

160  
1997

13411

450-

# UNIVERSIDAD DON BOSCO

## FACULTAD DE INGENIERÍA



### **DISEÑO DE UN SISTEMA DE MODULACIÓN DE ALIMENTACIÓN DE COMBUSTIBLE PARA CALDERAS PIROTUBULARES DE RETORNO HORIZONTAL QUE UTILICE BROZA COMO COMBUSTIBLE PRINCIPAL.**

**TRABAJO DE GRADUACION  
PREPARADO PARA LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA**

**PARA OPTAR AL GRADO DE**

## **INGENIERO MECANICO**

**POR**

**IVÁN ALEXANDER ERAZO DERAS**

**EDGAR ERNESTO HERNANDEZ PARADA**

**AGOSTO - 1997**

**SOYAPANGO,**

**EL SALVADOR,**

**CENTROAMERICA**

UNIVERSIDAD DON BOSCO  
FACULTAD DE INGENIERÍA

RECTOR

ING. FEDERICO MIGUEL HUGUET RIVERA

SECRETARIO GENERAL

PBRO. y LIC. PEDRO JOSÉ GARCÍA CASTRO S.D.B.

DECANO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA

ING. CARLOS ALBERTO GUTIÉRREZ PEÑA

ASESOR DE TRABAJO DE GRADUACIÓN

ING. EDWIN ROMEO ZEPEDA MONCADA

JURADO EXAMINADOR


ING. FRANCISCO ALFREDO DELEÓN TORRES

ING. MARIO ARNOLDO MOLINA ARGUETA

UNIVERSIDAD DON BOSCO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA

JURADO EVALUADOR DEL TRABAJO DE GRADUACIÓN

DISEÑO DE UN SISTEMA DE MODULACIÓN DE ALIMENTACIÓN  
DE COMBUSTIBLE PARA CALDERAS PIROTUBULARES DE RETORNO  
HORIZONTAL QUE UTILICE BROZA COMO COMBUSTIBLE PRINCIPAL



---

ING. FRANCISCO ALFREDO DELEÓN

JURADO



---

ING. MARIO ARNOLDÓ MOLINA

JURADO



---

ING. EDWIN ROMEO ZEPEDA MONCADA

ASESOR

## DEDICATORIA

Dedico este trabajo a DIOS todopoderoso, por ser la luz que guía mi camino, A María Auxiliadora, por brindarme protección y albergue en su casa salesiana, A San Juan Bosco por guiarme y educarme como buen cristiano y honrado ciudadano, A mis padres Edgar y Morena, a mi hermano Carlos Edgardo por brindarme apoyo, cariño y comprensión en todo momento de mi vida y de mi carrera, además por impulsarme a alcanzar todas mis metas, finalmente lo dedico a todos mis familiares y amigos.

Iván Alexander Erazo Deras

TRABAJO DEDICADO A:

DIOS TODO PODEROSO Y  
A LA SANTÍSIMA VIRGEN MARÍA

A MIS PADRES:

Julio Cesar Hernández Martínez  
Corina del Carmen Parada de Hernández

A MIS HERMANOS:

Julio Cesar Hernández Parada  
Wilfredo Enrique Hernández Parada  
Ana Yanira Hernández Parada (Q.D.D.G)

A MIS TÍOS:

Carlos Alfonso Cuerno  
Isabel Martínez de Cuerno  
José Antonio Parada  
Ana Margarita Ventura de Parada

A MIS DEMÁS FAMILIARES Y AMIGOS

Edgar Ernesto Hernández Parada

## OBJETIVOS

### A. OBJETIVO GENERAL

Diseñar un sistema automatizado alternativo para la utilización de broza como combustible primario en calderas pirotubulares de retorno horizontal con hogar exterior, a fin de economizar petróleo y aumentar la eficiencia de la caldera.

### B. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1.- Diseñar un sistema de control de alimentación que permita utilizar broza como combustible primario y petróleo como secundario, en una secuencia correcta.

2.- Reducir el volumen de desecho orgánico proveniente de procesos industriales reutilizándolo como fuente de energía calorífica en forma de vapor.

3.- Mejorar el sistema de mando y control de calderas existentes, utilizando dispositivos modernos y seguros.

4.- Evitar en el medida de lo posible la contaminación ambiental producido por la caldera.

5.- Reducir los costos de generación de vapor en plantas industriales donde se utilicen los sistemas mixtos de combustibles.

# ÍNDICE

	Pág.
INTRODUCCIÓN . . . . .	I
<b>1. DESCRIPCIÓN GENERAL</b>	
1.1 Introducción . . . . .	1
1.2 Calderas . . . . .	1
1.3 Clasificación de las Calderas . . . . .	2
1.4 Calderas Pirotubulares de Retorno Horizontal (HTR) . . . . .	4
1.5 Combustibles . . . . .	7
1.5.1 Aceite Pesado No. 6 . . . . .	7
1.5.2 Broza . . . . .	12
1.6 Flujo de Combustibles . . . . .	13
1.7 Aire para Combustión . . . . .	15
1.8 Quemador . . . . .	17
1.9 Atomización del Aceite Combustible . . . . .	17
1.10 Ignición Automática . . . . .	18
1.11 Controles . . . . .	19
1.11.1 Controles Normales . . . . .	19
1.11.2 Controles de Vapor . . . . .	22
1.11.3 Controles de Alimentación de Aceite Pesado . . . . .	24
1.11.4 Controles de Alimentación de Broza . . . . .	26
1.12 Equipo Auxiliar . . . . .	27
1.12.1 Precalentador de Aire . . . . .	28
1.12.2 Separador Ciclónico . . . . .	29
<b>2. SISTEMA MODULADOR DE COMBUSTIBLE</b>	
2.1 Introducción . . . . .	30
2.2 Conjunto Suministro de Aire de Combustión . . . . .	30
2.3 Conjunto Regulador de la Temperatura de la Chimenea. . . . .	40
2.4 Válvula de Control para Aceite Combustible . . . . .	42
2.5 Precalentador de Aceite Combustible . . . . .	46
2.6 Conjunto Alimentador de Broza . . . . .	50

2.7	Conjunto Horno-Quemador . . . . .	53
2.8	Precalentador de Aire . . . . .	58
2.9	Separador Ciclónico . . . . .	62
2.10	Control Programador . . . . .	66
2.10.1	Control Programador Electromecánico . . . . .	69
2.10.2	PLCs . . . . .	71
3. SECUENCIA DE OPERACIÓN		
3.1	Introducción . . . . .	76
3.2	Secuencia de Programación . . . . .	76
3.3	Período de Prepurga . . . . .	78
3.4	Período de Ignición . . . . .	80
3.5	Período de Operación . . . . .	83
3.6	Período de Parada . . . . .	85
3.7	Secuencia de Fallas . . . . .	86
3.8	Instrucciones de Operación . . . . .	87
3.8.1	Asignaciones de Controles de Vapor . . . . .	88
3.8.2	Piloto de Gas . . . . .	89
3.8.3	Aire para Atomización . . . . .	90
3.8.4	Alimentación de Aceite Combustible . . . . .	91
3.8.5	Alimentación de Broza . . . . .	93
3.8.6	Arranque, Operación y Parada . . . . .	94
4. CONTROL PROGRAMADOR		
4.1	Introducción . . . . .	97
4.2	Control Programador Electrónico . . . . .	97
4.3	Controles Electrónicos a Base de Relevadores . . . . .	98
4.3.1	Controles Primarios de Seguridad de Llama R4795 . . . . .	99
4.3.2	Controles Manejadores de Quemadores Serie D30 . . . . .	104
4.4	Controles Electrónicos Computarizados . . . . .	110
4.4.1	Control de Quemadores Computarizados CB70 . . . . .	111
4.4.2	Multiprogramador 6940B . . . . .	120
4.4.2.1	Tarjetas de Entrada . . . . .	124
4.4.2.2	Tarjetas Especiales . . . . .	126

4.4.2.3	Tarjetas de Salida . . . . .	128
4.4.2.4	Conceptos de Programación . . . . .	133

5. ASPECTOS COMPLEMENTARIOS

5.1	Introducción . . . . .	136
5.2	Contaminación . . . . .	136
5.2.1	La Materia Particulada o Particulas . . . . .	139
5.2.2	Monóxido de Carbono . . . . .	141
5.2.3	Oxidos de Azufre . . . . .	142
5.2.4	Hidrocarburos . . . . .	142
5.2.5	Oxidos de Nitrógeno . . . . .	143
5.2.6	Oxidos Fotoquímicos . . . . .	144
5.3	Plumas de la Chimenea . . . . .	144
5.4	Detectores de Llama . . . . .	149
5.4.1	Rectificador de Electrodo . . . . .	152
5.4.2	Detector de Fococelda . . . . .	154
5.4.3	Detector Infrarrojo . . . . .	156
5.4.4	Detector Ultravioleta . . . . .	157
5.5	Motores Modulantes . . . . .	159
5.6	Tipos de Válvulas . . . . .	162
5.6.1	Válvula de Globo . . . . .	162
5.6.2	Válvula en Ángulo . . . . .	162
5.6.3	Válvula de Tres Vías . . . . .	164
5.6.4	Válvula de Jaula . . . . .	164
5.6.5	Válvula de Compuerta . . . . .	164
5.6.6	Válvula en Y . . . . .	165
5.6.7	Válvula de Cuerpo Partido . . . . .	165
5.6.8	Válvula Saunders . . . . .	165
5.6.9	Válvula de Compresión . . . . .	166
5.6.10	Válvula de Obturador Excéntrico Rotativo . . . . .	166
5.6.11	Válvula de Obturador Cilíndrico Excéntrico . . . . .	166
5.6.12	Válvula Mariposa . . . . .	167
5.6.13	Válvula de Bola . . . . .	167
5.6.14	Válvula de Orificio Ajustable . . . . .	168
5.6.15	Válvula de Flujo Axial . . . . .	168
5.7	Analizador de Oxígeno . . . . .	169

5.8	Normas de Seguridad . . . . .	170
5.9	Consideraciones Económicas . . . . .	173
6. EJEMPLO DE APLICACIÓN		
6.1	Introducción . . . . .	179
6.2	Enunciado . . . . .	179
6.3	Diseño . . . . .	180
6.3.1	Sistema de Aire de Combustión . . . . .	180
6.3.2	Sistema de Alimentación de Combustible . . . . .	182
6.3.3	Sistema de Alimentación de Gas . . . . .	186
6.3.4	Sistema de Aire de Atomización . . . . .	187
CONCLUSIONES . . . . .		188
ANEXOS		
A.	Planos . . . . .	190
B.	Guía de Selección de Motores . . . . .	198
C.	Guía de Selección de Reductores . . . . .	202
D.	Sopladores Accionados por Fajas . . . . .	206
E.	Simbología . . . . .	207
F.	Abreviaturas . . . . .	220
G.	Glosario . . . . .	222
BIBLIOGRAFÍA . . . . .		229

## INTRODUCCIÓN

Las calderas son utilizadas en muchos procesos industriales en donde se necesita una gran cantidad de energía calorífica. Las calderas pirotubulares de retorno horizontal (abreviada HTR) son particularmente utilizadas en nuestro país en la agroindustria, principalmente por los ingenios azucareros y los beneficios de café. El refinamiento o beneficiado de dichos insumos se realizan en procesos que demandan gran cantidad de vapor, por lo que el consumo de combustible también es alto.

Las calderas HTR en El Salvador trabajan principalmente con derivados del petróleo, lo cual se debe más bien a que son importadas de países en donde se cuentan con grandes recursos y no necesariamente reflejan la realidad de nuestro medio. Los combustibles derivados del petróleo tienen limitantes como son su progresiva escasez, limitada cantidad disponible, demanda y precios crecientes y alta contaminación ambiental.

El presente trabajo está orientado a proponer la utilización de un combustible que es abundante y principalmente renovable. Dicho combustible es la broza, es decir, todo tipo de desecho orgánico que sea residuo de un proceso industrial. La broza es muy abundante en países basados principalmente en la agricultura. Tiene también la ventaja de ser perfectamente utilizables como combustibles en hornos grandes como los de las calderas HTR, debido a su facilidad de manejo y su relativamente alto poder calorífico.

Para poder utilizar la broza se deben realizar muchos cambios en una caldera HTR, principalmente en su sistema de control, ya que siempre debe utilizarse el petróleo, al menos en el arranque. Dicho sistema debe combinar el control de ambos combustibles y hacer muchas decisiones según las condiciones que se presenten.

Debido a que la contaminación ambiental y sus problemas ecológicos son actualmente aspectos preocupantes a nivel mundial, se dará un énfasis especial al respecto. Se describirá los distintos tipos de contaminantes sólidos y gaseosos, y sus tratamientos. También se hará mención a las normas de seguridad que se deben seguir en toda caldera y en especial con el manejo de combustibles.

Por lo tanto, el propósito de este trabajo es diseñar un sistema de control para la modulación de combustible de una forma eficiente, sin alterar la producción de vapor existente en cierto proceso, asegurando la más alta seguridad en su funcionamiento y disminuyendo en lo posible la contaminación ambiental.

# CAPÍTULO I

## DESCRIPCIÓN GENERAL

### 1.1 Introducción

En este capítulo se tratará la descripción general del tipo de caldera a estudiar en todo lo largo de este trabajo, así como sus sistemas complementarios y auxiliares. Es necesario conocer el funcionamiento global, para proporcionar posteriormente la información de diseño de cada una de sus partes. La operación de la caldera está dirigida a tres aspectos principales: tener la mayor eficiencia posible en todo el rango de funcionamiento, minimizar en lo posible la operación manual a la vez de incrementar la seguridad, y finalmente, evitar la contaminación ambiental generada por el uso de combustible sólido.

### 1.2 Calderas

La caldera es un dispositivo que produce un fluido que por su presión o su energía calorífica, puede utilizarse en ciertos procesos que ejecutan un trabajo o necesitan un intercambio de calor. Dicho fluido generalmente es vapor de agua, aunque también existen calderas que producen agua caliente o aceite térmico. El vapor se genera al quemar uno o más combustibles que proporcionan el calor necesario para que el agua que está dentro de la caldera se evapore.

Para el uso eficiente de la energía producida por el poder calorífico del combustible, además de la caldera propiamente dicha,

se incorporan otros dispositivos como el precalentador de aire, el economizador y el sobrecalentador. Todos estos dispositivos en conjunto forman el generador de vapor<sup>(1)</sup>.

Para expresar la unidad de medición de una caldera, debemos tener en cuenta que es un transmisor de vapor, y por lo tanto, su capacidad está definida por la cantidad de calor transmitido y aprovechado por el agua y el vapor. La A.S.M.E. (American Society of Mechanical Engineers), estableció al "Caballo Caldera" (CC ó BHP por sus iniciales en inglés) como unidad de capacidad de una caldera.

Se dice que una caldera tiene una capacidad de un caballo caldera, cuando es capaz de producir 15.65 Kg/hr (34.5 lb/hr) de vapor saturado de 100° C (212 ° F), utilizando agua de alimentación de la misma temperatura. El término caballo caldera es una denominación antigua pero se aplica todavía para designar la capacidad de calderas pequeñas (compactas) y tuvo su origen en el hecho de que una caldera al alimentar una máquina de vapor reciprocante, ésta desarrollaba aproximadamente 1 BHP por cada 10 pies<sup>2</sup> (1 m<sup>2</sup>) de superficie de calefacción de la caldera.

### 1.3 Clasificación de las Calderas

Las calderas se clasifican de muchas formas, pero la más general se debe al tipo de fluido que pasa por los tubos de la caldera:

(a) Calderas pirotubulares, tubos de fuego o tubos de humo, que a su vez se clasifican en:

---

<sup>(1)</sup> Estrictamente hablando, la caldera es una parte del generador de vapor, pero en la práctica es común describir la caldera y el generador de vapor como sinónimos.

- De horno exterior, en esta categoría se incluyen la del tipo horizontal tubular de retorno (HTR) y la de tipo de fogón (u hogar) corto o de tipo compacto;

- De horno interno, en esta categoría se incluyen la tubular horizontal como las de las locomotoras, la compacta de fogón corto, la escocesa y la tubular vertical.

(b) Calderas acuotubulares o tubos de agua, se dividen en:

- de tubos rectos
- de tubos doblados o curvos.

Otras formas de clasificación son las siguientes:

(1) Por su movilidad:

- de energía o calefacción estacionarias
- marinas
- portátiles
- locomotoras (de ferrocarril) o estacionarias con hogar locomotor.

(2) Por la ubicación del horno:

- de encendido externo
- de encendido interno

(3) Por la posición de los tubos:

- horizontal
- tubos doblados

(4) Por la forma de los tubos:

- tubos rectos
- tubos doblados

(5) Por la posición de los tambores o domos:

- longitudinal
- transversal

(6) Por el número de tambores:

- simple
- múltiple

(7) Por la construcción del cabezal:

- cabezal

- caja
- (8) Por los pasos de los gases:
  - paso simple
  - paso de retorno
  - pasos múltiples
- (9) Por la circulación del agua:
  - natural
  - acelerada
  - forzada
- (10) Tubos de fuego, clasificados anteriormente, también se conocen como:
  - tubular de retorno horizontal (HTR)
  - hogar locomotor (LFB)
  - marina escocesa (SM)
  - tubular vertical (VT)
- (11) Tubos de agua, con los siguientes nombres antiguos:
  - tubos rectos, como la Babcock & Wilcox (B & W) o las de cabezal de caja Heine, que tiene normalmente tubos rectos que conectan cabezales con cabezales
  - tubos doblados, como la Sterling y otros tipos de tambores múltiples, que tienen normalmente tubos doblados que conectan tambores con tambores o tambores a cabezales
  - el tipo de cabezal de hierro colado, que viene dentro del tipo de tubos de agua
- (12) Especial:
  - de paso continuo
  - tipo serpentín
  - eléctrica.

#### 1.4 Calderas Piro-tubulares de Retorno Horizontal (HTR)

Las calderas de tubos fuego de retorno horizontal<sup>(2)</sup> consisten en un tambor con tubos de flujo de gases de combustión

---

<sup>(2)</sup> De aquí en adelante se tratará exclusivamente de las calderas piro-tubulares de retorno horizontal con horno externo o calderas HTR.

que se extienden a lo largo de ella. El tambor está suspendido en una estructura de acero dentro de una cámara de ladrillo, la cual forma un horno. En la Fig. 1-1 se muestra una caldera HTR con sus partes.

La cubierta (cilindro) de una caldera tubular de retorno horizontal tienen una disposición horizontal, está hecha de una placa de acero rolado y cerrada en sus extremos con planchas planas de tubos. Los tubos están insertados en agujeros rimados que se han perforado en las planchas o cabezales de los tubos. Luego los tubos se expanden dentro de las planchas y las puntas salientes se doblan o biselan hacia atrás, contra la plancha con una biseladora. El biselado ayuda a evitar que los extremos del tubo se quemen y a soportar la plancha plana de tubos. Las planchas de tubos o cabezales también tienen el apoyo de varillas de soporte cortas en diagonal, soportes de escuadras planas, o soportes largos de cabezal a cabezal. La mayoría de las cubiertas tienen aberturas de acceso para mantenimiento, un registro de hombre en la parte superior y una abertura en la parte más baja del cabezal frontal de tubos. Otras cubiertas pueden tener un segundo registro de hombre, registro de mano o abertura para tapón de tubos.

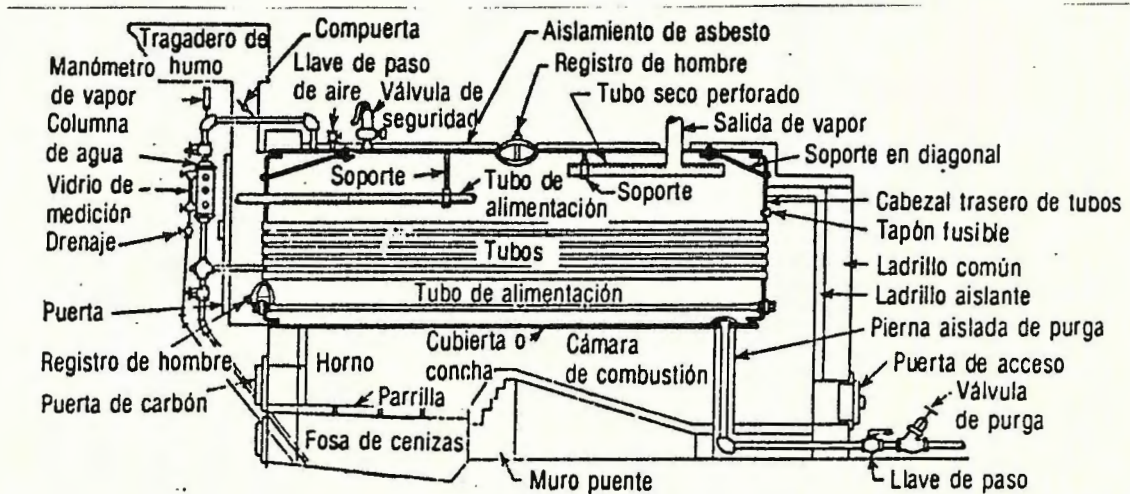


Fig. 1-1. Caldera pirotubular de retorno horizontal con sus partes.

Las calderas HTR tienen placas de soporte en los lados de la cubierta. El tambor está apoyado por varillas soldadas a una estructura externa de acero o de orejas que reposan en rodillos sobre una estructura de ladrillo reforzada con acero. En ambos casos, las estructuras están hechas de ladrillos rojos comunes de construcción y están forradas con ladrillos refractarios para resistir el calor del horno u hogar. La cubierta está inclinada hacia atrás para ayudar a drenar el agua y el sarro a través de la tubería de purga.

El aislamiento y el ladrillo protegen el tramo de la tubería de purga cuando ésta pasa a través del horno. Esto forma un escudo para el tramo, que está lleno de agua estancada y sarro o lodo que provienen de los gases del horno, calientes y erosionadores. La línea de purga va de una válvula de cierre lento a un tanque de purga. Una puerta de acero, protegida por ladrillo térmico suelto en la parte de atrás de la estructura, da acceso a la parte trasera del horno y al cabezal trasero de tubos con el objeto de hacer la limpieza, reparaciones, etc.

En la parte superior de la cubierta existen no menos de dos toberas (conexiones de apertura); una es para la válvula de seguridad y la otra para la línea de vapor. Estas dos aberturas están separadas una de la otra para que no debiliten la cubierta. A veces se usan asientos o bujes para reforzar las líneas que pasan a través de la cubierta o de los cabezales de tubos. Las líneas que perforan la cubierta son para la columna de agua, manómetro, válvula de purga y entrada del agua de alimentación.

Una caldera HTR es encendida externamente. Para la caldera de la Fig. 1-1 los gases pasan bajo la cubierta hasta la plancha o cabezal de tubos posterior, luego por los tubos hasta el cabezal frontal de tubos, suben por la caja o tragadero de humos y pasan al tiro de la chimenea. Esta característica de pocos pasos del humo lo hace apropiado para utilizar broza como el combustible principal en el hogar.

Aunque se puede utilizar la broza como combustible en la operación continua de una caldera HTR, es necesario utilizar también otro combustible, ya sea gaseoso o sólido, para el arranque y cambios de carga en los procesos. En la Fig. 1-2 se muestra el sistema de alimentación de combustible simplificado para la caldera HTR que utilizará aceite pesado y broza. Dicho sistema es el que se diseñará en todo el proceso del trabajo.

