

24  
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO  
FACULTAD DE QUIMICA

BASES PARA EL DISEÑO Y APLICACION DE  
SISTEMAS DE COMBUSTION  
CONTROL Y SEGURIDAD

PEDRO A. ARGUELLES R. MONCADA

ANDRES MAGAÑA GUZMAN

INGENIERIA QUIMICA

1 9 7 5



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

CLAS. tesis  
ADQ. 1975  
FECH. 11/4  
PROC. 24



BUENOS AIRES

JURADO

Presidente: Roberto Enríquez Mendoza

Vocal: Octavio Figueroa Arrechavaleta

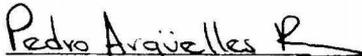
Secretario: José E. Galindo Fuentes

1er. Suplente: Tomás Fargas Iglesias

2o Suplente: Cutberto Ramírez Castillo

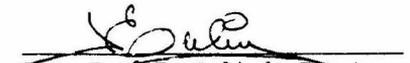
Sitio donde se desarrolló el tema: Enterprise, S. A.

Sustentantes:

  
Pedro A. Arquellés R.  
Moncada

  
Andrés Magaña Guzmán

Asesor del Tema

  
Ing. José E. Galindo Fuentes.

A NUESTROS PADRES

CON CARIÑO, RESPETO Y VENERACION, A QUIENES

DEBEMOS LO QUE HEMOS LOGRADO

A NUESTROS HERMANOS .

CON AFECTO, ESPERANDO QUE PRONTO TENGAN IGUAL SATISFACCION

A LUZ DEL CARMEN

CON GRAN AMOR

AL ING. JOSE E. GALINDO

CON PROFUNDO AGRADECIMIENTO

A NUESTROS MAESTROS, ESCUELA Y AMIGOS

BASES PARA EL DISEÑO Y APLICACION DE SISTEMAS DE  
COMBUSTION, CONTROL Y SEGURIDAD.

Introducción.

- I.- Sistemas de Combustión.
- II.- Sistemas de Protección contra Falla de Flama.
- III.- Sistemas de Control.
- IV.- Aplicación. (Secador).
- V.- Aplicación.

Conclusiones.

Bibliografía.

## Introducción:

Dentro de los procesos industriales en que interviene la Ingeniería Química, existe un alto porcentaje en los cuales se requiere de calentamiento para poderse llevar a cabo. Este calentamiento puede ser proporcionado por un equipo de combustión, el cual varía de acuerdo a la naturaleza y necesidades del proceso y que puede ir desde un simple inyector de gas a baja presión hasta complicados sistemas de quemadores duales.

Concurrentemente, el desarrollo en los equipos, así como las teorías modernas de control han abierto métodos poderosísimos para atacar - problemas en esta area. Como sea, el estudiante así como el ingeniero en combustión, no ha podido encontrar siempre una tarea fácil para adquirir una práctica y buena ayuda ingenieril en este tópico.

El presente trabajo tiene como fin analizar las diferentes variables que es necesario considerar en la selección del equipo de combustión completo. Es decir, complementado con los sistemas de control y protección adecuados, partiendo con bases teóricas de la teoría de la combustión, de la teoría de control y de las normas de seguridad establecidas.

Los dos últimos capítulos complementan con aplicaciones el estudio teórico expuesto en los capítulos I, II y III.

## CAPITULO I.- SISTEMAS DE COMBUSTION.

- 1 a) Combustión. (Generalidades)
- 1 b) Teoría de Reacción de Radicales Libres.
- 1 c) Análisis Estequiométrico de la Combustión.
- 1 d) Análisis de Orsat para determinaciones de Eficiencia.
- 1 e) Características de la flama.
- 1 f) Temperatura de Ignición.
- 1 g) Quemadores de gas.
- 1 h) Quemadores de Combustible líquido.

1-a) COMBUSTION.- Comunmente se entiende por combustión como una rápida combinación o reacción química de oxígeno con una sustancia; resultando la liberación de una considerable cantidad de calor y por lo tanto una elevación de la temperatura.

Este es un fenómeno donde nuestro conocimiento es incompleto, y donde rara vez se involucran reacciones complicadas consistentes en varios pasos. Generalmente la propagación de la flama está determinada en una gran extensión por difusión, por transferencia de calor cerca de la flama, por distorsión y mezclado del frente de la flama, y por turbulencia. En una generalización se puede decir que la combustión consiste principalmente de los siguientes procesos:

CARBON + OXIGENO ----- DIOXIDO DE CARBONO + CALOR.

HIDROGENO + OXIGENO ----- VAPOR DE AGUA + CALOR.

AZUFRE + OXIGENO ----- DIOXIDO DE AZUFRE + CALOR.

Los productos de combustión formados, están compuestos de moléculas en las cuales los elementos están en una proporción fija.

La composición química de los combustibles es muy variada entrando en ella principalmente: Carbono, Hidrógeno y algunas veces azufre.

El oxígeno requerido para la combustión es tomado directamente del aire el cual tiene una composición de: 20.00% de oxígeno, 78.03% de Nitrógeno, el 0.92% restante está compuesto de: Argón, pequeñas cantidades ó trasas de vapor de agua, dióxido de carbono, Helio, Neón, e Hidrógeno.

Para cálculo de ingeniería, usualmente se incluyen todos los inertes como Nitrógeno y se utiliza el por ciento de: 21% de Oxígeno, y 79% de Nitrógeno.

La composición gravimétrica del aire es: 23.1 de Oxígeno y 76.9% de Nitrógeno.

En una combustión se reconocen diversos procesos que se clasifican de acuerdo al análisis final:

- a) Combustión Perfecta.
- b) Combustión Expontánea.
- c) Combustión Completa.
- d) Combustión Incompleta.
- e) Combustión Detonante.

a) Combustión Perfecta.- Es obtenida por mezclado y quemado en la proporción correcta de combustible y Oxígeno, los productos resultantes son esencialmente Dióxido de Carbono y/o vapor de agua y Nitrógeno.

b) Combustión Expontánea.- Ocurre cuando los materiales son oxidados lentamente y tiene lugar de tal forma que el calor no es disipado; la temperatura del material se eleva lentamente hasta su punto de ignición y el material entra en combustión.

c) Combustión Completa.- Es el quemado de todos los constituyentes del material pasando estos a Dióxido de Carbono y/o vapor de agua, sin tener presente un exceso de aire.

d) Combustión incompleta.- Ocurre cuando el combustible se quema hasta productos de combustión intermedios tales como Monóxido de carbono y vapor de agua, como resultado de la limitación de Oxígeno en el aire suministrado.

e) Combustión Detonante.- Es la propagación muy violenta de ondas de choque a través de un medio gaseoso. La velocidad de la onda se mantiene utilizando el calor de combustión liberado.

En el estudio de los fenómenos que acompañan a la combustión, se han encontrado dos teorías, las más aceptadas que la explican con mayor amplitud, estas teorías son elaboradas para Hidrocarburos gaseosos, Car-

bón sólido, y mezclas de Monóxido de Carbono e Hidrógeno.

1 b) TEORIA DE REACCION DE RADICALES LIBRES.- Esta teoría está basada en la oxidación lenta del Metano se dá por válido que hay reacciones en cadena ya que son iniciadas en una velocidad proporcional a la concentración del Formaldehido.

Posteriormente se tiene un incremento gradual hasta alcanzar un estado estacionario, en la misma proporción, del Formaldehido destruído por la reacción en cadena.

Los mecanismos de reacción son los siguientes:

I.-)  $\text{HCHO} + \text{O}_2$ -----Radicales Libres.

II.-)  $\cdot\text{OH} + \text{CH}_4$ ----- $\text{H}_2\text{O} + \cdot\text{CH}_3$  (R.Libres)

III.-)  $\cdot\text{CH}_3 + \text{O}_2$ ----- $\text{HCHO} + \cdot\text{OH}$

IV.-)  $\cdot\text{HO} + \text{HCHO}$ ----- $\text{H}_2\text{O} + \text{CHO}$

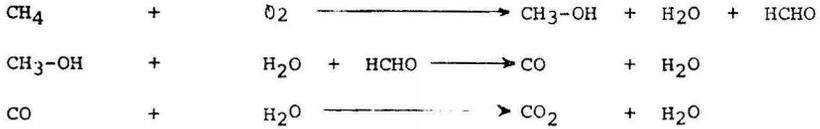
V.-)  $\cdot\text{OH}$  Se difunde en la paredes y es destruído.

El punto de ataque en la oxidación de Hidrocarburos, es a través de sus átomos de Hidrógeno. La iniciación incluye todos los tipos de Hidrógenos ya sea en carbonos primarios, secundarios o terciarios en orden de su número y reactividad relativas.

En la teoría de la Hidroxilación se dá por sentado que cuando los Hidrocarburos se queman, primero hay una adición o asociación de oxígeno con la molécula de hidrocarburo produciendo un compuesto Hidroxilado inestable los cuales posteriormente forman aldehidos.

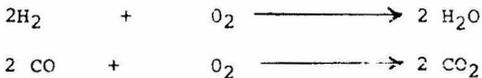
Los aldehidos son oxidados a: Formaldehido, Monóxido de Carbono y agua, y luego a Bióxido de Carbono y agua.

En estas reacciones pueden ser representadas como sigue:



Este proceso es tan rápido bajo condiciones favorables, que en mezclas de Metano e Hidrógeno o Metano y Monóxido de Carbono, el Metano se quema más rápidamente que el Hidrógeno o el Monóxido de Carbono.

Carbón Sólido.-El carbón caliente se une con el Oxígeno del aire, formando el Bióxido de Carbono, algo de Monóxido de Carbono y posiblemente algún óxido de Carbono intermedio. En temperaturas bajas se forman considerables cantidades de Monóxido de Carbono, pero a altas temperaturas se forma con mayor facilidad Bióxido de Carbono. Mezclas de Monóxido de Carbono e Hidrógeno.- Estas mezclas se queman con la reacción:



Generalmente al dueño de un horno, o al Ingeniero en hornos no les interesa el tiempo que fué necesario para producir los combustibles tales como Carbón, Petróleo, y gas natural. Ellos están interesados en las propiedades del combustible, en su disponibilidad y en su costo relativo. De acuerdo con estas razones en el presente trabajo - omitiremos las diferentes teorías para explicar el origen de dicho combustible.

Los combustibles pueden ser clasificados como: Sólidos, líquidos o gaseosos y posteriormente como combustibles naturales y artificiales. En la Ingeniería de combustión los elementos de mayor importancia son: Carbón, Hidrógeno y Azufre, Nitrógeno, Bióxido de Carbono, agua y cenizas.

TABLA 1. REACCIONES QUIMICAS Y CALORES DE COMBUSTION EN LA COMBUSTION COMPLETA DE MATERIALES COMBUSTIBLES.

Material Combustible	Reacción	Calor de Combustión en BTU por				
		<u>lb-mol</u> Bruto	<u>lb</u> Bruto    Neto		<u>Ft<sup>3</sup></u> Bruto    Neto	
Carbón (Grafito)	C + 0.5O <sub>2</sub> → CO	47,460	3,950	3,950		
Carbón (Coke)	C + O <sub>2</sub> → CO <sub>2</sub>	174,000	14,500	14,500		
Grafito	C + O <sub>2</sub> → CO <sub>2</sub>	169,860	14,093	14,093		
CO	CO + 0.5O <sub>2</sub> → CO <sub>2</sub>	122,400	4,347	4,347	321.37	321.37
H <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> + 0.5O <sub>2</sub> → H <sub>2</sub> O	123,100	61,095	51,623	325.02	274.58
Metano	CH <sub>4</sub> + 2O <sub>2</sub> → CO <sub>2</sub> + 2H <sub>2</sub> O	382,980	23,875	21,495	1,012.32	911.45
Etano	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> + 3.5O <sub>2</sub> → 2CO <sub>2</sub> + 3H <sub>2</sub> O	671,190	22,323	20,418	1,773.42	1,622.10
Propano	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> + 5O <sub>2</sub> → 3CO <sub>2</sub> + 4H <sub>2</sub> O	955,430	21,669	19,937	2,523.82	2,322.01
n Butano	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> + 6.5O <sub>2</sub> → 4CO <sub>2</sub> + 5H <sub>2</sub> O	1'239,130	21,321	19,678	3,270.69	3,018.48
iso Butano	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> + 6.5O <sub>2</sub> → 4CO <sub>2</sub> + 5H <sub>2</sub> O	1'236,230	21,271	19,628	3,261.17	3,008.96
Acetileno	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> + 2.5O <sub>2</sub> → 2CO <sub>2</sub> + H <sub>2</sub> O	559,830	21,502	20,769	1,476.55	1,426.17
Formaldehido	HCHO + O <sub>2</sub> → CO <sub>2</sub> + H <sub>2</sub> O	209,540	6,980	6,344	643	593

7

TABLA 1-a TEMPERATURAS DE FLAMA EN AIRE Y EN OXIGENO.

Gas.	BTU <sub>3</sub> Pie Neto	<u>TEMPERATURA MAXIMA DE FLAMA EN AIRE</u>				Gas en Aire %	Temp. teórica de flama en O <sub>2</sub> .	
		°F Teórica	°C.	Observada °F.	°C.		°F.	°C.
Monóxido de Carbono	321,8	4475	2468	3812	2100	32		
Hidrógeno	275	4010	2210	3713	2045	31.6	5385	2973
Metano	913.1	3484	1917	3416	1880	9.4-10.1		
Etano	1641	3540	1948	3443	1895	5.7 - 5.9		
Propano	2385	3573	1967	3497	1925	4.0 - 4.3		
n Butano	3113	3583	1972	3443	1895	3.1 - 3.4		
Iso Butano	3105	3583	1972	3452	1900	3.1 - 3.2		
Etileno	1513.2	4250	2343	3587	1992	7.0		
Acetileno	1448	4770	2632	4207	2337	9.0	5630	3110
Gas Natural	1021	3562	1961				5150	2843
Gas de Hulla	486	3600	1982					
Gas de Horno de Coke	514	3610	1987					

zas aparecen en menor cantidad y contribuyen únicamente a aumentar pesos muertos y causar problemas de manejo.

Uno de los principales problemas en el manejo de combustibles es la presencia de Azufre por sus altos efectos corrosivos.

En hornos metalúrgicos y de cerámica pueden afectar seriamente la calidad del producto. En calderas y boilers, el Dióxido de Azufre y el vapor de agua se combinan para formar ácidos que son muy corrosivos y altamente contaminantes, ya que es formado el ácido sulfuroso componente principal del llamado smog en una ciudad industrial.

1 c) ANALISIS ESTEQUIMETRICO DE LA COMBUSTION.- Los tres combustibles básicos son:

Carbón

Hidrógeno

Azufre.

Para que la combustión se llev<sup>a</sup> a cabo, es necesario que haya una fuente de energía externa al principio de la reacción, para llegar a la temperatura a la que el proceso se pueda iniciar.

Análisis en % en peso de un combustible líquido:

Carbón 85%

Hidrógeno 12%

Azufre 1%

Agua 0.1%

Nitrógeno 0.5%

Otros 1.4%

Para que la combustión pueda llevarse a cabo, es necesario proveer del suficiente oxígeno para que los 3 combustibles puedan reaccionar. Este oxígeno se dá mezclado con nitrógeno se dá mezclado con nitrógeno en -

forma de aire para propósitos de ingeniería consideramos al aire con la siguiente composición en pesos:

76.85 %	Nitrógeno
23.15 %	Oxígeno

Tanto el nitrógeno como los gases inertes no entran en el proceso de combustión.

Estos materiales pasan a través de la cámara de combustión absorben calor y salen por la chimenea.

#### COMBUSTIÓN DEL CARBON.

- a) Si hay deficiencia de  $O_2$  se forma CO y  $CO_2$
- b) Si hay el oxígeno exacto sólo se forma  $CO_2$
- c) Con exceso  $O_2$  se forma  $CO_2$  y algo de CO.

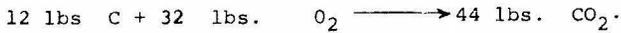
#### PROPIEDADES.-

Sustancia	Símbolo	PM	Vol.esp.(ft <sup>3</sup> /lbs)	Poder Calorífico
Aire		29	13.07	
Oxígeno	$O_2$	32	11.84	
Nitrógeno	$N_2$	28	13.54	
Hidrógeno	$H_2$	2	189.5	62.000 Btu/lb
Carbono	C	12	Sólido	14.500 Btu/lb
Azufre	S	32	Sólido	4,500 Btu/lb
Bióxido de C.	$CO_2$	44	8.61	
Monóxido de C.	CO	28	13.54	
Bióxido de S.	$SO_2$	64	5.92	
Agua	$H_2O$	18		

#### REACCIONES



Expresándolo en peso.



Dividiendo entre 12.

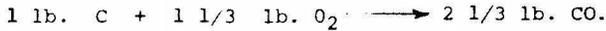


En esta reacción se liberan 14,500 Btu/ lb. C.

Para la formación de monóxido de carbono:



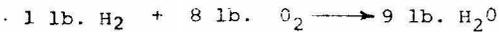
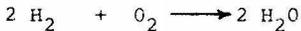
Poniéndolo en términos de una libra de C.



El calor liberado es de 4350 Btu/lb C

Nota: 4.32 lb.de aire = 1 lb.de O<sub>2</sub>

Combustión de Hidrógeno:

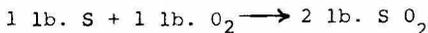


El calor liberado es de 62,000 Btu/lb.

(Higher Heat Value). Es cuando el agua vuelve a su estado líquido a 60°F (62,000 Btu.

(Lower Heat Value). Es cuando el agua queda en forma de vapor, por ejemplo, a una temperatura de chimenea de 530°F es de 52,000 Btu/lb.

Combustión de Azufre



Calor liberado 4,000 Btu/ lb S

Se debe hacer notar que el SO<sub>2</sub> con agua produce ácido sulfuroso que es corrosivo.

Se deberá proveer de 25% a 40% de exceso de aire.

Requerimientos de Aire.

1 lb combustible                      14.5 lbs.de aire.

8                      "                      116                      "                      "                      "

Si consideramos una libra de combustible.

Elemento	lbs.	Aire req. (lb)	Productos (lb)			
Carbono	.85	9.78	CO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	SO <sub>2</sub>
Hidrógeno	.12	4.15	3.11	7.52		
Azufre	.01	.04	3.19	1.08		
Otros	.02		.03		.02	

---

T o t a l	1.00	13.97	3.11	10.74	1.08	.02
-----------	------	-------	------	-------	------	-----

En base seca los productos que se pueden medir son:

Gas	Peso (lbs)	Volúmen (ft <sup>3</sup> )	Volúmen %
CO <sub>2</sub>	3.11	26.77	15.5
N <sub>2</sub>	1074	145.42	84.4
SO <sub>2</sub>	.02	.12	0.1

---

T o t a l	13.87	172.31	100.
-----------	-------	--------	------

Los resultados de las dos tablas anteriores, nos indican lo que se obtendrá con una combustión completa. Es importante hacer notar que los porcentajes relativos dependerán del análisis de cada combustible.

#### 1 d) ANALISIS DE ORSAT PARA DETERMINACIONES DE EFICIENCIA.

El método que se sigue para efectuar el análisis de Orsat es el siguiente:

- a) Se toma una muestra de los gases de chimenea, esta muestra se pone en un cilindro de 100 cc. envuelto por una chaqueta de H<sub>2</sub>O para abatir la temperatura de los gases.
- b) Se colocan 3 pipetas cerca de la muestra.
- c) Se pasa la muestra a la primera pipeta donde se absorbe el CO<sub>2</sub> de

la muestra.

d) La muestra se devuelve al cilindro y se determina el contenido de CO<sub>2</sub> por la diferencia de volúmenes.

e) Se repite el proceso en las tres pipetas y se determinan los porcentajes de CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, CO y el volumen restante sería el porcentaje de N<sub>2</sub>.

Con los resultados anteriores podemos determinar la cantidad actual de aire que tuvimos por medio de la siguiente fórmula: (C, representa el peso de carbón en lbs. por libra de combustible).

$$\text{Aire} = \frac{3.032 \text{ N}_2 \times C}{\text{CO}_2 + \text{CO}}$$

y determinar así nuestra eficiencia, así como el exceso de aire que tenemos.

Ejemplo: Suponiendo que el análisis de los gases de combustión nos dió los siguientes resultados:

$$\text{CO}_2 = 12\%, \text{ O}_2 = 4.2\% \text{ CO} = 1\% \text{ N}_2 = 82.8\%$$

La cantidad de aire que tenemos sería de

$$\text{Aire} = \frac{3.032 \text{ N}_2}{\text{CO}_2 + \text{CO}} \times C = \frac{3.032 \times 82.8}{12.0 + 1} \times .85$$

$$\text{Aire} = 16.40 \text{ lb. aire / lb.comb.}$$

Como se explicó antes, la cantidad teórica de aire es de 13.97 lb.aire /lb comb., por lo tanto en este caso tendremos el siguiente porcentaje de exceso de aire.

$$\% \text{ Aire} = \frac{16.40 - 13.97}{13.97} \times 100 = 17.3\%$$

Por lo tanto tendremos un 17.3% de exceso de aire.

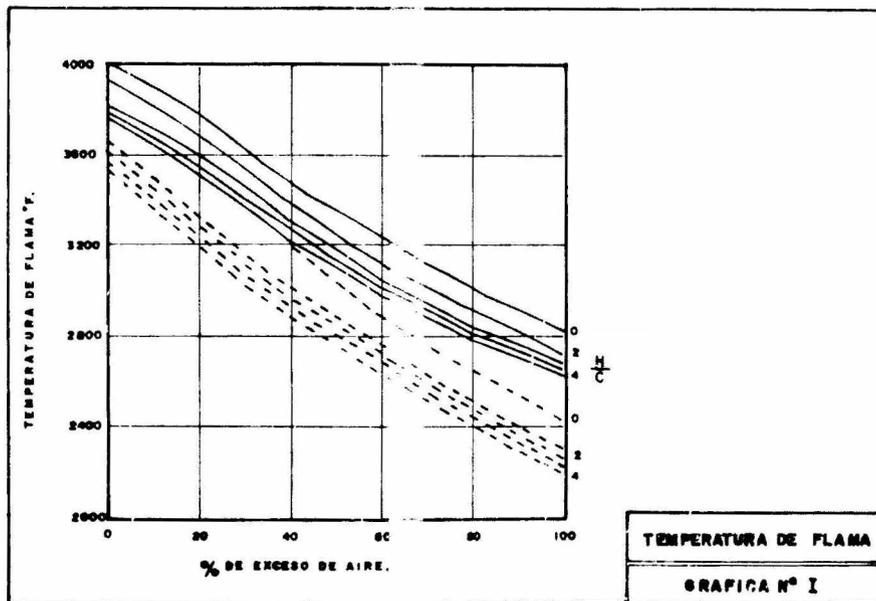
Además del análisis de Orsat se deberán considerar las pérdidas de calor a través de la chimenea, como regla general se tiene que una chi-

menea, como regla general se tiene que una chimenea fría produce menos pérdidas por radiación.

#### 1-e) CARACTERISTICAS DE LA FLAMA.

Temperatura de la flama.- La temperatura de flama tiene poco significado en aplicaciones domésticas, donde las temperaturas son relativamente bajas de 70 a 300°C. (160 a 550°F). En procesos industriales como fundición, calcinación, etc. La temperatura de flama es de considerable importancia. La transferencia de calor por unidad de area se incrementa con la temperatura de flama; la rapidez de calentamiento de un objeto es proporcional a la diferencia de temperatura entre la flama y el objeto. La investigación química en procesos de alta temperatura condujo a temperaturas de flama de 4 982°C. (9000°F). lograda al quemar carbón en Oxígeno a una atmósfera de presión. En la detonación de Cianógeno finamente dividido y Oxígeno líquido, se llegó a una temperatura instantánea de 7204°C (13000°F). Se han obtenido datos termodinámicos en forma gráfica para la determinación adiabática de la temperatura de flama a una atmósfera de presión y 1315 a 2205° C. (2400 a 4000°F.).

La gráfica 1 puede usarse para obtener una aproximación muy cercana al valor real de la temperatura de flama de la Hulla, coke é Hidrocarburos líquidos y gaseosos cuando se queman de 0 a 100% de exceso de aire. Esta figura se basa en combustible seco a 80°F. conteniendo únicamente Carbón e Hidrógeno quemado con aire seco. El valor calorífico del combustible, es calculado por el método de W.Boie. La gráfica muestra la temperatura de flama como una función del exceso de aire para varias relaciones Hidrógeno a Carbón en un rango de 0 a 4. La mayoría de los carbones caen en el rango de una rela-



ción de 0 a 1. La relación de 4 es representada por el Metano, es el máximo con combustibles Hidrocarbonados.

**MAXIMA TEMPERATURA DE FLAMA.**- La temperatura de flama de un gas puede ser calculada por el método de prueba y error y usando la siguiente ecuación:

$$H = a R_{CO_2} X + 3/2 R_{O_2} (1-Y) + 323.5 (1-X) + \\ b R_{H_2O} Y + R_{H_2} (1-Y) + 1/2 R_{O_2} (1-Y) + 275.1 (1-Y) \\ + R_{O_2} (c+d)$$

donde:

H = Valor calorífico neto Btu / ft<sup>3</sup>.

R = Calor contenido por pie cúbico de los gases indicados.

a = Pies cúbicos de Bióxido de Carbono producidos por pie cúbico de gas quemado.

b = Pies cúbicos de vapor de agua producidos por pie cúbico de gas quemado.

c = Pies cúbicos de Oxígeno en el gas de chimenea por pie cúbico de gas quemado.

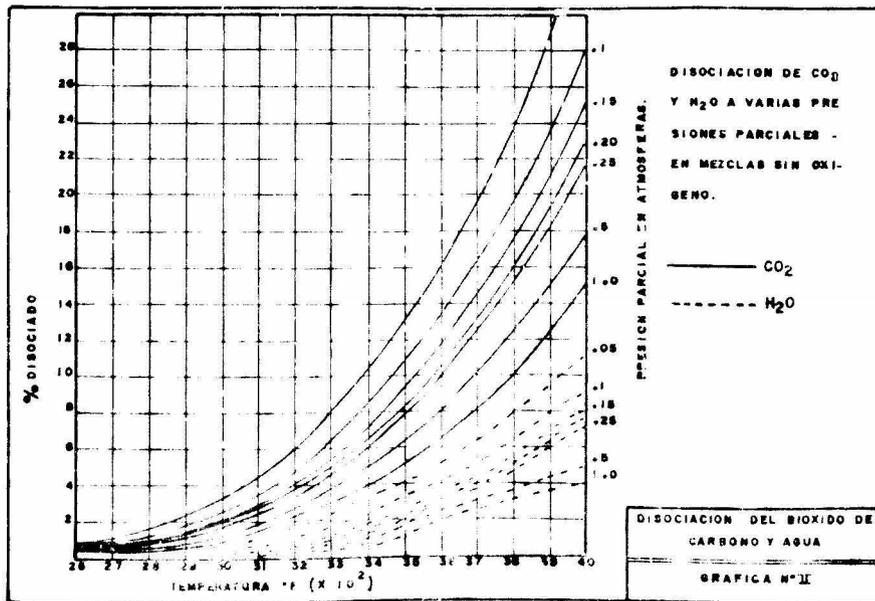
d = Pies cúbicos de Nitrógeno en el gas de chimenea por pie cúbico de gas quemado.

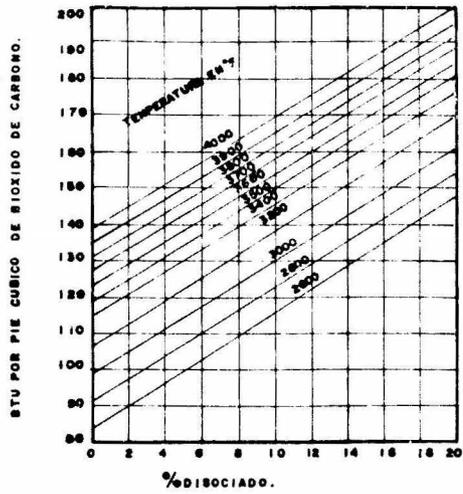
(1-X) = Fracción de Bióxido de Carbono disociado (Gráfica 2)

(1-Y) = Fracción de agua disociada (Gráfica 2).

Para facilitar la solución de esta ecuación, las cantidades están graficadas en las gráficas (3) y (4) para contenidos de calor de Bióxido de Carbono y agua respectivamente.

**CALCULO DE LA LONGITUD DE FLAMA.**- El cálculo de la longitud de flama libre, en la cual los efectos de flotación de la flama son pequeños por efecto de una alta velocidad y puerto pequeño ( 0.12 a 0.30 pulg.

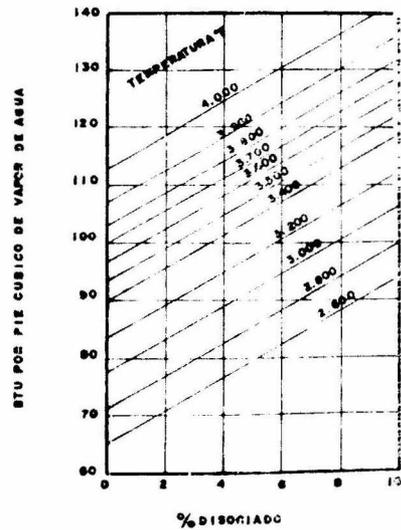




CONTENIDO TOTAL DE CALOR DEL BIXIDO DE CARBONO POR PIE CUBICO, INCLUYENDO LOS EFECTOS DE DISOCIACION.

CONTENIDO TOTAL DE CALOR DEL BIXIDO DE CARBONO

GRAFICA N° IX



CONTENIDO TOTAL DE CALOR DEL VAPOR DE AGUA POR PIE CUBICO, INCLUYENDO LOS EFECTOS DE DISOCIACION.

CONTENIDO TOTAL DE CALOR DEL VAPOR DE AGUA

GRAFICA IX

diámetro) está dado por la ecuación:

$$L/D = \frac{5.3}{C} \quad C \frac{T_f}{At_n} \quad + \quad (1-C) \frac{M_s}{M_n} \quad 1/2$$

donde:

L = Longitud visible de la flama pulg.

D = Diámetro de la Boquilla pulg.

T<sub>f</sub> = Temperatura adiabática de la flama °R

T<sub>n</sub> = Temperatura del fluido en la boquilla °R

M<sub>s</sub>, M<sub>n</sub> = Peso molecular del fluido de la boquilla y los alrededores.

C = Fracción mol del fluido en la boquilla en la mezcla estequiométrica.

A = Relación de moles de reactantes a moles de productos para la mezcla estequiométrica. Ejem. Metano y Oxígeno 3/3 = 1.

La ecuación predice longitudes para flamas turbulentas variando los diámetros de boquillas de 40 a 290 con promedio y máximo error de 10 y 20% respectivamente. Los combustibles estudiados incluyen: Propano, Acetileno, Hidrógeno, Monóxido de Carbono, gas L.P., así como mezclas de gases y mezclas de Hidrógeno y Propano.

INTENSIDAD ESPECIFICA DE LA FLAMA.- El concepto de intensidad específica de flama es útil caracterizando la concentración de calor disponible de una flama. La temperatura de flama es inadecuada porque relaciona únicamente el nivel de calor y no la proporción liberada.

La intensidad de la flama I, es definida como la proporción de calor liberado por unidad de superficie de flama primaria en Btu/seg.ft<sup>2</sup>.

$$I = VH/A$$

donde:

V = Flujo volumétrico de mezcla primaria gas/ aire en Btu/Pie<sup>3</sup>.

H = Valor calorífico neto de la mezcla primaria Btu/Pie<sup>3</sup>.

A = Area superficial del cono interno en Pie<sup>2</sup>.

TABLA 2.- Intesidad específica de flama y velocidad de encendido, para varias mezclas aire-combustible.

COMBUSTIBLE	% en la mezcla	Velocidad encendido pie <sup>3</sup> /seg.	de PCI de mezcla Btu/pie <sup>3</sup>	Intensidad específica Btu/seg-pie <sup>2</sup>
	%	v	H	I
metano	9.46	1.43	86.5	124
metano	9.46	1.23	86.5	106
metano	9.46	1.23	86.5	106
etano	5.64	1.46	92.4	135
propano	4.02	1.50	95.4	143
n-butano	3.12	1.47	98.0	144
n-pentano	2.54	1.40	99.1	139
acetileno	7.71	4.73	111.0	525
etileno	6.52	2.23	98.7	220
propileno	4.44	1.68	99.2	167
monóxido de C.	29.50	----	94.8	---
hidrógeno	29.50	5.58	81.1	452
hidrógeno	29.50	7.36	81.1	597
g.natural	8.49	1.05	82.2	93
g.natural	9.00	1.24	90.0	112
g.de coque	16.90	2.15	86.0	185

PARA MAXIMA VELOCIDAD DE ENCENDIDO

metano	10.14	1.47	85.9	126
metano	10.10	1.25	86.0	108
etano	6.38	1.50	91.7	143
propano	4.02	1.52	95.2	145
n-butano	3.21	1.47	98.0	144
n-pentano	2.67	1.41	98.9	140
acetileno	9.46	5.09	109.0	554
etileno	7.31	2.41	97.9	236
propileno	4.44	1.68	99.2	167
monox.de C.	46.20	1.71	72.4	124
hidrógeno	42.90	10.70	65.7	703
hidrógeno	-----	----	----	---
g.natural	9.40	1.07	87.3	93
g.natural	9.50	1.26	89.6	113
g.de coque	17.60	2.20	85.3	188

Si la flama es laminar.

$$A = V/v$$

v = Velocidad de quemado de la mezcla primaria Pie/seg.

Por lo tanto:

$$I = vH$$

Al evaluar H, debemos considerar cuatro tipos de flama:

Flama Pobre o Reductora.

$$H = H_0 X$$

$H_0$  = Valor calorífico neto para combustible puro, Btu/Pie<sup>3</sup>

X = Fracción del combustible en la mezcla primaria.

Flama Estequeométrica.

$$H = H_0 X_s$$

$X_s$  = Fracción de combustible gaseoso en la mezcla primaria

Tabla 2 para valor de H.

Flama Rica u Oxidante.

$$H = H_0 X_s \left( \frac{1-X}{1-X_s} \right)$$

Válida únicamente si no hay una difusión apreciable de aire secundario en la flama primaria y el combustible es completamente oxidado.

Es razonable esperar que esas condiciones serán encontradas por un acercamiento estequeométrico a la flama rica, tal como una máxima velocidad de quemado.

Flamas muy ricas.

La difusión de aire secundario en la flama primaria es importante y algunas moléculas de combustible son parcialmente oxidadas y descompuestas, tal situación está también involucrada para un análisis simple y general.

Puesto que el más probable uso de la intensidad especificada será pa=

ra comparar combustibles, el valor de  $v$  preferiblemente vendrá de una fuente simple y tipo de medición no disponible. La tabla 2 está basada en varias fuentes de valores de  $v$ .

#### Ionización de la flama.

Una de las características de mayor interés en una flama es la propiedad de ionización de la misma, y por lo tanto puede haber una conducción de una corriente eléctrica. Los datos restringidos en flamas de Hidrocarburos (Acetileno, Etileno, y Propano) indican una variación de concentración de iones entre  $10^{11}$  a  $10^{12}$  iones por centímetro cúbico. La ionización de monóxido de carbono e Hidrógeno es baja, probablemente en el rango de  $10^7$  a  $2.5 \times 10^9$  iones/cm<sup>3</sup>. La concentración de equilibrio de electrones libres en flamas es del orden de  $10^6$  electrones/cm<sup>3</sup>. La naturaleza exacta de los iones no está bien explicada, se sabe que la concentración de iones no es uniforme por toda la estructura de la flama. Hay evidencia de una abundancia de  $H_3O^+$ . Pocos iones quedan más allá de la zona de reacción.

#### Radiación de la flama.

La radiación de una flama de gas pueden ser de origen térmico o de origen quimioluminiscente.

La porción de radiación térmica obedece las leyes de Planck y de Kirchhoff de la radiación. La quimioluminiscencia no es una manifestación de la temperatura para un material señalado. Ejemplos de este fenómeno son la flama de vapor de Fósforo, la flama altamente atenuada de metales alcalinos y Halógenos, Disulfuro de Carbono con Oxido nitroso y Oxido Nítrico, y combustión de Monóxido de Carbono de baja presión. El cono interior de la flama Bunsen emite bandas OH, CH, y CC.

La aureola y el cono externo emiten únicamente bandas OH. Aparentemente hay esencialmente radiación térmica en el cono externo de una flama de quemador Bunsen.

