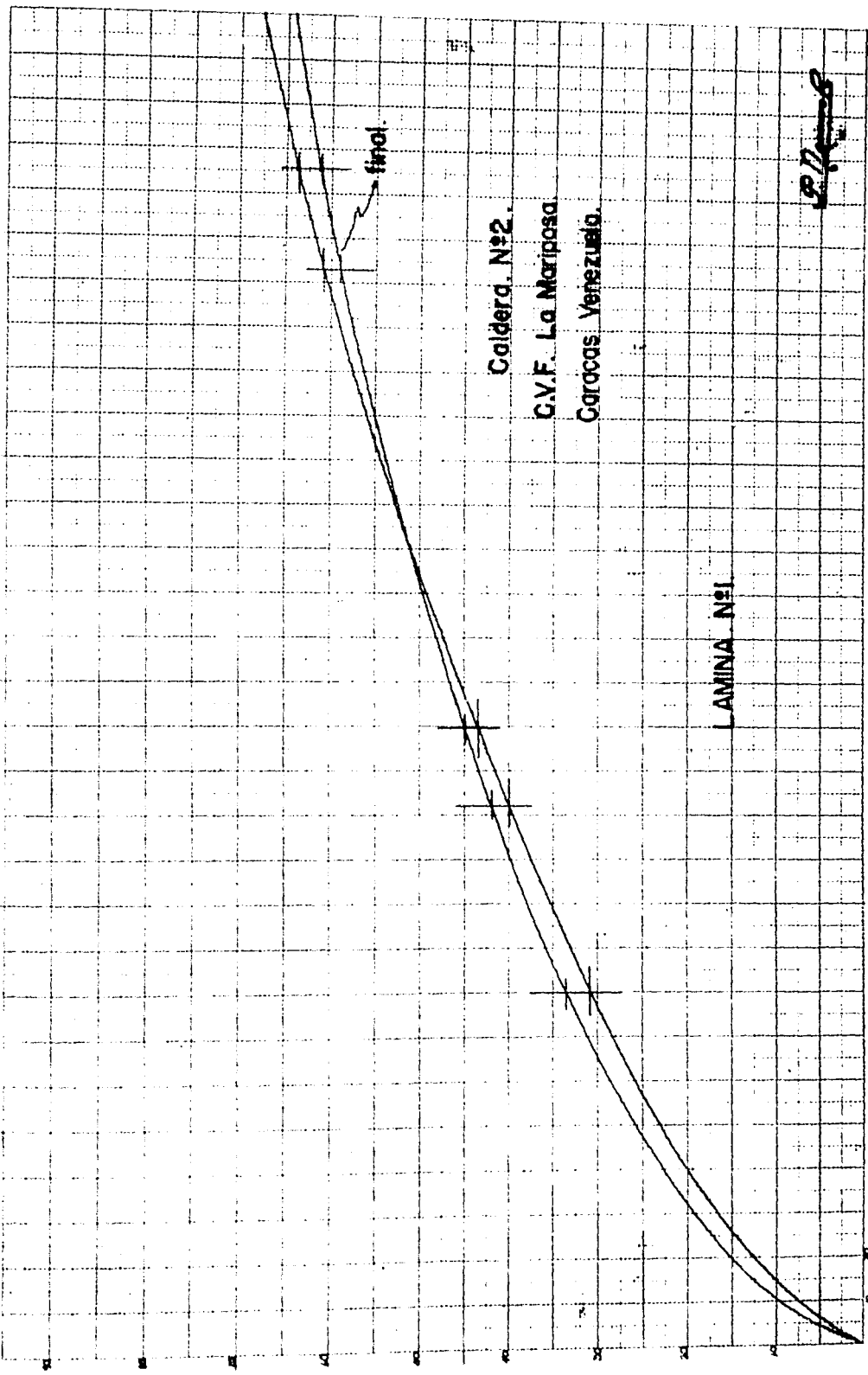
No. 2...

LABORIO DE
ANALISIS

EXCESO DE AIRE

EXCESO DE AIRE





Caldera. N°2.