### 1.5 Combustibles

Los combustibles utilizados en la caldera son de dos tipos específicos:

- (a) Aceite pesado No. 6<sup>(3)</sup>
- (b) Desecho vegetal industrial o broza

Aunque el objetivo principal de este trabajo es utilizar broza como el principal combustible, es necesario emplear el aceite pesado en los períodos de arranque y en cambios en la demanda de vapor, ya que sus características permiten un mejor control de la combustión. Los combustibles sólidos como la broza no tienen la suficiente facilidad de manejo y poder calorífico para que su control sea eficiente.

#### 1.5.1 Aceite Pesado No. 6

El aceite pesado No. 6 es un tipo de aceite obtenido del fraccionamiento del petróleo en el proceso de refinación, el número 6 indica su grado de destilación y está clasificado como aceite residual ya que es uno de los productos del petróleo de más baja

---

<sup>(3)</sup> De aquí en adelante se tratará exclusivamente del aceite pesado No. 6 como el combustible líquido y la broza como el combustible sólido. Por lo tanto, a veces se referirán a ellos simplemente como aceite o aceite combustible para el aceite pesado No. 6 y broza para el desecho orgánico vegetal.

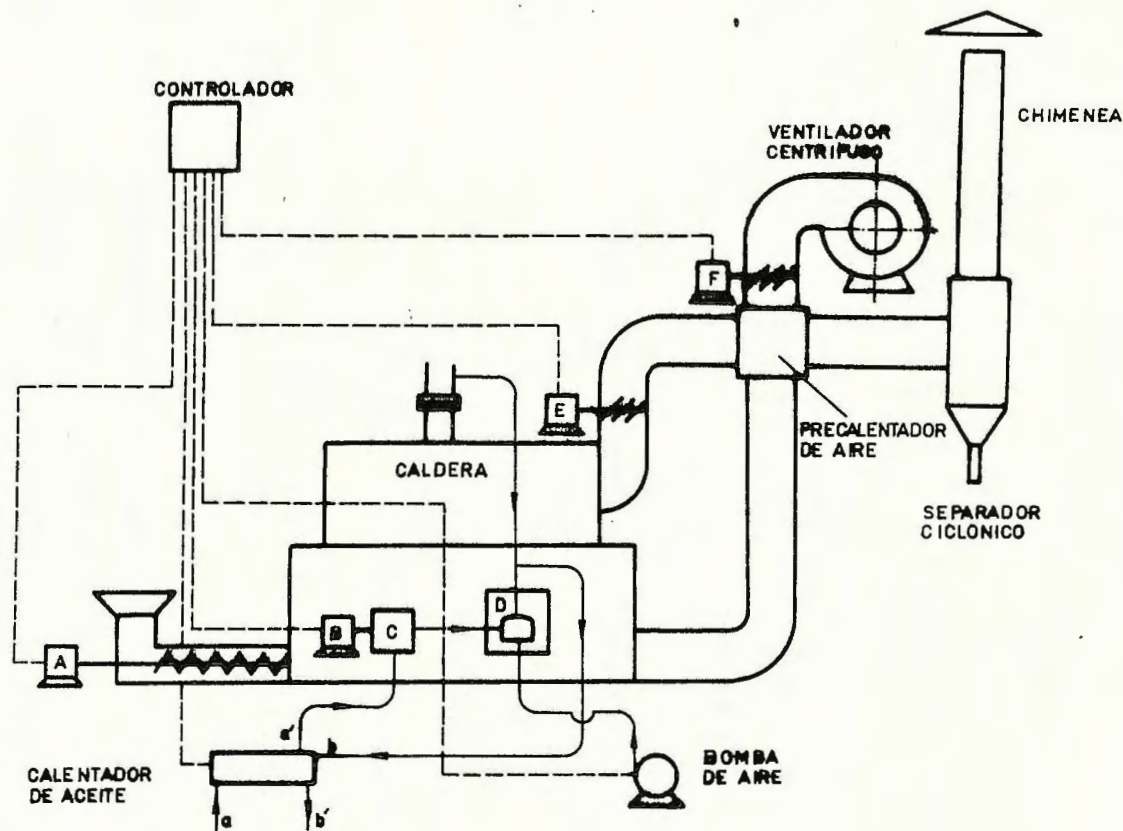
calidad (supera únicamente al coque y al asfalto) y por lo tanto su precio es relativamente bajo. Las características generales de este aceite son las siguientes:

Identificación en la refinería: Aceite Combustible No. 6  
 Otros Nombres: Aceite Pesado No. 6, Bunker C,  
 Combustóleo, Petróleo Residual, Chapapote.  
 Punto de Inflamación: 150° F mín.  
 Viscosidad a 100° F: 50 - 150 seg-Saybolt  
 Calor de Combustión (neto): 150,700 - 145,600 BTU/gln  
 Destilación ASTM, Punto 10% : - - - - -  
 Punto 90% : 650 hasta 700° F  
 Punto 100% : - - - - -  
 Azufre (% en peso): 0.5 - 2.0  
 Residuo de Carbón en 10% de sedimentos (%): 1.0 - 5.0  
 Ceniza (% en peso): vestigios - 0.15  
 Agua y Sedimentos (%): vestigios - 0.5  
 Punto de Fluidéz: (-10) a (+40) ° F

Punto de Inflamación. Es la temperatura más baja del fluido que permite se formen vapores inflamables. Se le encuentra calentando lentamente al combustible y pasando una llama por la superficie líquida. Se obtienen una llama distinta en el punto de inflamación. El punto de inflamación es importante por motivos de seguridad y es un índice del riesgo de incendio. La temperatura exacta, difiere del aparato y el procedimiento de prueba. La mayoría de los aceites pesados tienen puntos de inflamación entre 150 y 300° F (66 y 149° C).

Viscosidad. La viscosidad de un aceite es la medida de su resistencia a fluir. Se establecen límites máximos para esta propiedad debido a que su efecto es muy grande con respecto a la facilidad con la que el aceite habrá de fluir a través de las tuberías y en el grado en que podrá atomizarse o en que podrá lograrse la atomización con un equipo determinado. La viscosidad cambia rápidamente con la temperatura, un valor numérico de ella no

tiene significado a menos que se especifique la temperatura de la prueba. Para aceites pesados es necesario el precalentamiento ya que presentan una alta viscosidad. Se utiliza el viscosímetro Saybolt Furol para la medición de la viscosidad en aceites pesados.



- A: MOTOR DEL ALIMENTADOR DE BRASA  
 B: MOTOR DE LA VALVULA MODULADORA DE COMBUSTIBLE  
 C: VALVULA MODULADORA DE COMBUSTIBLE  
 D: QUEMADOR  
 E: MOTOR DEL DAMPER DE LA CHIMENEA  
 F: MOTOR DEL DAMPER DEL AIRE SECUNDARIO

- a: ENTRADA DE ACEITE  
 a': SALIDA DE ACEITE  
 b: ENTRADA DE VAPOR  
 b': SALIDA DE VAPOR

Fig. 1-2. Disposición de la caldera HTR.

Calor de Combustión. Es el poder calorífico del combustible, y se determina, quemándolo con oxígeno en una bomba y tomando nota de la elevación de la temperatura del baño refrigerante. La cantidad de calor transferida al refrigerante, dependerá parcialmente, de que todo o parte del vapor de agua formado por la combustión se condense.

Destilación ASTM. La destilación en el laboratorio de una muestra del combustible bajo condiciones controladas da un índice del grado de volatilidad del aceite. Las temperaturas a 10% y a 90% representan respectivamente los puntos a los que el 10 y el 90% de la muestra de combustible fue destilada. La temperatura al 10% sirve como índice de la facilidad de ignición del aceite; las temperaturas al 90% de destilación y la temperatura final se especifican para asegurar que el aceite volatilizará y quemará completamente produciendo una mínima cantidad de depósitos de carbón.

Azufre. Los combustibles hidrocarburados pueden tener azufre libre, sulfuro de hidrógeno y otros compuestos de azufre. El contenido de azufre se determina midiendo la cantidad de bióxido de azufre formado por la combustión y traduciendo esto a un peso equivalente de azufre libre (aun cuando se encuentre en el combustible, en forma de compuestos diferentes). El azufre o sus compuestos, son objetables por varias razones. En algunas formas, principalmente como azufre libre y como sulfuro de hidrógeno contenidos en el combustible, son elementos corrosivos que atacan a las tuberías. En todas las formas, el azufre se puede unir con el oxígeno para formar bióxido de azufre que en presencia del agua a baja temperatura, tiende a formar ácido sulfúrico.

Residuo de Carbón. Cuando se quema un combustible, con una cantidad limitada de oxígeno, se obtiene, generalmente, un producto llamado residuos de carbón. Este representa el constituyente final más pesado, de un combustible líquido. Los residuos con alto contenido de carbón contribuyen a dejar depósitos en el hogar y en

derredor de los extremos del inyector, interfiriendo con la atomización.

Ceniza. La ceniza indica la cantidad de impurezas y combustible que contiene el aceite. Estas impurezas vienen principalmente de sales naturales presentes en los aceites crudos o por contaminación con las sustancias químicas que puedan usarse en las operaciones de la refinería aunque pueden también provenir de incrustaciones, suciedad o impurezas contenidas o recogidas por el aceite en los tanques generalmente de almacenamiento, tubería o transportes en los que es acarreado. Algunas impurezas que producen contenido de cenizas en los aceites combustibles causan rápido deterioro de los materiales refractarios en el hogar, particularmente a alta temperatura. Algunos otros son abrasivos y destructores de bombas, válvulas, equipos de control y otras partes del quemador. Las especificaciones de contenido de ceniza se incluyen con objeto de reducir al mínimo estas dificultades de operación tanto como sea posible.

Agua y Sedimentos. El agua y los sedimentos están contenidos en las aceites combustibles No. 4, 5 y 6. Es difícil eliminar del grupo el agua y los sedimentos y no se hace debido a que la ventaja de contar con combustibles sin estos inconvenientes no justifica el costo de la operación. La presencia de agua salada es especialmente dañina por ser corrosiva.

Punto de Fluidéz. La temperatura de fluidización de un aceite es la temperatura mínima a la cual es capaz de fluir mientras sea enfriado y esta temperatura se determina bajo condiciones preestablecidas. Las normas de temperatura de fluidización se incluyen con objeto de que el aceite combustible pueda manejarse sin dificultades en uso normal de acuerdo con las temperaturas mínimas o normales a las cuales puede estar sujeto. El punto de fluidéz se determina enfriando una muestra de aceite en un recipiente para pruebas hasta que, al pasarlo de la posición

vertical a la horizontal, no ocurra ningún movimiento perceptible del aceite (durante 5 seg).

### 1.5.2 Broza

La broza es un desecho orgánico vegetal resultado de un proceso industrial. Se están usando cada vez más a medida que aumenta el costo de los combustibles fósiles. Como la broza es un subproducto combustible obtenido de ciertas operaciones agroindustriales, se debe tratar de consumir como fuente de energía. Sin embargo, presentan ciertos problemas como la dificultad de manejo, la falta de suministro continuo y problemas de contaminación, los cuales hacen más complicado su empleo como combustible.

Toda combustión de sólidos, especialmente los materiales de calidad variable presentes en la broza, representa un problema crítico para el control preciso y la uniformidad de la temperatura requeridos en muchos procesos industriales, pero resultan más adecuados para cámaras de combustión muy grandes, particularmente las de calderas.

Entre los tipos de broza más abundante en nuestro medio están los siguientes:

- Bagazo de caña de azúcar
- Cascarilla de café
- Madera, corteza y aserrín
- Estepa de coco
- Olote de maíz
- Paja

El poder calorífico y la cantidad de aire necesaria para la combustión de algunos subproductos vegetales son los siguientes:

Combustible	Kg aire/Kg comb.	Kcal/Kg
Bagazo de caña de azúcar con 30% de humedad	18.00	2,890
Madera seca	18.00	720
Paja	18.00	3,340
Aserrín seco	18.00	5,000

### 1.6 Flujo de Combustibles

El flujo de combustible es toda la trayectoria que recorre un determinado combustible desde sus recipientes de almacenamiento hasta su entrada al horno o al quemador de la caldera. Esta trayectoria incluye todos los equipos y dispositivos que se encuentran a su paso que constituyen todo el sistema de alimentación de combustible.

El flujo del aceite pesado y los sistemas de circulación se muestran en forma esquemática en la Fig. 1-3. El aceite pesado lo suministra al sistema una bomba de abastecimiento la cual proporciona parte de su descarga al calentador de aceite. El aceite excesivo se devuelve al tanque de almacenamiento a través de la válvula de escape y la línea de retorno. El combinado precalentador eléctrico y de vapor del aceite es controlado por termostatos. El aceite calentado fluye por entre un colador de aceite combustible que impide que materia extraña pase a las válvulas de control o al inyector. El conjunto de control comprende en una consolidación mecánica las válvulas medidores, reguladores y manómetros para regular la presión y flujo del aceite al quemador. La válvula medidora de aceite entrega el aceite necesario al quemador para satisfacer las demandas de carga. El aceite es purgado del tirador del quemador en el caso de una parada del quemador. La válvula solenoide de purga de aire se abre mientras se cierra la válvula de combustible, y divierte el aire para atomización por la línea de aceite. Esto asegura que un inyector y línea limpios para el próximo restablecimiento.

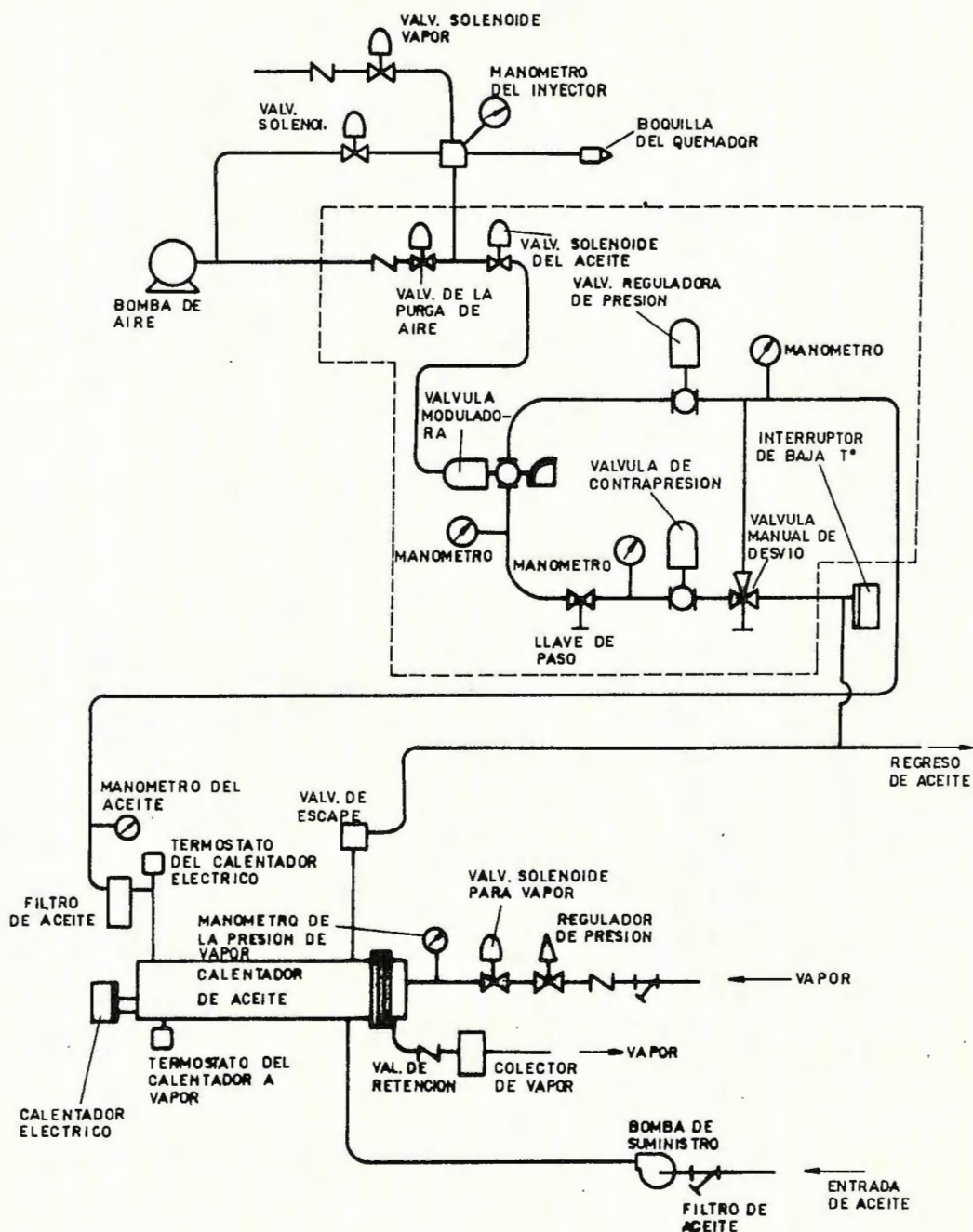
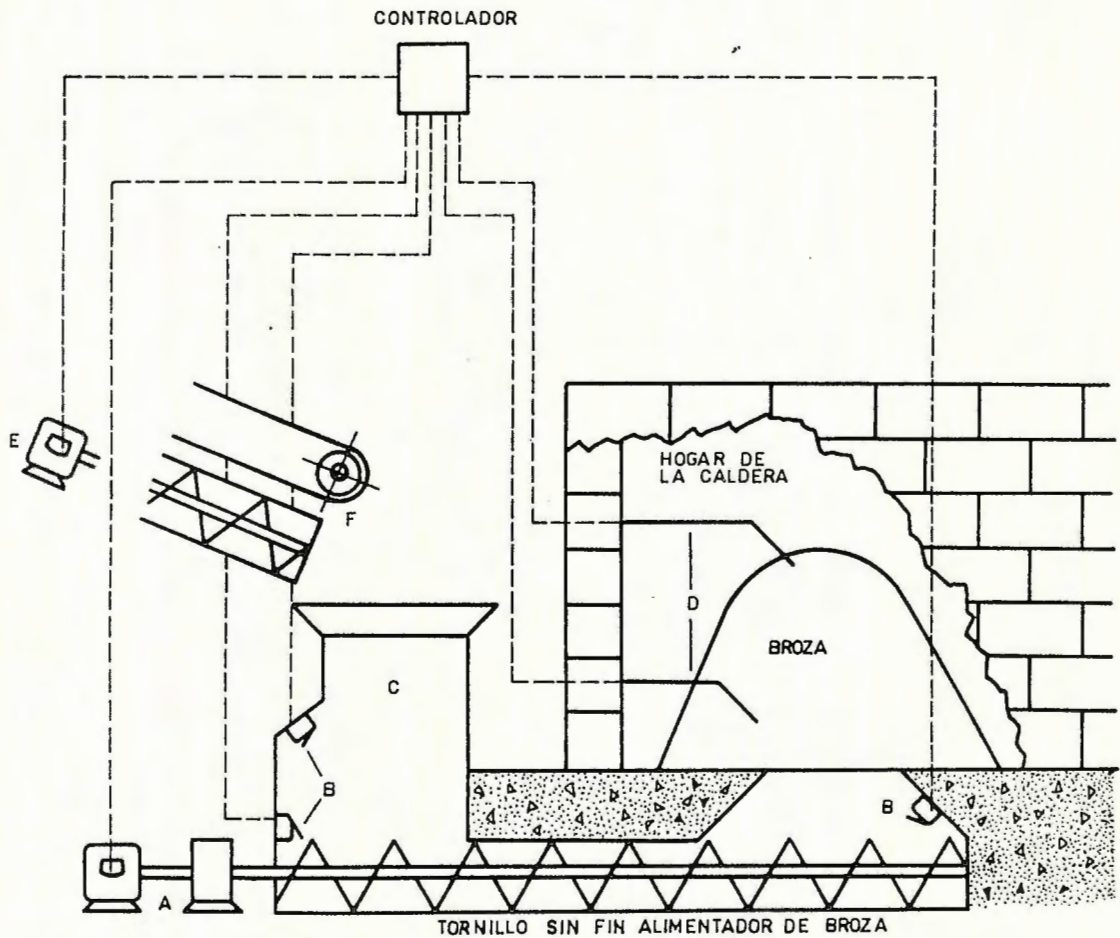


Fig. 1-3. Flujo de combustible de aceite pesado No. 6.

El flujo de la broza (Fig. 1-4) es más sencillo. La broza se almacena en el silo de almacenamiento después de pasar por el proceso de la planta. Es llevada del silo de almacenamiento a la tolva recolectora por medio de un tornillo sinfín, si está relativamente cerca o por una banda sinfín, si está más lejana. La tolva recolectora almacena una cantidad de broza de manera que el ciclo de arranque y paro del motor reversible y su reductor de velocidad no sea tan continuo. De la tolva recolectora hasta el interior del horno la broza es llevada por otro tornillo sinfín más corto. Este último flujo debe ser reversible para permitir al control extraer la broza de exceso en los casos de excesiva broza y de seguridad por presión alta del vapor. Se debe tener en cuenta que casi todo el tipo de broza utilizada presenta un porcentaje relativamente alto de humedad, por lo que los mecanismos y la ruta que recorre la broza deben tener conductos de drenaje. Entre menor sea el porcentaje de humedad en la broza, mayor eficiencia se obtendrá en la caldera y se evita lo menor posible la presencia de vapor de agua en la chimenea.

### 1.7 Aire para Combustión

El aire para combustión, muy a menudo llamado "aire secundario", es suministrado por un ventilador centrífugo o soplador montado externamente en la caldera. Aunque su posición puede variar, es más eficiente si se coloca entre la chimenea y el quemador de aceite combustible, ya que el aire de combustión se precalentará en un precalentador recuperativo. Durante la operación, el aire es introducido al precalentador de aire y luego es introducido en el hogar, de manera que haga contacto con ambos combustibles para efectuar una buena combustión. El abastecimiento de aire secundario se gobierna por medio de una persiana o damper para proporcionar la cantidad correcta de aire para la mejor proporción de aire-combustible en toda la modulación de alimentación.



- A: CONJUNTO MOTOR REDUCTOR  
 B: INTERRUPTORES DE NIVEL DE BROZA  
 C: COLECTOR DE BROZA  
 D: ELECTRODOS DE RECTIFICACION  
 E: MOTOR DEL SIN FIN SECUNDARIO  
 F: TORNILLO SIN FIN O BANDA TRANSPORTADORA  
 PROVENIENTE DEL SILO

Fig. 1-4. Flujo de alimentación de broza.

## 1.8 Quemador

El quemador se utilizará solamente para el aceite combustible, y será del tipo de baja presión, ya que la vaporización del aceite se hará por atomización de aire en el arranque y por atomización por presión de vapor, cuando la caldera esté en operación y se cuente con vapor a presión. El quemador se encenderá por chispa eléctrica de un piloto de gas, el cual se apagará después que se ha establecido la llama principal. El quemador operará con modulación completa (dentro de sus asignaciones de operación) por medio de controles de posición de tipo resistencia variable (motores moduladores), esto permitirá la modulación tanto de alta presión como de baja presión. Dentro del hogar se dispondrá de rectificadores detectores de llama para vigilar la llama del aceite y del gas piloto, el control programador parará el flujo del aceite en caso de falla de la llama. El control programador también proporcionará un período de prepurga antes de encender el piloto y llama principal, y un período continuo de operación del ventilador soplador para purgar la caldera de todo vapor de combustible no quemado.