La radiación en una flama luminosa es mayor que la proveniente de una flama no luminosa aún cuando tienen la misma temperatura. En ensayos hechos con gas natural, fueron obtenidos valores tan altos como 95% de radiación de cuerpo negro, bajo condiciones que fueron favorables al cracking del Metano, pero con quemadores ordinarios, el 50% fué apenas excedido en el punto más alto en luminiscencia. Flama luminosa es producida cuando el gas es quemado en una deficiencia de aire.

Flama<sup>/no</sup> luminosa es producida quemando gases que no contienen Hidrocarburos o gases Hidrocarbonados con un exceso de aire.

En la flama luminosa se liberan partículas de Carbón produciendo la luminosidad.

1 f) TEMPERATURA DE IGNICION.- La temperatura de ignición puede ser definida como la más baja temperatura en la cual es generado calor por combustión en una forma rápida, en tal magnitud que el calor perdido en los alrededores es menor que el calor generado, y por lo tanto la combustión se propaga. Abajo de esta temperatura la mezcla de gas/aire no se quemará libre y continuamente, pero la reacción química entre gas/aire puede llegar a suceder.

La temperatura de ignición esta afectada por varios factores en diferentes grados. Por lo tanto no puede considerarse como una propiedad fija del gas.

No obstante, la temperatura de ignición es una propiedad importante de un combustible en un proceso junto con los límites de flamabilidad, proveen una medida de la tendencia de objetos calientes de iniciar la ignición de

TABLA 3.- COMPARACION DE TEMPERATURAS DE ENCENDIDO DE VARIOS GASES EN AIRE Y OXIGENO.

Gas	En Aire		En oxígeno	
	°F	°C	°F	°C
Monóxido de Carbono	1191-1216	544-658	1179-1216	637-658
Metano	1301	705	Ver Tabla 4	
Etano	968-1166	520-628	968-1166	520-628
Iso Butano	864	462		
Propano	871	466	914-1058	490-624
Acetileno	763-824	406-440	781-824	416-440
n Butano	761	405		

TABLA 4.- TEMPERATURAS DE ENCENDIDO DEL METANO PARA VARIAS MEZCLAS AIRE-GAS CON Y SIN ENRIQUECIMIENTO DE OXIGENO.

Aire Estequiométrico usado sin tomar en cuenta el O <sub>2</sub> contenido en el aire. %.	O <sub>2</sub> en el aire de combustión. %	$\frac{\text{Pie}^3 \text{ aire}}{\text{Pie}^3 \text{ gas.}}$	Composición de la mezcla - -		Temperatura de encendido	
			CH <sub>4</sub> %	aire %	°F	°C.
80	15	10.67	8.5	91.5	1364	740
(n=0.8) donde - n= fracción de- aire estequiomé- trico.	18	8.9	10.0	90.0	1342	728
	21	7.62	11.6	88.4	1323	718
	25	6.40	13.5	86.5	1306	706
	35	4.57	18.0	82.0	1274	690
100	15	13.34	7.0	93.0	1328	720
(n = 1.00)	18	11.12	8.4	91.6	1314	712
	21	9.52	9.5	90.5	1301	705
	25	8.00	11.1	88.9	1288	697
	35	5.71	15.0	85.0	1210	682
110	21	10.47	9.0	91.0	1297	702
(n = 1.1)	25	8.00	11.0	88.9	1288	697
	35	6.26	13.7	86.3	1245	673
120	21	11.40	9.0	92.0	1288	697
(n = 1.2)	25	9.60	9.5	90.5	1272	695
	35	6.85	12.8	87.2	1231	666

de un gas, así nos proporciona una base para consideraciones de seguridad técnica. Los datos señalados en las tablas 3 y 4 son válidos también en estudios termodinámicos.

Atmósferas enriquecidas con Oxígeno son ampliamente usados en la industria particularmente en plantas de acero.

En gases donde se encuentran presentes elementos mezclados, bajan su temperatura de ignición. Los Hidrocarburos de mayor peso molecular, en gas natural, bajan su temperatura de ignición ligeramente.

$C_2H_2$ en $CH_4 - C_2H_6$ (mezcla)	20%	40%	60%	80%
Temp.de ignición °F	2070	1930	1830	1780

Los gases inertes elevan la temperatura de ignición.

Una comparación de la temperatura de ignición de metano y de gas natural.

Gas en aire %	4	6	8	10	12	14
Para Metano °F	1179	1175	1188	1198	1218	1238
Para Natural °F	1152	1134	1132	1134	1135	1143

Los factores que influyen en la temperatura de ignición incluyen: Uniformidad de la mezcla aire/gas, concentración de Oxígeno, velocidad, presión, materiales englobando la mezcla, materiales catalíticos, tiempo de ignición inducida, condiciones de superficie, volúmen del recipiente, efectos de la ley de flujo de fluidos, capacidades caloríficas, fuentes de ignición y gradiente de temperatura. Especialmente importante es el método de ensayo usado para determinar la temperatura de ignición. Hay tres métodos.

1.- Súbito (Repentino) pero uniforme calentamiento de la mezcla aire/gas por compresión adiabática u ondas de choque.

2.- Contacto con superficies calientes bajo varias condiciones. (Flujo a lo largo de la pared de un tubo caliente, cuerpos calientes introducidos en el recipiente, etc.)

TABLA 5.- LIMITES DE FLAMABILIDAD DE VAROS GASES.

Substancia	Pie <sup>3</sup> por Pie <sup>3</sup> - lb por lb de de combustible requerido para la combustión.		lb por lb de combustible requerido pa- ra la combustión.		límites de flamabilidad % de gas en- aire.	
	Oxígeno	Aire	Oxigeno	Aire	Inf.	Sup.
Monóxido de Carbono	0.5	2.38	0.571	2.46	12.5	74
Hidrógeno	0.5	2.38	7.95	34.26	4.0	75.0
Metano	2.0	9.52	4.05	17.19	5.0	15.0
Etano	3.5	16.67	3.68	15.89	3.0	12.5
Propano	5.0	23.82	3.53	15.24	2.1	10.1
n Butano	6.5	30.96	3.47	14.98	1.86	8.41
Iso Butano	6.5	30.96	3.47	14.98	1.80	8.44
n Pentano	8.0	38.11	3.55	15.32	1.40	7.80
Iso Pentano	8.0	38.11	3.55	15.32	1.32	
Etileno	3.0	14.29	3.41	14.67	2.75	23.6
Propileno	4.5	21.43	3.43	14.68	2.00	11.1
Benceno	7.5	35.73	3.08	13.27	1.35	6.75
Tolueno	9.0	42.87	3.13	13.50	1.27	6.75
Xileno	10.5	50.02	3.17	13.06	1.0	6.0
Acetileno	2.5	11.91	3.03	13.07	2.5	81

3.- Pre calentamiento del material combustible bajo prueba e introducción en aire pre calentado.

Los datos en las tablas 3 y 4, fueron obtenidos por métodos termodinámicos, proporcionando información consistente para la variación de los parámetros mostrados.

LIMITES DE FLAMABILIDAD.- El término límites de flamabilidad, límite explosivo, límites de inflamabilidad, y límites de inflamación, significa lo mismo. Una distinción entre explosión y flamabilidad. En un caso se desarrolla una presión y en otro caso esto no es válido. La violencia y presión desarrolladas por una mezcla flamable depende de la cercanía y dirección de la propagación de la flama.

Una mezcla flamable, es una mezcla de gases a través de la cual la flama puede propagarse. La flama es iniciada en la mezcla por medio de una fuente externa. Los límites de flamabilidad pueden ser definidos como la composición límite de una mezcla combustible gas/aire, bajo la cual la mezcla no iniciará su combustión.

El límite bajo representa la más pequeña proporción de el gas. cuando mezclado con aire, se quemará sin la continua aplicación de calor de una fuente externa.

El límite alto, representa la mayor cantidad de gas que actúa como diluyente y la combustión no puede ser propagada. Los límites de flamabilidad de varios gases están dados en el Tabla 5.

#### CLASIFICACION DE QUEMADORES.

- A) Quemadores de Gas.
  - 1) Quemadores Abiertos.
  - 2.) Quemadores Sellados.
  - 3) Mezcladores y Métodos de Mezclado.

B) Quemadores de Combustible Líquido.

1) Atomización por Presión.

2) Rotatorios.

C) Quemadores Dúales.

1 g) QUEMADORES DE GAS.- Los quemadores de gas tienen una serie de tipos diferentes lo que los hace tener la variedad de usos más extensa. A continuación se tiene una clasificación más detallada de estos:

1.- Quemadores abiertos o Atmosféricos.

a) Quemador tipo anillo.- Es un quemador circular con perforaciones que opera con gas a baja presión, al igual que este se puede tener un quemador con la forma de rueda o en "U". Tienen pobre retención de flama.

b) Quemadores de una sola boquilla.- Estos quemadores son como su nombre lo indica, de un sólo orificio central rodeado de un anillo encendido. Generalmente tienen una gran capacidad con relación a su tamaño y se alimentan por medio de mezcladores atmosféricos o proporcionales.

c) Quemadores de puerto múltiple.- Estos quemadores son tipo tubulares que tiene un determinado número de orificios o bien, tienen montadas pequeñas boquillas en un tubo. La mezcla se suministra por medio de un mezclador venturi de baja presión con suficiente distancia entre el orificio y el primer puerto. Como limitación estos quemadores no deben exceder de una longitud mayor de 1,80 mts. y también tienen una pobre retención de flama en los puertos.

d) Quemadores lineales.- Este tipo de quemadores produce una línea de flama en toda la longitud del quemador. Un sin número de configuraciones pueden hacerse por medio de codos "T" y cruces que son las formas que pueden tener estos quemadores y además son fáciles de unir.

e) Quemadores tipo listón.- Estos quemadores son similares a los lineales

con excepción de que la flama obtenida es más uniforme y esta se logra por medio de unas tiras o cintas instaladas en tubos o en el cuerpo del quemador.

f) Quemadores Infrarojos.- También llamados generadores de infrarojos. Consisten de orlas radiantes generalmente planas pero en algunos casos se fabrican en forma de cúpula. Para tener la superficie radiante la mezcla aire/gases forzada a través de una placa porosa o perforada y se quema sobre la superficie de dicha placa porosa arriba de la cual se encuentra otra segunda placa o mampara difusora que sirve para retener la flama. La primera placa es de cerámica y la segunda de acero inoxidable altamente resistente al calor o inconel.

g) Quemadores de puerto abierto.- Es una variante de los quemadores de boquilla sencilla, sólo que incorpora un block de combustión con adaptación para piloto y detector de flama. Aún cuando tienen block de combustión no se consideran quemadores sellados ya que tienen aberturas para el aire secundario que puede ser regulado. La mezcla se proporciona por medio de un vénturi (con gas a baja o alta presión) o un mezclador proporcional.

## 2.- Quemadores sellados.

Reciben este nombre debido a que se instalan en la pared del horno y no hay aberturas para el aire secundario. Por lo tanto, todo el aire para la combustión se debe proporcionar por medio de un ventilador. Operan en un rango cercano a la relación estequiométrica. Se fabrican en varios tamaños y arreglos para dar la gran variedad de características y formas de flama que se desee según la aplicación.

La mayoría de estos quemadores pueden ser considerados como quemadores tipo tunel, ya que una boquilla suministra la mezcla a un tunel de com-

bustión donde esta se lleva a cabo. El tunel, por lo general, diverge desde la boquilla para permitir la expansión de la mezcla a medida que se quema y forma un **espacio encerrado** para completar la combustión sin dilución de los gases del horno o demasiada pérdida de temperatura por radiación de la flama.

La mayoría de los túneles consisten de material refractario el cual acelera la combustión, ya que permite el desarrollo de temperaturas <sup>muy</sup> elevadas. Como los gases de chimenea salen a gran velocidad, esto produce una turbulencia dentro del horno dando por resultado una gran uniformidad de temperatura. Variando el método y localización de mezclado, así como la velocidad de la boquilla, se logran diversas formas de flama.

Los quemadores industriales de gas pueden clasificarse como de premezclado, mezclado en boquilla o quemadores de flama larga, de acuerdo a la posición y forma en la cual el gas y el aire primario se juntan.

#### QUEMADORES DE PREMEZCLA.

En este tipo de quemador el aire primario y el gas se mezclan en un punto anterior al puerto del quemador. Este mezclado puede llevarse a cabo mediante el uso de un mezclador, un mezclador por succión o un ventilador mezclador. Cuando se usan premezcladores el quemador propiamente sólo sirve como sostén de la flama manteniéndola en una posición deseada. Teóricamente si la velocidad de mezclado es igual a la velocidad de la flama, se mantendrá estacionaria en cualquier punto en el cual se aplique la ignición. Actualmente, sin embargo, una boquilla relativamente fría (puerto del quemador) es necesaria para servir como estabilizador de flama. Esta tiende a frenar a la flama si avanza demasiado lejos dentro del puerto debido a una fluctuación momentánea en

la velocidad de la mezcla.

#### QUEMADORES DE PUERTO PEQUEÑO O DE MANIFOLD.

Una gran variedad de quemadores pueden ser usados en conjunto con premezcladores. Uno de los más comunes de estos consiste en un manifold (múltiple), conteniendo una serie de puertos (boquillas) pequeños. La mayoría de los quemadores domésticos son de este tipo. Este quemador es generalmente silencioso. Si la flama en una parte del quemador se vuela o se apaga, la flama de la otra parte puede actuar como piloto para reencenderlo si los puertos están cercanos. Debido a esta estructura física, sin embargo, este tipo de quemador no permite grandes cantidades de desprendimiento de calor en áreas pequeñas (áreas confinadas), que es una gran desventaja ya que limita grandemente la temperatura a la cual se puedan o deban calentar los objetos.

El uso industrial de este tipo de quemador está limitado a aplicaciones de baja temperatura tales como calentamiento de un cuarto, hornos de calentamiento de barniz y pintura, hornos de secado, hornos de cocimiento, etc.

#### QUEMADORES DE PUERTO GRANDE O DE ALTA PRESION.

Este tipo permite una alta cantidad de desprendimiento de calor en espacios relativamente pequeños. En este tipo se incluyen una multitud de diseños para aplicaciones especiales y específicas; pero generalmente se caracterizan por tener un sólo puerto o boquilla que produce una flama corta intensa, realizándose la mayor parte de la combustión en el cono del block de combustión (tile). Se instalan generalmente con mezclador separado para cada boquilla aunque varios quemadores pueden ser alimentados por un sólo mezclador con el manifold adecuado.

Los quemadores de este tipo pueden ser sellados o abiertos. Cuando son sellados y se usan con un block de combustión, generalmente se refieren o son conocidos como quemadores de tunel. Un aditamento especial para retención -

de flama que generalmente se añade a este tipo de quemadores consiste en una serie de pequeños puertos de paso rodeando la boquilla principal. Como estos pequeños puertos tiene una mayor resistencia al paso del flujo que el puerto principal la velocidad a través de ellos es menor y consecuentemente la tendencia de la flama a desprenderse de estos pequeños puertos - practicamente es nula. Si la flama principal se desprendiera, la flama de los pequeños puertos actua como piloto para reencenderla. Los quemadores con estos puertos de paso son conocidos como quemadores de retención de flama. Una característica importante de ellos es que tiene la misma configuración e intensidad que la flama de premezclado, pero sin el peligro del regreso de flama (flash-back).

Los quemadores de puerto largo se usan en una gran variedad de procesos industriales, incluyendo hornos de porcelana, refractarios y ladrillos. También tratamientos térmicos forja calentamiento de billetes, fundido y revenido.

Los tipos de flama se clasifican generalmente como sigue:

- A) Corta, no luminosa.
- B) Larga, semiluminosa.
- C) Larga, altamente luminosa.

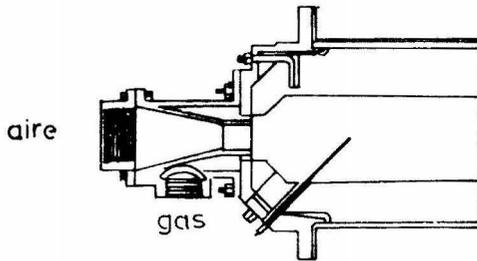
A) Quemadores de flama corta no luminosa.- Al mejorar la mezcla de aire y gas suministrado y amumentar la turbulencia en el tunel de combustión, se obtendrá una flama muy corta y de elevada temperatura. Altas presiones de mezcla aceleran este proceso y a menos que el calor se disipe rapidamente es necesario refractario de alta temperatura para el tunel de combustión. Los quemadores de flama corta no luminosa pueden ser del tipo premezcla o de mezclado en boquilla. El tipo de premezcla puede utilizar un dispositivo de mezclado alejado del quemador.

Otra forma de mezclado se puede obtener ya sea por mezclador de chorro de gas o mezclador de chorro de aire incorporado en el mismo quemador. Tal arreglo proporciona un sistema de combustión compacto el cual opera con una pérdida mínima de presión velocidad en la corriente de aire o mezcla. La combinación quemador-mezclador nos dá un medio de ajuste de la relación aire-gas, según los requerimientos de cada parte del horno y de operación de varios quemadores a través de una válvula que varía el gas o el aire. En hornos pequeños es más conveniente operar quemadores de premezcla por un dispositivo de mezclado separado ya que un simple ajuste en el mezclador controla todos los quemadores del horno.

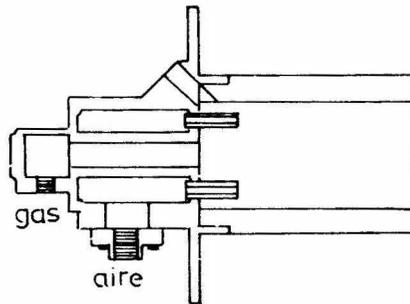
B) Quemadores de flama semiluminosa.- Con un quemador de mezclado en boquilla y presiones de gas y aire relativamente bajas que produzcan velocidades de salidas bajas al tunel de combustión, el resultado es una flama alargada y con evidencia de combustión incompleta tal flama es caracterizada como semiluminosa y tiende a radiar calor sobre una longitud considerable pero, debido a que es mayormente no luminosa, transmite más calor por convección que por radiación.

C) Quemadores de flama luminosa.- Son quemadores de mezclado en boquilla y como su nombre lo indica, el gas y el aire no se mezclan sino hasta que salen del puerto. Los dos fluidos se mantienen separados dentro del mismo quemador, pero los orificios de la boquilla se diseñan de modo que proporcionen un rápido mezclado de los fluidos cuando salgan de esta. Estos quemadores operan en el rango del flujo laminar en el tunel de combustión como dentro del horno, logrando flamas altamente luminosas y largas (hasta de 9 m.)

Manteniendo un flujo laminar a través de toda la longitud de la flama, la combustión se lleva a cabo en la interfase de las corrientes de gas y aire.



Quemador de Flama  
Semiluminosa



Quemador de Mezclado en  
Boquilla.  
Flama Luminosa.

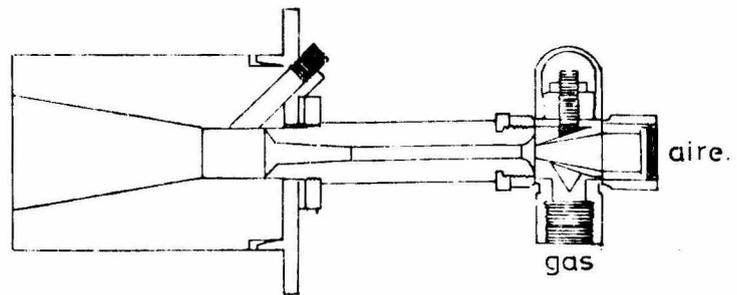
Como resultado del rompimiento de los hidrocarburos gaseosos se libera carbón libre, el cual es rápidamente calentado hasta la incandescencia y forma una masa de flama radiante.

Puesto que la flama es demasiado larga y altamente radiante, la temperatura teórica de flama no es alcanzada; pero un alto porcentaje de la energía de combustión puede ser recuperada en forma de radiación de flama. Este tipo de quemador es particularmente recomendable para hornos grandes o largos donde es deseable una uniformidad de temperatura y no se requieran temperaturas de flama extremas.

D) Quemadores de exceso de aire.- Cualquier desviación de la relación estequiométrica generalmente se origina que la combustión ocurra fuera del tunel o que esta cese. La máxima variación en la cual se mantiene la combustión para la mayoría de los quemadores tipo tunel es del 10% de exceso, ya sea aire o gas. No obstante se han construido quemadores de diseño especial, los cuales mantiene una combustión completa aun cuando se alimente una gran cantidad de exceso de aire al tunel, que diluyan los productos de la combustión y reduzcan su temperatura.

Los productos de combustión de estos quemadores están totalmente libres de gas crudo o aldehidos, los cuales generalmente resultan al extinguir la flama con demasiado aire. En operación este tipo de quemadores se usan para calentar aire a fuego directo en aquellos procesos en los cuales los productos de combustión, en el aire a ser calentado, no contamine el material a ser tratado.

Otro objetivo que se logra con este tipo de quemadores es una alta penetración de los gases de combustión requerida en ciertos tratamientos térmicos. En este tipo de quemadores la alimentación del aire se hace por el centro. Puesto que el flujo de aire es mucho mayor que el flujo de gas, es posible



Quemador de Flama Corta

No Luminosa

diseñar este quemador para que opera con mezclado en boquilla, de modo que el aire introducirá parcialmente el gas, por lo tanto se requiere suministro de gas a baja presión.

La alimentación de aire por el centro concentra a este en un sólo chorro, de modo que produce una flama de alta velocidad hacia adelante, la cual dá la alta penetración en el horno como se mencionó anteriormente. Cabe mencionar que se han diseñado quemadores de exceso de aire a alta velocidad, en los cuales los productos de la combustión salen del quemador a una velocidad hasta de 640 K.P.H.

E) Quemadores de flama plana.- Estos quemadores tipo tunel se construyen de modo tal que los productos de la combustión al dejar el tunel, no viajan hacia adelante, son quemadores de mezclado en boquilla aunque tambien se fabrican del tipo premezcla.

Estos quemadores en realidad calientan su propio block de combustión y la superficie refractaria circundante de las paredes o bóveda del horno por convección de los gases de combustión lanzados oblicuamente a alta velocidad. Luego. estas superficies refractarias calientes radían el calor hacia la carga del horno. Algunos quemadores dirigen el flujo radialmente y otros en espiral.

F) Quemadores de tubo radiante.- Son quemadores de mezclado en boquilla cuyo diseño especial proporciona la combustión completa en tubos largos y de pequeño diámetro y que dan un calentamiento uniforme a lo largo de todo el tubo.

Para obtener tal uniformidad de calentamiento, se prefieren velocidades de gases bajas.

Los tubos radiantes son de aleación<sup>o</sup> de material cerámico; y es muy importante que no haya sobrecalentamiento en ninguna zona del tubo. Esto requiere

re que la flama dentro del tubo libere su calor uniformemente. Una flama de mezclado retardo satisface este requerimiento.

Para evitar una sección fría al principio del tubo, una premezcla parcial se incorpora al quemador. Esto produce una flama azul al principio del tubo, de aproximadamente 30 cm., y posteriormente se desarrolla la flama luminosa.

### 3.- Mezcladores y Métodos de Mezclado.

1.- Introduciendo el aire necesario por medio de la energía cinética de una corriente de gas saliendo de un orificio en un mezclador vénturi.

2.- Introduciendo el gas necesario por medio de la energía cinética de una corriente de aire saliendo de un orificio en un dispositivo mezclador.

3.- Suministrando toda la energía por medio de una bomba, compresor o ventilador, omitiendo completamente la energía cinética del gas y del aire.

4.- Usando la energía cinética tanto del flujo de gas como del aire.

Los mezcladores más comunes son los que usan los métodos 1 y 2 por lo que a continuación se da una descripción de estos:

a) Mezcladores de chorro de gas.- La cantidad de fluido (aire) que puede ser introducido por el chorro de un fluido dado (gas) depende de la presión en el orificio, la eficiencia de entrada en el mezclador y la resistencia en la salida de este. Idealmente, los mezcladores de chorro de gas deben ser diseñados individualmente para cada instalación para asegurar la máxima presión de mezcla.

Practicamente la sección de descarga del mezclador debe concordar con tamaños de tubos comerciales y el diámetro de la garganta puede ser variado ligeramente para cada tamaño de mezclador.

Para mezcladores de baja presión, los cuales generalmente sólo introducen una porción del aire total requerido, el área de la garganta varía del 35% al 50% del área del tubo de descarga. Las gargantas se pueden usar como salgan de la fundición, es decir, sin maquinarse. Para alta presión, en donde los mezcladores se diseñan para introducir todo el aire requerido para la combustión, el área de la garganta varía del 20% al 30% del área de descarga. Para mejores resultados estas gargantas deberán ser cuidadosamente maquinadas y centradas.

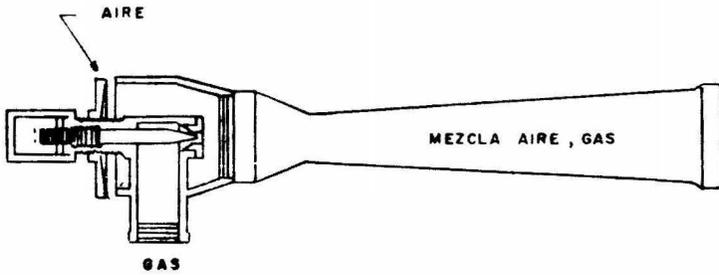
b) Mezcladores de chorro de aire.- Un mezclador proporcional de chorro de aire mantiene la relación deseada aire-gas si el chorro y la garganta del venturi están cuidadosamente maquinados y alineados. El gas entra a la cámara de mezclado a través de un orificio ajustable el cual, después del ajuste deseado, puede ser fijado en esa posición. La presión del gas en el orificio ajustable se mantiene a "presión cero" por medio de un regulador sensitivo (gobernador a cero) el cual reduce la presión de suministro a cero sin importar el flujo de gas.

El flujo de aire al pasar por la garganta restringida, succiona el gas que se encuentra a presión cero por el gobernador. La relación aire-gas deseada se ajusta con el paso del gas y una vez ajustado, la relación se mantiene constante a diversos flujos de aire.

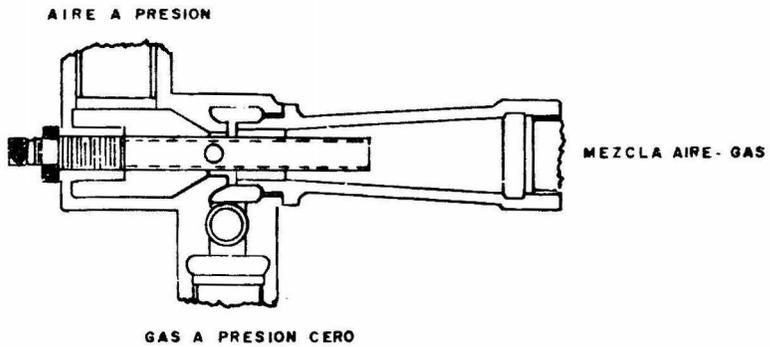
El flujo de aire se controla ya sea manual o automáticamente por medio de una válvula en la línea de esta. Esta válvula es el único control que se debe de operar ya que el gas fluye automáticamente en proporción todas las veces.

Cada aplicación industrial tiene un sistema de mezclado que será el más indicado y el que mayores resultados produzca.

1.- Sistema 1. Alimentación por separado del aire y el gas a la cámara de combustión.



**MEZCLADOR DE CHORRO DE GAS**



**MEZCLADOR DE CHORRO DE AIRE**

La forma de mezclado en este sistema es lenta debido a la forma en que se lleva a cabo, necesitándose para ella una gran area.

Para mantener la relación aire/gas adecuada se utilizan válvulas de control en ambas líneas auxiliándose de mamparas y acoplamiento de válvulas por medios mecánicos.

Cuando se desea alcanzar altas temperaturas por medio de este sistema, es necesario utilizar aire precalentado. Este sistema se utiliza en aquellos procesos en los que se vá a tener una alta temperatura en la cámara del horno que permite mantener encendida la mezcla continuamente.

## 2.-Sistema II.-Mezclado en Boquilla.

A diferencia del sistema I, el mezclado se hace en la boquilla del quemador, de tal manera que se puede introducir cualquier tipo de mezcla a la cámara de combustión.

Tanto en este sistema como en el anterior, se llegan a alcanzar temperaturas de 500° a 1,500°C. con capacidades de  $2 \times 10^6$  Cal/Hr - m<sup>2</sup>.

El control de la relación aire/gas en este sistema se hace por medio de una válvula proporcional en la línea del gas o por acoplamiento el de válvulas en ambas líneas. De esta forma se pueden obtener relaciones estequiométricas, oxidantes o reductoras.

Para este sistema el peligro de retroceso de flama es muy remoto, debido a que la mezcla se hace en la boquilla del quemador y por lo tanto no llega a tenerse una mezcla combustible en ningún punto anterior.

Por el sistema mismo de mezclado se obtienen flamas relativamente largas y oxidantes que permiten utilizarlo en hornos largo y para alta temperatura.

## 3.-Sistema III.-Premezclado Parcial.

En este sistema se mezcla una parte del aire necesario para la combustión con el gas que vá hacia el tunel de combustión. Posteriormente se introdu

ce el aire secundario ya sea por aberturas en el mismo quemador o en el horno. Este aire secundario puede ser regulable o fijo a lo largo de la operación del quemador.

El sistema de premezcla parcial se utiliza principalmente en quemadores abiertos de uno o varios puertos y se utilizan para procesos cuyas temperaturas fluctuen entre 30 y 800°C.

4.-Sistema IV.-Premezcla completa por medio de la energía cinética de uno de los fluídos.

El sistema se basa en el uso de quemadores que requieren que la mezcla suministrada esté cerca o en la relación estequiométrica.

La flexibilidad que ofrece este sistema para controlar la relación aire-gas hace posible obtener un control exacto de la temperatura, por esta razón, es uno de los sistemas más utilizados.

Como ya se dijo anteriormente, este sistema permite tener y controlar atmósferas reductoras y oxidantes según se desee, ya que la relación aire-gas se hace antes de llegar al quemador.

Los dos últimos sistemas permiten obtener velocidades de mezcla de 36,500 a  $10^6$  cm/min. a través de la boquilla. Los márgenes de temperatura fluctúan entre 650° y 1,600°C. con liberaciones de calor de 2,000 a 45,000 cal/hr-m<sup>3</sup> para quemadores abiertos y quemadores tipo tunel respectivamente.

En este sistema lo más importante es tener un control exacto de la temperatura del tunel de combustión, debido a que es ahí en donde se tienen las mezclas combustibles. El control de la temperatura permite evitar el encendido de la mezcla que produciría regresos de flama o explosiones.

5.-Sistema V.-Premezcla completa por medio de mezcladores mecánicos.

Por medio de este sistema se producen y queman mezclas aire-gas a cualquier presión que permiten vencer presiones relativamente altas en la Cá-

mara de combustión. Así también los márgenes de operación son amplios y muy estables.

Las presiones de mezcla que se obtienen por medio de las máquinas mezcladoras mantienen un control exacto de la relación aire/gas en forma independiente del volúmen. La mezcla así obtenida se suministra a varios quemadores sin que por ello se afecte dicha relación.

Por lo anterior, dicho sistema es el más ventajoso sobre todos los anteriores, pues mantiene fijos los márgenes de operación sin necesidad de cerrar uno o varios quemadores.

El sistema de mezcladores mecánicos debe protegese con los aparatos adecuados para evitar regrsos de flama ya que como se mencionó anteriormente, salen mezclas combustibles hacia los quemadores. Estos equipos de protección deben instalarse entre la máquina mezcladora y los quemadores para proteger así el mezclador u otra parte del sistema.

#### 6.-Sistema VI.-Combinación de los sistemas I al V.

En algunos procesos es necesario utilizar una combinación de los sistemas anteriormente enunciados con el fin de conseguir una función adecuada para un proceso especial.

Se puede tener un sistema tal en el que se suministre gas a una máquina mezcladora con parte del aife necesario para la combustión. La mezcla anterior se alimenta a un quemdor de mezclado en boquilla en el cual se suministra el aire necesario para la combustión completa.

De esta forma se puede utilizar en un momento dado diferente tipo de gas, haciendo diversos arreglos para obtener la relación combustible o capacidades diferentes o equivalentes a las que se obtendrían con uno sólo de los sistemas tratados.

1-h) Quemadores de Combustible Líquido.- Los combustibles líquidos deben vaporizarse antes de quemarse. Algunos quemadores de bajas capacidades llevan a cabo esta vaporización en un sólo paso por medio de calentamiento directo del líquido. Tales quemadores son conocidos como quemadores de vaporización. Ejemplos típicos de ellos son la antorcha de soldar, estufas de gasolina, quemadores de petróleo diáfano y rudimentarios quemadores domésticos en donde el combustible se vaporizaba en una placa calentada con lumbre. Sin embargo todos los quemadores industriales de grandes capacidades utilizan dos pasos para obtener el líquido en forma combustible mediante atomización y vaporización. Atomizando primeramente el líquido y de este modo exponiendo una gran superficie formada por el área de millones de pequeñas gotas al aire y al calor, estas se pueden vaporizar a una relación mucho mayor que la que se obtendría con quemadores de vaporización del mismo tamaño. Los requisitos para una buena atomización y vaporización son:

1.-Un gran volumen de aire debe mezclarse íntimamente con las partículas del líquido.

2.-El aire debe ser turbulento para producir una acción rasposa sobre la superficie de las partículas de líquido.

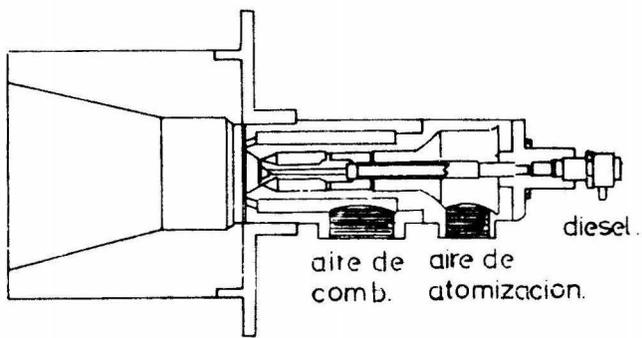
3.- Calor de la flama debe de radiarse hacia el rocío de salida.

Este último requisito es la función del block del quemador.

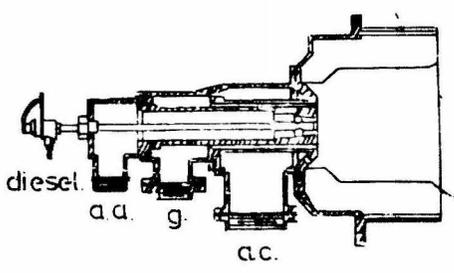
Las funciones 1 y 2 pueden llevarse a cabo con el hecho de que se tenga un flujo de aire a través del líquido con una velocidad alta en relación al líquido, o bien inyectando el líquido sobre aire estable a una velocidad alta con relación al aire. Estas dos funciones pertenecen al quemador de atomización y se tratarán en los siguientes párrafos junto con la clasificación de los diferentes tipos de quemadores con atomizado de combustible.

## 1) QUEMADORES DE ATOMIZACION POR PRESION.

a) Quemadores con atomización de aire a baja presión.- Este tipo de quemadores utilizan una cantidad relativamente grande de aire a 1 o 2 lb/pulg.<sup>2</sup> de presión como medio de atomización del líquido. Una unidad de atomización bien diseñada puede utilizar hasta un 10% del aire total para la atomización. Lo que equivale a unos 150 ft<sup>3</sup> de aire de atomización por cada galón de combustible. Estas cifras sólo son aproximadas y pueden variar considerablemente con el diseño del atomizador y la viscosidad del líquido. Los atomizadores de aire a baja presión por lo regular están diseñados para trabajar con combustibles que tengan una viscosidad hasta de 100 ssu. Se necesita de una bomba para suministrar el combustible al quemador. La presión del combustible en el quemador es generalmente de 1 a 5 lb/pulg.<sup>2</sup> suficiente para un suministro positivo y control del flujo. En la figura (L-1) se ilustra un quemador muy sencillo con atomización de aire a baja presión. Este quemador es económico en su costo y en su instalación ya que tan sólo necesita una sola conexión para aire, asimismo, sólo puede utilizarse en instalaciones controladas manualmente. La cabeza de atomizado (Fig.G-2) está unida a la punta del tubo de combustible que contiene unas plitas o aspas que imparten al aire que pasa a través un giro. Haciendo que el tubo retroceda, alejándose de la boquilla principal, permite que fluya una cierta cantidad adicional de aire que pasa alrededor de la cabeza de atomizado sin una reducción apreciable en la misma cabeza de atomizado. Este flujo adicional de aire permite un incremento en el flujo de combustible para capacidad extra. La capacidad de los quemadores de atomizado a baja presión está generalmente limitada por la cantidad de aire que puede hacerse fluir a través del quemador, más que por la capacidad de flujo del combustible. El avanzar el tubo de combus-



QUEMADOR CON ATOMIZACION DE AIRE A BAJA PRESION.