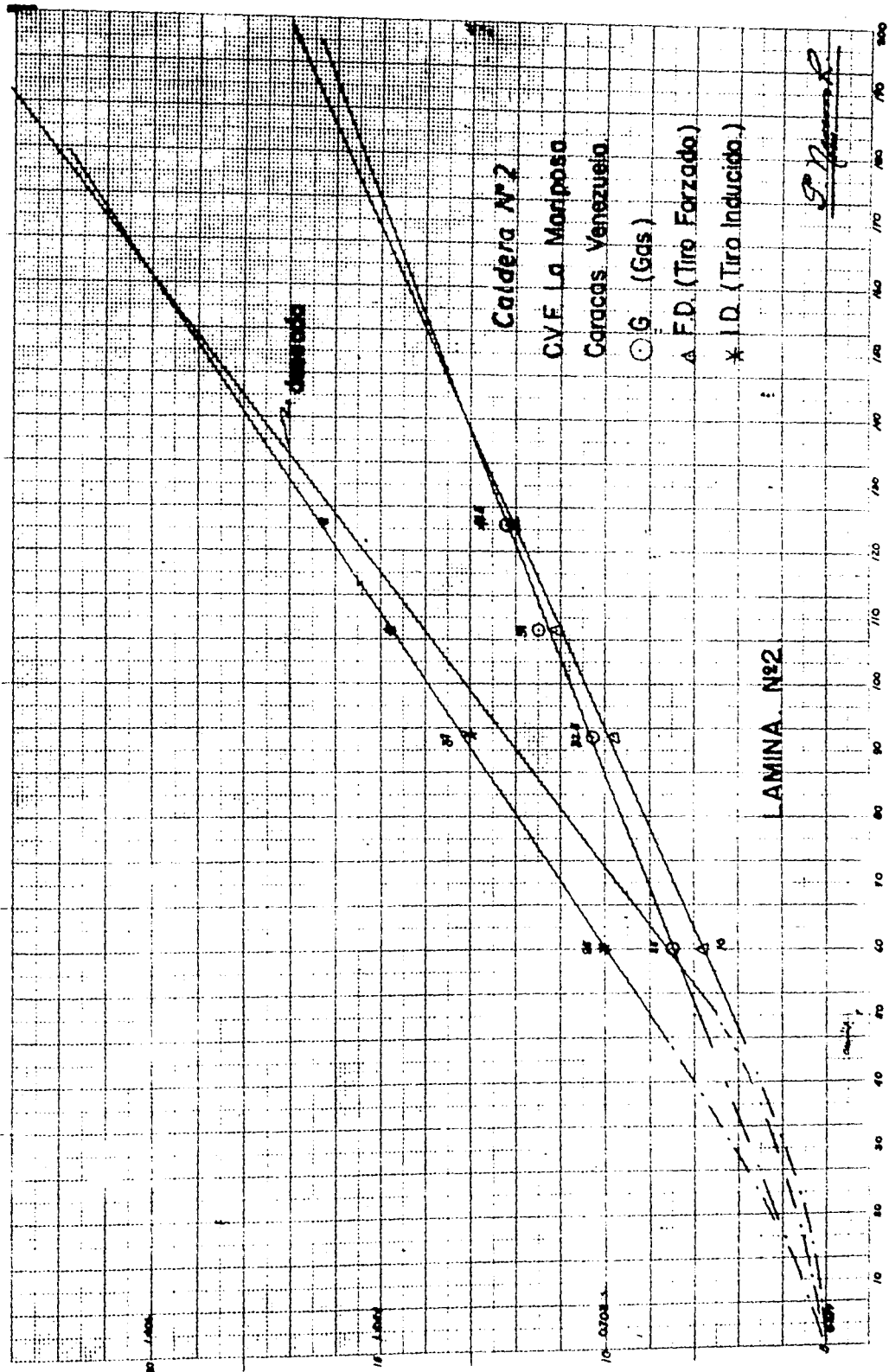
C.V.F. La Mariposa

Caracas Venezuela.

LAMINA N°1

finol.

[Handwritten signature]



Caldera Nº 2
 C.V.F. La Moriposa
 Caracas Venezuela

- G (Gas)
- △ F.D. (Tiro Forzado)
- * I.D. (Tiro Inducido.)

LAMINA Nº 2

[Handwritten Signature]