## 1.9 Atomización del Aceite Combustible

La atomización del aceite combustible se realizará por medio de dos fluidos, pero en ambos casos se utilizará el tipo de atomización por presión. Durante el arranque se utilizará aire para atomizar, suministrado por una bomba de aire, y se entregará a presión a través del bloque múltiple al conjunto inyector del quemador de aceite.

Durante el período de operación cuando se dispone de suficiente presión en la caldera se utilizará vapor para producir la atomización. El vapor utilizado no estará a la presión de la caldera, ya que la atomización no requiere alta presión, por lo que se utilizará una válvula reguladora de presión. Ambos fluidos se

mezclan con el aceite inmediatamente antes de que salga del inyector. Las presiones del aire y del vapor se indican por manómetros montados en el quemador.

La presión de aire desarrollada por la bomba de aire también fuerza aceite lubricante del tanque a los cojinetes de la bomba para lubricarlos y suplir un sello y lubricación para las paletas de la bomba. Como resultado el aire devuelto al tanque contiene un poco de aceite lubricante aunque la mayoría se recobra por medio de filtros y lana de bronce en el mismo tanque antes de que el aire vaya al quemador.

#### 1.10 Ignición Automática

El quemador de aceite es encendido por un piloto de gas del tipo interrumpido, mientras que la llama piloto, a su vez, es encendida automáticamente por una chispa eléctrica. Al principio de la secuencia para ignición y bajo la regulación del control programador, la válvula solenoide del piloto y el transformador para la ignición reciben energía simultáneamente.

El transformador de ignición suministra alto voltaje para la chispa de ignición. El piloto de gas tiene dos electrodos entre cuyas puntas se forma el arco. Una vez encendida y establecida la llama principal, la válvula solenoide del piloto y el transformador no reciben más energía.

El piloto de gas se abastecerá de un tanque (botella) de abastecimiento. El flujo de aire secundario se mezcla con el flujo de gas del piloto para resultar en una llama adecuada. La válvula de escape se cierra cuando las válvulas del piloto se abren, y se abre al cerrarse las otras para dar salida a los gases que quedan en la línea hacia el piloto durante el período cuando las válvulas del piloto no tienen energía.

## 1.11 Controles

Los controles se refieren a todos los dispositivos que ejecutan una acción por sí mismos o por medio del control programador. Es necesario entender el funcionamiento individual de estos componentes antes de estudiar las secuencias de operación.

Los controles de una caldera dependen del tipo y cantidad de combustibles a usar así como del tipo de fluido a proporcionar, vapor o agua caliente. Los controles se pueden clasificar en grupos de la siguiente forma:

- (a) Controles normales
- (b) Controles de vapor
- (c) Controles de alimentación de aceite pesado
- (d) Controles de alimentación de broza

### 1.11.1 Controles Normales

(a) Motor soplador: mueve el ventilador centrífugo para abastecer de aire de combustión. También se le llama solamente soplador.

(b) Arrancador del motor soplador: colocado en el tablero de control, proporciona el arranque del motor soplador por medio de un arrancador del tipo directo.

(c) Transformador para la ignición: provee una chispa para la ignición del piloto de gas por medio de un arco eléctrico de alto voltaje.

(d) Motor modulador de damper<sup>(4)</sup> de tiro<sup>(5)</sup>: mueve el damper de aire para mantener la proporción correcta de aire-aceite y/o aire-broza bajo toda condición de carga.

(e) Interruptor del quemador: arranca y para manualmente la operación del quemador por medio de una conexión directa. Está colocado en el panel de control.

(f) Interruptor manual-automático: en la posición "automático", toda operación queda bajo el control modulador que gobierna la posición de los motores moduladores según la demanda de carga. En la posición "manual", el motor modulador de la válvula de control de combustible puede ser ajustado para la asignación apropiada de alimentación. Todo el control manual se usa para prueba y ajuste en el establecimiento de la proporción de aire-combustible en el quemador en toda la variación de asignaciones de alimentación de aceite pesado.

(g) Control manual de la llama: es un potenciómetro accionado manualmente que permite establecer la asignación del fogueo del quemador por medio del motor modulador de la válvula de control de aceite con la condición de que el interruptor manual-automático esté en la posición "manual". Se usa principalmente para establecer la asignación de la entrada de aceite pesado en todo el campo de asignación de fogueo en el principio o en ajustes posteriores. No tiene ningún control sobre la rapidez del consumo del aceite cuando el interruptor manual-automático está en la posición "automático".

---

<sup>(4)</sup> Se llama damper a una compuerta formada por persianas que regula la abertura o área de paso de un conducto, en nuestro caso se utilizará un damper para el conducto de aire de combustión y otro para el conducto de los gases de escape.

<sup>(5)</sup> Se llama tiro a la corriente de aire que origina el fuego en el hogar, y que debido a un diferencial de presión se lleva consigo los gases de la combustión.

(h) Transformadores de los motores moduladores: reduce el voltaje del circuito de control de 120 VAC al voltaje nominal de los motores de 24 VAC para sus operaciones.

(i) Luces indicadoras: dan información visual de las condiciones de operación de la caldera y sus sistemas como: falla de llama del aceite, falla de llama piloto, demanda de carga, consumo de aceite, consumo de broza, modo de operación (solo aceite o aceite-broza), nivel bajo de agua, falta de broza, etc.

(j) Interruptor de modo de operación: permite la selección del modo de operación de solo aceite o de aceite-broza. El modo aceite-broza es la operación normal de la caldera. El modo solo aceite se usa para el ajuste inicial de la modulación de aceite y cuando no se disponga de broza y se necesite vapor para los procesos.

(k) Control de Programación y Seguridad de la llama: trabaja en coordinación con los dispositivos de operación, limite e interconexión, éste programa automáticamente el periodo de arranque, operación y parada. Incluye la secuencia de operación del soplador de aire secundario, el sistema de ignición, la válvula de aceite combustible y los motores modulantes. También abarca los periodos de purga antes de la ignición y al cerrarse el quemador. Los rectificadores también forman parte de este sistema, los cuales detectan la presencia de las distintas llamas y provee seguridad y control en caso de falla de llama.

(l) Rectificadores: están colocados en el horno y detectan la presencia de las llamas del aceite combustible, gas piloto y broza. Envían la información al control programador para ejecutar la acción apropiada. Pueden ser de electrodo o de fotocelda.

(m) Interruptor de prueba de aire de combustión: es un interruptor sensitivo a la presión ya que se mueve por medio de la presión del aire del soplador. Los contactos se cierran para probar que hay suficiente presión de aire para combustión. Las válvulas de

combustible no reciben energía a menos que éste interruptor se cierre.

(n) Timbre de alarma: produce una alarma audible cuando se presentan condiciones que requieren inmediata atención.

(o) Termómetro de chimenea: indica la temperatura de los gases de escape. Dicha temperatura debe restarse de la temperatura ambiente y el resultado se evalúa por el control programador para mantener la temperatura de la chimenea lo más baja posible para que se aproveche todo el calor posible en los pasos de caldera, pero no debe ser tan baja que provoque corrosión de extremo frío. Esta es causada por la formación de ácido sulfúrico cuando el  $\text{SO}_3$  de la combustión del combustible entra en contacto con el vapor de agua. Esto es un mayor riesgo cuando esté funcionando simultáneamente el quemador de aceite y la broza. El azufre presente en el aceite y la humedad de la broza pueden provocar la formación del ácido sulfúrico.

(p) Sensor de Proporcional de Temperatura: mide cambios de temperatura en la chimenea por medio de un bulbo que contiene un líquido o gas cuya expansión es proporcional a los cambios de temperatura, dicha expansión la transmite a una resistencia variable apropiada para cambios proporcionales que puedan manejar un motor modulador, que en este caso controlará el damper de chimenea.

### 1.11.2 Controles de Vapor

(a) Manómetro de la presión del vapor: indica la presión interna de la caldera.

(b) Presostato de límite de presión para operación con broza: abre el circuito para parar el mecanismo de alimentación de broza cuando la presión de la caldera llega al valor de presión

seleccionada para la operación. También permite ponerlo en marcha nuevamente cuando la presión ha bajado a un cierto valor diferencial. Ambos valores de presiones, de parada y marcha son fijados en dos selectores incorporados en el presostato.

(c) Presostato de límite de operación del quemador de aceite: Es del mismo tipo que el presostato para operación de broza, y hace encender y apagar el quemador del aceite combustible, pero dichas acciones se ejecutan a valores de presiones menores que el presostato de broza, ya que únicamente se empleará el aceite cuando el calor suministrado por la broza no sea suficiente para la demanda de vapor o en el arranque de la caldera.

(d) Presostato de acción modulante: traduce los cambios de presión de la caldera en resistencia eléctrica variable por medio de un reóstato, y modifica la corriente que llega al motor modulador de la válvula de control de alimentación de aceite para regular la cantidad de aceite a quemar. Trabaja cuando lo activa el presostato de límite de operación del quemador y cuando el interruptor manual-automático está en la posición "automático".

(e) Cierre de bajo nivel del agua y control de la bomba: este control opera por medio de un flotador y responde al nivel del agua en la caldera como se ve en la mira de vidrio indicadora. Detiene la alimentación del quemador y el mecanismo de broza si baja el nivel del agua bajo el punto de seguridad para operación y provoca una alarma visual y audible en el panel de control. También empieza y detiene la bomba de abastecimiento de agua para mantener el agua a su apropiado nivel para operación.

(f) Columna de agua: este conjunto contiene el cierre de bajo nivel de agua y el control de la bomba e incluye el vidrio de nivel, los cierres del tubo de vidrio y llaves de prueba.

(g) Válvula de drenaje de la columna de agua: se provee la válvula de drenaje de la columna de agua para purgar la columna y

sus tuberías regularmente para ayudar a mantener las tuberías transversales y los flotadores limpios y libres de sedimento.

(h) Válvula de drenaje de la mira de vidrio indicadora: ésta se provee para purgar la mira de vidrio.

(i) Válvula de retención: esta válvula permite el escape de aire durante el relleno con agua preliminar y sirve para facilitar las inspecciones ordinarias.

(j) Válvula de seguridad: estas válvulas de seguridad relevan a la caldera de la presión que sea más alta que la que se especifica en el diseño o una presión algo más baja.

### 1.11.3 Controles de Alimentación de Aceite Pesado

(a) Interruptor de prueba de aire para atomización: interruptor operado por presión cuyos contactos están cerrados cuando hay suficiente presión de aire para atomización adecuada del aceite combustible. La válvula para el aceite no se abre o no permanece abierta a menos que los contactos del interruptor estén cerrados.

(b) El módulo de la bomba de aire: este conjunto provee el aire comprimido necesario para atomizar el aceite combustible para la correcta combustión cuando se arranca la caldera. Se empieza automáticamente por la secuencia del operador.

(c) Manómetro de la presión del aire para atomización: indica la presión del aire para atomización en el quemador en la secuencia de arranque.

(d) Manómetro de la presión de vapor de atomización: indica la presión del vapor de atomización en el quemador cuando la caldera está en operación continua.

(e) Válvula solenoide de aceite: contactos del programador dan energía y abre la válvula, y ésta permite el flujo de aceite de la válvula medidora al inyector del medidor.

(f) Control de aceite combustible: conjunto que comprende el manómetro, el regulador y la válvula necesarios para controlar el flujo de aceite combustible.

(g) Bomba de aceite combustible: lleva el aceite combustible del tanque de almacenamiento y lo suministra comprimido al sistema del quemador.

(h) Filtro de aceite combustible: evita que materia extraña pase al sistema del quemador.

(i) Válvula del piloto de gas: una válvula solenoide que se abre durante el periodo de ignición para dejar pasar el combustible al piloto. Se cierra después de que se establece la llama principal. La secuencia de recibir y quedar sin energía se determina por el cronómetro del control de la programación.

(j) Llave de cierre del piloto de gas: para abrir y cerrar manualmente el abastecimiento de gas a la válvula del piloto de gas.

(k) Llave de ajuste del piloto de gas: permite regular el tamaño de la llama del piloto de gas.

(l) Manómetro de la presión del piloto de gas: indica la presión de gas hacia el piloto.

(m) Calentador eléctrico de aceite: se usa para calentar el aceite pesado para flujos de baja alimentación durante arranques fríos antes de que el vapor esté disponible. El calentador debe ser apagado durante los periodos largos de parada o siempre que la bomba de transferencia de aceite esté parada.

(n) Calentador de aceite por vapor: calienta el aceite combustible por medio de vapor. Los calentadores de vapor guardan el aparato eléctrico dentro de la misma cubierta. En calderas de alta presión el calentador de aceite debe ser operado en una presión de alrededor de 15 psi. Esto se realiza por medio de una válvula reguladora de presión del vapor.

(o) Termostato del calentador eléctrico de aceite: indica la temperatura del aceite combustible y proporciona o corta la energía al calentador eléctrico de aceite para mantener la temperatura requerida.

(p) Termostato del calentador de vapor: este control se usa para medir la temperatura del aceite combustible y para regular la válvula de vapor en posición abierta o cerrada para mantener la temperatura seleccionada.

#### 1.11.4 Controles de Alimentación de Broza

(a) Motor de mecanismo alimentador de broza: es un motor reversible que mueve un tornillo sinfín que introduce o extrae la broza dentro del horno. Posee un reductor de velocidad para proporcionarle un movimiento más lento.

(b) Arrancador reversible: colocado en el tablero de control y permite el arranque del motor en el mecanismo alimentador en ambos sentidos, proporcionando o extrayendo broza según la decisión del control programador.

(c) Tolva recolectora de broza: almacena temporalmente la broza que proviene del silo de almacenamiento para ser usada en el mecanismo alimentador.

(d) Interruptores de presión de broza: son accionados por la presión producida por el peso de la broza. Se utilizan para indicar

el nivel superior e inferior de la broza en la tolva recolectora. También existe otro interruptor al final del sinfín para indicar el llenado de todo el conducto que lleva de la tolva al horno.

(e) Mecanismo de llenado de la tolva recolectora: funciona de la misma forma que el mecanismo de alimentación, pero llenando la tolva recolectora del silo de almacenamiento. Utiliza un tornillo sinfín para mover la broza.

(f) Rectificadores de electrodos: son dispositivos detectores de llama que se utilizan para determinar el nivel máximo y mínimo de la broza dentro del horno.

(g) Sonda de oxígeno: detecta la cantidad de oxígeno en la chimenea de la caldera. Es necesario tener permanentemente un sensor de oxígeno ya que se utilizan dos tipos de combustibles, y en especial debido a que la broza puede tener un volumen muy variable dentro del horno.

(h) Analizador de oxígeno: produce una señal eléctrica de salida que se utiliza para corregir la relación aire-combustible en la combustión. La señal de corrección de oxígeno proporciona un punto variable de graduación para el controlador de oxígeno.

(i) Control proporcional de oxígeno: traduce el nivel de oxígeno presente en la chimenea en valores de resistencia eléctrica por medio de un reóstato, el cual controla el movimiento del motor modulante del damper de aire de combustión. Puede estar integrado en el sistema analizador de oxígeno o puede ser parte del control programador.

#### 1.12 Equipo Auxiliar

Los equipos auxiliares utilizados en la caldera que no han sido cubiertos anteriormente son los siguientes:

- Bomba de alimentación de agua
- Tanque de condensados
- Suavizador
- Dosificador
- Deaireador
- Precalentador de aire
- Separador ciclónico

Los primeros cinco equipos se relacionan con el tratamiento de agua y no se tratará en este trabajo, pero los dos últimos sí tienen mucha relación con el sistema de alimentación de combustibles. Se explicarán brevemente ya que se estudiarán en detalle en el próximo capítulo.

#### 1.12.1 Precalentador de Aire

El precalentador de aire (véase Fig. 2-14), calienta el aire de la combustión utilizando el calor de los gases de escape de salida. Este proceso aumenta la eficiencia general de la caldera ya que el aire de combustión absorbería menos calor del proceso de combustión. Además puede producir un aumento en la capacidad, y la combustión tiene lugar con una llama más estable. Por otro lado, los conductos y los pasos por los que circula el aire caliente tienen que ser mayores, debido a que el volumen de aire aumenta con la temperatura, siempre que la velocidad de la corriente y la caída de presión se mantengan iguales. El precalentador utilizado en la caldera es del tipo recuperativo tubular de flujo transversal. Es posible lograr velocidades de transferencia de calor relativamente elevadas haciendo pasar aire a través de una serie de pasos paralelos, como en un grupo de tubos por fuera de los cuales fluyen transversalmente gases de combustión. Suele ser más práctico usar mayores velocidades en el lado del aire y una estructura abierta en el lado de los gases de combustión, a fin de aprovechar en cierta medida la radiación del gas.

### 1.12.2 Separador Ciclónico

El separador ciclónico (véase Fig. 2-15) es un dispositivo purificador de los gases de escape que emplea una fuerza centrífuga generada haciendo girar la corriente de los gases con el fin de separar las partículas (sólidas y líquidas) transportadas por los gases. El tipo utilizado es el de paletas axiales en el cual el movimiento ciclónico se imparte por un anillo de paletas a los gases impuros que descienden gradualmente. La operación depende de la tendencia (inercia) de las partículas a moverse en una línea recta cuando se cambia la dirección de la corriente de gases. La fuerza centrífuga debida a una alta tasa de rotación, lanza las partículas de gas contra las paredes externas del cilindro y del cono. Las partículas resbalan por las paredes hasta llegar a la tolva de almacenamiento. Los gases gradualmente purificado invierte su espiral descendente y forma una espiral de dimensiones menores. Un tubo alimentador del vórtice que se extiende hacia abajo dentro del cilindro ayuda a dirigir el vórtice interno fuera del dispositivo.

## CAPÍTULO II

### SISTEMA MODULADOR DE COMBUSTIBLE

#### 2.1 Introducción

El sistema modulador comprende todo el conjunto de equipos, instrumentos, dispositivos y actuadores que dosifican el tipo y cantidad de combustible determinada por el control para un adecuado funcionamiento de la caldera en todo su rango de funcionamiento. Esto involucra la programación de una secuencia de funcionamiento según las condiciones de las variables de entrada, lo cual debe ejecutar una acción determinada. Por lo tanto, el control programador debe ser capaz de ejecutar muchas decisiones y controlar muchas variables de salida a la vez.

En este capítulo se verán en detalle cada sección que conforma el sistema completo de modulación de alimentación, algunos de los equipos ya se mencionaron en el capítulo anterior, y en este se profundizará y analizarán sus parámetros de diseño. Es importante tener presente los criterios más que el procedimiento de diseño, ya que los primeros son más generales, no cambian y pueden contener algunos aspectos que no hayan tratado en el diseño.

#### 2.2 Conjunto Suministro de Aire de Combustión

El conjunto de suministro de aire de combustión o de aire secundario (Fig. 2-1) está formado por ventilador centrífugo (soplador), motor accionador del soplador, motor modulador-damper, ducto de aire secundario y medidor de oxígeno.

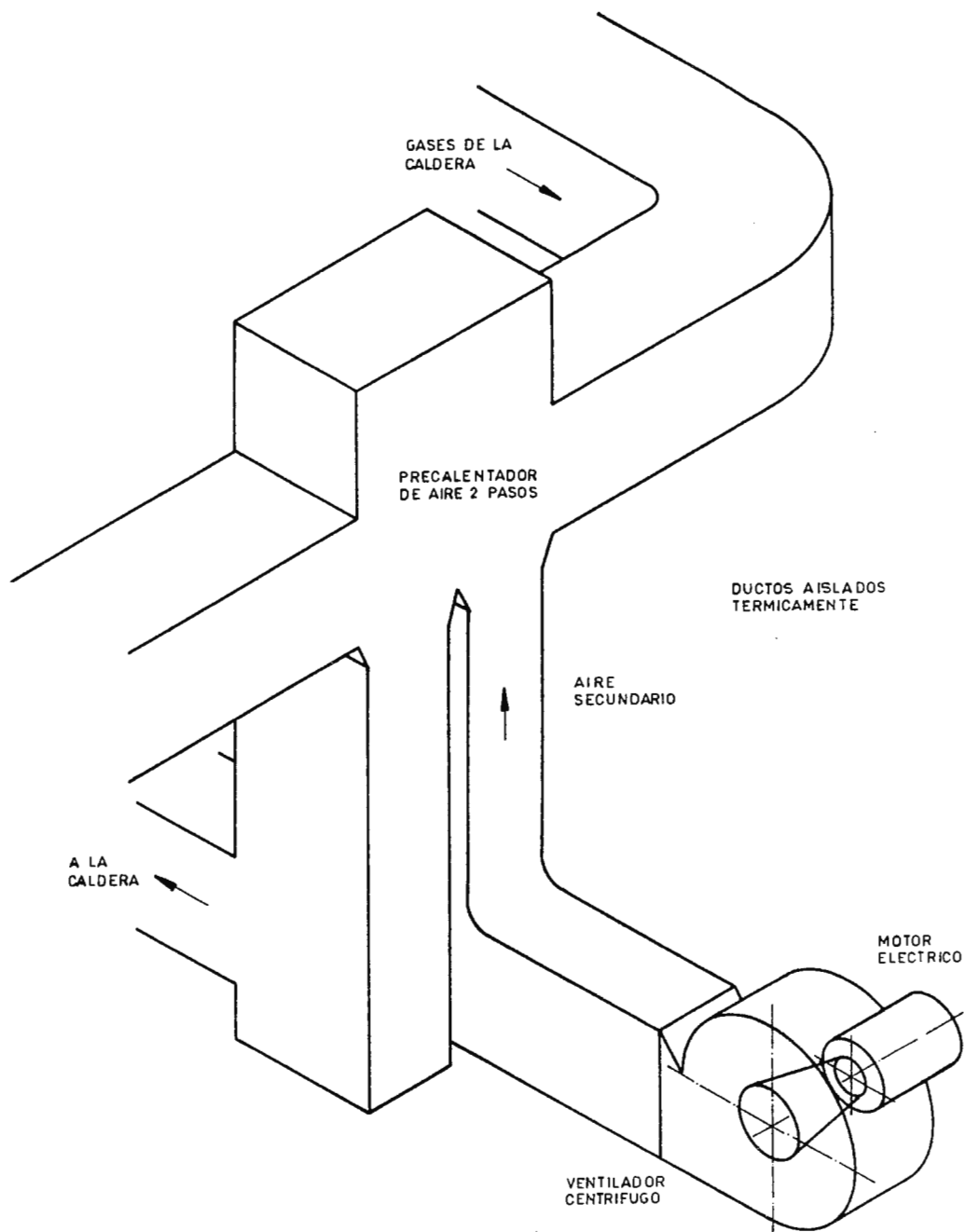


Fig. 2-1. Conjunto suministro de aire de combustión.

El propósito del aire de combustión es suplir la cantidad de oxígeno (contenido en el aire) necesario para una adecuada relación aire-combustible dentro del horno, en todo el campo de funcionamiento de la caldera, sin importar el tipo y las condiciones de combustible que se esté quemando.