QUEMADOR DUAL.

tible hacia la boquilla principal del quemador tiene un efecto similar al de el cierre de una válvula de globo al acercar el émbolo hacia el asiento moviendo la cabeza de atomizado tiende a cambiar ligeramente la forma de la flama.

Cuando se tiene control automático en quemadores de combustible líquido, se coloca una válvula de control en la línea del aire para regular la entrada de aire y por lo tanto la alimentación.

Se si colocara una válvula de control en la línea del aire del quemador de la figura (L-1) el flujo de aire a través de la cabeza de atomización se reduciría debido a la menor presión de aire en el quemador y la atomización sería mala a bajas capacidades. Por esta razón los quemadores de combustible líquido que se operan con control automático tiene conexiones separadas para el aire de atomización que no pasan por la válvula de control en la línea principal o de aire de combustión.

La figura (L-2) muestra un típico quemador con aire de atomización a baja presión que pueden operarse automáticamente. Paletas u orificios angulares en el conducto de atomización y/o en el conducto principal incrementa la turbulencia y producen un buen mezclado. Los diferentes grados de giro en las dos corrientes de aire y en el líquido producen una turbulencia posterior. La corriente de aire principal está sujeta a un control regulable y puede cerrarse completamente para trabajar a fuego bajo o arranque. Por lo tanto, la mínima capacidad de operación y el rango de operación están determinadas por el flujo de aire de atomización. La presión del aire de atomización debe permanecer constante en todo el rango de operación.

Este tipo de quemadores probablemente sea el que pueda aplicarse a una mayor variedad de uso que cualquier otro tipo. Algunas de sus ventajas son: no se trabaja con altas presiones; orificios para el aire y el combustible relativamente grandes lo que minimiza el mantenimiento; no hay partes complicadas

o delicadas; operación y control sencillo; flexibilidad a cambios de carga o de combustible; instalación sencilla; no hay partes móviles; brinda una operación económica.

b) Quemadores de atomización con aire a alta presión o vapor.- En este tipo, el vapor o el aire comprimido rompen las gotas de la corriente de combustible impulsándolas hacia el lugar de la combustión. La alta velocidad que tiene las partículas de líquido con relación al aire produce la acción de fricción necesaria para una vaporización rápida. Estos quemadores pueden atomizar combustibles muy pesados, chapopote, alquitrán y algunas breas. Generalmente se usan para incineración de desperdicios líquidos.

Se utiliza vapor de aire comprimido de 5 a 150 lb/pulg<sup>2</sup>. El consumo de vapor puede variar entre 1 1/2 y 5 libras por cada galón de combustible y el aire de 30 a 100 pies cúbicos de aire libre por galón de combustible dependiendo del diseño y tamaño del atomizador y de la viscosidad del combustible.

Para los quemadores de mezclado externo se recomiendan presiones de 5 a 10 lb/pulg<sup>2</sup>. en el quemador, pero para los de tipo de emulsión donde el vapor o aire se mezclan con el combustible dentro de la unidad de presión del líquido debe ser más o menos la misma que la del vapor o aire. La forma delgada y compacta de estos atomizadores los hace fácilmente adaptables para convertir quemadores de gas en quemadores duales que puedan trabajar con combustibles líquidos o gaseosos indistintamente.

c) Quemadores con atomización del combustible a presión.- Este tipo de quemadores también se conocen como quemadores con atomización por presión mecánica.

Cuando un combustible líquido se expande después de pasar por un orificio, tiende a separarse en un rocío de pequeñas gotas. Este, es el principio

que se utiliza en los atomizadores de combustible a presión, que generalmente están diseñados para operar con combustible a 100 lb/pulg<sup>2</sup>. o viscosidades de 100 SSU.

El rango de operación es bajo en este tipo de esperas, limitando su control al del tipo 2 posiciones. Probablemente este tipo de quemadores tiene la inversión y costos de operación más bajos, pero la falta de flexibilidad y los problemas de mantenimiento limitan su uso.

2) Quemadores de atomización centrífuga o rotatorios.- En este tipo de quemadores el combustible se alimenta a través de la flecha, la cual es hueca, del quemador y que está girando a una velocidad constante entre 3400 y 4000 R.P.M. La flecha tiene un atomizador el cual es una capa cilíndrica abierta en el extremo que dá a la cámara de combustión.

El combustible es alimentado a través de un distribuidor en el extremo de la flecha sobre la superficie interna del atomizador.

La fuerza centrífuga, debido a la rotación, obliga al combustible a esparcirse sobre la superficie interna de la copa. La superficie de la copa es gradualmente adelgazada hasta darle filo en su extremo abierto de modo que la película de petróleo viaja hacia adelante. Cuando el combustible alcanza el extremo del atomizador, este es arrojado tangencialmente.

El ventilador del quemador suministra una corriente de aire a presión, el cual fluye a alta velocidad a través de un espacio anular entre el atomizador y la boquilla de aire. Esta corriente de aire golpea el rocío de combustible y lo lleva hacia la cámara de combustión dando longitud y forma al combustible causando un nuevo rompimiento o atomización del combustible.

1 i) Quemadores Duales.- En muchos casos, los cambios periódicos en el suministro de combustible así como el papel que desempeña el precio, hacen justificable el cambiar de combustibles. Los quemadores que son capaces de tra

bajar ya sea con gas o algún combustible líquido son conocidos como quemadores dual o combinados.

Existen tres tipos diferentes de estos quemadores.

- 1.- El tipo diseñado para quemar gas y líquido al mismo tiempo.
- 2.- El tipo dual para quemar gas o líquido, pero no simultáneamente.
- 3.- El tipo combinado, diseñado para quemar gas o líquido o los dos juntos.

Sin embargo, probablemente existan tantos tipos de estos quemadores como combinaciones posibles de los diferentes tipos de quemadores de gas y combustible líquido existan, pero estamos considerando únicamente los más comunes.

a

Los quemadores de combustible líquido con atomización de aire a baja presión son los que más fácilmente se adaptan para trabajar como quemadores duales debido a que el gas puede ser alimentado al quemador a través del conducto del aire de atomización. La forma más sencilla para realizarlo, es colocando una válvula de tres vías en la línea del aire de atomización y conectar el gas a esta válvula. Cuentan por lo tanto estos quemadores con tres conexiones:

- 1.- Aire principal.
- 2.- Aire de atomización o gas.
- 3.- Combustible líquido.

La presión de gas que requieran estos quemadores depende del diseño interno que tengan. Existen algunos quemadores con un dispositivo para recorrer el tubo del líquido con el fin de que cuando este se encuentre retraído, se agrande el paso del gas y por lo tanto el flujo de este sea mayor, permitiéndose así el paso del gas aún a cero de presión.

Un quemador de combustible líquido puede convertirse en quemador dual añadiéndole una cuarta conexión y elaborando puertos para el gas alrededor de

la boquilla de aire del quemador de líquido. En combustibles sellados se puede lograr esto permitiendo el paso del gas a través de una conexión en la placa de montaje del quemador como se muestra en la figura. En quemadores de tipo abierto, para convertirlos en duales (4 conexiones) simplemente se monta un múltiple para el gas perforado con forma de anillo colocando alrededor de la boquilla del combustible líquido del quemador. Sin embargo, este arreglo presenta el problema de que no debe existir presión negativa, en la cámara de combustión y el gas introducirse al cuarto. Esta desventaja se contrarresta si la conexión y el puerto son parte integral del quemador para asegurar la entrada de gas a través del conducto del aire principal, mezclando y descargando con presión positiva en el gas hacia la cámara de combustión.

Un quemador (sellado) de combinación con entradas separadas de aire de atomización y gas se ilustra en la figura.

Estos quemadores deben tener un buen sistema para mezclar el gas con el aire primario con el fin de asegurar una rápida combustión necesario para atomizar el líquido, así como un dispositivo para introducir aire adicional requerido para la combustión.

Como se requiere una flama luminosa, el espacio de combustión debe ser suficiente para evitar que la turbulencia destruya a la flama antes de que la combustión se haya completado.

Para cada 50,000 Btu/hr de calor suministrado se debe tener 1 Ft<sup>3</sup> de espacio de combustión.

Con un galón de aceite No.5 o alguno más pesado y 280000 Btu/hr de gas quemado producen una atmósfera casi óptima de operación.

El incremento de radiación de la flama produce la máxima capacidad de calentamiento a la menor temperatura de operación.

El incremento de radiación de la flama produce la máxima capacidad de calentamiento a la menor temperatura de operación.

El calor generado por la rápida combustión del gas acelera la gasificación, craqueo y combustión del combustible líquido produciendo una flama luminosa y una buena atmósfera de trabajo.

## CAPITULO II.- SISTEMAS DE PROTECCION CONTRA FALLA DE FLAMA.

- 2 a) Funciones desarrolladas por un sistema de control contra falla de flama.
- 2 b) Aplicación de la varilla detectora.
- 2 c) Sistemas de rectificación.
- 2 d) Requerimientos para los sistemas de detección por medio de varilla.
- 2 e) Sistemas de detección óptica.
- 2 f) Fotoceldas de rectificación.
- 2 g) Detectores de radiación infrarroja.
- 2 h) Requerimientos para una buena aplicación de los detectores de radiación infrarroja.
- 2 i) Detectores de radiación ultravioleta.
- 2 j) Requerimiento para una buena aplicación de un detector de radiación ultravioleta.
- 2 k) Chequeo de aplicaciones de detectores ópticos.
- 2 l) Equipo complementario del Sistema de Seguridad.
- 2 m) Sistema de Protección con válvulas macho de cuatro vías.

## SISTEMAS DE PROTECCION CONTRA FALLA DE FLAMA.

En su sentido más amplio podemos decir que son todos los controles asociados con los quemadores y su equipo auxiliar. Este incluye los instrumentos detectores de flama, instrumentos de operación y seguridad usados en el arranque y paro del quemador, válvulas para controlar el flujo de combustible al quemador, relays de secuencia y el equipo auxiliar usado conjuntamente con el sistema de seguridad.

Podríamos definir un sistema de seguridad contra falla - de flama como sigue:

"Es el conjunto de equipo de control usado en un sistema para proporcionar un control seguro de la operación del quemador, según sea requerido por cada aplicación particular".

### 2 a.- FUNCIONES DESARROLLADAS POR UN SISTEMA DE CONTROL CONTRA FALLA DE FLAMA.

1.- Proporciona una seguridad durante el encendido y apagado del quemador, ya sea manual o automáticamente.

2.- Arranca el quemador en la secuencia apropiada, y supervisa la flama durante la operación.

3.- Protege al sistema contra condiciones de excesiva - presión o temperatura.

Además de esto, en sistemas de mayor capacidad efectúa también las siguientes funciones:

1.- Regula la capacidad del quemador.

### TIPOS DE CONTROL.

1.- Controladores.

Estos deberán ser un aparato sensor de la temperatura o presión, diseñado para operar el quemador de manera que este mantenga las condiciones de proceso dentro de los límites pre determinados.

El controlador podrá ser también una estación de botones arrancar-parar, que permita al operador controlar manualmente.

## 2.- Controles límites.

Su función es poner un límite máximo, más allá del cual no es permitido que el quemador opere; estos límites son generalmente de presión y temperatura, aunque en el caso de las calderas por ejemplo, tendríamos un límite de nivel bajo del agua.

## 3.- Burner Controls Interlock. (Controles de bloqueo.)

Estos controles realizan dos funciones primordiales:

a) Prueban que las condiciones para la combustión han sido establecidas y que el quemador está listo para arrancar.

b) Prueban que las condiciones son satisfactorias para que el quemador siga operando.

Estos controles se dividen en:

a) Controles de arranque, los cuales podían ser los controles de presión de combustible y aire, algunos controles eléctricos, controles de temperatura en el precalentador de combustible, control del motor que acciona las compuertas, etc.

b) Controles de operación que serían los controles de tiro, controles de presión de aire y combustible, etc.

Dependiendo de los requerimientos de cada sistema, así como del tamaño del quemador se usarán los controles de blo--

queo que sean necesarios, aunque en sistemas grandes se usan la mayoría de ellos.

#### 4.- Controles de Capacidad.

Estos pueden actuar eléctrica o neumáticamente y su finalidad es controlar la cantidad de aire y combustible que llega al quemador para satisfacer las condiciones de presión o temperatura requeridas por el proceso.

#### 5.- Válvulas para combustible.

Su función principal es la de cortar por completo el suministro de combustible al quemador cuando las condiciones para la operación satisfactoria de éste no sean satisfechas.

Estas válvulas pueden ser de apertura lenta o rápida, sin embargo su acción de cierre debe de ser inmediata una vez que se detecte una falla en la operación.

#### 6.- Controles primarios o programadores.

Este tipo de controles asociados con el detector de flama son el corazón del sistema de control y tienen como función - arrancar al quemador en una secuencia apropiada, detectar que se ha establecido la flama y supervisar esta durante la operación.

Un relevador contra falla de flama ejecuta dos operaciones ligadas entre si, de manera que si la primera no ha sido completada, la segunda no puede iniciarse.

Detectar la presencia de una flama satisfactoria.

Llevar a cabo la secuencia de operación del quemador.

En adición a esto el sistema de control debe de efectuar una tercera función que sería el chequeo de sus propios compo

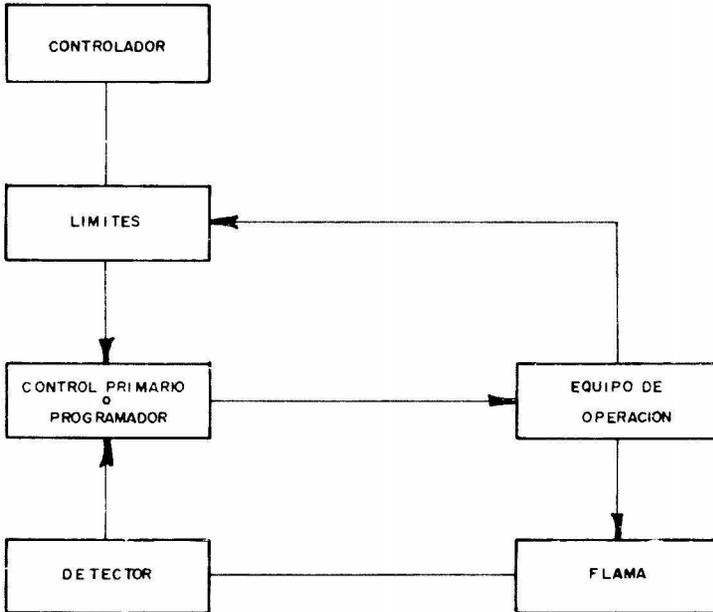
mentes, por esto se entiende que el sistema se chequea asimismo para comprobar que no existan condiciones de inseguridad en cada arranque, o cada vez que el sistema es energizado.

El control primario contiene los relevadores necesarios para arrancar y parar el quemador de acuerdo a las señales enviadas por los controles que intervienen en la operación.

A continuación se presenta un diagrama del sistema contra falla de flama.

SISTEMA DE CONTROL

SISTEMA DE COMBUSTION



Este sistema generalizado es representativo de todos los controles contra falla de flama. La figura hace aparente que el control primario arranca al quemador a una señal del controlador y permite que la operación continúe siempre que lo permitan los controles límites y de bloqueo, y que haya una flama satisfactoria.

La razón por la que necesitamos controles especiales en sistemas de gran capacidad es que debido a la cantidad de combustible que se maneja es necesario una respuesta rápida a una falla de flama, ya que si no, se puede hacer una mezcla explosiva en un lapso de tiempo muy pequeño, y si se tiene después un intento de ignición los resultados pueden ser desastrosos.

En sistemas pequeños el lapso de tiempo no es tan crítico una vez que se ha detectado una falla de flama debido a que es pequeña la cantidad de gas que se maneja.

## 2 b.- APLICACION DE LA VARILLA DETECTORA.

## TIPOS DE SISTEMAS DE DETECCION DE FLAMA.

Los sistemas de detección de flama, han sido desarrollados en la base de alguna de las características de la flama, las cuales pueden ser:

Producción de calor.

Expansión de gases.

Presencia de sub-productos.

Emisión de luz. (Infrarroja o Ultravioleta)

Ionización de la atmósfera alrededor de la  
(flama.

El sistema de detección emite una señal u origina una acción física en la presencia de la característica detectada.

Los detectores para sistemas de poca capacidad usan generalmente la producción de calor como característica a detectar; esto se hace con un elemento bimetálico, un termocople o una termopila; sin embargo estos sistemas tienen un tiempo de respuesta muy largo (3 minutos), como para poder ser aplicado en sistema de mayor capacidad. Este tipo de sistemas necesitan un tiempo de respuesta mucho menor (2 a 4 segundos) y usan como característica a detectar la emisión de luz o la ionización de la flama.

## CARACTERISTICAS DE LA VARILLA DETECTORA.

Los sistemas de detección de flama por medio de varilla detectora presentan cuatro importantes ventajas.

a) Respuesta rápida a una falla de flama; de 2 a 3 segundos.

b) Prueba de la flama en su punto de ignición, por lo tan

to, puede probar que la flama es lo suficientemente larga y fuerte para proseguir la operación.

c) Se prueba así mismo contra fallas en sus propios componentes, es decir, que en caso de una situación anormal, como un circuito abierto, un corto circuito, etc., se simularía una falla de flama y el sistema entraría en seguida.

d) Mayor vida util, ya que la varilla detectora puede soportar temperaturas hasta de 2000 grados, soportando perfectamente la temperatura de flama.

#### 2c.- SISTEMAS DE RECTIFICACION.

Hay dos principios básicos bajo los cuales puede operar un sistema de detección por varilla; la conductividad y la rectificación. Aunque ambos sistemas dependen de las propiedades conductoras de la flama, el primero ha caído en desuso, ya - que se podría presentar el caso de que la corriente fluyera por otro lado que no fuera a través de la flama, lo cual podría ocasionar situaciones muy peligrosas.

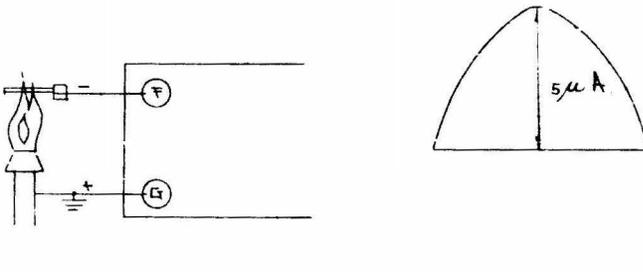
Los sistemas de rectificación también usan dos electrodos, pero con una diferencia importante, uno de los electrodos tiene mucho mayor area que el otro; normalmente el electrodo de tierra será la cabeza del quemador o las paredes del horno.

La diferencia entre las areas de los electrodos dá como consecuencia que diferentes cantidades de corriente fluyan al cambiarse la polaridad de los electrodos.

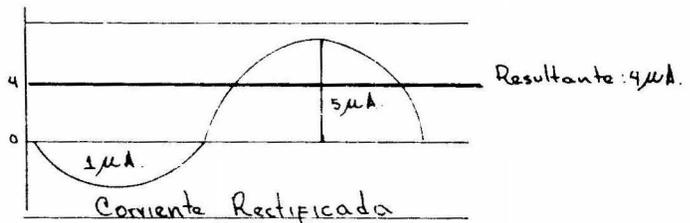
Supongamos que en un momento la varilla está cargada positivamente y el area de tierra negativamente, la corriente sería:



Debido a que el area de la varilla es muy pequeña, se tendrá una corriente de 1 microampere; sin embargo cuando la polaridad cambia se tiene que:



Debido a la mayor area de tierra los electrones que llegan a ella son más lo cual nos dá una corriente de 5 microamperes; la corriente resultante de las dos situaciones será - una corriente directa de 4 microamperes



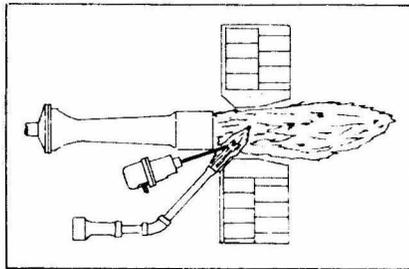
Sólo la presencia de la flama puede dar las características de rectificación, aunque la flama puede ser simulada por medio de un diodo, lo cual se utiliza en la prueba de tableros de control.

2 d) REQUERIMIENTOS PARA LOS SISTEMAS DE DETECCION POR MEDIO DE VARILLA.

a) FLAMA ESTABLE.- Para satisfacer este requerimiento es necesario el uso de un pilo de premezcla, debido a que su flama es fuerte y con una alta velocidad de propagación, lo cual contribue a un buen contacto con el area de la tierra.

La flama debe de ser probada bajo todas las condiciones adversas y asegurarse de que mantiene siempre contacto con la varilla detectora; si la flama del piloto no hace contacto con la varilla durante un tiempo mayor al de respuesta del control, la presión deberá de ser incrementada, o se deberá tener una flama lo más azul posible.

A continuación se ilustran las posiciones que deberá tener el piloto para lograr un buen encendido, en diferentes sistemas, además se nota la varilla detectora siempre en contacto con la flama.



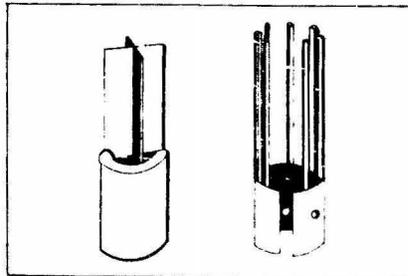
Otra consideración que debe ser tomada en cuenta es que el piloto debe de trabajar en dirección al tiro sin que este desprenda la flama de la boquilla. El piloto nunca deberá - ser instalado de manera que esté en contacto con la varilla detectora y no intersekte la flama principal, ya que esto - causaría una situación peligrosa.

El piloto además deberá ser localizado abajo del quemador en un lugar accesible y protegido de altas temperaturas, ya que esto produciría que el aire se calentara produciendo un cambio en las características de la flama.

b) PROPORCIONAR UN AREA DE TIERRA ADECUADA.

El area de tierra es cualquier material en contacto con la flama que pueda llevar la corriente a tierra; esta area deberá de ser cuatro veces mayor que el area de la varilla de-- tectora. El metal del quemador o algunas partes de la cámara de combustión, o el refractario caliente pueden ser areas de tierra, por lo cual la varilla detectora no deberá estar en contacto con ninguna de estas partes.

A continuación se ilustran los medios más comunes para proveer al piloto de una adecuada area de tierra.



Estas areas de tierra deberán estar conectadas al area del quemador.

#### CARACTERISTICAS DE LAS AREAS DE TIERRA.

Cuando se usan areas planas para conectar a tierra, se presenta el fenómeno que aunque el area de tierra se encuentre totalmente sumergida en la flama, sólomente una parte de esta efectua su función debido a una pequeña membrana de gas no quemado que la cubre. Este fenómeno es menos frecuente cuando el area de tierra es a base de varillas. Además estas areas de tierra son más flexibles que las planas debido a que se pueden colocar en la forma y el número posible que tengamos una area de tierra suficiente durante toda la operación.

La mejor manera de probar que una area de tierra es adecuada es midiendo la corriente con un amperímetro conectado en serie con la varilla detectora, la cual deberá ser de 2 microamperes como mínimo. Si esta corriente no es detectada lo primero que deberá ser revisado será el area de tierra.

#### REQUERIMIENTOS PARA UNA BUENA LOCALIZACION DE LA VARILLA DETECTORA.

La localización de la varilla detectora deberá satisfacer las siguientes condiciones:

1.-La varilla detectora deberá siempre estar en contacto con la flama.

2.-La varilla detectora no deberá de detectar la flama del piloto si esta no es lo suficientemente fuerte como para encender el quemador.

3.-La localización deberá ser tal que elimine la posibili-

dad de un cambio que pueda crear una situación de peligro.

## 2 e) SISTEMAS DE DETECCION OPTICA.

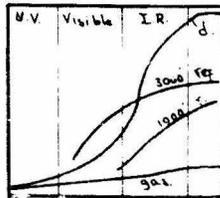
Todas las flamas irradian energía en forma de ondas que producen luz y calor; el ojo humano solo puede ver parte de esas ondas que caen dentro de la luz visible; sin embargo la mayor parte de la radiación que cae dentro del rango infrarrojo y una parte menor dentro del ultravioleta. Los detectores ópticos se dividen en tres dependiendo el rango donde operen.

Sensores de Luz visible.

Sensores infrarrojos.

Sensores ultravioletas.

A continuación mostramos l-a intensidad de radiación de una flama de gas, una de disel y la de refractario caliente:



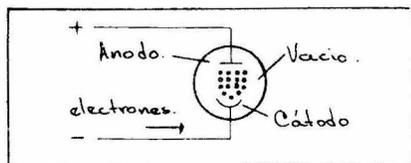
## 2 f) FOTOCELDA DE RECTIFICACION.

En un sistema óptico por rectificación, una corriente alterna es aplicada a las terminales de la fotocelda, sin embargo el circuito amplificador trabaja a base de corriente directa. La función de la fotocelda es la de permitir el paso de la corriente y de convertirla de alterna a directa una vez que la flama haya sido detectada.

### OPERACION DE LA FOTOCELDA.

La fotocelda de rectificación está al alto vacío y pre--

senta las características de un rectificador perfecto:



Fotocelda de Rectificación<sup>P</sup>.

Construcción de la fotocelda de rectificación, cuando el ánodo es positivo y el cátodo negativo la corriente fluye.

El cátodo de la fotocelda está cubierto con óxido de si el cual tiene la propiedad de emitir electrones en presencia de luz.

Cuando una corriente alterna se aplica a la fotocelda y el ánodo está cargado positivamente con respecto al cátodo - los electrones cargados negativamente son atraídos al ánodo teniéndose así un flujo de corriente. La magnitud de esta dependerá de la intensidad de la luz que llegue al cátodo.

Una fracción de segundo después, cuando el flujo de la corriente cambia, el ánodo es negativo y el cátodo positivo. El ánodo que no está cubierto de material activo no puede liberar electrones por lo que se para el flujo de corriente; es de esta forma como la fotocelda convierte la corriente alterna en directa.

#### APLICACIONES DE LA FOTOCELDA DE RECTIFICACION.

Este tipo de fotoceldas se aplican a quemadores de combus

tible líquido, ya que una flama de gas bien ajustada no emite suficiente luz visible.

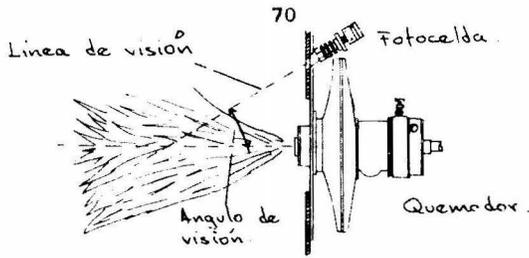
Hay 4 requerimientos básicos para una buena aplicación de una fotocelda de rectificación.

- a) La celda debe tener una buena visión de la flama
- b) La celda debe estar protegida contra la emisión de luz del refractario caliente.
- c) La temperatura en la fotocelda debe ser menor de los 165°F.
- d) Se debe de usar un tipo de alambre adecuado.

#### MONTAJE DE LA FOTOCELDA.

En los quemadores del tipo cañón, la fotocelda es usualmente montada en la parte posterior de la boquilla y los electrodos de ignición; de esta forma la fotocelda es enfriada por el aire que impulsa el ventilador. Si hay excesivo calor en la fotocelda, se deberá de acoplar un filtro, ya que si la temperatura pasa de los 165°F el cátodo se rompe. También es usual acoplar un filtro para restringir la luz visible proveniente del refractario caliente.

Otro método de montar la fotocelda cuando esta no puede ser montada en el quemador, es el de usar un tubo para restringir la visión y evitar calentamientos excesivos. Este tubo debe ser adaptado de manera que la flama caiga dentro del campo de detección de la fotocelda en todas las condiciones. - La fotocelda deberá de estar lo más cerca posible de la flama, consistente esto con la restricción de temperatura.



Quando se usan quemadores con atomización de aire o vapor es recomendable usar dos celdas conectadas en paralelo para supervisar la flama en todas las condiciones posibles.

En aplicaciones donde se tengan altas temperaturas es recomendable tener enfriamiento por ventilación forzada, que además puede ser usada para mantener limpia la fotocelda.

Otra práctica que se deberá tener en cuenta es la de usar orificios para prevenir que la fotocelda detecte el refractario caliente. Una manera de checar esto es calentar el refractario, apagar el quemador y si el sistema no entra en seguridad en cinco o diez segundos, el orificio deberá ser localizado; cuando se hace esto se debe de checar que la corriente que fluye sea por lo menos 2 microamperes, si la fotocelda se encuentra cerca de la flama (30-60 cms.). Para que la fotocelda tenga más vida útil se necesita poner un orificio que limite la corriente a cinco microamperes.

#### 2-g) DETECTORES DE RADIACION INFRARROJA.

Los detectores de infrarrojo pueden ser usados en sistemas de gas, o combustibles líquidos, ya que el 90% de la radiación de una flama es infrarroja.

Debido a esto podemos detectar ya sea una flama muy pobre o una muy rica en radiación.

Uno de los problemas que presente esta aplicación es que el refractario aún cuando está abajo de su temperatura de incandescencia, emite radiación infrarroja, sin embargo, a diferencia de la radiación de la flama, aquella no oscila y se ha usado este principio para lograr que la fotocelda no sea en~~ga~~ñada diseñando circuitos que solo detecten cuando la radiación no oscile.

El material usado en la construcción de las fotoceldas es sulfuro de plomo, cuya resistencia eléctrica se abate cuando se expone a la radiación infrarroja.

Si se aplica un voltaje a través de la fotocelda la corriente sólo fluirá cuando esta se encuentre expuesta a la radiación.

## 2 h) REQUERIMIENTOS PARA UNA BUENA APLICACION DE LOS DETECTORES DE RADIACION INFRARROJA.

I.- La fotocelda deberá tener una buena visión de la flama.

Los detectores infrarrojos son comunmente usados para detectar el piloto y la flama principal, ya sea que esta sea de gas<sup>o</sup> combustible líquido, por lo cual se deberá de tener especial cuidado para que la fotocelda detecte la intersección, - de ambas flamas; es por eso que su area de visión deberá ser restringida para que sólo se detecte al piloto cuando este - tenga una flama suficientemente fuerte como para encender el quemador principal.

El area de visión de la fotocelda depende básicamente de tres factores:

- 1.- El area del orificio enfrente de la fotocelda.
- 2.- La distancia de la fotocelda al orificio.
- 3.- La distancia del orificio a la area donde se desea hacer la detección.

A continuación se presentan tres métodos para reducir el area de visión de la fotocelda. (Ejemplo)

Diámetro del area vista a través del orificio.

Diámetro del orificio.

#### ORIFICIOS.

Tres diámetros de orificios son usados generalmente, 0.05" o.125" y 0.250".

En la siguiente ilustración se toma un ejemplo típico de como el area de visión de la celda es afectada por el uso de un orificio.

#### Diámetro del area vista a través del orificio.

Dist. :	DIAMETRO DEL ORIFICIO (INCHES)								
	0.050			0.125			0.250		
Celda	Distancia del orificio al area de visión.								
y Orif.	12	24	36	12	24	36	12	24	36
2	1.2	2.3	3.4	1.6	3.2	4.6	2.5	4.8	7
3	1	1.5	2.3	1.1	2.1	3.3	1.75	3.2	4.8
4		1.2	1.7	1	1.6	2.4	1.4	2.5	3.5

El tamaño del area de visión a varias distancias deberá

ser determinada de acuerdo a la siguiente tabla:

Diámetro del area vista colocando la celda a dif.dist.de la flama.

Long.del tu bo de unión	Distancia del tubo de unión a la area vista.											
	6	12	18	24	30	36	42	48	54	60	67	72
2	3.5	6.3	9.1	11.9	14.8	17.6	20.4	23.2	26.0	28	32	34.5
3	2.6	4.4	6.3	8.2	10.1	11.9	13	15	18	20	23	23.2
4	2.1	3.5	5	6.3	8	9.1	10.6	12	13	15	16.2	17.6
5	1.8	2.9	4.1	5.2	6.3	7.5	8.6	9.7	10.7	12	13.1	14.2
6	1.6	2.6	3.5	4.4	5.4	6.3	7.3	8.2	9.1	10.1	11.1	11.9

Ejemplo: Si la distancia de la fotocelda a un orificio de 1/4" es de 4" y la del orificio a lugar donde se une la flama es - de 36", el diámetro del area de visión es de 3 1/2".

II.- La fotocelda deberá ser protegida de la excesiva radiación del refractario caliente.

Aunque la fotocelda de sulfuro de plomo no responderá an te la presencia de una radiación estable como la producida - por el refractario caliente, se deberá protegerla, ya que se llegan a presentar los siguientes fenómenos:

a) Bajo ciertas condiciones, como humo o aire en flujo turbulente, la radiación del refractario puede fluctuar. Si estas fluctuaciones ocurren en la frecuencia apropiada, el - control puede entrar en función aunque la flama del quemador se halle apagado.

b) La radiación de refractario puede llegar a ser lo su ficientemente fuerte como para anular la fluctuación de la - flama, haciendo que el sistema entre en seguridad; este fenó meno sería similar al de poner una vela en contra del sol.

Estos dos fenómenos pueden ser controlados haciendo que la fotocelda vea una parte del refractario que:

Sea lo más frío posible.

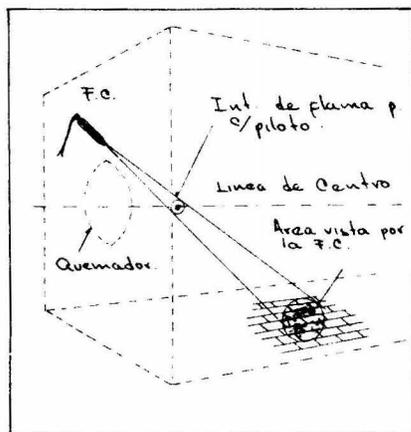
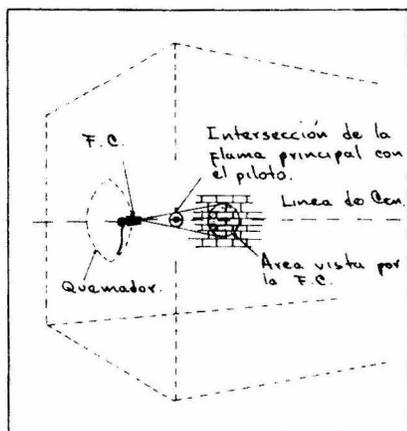
Lo más lejano de la fotocelda.

Sea lo más limitada posible.

Las temperaturas en la cámara de combustión varían con el diseño de esta, pero generalmente la pared final es el - punto más caliente, por lo que es más recomendable apuntar la fotocelda a una de las paredes laterales, o a un punto arriba

del refractario. El piso de la cámara de combustión es también un punto relativamente frío, sin embargo, no es muy recomendable.

A continuación presentamos varias aplicaciones típicas.



### III.- LA FOTOCELDA NO DEBERA SER EXPUESTA A TEMPERATURAS MAYORES DE 150°F.

La sensibilidad del sulfuro de plomo disminuye al aumentar la temperatura. A 150°F la pérdida de sensibilidad es mínima, pero se deberá de tomar esta como temperatura crítica.

Los métodos más comunes para evitar sobre calentamiento son:

a) El tubo de visión no deberá ser introducido a más de la mitad de su longitud dentro del refractario.

b) Se puede usar un niple de 3/4" con una longitud de 6" a 8" entre la fotocelda y el tubo de visión.

Nota: (El uso de un niple más largo reducirá el área de visión del detector).

c) El uso de un block de un material no conductor del calor el cual es instalado entre la fotocelda y el tubo de visión.

d) El uso de enfriadores por convección forzada ya sean a base aire o agua.

#### IV.- SE DEBERA DE SEGUIR LOS METODOS ADECUADOS PARA EL ALAMBRADO.

Un corto en el circuito detector producirá que el control entre en seguridad, ya que el corto ocasiona que una señal estable llegue al circuito de amplificación, el cual necesita una señal intermitente para continuar en operación.

Los efectos de capacitancia entre la conducción de la flama y el alambre de tierra o el conduit, puede causar un deterioro de la señal y por lo tanto el paro.