El término tiro denota la diferencia entre la presión atmosférica y alguna otra presión de menor valor que existe en el interior del horno o en los pasajes conductores de gases de combustión dentro de la caldera. La pérdida de tiro se define como la diferencia de presión estática de los gases de combustión entre dos puntos dentro del sistema; ambas presiones son menores que la presión atmosférica, y son el resultado de la resistencia al flujo. El término se originó con las unidades denominadas de flujo o tiro natural, en las cuales los diferenciales de presión se obtenían por medio de una chimenea que produce presiones estáticas diferenciales a través de la caldera, que son menores que la presión atmosférica. Estos términos se aplican actualmente, de una manera un tanto imprecisa, a las calderas modernas, donde el tiro inducido o el forzado, producidos mecánicamente por medio de ventiladores, en los cuales la presión a través de la caldera puede ser superior a la presión atmosférica.

Existen dos tipos de tiro, el forzado y el inducido. Los ventiladores de tiro forzado manejan aire frío y limpio y representan el medio más económico para proporcionar energía al flujo a través de las calderas de vapor de alta capacidad. Los ventiladores de tiro inducido manejan gases de combustión calientes, los cuales requieren más potencia y están sujetos a erosión por el arrastre de la ceniza que incide sobre ellos. Sin embargo, para facilitar la operación al proporcionar un tiro dentro de la caldera, se ajustan de tal manera que evitan la fuga hacia el exterior de gases de combustión a través de pequeñas aberturas en el sistema. Como resultado del avance en el diseño de los hornos y los ajustes de la caldera para eliminar la fuga de gases de combustión, las calderas modernas están construidas para operar a

una presión positiva de los gases de combustión, eliminando así la necesidad de utilizar ventiladores de tiro inducido. Tales unidades se denominan, en general, unidades de encendido a presión, y las que utilizan ventiladores de tiro inducido, unidades de succión. Cuando se utilizan ambos ventiladores para crear un tiro forzado y uno inducido, se denominan de tiro balanceado.

Cada combustible y velocidad de combustión deben tener cierto tiro para lograr mejores resultados. Un tiro ligero o suave es mejor para la broza de relativamente bajo poder calorífico, pero debe aumentarse a medida que se tiene mayor poder calorífico, como en el caso de emplearse aceite pesado. La profundidad del lecho combustible, el porcentaje de ceniza y el área total de espacios de aire alrededor de la broza se reflejan de modo directo en el tiro necesario para una velocidad determinada de combustión. Cuando se quema aceite combustible, la velocidad de combustión y la cantidad de tiro dependen mucho del volumen del hogar.

El tiro se mide en términos de pulgadas de agua, y es la presión necesaria que debe proporcionar el ventilador centrífugo para que el aire de combustión además de quemar el combustible, pueda tener la presión necesaria para llevar los gases de la combustión por todo el recorrido de la chimenea, incluyendo por el precalentador de aire y por el separador ciclónico. Por lo tanto, las densidades de tiro se hacen menores conforme se aleja más de la chimenea. El tiro disponible es la diferencia entre el tiro teórico (determinado por fórmulas) y el tiro perdido por fricción en la chimenea. Puesto que se determina con un indicador de tiro conectado en la base de la chimenea, la suma de las pérdidas en la entrada de la chimenea, la caldera y el hogar deben ser equivalentes al tiro disponible.

Para comprender las necesidades de tiro en el aire de combustión se debe entender algunos términos relativos a los ventiladores:

(a) Volumen: es el número de pies cúbicos por minuto (pies<sup>3</sup>/min) expresado como salida del ventilador.

(b) Presión total: es el aumento de presión desde la entrada hasta la salida de un ventilador. Esta formada por la suma de la presión estática y la presión de velocidad, y también se miden en la salida de un ventilador.

(c) Potencia de salida: son los caballos calculados a partir del volumen y de la presión total en la salida del ventilador. La potencia de salida se divide por la potencia de entrada para obtener la eficiencia del ventilador.

(d) Relaciones de un ventilador: la potencia varía en relación directa del cubo de la velocidad, para duplicar la velocidad se debe tener un motor ocho veces más grande. La presión varía en relación directa del cuadrado de la velocidad del ventilador, duplicando la velocidad se obtiene cuatro veces más presión. El volumen es directamente proporcional a la velocidad del ventilador, para obtener más flujo hay que subir la velocidad del ventilador.

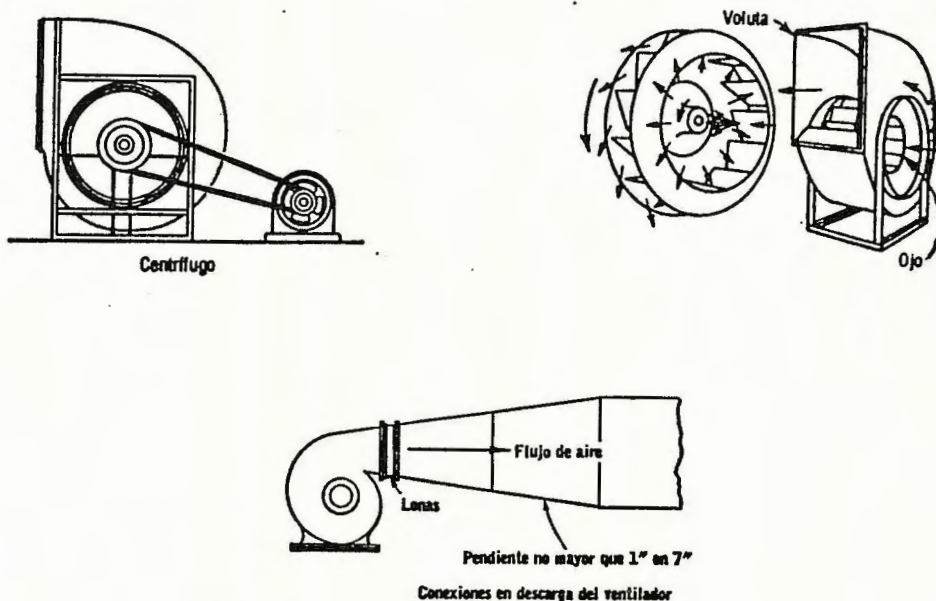


Fig. 2-2. Ventilador centrífugo y su colocación.

El ventilador centrífugo (Fig. 2-2) es muy versátil. puede mover pequeñas o grandes cantidades de aire a una gama muy grande de presiones. Consiste de un rotor o rueda, montada en una cubierta tipo caracol. La rueda puede girar de modo directo o por medio de bandas y poleas. La rueda del ventilador puede estar construida con paletas con curvatura hacia adelante, hacia atrás o radiales (rectas), pero generalmente se utilizan con paletas curvadas hacia atrás. Las características del ventilador pueden cambiarse dentro de límites muy amplios al variar la forma de las paletas. Para la cubierta del ventilador en general se utiliza láminas de hierro.

Los datos necesarios para seleccionar el soplador adecuado para el aire secundario necesario son los siguientes:

(a) Caudal de aire de combustión. La cantidad de aire secundario requerido para una caldera es

$$Q = \text{BHPmáx} \times 8 \text{ cfm}^{(6)} / \text{BHP}. \quad (2-1)$$

(b) Pérdidas de carga entre el soplador y la salida de los gases de escape de la chimenea. Estas pérdidas se deben a la fricción del flujo de aire con las paredes del ducto, los codos y cambios de sección en toda la trayectoria. La Fig. 2-3 ilustra la pérdidas por fricción en ductos para aire, la Tabla 2-1 las pérdidas de presión en uniones de ductos y la Tabla 2-2 para accesorios y dispositivos colocados en ductos.

(c) Presión estática (SP) a la salida del soplador. Es el aumento de presión producida en el aire por el ventilador, se expresa en plg. de agua ( $h_s$ ) y corresponde a la suma de todas las pérdidas de presión del aire en los ductos. Los datos del fabricante clasifican los tipos de ventiladores según la presión estática de cada ventilador a un caudal específico, pero a la vez

---

<sup>(6)</sup> cfm = pies<sup>3</sup> /min.

se debe verificar que proporcione la máxima eficiencia con el mínimo HP del motor eléctrico.

Tabla 2-1. Pérdidas de Presión en Uniones de Ductos.

Tipo de conexión	Pérdidas de presión en cargas de velocidad
Conexión T, salida en ángulo recto .....	2.00 ( $V_m$ en ramal)
Ramales del ducto	
ángulo de 15° .....	0.10 ( $V_m$ en ramal)
ángulo de 30° .....	0.20 ( $V_m$ en ramal)
ángulo de 45° .....	0.25 ( $V_m$ en ramal)
Codo, ángulo recto, ducto rectangular relación aspecto casi de uno .....	1.15
Codo, ángulo recto, ducto redondo .....	0.87
Entrada al tubo, de la cámara .....	0.85
Entrada al tubo, de la cámara, entrada cónica .....	0.20
Ensanchamiento del tubo	
Abrupto o entrada a la cámara .....	0.80-1.00
Cónico, 10% de pendiente .....	0.25
Tubo entrando a la cámara, cónico, 10% pendiente ...	0.50
Rejillas, área neta igual a área del ducto .....	1.25
Pérdida de entrada	
Persianas de entrada e inducción de aire exterior ...	1.50
Persianas de entrada sin aceleración del aire de entrada .	0.50

Tabla 2-2. Pérdidas Típicas por Fricción para Equipos en Ductos.

Parte	Gama posible de pérdidas* (plg de agua)
Toma de aire o entrada al ventilador .....	0.005 a 0.1
Calentadores de aire o enfriadores, una a varias hileras	0.1 a 0.35
Lavadoras de aire .....	0.2 a 0.35
Filtros de aire .....	0.2 a 0.4
Sistema de ductos (cálculo con longitud equivocada) ..	0.04 a 0.4
Varios, pantallas, rejillas, etc. ....	0.1 a 0.2
Salidas tipo tobera .....	0.1
Menos cualquier recuperación de caída de velocidad ...	0.01 o más
Pérdidas de presión estática para el sistema (ventilador) .....	1.0 a 1.6 comunes

\* Seleccionadas de datos de fabricantes, o calculadas.

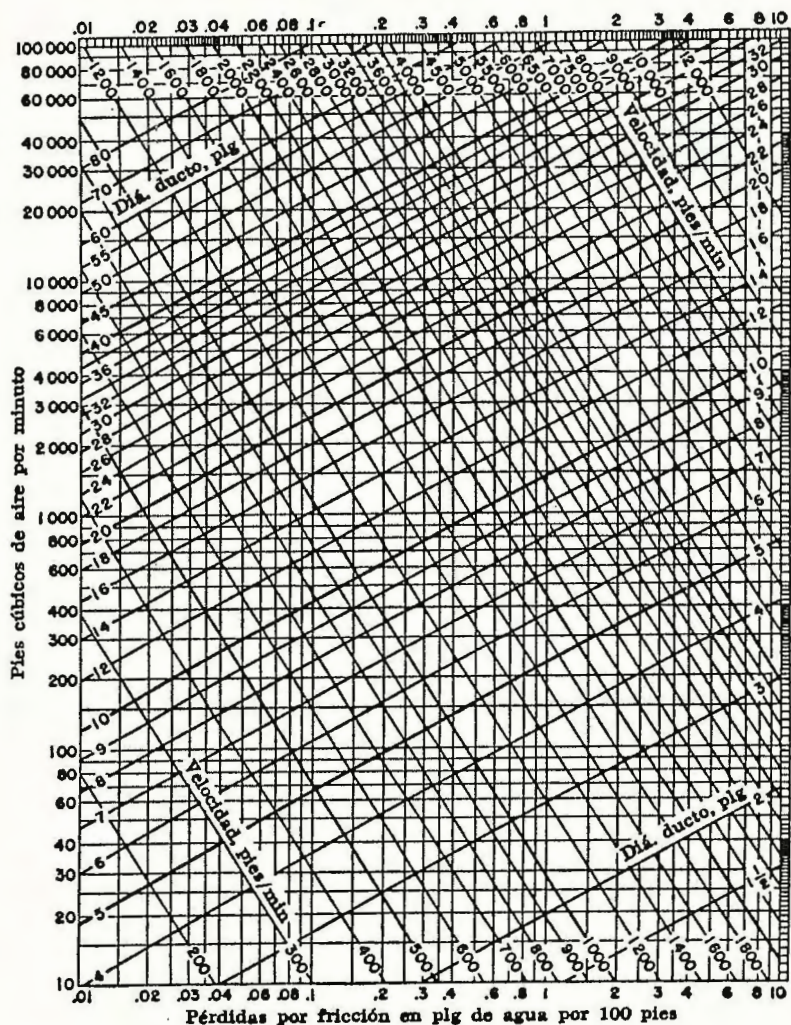


Fig. 2-3. Pérdidas por fricción en ductos de aire.

(d) Velocidad del aire en el ducto. Debe ser relativamente alta para que el damper pueda provocar cambios reales en el flujo y también para que sea capaz de llevarse toda la ceniza de la combustión en el tiro. Por lo general el rango es de 1,200 a 1,800 pies/min, pero a la salida del ventilador centrífugo es más alta, entre 1,700 y 2,800 (Tabla 2-3). Junto con el caudal de aire de combustión se proporciona la sección transversal del ducto.

Tabla 2-3. Velocidades Recomendadas y Máximas en Ductos.

Designación	Velocidades recomendadas, pies/min			Velocidades máximas, pies/min		
	Resi- dencias	Escuelas, teatros, edificios públicos	Edificios indus- triales	Resi- dencias	Escuelas, teatros, edificios públicos	Edificios indus- triales
Tomas de aire exterior† .....	700	800	1000	800	900	1200
Filtros† .....	250	300	350	300	350	350
Serpentinas calefacción† .....	450	500	600	500	600	700
Lavadoras de aire .....	500	500	500	500	500	500
Conexión a succión ....	700	800	1000	900	1000	1400
Salidas de ventiladores.	1000-1600	1300-2000	1600-2400	1700	1500-2200	1700-2800
Ductos principales .....	700-900	1000-1300	1200-1800	800-1000	1100-1600	1300-2200
Ductos ramales.....	600	600-900	800-1000	700-1000	800-1300	1000-1800
Ductos verticales .....	500	600-700	800	650-800	800-1200	1000-1600

\* De *Heating Ventilating Air Conditioning Guide 1949*, Cap. 41.

† Estas velocidades, son para la sección total, no para el área libre neta.

(e) Temperatura del aire después del precalentador de aire. El precalentador de aire provoca una transferencia de calor de los gases de combustión hacia el aire, elevando su temperatura. Dicho aumento de temperatura expande el volumen del aire y también aumenta su viscosidad, aumentando las pérdidas de carga y haciendo necesario aumentar la sección transversal del ducto en la misma proporción que el cambio de densidad.

Con los datos anteriores y los datos proporcionados por los catálogos de los fabricantes de ventiladores, es posible escoger el ventilador adecuado y las dimensiones apropiadas del ducto.

El damper de control de flujo de aire secundario es controlado por un motor modulador. El motor modulador debe ser seleccionado de acuerdo a su carrera mediada en grados, según su uso. Poseen dos devanados, uno mueve el rotor en sentido CW y el otro CCW, teniendo en cada sentido interruptores de límites de carrera. Poseen un

circuito de balance por medio de dos reóstatos, uno en el mismo motor y otro exterior en el controlador, cuando se produce un desbalance, se acciona el relevador que maneja ya sea el devanado de abertura o de cierre, según el sentido del desbalance.

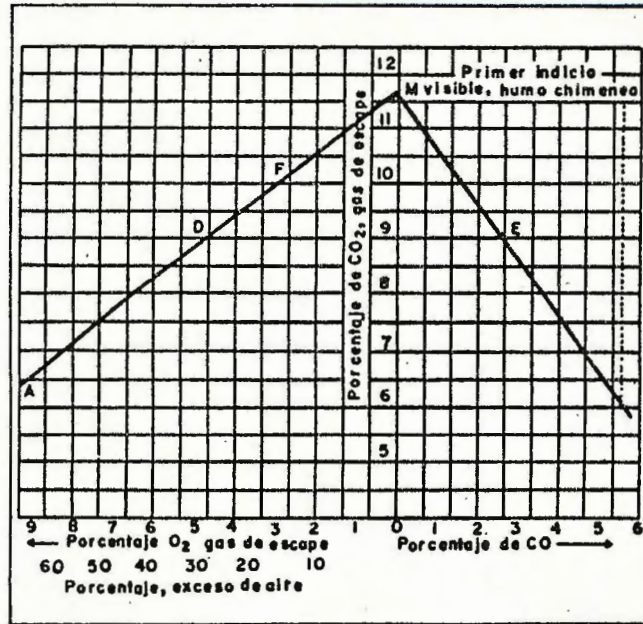


Fig 2-4. Análisis de los gases de escape en calderas.

El analizador de oxígeno es el equipo que genera el control para el motor modulador (Fig. 2-5), posee una sonda de oxígeno en la base de la chimenea (antes del damper de la chimenea, cerca del termómetro de chimenea), el cual analiza el contenido de oxígeno presente en los gases de la combustión. La combustión debe ser ajustada de manera que provoque un exceso de oxígeno de 1 a 2%, para mantener una alta eficiencia en el caldera (Fig. 2-4). Cuando se detecta exceso de oxígeno o exceso de alimentación de combustible, el controlador acciona el damper del aire de combustión para regular el oxígeno presente en el hogar. Es recomendable que nunca exista exceso de combustible, ya que esto provoca CO y hollín, que son grandes contaminantes. Es preferible que la combustión siempre se de con exceso de oxígeno en vez de exceso de combustible.

El analizador de oxígeno es un equipo necesario en la caldera ya que lo hace independiente del tipo de combustible que se esté quemando, es decir que sin importar el combustible contenido en el horno, el sistema dosificador de aire de combustión dosificará la cantidad de aire para que la combustión sea lo más completa posible, con un cierto exceso de aire pero evitando con exceso de combustible.

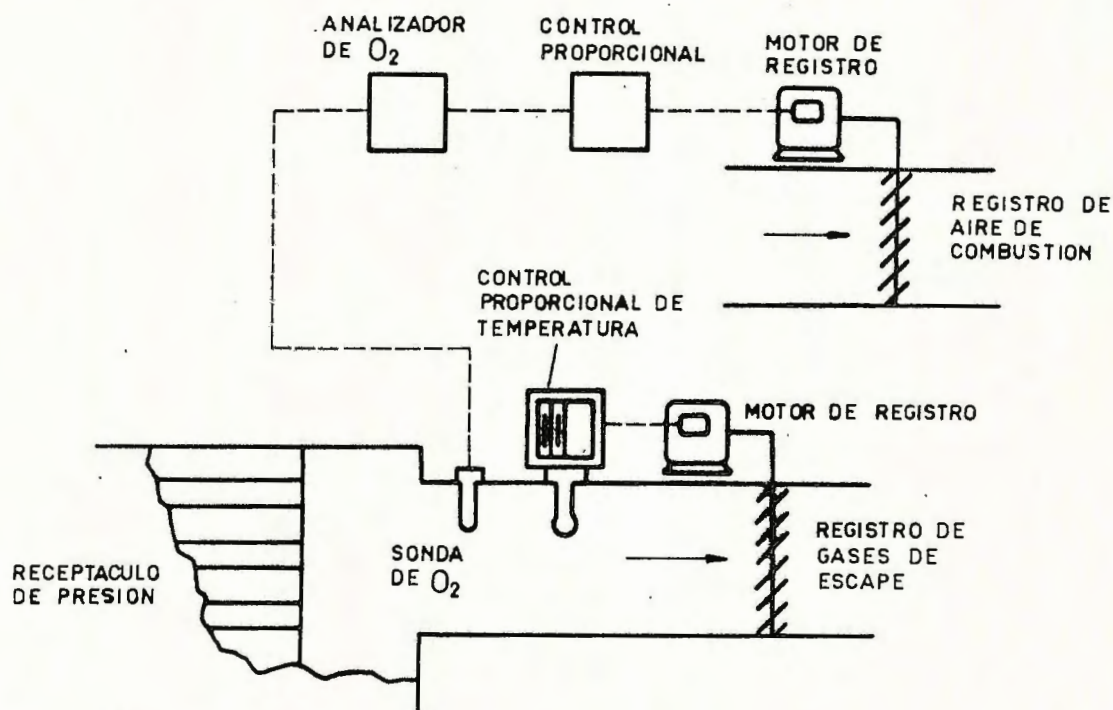


Fig. 2-5. Controles asociados a la chimenea: control de aire de combustión según el nivel de oxígeno y control de temperatura de los gases de combustión.

### 2.3 Conjunto Regulador de la Temperatura de la Chimenea

Es de gran importancia controlar en ciertos límites la temperatura en la base de la chimenea de los gases de combustión por las siguientes razones:

(a) Si la temperatura sube a  $83^{\circ}\text{C}$  por encima de la temperatura del vapor, se perderá una excesiva cantidad de calor hacia la chimenea, en lugar de aprovecharlo en la transferencia de calor dentro de la caldera.

(b) Si la temperatura desciende hasta el valor del punto de rocío de los compuestos con azufre, se formará ácido sulfúrico en ciertos puntos de la chimenea, provocando corrosión excesiva (Fig. 2-6). La temperatura normal de la chimenea es de  $52^{\circ}\text{C}$  más alta que la del agua en la caldera. Dicha temperatura debe prever la pérdida de calor en el precalentador de aire.

Las condensaciones en una chimenea variará de acuerdo con el tipo de combustible usado, suceden con mayor frecuencia en los trabajos de calefacción en donde las cargas son ligeras y el encendido frecuente, causando la condensación de los gases, el cual corroe las chimeneas y los ductos. Con el objeto de disminuir la condensación en la chimenea es necesario:

(a) Seleccionar la caldera lo más cercana a la carga real del sistema, evitando el uso de la caldera de mayor capacidad. o sea una caldera sobredimensionada.

(b) Tómese en cuenta que las chimeneas de mampostería mantienen mejor el calor que las de lámina metálica.

(c) Si la chimenea es metálica y en países de clima frío, se debe forrar con aislante para disminuir las pérdidas de calor.

(d) Siempre que sea posible, debe colocarse una chimenea con salida lateral para evitar que las condensaciones penetren en la caldera.

El mecanismo por medio del cual se regula la temperatura de los gases de la chimenea es por medio de un damper controlado por el conjunto control proporcional de temperatura y motor modulador,

el cual funciona de manera similar al damper de aire de combustión (Fig. 2-5).

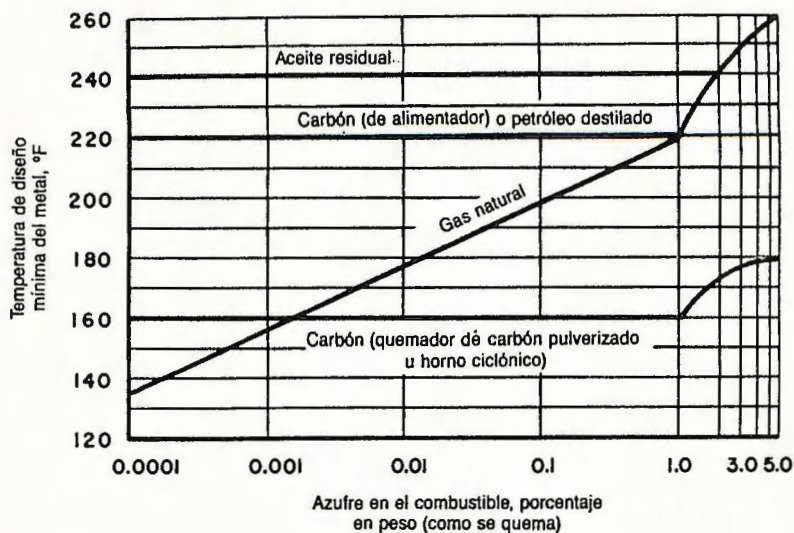


Fig. 2-6. Temperaturas mínimas recomendadas para evitar la "lluvia ácida" en cambiadores de calor.

#### 2.4 Válvula de Control para Aceite Combustible

La válvula de control de aceite entrega el aceite necesario al quemador para satisfacer las demandas de carga. Está controlado por un motor modulador (Fig. 2-7) un poco diferente al utilizado en los que controlan los damper de chimenea y de aire de combustión.

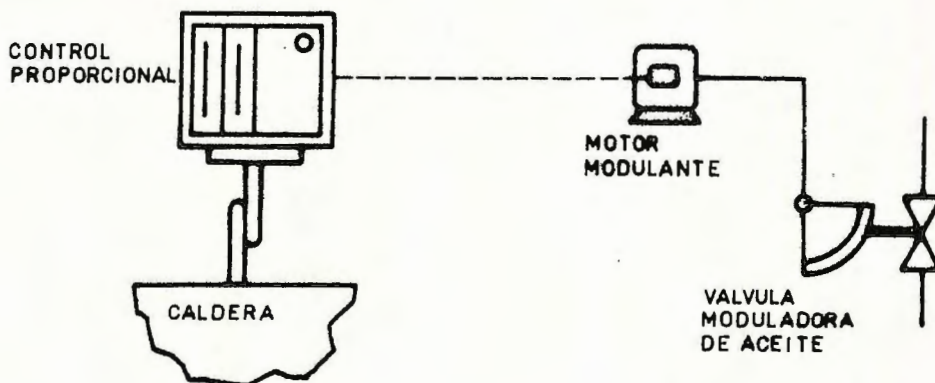


Fig. 2-7. Control modulante de la válvula dosificadora de combustible.

La operación del motor modulador se controla automáticamente por un presostato diferencial o modulante, colocado en el tambor de la caldera. También puede moverse en el modo manual del control de programación por medio de un reóstato accionado manualmente para fijar al motor una asignación seleccionada de alimentación. Se utiliza para probar y establecer el flujo de combustible en el principio y el uso subsiguiente. De otro modo, la operación normal debe continuar con el interruptor manual-automático en la posición "automático" y bajo el presostato modulante.

El motor modulador es reversible. Tiene interruptores de límite que restringe la acción angular del brazo del motor a un arco de  $90^\circ$ . Durante la operación normal el motor se mueve en cualquier dirección o se detiene en cualquier posición de su radio de acción. El reóstato del motor está conectado eléctricamente a otro reóstato en el control modulador. Cambios en la presión del vapor alteran la resistencia eléctrica en el reóstato del control modulador. El cambio en resistencia hace a un relevador integral de equilibrio empezar, parar o poner en reversa la rotación del motor. La rotación en cualquier dirección sigue hasta que la proporción de resistencia del reóstato del motor y la del reóstato del control se igualen. Al lograr este equilibrio, el motor se para en una posición correcta de dosificación de aceite para la demanda de la caldera.

Un aspecto del alambrado que se destaca en el diseño es que el motor modulador tienen que estar en la posición de baja alimentación durante la ignición y quedarse así hasta que la llama principal se establezca. Un interruptor de baja alimentación, parte esencial del motor, es actuado por la rotación del motor. Este interruptor no lo poseen los motores para damper. El control programador no avanza a la etapa de ignición a menos que éste interruptor esté cerrado, verificando así que el damper de aire de combustión y la válvula medidora de aceite están en la posición de baja alimentación. Durante este período ni el control de la llama manual ni los controles moduladores de presión o temperatura

comunican ningún poder sobre el damper de aire de combustión, no importa qué posición se les dé.

La válvula medidora de alimentación de aceite se accionará únicamente en el arranque y en los períodos en los que la demanda de vapor accione el presostato del aceite combustible. La secuencia de arranque está controlado por el control programador, el cual sigue una secuencia definida hasta que exista una presión adecuada de vapor y la broza esté en completa combustión. Si en funcionamiento normal utilizando la máxima cantidad de broza, existe una demanda de vapor que provoque una caída de presión excesiva, se accionará la alimentación de aceite iniciando con fuego bajo y modulando la alimentación por el presostato modulante. El presostato del aceite estará ajustado en un nivel inferior al que trabaja normalmente la caldera, y debe evitarse en lo posible el uso de aceite en el funcionamiento normal dimensionando adecuadamente la cantidad de broza en el horno para lograr un poder calorífico suficiente para el funcionamiento normal de la caldera.

El control programador también tiene la modalidad de "solo aceite" el cual es usado para que la caldera trabaje solo con la combustión del aceite pesado, durante los períodos del año en que no se cuente con producción de broza o broza almacenada, y se necesite vapor para operaciones de la planta.

En la Fig. 2-8 se muestra el conjunto de la válvula de control de aceite pesado, en los cuales se puede observar los siguientes componentes:

Válvula medidora de aceite: el vástago de la válvula se mueve para aumentar y disminuir el orificio variable a fin de que regule el abastecimiento del aceite combustible al inyector del quemador según la demanda de carga. El movimiento del vástago medidor es controlado por el motor modulador por medio de un sistema articulado y la leva medidora del aceite.

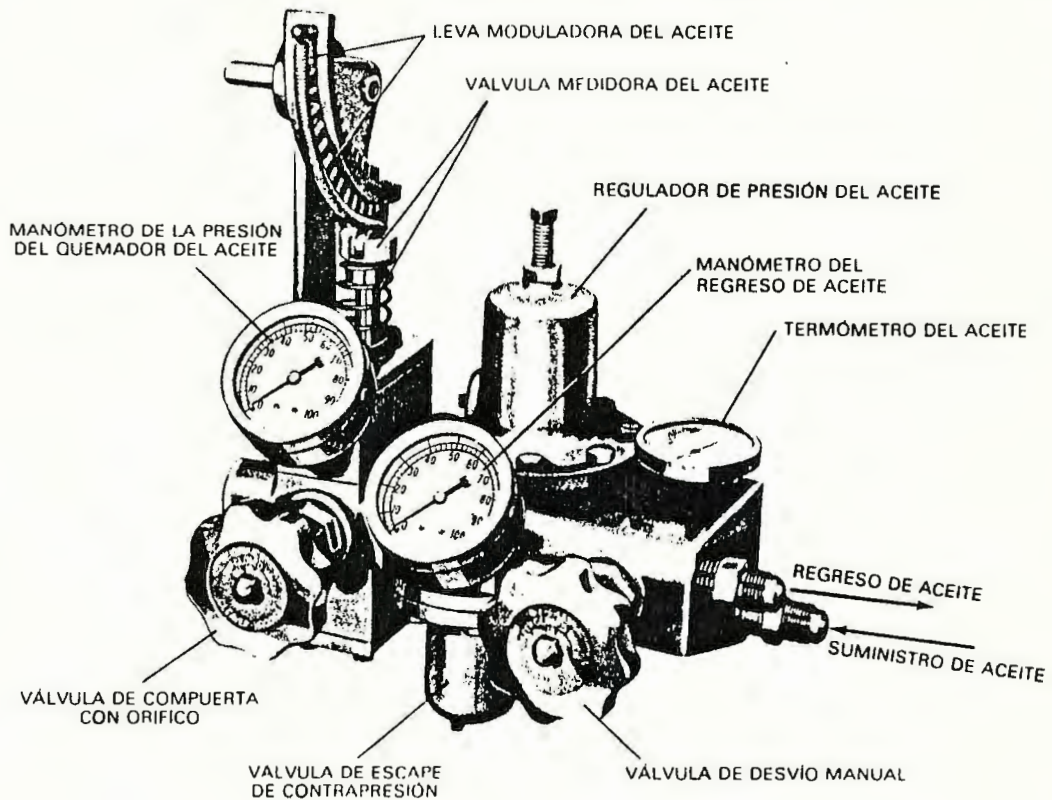


Fig. 2-8. Conjunto de la válvula de control para aceite pesado.

**Leva moduladora del aceite:** un conjunto que consiste en un sector oscilante, una serie de tornillos Allen de ajuste y un resorte de perfil que permiten al operador ajustar la entrada de aceite en toda la asignación del campo de modulación.

**Manómetro de la presión del quemador de aceite:** indica la presión del aceite combustible al punto de la válvula medidora.

**Regulador de la presión del aceite:** ajusta la presión del aceite combustible al punto de la válvula medidora.

Termómetro del aceite combustible: indica la temperatura del aceite que se suministra al conjunto de control del aceite combustible.

Válvula de contrapresión: ajusta la presión del aceite después de la válvula medidora; también regula la asignación del flujo de aceite devuelto.

Manómetro de la presión del aceite devuelto: indica la presión de aceite en el lado de regreso del conjunto de control del aceite combustible.

Válvula de desvío manual: ahorra tiempo en establecer el flujo de aceite. Cuando está abierta, deja el aceite circular por las líneas de abastecimiento y de regreso. Antes de la primera encendida, esta válvula tiene que estar cerrada.

Válvula de compuerta con orificio: se puede abrir la válvula antes del arranque para ayudar a establecer el flujo de combustible por el conjunto de control. Antes de la primera encendida esta válvula tiene que estar cerrada. Su hoja tiene un orificio para permitir una circulación continua de aceite caliente a través del conjunto de control.

## 2.5 Pre calentador de Aceite Combustible

El pre calentador de aceite combustible es un intercambiador de calor del tipo cerrado generalmente de casco y tubos, el fluido que pierde calor es el vapor inyectado al calentador y el fluido que acepta calor es el aceite pesado No. 6. Se emplean resistencias eléctricas para el calentamiento inicial en el arranque de la caldera cuando no se posee presión de vapor.

Los intercambiadores de tipo cerrado son aquellos en los cuales ocurre transferencia de calor entre dos corrientes de fluido

que no se mezclan o que no tienen contacto entre sí. Las corrientes de fluido que están involucradas en esa forma están separadas entre sí por una pared de tubo. En consecuencia, la transferencia de calor ocurre por la convección desde el fluido y de ahí por convección desde la superficie sólida al fluido más frío.

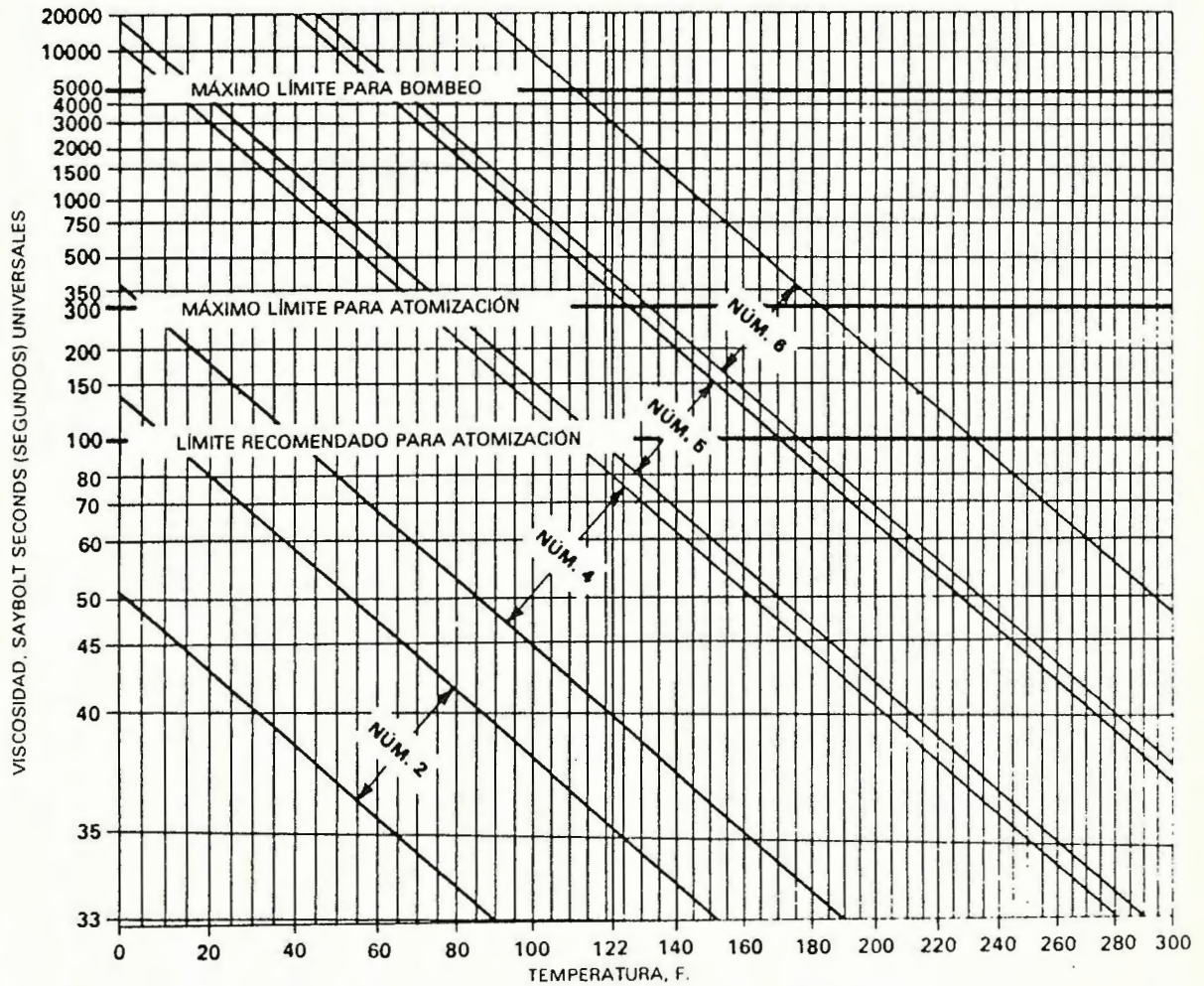


Fig. 2-9. Viscosidad de los aceites combustibles.

El aceite pesado No. 6 debe calentarse antes del bombeo para reducir su viscosidad, usualmente a 500 SSU<sup>(7)</sup>. Para una

<sup>(7)</sup> Segundos Saybolt Universal.

atomización efectiva, los fabricantes de quemadores especifican viscosidades en el intervalo de 100 a 150 SSU. La Fig. 2-9 permite predecir la temperatura necesaria para una viscosidad determinada. Sin embargo, lo mejor es instalar capacidad de calentamiento extra en virtud de que la calidad del aceite entregado pueda variar.

Se debe tener presente que si el flujo de petróleo se detiene, éste puede vaporizarse o carbonizarse. Ambas cosas reducen la transferencia de calor desde las superficies del calentador, lo cual puede causar una falla catastrófica en los calentadores eléctricos. Es necesario que el aceite circule por los calentadores, y debe dotarse al sistema de controles protectores.

En la Fig. 2-10 se observa todo el conjunto completo del precalentador del aceite pesado para su uso en calderas HTR. Se pueden observar los siguientes componentes:

Termostato del calentador eléctrico de aceite: sensa la temperatura del aceite combustible lo cual activa o desactiva el calentador eléctrico de aceite para mantener la temperatura requerida.

Termostato del calentador de vapor: mide la temperatura del aceite combustible y así regula la válvula de vapor en posición abierta o cerrada para mantener la temperatura seleccionada.

Válvula de vapor del calentador de aceite: es una válvula solenoide, normalmente cerrada, que se abre por acción del termostato de vapor de modo que el flujo del vapor pase al conjunto de precalentamiento para mantener la temperatura del aceite combustible.

Válvula de retención del calentador de vapor: evita la contaminación del lado del vapor de la cámara de presión en caso de que suceda filtración por el calentador de aceite.

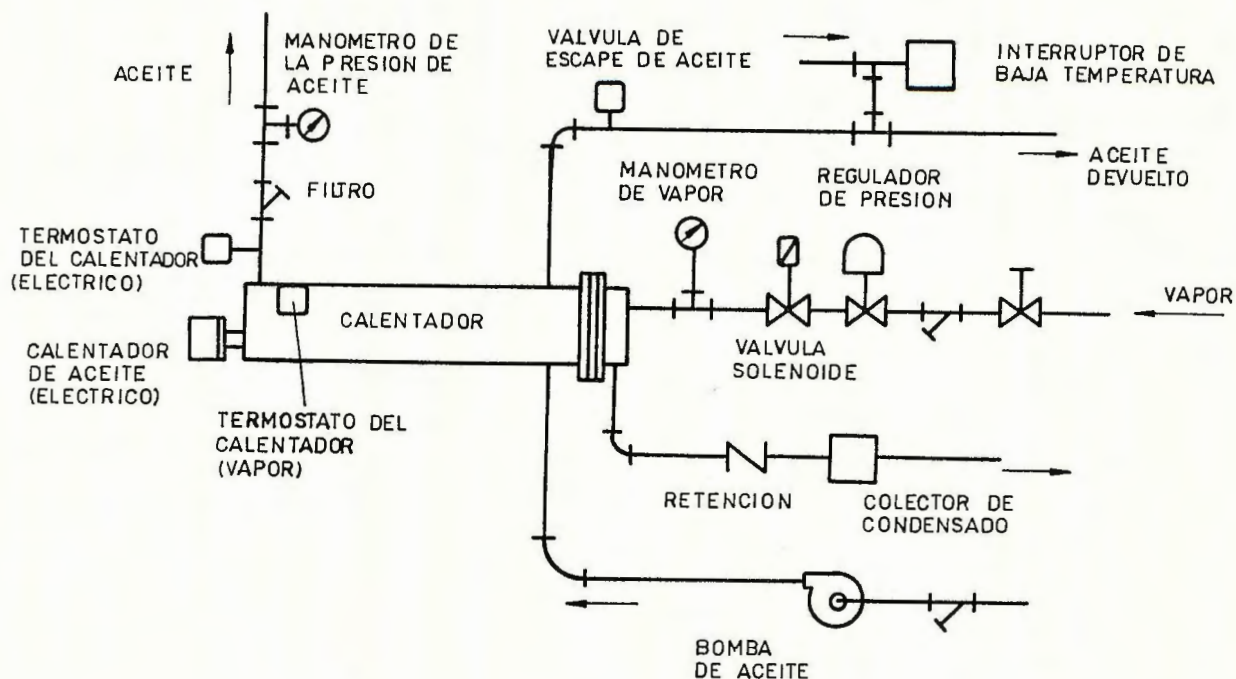


Fig. 2-10. Conjunto de precalentamiento del aceite pesado.

Regulador de presión del calentador de vapor: se ajusta para proveer una presión de vapor reducida (generalmente abajo de 15 psi) en calderas de alta presión para mantener la temperatura requerida del aceite combustible.

Colector de condensado: escurre el condensado y evita pérdida de vapor del calentador. Se deben purgar los sobrantes (la descarga).

Válvula de retención (descarga del calentador de vapor): evita la entrada de aire durante los periodos de parada cuando el enfriamiento puede causar un vacío dentro del calentador.

Manómetro de la presión de abastecimiento del aceite: indica la presión en el calentador y la presión hacia el regulador de presión del control principal del aceite.

Interruptor de baja temperatura del aceite: interruptor termostático que evita el arranque del quemador o lo para si la temperatura del aceite combustible está más baja de lo necesario para operación adecuada del quemador.

## 2.6 Conjunto Alimentador de Broza

El conjunto alimentador de broza se encarga de proporcionar la cantidad de broza necesaria a la caldera para su combustión. En la Fig. 1-4 (Capítulo I) se observa el sistema de alimentación completo. El objetivo principal buscado es la modulación completa de la alimentación, o sea, suplir la cantidad necesaria de broza para mantener la presión del vapor estable.

El parámetro principal del sistema es la cantidad máxima de broza a introducir en el horno. Esto dependerá del tipo y la condición de la broza y de la capacidad de la caldera. Ya que el poder calorífico de la broza es muy inferior al aceite combustible, habrá una cantidad relativamente grande de broza para una caldera que tuviera únicamente aceite pesado como combustible. El volumen que forma la broza dentro del horno si su perfil se aproxima a una parábola, viene dada por la siguiente expresión:

$$^{(8)} \text{Vol} = 2\frac{1}{3} h^2 \quad (2-2)$$

Para poder determinar la cantidad de broza adecuada para producir la misma capacidad de caballos caldera para una caldera, se debe determinar las propiedades de la broza específica a

---

<sup>(8)</sup> En esta fórmula, "h" es la altura máxima que alcanza la broza en el horno.

emplear. Un análisis de la broza debe determinar las siguientes propiedades:

(a) Humedad. Toda broza contiene cierta humedad natural, que varía de 5% hasta 40%, dependiendo de los procesos de donde provenga. La humedad se puede clasificar en dos formas: la humedad inherente y la humedad de superficie. La humedad inherente está en los poros de la broza y no desaparece cuando es secado al aire. La humedad de superficie es la que absorbe la broza durante todo el procesamiento, según la operación de la cual provenga, el tránsito que efectúa o el almacenamiento. La humedad de la broza en general es indeseable ya que se debe transportar, manejar y almacenar. Como sustituye al material combustible, reduce el contenido calorífico por libra de broza. Además, se desperdicia algo del calor generado en el hogar, pues sirve para evaporar la humedad de la broza y recalentar el vapor.

(b) Ceniza. La ceniza de la broza, es una impureza que no se puede quemar y, igual que la humedad, es indeseable. Parte de ella queda impregnado en las paredes del horno y otra parte se colecta en el separador ciclónico. Hay que sacarla del horno y de la planta, lo cual aumenta los costos de manejo. Como la ceniza ocasiona formación de escoria y depósitos, se considera como el problema principal en los lechos combustibles y los hogares. Las características de las cenizas presentes en la broza se determinan por medio de conos pirométricos. Un cono pirométrico es un pequeño cono que tiene una temperatura de fusión o punto de ablandamiento conocidos y se usa para comparar el comportamiento de materiales a altas temperaturas. Se utilizan conos de calentamiento para medir la temperatura a la cual se funde la ceniza. Estas temperaturas son el mejor medio de conocer la tendencia de la broza a formar escoria y depósitos en condiciones determinadas de lecho de combustión y del hogar.

(c) Poder Calorífico. El valor calorífico se determina al quemar una muestra de broza en una bomba calorimétrica, llena de

oxígeno a presión. El valor calorífico del carbón es lo que determina la calidad de la broza, según el tipo. El problema es convertir en energía todo el valor calorífico que sea posible.

(d) Cualidades de Trituración. Algunas brozas no tienen el tamaño adecuado para su utilización inmediata en la caldera. Deben ser triturados para disminuir su tamaño. El tamaño influye en la naturaleza del lecho de combustible, el tiro requerido, las cenizas producidas y las pérdidas por broza sin quemar. Todos estos factores son importantes para la combustión eficiente. La calidad de trituración se mide por medio de la energía necesaria para pulverizar la broza utilizando un molino de bolas, determinando el número de revoluciones del molino de bolas necesarias para triturar una mezcla, de modo que el 80% pase por un tamiz de mallas.

La broza tendrá una combustión del tipo lecho de combustible<sup>(9)</sup>, en la cual se introducirá por la parte inferior del piso del horno por medio de un sinfín desde una tolva subterránea y dará a la broza una forma apilada (como un pequeño volcán). La broza debe quedar lo más floja posible para facilitar el paso del aire. Si se introduce la cantidad de broza adecuada al aire de combustión disponible, no se producirá cenizas dentro del hogar; por lo tanto, si se produce ceniza en el horno se debe ajustar el cargador<sup>(10)</sup> para no cargar más broza de la se puede oxidar con el aire que se mueve a través del lecho de combustible.