Cuando se hace la aplicación de un sensor infrarrojo el alambrado es crítico ya que se pueden presentar las siguientes condiciones:

a) Que se produzca un corte intermitente que tenga la misma frecuencia que la flama, lo cual puede ser provocado por la vibración.

Para eliminar la posibilidad de un paro innecesario o la producción de una señal falsa, es importante que:

a) Que el alambre que va a la fotocelda sea lo más corto posible, (máximo 13 metros de distancia entre la fotocelda y el control).

b) Los alambres de la fotocelda deberán ser instalados con conduit, separado de todos los demás alambres; es recomen

dable usar conduit rígido.

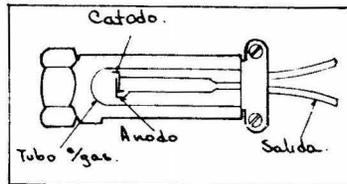
## 2 i) DETECTORES DE RADIACION ULTRAVIOLETA.

### Operación.

Los sistemas de detección ultravioleta depende de la capacidad de respuesta de la fotocelda a la radiación ultravioleta, no siendo afectada por la radiación visible o infrarroja.

La fotocelda consiste de dos electrodos sellados en un envoltorio de cristal de cuarzo, ya que el vidrio normal bloquea la radiación U.V.

A continuación presentamos una representación de las partes básicas de una fotocelda U.V.



Cuando se aplica un voltaje suficientemente alto a través de la fotocelda, y esta es expuesta a la radiación, el cátodo emite electrones, produciendo una ionización del gas, cuando este está ionizado permite el flujo de corriente lo cual hace que la fotocelda pueda ser vista. La apariencia de la fotocelda cuando detecta es generalmente de un color rojizo.

Cuando el tubo o fotocelda conducen, tenemos una abrupta caída de potencial entre los electrodos. Cuando esta caída es lo suficientemente grande, los electrones ya no fluyen del cátodo. La fotocelda vuelve a su situación normal (no ionizada).

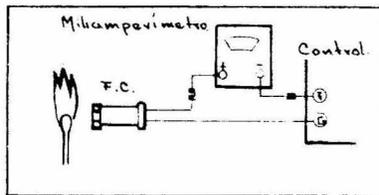
La operación del detector ultravioleta puede ser resumida

como sigue:

"Cada vez que la fotocelda o tubo está expuesta a la radiación, ultravioleta (o a otra radiación de más alta frecuencia que pueda penetrarla), y hay un potencial suficiente entre los electrodos, la fotocelda se vuelve conductiva (ionizada) y no conductiva (no ionizada) en una secuencia alternada".

#### CHEQUEO DE LA OPERACION.

Para checar la operación de un detector ultravioleta se deberá de usra un miliamperímetro que sirvpara detectar el flujo de corriente cuando la fotocelda está "saturada". Se dice que la fotocelda está saturada cuando es expuesta a suficiente radiación ultravioleta, y la ionización esté en su valor máximo.



El detector es energizado por el control primario. Todas las válvulas manuales deberán estar cerradas para prevenir la operación del quemador durante el chequeo.

Una lectura de corriente satisfactoria sería de menos de 12 m.a.; de 8 a 10 m.a. es la lectura más común para un detector que esté en condiciones de operación. Si la lectura excede de 12 m.a., el amplificador deberá ser reemplazado, ya que acorta la vida útil de la fotocelda.

El checar el sistema de esta manera, puede ayudar a deter

minar el problema de una aplicación donde se hallan tenido - problemas con los detectores.

#### RESPUESTA DEL DETECTOR U. V.

Los detectores U.V. responderán a cualquier radiación que sea capaz de penetrar el tubo de cristal, haciendo que la fotocelda se ioniza. El tubo no es sensitivo a la radiación cuya longitud de onda sea mayor a la U.V. (infrarroja y visible). Sin embargo la fotocelda pudiera detectar radiación de alta frecuencia (Rayos X y rayos gama).

Sin embargo el material de que esta construido el tubo - evita que la fotocelda sea penetrada por los rayos X.

A continuación presentamos la siguiente gráfica (% de respuesta vs. longitud de onda), donde se muestra como responde - la fotocelda U.V. a los diferentes tipos de radiación.

#### OTRAS FUENTES DE RADIACION ULTRAVIOLETA QUE PUEDEN AFECTAR A LOS DETECTORES U. V.

Estas fuentes son principalmente:

- a) Refractorio caliente (más de 2500°F)
- b) Arco eléctrico, chispa de ignición.
- c) Lámparas de sol.
- d) Lámparas germicidas.

#### FUENTES DE RAYOS GAMA Y RAYOS X.

- a) Microscopios electrónicos.
- b) Switches de alto voltaje.
- c) Condensadores de alto voltaje.
- d) Radioisotopos.

Se enlistan estas fuentes para enfatizar el hecho de que el detector de ultravioleta puede responder a otra señal que no sea la flama. Excepto en condiciones muy especiales, ninguna de estas fuentes, exepcto el refractario caliente y la -- chispa de ignición, estarán presentes cerca de una cámara de combustión.

El refractario caliente no implica ningún problema en la aplicación de los detectores de U.V., ya que la mayor parte de la radiación emitida es visible e infrarroja. Sólo cuando la temperatura es mayor de 2500°F, el refractario emite suficiente radiación U.V. como para activar el detector; sin embargo, a esta temperatura cualquier tipo de combustible que llegue a la cámara de combustión será encendido por esta.

#### REQUERIMIENTOS PARA UNA BUENA APLICACIÓN DE UN DETECTOR DE RADIACION ULTRAVIOLETA.

El detector deberá tener una visión libre de la flama.

Cuando se aplica un detector de U.V., generalmente se perfora un hoyo en la pared del horno, tratando de que la fotocelda tenga el mejor ángulo de visión posible. El tubo de visión es soldado a la pared del horno, siendo este uno de los pasos más críticos en la instalación, ya que cada aplicación presenta características diferentes; sin embargo, podemos enumerar algunas consideraciones generales que deberán ser tomadas en cuenta siempre que se vaya a hacer una aplicación de un detector de radiación ultravioleta.

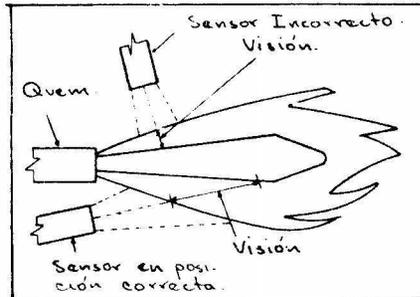
#### ANGULO DE VISION.

El detector deberá ser apuntado al lugar de la flama don



de la radiación sea lo más intensa posible, se ha encontrado que esto sucede en el primer tercio de la flama.

El mejor ángulo de visión de la flama es normalmente - aquel que permite a la fotocelda ver la mayor parte de la longitud de flama que se encuentre dentro del primer tercio de esta.



Como se vé en la figura la fotocelda tiene más campo de visión cuando es apuntada en ángulo que en forma perpendicular; aparte de que cuando existe un ángulo correcto podemos visualizar mejor la flama en cualquier capacidad. Además, la atmósfera en las partes más cerca de la boquilla es más limpia que en cualquier otra parte de la cámara de combustión, - esto nos produce una línea de visión más clara y reducirá las necesidades de mantenimiento.

Tipos de Supervisión.

#### 1.- Flama del piloto.

La línea de visión deberá de ser a lo largo del eje de la flama. se debe de poder detectar la flama mínima que pueda encender el quemador.

## 2.- Flama principal.

La línea de visión deberá cubrir la parte más estable de la flama en cualquier capacidad.

## 3.- Flama del piloto y flama principal.

La línea de visión deberá estar apuntada a la intersección de las dos flamas. La flama más pequeña que pueda ser detectada deberá ser suficiente para encender el quemador principal.

## Efectos de pantalla.

La radiación U.V. de la flama es absorbida por el polvo y la suciedad, vapores de aceite y otros contaminantes. Esta pérdida de la radiación tiene que ser seriamente considerada cuando se hace la aplicación de un detector U.V., dependiendo principalmente del tipo del quemador, su ajuste y tipo de combustible.

Las condiciones ideales para la aplicación de un detector U.V. son con un quemador de gas, trabajado en condiciones estequiométricas, aun si las condiciones de operación no son ideales generalmente no se tienen problemas con los quemadores de gas.

Cuando se aplican detectores U.V. a quemadores de combustibles líquidos, se pueden encontrar problemas debido a los vapores de disel que pueden haber en la cámara sobre todo cuando hay cambios de capacidad. Una solución a este problema sería el aplicar una corriente de aire comprimido a la fotocelda; o agrandar el diámetro del tubo de visión para permitir que mayor radiación alcance al sensor con el quemador tra

bajando a cualquier capacidad.

#### Espejos de Radiación Ultra-Violeta.

En algunas aplicaciones se tendrán problemas de espacio, lo cual podrá ser resuelto por medio de la aplicación de un espejo, el cual puede ser construido de aluminio recubierto con fluoruro de magnesio; otro material será acero inoxidable, el cual tiene el problema de que refleja solo el 50% de la radiación. Se debe tener cuidado de sellar el espejo de manera que no entre polvo ya que como se ha dicho este absorve la radiación.

El detector no deberá ver la chispa de ignición.

La chispa de ignición es otra fuente de radiación U.V., aparte de la flama que es comunmente encontrada en las cámaras de combustión. Si el detector de U.V. está colocado de manera que pueda ver la chispa de ignición, se puede presentar una situación peligrosa ya que el relevador de flama puede ser energizado siempre que haya chispa de ignición sin importar si ya se ha establecido la flama del piloto o la flama principal. Por las razones enunciadas anteriormente.

Para evitar que se detecte la chispa de ignición se deberá hacer:

1.- Usar tubo negro como tubo de visión para prevenir reflejos de radiación U.V. (todos los casos).

2.- Ponga el sensor lo más retirado posible del piloto, de manera que no se detecte la chispa (todas las aplicaciones).

3.- Construya una barrera para bloquear la chispa de ignición (cuando es necesario).

4.- Mueva los electrodos de ignición para que queden tapados por el cuerpo del piloto (cuando sea necesario).

5.- Restrinja la visión del detector por medio del uso de orificios.

El detector debe ser protegido de temperaturas excesivas,

Aunque el detector de U.V. no es tan sensible a altas temperaturas con otros tipos de sensores, se debe tener cuidado de que estas no excedan la temperatura máxima recomendada por el fabricante. En caso de que una aplicación sea crítica, se puede proveer al detector con una corriente de aire comprimido para mantener la temperatura dentro de los rangos de operación.

Se deberán de usar técnicas correctas para el alambrado.

La longitud máxima que pueden tener los cables que van al detector deberá ser determinada por la lectura de corriente.

## 2 K) CHEQUEO DE LAS APLICACIONES DE DETECTORES.

### OPTICOS.

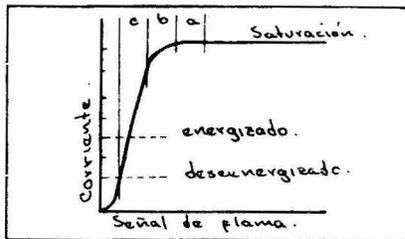
Antes de que la aplicación de un detector óptico esté completa, este deberá ser checado para garantizar que tendremos una aplicación satisfactoria y segura.

Las siguientes pruebas deberán hacerse cuando se aplique un detector óptico.

1.- Chequeo de la corriente de flama (todos los detectores):

El mejor indicador de una buena aplicación de un detector óptico es la corriente que fluye, la señal mínima aceptable dependerá del tipo de detector que se esté usando.

Cuando se vaya a hacer una aplicación, lo primero que tenemos que lograr es una lectura permanente y estable y no una señal de alta intensidad. La razón de esto es fácil de explicar si observamos la siguiente gráfica.



La señal de flama en este caso representa la radiación detectable que siente el detector. Si muy poca radiación llega al sensor, la corriente casi sera igual a cero.

El relevador de flama se energiza en el area (c), cuando la pendiente cambia (b) un cambio en la señal de flama casi no altera el valor de la corriente. Pasando este punto (a) la corriente es esencialmente estable sin importar el aumento en la radiación detectada.

Sin embargo, si las condiciones de la flama cambian debido al tiro o a la relación aire-combustible, o suciedad en el lente, la radiación aería en el rango (b), si estas condiciones se vuelven más críticas, la señal caería en el area

(c) produciéndonos un paro.

2.- Prueba del refractario caliente (fotocelda de rectificación e I.R.)

Esta prueba es efectuada para asegurarse que el detector no seguirá en operación una vez que se ha apagado la flama.

Para hacer este chequeo el refractario se eleva a su máxima temperatura y se corta el combustible al quemador, si el relevador de flama no se desenergiza eso implica que se está detectando el refractario caliente.

3.- Chequeo del Override por el refractario caliente.

Este chequeo se hace con sensores infrarrojos para asegurarse que la fotocelda no está recibiendo un exceso de radiación. Para hacer esto se arranca el quemador hasta que se alcanza la temperatura máxima; si se nota que hay un descenso en la señal, es que el override está presente.

4.- Chequeo de la chispa de ignición.

Este es hecho con los detectores U.V. para asegurarse que la chispa no sea detectada. Esta prueba es hecha cerrando todas las válvulas y observando si se energiza el relevador de flama cuando conectamos el transformador de ignición.

5.- Chequeo durante el apagado del piloto.

Este chequeo se hace con todos los sistemas en los cuales se tenga que probar primero el piloto antes de abrir la válvula principal.

La prueba consiste en probar que el mínimo piloto detectable es capaz de encender el quemador principal. El método a seguir es cerrar la válvula principal y reducir al piloto a

su fuego mínimo donde aún sea detectable y posteriormente se abre la válvula principal y se ve si han encendido, si este se efectua, la aplicación es satisfactoria.

## 2 1.- EQUIPO COMPLEMENTARIO DEL SISTEMA DE SEGURIDAD.

### a) Timer de Purga.

La función de este aparato es dar un tiempo durante el cual estaría trabajando únicamente el ventilador de combustión con el objeto de hacer un barrido de los gases que se encuentran en la cámara de combustión; se considera que con 4 cambios se está dentro de condiciones de seguridad.

### b) Timer de Ignición.

Su función es la de apagar el piloto una vez que la flama principal ha sido establecida, el tiempo que dure el piloto encendido dependerá del tipo de quemadores que se use; siendo de 15 segundos para quemadores de gas y de 30 a 40 segundos para quemadores de combustible líquido.

### c) Límites de temperatura.

Estos pueden ser riegos o indicadores y deberán ser restablecidos manualmente.

### d) Límites de presión.

Estos son usados para mantener la presión tanto del combustible como del aire dentro del rango de presión necesario para un funcionamiento adecuado del quemador.

### e) Switch de flujo de aire.

Este switch es usado cuando se tiene el quemador instalado en ductos y se necesita que haya un flujo de aire para

calentarse ser inyectado a un secador por ejemplo.

f) Switch de presión diferencial.

Este se usa en los quemadores para calentamiento de aire, debido a que se necesita una presión diferencial entre la presión producida por el ventilador de combustión y la presión del ducto.

g) Límites de arranque.

Estos límites tienen una vigencia únicamente durante el arranque y son generalmente para asegurar que una compuerta - está cerrada al arrancar o que una válvula está en la posición antes de empezar el encendido.

2 m.- SISTEMA DE PROTECCION CON VALVULAS MACHO DE CUATRO VIAS.

Para aplicaciones de alta temperatura con varios quemadores, donde un control contra falla de flama no es necesario, se recomienda usar un sistema F.M., el cual se describe a continuación, siendo la secuencia de operación como sigue:

(Ver diagrama adjunto).

- 1.- El operador deberá cerrar todas las válvulas F.M.
- 2.- El motor del ventilador de combustión deberá ser arrancado.
- 3.- Todos los límites de arranque deberán estar satisfechos.
- 4.- El switch de presión de aire # 1 se cerrará comprobándose así el funcionamiento adecuado del ventilador de combustión.
- 5.- El switch de presión # 2 se cerrará si se tiene una presión adecuada en la línea del piloto, también se probará que las - válvulas F.M. estén cerradas. Se energizará la válvula de los pilotos.

- 6.- El switch de presión # 3 se cerrará si existe una presión adecuada pasando a través de las válvulas F.M. de cuatro vías. Esto también probará que las válvulas F.M. están cerradas.
- 7.- Tan pronto como se cierra el switch número 3, la válvula de restablecimiento manual y el transformador de ignición se energizan.
- 8.- El operador deberá de restablecer manualmente esa válvula; esto permitirá el flujo de gas a la válvula F.M. del piloto a través de la válvula solenoide del piloto, la cual ya fué energizada y también a la válvula motorizada.
- 9.- Se cerrará el switch.
- 10.- El operador deberá abrir la válvula F.M. de la línea del piloto desenergizando el switch # 2, sin embargo, la corriente es sostenida a través del switch número 4
- 11.- Se cerrará el switch número 5.
- 12.- Al cerrarse el switch número 5, se energiza el relevador 2 R, lo cual ocasiona que se energice la válvula motorizada.
- 13.- Al abrirse la válvula motorizada se permitirá el flujo de gas ocasionando el cierre del switch número 6, siempre que la presión del gas sea adecuada.
- 14.- Quince segundos después de energizarse la válvula motorizada, se cerrará un circuito a través del relevador I.R.
- 15.- El relevador I.R. se energiza cerrándose el contacto I.R.
- 16.- El operador deberá abrir la válvula F.M. principal en la línea del gas.
- 17.- El switch número 3 se abrirá, sin embargo, el circuito permanecerá cerrado a través de los switches # 5 y # 6 y a tra

vés del contacto I.R.

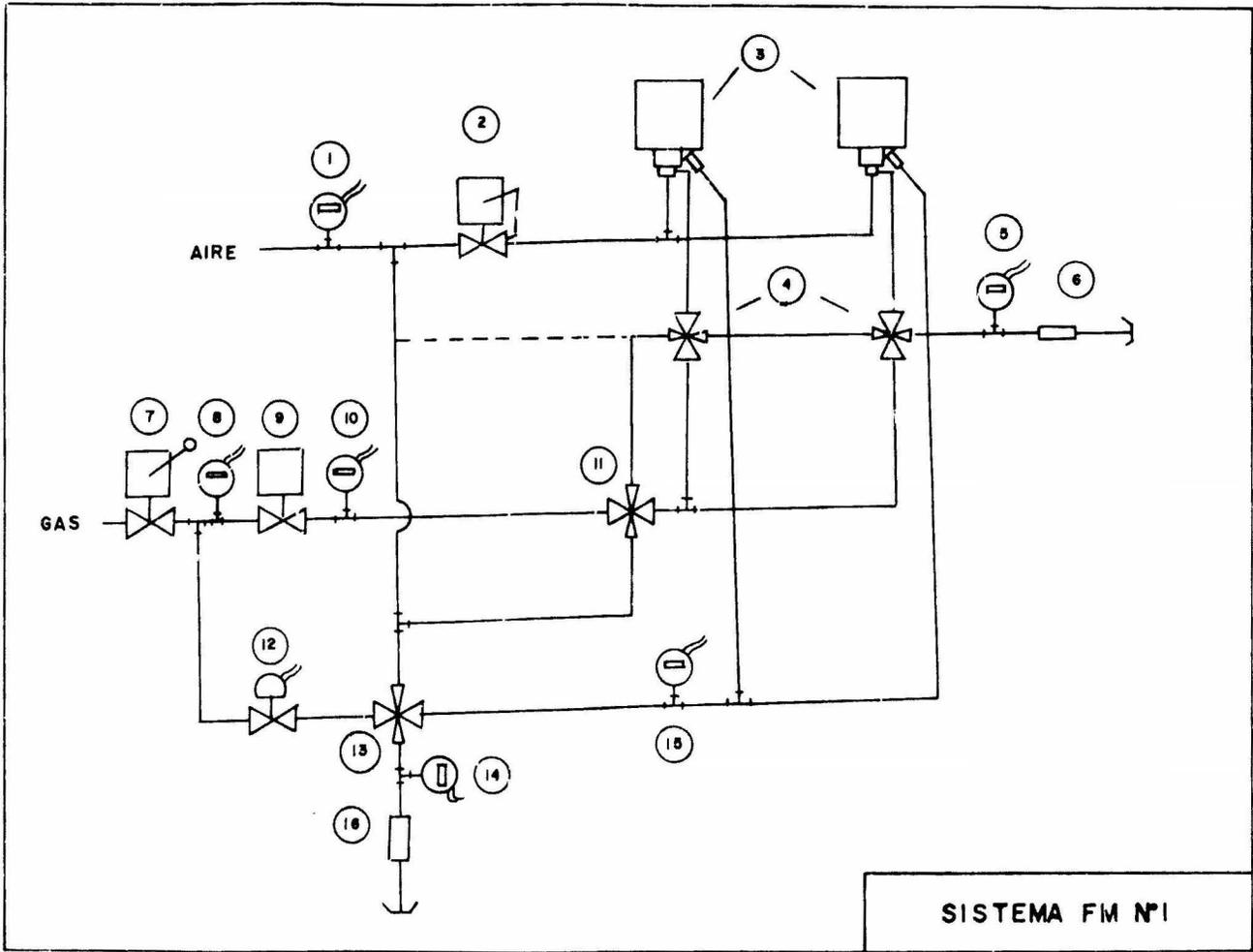
18.- El operador deberá de abrir las válvulas F.M. de cada - quemador en particular.

19.- Tan pronto como las válvulas F.M. son abiertas se establece la flama de cada quemador.

## LISTA DE MATERIALES.

SISTEMA F.M. # 1.  
Diagrama Mecánico.

- 1.- Interruptor de Presión # 1.
- 2.- Válvula de Control.
- 3.- Quemadores.
- 4.- Válvulas F.M. de 4 vías.
- 5.- Interruptor de Presión # 3.
- 6.- Orificio de Sangrado.
- 7.- Válvula de Seguridad de Restablecimiento Manual.
- 8.- Interruptor de Presión # 4.
- 9.- Válvula Motorizada.
- 10.- Interruptor de Presión # 6.
- 11.- Válvula F.M. de 4 Vías Opcional.
- 12.- Válvula Solenoide de los Pilotos.
- 13.- Válvula F.M. de 4 Vías.
- 14.- Interruptores de Presión # 2.
- 15.- Interruptor de Presión # 5.
- 16.- Orificio de Sangrado.



SISTEMA FM Nº1

## LISTA DE MATERIALES.

SISTEMA F.M. # 1.  
Diagrama Eléctrico.

1 y 2.- Límites de Operación.

3.- Interruptor de Presión # 1.

4.- Interruptor de Presión # 2.

5.- Interruptor de Presión # 3.

6.- Interruptor de Presión # 5.

7.- Interruptor de Presión # 6.

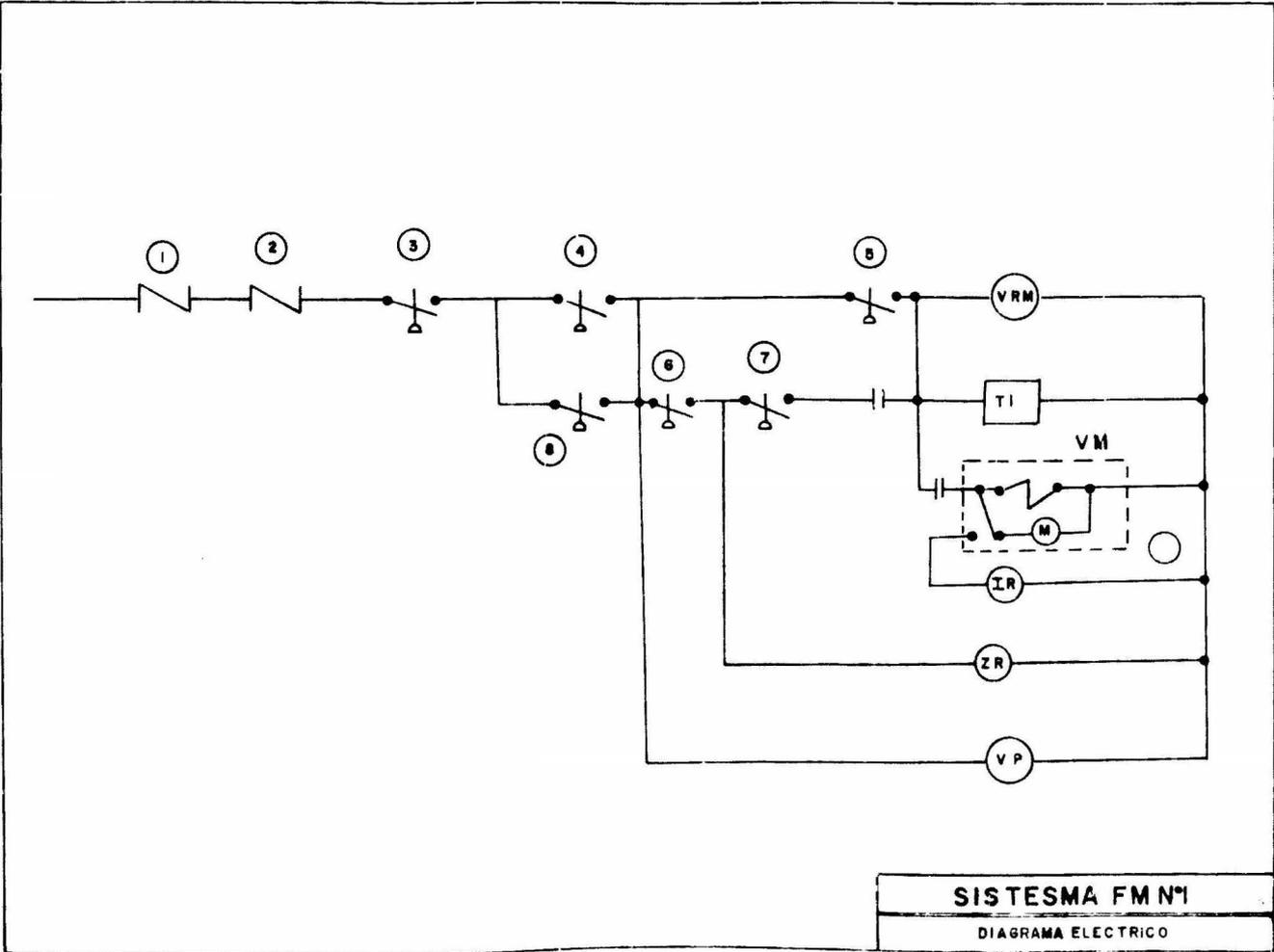
8.-Interruptor de Presión # 4.

V.M. Válvula Motorizada.

T.I. Transformador de Ignición.

V.P. Válvula Solenoide de los Pilotos.

V.R.M. Válvula de Restablecimiento Manual.



**SISTESMA FM N°1**  
DIAGRAMA ELECTRICO

## SISTEMA # 2.

## Secuencia de Operación.

## Circuito No.2.

- 1.- Antes de empezar el arranque, el operador deberá de cerrar todas las válvulas F.M.
- 2.- Se deberá arrancar el motor del turboventilador.
- 3.- Todos los límites de arranque deberán estar satisfechos.
- 4.- El switch de presión # 1 se cerrará, probando que el ventilador está suministrando aire al sistema a la presión adecuada.
- 5.- El switch de presión # 2 se cerrará si se tiene una presión adecuada a través de la válvula F.M. del piloto, esto también probará que dicha válvula está cerrada.
- 6.- El switch # 3 se cerrará si hay una presión adecuada a través de la válvula F.M., principal y las válvulas F.M. para cada quemador, esto también probará que dichas válvulas están cerradas.
- 7.- Tan pronto como los switches # 2 y # 3 se cierran, se energizarán la válvula de restablecimiento manual, el transformador de ignición y la válvula solenoide del piloto.
- 8.- El operador deberá restablecer manualmente la válvula, lo cual permitirá que el gas fluya a la línea del piloto.
- 9.- El switch de presión # 4 se cerrará.
- 10.- El operador deberá abrir la válvula F.M. del circuito - del piloto, abriéndose el switch # 2, sin embargo, el circuito se mantendrá a través del switch # 4.
- 11.- La presión del gas en la línea del piloto ocasionará que

se cierre el switch de presión # 5.

12.- Al cerrarse el switch # 5 se energizará la válvula motorizada.

13.- Quince segundos después de energizada la válvula motorizada cerrará un switch completando un circuito y pudiéndose abrir el switch # 3.

14.- El operador deberá abrir la válvula F.M. principal permitiendo el flujo a las válvulas F.M. de cada quemador y abriéndose el switch de presión # 3, sin embargo, el circuito se sostiene a través del switch # 5.

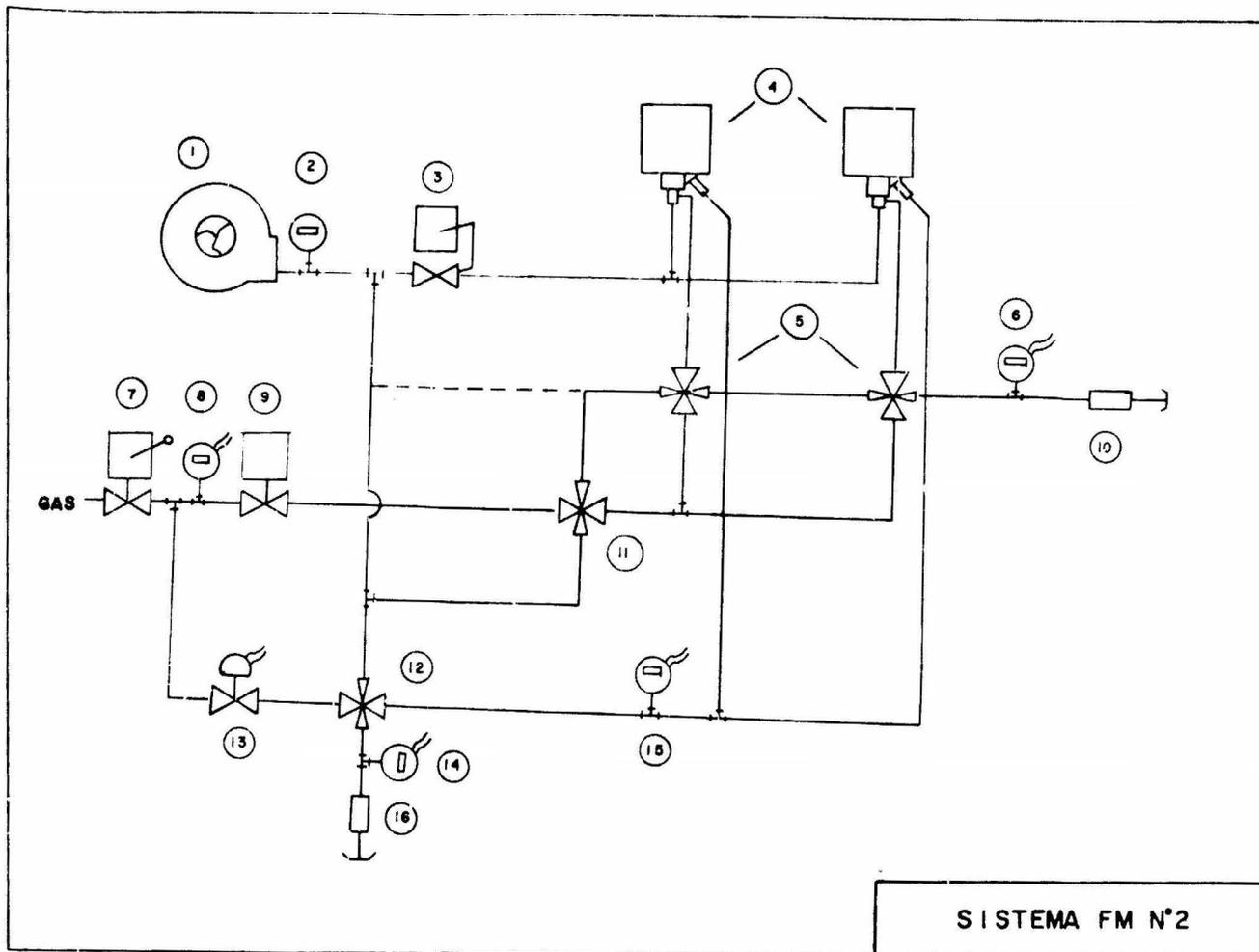
15.- El operador deberá abrir las válvulas F.M. de cada quemador permitiendo el flujo del gas.

16.- Tan pronto como las válvulas F.M. se abran se deberá establecer la flama en cada quemador.

## LISTA DE MATERIALES.

SISTEMA F.M. # 2.  
Diagrama Mecánico.

- 1.- Ventilador.
- 2.- Interruptor de Presión # 1.
- 3.- Válvula de Control.
- 4.- Quemadores.
- 5.- Válvulas F.M. de 4 Vías.
- 6.- Interruptor de Presión # 3.
- 7.- Válvula de Restablecimiento Manual.
- 8.- Interruptor de Presión # 4.
- 9.- Válvula Motorizada.
- 10.- Orificio de Sangrado.
- 11.- Válvula F.M. de 4 Vías.
- 12.- Válvula F.M. de 4 Vías.
- 13.- Válvula Solenoide de los Pilotos.
- 14.- Interruptor de Presión # 2.
- 15.- Interruptor de Presión # 5.
- 16.- Orificio de Sangrado.



SISTEMA FM N°2

LISTA DE MATERIALES

SISTEMA FM # 2.

Diagrama Eléctrico.

1 y 2) Límites de Operación.

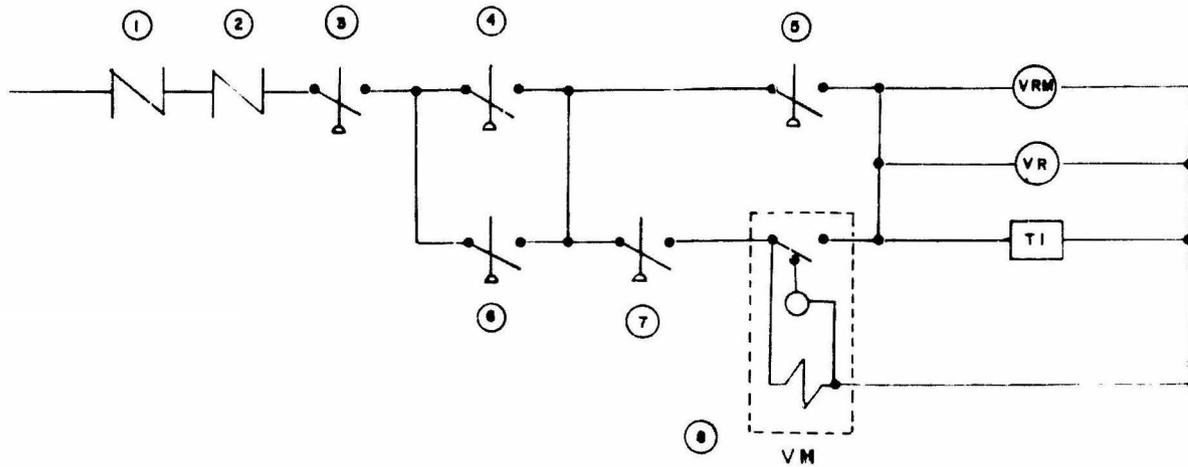
- 3) Interruptor de Presión. # 1.
- 4) Interruptor de Presión. # 2.
- 5) Interruptor de Presión. # 3.
- 6) Interruptor de Presión. # 4.
- 7) Interruptor de Presión. # 5.

V.M.: Válvula Motorizada.

T.I.: Transformador de Ignición.

V.P.: Válvula Solenoide de los Pilotos.

V.R.M.: Válvula de Restablecimiento Manual.



SISTEMA FM N°2

DIAGRAMA ELECTRICO

## CAPITULO III.- SISTEMAS DE CONTROL.

- 3 a) Generalidades.
- 3 b) Termopares.
- 3 c) Aplicación de los termopares.
- 3 d) Tipos de control.
- 3 e) Control dos posiciones.
- 3 f) Control proporcional.
- 3 g) Acción de restablecimiento.
- 3 h) Acción derivativa.
- 3 i) Contribución de las acciones de control a la salida del controlador.

## SISTEMAS DE CONTROL.

3-a) Generalidades.- En los inicios del control de temperatura, sólo los operadores eran capaces de estimar si el proceso de temperatura era el correcto, para sus necesidades particulares, por visión percepción y algunas veces por sonido.