Existen precauciones generales que se deben tomar cuando se operen con cargadores. Uno de ellos es la introducción indeseable de aire a través de grietas, agujeros o por puertas de observación abiertas. El operador debe observar el horno antes de la operación ya que puede ser necesario cubrir las grietas y agujeros para aire a fin de evitar que circule exceso de aire por el hogar. También se

---

<sup>(9)</sup> La combustión puede ser de dos formas: (a) suspensión, como se quema el aceite pesado y, (b) lecho de combustible, como se quema la broza.

<sup>(10)</sup> Cargador es otra forma de llamar al mecanismo alimentador de broza.

deben hacer las mismas observaciones de filtraciones en los cargadores, principalmente en las tolvas. Se debe eliminar la pedacería de hierro y la basura que pueda pasar por el cargador entre la broza que puedan dañarlo, especialmente en el sinfín.

## 2.7 Conjunto Horno-Quemador

En esta sección se referirá a tres conjuntos importantes en la caldera: el quemador, el conjunto hogar-horno y los dispositivos de control dentro del horno.

El quemador de aceite combustible mezcla el aceite combustible y el aire para la combustión. Para ello debe atomizar el aceite en el quemador para que ocurra una vaporización en el espacio de combustión. El aceite combustible se debe vaporizar para exponer la mayor superficie posible al calor. La atomización se logra por la combinación del uso de vapor y aire para la desintegración en gotitas, y además se hace pasar el aceite a presión por una boquilla o tobera. El mezclado de vapor o aire con el aceite se hace en el cuerpo o la boquilla del quemador antes de pulverizarios en el hogar. El vapor utilizado para atomización es, en promedio, alrededor de 2% del vapor producido. La presión varía entre 75 y 150 psi y se puede tomar vapor de un tubo de baja presión, de un desrecalentador con un reductor de presión o de un respiradero a través de un orificio con válvula reguladora.

Existen siete reglas que se deben recordar para lograr la combustión económica del aceite combustible: (a) se debe atomizar el aceite por completo para producir una aspersion fina y uniforme; (b) mezclar por completo el aire y el aceite; (c) se ha de introducir suficiente aire para la combustión, pero se limita el exceso de aire a un máximo de 20%; (d) hay que mantener un suministro constante de aceite limpio para el quemador; (e) deben estar los orificios en buenas condiciones y limpios; (f) deberá

mantenerse la relación correcta entre el difusor y el refractario<sup>(11)</sup> del quemador; y (g) los ladrillos refractarios de la garganta del quemador deben estar en buenas condiciones.

Se deben recordar algunas características ya vistas. Al atomizar aceite combustible, se debe calentar lo suficiente para tener la viscosidad deseada, generalmente entre 150 y 200 SSU. El cono producido por el aceite pesado atomizado al salir de la boquilla del quemador (Fig. 2-11) no debe ser lo suficientemente amplio que toque el refractario en la garganta del quemador, ni muy angosto de manera que no se combine eficientemente con el aire de combustión.

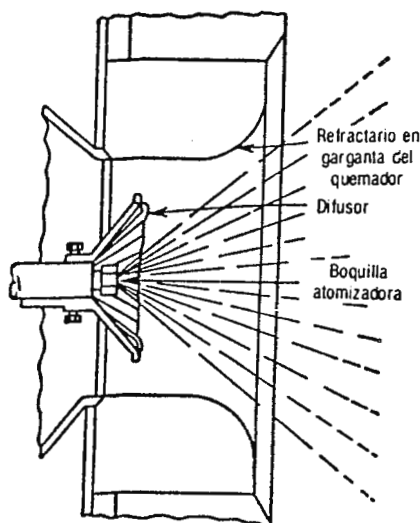


Fig. 2-11. La posición del cono controla el aire de combustión.

El horno u hogar es la cámara donde se efectúa la combustión. La cámara regula y confina la combustión de los productos y es capaz de resistir las altas temperaturas que se presentan y la presión que se utiliza. Sus dimensiones y geometría están adaptadas a la velocidad de generación de energía térmica, al tipo de combustible utilizado y al método de combustión, de tal manera que

<sup>(11)</sup> El difusor crea el cono de aceite en la boquilla atomizadora. Dicho cono no debe hacer contacto con el refractario en la garganta del quemador. Véase la Fig. 2-11.

promuevan una combustión completa y proporcionen un medio para eliminar la ceniza. La superficie que absorben calor en el interior del horno lo reciben de los productos de la combustión y, en consecuencia, bajan la temperatura de los gases que salen del mismo. Los principales mecanismos de transferencia de calor se efectúan en forma simultánea. Estos mecanismos incluyen la radiación entre la broza que forman la cama de combustión o las partículas de combustible, la radiación no luminosa que procede de los gases de combustión, la transferencia de calor por convección de los gases del horno, y la conducción a través de la pared metálica que forman los tubos y los equipos en el interior de la caldera. La efectividad de la absorción de calor de la superficie del horno está influida por los depósitos de ceniza y por la presencia de escoria.

La solución analítica del fenómeno de transferencia de calor en los hornos de las calderas generadoras de vapor es extremadamente compleja, y es muy difícil calcular la temperatura de salida de los gases del horno por métodos teóricos. Sin embargo, la temperatura de estos gases se debe predecir en forma precisa, ya que de esta temperatura puede determinarse el diseño del resto de la caldera, particularmente del precalentador de aire de combustión y el separador ciclónico. El cálculo, por tanto, debe estar basado en resultados obtenidos por la experiencia en operación y en un criterio sobre el conocimiento de los principios de transferencia de calor y de las características de los combustibles y escorias que generan.

Las paredes del horno deben estar soportadas en forma adecuada para contrarrestar la expansión térmica. La cámara que forma el horno debe evitar la infiltración del aire hacia el interior, y debe evitar la fuga de gases de combustión cuando el horno es operado a presiones arriba de la atmosférica.

Un aspecto importante del horno es el refractario. Los refractarios se usan para (a) revestir los hornos u hogares con un

material que resista el calor intenso; (b) confinar el calor y por lo mismo acelerar la combustión; (c) guiar el flujo de los gases de combustión a las trayectorias deseadas a través de la caldera; y (d) proteger las partes de la caldera de ser alcanzadas por las llamas y el calor radiante. Existen dos tipos de ladrillos en el horno, los ladrillos aislantes y los ladrillos refractarios. Los primeros son de peso ligero y nunca se exponen directamente al fuego, se usan detrás del ladrillo refractario que si esta expuesto al fuego y sirve para aislar el calor.

Los factores que influyen en la vida del refractario son: (a) la calidad, la mejor calidad da la vida más prolongada; (b) la alta temperatura, cuanto más alta sea la temperatura de un horno, será menor la vida del refractario; (c) los cambios de temperatura, los cambios rápidos y frecuentes de frío a caliente, los cambios rápidos al generarse vapor, el enfriamiento rápido debido a la falta de cuidado en la regulación del tiro al apagar, todos tienden a cuartear el ladrillo; (d) la vibración, las proporciones pobres de aire-combustible o el permitir que la caldera palpite destruyen las paredes, las explosiones del horno lo hacen instantáneamente; (e) la expansión, el que no haya suficiente espacio para la expansión origina que la pared se abombe cuando se calienta; (f) la acción de la escoria, hay elementos en el combustible que se combinan con el ladrillo para hacer una labor de fundente, esto hace descender el punto de fusión de los refractarios; y (g) la mano de obra descuidada, juntas demasiado gruesas, falta de mortero, colocación deficiente de ladrillos, etc., acortarán la vida del refractario.

Si se va a renovar o modificar el muro de ladrillo refractario, se debe tener en cuenta que debe ser: (a) mecánicamente fuerte, (b) tan hermética como sea posible y (c) lo suficientemente flexible para permitir que las paredes componentes del horno se expandan y se contraigan con los aumentos y disminuciones de temperatura. el ladrillo debe colocarse de tal manera que los muros puedan repararse o recubrirse de la manera más

fácil posible y sin debilitar el muro. Se meten en el mortero las caras del ladrillo que forman la junta y se desliza y coloca cada ladrillo de manera firme para hacer las juntas delgadas y fuertes. Hay que ir alternando las juntas para cortar las filtraciones de aire dentro del horno y evitar que el gas se salga.

Dentro del horno, además del quemador, existen dispositivos sensores de diferentes parámetros de la combustión (Fig. 2-12). Entre ellos se encuentran los monitores o exploradores de llama, los cuales detectan la presencia o ausencia de una llama estable por medio de ciertas características físicas de la llama que se pueden medir con circuitos electrónicos a fin de determinar si existe buena llama. Entre los tipos de monitores se cuentan (a) varillas de conductividad para llama; (b) bulbos o celdas detectoras de radiación; (c) fototubos para luz visible; (d) fotoceldas infrarrojas. Las fotoceldas y las varillas de conductividad para llama se basan en el principio de rectificación, que establece que no sólo son capaces de conducir una corriente eléctrica, sino de rectificar una corriente alterna. Así aplicando corriente alterna ya sea al electrodo de flama metido dentro de la misma, o bien a una fotocelda situada ante la flama, la corriente rectificada resultante, que se produce solamente cuando la flama está presente, puede ser utilizada por el control programador. Todos estos dispositivos trabajan con corrientes muy pequeñas y se necesitan amplificadores para su procesamiento.

Para entender el funcionamiento de estos dispositivos debe tenerse en cuenta un fenómeno peculiar: una flama puede conducir una corriente eléctrica, ya que cuando se queman los combustibles tiene lugar una disociación de componentes y queda libre, dentro de los límites de la flama, una concentración de iones, que llevan cargas eléctricas. Estos iones se producen por medio de la división de las partículas neutras que descomponen el gas en partes positivas y negativas. El proceso de división tiene lugar constantemente durante la combustión del combustible. Y puesto que la corriente eléctrica es un flujo de partículas cargadas a través

de una sustancia, una flama, que está hecha de una concentración de partículas cargadas, puede conducir una corriente eléctrica.

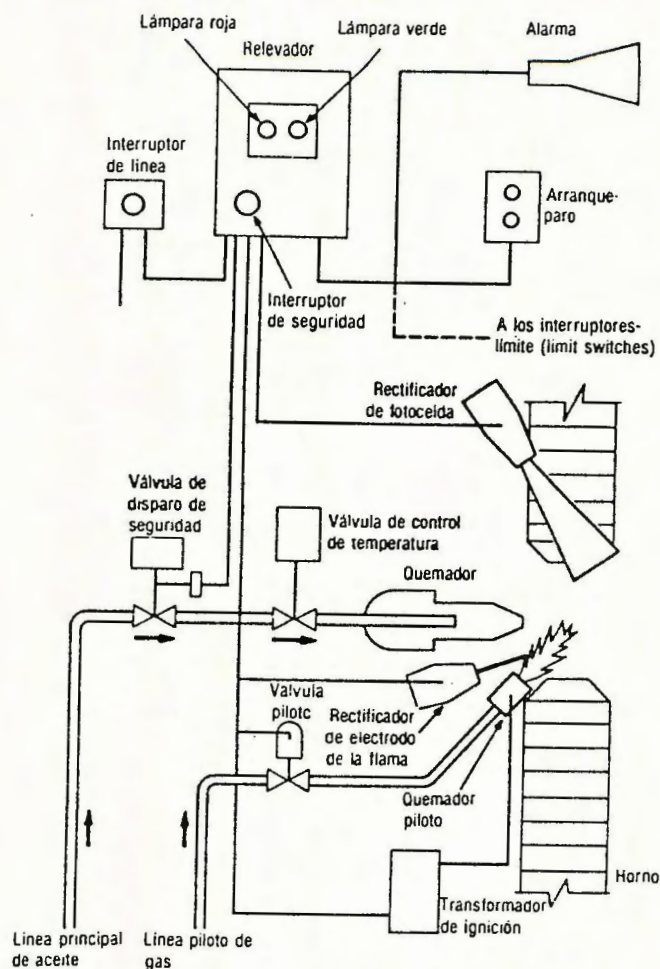


Fig. 2-12. Conjunto horno-quemador, incluyendo dispositivos rectificadores.

## 2.8 Precalentador de Aire

El precalentador de aire es un intercambiador de calor dispuesto de tal forma que continuamente está transfiriendo calor de los gases de combustión que salen al aire de combustión que entra. El calor que se elimina de los gases de combustión se recircula directamente al horno junto con el aire de combustión, y

cuando se agrega a la energía térmica que se está desprendiendo de la combustión, se convierte en energía disponible para la absorción en la unidad de generación de vapor, con lo cual resulta una ganancia en la eficiencia térmica general. El uso de precalentadores de aire de combustión acelera el proceso de encendido y promueve una combustión rápida y completa del mismo.

Los calentadores de aire se clasifican en general como de tipo recuperativo y regenerativo. En ambos se utiliza un sistema de transferencia de calor por convección de los gases de combustión al metal u otra superficie sólida y por convección de ésta hacia la masa de aire. En los precalentadores de aire de tipo recuperativo, las partes metálicas estacionarias forman una barrera de separación entre los fluidos caliente y frío, y el calor se transfiere por conducción a través de la pared metálica. Hay dos tipos de precalentador de aire del tipo regenerativo en uso común. En uno de ellos los elementos útiles en la transferencia de calor se mueven alternadamente a través de las corrientes de gas y aire, sujetándose a ciclos de calentamiento y enfriamiento y la transferencia de energía se efectúa gracias a la capacidad calorífica en los elementos. El otro tipo de precalentadores de aire tipo regenerativo tiene elementos estacionarios y el flujo alterno de gas y aire se controla por medio de conexiones de entrada y salida a través de válvulas adecuadas.

Los gases de combustión que se generan a partir de la mayoría de los combustibles contienen un porcentaje de vapor de agua, que puede condensarse, lo cual sucede generalmente en los precalentadores de aire, en las superficies metálicas expuestas a una temperatura por debajo del punto de rocío. Pequeñas concentraciones de trióxido de azufre en los gases de combustión, los cuales tienen su origen en el azufre del combustible y varían de acuerdo con el contenido de azufre y con el sistema de encendido, se combinan con el vapor de agua en los gases de combustión para formar una solución de ácido sulfúrico, la cual puede condensarse sobre las superficies metálicas a la temperatura

de rocío de la solución ácida, que es del orden de 250 a 300 ° F (121 a 149 ° F), las cuales son temperaturas muy por encima que la del rocío del agua. Tales condensaciones causan corrosión o ensuciamiento de las áreas expuestas al flujo de gas. Es muy probable que esto ocurra durante el invierno, cuando el aire que entra al calentador tienen una temperatura más baja y cuando las cargas de operación de la caldera son bajas, la corrosión se localiza en los extremos fríos del precalentador, generalmente en su entrada, donde hay una pobre distribución del aire sobre la superficie del calentamiento. La corrosión y el ensuciamiento pueden evitarse con calentadores de aire auxiliares operados con vapor y que se localizan arriba de la entrada de aire, o bien, recirculando una parte del aire precalentado o separando una porción del aire frío para reducir el flujo a través del precalentador. En la Fig. 2-6 se presentan las temperaturas mínimas recomendadas para evitar la "lluvia ácida" en el intercambiador de calor. Aunque desde el punto de vista de la eficiencia es deseable una baja temperatura final de los gases de desecho, la reducción de su vida útil casi siempre desalienta su uso.

El tipo de precalentador de aire adecuado para una caldera que consume broza es del tipo recuperativo tubular de flujo transversal de dos pasos. En la Fig. 2-13 se presenta la configuración básica, con los tubos de aire paralelo entre cámaras de aire caliente y frío a cada extremo, y con la primera y segunda pasada en serie. La dilatación térmica diferencial de tubos paralelos puede causar algunos problemas, y los tubos pueden curvarse debido a variaciones en la longitud por distorsión lateral.

La ganancia en la eficiencia de este tipo de precalentador de aire es de 1% por cada 35 a 40 ° F de caída de temperatura de los gases de salida. Para el diseño del cambiador de calor debe predecir la temperatura de precalentamiento del aire y la temperatura final de los gases de combustión. Así, la cantidad de calor específico recuperado,  $q$ , es

$$q = c_p (T_2 - T_1) \quad (2-3)$$

donde,  $c_p$  es el calor específico del aire (0.24 a temperaturas inferiores a 427 °C u 800 °F),  $T_2$  es la temperatura del aire caliente entregado, y  $T_1$  es la temperatura del aire frío que entra al cambiador de calor.

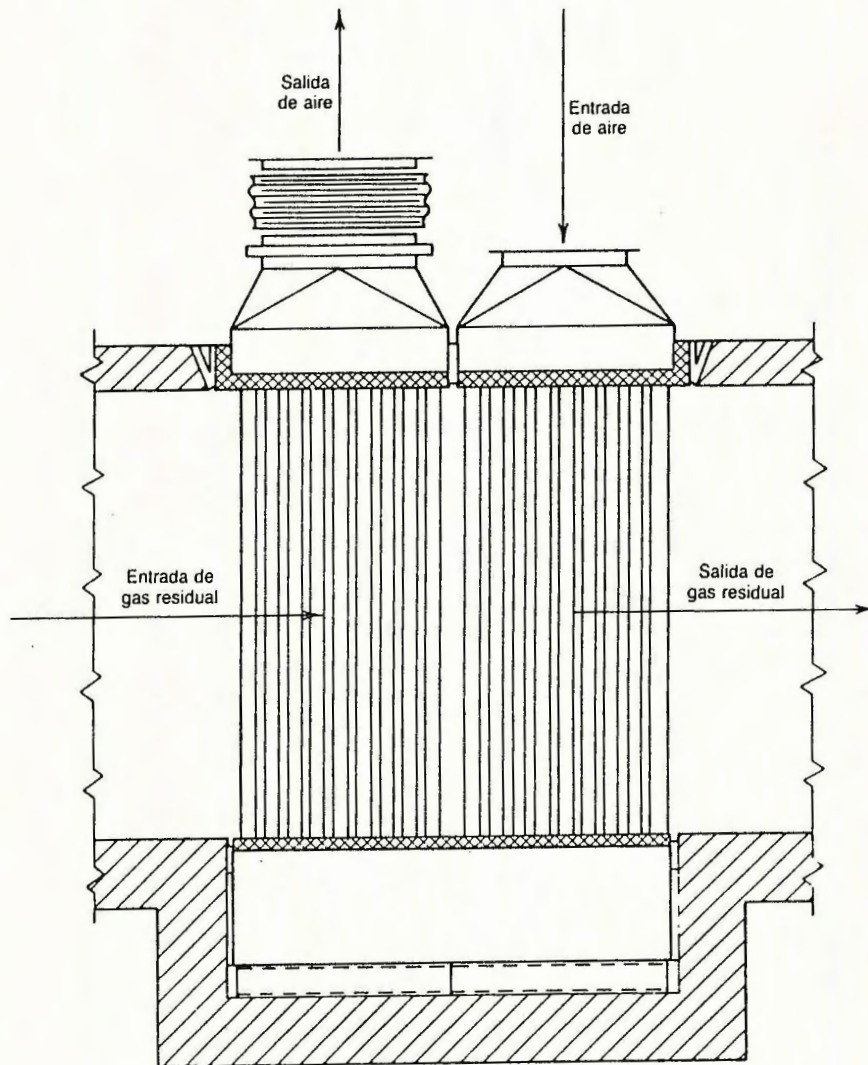


Fig. 2-13. Recuperador de flujo transversal en un humero de gases residuales.

El precalentamiento del aire de combustión es un método muy lógico para reciclar la energía residual de los gases de combustión en las calderas, pero se deben tener en cuenta algunos factores. Si la temperatura del aire o el gas es mayor que aproximadamente  $427^{\circ}\text{C}$  ( $800^{\circ}\text{F}$ ), es necesario aislar la parte interior de los ductos y tubos de acero al carbono. Para tubería o ductos pequeños en los que esto sería poco práctico, es necesario utilizar una aleación con resistencia mecánica y a la oxidación a la temperatura más elevada, así como aislar la parte externa.

El aire a alta temperatura es mucho menos denso, por lo que los pasos en quemadores, válvulas y tubería deben ser más grandes para las mismas velocidad de entrada y caída de presión. Cambiar las temperaturas de extremo a extremo en cambiadores de calor de alta temperatura y de tiempo en tiempo durante ciclos en hornos de alta temperatura, provoca gran esfuerzo térmico, que suele dar por resultado fugas y acortar la vida útil del cambiador térmico. Superficies de transferencia de calor fijas a ambos extremos (soldadas o presionadas) pueden provocar sobreesfuerzo. Se debe utilizar velocidades relativamente altas de diseño de los gases de combustión para mantener las partículas en suspensión hasta que lleguen al separador ciclónico para su eliminación segura.

## 2.9 Separador Ciclónico

Los separadores ciclónicos son colectores de polvo de los gases de combustión y se requieren en todas las calderas que queman combustible sólido, con objeto de reducir la contaminación del ambiente. Existen dos clases principales de separadores ciclónicos: los del tipo de paletas axiales y los de involuta. La única diferencia que existe entre los dos se basa en el método de introducción de los gases dentro del casco cilíndrico. En la Fig. 2-14 se muestra la forma del separador ciclónico de involuta, el cual se utilizará para la caldera HTR.

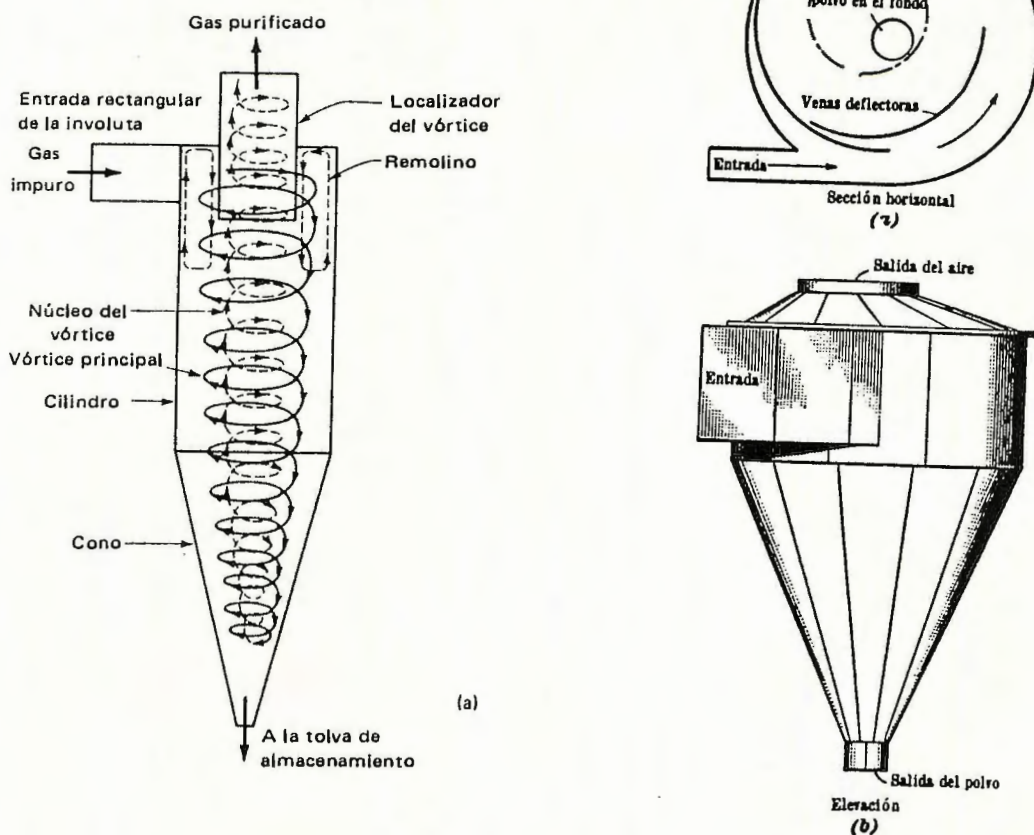


Fig. 2-14. Separador ciclónico de involuta.