Esos primeros procedimientos de control se han convertido en obsoletos por tres factores principales que son:

- 1.- El desarrollo de instrumentos indicadores y más tarde el control, los cuales han dado a los operadores más información exacta.
- 2.- Una nueva generación de operarios la cual no tiene la destreza del primer grupo o de los primeros, porque ellos no han tenido un aprendizaje equivalente. •
- 3.- La tolerancia crítica requerida por la limitación del rango consumido de algunos de los nuevos diseños.

Historicamente los procesos del control de temperatura, fueron desarrollados a través de varios pasos.

Los primeros instrumentos indicadores abastecían al operador con información, la cual lo capacitaba para aumentar, disminuir o mantener manualmente la potencia de entrada, para obtener <sup>los</sup> resultados requeridos.

Este tipo de control manual ha sido reemplazado por instrumentación de control automático, que elimina pérdidas causadas por la inatención del operador en un momento crítico.

Más adelante muchos procesos industriales requieren de beneficio de exactitudes que están más allá de la capacidad sensitiva del mejor operador entrenado, aún dando su completa atención al proceso.

Esto más adelante significa, que una consideración económica, normal-

mente dictará el uso de un equipo de control automático basada en las anteriores razones, porque tales instrumentos automáticamente controlarán un proceso con una extrema exactitud sin el costoso tiempo de la atención de un operador y solo con el costo inicial aproximado en algunos casos, menor que dos semanas de sueldo de un operador.

Dentro del campo de instrumentación, ha habido otra evolución.

El simple cambio de calor adentro y afuera, en la propia temperatura no ha sido una solución universal.

Instrumentos de control de temperatura ON-OFF standard han sido modificados para regular automáticamente más equipos industriales bajo una variedad de condiciones especiales. Gradualmente la mayoría de los comunes instrumentos especiales han tenido una configuración standard. Un completo entendimiento de los varios tipos de instrumentos de control puede permitir a el hombre en la industria, a hacer una mejor y más completa automatización de sus procesos y obtener la máxima utilidad de su equipo.

En la mayoría de los casos la aplicación de estos instrumentos de control, está basada en el proceso que se desea controlar.

Una de sus aplicaciones es en las máquinas de inyección, extrusión y moldeado de plásticos. Su gran utilidad las hace emplear en procesos de vidrio, cemento, química, papel, alimentos, hule, cerámica, industria textil, petróleo, acero, etc.

En todos ellos controlando hornos, muflas, estufas, resistencias, etc. Todo esto a través de otros dispositivos como contactores magnéticos, válvulas solenoides, resistencias, relevadores, que son accionados por el instrumento, formando con estos un equipo de instrumentación primordial en la industria.

## 3-b) Termopares.

1.-Definición de Termopar.- Es el elemento primario de medición de temperatura en un sistema a base de Pirómetro (principio del Galvanómetro de bobina móvil de tipo D'Arsonval).

El termopar viene consistiendo en sí, en la unión de dos metales diferentes (con ciertas propiedades eléctricas) soldadas en un extremo, - que al ser expuesto a una temperatura de calor genera una f.e.m. en los extremos que no están unidos.

Al extemos unido se le denomina junta caliente y es la parte que debe estar en contacto con lo que se quiere medir, al extremo que no está unido y que se encuentra a una temperatura inferior con relación al otro extremo se le denomina junta fría; esta parte viene a ser conectada al elemento secundario (pudiendo ser directo o con alambre de extensión).

2.- Diferencia de Potencial.- Existe una diferencia de potencial en el extremo soldado de un termopar debido a la diferencia de temperatura - que existe en un momento dado en la junta caliente y en la junta fría; esto es básicamente una pequeña f.e.m. que se crea por el desequilibrio en la estructura atómica de los metales, al ser expuestos a cierta temperatura en el extremo de la unión (junta caliente.) Esta inestabilidad de los átomos nos produce un flujo de electrones que nos forman una pequeña corriente que llega directamente al pirómetro y nos hace deflexionar una aguja sobre una escala dada en °C ó °F.

3.- Las aleaciones más comunmente usadas en termopares son:

- a) Hierro-Constantano I/C tipo (J)
- b) Chremel-Alumel C/A tipo (K)
- c) Cobre- Constantano CU/C tipo (T)

- d) Platino-Platino 13% Rhodio tipo (R)
- e) Platino-Platino 10% Rhodio tipo (S)
- f) Chromel-Constantanc tipo (E)
- g) Ni Cr-Ni (Europeos)

Ni Cr-Mb

4.- Breve historia de porque se usan estas aleaciones.

Debido a estudios realizados y a experiencias prácticas se ha encontrado que los mejores metales conductores de la electricidad son: el oro, la plata, el fierro, el cobre, etc., sin embargo el alto costo de estos metales debido a su escasez, hizo pensar en la combinación de diferentes metales para formar una aleación que reuniera las propiedades de los anteriores y que fueran de fácil adquisición, bajo costo y fácil manufactura.

Bajo estos análisis se basó la sociedad de instrumentos de América (ISA), para formar una tabla de los tipos de aleaciones que se podría usar.

5.- Rangos más comunes y rangos con que se usan cada una de las anteriores aleaciones.

6.- Como está constituido un termopar completo, en la industria general.

- a) Alambre desnudo o forrado para termopar de los siguientes calibres:  
8, 12, 14, 16, 20, 24, 30, 18 y 36.
- b) Tubos protectores de los siguientes materiales: cerámica, inconel, acero al carbón fierro, acero tipo 304.
- c) Aisladores de cerámica de diferentes tipos y longitudes.
- d) Cubierta o forro del alambre para termopar.
- e) Cabeza de conexiones.
- f) Block de conexiones.
- g) Conectores de diferentes tipos.

### 7.- Localización del termopar.

Es de vital importancia el lugar o posición en que vá ha ser colocado el termopar, ya que una posición incorrecta ocasionaría disturbios en la sensibilidad del termopar, y como consecuencia lecturas erroneas en nuestro aparato indicador o controlador de temperatura. Se recomienda que el termopar sea colocado a 1/3 de la fuente de calor y a 2/3 de la carga de trabajo, puede ser por la parte superior, inferior o a los cotados, tratándose de un horno o mufla, pero en cualquier caso se procurará seguir el camino trazado anteriormente.

También se recomienda que el alambre de extensión del termopar no sea colocado junto a cables de energía eléctrica, debido a que habría inducciones de esa corriente sobre la señal enviada por el termopar y como resultado de esto una mala lectura de nuestro aparato.

Invariablemente se debe usar termopar, alambre de extensión y el instrumento la misma aleación, es decir, T/C alambre y pirómetro en I/C o C/A etc.

No se pueden combinar diferentes aleaciones debido a las curvas de calibración que han sido estudiadas según su MV y que corresponden a X temperatura.

### 8.-Alambres de termopar.

Alambre sólo para hacer T/C calibración J (I/C)

Calibres 8,14,16,20, alambre desnudo.

Calibre 20, 14, hierro tronzado, constantano trenzado, forro aislador de fibra de vidrio.

Para hacer termopares de Platino 13% Rhodio Platino.

Calibre 24, 30, alambre desnudo.

Composición.

Tipos de forros aisladores para alambre de termopar.

a) Refrasil.

b) Asbesto compuesto.

Silicón impregnado de asbesto compuesto es aplicado a cada conductor, los conductores aislados son enrollados sin cubierta.

Máxima temperatura de operación es de 900°F, su resistencia a la humedad es excelente y su resistencia a la abrasión es buena.

c) Asbesto sobre asbesto.

Cada conductor es aislado con asbesto compuesto grado AAA.

c) Asbesto compuesto.

Cada conductor está cubierto de asbesto compuesto e impregnado con silicón, ambos están paralelos y cubiertos con filamentos de fibra de vidrio y con una pequeña capa de barniz silicón. Su temperatura máxima de operación es de 900°F, buena resistencia a la abrasión y a la humedad a 400°F.

e) Vidrio.

Cada conductor está cubierto con forro de vidrio y ambos cubiertos con fibra de vidrio y con una capa de silicón se encuentran separados; paralelamente su máxima temperatura de operación es de 900°F, buena resistencia a la abrasión y pobre resistencia a la humedad.

g) Teflón.

Cada conductor está cubierto con teflón, ambos conductores están separados paralelamente y cubiertos con filamentos de vidrio. Recomendadas para temperaturas entre 300°F y 450°F, tiene excelente resistencia a la humedad y a la abrasión.

h) Polyvinil.

Cada conductor está cubierto con cloro de polyvinil, ambos están juntos de tal manera que puedan separarse facilmente, las temperaturas recomendables para operación es 20° a 221°F, tiene excelente resistencia a la humedad y abrasión.

9.- Alambre duplex para termopar I/C, C/A, CU/C, C/Const.

De diferentes calibres son: 14, 20, 24, 28 y 30.

El tipo de alambre es sólido y con diferente cubierta para cada conductor y para ambos.

10.- Alambre de extensión para termopar y tipos de forros.

a) Asbesto sobre asbesto.

Cada conductor está aislado con cubierta de plástico impregnado de asbesto.

Ambos conductores está separados paralelos y cubiertos con una capa de asbesto y terminadas con un compuesto resistente a la humedad y abrasión. Recomendado para usarse en temperaturas ambientes que no excedan de los 400°F.

b) Polyvinil.- Capa a prueba de agua.

Cada conductor está cubierto con una capa de cloruro de polyvinil, ambos conductores separados paralelamente y cubiertos con un forro de algodón, el forro está terminado con un compuesto a prueba de agua. Recomendado para temperaturas entre 20° a 221°F, tiene excelente resistencia a la humedad y abrasión.

c) Polyvinil sobre polyvinil.

Cada conductor es cubierto con una capa de cloruro de polyvinil ambos conductores aislados está colocados separadamente y cubiertos con un forro de polyvinil, se recomienda para temperaturas entre 20° a 221°F,

excelente resistencia a la humedad y abrasión. Puede usarse a la in-  
temperie, subterráneos o en instalaciones de conduit.

d) Polyvinil - Nylon.

Cada conductor está cubierto de cloruro de polyvinil. Los conducto-  
res aislados están paralelos y cubiertos con una pequeña capa de ny--  
lon. Recomendado para usarse en temperaturas entre 20° a 221°F.

e) Vidrio.

Cada conductor está cubierto con una capa de filamentos de vidrio.  
Tiene buena resistencia a la humedad y a la abrasión a 400°F puede  
usarse en 900°F.

11.- Alambre de extensión.

Alambre duplex calibres 14, 16, 10 para I/C, C/A, CU/C, Chromel Cons-  
tantano.

3 c) Aplicaciones de Termopares.

Termopares de platino: Rhodio-Platino.

El termopar de platino: Rhodio Platino es el método utilizado con  
más frecuencia para medir temperaturas entre los 1000° y los 1850°C.

El platino y el rhodio son especialmente apropiados para este fin  
porque tienen unos puntos de fusión muy elevadas, son extremadamente  
resistentes a la oxidación o al ataque químico a temperaturas eleva-  
das y porque pueden ser refinados hasta un punto de pureza excepcio-  
nal.

Una pureza extremadamente alta y la mayor uniformidad y homogeneidad  
en la composición de las aleaciones son esenciales para reproducir  
la relación entre la temperatura y la fuerza electromotriz.

La temperatura máxima de trabajo de cualquier termopar de metales no-  
bles es determinada por el punto de fusión del metal con el punto de

fusión más bajo. En la práctica sin embargo, se debe considerar la temperatura de 1,400°C como la máxima para un servicio continuo utilizando las combinaciones de platino: 10% rhodio platino y platino: 13% rhodio platino. Se pueden obtener lecturas intermitentes hasta los 1650°C con el método de inmersión rápida para medir la temperatura del acero líquido.

Termopares Cobre-Constantano (tipo "T").

Estos termopares tienen un alambre de cobre puro para el conductor positivo y una aleación de cobre níquel (constantano) para el conductor negativo. Ellos son particularmente bien fabricados para medir temperaturas desde 300°F a 600°F, y son de bajo costo.

Una de sus ventajas es su alta resistencia a la corrosión debido a la humedad atmosférica o a la humedad de condensación las cuales ocurren frecuentemente en la medición de temperaturas abajo de cero - grados.

Sus originales usos primeramente fueron en laboratorios y plantas piloto, actualmente están siendo usados cada día más en la industria para baja temperatura de trabajo y pueden ser usados en atmósferas reductoras y oxidantes.

Termopares Hierro Constantano (tipo "J")

Estos termopares usan hierro para el conductor positivo y constantano en el conductor negativo. Ellos son aplicados normalmente para temperaturas desde 0 a 1400°F, y son trabajados para usarse en atmósferas reductoras y oxidantes, son relativamente de bajo costo y tiene popular aplicación dentro de sus recomendados rangos de temperatura.

Chromel-Alumel (tipo "K").

El termopar tipo "K", comprende de un conductor positivo que es el níquel, chromel y un conductor negativo de aleación de níquel-aluminio.

Son generalmente recomendados para temperaturas de 1000 a 2000°F, dado por la ISA, sin embargo tienen una temperatura arriba del límite de 2300°F. Sus mejores aplicaciones son en atmósfera oxidante pero pueden ser usados también en reductoras o atmósferas que son alternativamente oxidantes y reductoras.

#### Tipos de control.

Cualquier acción de control tiene por objeto mantener la variable a controlar en el punto de control. La diferencia entre el valor de la variable y el punto de control, automáticamente hace que cambie la señal de salida del controlador.

La forma en que se comporta la variable después depende no sólo de cómo el proceso responde a un cambio de la salida del controlador, sino también a la acción de control. (Modo de control).

Este determina:

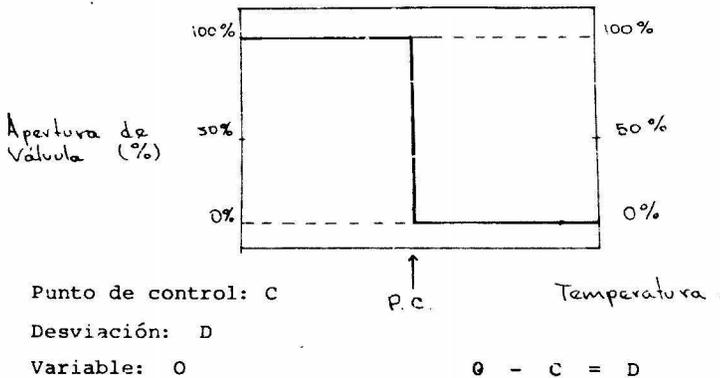
- a) "Como" la salida del controlador es relacionada a la desviación entre la variable y el punto de control.
- b) "Cuando" cambia la salida del controlador.
- c) "Cuanto" es el valor de la salida del controlador para una desviación específica.
- d) "Que" le pasa a la salida del control cuando hay un cambio en la desviación.

Las acciones o modos de control han sido definidas innumerables veces, sin embargo, lo que es importante saber es lo que la acción de control ejecuta para restablecer la temperatura (por ejemplo), a su punto de operación cuando algo hace que la temperatura se desvíe de ese valor.

## 3 e) Control dos posiciones (ON - OFF)

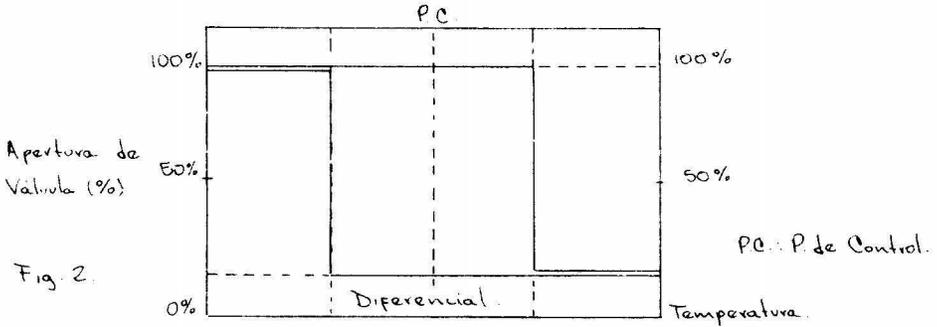
Cuando se está usando un controlador para regular la temperatura por medio de la operación de una válvula, se puede tener la acción de que la válvula esté totalmente abierta para suministrar calor si la temperatura se encuentra abajo del punto de control; o de que esté totalmente cerrada si la temperatura es alta. Esta acción de control se denomina como dos posiciones. El controlador suministra energía automáticamente abriendo la válvula cuando la desviación es negativa, (temperatura baja), o la cierra cuando la desviación es positiva.

La relación entre la apertura de la válvula y la temperatura se ilustra en la siguiente figura.



Podemos tener la acción inversa en casos de refrigeración, por lo general todos los controles tienen algún medio para pasar de acción directa a inversa.

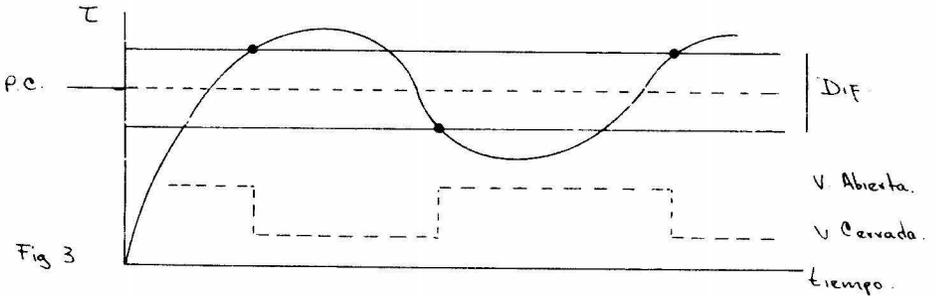
El control dos posiciones más usado es aquel que cuenta con una diferencial, su funcionamiento se explica en la siguiente figura:



Nota importante: La acción correctiva se hace al salir de la zona diferencial.

La razón de que se use una zona diferencial es con el objeto de no tener que estar prendiendo y apagando el quemador, (por ejemplo), constantemente, sino darle un descanso en la operación.

La relación entre la variable y el tiempo queda ilustrado en la siguiente gráfica.



La acción de control por sí misma causa que la temperatura oscile; el periodo de oscilación la magnitud de este depende del proceso que se esté controlando y específicamente en:

- a) El tiempo que tome para que la temperatura cambie de dirección una vez que la válvula ha sido cerrada o abierta, o sea cambiar el signo de la desviación.
- b) Cuando es el cambio de temperatura por unidad de tiempo para alguna posición de la válvula (abierta o cerrada).

La fluctuación en el valor de la variable es inevitable, en caso de que el proceso exija más control se podrá usar un control de 3 o más posiciones o una acción de control proporcional, la cual discutiremos como siguiente sub-tema.

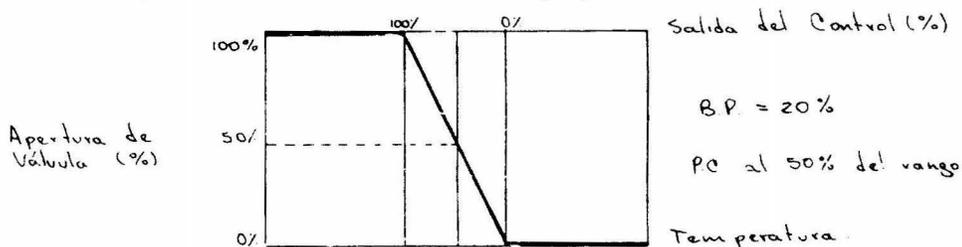
### 3-f) Control Proporcional.

En el control proporcional, para cada valor de la desviación, hay un valor específico en la salida del controlador, y una apertura de válvula específica. Esta es una relación que no es afectada por el tiempo: un valor de la desviación implica una apertura de válvula.

Que desviación corresponde a una apertura de válvula determinada, depende que apertura de válvula suministra suficiente calor para llegar al punto de control. (En el punto de control la apertura de la válvula es del 50% generalmente), y de la banda proporcional del controlador.

La banda proporcional es el rango de desviaciones en por ciento de la escala, que corresponde a toda la carrera de la válvula.

A continuación se muestran las gráficas de apertura de válvula contra la temperatura con diferentes bandas proporcionales.

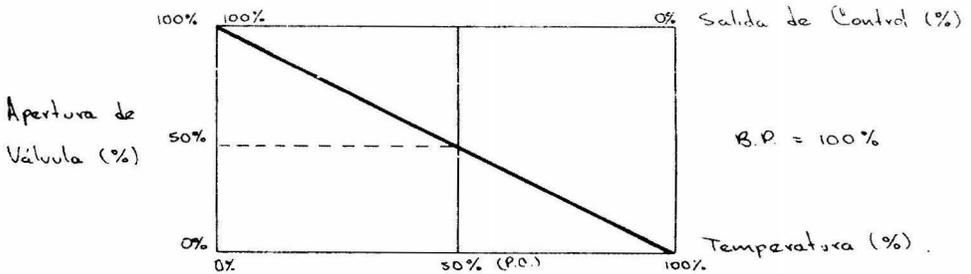


En la figura el punto de control se encuentra al 50% de la escala y el 50% de apertura de válvula es adecuada para mantener la temperatura en ese valor.

En cualquier proceso como el que se describe, la apertura de válvula que se requiere para mantener la variable en el punto de control está relacionada con la misma variable, por lo tanto para lograr mayores temperaturas se necesitará una mayor apertura de válvula.

En el ejemplo presentado las desviaciones de + 10% y de - 10% del rango de temperatura corresponden a una apertura de válvula de 0% a 100%. Un pequeño cambio en el valor de la desviación corresponde a un gran cambio en la apertura de la válvula, la relación es de 5:1, el cambio en la apertura de la válvula es 5 veces mayor al cambio en el valor de la desviación.

Otro caso que se presenta es el de un proceso con una banda proporcional de 100%.



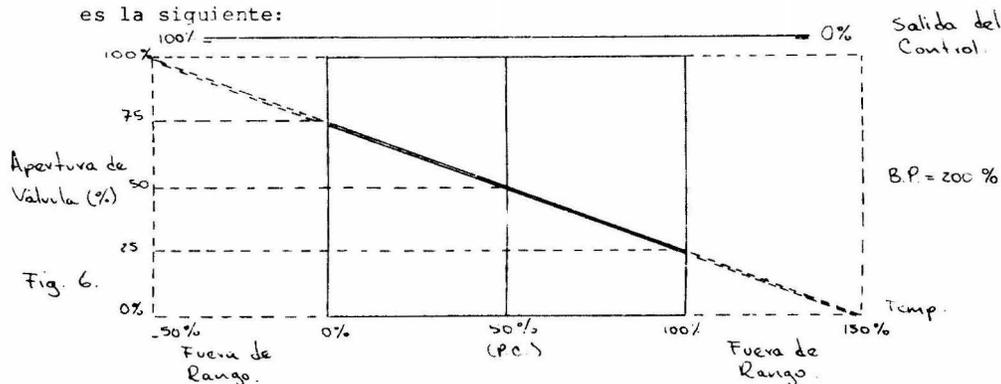
La figura anterior muestra la misma gráfica de la apertura de válvula requerida para cada señal de desviación, en este caso la banda proporcional es del 100%; o sea, que para lograr toda la carrera de la válvula, la variable debe recorrer todo el rango del controlador.

Cualquier cambio de porcentaje en el valor de la desviación ocasiona un cambio igual de porcentaje de apertura de válvula.

Si el punto de control se cambia, la banda proporcional se mueve con él.

Otro caso sería el de los controladores con una banda proporcional mayor de 100%, cuya gráfica de temperatura contra apertura de válvula

es la siguiente:

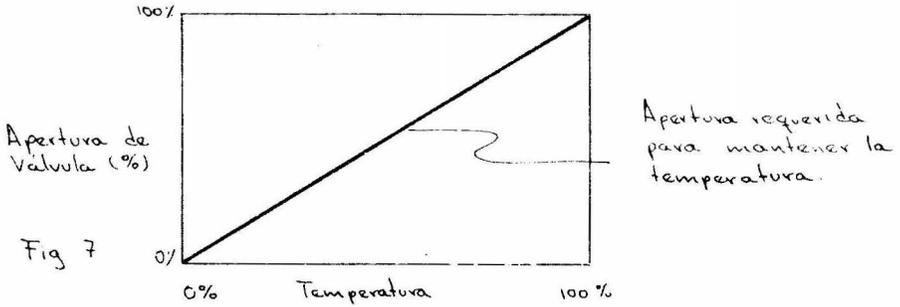


En este proceso la válvula empieza y termina su carrera fuera del rango del controlador, cuando la variable entra a este la válvula está abierta en un 75% y cuando sale en un 25%.

Desviaciones entre 50% y + 50% resultan en un cambio de apertura de válvula de solo 50%.

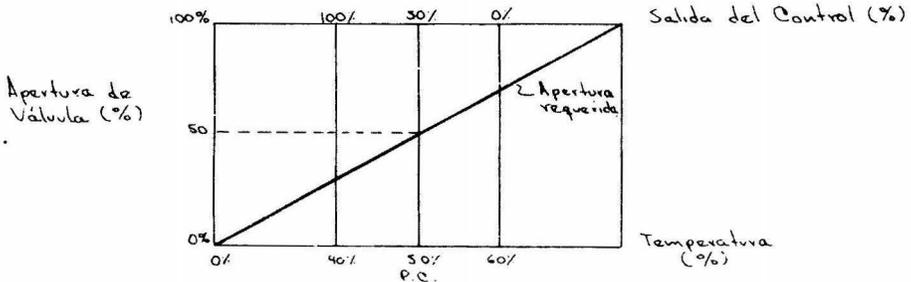
En este caso cuando tenemos un cambio grande del valor de la desviación, tendremos un cambio pequeño en la apertura de la válvula en una relación de 1/2 a 1.

En todos los procesos anteriores el punto de control está al 50% del rango de temperatura, y el 50% de apertura de válvula es adecuada para mantener esa temperatura y el rango de ajuste está centrado a la mitad de la banda proporcional. En este tipo de procesos, la apertura de la válvula requerida para mantener una temperatura específica está relacionada con la misma temperatura. Se requerirá una mayor apertura de la válvula para tener una temperatura más alta como se muestra en la siguiente figura.



Los ajustes a la válvula deberán aumentar o disminuir la apertura ajustándola de acuerdo al valor necesario para mantener la temperatura deseada.

La siguiente figura nos muestra la curva de "apertura requerida" y también la línea que representa la acción proporcional para un valor de la banda proporcional del 20%



En esta gráfica el punto de control coincide en el punto donde se cruzan las líneas de la acción proporcional y la de la "apertura requerida".

Si nosotros cambiamos el valor del punto de control y lo fijamos en el 60% de la escala, la banda se mueve con él la temperatura mantenida sigue siendo donde se intersectan las líneas de la acción proporcional y la de la "apertura requerida", sin embargo, ya no coincide con el punto de control.

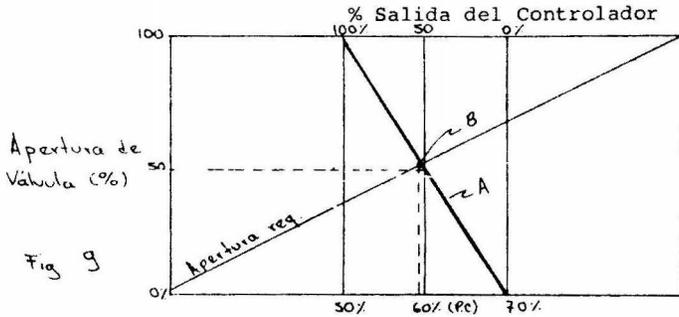


Fig. 9

B.P. = 20%

A: Apertura de válvula por acción prop.  
B: Temperatura sostenida.

Nota: La temperatura sostenida será más baja que la del punto de control.

Igualmente, si nosotros bajamos nuestro punto de control al 40% del rango de temperatura, la temperatura sostenida será mayor que la fijada.

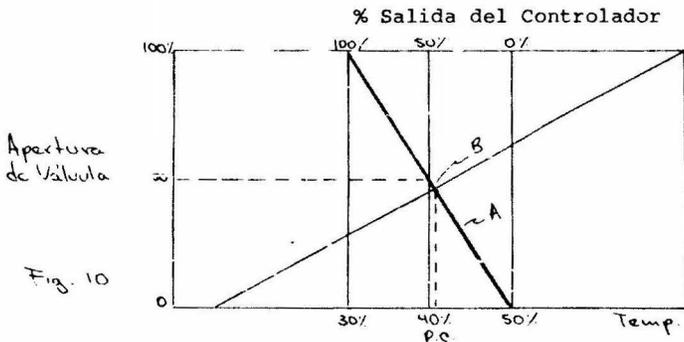


Fig. 10

B.P. = 20%

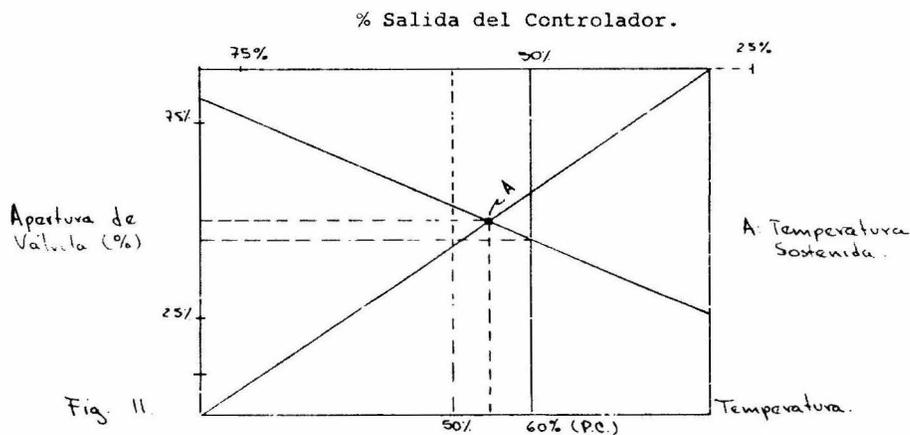
A: Apertura de válvula por acción prop.  
B: Temperatura sostenida.

Nota: La temperatura sostenida será más alta que la del punto de control.

Para las gráficas anteriores, las desviaciones dentro de la banda proporcional siguen determinando la apertura de la válvula, o sea, que si la temperatura está en el 50% de la banda proporcional, la apertura de la válvula será del 50%, no importando si esta apertura es la necesaria para mantener esa temperatura. Podemos decir que en la acción control proporcional el punto de control fijado variará del punto "real" de control en todos los puntos del rango de temperatura, excepto en

uno; esta desviación (off set) será mayor en una banda proporcional amplia y viceversa.

Esto se muestra en la siguiente gráfica, donde se supone una banda proporcional del 200%. Si nosotros aumentamos en un 10% el valor del punto de control veremos que provocará una desviación (off-set) considerable, es por esto que los controles proporcionales generalmente tienen bandas proporcionales pequeñas.

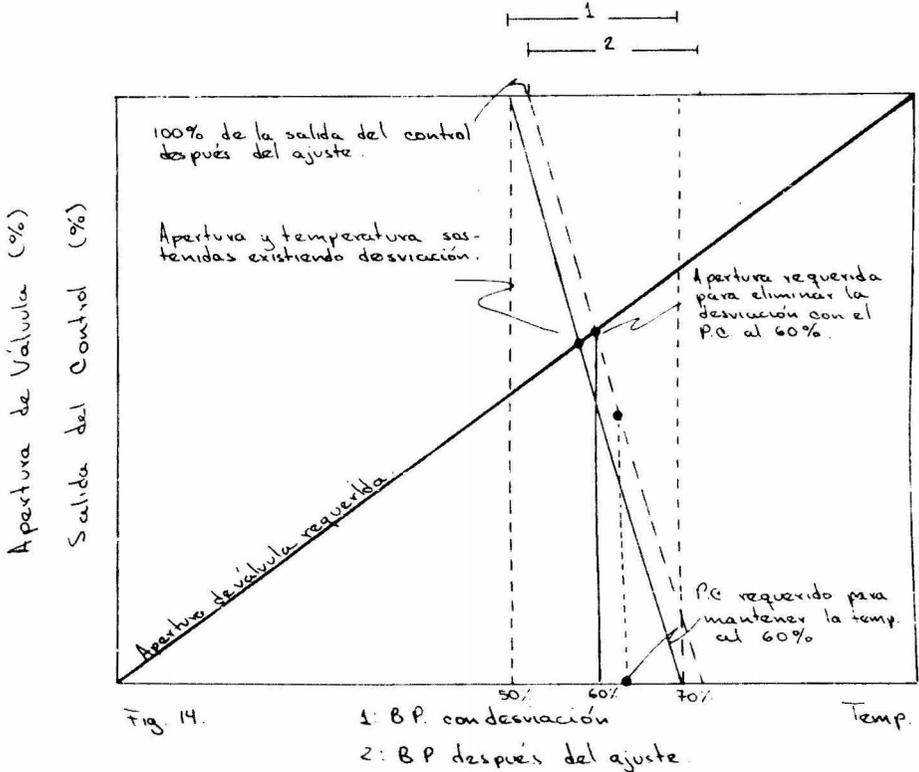


Comportamiento del sistema resultante de mover el punto de control con una banda proporcional de 20%. (La temperatura sostenida queda abajo del punto de control).

En la figura anterior se puede notar como la temperatura sostenida no corresponde con la del punto de control; podemos decir que la característica resultante del control proporcional es la desviación (off-set).

Sin embargo, podemos fijar la temperatura sostenida en cualquier punto de la escala (al 60% por ejemplo), viendo la temperatura y moviendo el punto de control hasta que la temperatura sostenida (no el P.de C.) sea la deseada. En efecto, al mover el punto de control, también

movemos la banda proporcional. La apertura requerida para mantener la temperatura al 60% de la escala es mantenida por la desviación del nuevo punto de control. La figura siguiente muestra el nuevo punto de control.



Se podría tener el mismo resultado ajustando la apertura de la válvula a una salida determinada del controlador. Se deberá hacer que la apertura de la válvula corresponda a una diferente desviación.

Esto implica que movemos la banda proporcional al hacer un ajuste a la válvula, por ejemplo, el 59% de apertura de válvula podría no corresponder al punto de control, si no que en este punto podríamos tener una apertura de válvula del 60%.

La acción proporcional la podemos definir como:

- a) Para una desviación corresponde una sola apertura de válvula.
  - b) La salida del controlador cambia cuando la desviación cambia.
  - c) Cual es la salida del controlador para una desviación específica?
- Esta varía alrededor de un valor medio por una cantidad que depende de la banda proporcional.

De acuerdo a esto tenemos la siguiente relación:

$$\% \text{ AC salida} = 100 \frac{\% \text{ desviación}}{\text{Banda Proporcional}}$$

% AC salida. Cambio de la salida del controlador en por ciento.

% desviación: En % de la escala total, Por ejemplo: para una desviación del 5% con una banda proporcional de 50% la salida del controlador variará en un 10% del rango total de la salida del controlador.

Que pasa cuando cambia el valor de la desviación.

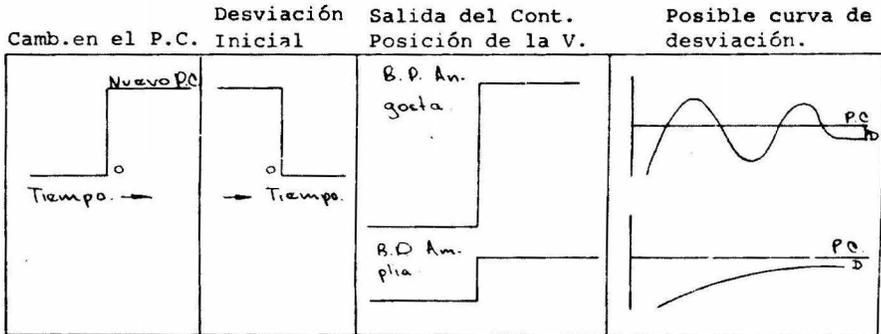
La salida del controlador cambia para corresponder a la nueva desviación. (También la apertura de la válvula).

Conforme pasa el tiempo, la temperatura medida cambia dependiendo del cambio en la posición de la válvula y por ende de la amplitud de la banda proporcional. La temperatura puede cambiar de una manera tan abrupta que puede sobrepasar el punto de control y crarse una desviación pero de signo contrario. Se debe notar que la desviación también cambiaría cuando el punto de control es movido a una nueva posición o cuando hay un cambio en la temperatura medida por razones ajenas a la apertura de la válvula.

Las siguientes figuras nos muestran los cambios en la desviación inicial, la salida del control y la curva que sigue la desviación al hacerse un cambio en el valor del punto de control.

Para cada cambio de la desviación la acción del control proporcional cambia la apertura de la válvula.

La acción proporcional no depende del tiempo, aunque cuando hay cambios continuos en la desviación puede parecer lo contrario.