Está formado por una cubierta que tiene forma de embudo, la cual recibe los gases de combustión a alta velocidad con una carga relativamente pesada de sólidos. El ducto de descarga de la chimenea entra tangencialmente al cuerpo del separador cerca de la parte superior del mismo y los gases giran como un vórtice alrededor de la periferia exterior y baja por los lados del separador. Al continuar los gases la rotación, pasa por una sección central y sale por la parte superior, Los sólidos suspendidos en el aire chocan contra las paredes y caen hacia la salida, mientras que los gases escapan cerca del centro por la parte superior. El diámetro del ciclón ( $D_0$ ) debe ser por lo menos  $3\frac{1}{2}$  veces el diámetro

del ducto de descarga la chimenea. En la Tabla 2-4 se presentan las proporciones de un ciclón normal en términos del diámetro exterior,  $D_o$ .

Tabla 2-4. Proporciones normales de los ciclones

Longitud del cilindro	$L_1 = 2D_o$
Longitud del cono	$L_2 = 2D_o$
Altura de la entrada	$H = D_o / 2$
Ancho de la entrada	$W = D_o / 4$
Diámetro del cilindro de salida	$D_s = D_o / 2$
Diámetro de la salida del polvo	$D_d = D_o / 4$

Es de notarse que los gases viajan primero alrededor de vórtices exteriores de radio gradualmente decreciente y a la salida se tiene un vórtice de radio menor pero con gran velocidad de rotación. Se tiene una pérdida de presión incluida en los vórtices, la cual está relacionada con el caudal de flujo de los gases. Se debe efectuar un ajuste entre la eficiencia colectora y la pérdida de presión. Por supuesto, la caída de presión está relacionada, con el gasto de energía. en general, las más altas eficiencias colectoras están relacionadas con las más altas pérdidas de presión. Esto es fácil de entender cuando las ecuaciones empíricas de la pérdida de presión se comparan con una relación de eficiencias. La caída de presión será:

$$\Delta P = \frac{KQ^2 P p}{T} \quad (2-4)$$

donde  $\Delta P$  es la caída de presión, en pulgadas de agua;  $Q$  es la tasa de flujo volumétrico del gas, en pies cúbicos por minuto;  $P$  y  $T$  son la presión y la temperatura del gas, en atmósferas y grados Rankine, respectivamente;  $p$  es la densidad del gas, en libras por pie cúbico; y  $K$  es el factor empírico de diseño como lo indica la siguiente Tabla 2-5.

Tabla 2-5. Valores de K de la pérdida de presión.

Diámetro del ciclón (plg)	K
20	$10^4$
16	$10^3$
8.1	$10^2$
4.4	$10^1$

El factor K contra el diámetro del ciclón es una línea recta en una gráfica trazada en papel log-log. Como la velocidad del gas está directamente relacionada con Q, la caída de presión aumenta proporcionalmente al cuadrado de la velocidad, como era de esperarse. Si la velocidad inicial de la partícula se toma como igual a la velocidad del gas, la Ec. (2-4) indicará que la eficiencia colectora es directamente proporcional a la velocidad del gas. Por consiguiente tanto la eficiencia colectora como la pérdida de presión están ligadas directamente a la velocidad o la tasa volumétrica en determinado dispositivo. Para los ciclones simples, la caída de presión varía desde 0.5 a 2 plg de agua, mientras que los ciclones de alta eficiencia pueden experimentar pérdidas de 2 a 5 plg de agua.

En ciclones con tamaños de 6, 8, 9 y 10 plg (15 a 25 cm), las velocidades típicas de entrada son de 50 a 60 pies/seg (15 a 20 m/seg), con tasas volumétricas de 500 a 1000 pies<sup>3</sup>/min (15 a 30 m<sup>3</sup>/min) por tubo. Sin embargo, se pueden obtener ciclones de una sola involuta, con capacidades que varían de 30 a 30,000 pies<sup>3</sup>/min. La ausencia de partes móviles confiere a los ciclones gran confiabilidad unida a gran simplicidad, especialmente con tubos de patrón normal. Es el menos costoso de todos los colectores de partículas del tipo de alta eficiencia. El tipo de colector de paletas axiales tiene desventajas que incluyen la erosión de las paletas (especialmente con polvos abrasivos) y posible bloqueo de los pasajes entre las paletas. Una de las principales desventajas de los ciclones de involuta es que el tamaño y el costo aumentan según aumente la eficiencia requerida. Por ello, un ciclón de

paletas axiales es por lo general la primera selección si sus características de operación se ajustan a los requerimientos. Otros refinamientos son posibles dentro de las dos clases de ciclones de paletas axiales y de involuta.

Por lo general, el separador ciclónico se utiliza para eliminar partículas con tamaños de  $10\ \mu\text{m}$  o mayor. No obstante, los ciclones convencionales rara vez remueven partículas con una eficiencia mayor del 90%, a menos que la partícula tenga un diámetro de  $25\ \mu\text{m}$  o mayor. Existen ciclones de alta eficiencia, que son efectivos hasta con partículas de  $5\ \mu\text{m}$ . No importa cuál sea el diseño, la eficiencia fraccionaria de remoción de cualquier ciclón cae rápidamente más allá de un cierto tamaño de partícula.

#### 2.10 Control Programador

El control programador se suele utilizar en calderas pequeñas y medianas. La necesidad de utilizar instrumentos para la operación y el control automático o manual varía con el tamaño y el tipo del equipo utilizado, el método de encendido y la habilidad del personal de operación.

La operación segura y eficiente de una caldera requiere información sobre (a) el nivel de agua en el domo de la caldera; (b) el funcionamiento del quemador; (c) las presiones de vapor y del agua de alimentación; (d) la operación de las bombas de alimentación, los ventiladores, los quemadores de combustible líquido y el equipo de preparación de combustible sólido; (e) la relación real entre el aire de combustión que pasa a través del horno y el requerimiento de aire teórico para quemar el combustible; (f) la temperatura del combustible líquido, el agua, los gases de combustión, y el aire que entra y sale de los principales componentes de la caldera; y (g) los flujos de combustible, agua de alimentación, vapor producido y aire, con

objeto de controlar en forma continua las condiciones de operación y hacer los ajustes necesarios conforme lo requiera la operación.

El control de las funciones necesarias para mantener las condiciones de operación deseadas pueden lograrse en los equipos de generación de vapor de baja capacidad ajustando en forma manual las válvulas y las mamparas, y controlando la velocidad de ciertos motores. Pero en la mayoría de las calderas del tipo industrial, se cuenta con equipos de control automático para efectuar la purga del horno, arrancar o parar los quemadores y mantener la presión del vapor requerida, así como el nivel del agua dentro de la caldera. Debido a los requerimientos de operación para las grandes calderas de servicio industrial, es necesario utilizar instrumentos de control automático para las variables principales, como el flujo de agua de alimentación, la descarga y velocidad de quemado de combustible, así como la temperatura del vapor generado. El tipo de caldera y de sus componentes es suficiente, en general, para establecer el modo básico de control que se debe emplear, ya sea por controles analógicos del tipo neumático o del tipo eléctrico.

La secuencia de operación de control, en general, son necesarios para establecer un arranque en las calderas de servicio, una purga del horno, encendido de los quemadores y el control de operación del quemador. Es esencial la interacción entre los instrumentos para asegurar la secuencia adecuada en la operación de arranque y encendido, así como para activar las alarmas automáticamente o parar completamente la unidad en el caso de falla de los elementos esenciales.

Por medio de un control programador se puede tener un control completo de la caldera. Por ejemplo, un detector responde a la presión en el cabezal de vapor y acciona un elemento relevador-transmisor. En el sistema relevador se pueden utilizar cables y varillajes, aire comprimido, aceite a presión o circuitos eléctricos para accionar los elementos de relevadores receptores en las unidades motrices y accionar los suministradores de combustible

y aire. Las unidades motrices (reguladores) colocan la palanca, reóstato, válvula, etc., que establecen el volumen y velocidad de funcionamiento del cargador, alimentador, quemador, ventilador o registros necesarios. Hay que ajustar todo el sistema de modo que los cambios de presión de vapor produzcan cambios proporcionales en el suministro de combustible y aire. El elemento primario se puede construir para hacer funcionar el sistema ya sea con una característica de caída de presión de vapor o para mantener una presión constante de vapor. Con la característica de caída, los controles del combustible y el aire adoptan una posición definida para cada presión de vapor. Por tanto, la presión puede variar alrededor de 2 a 3% entre cero y plena carga.

Con un método de control de posición, se supone que una graduación de un control dado, por ejemplo, un reóstato que regula la velocidad del motor del ventilador, siempre produce el mismo resultado, que, en este caso, es la misma circulación de aire. Empero, en cualquier posición del reóstato, se alterará la circulación de aire a causa de las variaciones en el voltaje en las terminales del motor, cambios en la resistencia a la circulación en la caldera ocasionados por hollín o escoria o por variaciones en las condiciones barométricas. En forma similar, el suministro real de combustible puede variar con cualquier posición del control.

Aunque el sistema mantendrá constante la presión de vapor, se puede reducir la eficiencia de la combustión. Por lo general, se puede ajustar el sistema para mantener una relación aire-combustible deseada en una parte de la gama de carga, pero se desviará en una u otra dirección otras cargas. El ajuste manual puede restaurar la relación aire-combustible correcta. Un controlador automático mantiene un tiro constante en el horno, pues mide el tiro y restablece la unidad motriz que acciona el registro o el control del ventilador siempre que el tiro se desvia de lo normal.

El mejor método para asegurar la operación continua con bajo exceso de aire es el de graduación de oxígeno. El corazón de un sistema eficiente de combustión con bajo exceso de aire es el quemador, pero se debe acoplar con un sistema de detección y control. Un analizador de oxígeno ( $O_2$ ) y otro equipo de muestreo producen una señal eléctrica de salida que se puede utilizar para corregir la relación aire-combustible preestablecida en un sistema de control de combustión. La señal de corrección de  $O_2$  proporciona un punto variable de graduación para el controlador de oxígeno. Este sistema complementa y promueve una mezcla íntima de aire y combustible para operación eficiente con bajo exceso de aire en calderas, principalmente cuando en él se usan dos o más tipos de combustibles a la vez.

Existen dos tipos de control programador en uso actualmente:

- (a) Control programador electromecánico, y
- (b) Control programador electrónico (PLCs).

#### 2.10.1 Control Programador Electromecánico

El control programador electromecánico (Fig. 2-15) utiliza principalmente relevadores para ejecutar una función determinada. Toda la secuencia de operación de una caldera está gobernada por el control, enviando señales a los dispositivos de operación. Los componentes integrales más importantes de un programador electromecánico son los siguientes:

(a) Relevador principal: es el primero en recibir energía cuando todos los controles de límite y operación e interruptor de cierre automático están cerrados, permitiendo iniciar la secuencia de programación y dar energía al motor ventilador.

(b) Relevador de llama: recibe energía cuando el detector de flama (fotocelda o electrodo) indique llama adecuada en el

quemador. Cuando existe falla de llama se desenergiza este relevador y transfiere la energía al interruptor de seguridad.

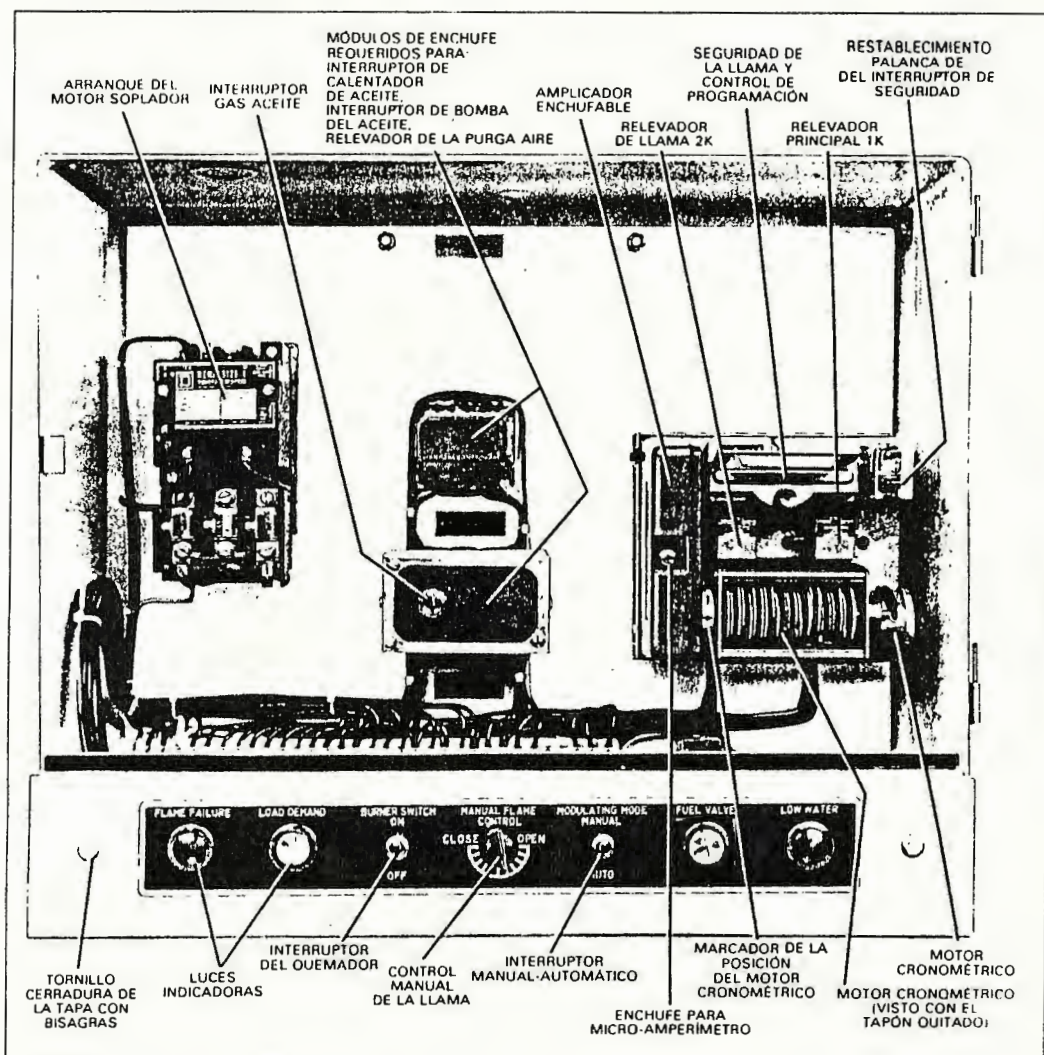


Fig. 2-15 Control programador electromecánico básico.

(c) Interruptor de seguridad de llama de restablecimiento manual: consiste en un interruptor bimetálico. Después de una falla de llama, falla de ignición o falla en que el relevador de flama quede desenergizado durante el período de prueba de la programación, enclava para quitar la energía al relevador principal

y apagar la caldera. Para su restablecimiento es necesario esperar un periodo de enfriamiento, y será obligación del operador investigar y corregir la causa de esta interrupción antes de arrancar nuevamente la caldera.

(d) Motor cronométrico: actúa las levas para abrir y cerrar los contactos en un programa cronometrado no ajustable a fin de que se lleven a cabo todas las operaciones del quemador. El motor funcionará inmediatamente después de haber energizado el relevador principal. Para la visualización de la posición del motor y el grado alcanzado en el ciclo de operación del quemador, el eje del motor lleva incorporado en su extremo un dial indicador. En la mayoría de los programadores, el motor cronométrico desarrolla una velocidad de  $1/3$  rpm aproximadamente, por lo que tardan 180 segundos (3 minutos) para dar una vuelta completa.

Para el montaje del programador en el panel de control se requiere de una base que se acople justamente a sus terminales de entrada y salida y para ello, la base posee terminales machos de espiga plana y el programador terminales hembras de presión lo que permite una buena sujeción libre de vibraciones. El control programador tiene otras partes complementarias con dispositivos que le ayudan a desarrollar su función completamente automática y segura, tales como el amplificador. El amplificador es un dispositivo electrónico de estado sólido que tiene tres funciones importantes: (a) amplifica la señal proveniente del detector de llama, (b) chequea continuamente el estado de todos los elementos del circuito propio, y (c) envía una señal eléctrica al relevador de flama para que corte en caso de existir falla de llama, o de accionarlo cuando esté en operación normal.

### 2.10.2 PLCs

Los controles lógicos programables (PLC, por sus iniciales en inglés), fueron inicialmente utilizados en 1969 en la industria

automotriz como medio de reemplazo de los relevadores magnéticos lógicos por sistemas de control electrónicos. El mayor beneficio logrado fue la eliminación de costosos cambios de alambrado para cada modelo del año, reduciendo el tiempo de cambio y requerimientos de espacio, así como un incremento dramático en la flexibilidad del control de la línea de producción. Aún hoy en día la industria automovilística es el mayor usuario de los PLCs, aunque el uso de los PLCs se extiende actualmente a casi todas las actividades industriales.

Los PLCs iniciales estaban limitados a ejecutar funciones llevadas a cabo normalmente por los relevadores electromagnéticos que ellos reemplazaban, por ejemplo, operaciones secuenciales, retardos, etc. Desde su introducción, los PLCs han experimentado un tremendo incremento en sus capacidades. Un PLC moderno tiene una amplia gama de capacidades, tales como, cálculo aritmético, almacenamiento y adquisición de datos, generación de reportes, capacidades de control distribuido, manejo de señal analógica y digital, computadoras e interfases periféricos, capacidad de intercomunicación entre PLCs, auto diagnóstico, sistema corrector de fallas, y control de motores y sistemas.

La principal razón para el rápido incremento de aplicaciones para PLC son: (a) facilidad de programación; (b) bajo costo; (c) confiabilidad; (d) costo de mantenimiento bajo; y (e) robustez combinada con su habilidad para operar en cualquier sitio en aplicaciones industriales.

Como un ejemplo de un típico PLC de bajo costo, el Mini-PLC-2 de la firma Allen-Bradley proporciona una excelente ilustración de la versatilidad por un precio razonable dentro del mercado de la mayoría de los usuarios industriales. El Mini-PLC-2 es un controlador basado en un microprocesador el cual puede monitorear y controlar hasta 128 canales de entrada y salida (I/O). Sus elementos principales son:

(a) La unidad de procesamiento central (CPU) y memoria, contenida en el Mini-Processor Module. La memoria del Mini-Processor está disponible en dos tamaños: 512 palabras ( $\frac{1}{2}$  KB) o 1024 palabras (1 KB), aceptando ambos datos de 16 bit. La función del Mini-Processor es almacenar el programa del usuario, las condiciones actuales de I/O y realizar secuencias de conmutación, controlar contadores internos y temporizadores, y ejecutar dos funciones aritméticas. La memoria es un Complementary Metal Oxide Semiconductor (CMOS) de lectura y escritura la cual contiene una protección contra pérdidas durante una falla de energía por medio de una batería de respaldo.

(b) Los módulos I/O permiten al Mini-Processor monitorear y controlar equipos y sistemas conectados externamente. Los módulos de entrada sensan niveles de voltaje y condiciones de los dispositivos de entrada tales como botones pulsadores, sobrecargas, interruptores de presión, interruptores límites, etc. Los módulos de salida producen señales de salida las cuales energizan motores y arrancadores de motores, solenoides, circuitos electrónicos, etc. Los módulos I/O proporcionan aislamiento optoelectrónico entre el procesador y los circuitos de entrada o salida. Además, los módulos de entrada tienen filtros para protegerlos contra transientes de los circuitos, y la mayoría de los módulos de salida están protegidos por fusibles. Un amplio rango de módulos de I/O están disponibles para entradas de 120V AC/DC y 220/240V AC/DC, entradas analógicas de 8 y 12 bit, entradas TTL, entradas contador/codificador, entradas de termocuplas, y una entrada codificada de 8 bit para nombrar unas pocas de las entradas disponibles para los módulos. Existe también un rango correspondiente de módulos de salida.

(c) El sistema de alimentación, el cual puede ser operado por 120V ó 220/240V AC proporciona potencia para el nivel lógico del Mini-Processor y los módulos I/O. También tiene incorporado protecciones de bajo y sobrevoltaje y sobrecorriente así como una secuencia automática de encendido.

La capacidad del controlador Mini-PLC-2 se incrementa cuando se utilizan interfases para dispositivos periféricos tales como el Industrial Terminal o el Program Panel. El primero incorpora una pantalla CRT y un teclado y habilita programas para ser introducidos, modificados o monitoreados; el CRT muestra los pasos lógicos del programa al ser introducido. El Program Panel permite la introducción del programa, así como su monitoreo y edición, y la pantalla muestra las condiciones de los elementos lógicos individuales. Un grabador de cinta digital puede ser usada para almacenar los programas como un respaldo para el sistema. Ya que los terminales de programación son compatibles con la interfase RS-232-C, es posible comunicarse con terminales de datos para impresión de los programas del controlador así como reportes de las condiciones de operación actuales, mensajes de advertencia y mensajes de diagnóstico. La relación funcional de los componentes de un PLC típico se muestran en la Fig. 2-16.

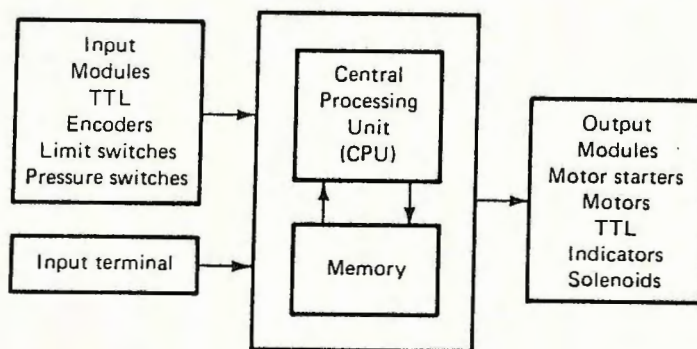


Fig. 2-16. Diagrama de bloques funcional de un controlador programable típico.

Una aplicación industrial grande a menudo requiere extender las capacidades de los procesos de producción para la mejor utilización de equipos nuevos y existentes por el mejoramiento de la comunicación y el control. Esto puede ser acompañado por medio de una red de datos interconectando varios PLCs, computadoras, terminales de entrada, impresoras, etc., de manera que operen como un sistema integrado.

La mayoría de los PLCs permiten al programador realizar programación en diagrama de escalera, una técnica la cual es muy similar al convencional diagrama de escalera de los relevadores. Dependiendo del sistema, los cambios de programación pueden ser hechos en tiempo real o fuera de línea. Con la programación en tiempo real, el PLC continuará la operación mientras ésta es programada; en el caso de programación fuera de línea, el PLC generalmente es detenido antes de que el programa sea introducido.

La ventaja de la programación de tiempo real es que el PLC ejecuta el control, mientras una porción del programa está siendo introducida o modificada; los ajustes pueden ser hechos para un proceso y sus efectos son observados.