Es importante que se conozca el funcionamiento de la acción proporcional, ya que es la que determina la salida del controlador así como la posición de la válvula, lo cual puede ser MODIFICADO por cualquier otra forma de control que se quiera usar.

Tanto la acción de restablecimiento como la derivativa, están basadas en la forma en que estas acciones modifican a la acción proporcional.

### 3 g) Acción de RESTABLECIMIENTO.

Con la acción de restablecimiento, para cada valor de desviación, la salida del controlador cambiará de una manera permanente. En efecto, la salida del controlador seguirá cambiando mientras exista la desviación. (La acción de restablecimiento es también llamada acción integral, porque matemáticamente el efecto del restablecimiento depende de la integral de la desviación; o sea del área bajo la curva resultante de graficar la desviación contra el tiempo).

La relación entre la acción de restablecimiento y la acción proporcional depende totalmente del tiempo.

Un valor de desviación resulta en una apertura de válvula que cambia de valor "constantemente", y que seguirá cambiando hasta que la válvula esté totalmente abierta o totalmente cerrada.

Cuando la desviación tiene un valor de cero, el restablecimiento no produce ningún efecto y la válvula permanece en la apertura donde la dejó dicha acción.

Que "apertura de válvula" existe a una "desviación específica"? Depende de dos condiciones:

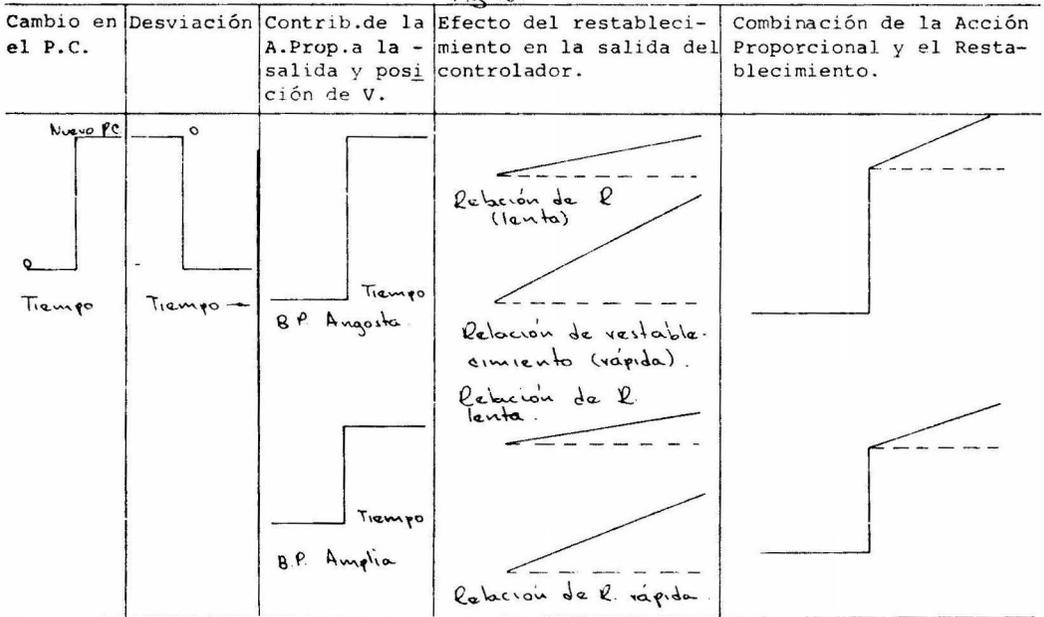
1.- De la acción proporcional y por lo tanto, en:

- a) El valor de la desviación.
- b) La banda proporcional.

2.- Del ajuste llamado "relación de restablecimiento".

La definición de la relación de restablecimiento basada en una desviación constante de un punto de control fijo, se ilustra en la siguiente figura, para dos relaciones de restablecimiento.

Fig 16



Para cualquier desviación fija de un punto de control fijo, el restablecimiento produce un cambio continuo en la salida del controlador. Si la acción proporcional fija una posición de válvula como se muestra en la figura 18, en un minuto la acción de restablecimiento la moverá a la posición mostrada en la figura 19. La banda proporcional del ejemplo (figuras 18 y 19), es del 90%.

Al final de un minuto la acción de restablecimiento habrá cambiado la salida del controlador (y la posición de la Válvula)

una relación definida con la acción proporcional producida por la misma desviación.

La relación de restablecimiento # 1 en la figura 16, cambia la salida del controlador en un minuto en un cuarto del valor total de la acción proporcional.

El restablecimiento "repite" la acción proporcional 0.25 veces por minuto.

La medida de la "relación de restablecimiento" en repeticiones por minuto simbolizado por "R/M".

La relación de restablecimiento # 1 es de 0.25 R/M en el # 2 de la figura 16, la relación de restablecimiento es de 1.0 repeticiones por minuto. Note que si la desviación en la figura 17 continua la acción de restablecimiento aumentará la apertura en igual cantidad que la aumentó durante el primer minuto.

Si la desviación constante fuera positiva en lugar de negativa, la acción proporcional fijaría la apertura de la válvula en menos de la mitad y el restablecimiento continuaría cerrándola.

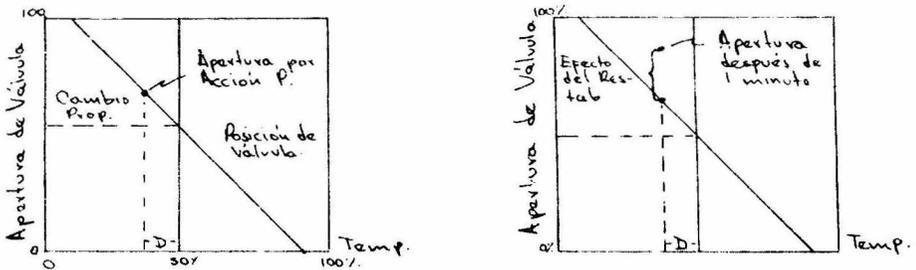


Fig.17.-Reajuste de la apertura de la válvula por la acción de restablecimiento con una desviación constante.

Si la desviación persiste, la acción de restablecimiento continua abriendo la válvula, hasta que la salida del control (o la apertura de la válvula), llega a su límite. Este reajuste permite que la desviación sea reducida a cero, (tener la temperatura en el punto de control).

Solamente que la desviación continúe con el mismo signo y por un periodo largo (como sucede al inicio de los procesos) los límites podrán ser alcanzados.

La salida del controlador no cambiará hasta que la desviación cambie de signo, hasta que la temperatura sobrepase el punto de control.

### S u m a r i o .

a) COMO es la salida del controlador es relacionada con la desviación y la banda proporcional se muestra en la figura 17.

b) ¿CUANDO cambia la salida del controlador?

Siempre que la desviación exista, y todo el tiempo que exista. El restablecimiento automáticamente "reajusta" la válvula a la apertura requerida para mantener la temperatura en el punto de control.

c) ¿CUAL es el valor de la salida del controlador para una desviación específica?.

No hay una relación fija entre la salida del controlador y una desviación específica. La salida cambia constantemente con el tiempo, el valor del cambio por unidad de tiempo depende de la banda proporcional con la cual se esté usando el Restablecimiento y de la relación de restablecimiento a la cual se haga el ajuste.

d) ¿QUE pasa cuando la desviación cambia?

La relación del restablecimiento con la acción proporcional permanece inmutable. La acción proporcional produce un efecto diferente (que será más o menos que el efecto proporcional antes del cambio), pero el restablecimiento o repite ese efecto hasta que desaparece la desviación. El restablecimiento y la acción proporcional se ayudan el uno al otro para llevar la temperatura al punto de control.

Los cambios que sufre la temperatura medida en el tiempo que se aproxima al punto de control se ilustra en la figura 18.

Se supone que hay <sup>un</sup>cambio en el punto de control. La salida del controlador se muestra con dos bandas proporcionales diferentes y con dos diferentes relaciones de restablecimiento. Se muestran las posibles curvas de comportamiento, primero con la acción proporcional únicamente y después con la combinación de las dos.

Fig 1B

B. P.	A Prop.+ Restablecimiento en la Salida del Controlador al haber una desviación.	Posible curva de desviación al acercarse la temperatura al punto de control.	Efecto cualitativo de la acción de restablecimiento.
Angosta			
Amplia			

Curvas de comportamiento de la temperatura al cambiarse el punto de control.

Si para cada cambio en la desviación la posición de la válvula fué abruptamente cambiada (como sucede con una banda proporcional angosta) la temperatura oscilará antes de llegar al punto de control; se puede notar que a un valor mayor de R/M se tendrán más oscilaciones.

Si la posición de la válvula sufre poco cambio (como sucede con una amplia banda proporcional), la desviación es corregida sin que la temperatura sobrepase el punto de control, la acción de restablecimiento hará que la temperatura llegue al punto de control más rápidamente.

Si la salida del controlador o la apertura de válvula han llegado al límite antes de llegar al punto de control, no se podrá evitar que este sobrepase al punto de control y por lo tanto, tampoco se podrá evitar la oscilación. En efecto, el controlador es su límite se comportará como un control dos posiciones hasta que la temperatura llegue al punto de control. Con oscilación o sin ella la desviación desaparece, ya que el restablecimiento seguirá ajustando la válvula hasta que desaparezca la desviación.

### 3h) Acción Derivativa.

Su relación con el control proporcional.

El valor actual de una desviación constante no tiene ningún efecto en la respuesta de la Acción Derivativa.

Mientras la desviación es constante a partir de un punto de control, (sin importar su valor), la acción derivativa no cambia la salida del control.

La acción derivativa solo tiene efecto cuando el valor de la desviación está cambiando, ya sea por un cambio en la variable o por un cambio en el punto de control.

La salida del control es afectada por la derivativa cuando la desviación empieza a cambiar, para de cambiar o cambia su relación de cambio ya sea más lento o más rápido. Para un cambio constante (la desviación aumenta en 2°C por minuto, sin importar el sentido), la contribución de la derivativa permanece constante.

El valor de la salida del control para una desviación específica no cambia ya que la derivativa siempre es usada con la acción proporcional; y es esta la que hace la corrección para una desviación específica.

Lo que pase al haber un cambio en la desviación dependerá de dos factores:

- a) Como es el cambio de la desviación; que tan rápido o lento y si vá en aumento o disminución.
- b) De la acción proporcional; y por lo tanto de el tamaño o valor de la desviación.
- c) De los ajustes de la derivativa:

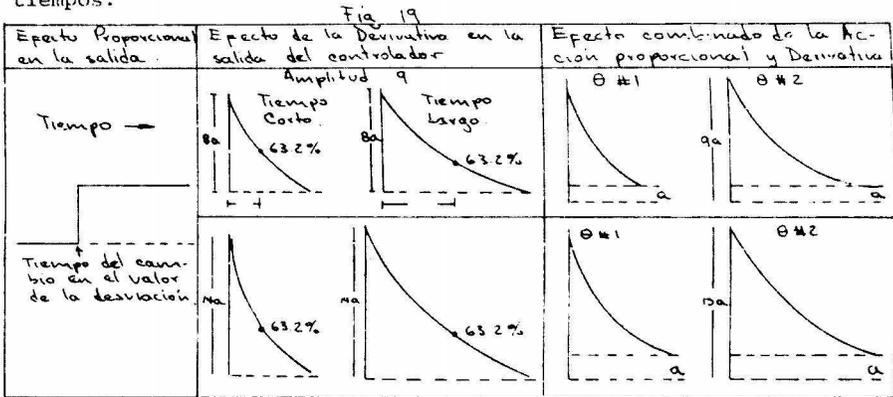
De su amplitud (usualmente fijada por el fabricante.)

Del tiempo de la derivativa.

Para un cambio en la posición del punto de control tenemos la descripción de la acción derivativa en la figura 19.

Como el restablecimiento, la derivativa tiene un efecto que depende del efecto proporcional, el cual se muestra en la primera columna.

La respuesta de la derivativa se muestra para dos amplitudes y dos tiempos.



Efecto de la acción derivativa en la salida del controlador cuando se cambia el punto de control.

Como se puede ver en la figura anterior, cuando la desviación toma un valor constante el efecto por la acción derivativa desaparece. -

Los puntos importantes son al altura de la curva (peak Height) y el tiempo en el cual desaparecen los efectos de la derivativa.

El primero es determinado por la amplitud de la derivativa y por la banda proporcional con la cual se está usando la derivativa.

Para un sistema con una amplitud fijada, el "tiempo de la derivativa" nos determina el segundo punto. Para un tiempo de la derivativa - grande tendremos que el tiempo en que desaparece la acción derivativa es grande y viceversa.

El tiempo en que desaparecen los primeros  $5/8$  del efecto de la derivativa se llama la constante del tiempo, el cual multiplicado por la amplitud nos dá el "tiempo de la acción derivativa".

(En la figura 19, el "tiempo" # 1 es  $9T$  y el # 2  $18T$ ).

Los otros  $3/8$  del efecto tardan 4 veces más de tiempo en desaparecer y el efecto desaparecerá totalmente si la desviación permanece constante.

Como se muestra en la figura 19, una amplitud diferente cambiará la forma de la curva, por ejemplo para un valor grande de la amplitud la curva será más elevada, pero el efecto desaparecerá más rápido.

La constante de tiempo es inversamente proporcional a la amplitud.

La figura 19 nos ayuda a comparar el efecto de la derivativa y el proporcional, pero no nos muestra que es lo que pasa cuando la desviación cambia permanentemente y en forma constante. Esto se muestra en la figura 20 para una banda proporcional, dos amplitudes, dos tiempos y dos cambios de desviación. Para crear el cambio constante bastará con mover el punto de control como una rampa, el efecto será similar a una desviación cambiando en forma constante con respecto a un punto de control fijo.

Al principio la acción proporcional y la derivativa cambian la salida del controlador.

Si tenemos en cambio una constante en el valor de la desviación el efecto proporcional cambiará de acuerdo a cada valor. El efecto de la derivativa toma un valor constante y la combinación de ambos nos determinan la salida del controlador y por ende la posición de la válvula.

En la figura 20 representada a continuación se describe graficamente el efecto de las dos acciones en la salida del controlador.

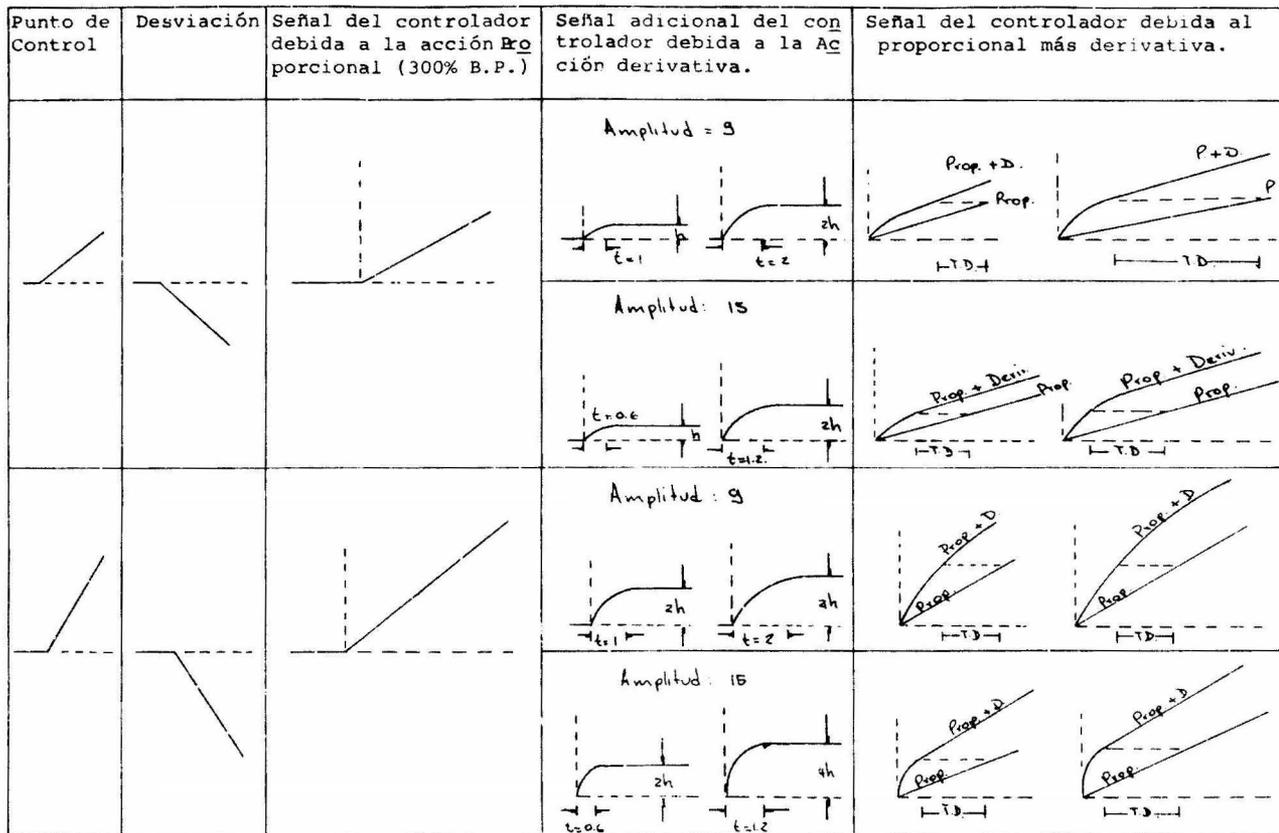
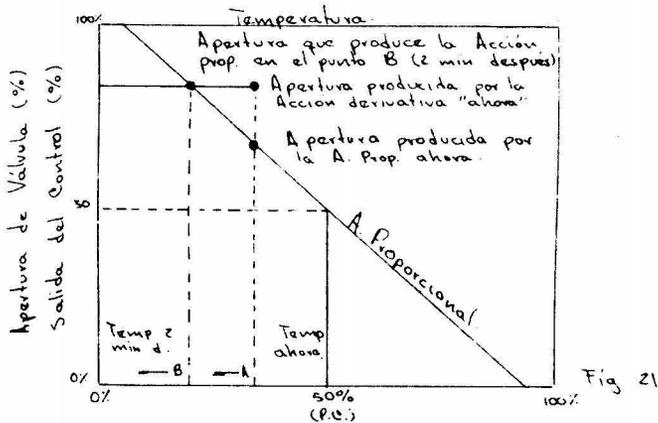


Fig. 20.

Efecto de la acción proporcional y la acción derivativa con camio en desviación producto de un cambio constante en el punto de control. (El eje horizontal representa el tiempo y el vertical % del rango - total).

En la figura siguiente tenemos un representación gráfica de la relación entre la acción proporcional y la derivativa para una temperatura cambiando constantemente con una banda proporcional de 90%. En esta figura la temperatura en el punto A vá decreciendo a una velocidad tal que alcanza el punto B en dos minutos.

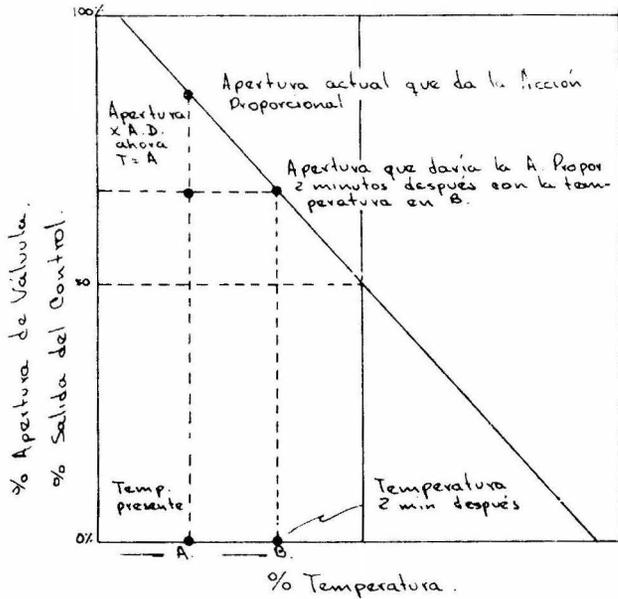


Apertura de válvula producida por la acción proporcional y por la acción derivativa con la temperatura en A pero decreciendo constantemente.

La posición de la válvula ocasionada por la acción proporcional se encuentra representada en la línea diagonal. El "tiempo" de la derivativa es fijado en dos minutos.

La acción derivativa posicionará la válvula en el punto que producirá la acción proporcional si la temperatura se encontrase en el punto B (La acción derivativa anticipa).

La señal extra producida por la acción derivativa disminuirá el cambio de temperatura. Disminuirá también el incremento en desviación y detendrá a una menor desviación (a mayor temperatura) el incremento en desviación que tendrá la acción proporcional por sí sola.



La figura F-16 muestra la comparación de tiempo entre las acciones derivativa y proporcional para una desviación que decrece en forma constante, con la misma banda proporcional del 90%. Donde la temperatura en A está aumentando, yendo hacia el punto de ajuste (set - point) a tal velocidad que la hará alcanzar el punto 3 en dos minutos. La posición de la válvula determinada por la acción proporcional aún permanece sobre la línea diagonal. El tiempo de la derivativa está puesto a 2 minutos. La acción derivativa posicionará ahora a la válvula en donde la acción proporcional lo haría si la temperatura ya estuviera en el punto 3.

Si la temperatura estuviera cambiando más rápidamente, B estaría aún más alejada de A en dos minutos y la señal de salida de la derivativa sería aún menor.

Si en cambio el tiempo de la derivativa se ajustara a tres minutos, el

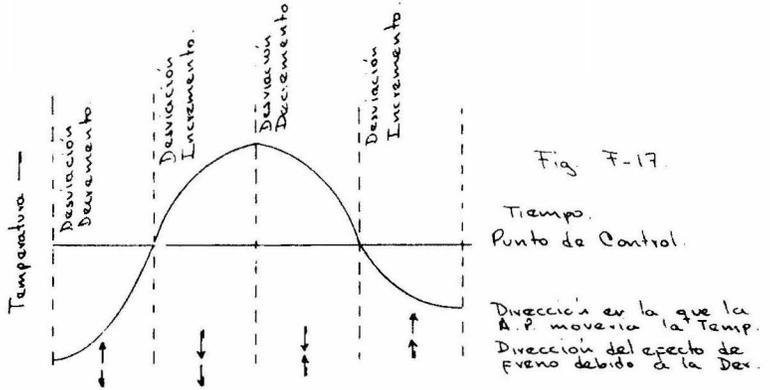
efecto sería el mismo que para un cambio mayor, la derivativa accionaría a la válvula de manera correspondiente a una acción proporcional que diera una menor desviación.

La diferencia en la señal de salida provocada por la derivativa accionará para disminuir el cambio de temperatura. Disminuirá el decremento en desviación y lo podrá disminuir tanto que prevenga un excedente que la corrección debida a la acción proporcional por sí sola causaría. Si no llega a prevenir este excedente, la desviación posterior será una desviación de incremento y el efecto de la derivativa se convierte en el mostrado con la figura F-15.

Para cualquier dirección de cambio, el uso de la derivativa produce una señal de salida del controlador igual a la que la acción proporcional por sí sola daría un poco después, y es por esto que se llega a decir que la acción derivativa se adelanta a la respuesta del controlador. El resultado neto de la derivativa es cambiar la señal del controlador con el objeto de frenar cualquier cambio de desviación.

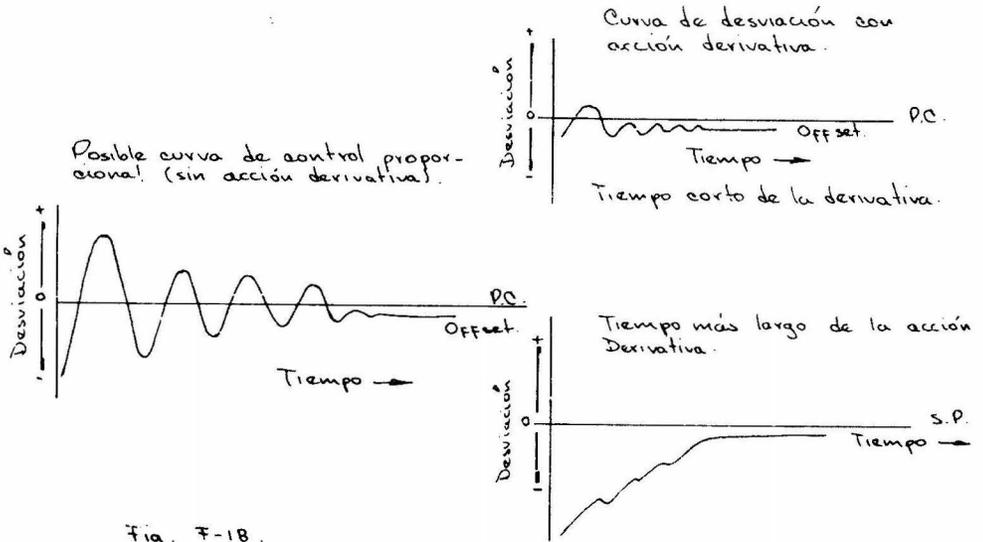
Entre más rápido sea el cambio de desviación mayor será el efecto de la acción derivativa.

Los efectos combinados de las acciones proporcional y derivativa durante un solo ciclo de desviación pueden representarse con la figura F-17. Durante este periodo las dos acciones se combinan de cuatro diferentes formas en su afán de controlar la desviación y regresar la temperatura al punto de control.

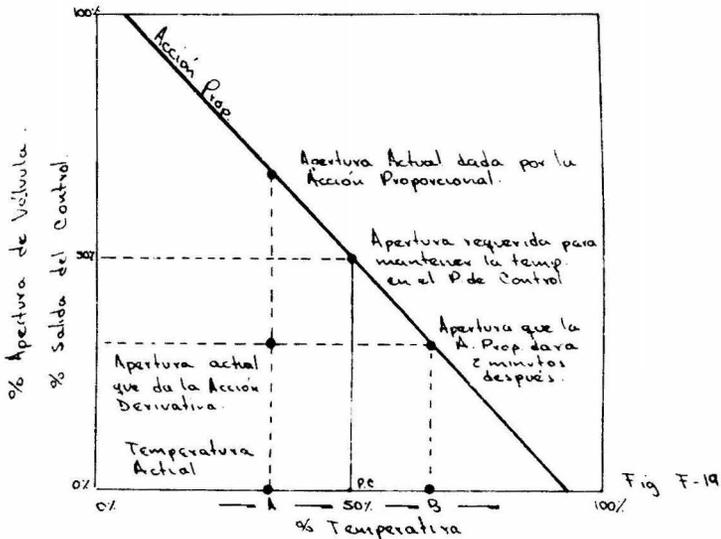


El efecto de freno mostrado en la figura F-17 puede disminuir los picos de desviación y acortar el tiempo de oscilación. Esto se muestra en la figura F-18 con una curva de temperatura dada, primeramente asumiendo control proporcional y después como aparecería si se le añade derivativa.

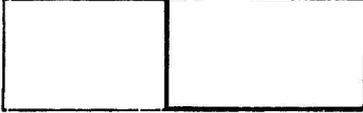
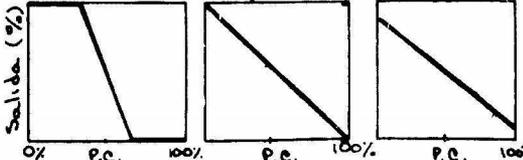
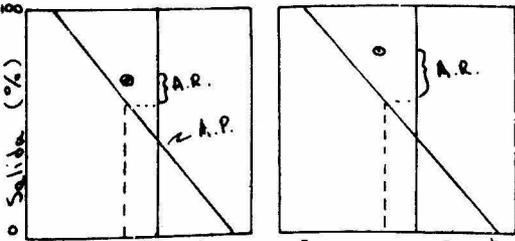
Las curvas con derivativa se muestran para dos diferentes tiempos.

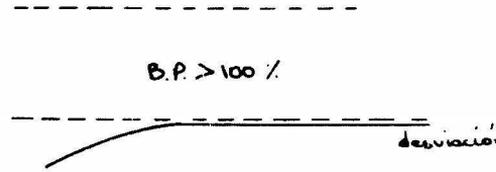
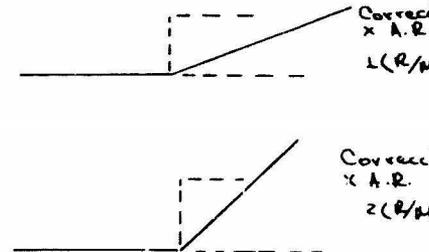
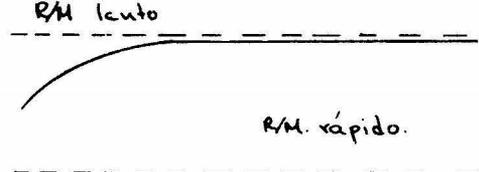


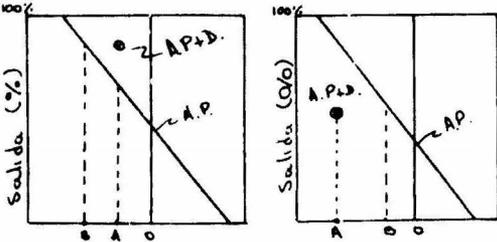
Produciendo una señal de salida que la acción proporcional demandaría más tarde como se ilustra en las figuras F-15 y F-16 la derivativa puede entonces frenar las desviaciones, reducir la altura de los picos de desviación, y reducir el excedente como se muestra en la figura F-18. De la figura F-16 se puede observar que si la temperatura está cambiando muy rápidamente en el punto A (o si el tiempo de la derivativa es muy largo), B puede moverse al otro lado del punto de ajuste (Set Point) durante el intervalo del tiempo de la derivativa. La derivativa producirá entonces una señal en el controlador como si la desviación hubiera cambiado de signo. Esta condición se ilustra en la figura F-19 con el mismo 90% de banda proporcional.



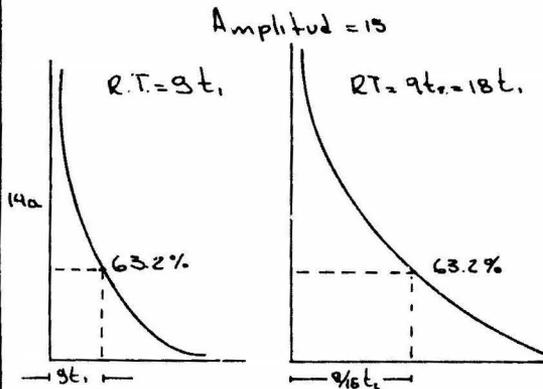
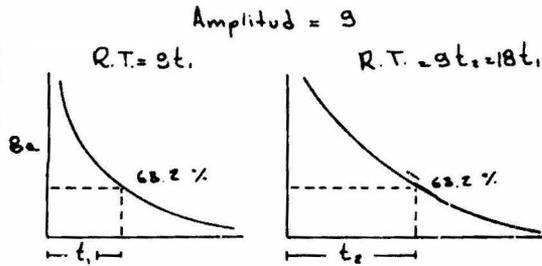
Aún cuando la temperatura en aumento en el punto A se encuentra debajo del punto de ajuste (set point), la acción derivativa adelantándose a la respuesta del proporcional coloca a la válvula en posición para corregir la temperatura demasiado alta que existirá en el punto B. Peque

Modo de Control	Característica de la desviación que determina la salida del c.	Relación entre la variable controlada y la salida del controlador.	Ajustes.	Ecuación que relaciona la desviación (E) con la salida del controlador.
Dos Posiciones.	Signo de la desviación.	<p>0% P.C. 100%</p>  <p>salida del c.</p> <p>Variable %</p>	Ninguno.	
Proporcional	Magnitud de la desviación. Signo de la desviación.	<p>B.P. &lt; 100%    B.P. = 100%    B.P. &gt; 100%</p>  <p>Salida (%)</p> <p>0% P.C. 100%    P.C. 100%    P.C. 100%</p>	Banda Propor.	$C_0 = \frac{100}{B.P.} (E)$
Restablecimiento.	Existencia continua de la desviación	<p>Relación ajustable seleccionando la velocidad en que es repetida la acción proporcional por la acción de Restablec.</p>  <p>Salida (%)</p> <p>100</p> <p>0</p> <p>Desviación</p> <p>Salida después de 1 min. 1 Rep. x minuto</p> <p>Desviación</p> <p>Salida después de 1 m. 2 Rep. x min.</p>	Repeticiones por min. (R.M)	$C = \frac{100}{P.B.} (R.M) \int_0^t E dt$ <p>+ Acc. Proporcional</p>

<p>Cambio en la salida del controlador ocasionado por una desviación del tipo:</p>	<p>Probable curva de comportamiento de la desviación al aproximarse la temperatura al punto de control. Tiempo →</p>
<p>100% _____ salida para una d (-)</p> <p>0% _____ salida para una d. (+)</p>	<p>-----</p>
<p>B.P. &lt; 100%    B.P. = 100%    B.P. &gt; 100%</p> 	<p>B.P. &lt; 100%    desviación</p> <p>B.P. &gt; 100%    desviación</p> 
<p>Contribución del resta decremento a la salida del controlador al haber una desviación.</p> <p>Corrección x A.R. <math>L(R/M)</math></p> <p>Corrección x A.R. <math>z(R/M)</math></p> 	<p>Restablecimiento combinado con una banda proporcional amplia (arrriba)</p> <p>RM lento</p> <p>RM rápido.</p> 

1	2	3	4	5
Derivativa	<p>Velocidad de cambio en el valor de la desviación</p> <p>Dirección en el cambio del valor de la desviación.</p>	<p>Relación ajustable para seleccionar el tiempo en el cual la A. Proporcional afecta a la acción Derivativa.</p>  <p>Desviación (Aumentando)</p> <p>Desviación (Disminuyendo)</p> <p>Tiempo de la derivativa: 2 min.  A: Temperatura presente.  B: Temperatura después de 2 min.</p> <p>Un cambio más rápido en el valor de la desviación moverá a B más lejos de A. esto también sucedería con un tiempo de la derivativa mayor.</p>	<p>a) Tiempo de la derivativa</p> <p>b) Tiempo seleccionado.</p>	$C = \frac{100}{B.P.} (RT) \frac{dE}{dt} + A. Proporc.$

6



La contribución de la acción derivativa depende de la amplitud de esta y de la respuesta proporcional de valor "a".

7

Acción Derivativa combinada con una banda proporcional angosta.

R.T. moderada

0 ----- Desviación

R.T. excesiva

----- Desviación

ños escalones en la curva de largo tiempo de derivativa en la figura F-18 muestran el resultado de esta corrección excesivamente avanzada. Pero aún cuando el efecto adelantado de la acción derivativa hace que la señal del controlador se comporte como si la desviación tuviera el signo contrario, la acción derivativa sigue trabajando en su forma característica: modificando la señal proporcional debido a que la desviación está cambiando, modificándola más para cambios más rápidos y también modificándola más si la unidad derivativa está ajustada para tiempos mayores.

La combinación de control proporcional con derivativa aún presenta esa característica del proporcional que es la compensación (offset).

### 3 j) Válvulas de control.

En todo proceso controlado, se ha tratado de suprimir en una u otra forma, las maniobras que el hombre debiera de ejecutar en su trabajo, por los errores que se pueden cometer, además del costo relativo de la mano de obra, que representa un perjuicio en el aspecto económico de la Empresa. Aún cuando sería prácticamente imposible prescindir en la totalidad del elemento humano por las ventajas que implica su capacidad de raciocinio, en problemas que se pueden presentar en un momento dado, ya sea reparando o controlando un proceso fuera de control, por daños en válvulas, tuberías, etc.

En el campo del control, la válvula que controla el proceso, es la base en la que descansa la eficacia de dicho proceso. Podemos generalizar que la válvula es en el campo del proceso como el motor es al campo de la maquinaria mecánica.

Estos artefactos son de importancia básica en el desarrollo industrial de la civilización. Hacia posible la producción, almacenaje, distribución, control y seguridad de gases y líquidos tales como: agua, gas, productos químicos, productos de petróleo, vapor, alimentos y toda clase de materiales capaces de fluir a través de un ducto.

Una definición del significado de válvula, sería técnicamente hablando como: "Una obstrucción de ingeniería en un tubo".

La primera consideración en la aplicación de una válvula, es la determinación del grado de control. Hay tres casos: Operación manual, el regulador y el controlador.

Operación Manual.- Consiste en hacer posible para el operador, abrir o cerrar la válvula desde un centro de control remoto con ayuda de un actuador, ya sea mecánico, eléctrico, neumático o hidráulico.

La operación manual local es usada generalmente en válvulas donde es infrecuente su uso, ya sea abriendo o cerrando y no interfiere en la economía por el uso del tiempo de un operador.

Regulador.- Este término señala una válvula, la cual dentro de su propia estructura "siente" en cambio, de presión, de nivel o temperatura y abrirá o cerrará a una consideración constante. Ejemplo: En un regulador de nivel, un flotador puede operar la válvula como control de nivel; en un controlador de temperatura, el elemento termal, puede no ser el mecanismo interno de la válvula al "sentir" los efectos de la temperatura.

Instrumento de control.- Cuando la condición de operación no puede ser reunida por un regulador. Esta condición puede ser la necesidad de tener un amplio rango de velocidades de flujo.

La condición puede requerir la medida de una variable, la cual no puede ser adaptada a válvulas autooperantes. Así la válvula se convierte en el elemento final de control.

El factor más importante para que el funcionamiento de la válvula de control sea adecuada en un circuito de control, es la determinación del tamaño correcto de la válvula, así como la evaluación de las condiciones en que deberá funcionar la válvula, como primer requisito para escoger el tamaño correcto, computando la información básica.

No se pueden dar reglas específicas, pero se incluyen como guía, algunas notas para cada una de las condiciones de operación necesarias.

A) Caudal.- Para escoger el tamaño de la válvula debe tenerse en cuenta el caudal máximo de operación, expresado en: Giones por minuto -- (G.P.H.) en líquidos. Libras por hora (LBS/HR.) para vapor.

Pies cúbicos standard por hora (SCFH) para gases.

B) Presiones de Operación.- Expresadas en libras por pulgada cuadrada absolutas (SIA) 14.7 + PSIG).

C) Caída de presión en la válvula.- La diferencia entre la presión de entrada y la de salida a las condiciones de operación. (Expresada en PSI).

D) Densidad Relativa.- Líquidos con referencia al agua: gases, densidad relativa con referencia al aire a condiciones Standard. (14.7 PSIA 60°F).

E) Temperatura de Operación.

Tamaño de la válvula.- La operación sucesiva de un sistema controlado, depende, en gran parte, del tamaño apropiado de la válvula. Un método racional para calentarlo, sería la utilización de una representación gráfica basada en el Cv.

El Cv de una válvula se define como: la cantidad de agua a condiciones standar (60°F, S.G.= 1) un G.P.M. (galones/minuto) que pueden pasar a través de la válvula con 1 psi (libra/pulgada<sup>2</sup>) de caída de presión, cuando se encuentra totalmente abierta. Este factor se encuentra determinado por ensayos de manufactura y es publicado por el fabricante en catálogos como una especificación propia de la válvula.

Tomando en consideración tal factor, se puede escoger el tamaño de válvula adecuado a las necesidades propias del proceso, atendiendo a las siguientes relaciones:

Para líquidos:

$$Q_1 = \frac{C_v \sqrt{(P_1 - P_2)}}{\sqrt{G}}$$

Donde:

Q<sub>1</sub> = Flujo del líquido en G.P.M.

C<sub>v</sub> = Velocidad de flujo de la válvula.

P = Presión de entrada en psia (14.7 + psig).

P<sup>1</sup> = Presión de salida en psia (14.7 + psig).

G<sup>2</sup> = Densidad relativa con respecto al agua (=1 a 60°F).

Para vapor:

$$W = 2.1 C_v \sqrt{(P_1 - P_2)(P_1 + P_2)}$$

Donde:

W= Flujo de vapor en lb/hr.

Cv= Velocidad de flujo de la válvula.

$P^1$ = Presión de entrada en psia (14.7 + psi manométrica)

$P^2$ = Presión de salida en psia (14.7 + psi manométrica)

$P^1 - P^2$  = Caída de presión a través de la válvula en psi.

Cuando la caída de presión ( $P^1 - P^2$ ) es mayor de 0.5  $P^1$  la expresión ( $P^1 - P^2$ ) ( $P^1 + P^2$ ) se deduce a 0.87  $P^1$ .

Para Gases:

$$Q = \frac{963 \cdot C_v \sqrt{(P_1 - P_2)(P_1 + P_2)}}{\sqrt{G \cdot T_f}}$$

Donde:

QG= Flujo volumétrico CFH S.T.P.

Cv= Velocidad de flujo de la válvula.

$P^1$ = Presión de entrada psia (14.7 + psig).

$P^2$ = Presión de salida psia.

$P^1 - P^2$ = Caída de presión en psi.

G = Densidad relativa (aire = 1.0)

$T_f$ = Temperatura de flujo absoluta (460 + °F)

CAPITULO IV.- APLICACION.

- 4-a) Descripción del proceso.
- 4-b) Consideraciones generales sobre el equipo que deberá ir instalado en la línea del diesel.
- 4-c) Cálculo del sistema de combustión, y selección del equipo.
- 4-d) Descripción de la operación del sistema.
- 4-e) Diagramas.
- 4-f) Estimación de costo.

## DIAGRAMA DE FLUJO.

- 1 Compuerta en posición de arranque.
- 2 Compuerta en posición de operación
- 3 Ventilador principal.
- 4 Ventilador de atomización.
- 5 Ventilador de combustión.
- 6 Ventilador de extracción.
- 7 Ventilador de inyección de aire al secador.
- 8 Válvula rotatoria.
- 9 Bomba de inyección de aguas madres.
- 10 Boquillas para pulverización.
- 11 Separador.
- 12 Tanque de combustible.
- 13 Agitadores.
- 14 Torre de secado.

# DIAGRAMA DE FLUJO

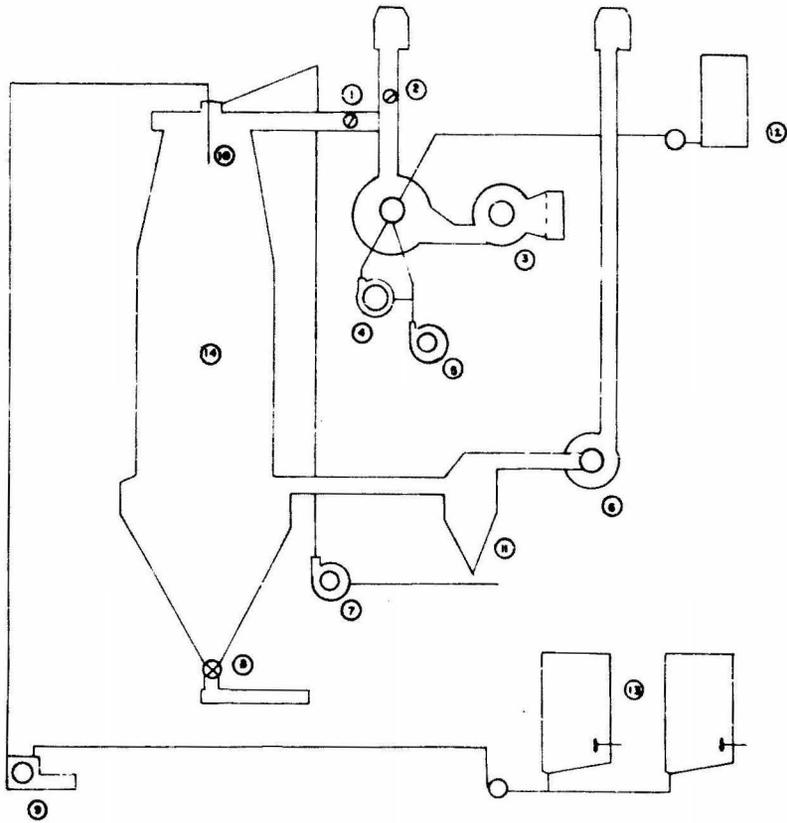


DIAGRAMA DE FLUJO

DEL SECADOR

## CAPITULO IV.

## A P L I C A C I O N E S .

4-a) Descripción del proceso.

4-b) Cálculo y Selección del Equipo de Combustión.

4-c) Selección del Equipo de Control.

4-d) Selección del Equipo de Seguridad.

4-c) Conclusiones.

4-a) Descripción del proceso.

Secador de Café Instantaneo.- Primeramente, el café molido se hierve con el fin de extraer lo que llamaremos las aguas madres, mismas que son bombeadas hacia el secador pasando a través de una boquilla (10) cuya función es la de atomizar el líquido. Esta alimentación al secador es constante y para fines prácticos se considera la concentración de la misma también constante.

El proceso de secado se llevará a cabo por la interacción de las aguas madres atomizadas con aire caliente proveniente del equipo de combustión el cual se encuentra a una temperatura de 200°C, eliminándose el agua como vapor.

Partiendo de esta base, las partículas de café que contienen las - - aguas madres al viajar a través del lecho fluidizado se unirán entre sí hasta obtener el peso necesario para caer y ser extraídas por una válvula rotatoria. (8).

La extracción del vapor de agua se hace por medio de un ventilador (16) el cual junto con el ventilador de inyección (3) de aire caliente determina el flujo dentro del secador ya que el primero nos está

produciendo un tiro inducido y el segundo un tiro forzado. Los dos ventiladores se encuentran balanceados, lo cual produce ventajas en el proceso y economía en el equipo.

Los finos que son partículas que no alcanzaron el suficiente peso para caer se extraen junto con el vapor y son retenidos por medio de un filtro de bolsas (11) y más tarde recirculados al proceso mejorando la eficiencia del sistema.

La acción de los ventiladores produce una presión positiva dentro del secador lo cual como ya se mencionó determina el flujo dentro de este, por esto mismo se requiere de la válvula rotatoria al final del secador la cual al ser accionada por el peso del café sobre alguna de sus placas, gira, con lo cual otra de las placas cierra, evitando así que se pierda la presión.

Para evitar alguna contaminación producida por gases de combustión, al arrancar el sistema se mantiene cerrada la manpuerta (1) y abierta la manpuerta (2) dejando escapar los gases.

Más tarde, se invierte la posición de las manpuertas haciéndose circular aire caliente a través del secador lo cual hace que la temperatura dentro de éste se eleve, quedando el sistema listo para recibir la alimentación de las aguas madres.

4-b) Consideraciones Generales Sobre el Equipo que deberá ir instalado en la línea del Diesel.

Los sistemas para combustibles ligeros se componen de las siguientes partes:

1.- Filtro a la Succión.- Este primer componente es un filtro doble, tipo canasta y se encuentra localizado entre el tanque de almacena-

miento y la bomba de combustible. Su función es la de retener toda la suciedad posible del combustible proveniente del tanque de almacenamiento, evitando problemas tanto en la bomba como en las válvulas.

La razón de usar filtros dobles es la de poder alternar la operación sin tener que parar el horno para hacer limpieza; sin embargo en instalaciones pequeñas es posible usar un filtro sencillo ya que el horno si se podría parar para dar mantenimiento.

Las perforaciones del elemento filtran deberán de ser de  $1/16'' \text{ } \emptyset$ .

2.- Bomba de combustible.- El siguiente componente del sistema es la bomba, la cual es de engranes, pudiendo ser de un paso cuando el tanque de almacenamiento se encuentra en el piso o elevado; y de dos pasos cuando los tanques se encuentren bajo tierra, teniendo que el primer paso nos daría la succión suficiente para llevar el combustible del tanque a la bomba, y el segundo paso para dar presión al combustible. La bomba deberá tener la suficiente capacidad como para dar aproximadamente 20% más del consumo del quemador a su máxima capacidad y su presión de salida deberá de ser aproximadamente de 100 a 150 psi.

Generalmente se considera que la bomba no deberá de elevar el combustible a partir del tanque a más de 15 ft., debido a la existencia de volátiles en el combustible que pueden ser vaporizados debido a la succión y por lo tanto provocando que la bomba cavite.

Se deberán poner válvulas de cierre hermético antes y después de la bomba para que esta pueda ser aislada en caso de necesitar reparación.

En procesos que no puedan ser parados se recomienda un sistema de bombeo duplex para poder efectuar una operación alternada en caso

de que falle alguna de las bombas.

3.- Filtro a la descarga.- Este filtro es igual al de succión, con la única variante de que el elemento filtrante deberá de tener perforaciones de  $1/32'' \varnothing$  .

4.- Válvula de Alivio.- Debido a que la bomba maneja una cantidad constante de combustible sin importar la capacidad a la que esté trabajando el quemador, es por lo tanto necesario retornar al tanque el exceso de combustible, función que realiza la válvula de alivio la cual va colocada a la salida de la bomba.

La válvula de alivio es un elemento de seguridad que evita que la bomba sea sobrealimentada a la vez que es un burdo regulador de presión. La presión de disparo de la válvula de alivio se ajustó por un tornillo que ejerce una fuerza sobre un resorte. En un sistema normal la presión de disparo estará en el rango de 40 a 100 psi.

5.- Regulador de Presión.- Este aparato es colocado después de la válvula de alivio y tiene como objeto producir una presión constante antes de entrar al sistema de combustión propiamente dicho. Este regulador deberá poder soportar una presión de entrada hasta de 300 psi y tener un rango de presión de salida de 15 a 50 psi.

6.- Manómetros.- Se deberá instalar un manómetro inmediatamente después de la válvula de alivio para poder fijar la presión de disparo de la misma.

Otro manómetro deberá ser instalado después del filtro de descarga para poder determinar la caída de presión a través del mismo, una AP grande nos indicará que se debe de limpiar el filtro.

7.- Cámara de expansión térmica.- El combustible aumenta de volumen conforme aumenta la temperatura. Debido a que los líquidos son no comprensibles un incremento en la temperatura nos produce un fuerte aumento de presión, por lo que en sistemas de combustión donde se aplica calor a las líneas de combustible, o cuando estas corren cerca del horno, se deberá prevenir la expansión del combustible por medio de cámaras de expansión térmica eliminando así posible daños a manómetros y válvulas.

8.- Límites de presión de combustible.- Estos límites van colocados antes de la válvula de seguridad y tienen como objeto permitir la operación del sistema siempre y cuando la presión se encuentre dentro de un rango de presión determinado. Estos límites deberán ser de restablecimiento manual.

9.- Válvulas de seguridad.- Estas válvulas tienen como objeto cortar el flujo de combustible al quemador en caso de que se presente alguna anomalía en el sistema como una falla de flama, baja presión en las líneas del aire o del diesel, falla de corriente eléctrica, exceso de temperatura en algunos casos, o en general cuando se ha sobrepasado alguna condición límite.

Estas válvulas deberán de ser de cierre hermético, motorizadas o de restablecimiento manual de acuerdo a las necesidades del proceso.

10.- Válvula proporcional.- Cuando se usan quemadores que trabajan en condiciones estequiométricas, es necesario proporcionar las cantidades de aire y diesel que llegan al quemador, esta es la función de la válvula proporcional, la cual va instalada antes de los quemadores.

La válvula proporcional tiene un diafragma, el cual va conectado a una línea de impulso que proviene de la tubería de aire, cuando la

válvula de control disminuye la cantidad de aire nos provoca que la válvula proporcional cierre debido a que la presión que se ejerce sobre el diafragma disminuye y viceversa. Esto sucede en todo el rango de operación del sistema, manteniéndose siempre las condiciones estequiométricas.

Es importante hacer notar que cuando se tengan varias zonas de control se deberá tener una válvula proporcional por cada zona. La presión de entrada a estas válvulas deberá ser de 25 a 30 psi.

Considerando una tubería con combustible líquido, la parte en donde el flujo se debe a la succión producida por la bomba, deberá encontrarse absolutamente hermética y libre de fugas o filtraciones, ya que muchos sistemas trabajan pobremente debido a una sólo filtración de aire por la cuerda de una unión en la línea de succión, o bien en el empaque de las válvulas permitiendo que una pequeña cantidad de aire se esté introduciendo y disminuya la eficiencia del sistema. La causa de problemas con quemaduras que se apaquen sin tener un motivo aparente, puede deberse a que el combustible contenga agua, volátiles (provenientes de la mezcla de aceite ligero con aceite pesado) o aire.

Cuando una burbuja de aire fluye por el orificio de combustible del quemador, se interrumpe la alimentación y el quemador se apaga. - Lo mismo sucede con vapor del aceite.

Si el combustible contienen pequeñas gotas de agua y se precalienta a más de 100°C, al bajar la presión se formará vapor el cual también podrá apagar al quemador. Si se trabaja con aceite No.6 (combustible pesado) en donde este llega al quemador a una temperatura entre 110°C y 130°C es importante eliminar el agua tanto en la línea como en los tanques de almacenamiento.

Los puntos anteriores afectan más a los quemadores con atomización de aire a baja presión ya que los de atomización con vapor o aire comprimido tienen diferentes relaciones de temperatura y viscosidad. Existen tantas variables en el diseño de un sistema de combustión ígido, tales como el tipo de precalentadores, medio de calentamiento, temperatura que requieren las condiciones, tipo de combustible, tipo de quemadores, de alimentación y grado de automatización requerido, que casi forzosamente se debe consultar al fabricante del quemador.

CAIDA DE PRESION EN PIES.  
 POR CADA 10 PIES DE TUBERIA PARA  
 COMBUSTIBLES LIQUIDOS DEL TIPO DE ACEITE.  
 No. 2.

Diámetro Externo	Diámetro Interno	F l u j o		
		30 G.P.H.	50 G.P.H.	70 G.P.H.
3/8"	0.311"	1.9	3.3	- - -
1/2"	0.430"	0.6	0.9	2.5
5/8"	0.555"	0.3	0.4	1.2

CAIDA DE PRESION EN LIBRAS/PIE<sup>2</sup> POR CADA 100 PIES DE TUBERIA STANDARD

Caida de Presión PSI/100'		1	1-1/4	1-1/2	Diámetro de la tubería.				
					2	2-1/2	3	3-1/4	4
300	5	45.5	15.2	8.19	3.02	1.48			
600	10	91.0	30.4	16.4	6.04	2.96	1.24		
900	15		45.5	24.6	9.05	4.45	1.86	1.04	
1200	20		60.7	32.8	12.1	5.93	2.48	1.39	
1800	30		91.1	49.1	19.1	8.89	3.73	2.09	1.26
2400	40			65.5	24.1	11.9	4.97	2.78	1.68
3000	50			81.9	30.2	14.8	6.21	3.48	2.10
3600	60			98.3	36.2	17.8	7.45	4.17	2.52
4200	70				42.3	20.8	8.69	4.87	2.94
4800	80				48.3	23.7	9.94	5.56	3.36
5400	90				54.3	26.7	11.2	6.26	3.78
6000	100				60.4	29.6	12.4	6.95	4.19
6600	110				66.4	32.6	13.7	7.65	4.61
7200	120				72.4	35.6	14.9	8.35	5.03
7800	130				78.5	38.5	16.2	9.04	5.45

Flujo en Gal/Hr.

Flujo en Gal/Min.

LONGITUD EQUIVALENTE EN PIES

DE TUBERIA RECTA PARA ACCESORIOS STANDARD.

Diámetro	Diámetro Interno (Pulg.)	Válvulas completamente abiertas			CHECK	CODO 90°	CODO 45°
		Compuerta	Globo	Angulo			
1/2"	0.662	0.35	18.6	9.3	4.3	1.7	0.78
3/4"	0.884	0.44	23.1	11.5	5.3	2.1	0.97
1"	1.049	0.56	29.4	14.7	6.8	2.6	1.23
1-1/4"	1.380	0.74	38.6	19.3	8.9	3.5	1.6
1-1/2"	1.610	0.86	45.2	22.6	10.4	4.1	1.9
2"	2.067	1.10	58	29	13.4	5.2	2.4
2-1/2"	2.469	1.32	69	35	15.9	6.2	2.9
3"	3.068	1.60	86	43	19.8	7.7	3.6

Almacenamiento y Manejo.- Los tanques de almacenamiento generalmente se clasifican por el material de que estén hechos, como puede ser acero o concreto. Los de acero pueden ser soldados o riveteados.

Tamaño.- Los tanques de almacenamiento deben ser de un tamaño que alcance a cubrir el máximo requerimiento de la planta y un razonable margen de seguridad entre cada embarque.

Localización.- Los tanques pueden encontrarse enterrados o bien sobre la superficie, guardando siempre las debidas reglas de seguridad.

Venteo.- Todo tanque debe tener una línea de venteo que deberá tener mínimo el mismo diámetro de la línea de carga para prevenir cualquier sobrepresión.

Carga.- La tapa de la línea de carga deberá evitar la entrada de agua y polvo lo mejor posible, y deberá encontrarse más abajo de la línea de succión para que el mismo combustible la selle y evite que actúe como venteo.

Succión.- La línea de succión o de salida deberá encontrarse a unos 20 cms. del fondo del tanque suficiente para no alimentar agua o sedimentos al sistema. La línea de succión deberá estar perfectamente hermética y libre de fugas o filtraciones.

Retorno.- Las bombas para combustible generalmente se escogen con un exceso de capacidad y es preferible que este exceso se regrese al tanque que a la succión de la bomba.

El fondo de esta línea también debe estar más abajo del de la línea de succión con el fin de evitar que se forme espuma y mantener un se llo de combustible para prevenir el escape de vapor del aceite cuando el nivel sea bajo.

**Medición de Existencia.**- Es muy importante conocer el nivel y por lo tanto la existencia dentro del tanque por lo que deberá contarse con un dispositivo para llevarlo a cabo.

Asimismo, es conveniente tener una válvula de seguridad (cierre rápido) en la línea de succión cerca del tanque por si es necesario interrumpir el suministro de combustible.

#### 4-c) Cálculo del Sistema de Combustión.

Lo primero que se deberá de calcular será la cantidad de calor necesaria para efectuar el proceso.

**Datos.**- Cantidad de aire a calentar: 400,000 CFH.

Temperatura Final:  $200^{\circ}\text{C} = 392^{\circ}\text{F}$ .

Temperatura Ambiente:  $20^{\circ}\text{C} = 68^{\circ}\text{F}$ .

Altitud sobre el nivel del mar: 7000 ft.

Densidad del material:  $0.057 \text{ lb/ft}^3$

Calor específico del material:  $0.25 \text{ BTU/lb}^{\circ}\text{F}$  a  $68^{\circ}\text{F}$ .

Características de los combustibles disponibles:

a) Gas natural.

Capacidad calorífica:  $1000 \text{ BTU/ft}^3$

Presión: 30 psi.

b) Diesel.

Capacidad calorífica:  $145,000 \text{ BTU/hr}$ .

Presión: 14.7 psi.

Voltajes disponibles: 120 y 220 Volts.50 cps.

Cálculo Térmico:

$$Q = m \text{ CpAt}$$

$$m = 400,000 \frac{\text{ft}^3}{\text{hr}} \times 0.057 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^3} = 22,800 \frac{\text{lb}}{\text{hr}}$$

$$t_1 = 68^\circ\text{F}$$

$$t_2 = 392^\circ\text{F}$$

$$t = t_2 - t_1 = 392^\circ - 68^\circ = 324 \text{ F.}$$

$$Q = 22,800 \frac{\text{lb}}{\text{hr}} \times 0.25 \frac{\text{BTU}}{16^\circ\text{F}} \times 324^\circ\text{F} = 1,846,800 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}}$$

Por lo tanto, la cantidad de calor "efectivo" que deberá ser suministrado al proceso es de 1,846,800 BTU/hr, sin embargo debido a la altitud a la que se operará el quemador, se deberá determinar la capacidad nominal de este.

La capacidad de un quemador la determina básicamente la cantidad de aire que puede manejar y debido a que las capacidades están dadas a nivel del mar debe determinar un factor de corrección debido a la menor densidad del aire en el lugar de operación. Este factor se determina de la siguiente forma:

$$\frac{1}{\text{F.A.}} = \frac{\text{Densidad del aire a nivel del mar.}}{\text{Densidad del aire en el lugar de operación.}}$$

o

$$\frac{1}{\text{F.A.}} = \frac{\text{Presión barométrica a nivel del mar.}}{\text{Presión barométrica en el lugar de la operación.}}$$

F.A. = Factor por altitud.

En nuestro caso tendremos:

$$\text{Densidad a nivel del mar} = 0.075 \text{ lb/ft}^3.$$

$$\text{Densidad en el lugar de operación} = 0.057 \text{ lb/ft}^3.$$

$$\circ \circ \quad FA = \frac{0.0578 \text{ lb/ft}^3}{0.0750 \text{ lb/ft}^3} = 0.770$$

El siguiente paso sería determinar la capacidad nominal del quemador(Qn)

$$Qn = \frac{\text{Capacidad efectiva}}{\text{Factor por altitud.}}$$

$$\circ \circ \quad Qn = \frac{1,846,800 \text{ BTU/hr}}{0.77} = 2,398.441 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}}$$

En esta aplicación no se consideraron pérdidas por radiación a través de las paredes de la cámara de combustión, ya que va recubierta con la drillo refractario y principalmente porque la temperatura de operación es baja, sin embargo es recomendable tener un factor de seguridad de un 20%.

El quemador que se escogió tiene las siguientes características:

Quemador para trabajar con diesel.

Capacidad: 3,000,000 BTU/hr nominales.

Presión de gas: 6" C.A.

Presión del aire de combustión: 8" C.A.

Presión del aire de atomización: 28" C.A.

Gasto de gas natural: 3,000 CFH

Gasto de Diesel: 20.7 GPH

Cálculo de las presiones nominales de los turbo-ventiladores.

Debido a la diferencia de densidades entre el lugar de operación y el nivel del mar, la presión desarrollada por un turbo-ventilador es - también afectada por el factor de altitud.

En nuestra aplicación se recomienda usar dos ventiladores conectados en cascada, uno para proveer el aire a 6" C.A. (Aire de Combustión) y otro para elevar el aire de 6" C.A. a 28" C.A. (aire de atomización).

El cálculo para determinar las presiones efectivas de los ventiladores se hace de la siguiente manera:

Primer ventilador:

Capacidad: 30,000 CFH de aire

Presión efectiva: 6" C.A.

$$\text{Presión nominal} = \frac{\text{Presión efectiva}}{\text{Factor por altitud.}}$$

$$\text{Presión nominal} = \frac{6" \text{ C.A.}}{0.77} = 7.8" \text{ C.A.}$$

$$\text{P.N.} = 7.8" \text{ C.A.} \times \frac{1 \text{ osi}}{1.73" \text{ C.A.}} = 4.5 \text{ osi.}$$

Segundo Ventilador:

Se considera al aire de atomización como el 20% de la cantidad total de aire.

$$\text{Capacidad} = 30,000 \text{ CFH} \times .2 = 6000 \text{ CFH}$$

La presión del segundo ventilador será de:

$$P \text{ atomización} = P_{1\text{o.ventilador}} + P_{2\text{o.ventilador.}}$$

$$P_{2\text{o.ventilador}} = P_{at} - P_a$$

La presión de atomización para combustibles ligeros es de 28"C.A.

$$\circ \circ P_{2v} = 28" - 6" = 22" \text{ C.A.}$$

Para determinar la presión nominal:

$$P_n = \frac{22" \text{ C.A.}}{0.77} = 28.57" \text{ C.A.}$$

$$P_n = 28.57" \times \frac{1 \text{ osi}}{1.73" \text{ C.A.}} = 16.5 \text{ osi}$$

o

° ° Los ventiladores deberán de cumplir con las siguientes especificaciones:

1o. ventilador.

Gasto = 30,000 CFH

Presión nominal: 6 osi

Motor: abierto, 220/440 Volts 50/60 cps.

Acoplamiento. Por bandas y poleas.

2o. ventilador.

Gasto: 6,000 CFH

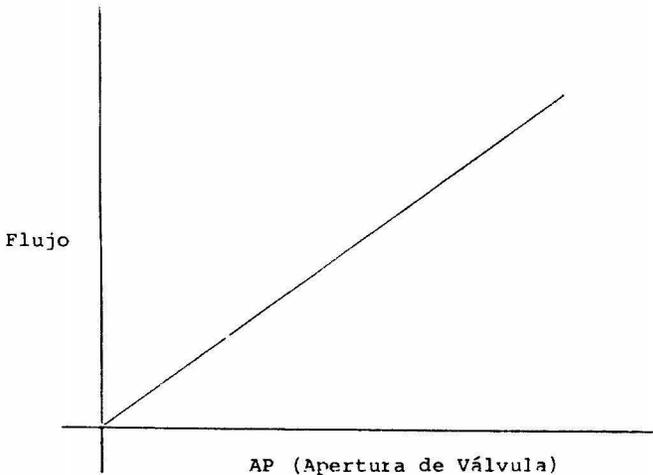
Presión nominal: 16 osi.

Motro: abierto, 220/440 volts. 50/60 cps.

Acomplamiento: por bandas y poleas.

Nota: La razón de usar dos ventiladores es la de abaratar el equipo ya que el primero es de una presión muy baja.

Válvulas.- Las válvulas se escogerán de acuerdo al flujo y a la caída de presión permisible, cuando se trabaja con gas esta AP es de 1" C.A. y con diesel de una libra.



Nota: El tipo de curva dependerá del asiento que tenga la válvula.

## 4-d) Descripción de la Operación del Sistema.

De acuerdo al diagrama presentado la secuencia de operación del sistema será la siguiente:

1.- Se acciona el interruptor general, teniéndose así corriente en el sistema, esto se indica por el foco piloto correspondiente.

2.- Se acciona la estación de botones # 1 y se arranca el ventilador de combustión.

3.- Se selecciona la bomba que se quiera operar por medio del switch selector (SSB) y se arranca la bomba de combustible por medio de la estación de botones correspondiente.

4.- Los interruptores de presión del diesel y del aire, así como el interruptor de flujo, se cierran, señalizándose por medio del piloto de "límites correctos" y se tiene ya corriente en el interruptor del quemador.

5.- Se cierra el interruptor del quemador y se energiza el timer de purga, el cual empieza su conteo una vez terminado este cambian la posición de sus contactos (CTMP) y se alimenta el control contra falla de flama.

6.- Al recibir corriente el control contra falla de flama energiza la válvula solenoide del piloto y el transformador de ignición (Puntas (3) y (4) pasando por los contactos cerrados del timer de ignición.

7.- Una vez detectada la flama se energiza la válvula principal el relevador de arranque a fuego bajo y el timer de ignición el cual empieza su conteo, una vez terminado este, cambia contactos y apaga el

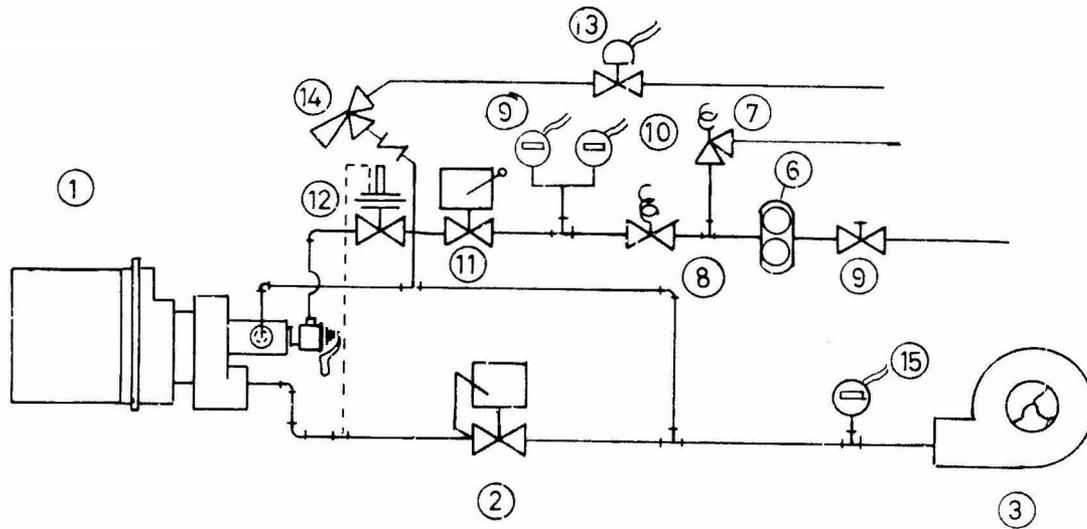
piloto.

8.- En caso de una falla de flama se desenergizará la válvula principal y la alarma sonará accionada por el contacto auxiliar del control.

9.- El relevador de arranque a fuego bajo tiene como objeto el de puentear al control de temperatura para que la válvula de control cierre hasta que el relevador sea energizado junto con la válvula principal, el control de temperatura entonces mandará abrir la válvula de control para satisfacer la demanda del proceso.

#### LISTA DE MATERIALES.

- 1.- Quemador.
- 2.- Válvula de control.
- 3.- Ventilador.
- 4.- Filtro.
- 5.- Válvula Manual.
- 6.- Bomba.
- 7.- Válvula de alivio.
- 8.- Regulador de presión.
- 9.- Interruptor de presión baja del combustible.
- 10.- Interruptor de presión alta del combustible.
- 11.- Válvula de seguridad.
- 12.- Válvula proporcional.
- 13.- Válvula solenoide del piloto.
- 14.- Piloto de Premezcla.
- 15.- Interruptor de Presión Baja del Aire.



SISTEMA DE COMBUSTION

Diagrama Mecánico

## LISTA DE MATERIALES

Diagrama Eléctrico.

- A : Alarma sonora.
- AV : Actuador de la válvula.
- AM : Arrancador magnético.
- B : Bobina del arrancador.
- CF : Control contra falla de flama.
- CRI: Contacto del relevador.
- CT : Control de temperatura.
- CTP: Contacto del timer de purga.
- CTI: Contacto del timer de ignición.
- EB : Estación de botones.
- FC : Fotocelda ultravioleta.
- IQ : Interruptor del quemador.
- IG : Interruptor general.
- MBC: Motor de la bomba de combustible.
- MVC: Motor del ventilador de combustión
- RI : Relevador para arranque a fuego bajo.
- SPAC: Switch de presión alta del combustible.
- SPBC: Switch de presión baja del combustible.
- SPA: Switch de presión de aire.
- SFA: Switch de flujo de aire.
- SA: Silenciador de alarma.
- SS: Selector de bombas.
- VSP: Válvula solenoide del piloto.
- VP :Válvula principal.
- TI : Transformador de ignición.

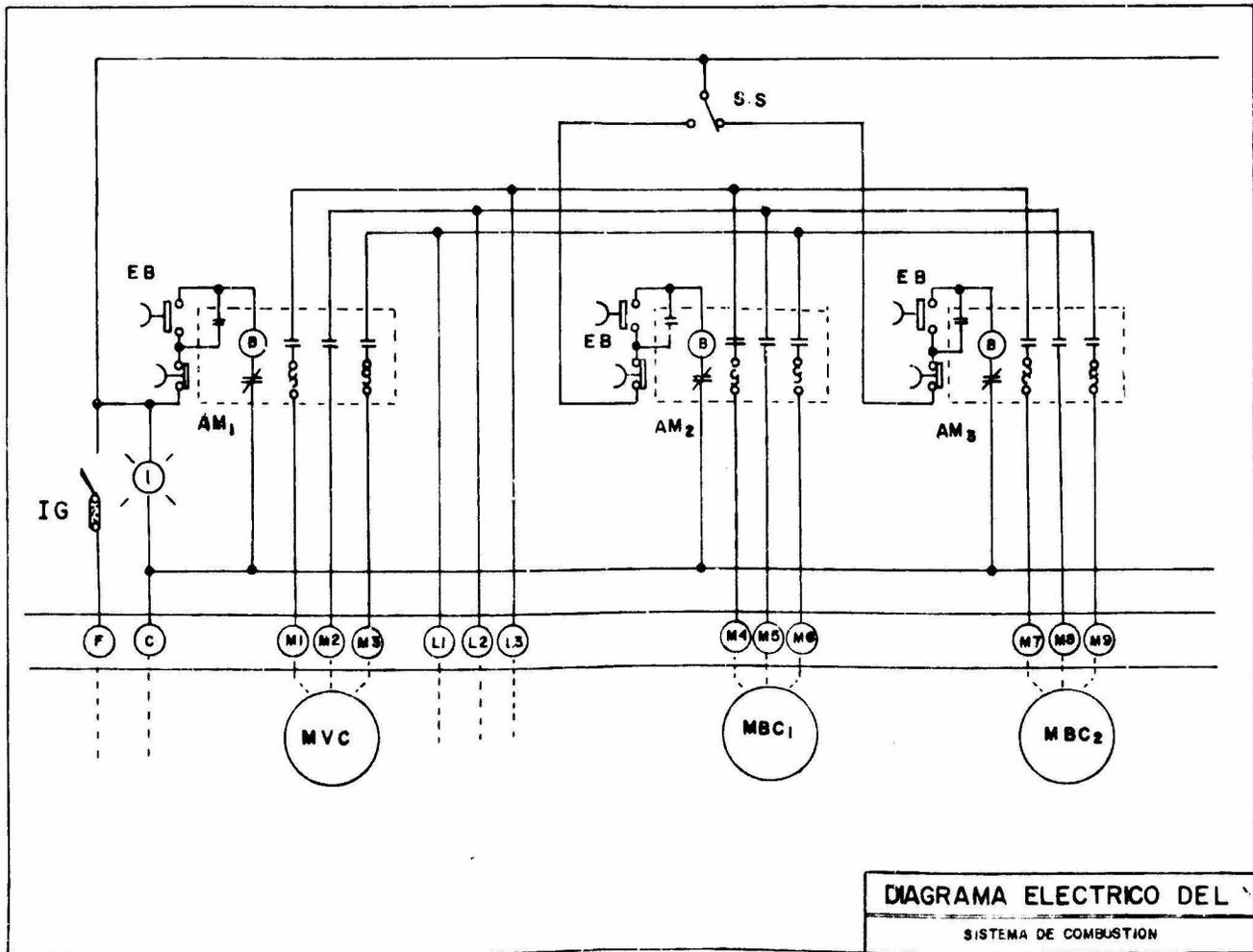
TP : Timer de purga.

TMI: Timer de ignición.

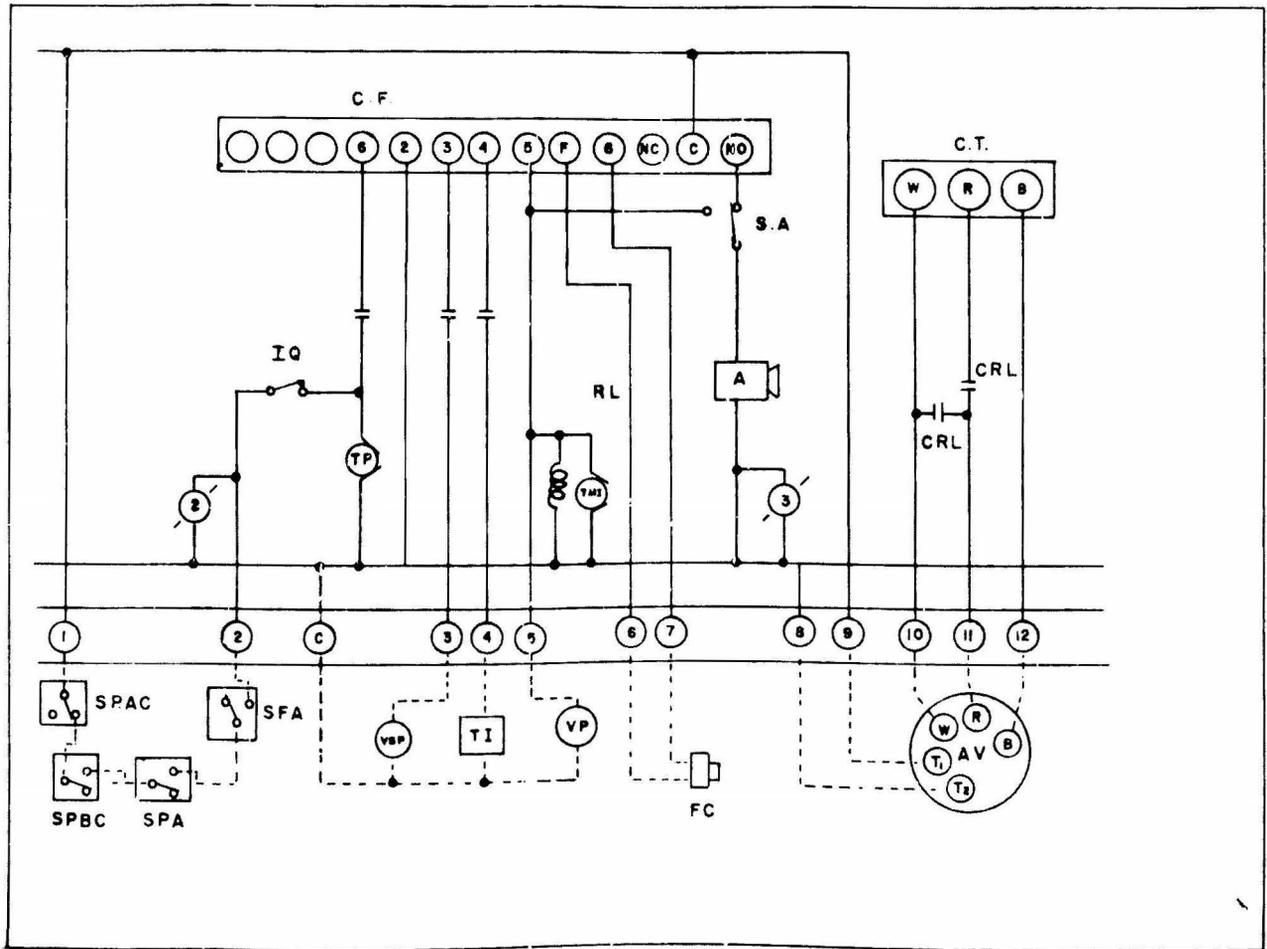
FI : Luz, corriente al sistema.

F2: Luz, límites correctos.

F3 : Luz, quemador apagado.



**DIAGRAMA ELECTRICO DEL SISTEMA DE COMBUSTION**



## 4-f) Estimación de costo.-

Sistema de combustión para un secador de café.

Quemador para diesel con capacidad de 3,580,000 BTU/hr nominales trabajando con aire a 28" C.A. El quemador incluye: cabezal del quemador, block de combustión, mirrilla, válvula medidora del diesel, válvula para el - aire de combustión y de atomización y válvula de cie-- rre manual.....\$ 8,730.00

Para el aire de combustión.

Ventilador con capacidad para 48,000 Ft<sup>3</sup>/hr a una presión de 20 ogi. El ventilador incluye: motor de 7.5 HP 440/22 V.60 Cys. 3F directamente acoplado..... 14,415.00

Para el aire de atomización.

Ventilador con capacidad de 8,500 CFH de aire a 16 oz de presión en condiciones de TPN. Incluye motor de - 1/3 HP, 11) V, 50/60 C..... 4,134.00

Válvula ratiotrol de 3/4 de 0/ para dar la relación - aire-combustible precisa. Presión de entrada del combustible: 25 psi..... 4,980.00

Regulador de presión para la línea del combustible de 1/2" de  $\emptyset$  Cuerpo de Hierro e interiores de acero inoxidable. Resorte rojo ajustable de 13 a 30 psi..... 850.00

Para la alimentación de combustible al quemador:

Juego de bombas para combustible, con capacidad de 70 GPH a 1750 RPM. Montadas sobre base con conexiones necesarias e incluyendo motor de 3/4 HP 220/440 3/60. Manómetro (0-7 Kg/cm<sup>2</sup>) válvula de alivio de 1/2" de  $\emptyset$  y filtro..... 8,850.00

Para transferencia de combustible del depósito al tanque diario.

Bomba para combustible diesel con capacidad de 195 GPH. Motor de 2 HP, a 1750 RPM conexiones base manómetro, - válvula de alivio y filtro..... 5,600.00

Filtros para el combustible los cuales se instalarán antes de la bomba y antes del tren de válvulas al quemador.

Filtros para combustible diesel tipo placas de 3/4 de Ø con espaciamento de 0.0035 pulg..... \$ 1,692.00

#### Sistema de Protección.

Control de seguridad contra falla de flama para - - operar a 120 V, 60 C., en el rango ultravioleta..... 2,991.00

Fotocelda para operar con el control anterior..... 591.00

Base de Montaje..... 224.00

Válvula motorizada para el combustible, para operar a 120 V. 60 Cys. Conexión de 1/2" de Ø..... 458.00

Válvula solenide para la línea del piloto de 3/8" - de Ø con bobina para 120 Volts. 60 Cys..... 418.00

Piloto de encendido de gas, incluye: Mezclador, boquilla, bujía de ignición, gobernador de acero y válvulas para gas y aire..... 1,163.00

Regulador de presión de 3/4" de Ø con orificio de 1/8 y resorte verde..... 328.00

Timer para encendido tipo electrónico con contactos DP. D. Opera a 120 V. 60 C. Rango de 1 a 180..... 562.00

Transformador de encendido para 120 V. 6000 Volts..... 360.00

Límite de presión para el aire de combustión con rango de 1" a 45" C.A..... 1,690.00

Switch de flujo de aire..... 937.00

Switch (de flujo) límite de presión de diesel rango 6 de 5-100 psig..... 631.00

Alarma para 120 V, 60 Cys..... 518.00

#### Sistema de Control Proporcional.

Se utilizará el registrador con que cuentan y además el siguiente equipo.

Pirómetro controlador indicador electrónico escala de - 0-400°C, calibración "J" - 0.5% de exactitud de la esca

la carátula de 6", potencia suministrada 120/240 volts, 50/60 Hz, trabaja en conjunto con un motor operador propo- rcional.....	\$ 7,688.00
Válvula motorizada de mariposa para control proporcio- nal 3" de Ø, capacidad de 30,700 CFH a 1" C.A. de caída de presión actuador eléctrico 120 volts.60 C.220 lb-in, 90°de gorp em 40 seg.velocidad variable.....	3,750.00
Termopares calibración J conductores calibre # 4 termo- par recto funda de acero inoxidable de 12" x 1/2" cabe- za de aluminio a prueba de intemperie.....	380.00
Alambre de extensión para termopar, conductores del # 16, recubrimiento de asbesto. Metro.....	20.50
Pirómetro indicador con elemento sensor de bulbo de resistencia de platino de 100 ohms. Escala de 0-150°C. y exactitud del 0.5% de la escala. Incluye bulbo de re- sistencia.....	2,988.00

## CAPITULO V.- APLICACION (Galvanizado con gas).

- 5-a) Descripción del proceso.
- 5-b) Descripción de los requerimientos para la aplicación del galvanizado.
- 5-c) Métodos de calentamiento en tinas de galvanizado.
- 5-d) Aplicación de las consideraciones experimentales a un caso específico.
- 5-e) Reequerimientos de calor.
- 5-f) Control de temperatura.
- 5-g) Selección del quemador.
- 5-h) Evaluación Económica.

## GALVANIZADO CON GAS.

## 5 a) Descripción del Proceso.

El galvanizado es el proceso de recubrimiento de superficie de Hierro o Acero con zinc. Muchos procesos industriales antiguos son susceptibles de mejorarse por la aplicación de equipo de calentamiento adecuado.

En general el diseño de tinas de galvanizado debe ser tal que la totalidad del calor necesario para mantener el zinc a la temperatura apropiada, debe aplicarse por los lados de la tina. No se debe aplicar por el fondo debido al hecho de que se forman escorias, las cuales normalmente quedan en el fondo de la tina.

El calentamiento excesivo en el fondo, causa la ebullición de las escorias produciendo defectos en el galvanizado. La parte superior de la tina debe naturalmente estar abierta para que permita la inmersión de las piezas que van a ser galvanizadas siendo buena práctica colocar unacapa de fragmentos de corcho y formar una superficie aislante movil, con esto se reduce en una gran proporción las pérdidas de radiación del zinc fundido a la atmósfera.

Con la aplicación de la totalidad del calor por los lados de la tina, se presentan una serie de problemas los cuales se pueden resolver por si solos, si se mantiene una operación correcta.

En muchos casos el calentamiento con gas resuelve estos problemas y se tiene mejor funcionamiento con este combustible que con otros.

Requerimientos para la aplicación del galvanizado:

- 1.- Control exacto de la temperatura del zinc.
- 2.- Calentamiento uniforme en toda la tina.
- 3.- Suficiente capacidad de calentamiento para mantener la temperatura del baño y calentar rápidamente el material sumergido en el baño.
- 4.- No debe subir la temperatura del zinc cuando no se esta metiendo carga. Esto implica que los quemadores deben trabajar bien a fuego bajo.
- 5.- Los requerimientos de mano de obra deberán reducirse al mínimo.

5-b) Descripción de los requerimientos para la aplicación del galvanizado.

Por experiencias tanto prácticas como experimentales se han encontrado valores apropiados para el galvanizado, estos son datos un tanto experimentales producto de experiencias anteriores.

Hay muy buenas razones para tener un buen control de temperatura entre otros casos porque afecta: el peso del recubrimiento del zinc sobre el material. Además no se ha encontrado un material satisfactorio para la fabricación de las tinas de galvanizado con excepción del acero el cual es soluble en zinc fundido a velocidades que se incrementan muy rápidamente si la temperatura se sube a más de 900°F.

Puede establecerse que la velocidad de absorción de acero en zinc es 50 veces mayor en el mismo periodo de tiempo a 986°F que a 919°F y teóricamente la vida de una tina de 1 1/4" operada constantemente a 100°F será únicamente de 50 días, mientras que operada a 850°F o menos sería mayor de 600 días. En vista del tremendo costo implicado en reemplazar una tina la cual se ha corroido, el control de temperatura tiene gran importancia.

El calentamiento uniforme es importante por practicamente las mismas razones que el control exacto de la temperatura; puede verse realmente que mientras la temperatura promedio de la tina puede ser poco satisfactoria o baja, si una buena distribución del calor se aplica a una zona, la temperatura en esa zona será mayor que en el resto de la tina y la acción disolvedora de el zinc sobre el acero sería muy acelerada en esa zona.

La cuestión de suficiente capacidad y prevención del sobre calentamiento a fuego bajo deben considerarse juntos como en cualquier tipo de equipo de combustión, hay un mínimo bajo en el cual los quemadores no pueden ser encendidos y se debe tener una buena combustión.

Es deseable no tener una capacidad mayor que la requerida para la máxima carga a calentar aunque en muchos casos es aproximadamente 15 veces mayor que el requerimiento mínimo y hay pocos tipos de quemadores que operan satisfactoriamente sobre estos rangos. Puede verse que si la temperatura en el periodo que está sin carga no está abajo de los 800°F, la acción disolvedora de el zinc sobre el acero de la tina, será constantemente a una alta velocidad y la vida de la tina se acortará.

La mano de obra requerida es importante por varias razones aparte del costo y es difícil para cualquier humano estar controlando continuamente la temperatura tan exacta como se requiere en el galvanizado.

#### 5-c) Métodos de calentamiento en tinas de galvanizado.

Hay una variedad de métodos por los cuales el gas puede utilizarse en instalaciones de galvanizado. Se seleccionará uno en particular dependiendo de las condiciones del local. Generalmente la condición más importante es la presión del gas disponible. En general, los métodos usados se dividen como sigue:

- 1.- Gas a baja presión sin ventilador de combustión. Este es frecuentemente usado en instalaciones antiguas, pero no es recomendable porque es difícil asegurar la economía y control satisfactorio.

2.- Gas a baja presión y ventilador de combustión. Este método es una gran mejora sobre el primero, así gas y aire pueden estar bajo control exacto proporcionando un control de temperatura satisfactorio y la economía puede estar asegurada. La mayor objeción es el aumento considerable de tubería que debe usarse.

3.- Gas a alta presión. Este método es el deseable especialmente donde el gas es suministrado a suficiente presión por la compañía abastecedora, tal que no necesite instalar compresoras para su uso, sus ventajas son: Pocos requerimientos de tubería y bajos costos de instalación, entre otras.

El equipo para estos tres tipos se encuentra disponible en el mercado, pero hasta donde sea posible favorecemos los dos últimos y especialmente el de alta presión de gas. En general los requerimientos de calentamiento uniforme, se logran utilizando un gran número de quemadores pequeños, repartidos uniformemente a lo largo de los costados de la tina. La capacidad amplia se resuelve utilizando suficientes quemadores cuya capacidad sea tal que proporcionen la capacidad total de la tina. El fuego bajo es controlado por el empleo de 2 manifolds, uno llevando un número de quemadores pequeños los cuales aún a su máximo, únicamente vencer la radiación sobre la tina. El segundo manifold, llevando quemadores más grandes, es empleado únicamente para llevar la carga impuesta sobre la tina, durante horas de trabajo. El control exacto de la temperatura se proporciona utilizando un pirómetro diseñado para operar los dos manifolds, en tal forma que la cantidad mínima de gas requerido está siempre quemándose.

5-d) Aplicación de las consideraciones experimentales para el galvanizado. A un proceso real actualmente en uso.

Una tina de 14' de longitud por 42" de lado y 48" de profundidad apropiada para manejar un máximo de 10,000 lbs. de material por hora, espesor de la pared 4 1/2" de tabique refractario, - utilizando (1000 BTU) gas. Para estimación de consumos y capacidades de quemador individual no es necesario determinar si se usa gas a alta o baja presión.

5-e) Requerimientos de calor.

Durante los periodos sin carga, cuando no se mete carga a la tina, los únicos requerimientos de calor son para superar la radiación de la superficie de la tina y de la superficie del horno que rodea la tina. Se ha encontrado que 5,000 BTU/hr ft<sup>2</sup> de superficie de metal, controlará la radiación de la superficie y también la radiación sobre las paredes del horno provisto con - 4 1/2" de aislamiento.

Durante periodos de trabajo es necesario suministrar suficiente calor para calentar la carga colocada en el baño a la temperatura del baño y el calor suficiente para el zinc de repuesto que reemplaza el zinc tomado por el material. Se ha calculado como una sugerencia un requerimiento de 120 BTU por lb. de material - de trabajo y 135 BTU por lb. de zinc.

Ya que todo el calor para el proceso debe conducirse a través de las paredes laterales de la tina, es necesario tener algún modo de medición, para determinar cuanto calor puede darse a la tina sin peligro de sobrecalentar las paredes. En general la cantidad

máxima de calor deberá mantenerse abajo de 10,000 BTU/hr ft<sup>2</sup> de pared de la tina expuesta al calor. (Esto se ha aumentado a - 15,000 pero no se considera prácticamente bueno).

Pérdidas por radiación = 5000 Btu/Hr ft<sup>2</sup>.

Calor máximo transmitido = 10,000 Btu/Hr ft<sup>2</sup>.

Calor para la recarga = 120 Btu/lb.

Calor zinc de repuesto = 135 Btu/lb.

1.- Area superior del Baño = 14' x 3.5' = 49 ft<sup>2</sup>.

$$Q = 49 \text{ ft}^2 \times 5,000 \text{ Btu/H ft}^2 = 245,000 \text{ Btu/H.}$$

2.- Carga = Fierro 10,000 lbs/H calentados a 900°F.

Q = 120 Btu/lb.

$$Q = 10,000 \text{ lb/H} \times 120 \text{ Btu /lb} = 1,200,000 \text{ Btu/H.}$$

3.- Se reemplazan 1,000 lb.de zinc/H debido al zinc de recubrimiento de la carga.

Q = 135 Btu/lb.

$$Q = 1,000 \text{ lb.de Zinc/H} \times 135 \text{ Btu/lb.de zinc} = 135,000 \text{ Btu/H.}$$

Q Radiación = 245,000 Btu/Hr.

Q Operación = 1,200,000 Btu/Hr.

Q Zinc Repuesto = 135,000 Btu/Hr.

Q Total = 1,580,000 Btu/H.

Usando una temperatura de flama de gas máximo de 1,000°F la flama de gas pierde por ft<sup>3</sup> de gas quemado aproximadamente 350 BTU quedando netos para el trabajo 650 BTU. Sobre esta base el consumo máximo de gas cada hora será de:

$$\frac{1,580,000}{650} = 2,430 \text{ ft}^3/\text{hr}$$

El consumo mínimo para manejar la radiación sólomente será de:

$$\frac{245,000}{650} = 377 \text{ ft}^3/\text{hr}$$

Teniendo determinado los requerimientos máximos y mínimos de el equipo de combustión, el siguiente problema es determinar el número de quemadores, su tamaño y la distribución a través de los lados de la tina que se calentarán.

Generalmente se colocarán tirantes para retener la tina en su lugar a intervalos de 40" a través de la longitud de la tina.

Esto realmente dividirá la cámara de combustión en cuatro espacios iguales en los cuales se pueden colocar los quemadores.

Si los quemadores sostenedores tienen una capacidad máxima de 400 ft<sup>3</sup> con una capacidad mínima de 100 ft<sup>3</sup> y se usaran 8 de estos, colocando uno en cada cámara de combustión. A fin de utilizar los quemadores sostenedores como quemadores de encendido para los grandes, colocaremos un quemador grande a los lados de cada quemador pequeño en cada espacio de combustión, haciendo un total de 16 quemadores. Como estos quemadores deben manejar el balance de la capacidad requerida entonces tendremos cada uno de una capacidad de 131 ft<sup>3</sup>/hr, dando un total de 2,100 ft<sup>3</sup>.

Puede verse que operando ambos manifolds a capacidad máxima tendremos una capacidad total de 2,500 ft<sup>3</sup>/hr la cual será suficiente para cubrir los requerimientos de calor con una temperatura de flama de gas de menos de 1,200°F.

## 5-f) Control de Temperatura.

A fin de controlar satisfactoriamente nuestra temperatura en todos los puntos es necesario probar el equipo de control el cual funcionará como sigue:

Teniendo una temperatura de operación de 848°F. el equipo de control abriría ambos manifolds cuando la temperatura estuviera por abajo de 846°F.

Cuando se alcanzan los 846°F en el termopar, el manifold grande se cerrará.

Esto entonces dejará el manifold pequeño operando a toda su capacidad de 400 ft<sup>3</sup>/H, como este gasto de gas es mayor que el requerido para sostenimiento de la tina, la temperatura de el zinc empezará a subir lentamente. Tan pronto como la temperatura de 850°F es alcanzada el manifold pequeño reducirá el fuego a 100 ft<sup>3</sup>. Este gasto es tan bajo que practicamente imposible que la temperatura del zinc suba, pero empezará a descender tan pronto como la temperatura de 848°F se ha alcanzado, el control abrirá el manifold pequeño a su capacidad máxima de 400 ft<sup>3</sup>. Si esto es suficiente para mantener la temperatura, esta variará entre 848 y - 850 F, con el manifold pequeño operando entre 400 y 100 ft<sup>3</sup>/H. Si se empieza a meter carga a la tina, operando los quemadores pequeños, la temperatura descenderá de 848 y 846 entonces los que

madores grandes son encendidos y naturalmente ellos tienen la suficiente capacidad para que la temperatura se incremente a 848 F, que es el punto en el que se apagan los quemadores grandes, por lo tanto, con cualquier carga en la tina, la temperatura variará en la operación de 848 F con el consumo de gas variando entre 400 y 2,400 ft<sup>3</sup>/hr.

#### 5-g) Selección del Quemador.

En galvanizado, se recomienda la colocación de quemadores a 90° de los lados de la tina y a 25° la horizontal. El tipo de quemador utilizado en cada caso es en el cual la combustión es completada muy cerca del extremo del quemador en un block refractario o tunel de combustión y los gases calientes que salen de este tunel son dirigidos a una cámara de combustión curvada en el fondo, en tal forma que los gases no peguen directamente en el acero de la tina.

Los gases calientes provenientes de esta cámara calientan las paredes de la tina por convección directamente y por radiación del ladrillo de la cámara.

La misma construcción de la cámara de combustión es usada, sin importar si el equipo de gas es para alta o baja presión.

Cuando se tiene disponible gas a alta presión, utilizando quemadores conocidos como inyectores de alta presión cada uno de los cuales tiene su propio mezclador individual, la tubería es poca, ya que únicamente se requieren dos tuberías para el gas, una para cada lado del horno, el manifold grande y el manifold chico.

Si se dispone de gas a baja presión es utilizada una mezcla, la

cual se hace en un sólo punto de cada manifold.

De este modo se requiere una tubería que vaya a cada lado del horno, para cada grupo de quemadores, aunque esta será mayor que en el caso anterior de gas a alta presión.

En algunos casos debido a las tendencias de petardeo del gas que está siendo quemado, puede ser deseable utilizar quemadores de gas con mezcla en boquilla o semi-boquilla, los cuales naturalmente requieren cuatro tuberías que vayan hacia cada lado del horno, dos para el aire y dos para el gas, para completar el doble manifold. Con este tipo de quemadores, debido a su amplio rango de operación es algunas veces posible evitar el doble manifold y operar sobre un amplio rango con un conjunto de quemadores, aunque esto no siempre es posible.

Los instrumentos de control para llevar a cabo los propósitos comentados anteriormente, han sido desarrollados por algunos fabricantes de instrumentos de control.

En vista de los muchos problemas involucrados en cada caso amplios estudios se hacen en cada caso, para asegurar la mejor aplicación y que esté totalmente controlado.

Para hacer la cotización de equipo de combustión para galvanizado es necesario detallar las dimensiones de la tina, forma y espesor disponible, también como todos los detalles del gas, presión del gas, presión del aire disponible, las características de los ven-

tiladores motorizados, los instrumentos de control y todos los detalles de la máxima carga por hora, una aproximación de la cantidad de zinc que debe reponerse, tipo y tamaño de trabajo, también con mucho detalle las temperaturas de operación obtenidas en prácticas previas.

Para el caso en particular descrito se seleccionaron quemadores atmosféricos de alta presión y equipo accesorio como se indica a continuación:

5-h) Evaluación Económica.

8 quemadores atmosféricos de alta presión con capacidad de - - - 50,000 Btu/H a 25 psig. de presión. Incluyen: Venturi, Block de Combustión, Soporte, Manómetro y Válvula Manual.

Precio c/u \$2,040.00                      Total \$16,320.00

8 Quemadores atmosféricos de alta presión con capacidad de - - - 131,000 Btu/H a 25 psig. de presión. Incluyen: Venturi, Block de Combustión, Soporte, Manómetro y Válvula Manual.

Precio c/u \$2,500.00                      Total \$

1 Regulador de presión con capacidad de 1,600 ft<sup>3</sup>/H de entrada de 80 psig. salida de 25 psig.

Precio \$990.00

Sistema de control.

1 Pirómetro 3 posiciones Rango 0-600 C, Tipo "J".

Precio \$3,951.00

1 Termopar tipo "J" calibre 14, forma ángulo recto, funda de fierro, cabeza de fierro longitud 18"

Precio \$262.00

1 Alambre de extensión tipo "J" calibre 14.

Precio \$ 37.50

2 Válvulas de Solenoide de 3/4"  $\emptyset$  para 120 V/50 Hz. presión de trabajo 25 psig.

Precio c/u \$486.00

Total \$972.00

#### SISTEMA DE PROTECCION.

1 Válvula de seguridad con restablecimiento manual de 1"  $\emptyset$  para 120 V/50 Hz. 25 Psig. presión de trabajo.

1 Switch límite bajo de presión de gas con restablecimiento manual rango 1 - 50 psig.

Precio \$920.00

1 Switch límite de temperatura alta rango 40 - 1,095°C

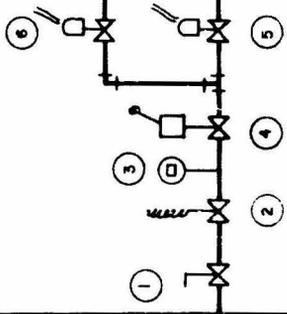
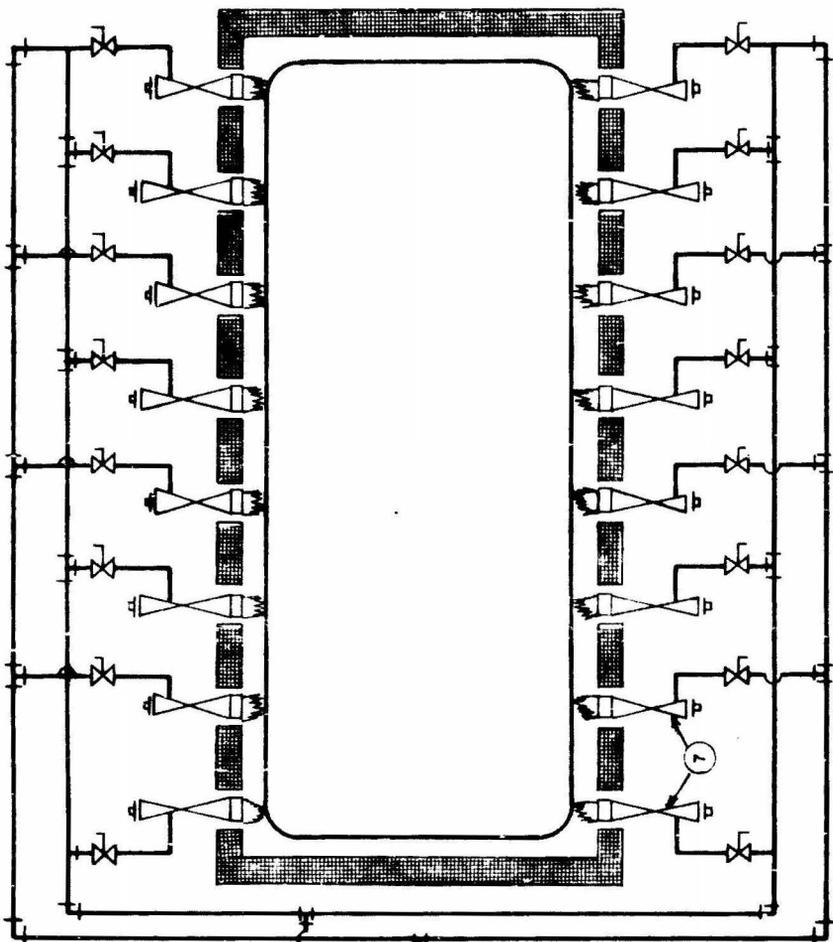
Precio \$2,000.00

LISTA DE MATERIALES.

DIAGRAMA MECANICO.

- 1.- Válvula Macho.
- 2.- Regulador de Presión.
- 3.- Límite de Presión Baja del Gas.
- 4.- Válvula de Seguridad con Restablecimiento Manual.
- 5.- Válvula Solenoide Zona # 1.
- 6.- Válvula Solenoide Zona # 2.
- 7.- Quemadores de Alta Presión.

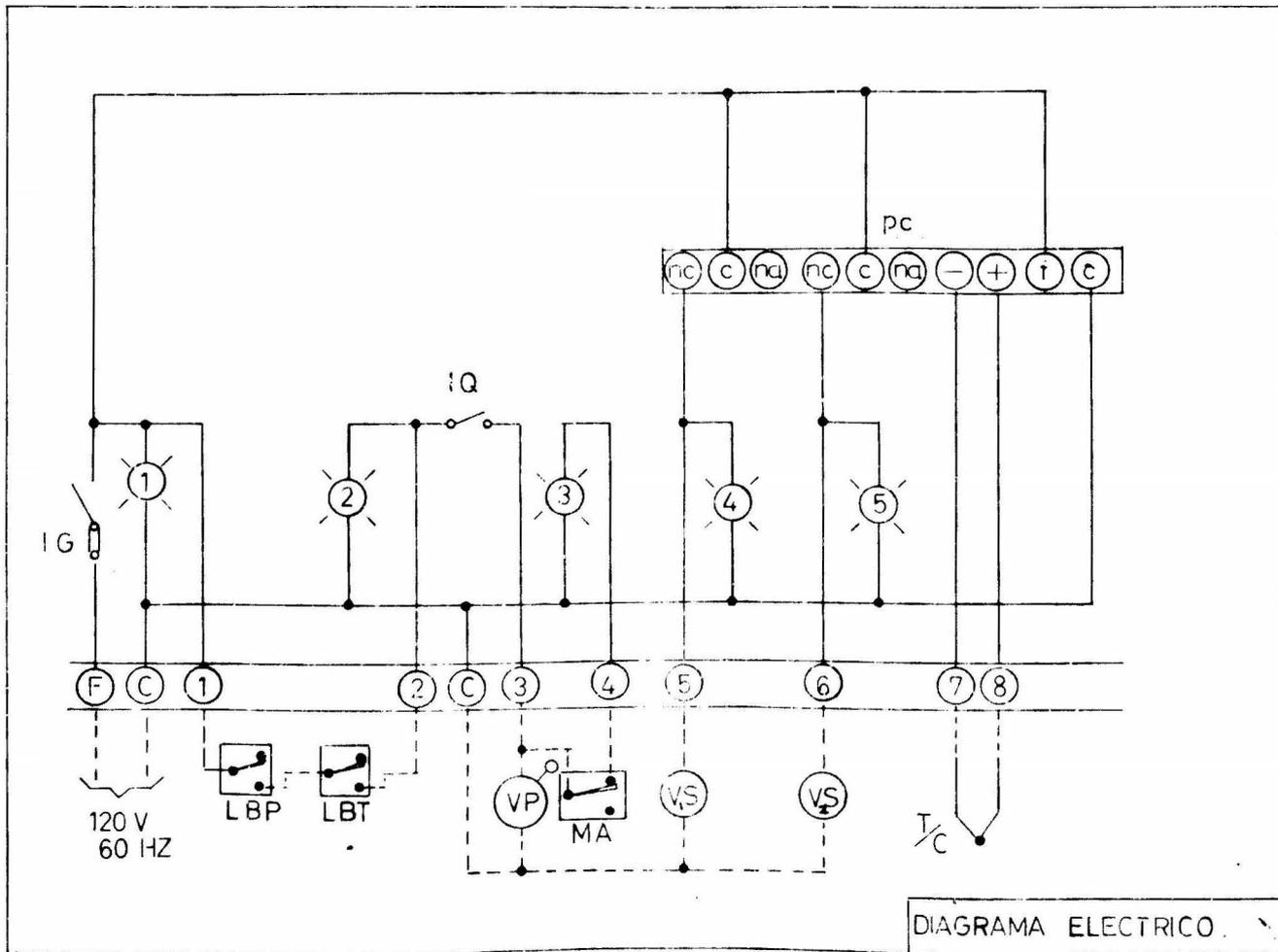
DIAGRAMA MECANICO



## LISTA DE MATERIALES

## DIAGRAMA ELECTRICO.

- I.G. Interruptor General.
- L.B.P. Límite Bajo de Presión.
- L.B.T. Límite Bajo de Temperatura.
- V.P. Válvula Principal.
- V.S. Válvula Solenoide. Zona # 1.
- V.S. Válvula Solenoide. Zona # 2.
- M.A. Microswitch Auxiliar.
- T/C. Termopar.
- I.Q. Interruptor del Quemador.
- P.C. Pirómetro Controlador.
- 1.- Foco Indicador Corriente al Sistema.
- 2.- Foco Indicador Límites Correctos.
- 3.- Foco Indicador Quemador Encendido.
- 4.- Foco Indicador Válvula Solenoide. Zona # 1 Energizada.
- 5.- Foco Indicador Válvula Solenoide. Zona # 2 Energizada.



## Conclusiones:

Son muchos los factores que intervienen en la correcta selección de un equipo de combustión, ya que aunado a las condiciones de trabajo y al tipo de combustible con que se disponga, el alto costo de los equipos en nuestro país influye en forma considerable para llevar a cabo su proyecto.

Como se ha observado ya, la selección de los equipos de Control y Seguridad se lleva a cabo de acuerdo al equipo de combustión que se haya considerado o con que se cuente. Cabe hacer notar que un buen equipo de control evitará en mucho los errores humanos y facilitará el manejo del equipo, mejorando por lo tanto la eficiencia del proceso. Así mismo la importancia vital que tiene el contar con el -- equipo de protección indicado para cada sistema.

En el plano económico es obvio que el uso de un equipo de combustión adecuado representa ahorro tanto en la compra del equipo como en la eficiencia del proceso, reflejado en los costos de producción. Y es importante observar que la facilidad de operación y eficiencia provocadas por el sistema de control, también representan economía. En lo que respecta al sistema de protección cabe hacer notar la peligrosidad que representa en sí el manejo de un combustible, como es el caso y dentro de su uso una falla puede originar daños totales o parciales de consideración al equipo.

Aunado a lo anterior, la época actual caracterizada por la escasez o restricción de los energéticos así como el desequilibrio en la Ecología provocado por contaminaciones que muchas veces se deben a combustión deficiente y uso inadecuado de los combustibles justifica grandemente el uso de equipos completos y adecuados para procesos de combustión.

191  
BIBLIOGRAFIA

- 1) Application of Fireeye Flame Detectors for flame facture controls.  
(Editado por: Electronics Corporation of America. Combustion Control Division).
- 2) Boletines editados por:  
Eclipse Fuel Engineering Company.  
Electronics Corporation of America.  
Minneapolis Honeywell Regulator Company.  
Hauck Manufacturing Co.
- 3) Chemical Process Principles.  
Hougen Watson & Ragate, Tomos I y II.
- 4) Combustion Engineering Manual.  
Editado por: Eclipse Fuel Engineering Co.
- 5) Enterprise Burners.  
Editado por: Enterprise Engine & Machinevy Co.
- 6) Fireeye Flame Safegard Controls and Systems.  
Editado por: Electronics Corporation of America.
- 7) Chemical Engineer's Handbook.
- 8) Dynamic Analysis.  
Editado por: Honeywell.
- 9) North American Combustion Handbook.
- 10) Service Manual.  
Editado por: Penn Controls Inc. Bajo División.