## CAPÍTULO III

### SECUENCIA DE OPERACIÓN

#### 3.1 Introducción

Este capítulo describirá la secuencia de operación de la caldera HTR, utilizando broza en el funcionamiento normal de operación y aceite en el período de arranque. El objetivo principal es conocer la secuencia necesaria para su almacenamiento en el control programador, ya sea si se utiliza un programador electromecánico o un PLC. No se tratará en detalle algunos aspectos particulares del programador, ya que dependerá del tipo usado. Por lo tanto, en algunos casos no se indicará preliminarmente el tiempo de duración de los eventos, pero sí se detallaran todas las acciones tomadas.

Debido a las facilidades que proporciona el programador a base de PLC y a los tipos de control usados, se recomienda ampliamente su uso para este propósito.

#### 3.2 Secuencia de Programación

La secuencia de operación describe el ciclo de operación de la caldera desde el arranque, el período normal de operación hasta la secuencia de parada. El control programador establece la secuencia de la operación de todos los controles y componentes para proveer una secuencia integrada.

El quemador, el cargador y el sistema de control están listos para arrancar cuando existen las siguientes condiciones:

a) El agua de la caldera tiene el nivel correcto, haciendo que se cierre el interruptor de cierre de bajo nivel de agua. La luz indicadora de bajo nivel de agua queda sin energía. El control de límite de presión de operación y el control de límite de alta presión están más bajos que su punto de cierre. La luz indicadora de demanda de carga tiene energía.

b) Todos los interruptores de entrada están cerrados y existe voltaje en los terminales del arranque del ventilador centrífugo. Debe de haber energía para el arranque del motor de la bomba de aceite combustible y también en los terminales de los relevadores del calentador de aceite.

c) No existe broza dentro de la caldera, pero sí en el cargador y en la tolva de alimentación. Además existe energía en el arrancador del motor-reductor del sinfín.

No se indicarán algunas operaciones relacionadas con el sistema de suministro de combustible y el suministro de agua, excepto para los controles que afecten directamente al control programador. Dichos sistemas funcionan independientemente al control programador, pero algunos parámetros sirven como información de la condición de operación general de la caldera para el control programador. Dentro de estos sistemas cabe mencionar el sistema de calentamiento de aceite pesado, el cual es independiente del control programador, siempre y cuando esté energizado el arrancador del motor de la bomba de aceite combustible. Dicho arrancador acciona por medio de un contacto auxiliar<sup>(11)</sup> el sistema de calentamiento. Si no existe presión de vapor, entra a

---

<sup>(11)</sup> Los arrancadores de motores generalmente poseen dos contactos auxiliares, además de los contactos principales de la línea del motor. Uno de ellos es normalmente abierto (NO) y el otro es normalmente cerrado (NC). Cuando se energiza el arrancador, cambian de estado. Dichos contactos auxiliares son usados para propósitos de control y no pueden soportar mucha corriente.

funcionar el calentador eléctrico de aceite, siendo controlada la temperatura por el termostato del calentador eléctrico ; al existir presión de vapor, se deshabilita el calentador eléctrico y entra a funcionar el calentador de vapor, el cual mantiene la temperatura del aceite debido al termostato del calentador de vapor. Existen interruptores de baja y alta temperatura de aceite que son las que proporcionan la información al programador del estado del calentador de aceite.

Lo mismo ocurre con el flujo de atomización, en el arranque se utilizará aire para atomizar, pero luego este control queda completamente independiente del programador, y a medida que exista suficiente presión de vapor, se cambiará a vapor para la atomización del aceite combustible. El control de temperatura de los gases en la chimenea también funciona independientemente del programador, regulando el damper de chimenea para mantener los gases en un rango de temperatura necesario para evitar pérdidas de calor en el horno y evitar corrosión en la chimenea.

### 3.3 Período de Prepurga

El período de prepurga se encarga de limpiar los conductos de aire primario y secundario de manera que se verifique que no existe ningún obstáculo en la trayectoria del tiro y en el quemador de aceite, así como se asegura de limpiar cualquier flujo remanente, antes de que exista alguna llama en el horno.

La prepurga se inicia al poner en posición cerrada "on" el pulsador principal que da energía al control programador, al ventilador centrífugo y a la bomba de aceite pesado simultáneamente. El programador coloca el damper de aire de combustión en posición completamente abierta, o sea de máxima alimentación. Esto permite el flujo máximo de aire purgador por la caldera antes de la ignición. Debe tenerse en cuenta que el control

analizador de oxígeno no tiene control sobre el damper de aire de combustión en este momento, cualquiera que sea su lectura.

Luego el programador debe energizar el conjunto de bomba de aire primario o de atomización, energizando la válvula solenoide de la purga de aire de atomización, para proporcionar una purga al inyector del quemador. Todas estas operaciones deben tener ciertos controles de respuesta indicando que la secuencia ha sido satisfactoria. Si existe algún problema se desconecta la energía a todo el programador y se vuelve a iniciar la secuencia. Los controles indicadores de una secuencia normal son los siguientes:

a) Debe cerrarse el contactor auxiliar del arrancador del motor del ventilador centrífugo de aire de combustión, indicando que está energizado.

b) El interruptor de prueba de aire de combustión debe estar cerrado, indicando la presencia de aire con suficiente presión en el ducto a la salida de la voluta del ventilador centrífugo.

c) El interruptor de aire de atomización tiene que estar cerrado para indicar la presencia de aire llegando del compresor de aire.

d) El interruptor de baja temperatura de aceite y el interruptor de alta temperatura de aceite (si se usa) tienen que estar cerrados para probar que el aceite pesado calentado ya ha llegado a la temperatura deseada pero no la ha sobrepasado.

e) El interruptor de baja presión de aceite tiene que estar cerrado para indicar la existencia de suficiente presión de abastecimiento de aceite.

Al finalizar el período de prepurga, el damper de aire de combustión cambia a la posición de baja alimentación en aceite y el motor modulador de la válvula de aceite combustible debe moverse

también a la posición de baja alimentación. El quemador no puede arrancar si no se realiza la prepurga satisfactoriamente por cualquier motivo. Dependiendo de los códigos de seguridad usados, el período de prepurga debe durar ya sea 30, 60, 90 ó 120 segundos, por lo tanto, se debe programar las cuatro duraciones en el programador pero se usará solamente la apropiada. Si el procedimiento de prepurga se estanca por cualquier causa o no se satisfacen los interruptores comprobatorios del estado de prepurga, el controlador volverá a iniciar la prepurga. Si a los tres intentos no son aún satisfactorios, se desenergizará todo el programador y sonará una alarma.

La prepurga es necesaria para evitar una falla defectuosa al principio de la operación de la caldera, o peor aún, evita una explosión que pueda destruir el quemador de aceite. También se limpia el aire al interior de horno de posibles gases indeseables, y elimina las cenizas que se hayan depositado en la chimenea que aún hayan quedado del último funcionamiento. Es importante observar que toda la secuencia se establezca normalmente.

### 3.4 Período de Ignición

Al iniciarse el período de ignición, el transformador de ignición y la válvula del piloto se energizan. Al confluir el aire de combustión (con el damper en la posición de baja alimentación) y el gas en la presencia de la chispa en los electrodos de ignición, se establece la llama del piloto. El rectificador de electrodo (con el amplificador) detecta la llama piloto y energiza el relevador de llama en el programador.

Se debe establecer y comprobar la presencia de la llama del piloto dentro de un período de 10 segundos para que siga el ciclo de ignición. Si eso no ha ocurrido por cualquier razón, la secuencia se detendrá y se iniciará la secuencia de seguridad. Si todo es normal, se desactiva el transformador de ignición.

Probado el piloto, la válvula de combustible principal recibe energía y la llama principal es encendida. El indicador de la válvula solenoide de aceite combustible indica la presencia de aceite hacia el quemador. Después de un período de 15 segundos para verificar la presencia de la llama principal (por medio del rectificador de fotocelda), se desenergiza la válvula solenoide del piloto de gas, extinguiéndose la llama piloto.

Si la llama principal no enciende o no sigue encendida por cualquier razón, el relevador de llama se disparará y se enclavará mecánicamente, haciendo que se cierre la válvula solenoide de aceite pesado. Luego sigue una secuencia de falla de llama que se tratará en la sección 3.7.

La causa de falla de llama principal o de piloto u otra condición insólita debe ser investigada y corregida antes de tratar de arrancar de nuevo el quemador. También se debe hacer notar que durante todo el período de prepurga y de ignición, el interruptor del programador debe estar en la posición automática. La posición manual se usa para ajustar el quemador en el principio en el campo de asignación de alimentación. Si se opera en posición manual en una asignación no de baja alimentación, el metal del tambor, el refractario y los tubos de humo estarían sujetos a condiciones indeseables, además se pierde la eficacia de la purga del inyector.

Una vez establecida la llama principal, se enciende el indicador del quemador en funcionamiento. También entra en funcionamiento el sistema analizar de oxígeno en los gases de combustión, el cual controla el damper de aire de combustión para lograr una combustión cercana a la estequiométrica.

La llama producida hasta aquí es llama en baja alimentación. El quemador debe encender siempre con llama baja para no dañarlo con un cambio súbito de presión y temperatura. Esto se asegura por medio de un interruptor en el motor modulador de la válvula moduladora de alimentación de aceite, la cual está cerrada en la

posición de baja alimentación del motor modulador, e indica al programador la condición de baja alimentación en el quemador. Si no está cerrado este interruptor, no se puede iniciar todo el periodo de ignición.

Cuando ha pasado un período de 2 minutos de llama baja en el quemador, el programador inicia la operación de carga de broza dentro del horno y simultáneamente el quemador pasa de llama baja a llama alta. A medida que la broza es introducida al horno, ésta arde, siendo detectada por los electrodos de rectificación de nivel de broza. Cuando el rectificador de nivel superior no rectifica la corriente eléctrica, se detiene la carga de broza y el quemador cambia a fuego bajo. El fuego bajo del quemador seguirá funcionando hasta que se alcance la presión de operación del vapor. Luego el quemador se parará por completo, pasando antes a fuego bajo, quedando solamente el control de alimentación de broza funcionando para proporcionar el combustible necesario para la demanda de vapor. Para apagar el quemador se desenergiza la válvula solenoide principal del aceite y se cierra. La llama en el quemador se extingue pero la bomba de aire sigue funcionando unos segundos más para realizar una pospurga en el inyector.

Si el interruptor de selección del tipo de combustible está en la posición de "solo aceite", no se activará el mecanismo del cargador y la llama alta seguirá hasta alcanzar la presión de operación de la caldera. Luego el presostato modulante modulará la alimentación de aceite combustible por medio del motor modulante de la válvula de aceite combustible.

Hasta aquí finaliza el ciclo de arranque de la caldera. De aquí en adelante la presión del agua en el domo irá subiendo progresivamente hasta el nivel de operación, la modulación de alimentación de combustible seguirá según los requisitos de carga de la caldera.

### 3.5 Período de Operación

Durante el período de operación continua de la caldera, el cargador introduce broza en el horno a medida que se consume, activando el conjunto motor-reductor del sinfín, según el nivel de broza en el interior del horno, indicada por los rectificadores de electrodos de nivel bajo y alto.

La tolva de alimentación del cargador debe ser llenado a medida que se vacía, según los interruptores de presión localizados en ciertos niveles de la tolva. Dichos interruptores accionan el mecanismo que lleva la broza desde el silo de almacenamiento hasta la tolva de alimentación, ya sea por medio de un sinfín o por banda transportadora.

Según la cantidad de broza ardiendo en el horno, el analizador de oxígeno en los gases de combustión regulan el damper de alimentación de aire de combustión, para mantener la relación aire-combustible en un nivel satisfactorio, generalmente con un exceso de aire de 2 a 5%. Nunca debe permitirse que exista exceso de combustible, ya que generará mucho hollín en la chimenea y puede obstruir la chimenea en el precalentador de aire de combustión.

Para entender la modulación de la alimentación con broza, se debe entender la función de los presostatos colocados en el domo o cilindro de la caldera. El presostato de límite<sup>(12)</sup> de operación controla la adición o substracción de broza dentro del horno. Cuando llega a la presión de límite de operación se detiene el suministro de broza, cuando la presión baja la cantidad de presión diferencial del presostato, se vuelve a iniciar la introducción de broza. La cantidad de broza fluctuará entre dos niveles, el nivel alto y el nivel bajo, detectados por rectificadores de electrodos colocados a una altura específica que es directamente proporcional

---

<sup>(12)</sup> El presostato de límite de operación es independiente al tipo de combustible empleado, aunque se describirá para broza, funcionará igual para el aceite pesado.

con el volumen de broza en el horno. Utilizando broza no se necesita una modulación tan precisa como la que se hace con el aceite combustible en la válvula de alimentación de aceite, ya que la broza no tiene un poder calorífico tan alto que produzca cambios bruscos de presión de vapor con cambios brusco de cantidad de broza.

Los otros presostatos, de límite de fuego bajo, de límite de fuego alto y el modulante se utilizarán únicamente cuando se utilice el quemador de aceite pesado, durante el arranque y las demandas súbitas de vapor, y funcionarán de igual forma que en calderas de solo aceite. Es decir, el presostato modulante variará la posición de la válvula medidora de aceite combustible por medio del motor modulador y los presostatos de límite de fuego bajo y alto cambiarán el estado de la llama de fuego bajo a alto según la presión definida para cada llama. El presostato de límite de operación debe ser común en ambos combustibles, ya que sin importar el combustible, se desea un rango de presión de vapor necesario en la caldera para ejecutar los procesos de la planta.

Existe la posibilidad de que suceda un cambio brusco en la demanda de vapor, lo que haría imposible a la broza lograr la suficiente energía para compensar dicho cambio con la rapidez requerida, debido a su relativamente bajo poder calorífico. Se produce esta situación si la presión cae abajo del nivel inferior del presostato de límite de operación, teniendo broza en el horno a máxima carga. En este caso, se debe usar el quemador para proporcionar el calor suficiente para suplir dicha demanda y hacer subir de nuevo la presión del vapor. Dicha presión no debe estar excesivamente baja ya que el quemador no va a encender con rapidez, debido a que el aceite pesado debe ser calentado antes hasta tener la suficiente viscosidad para ser atomizado. El quemador enciende con la misma secuencia de prepurga e ignición vista anteriormente y pasa a ser controlada por el presostato modulante. A medida que se alcanza el límite alto de presión de operación, se pasa a fuego bajo, en el cual permanece por unos

minutos y luego se apaga el quemador si se mantiene la presión del vapor.

Si el interruptor de selección de combustible está en posición de "solo aceite", la operación continua de la caldera utilizará solamente el quemador, y estará bajo el control del presostato modulante, el cual manejará el motor modulante de la válvula de aceite combustible. En este caso no se introducirá broza dentro del horno.

### 3.6 Período de Parada

Cuando se desee parar la caldera, se debe pulsar el botón de "stop" del control programador, lo cual inicia una secuencia de parada. Si existe únicamente broza en el horno, se inicia substrayendo broza del horno hasta que queda en nivel inferior y colocando el damper de aire de combustión hasta la posición de baja alimentación. Se deshabilita el analizador de oxígeno. Se debe mantener esta condición el tiempo necesario hasta que se apague la llama de la broza. Luego se extrae de nuevo la broza hasta que abre el interruptor indicador de broza en el horno.

Luego sigue el período de pospurga del aire de combustión, abriéndose completamente el damper de aire secundario y enviando aire a través de toda la trayectoria del tiro para limpiar de impurezas, hollín y gases de combustión remanentes, todo el volumen del horno, enfriando a la vez el precalentador de aire de combustión. Después se desenergiza el motor ventilador al mismo tiempo que se cierra completamente el damper de aire de combustión.

Si el quemador está funcionando cuando se inicia el período de parada, se debe seguir la secuencia de parada del quemador, moviendo el motor modulante a la posición de fuego bajo para luego desenergizar la válvula solenoide principal del aceite combustible. El aire o vapor de atomización debe continuar fluyendo para

proporcionar una pospurga al quemador y evitar que pueda quedar aceite pesado en todo el conducto del quemador.

Finalmente, el programador termina su secuencia para la cual ha sido programada, quedando en condición de volver a repetir todo el ciclo de nuevo.

### 3.7 Secuencia en Fallas

En el evento de una falla de llama durante la ignición, falta de energía general en la toda la instalación durante la operación y si se detecta alguna llama durante las pospurga de aire de combustión, el programador seguirá una secuencia de paro de todo el sistema y quedará bloqueado para otro arranque o ignición hasta que se verifiquen el estado normal de todos los controles.

Se recomienda dejar un período de enfriamiento antes de volver a encender la caldera y resumir la operación, en cualquier paro por falla. La causa de falla de llama u otra condición insólita debe ser investigada y corregida antes de tratar de arrancar de nuevo.

Si no existe llama piloto durante el período de ignición, el programador cerrará la válvula solenoide de gas, activando una alarma indicando la falla de llama. Se debe chequear el funcionamiento del transformador de ignición y los electrodos de la chispa de ignición. Luego debe revisarse el rectificador de electrodo y el amplificador detectores de llama piloto, además de la presencia de suficiente presión de gas para el encendido, en el manómetro de la línea de suministro.

Si existe llama piloto pero no existe llama del quemador cuando pasan los 15 segundos de duración de llama piloto, la válvula solenoide de suministro de aceite se desenergizará, cerrando el flujo de aceite combustible y se activará la alarma de falla de llama. Habrá un período de pospurga y luego se

desactivaran los sistemas de atomización, aire secundario y suministro de combustible.

Un buen conocimiento del sistema y sus controles facilitará la corrección de problemas que se presenten. Se puede evitar intervalos de no operación o demoras costosas examinando sistemáticamente los resultados de operación real comparada a la secuencia normal para averiguar el punto en que el verdadero desempeño desvía del normal. Es posible que siguiendo rutinas se pueda eliminar hacer caso omiso de una condición relativamente fácil de corregir.

Recuerde que los dispositivos de seguridad generalmente operan bien en su mayor parte cuando se cierra o rehúsa funcionar. Nunca se debe tratar de circunvenir ninguno de los dispositivos de seguridad. Es aconsejable tener un buen programa de mantenimiento preventivo y una inspección periódica de todos los componentes. Especialmente es recomendable activar la secuencia de falla como prueba para asegurar su funcionamiento bajo condiciones de falla de llama (ya sea de piloto o de quemador) durante la operación.

### 3.8 Instrucciones de Operación

En estas instrucciones de operación se asumirá que la instalación está acabada, al igual que todas las conexiones para electricidad, combustible, agua y chimenea.

Se debe verificar el abastecimiento del combustible y que el voltaje sea adecuado y chequear si hay fusibles quemados. También se debe abrir los cortacircuitos y revisar si existen sobrecargas disparadas. Se deben probar el restablecimiento de todos los arranques y controles que tienen dispositivos de restablecimiento manual.

La caldera debe estar llena con agua al nivel de operación normal y esta agua debe estar a temperatura ambiente. El agua de abastecimiento tratada debe estar disponible y usada. Es recomendable abrir la válvula de escape de vapor para dar salida al aire desplazado durante el llenado del cilindro.

Antes de alimentar combustible a la caldera, se debe asegurar que la tubería de desagüe de las válvulas de escape y de drenaje conduzcan a un lugar seguro de descarga, de modo que el derrame de agua caliente o vapor no pueda causar daño alguno al personal o a la propiedad. Toda articulación mecánica debe ser examinada con un movimiento libre y completo, en especial los damper y la leva moduladora.

La rotación de cada motor se puede probar cerrando momentáneamente el relevador o arrancador del motor. La rotación del ventilador centrífugo debe girar en el sentido apropiado al flujo de aire. Antes de poner en funcionamiento las bombas de abastecimiento de agua o de aceite se debe verificar que toda válvula en las líneas estén abiertas o en la posición apropiada.

### 3.8.1 Asignaciones de Controles de Vapor

Se debe verificar el límite de operación para la asignación apropiada, el control de presión se debe fijar en un valor un poco más que el deseado, pero al menos 10% más bajo que la asignación de las válvulas de seguridad. En el control de límite alto se recomienda escoger un valor aproximadamente de 10 psi sobre la asignación del control de presión para operación, o si es posible, precisamente entre la asignación de límite de presión para operación y la de la válvula de seguridad. La asignación puede ser 1 ó 2 psi sobre la asignación anterior en calderas de baja presión pero no debe sobrepasar la asignación de la válvula.

El control modulador debe ser inspeccionado para cerciorarse si tiene la disposición correcta. Se debe ajustar el control de modo que el motor modulador vuelva a la posición de fuego bajo antes de que abra el control de límite de operación. También se debe verificar que tenga una asignación de fuego bajo cada vez que arranca, en vez de impulsarse inmediatamente a la posición de fuego alto.

Las asignaciones de todos los controles pueden requerir reajustes pequeños después del arranque de la caldera y un breve periodo de operación. Las asignaciones marcadas en las escalas de los controles son en su mayor parte exactas, pero se usan principalmente como guías. Los últimos ajustes debe fundarse y estar de acuerdo con lo marcado en el manómetro de presión de vapor.

Se debe examinar el cierre de bajo nivel de agua y el control de la bomba. Normalmente no requieren ajustes, pero es necesario asegurarse que el flotador se mueva libremente lo cual se puede probar observando el agua en el nivel de vidrio al cortar el abastecimiento de agua, o parando la bomba o cerrando una válvula, y al rellenar la caldera poniendo la bomba en marcha de nuevo o abriendo la válvula cuando la cámara esté desaguada.

Para el arranque inicial o arranques "en frío", el interruptor manual-automático debe estar en la posición "manual" y el control manual de la llama en "close". Después de que la caldera esté en funcionamiento un rato y esté ya calentada completamente, el interruptor selector debe ser puesto en "automático" para que el control programador rija la secuencia de operación.

### 3.8.2 Piloto de Gas

Es recomendable examinar el piloto de gas para ver si funciona satisfactoriamente antes del encendido inicial. Al principio es

posible realizar varias pruebas de funcionamiento para dejar escapar el aire de la línea piloto. Durante las pruebas del piloto, se debe observar si se extingue la llama prontamente al abrirse el interruptor del quemador. Una llama prolongada significa filtración por la válvula del piloto de gas y una condición que exige corrección antes de proceder.

### 3.8.3 Aire para Atomización

Antes de arrancar, se debe inspeccionar el nivel de aceite lubricante para la bomba de aceite. Se debe examinar el nivel de aceite en el colador de aire.

Para comprobar el flujo y presión del aire, encienda el interruptor del quemador para dar energía al control programador, desconéctelo inmediatamente. Debido a la secuencia de prepurga no se dará energía a las válvulas de combustible. Se debe notar la graduación en el manómetro de presión de aire, sin el flujo de combustible la presión mínima debe ser de 7 psi. Si no hay presión, existe una falla y debe ser corregida. Se debe buscar obstrucciones en la línea de aire y el sentido de giro correcto de la bomba de aire o escapes en la línea. Si la presión se encuentra en un valor mucho más alto sin flujo de combustible, debe haber obstrucción en la línea de descarga o en la boquilla del inyector.

La presión de aire aumentará con la presencia de combustible. En la asignación de fuego bajo, la presión del aire puede estar en 12 psi o un poco más alta. Si es bastante alta, se debe ajustar cuidadosamente la llave de la línea de entrada para limitar la salida de la bomba de aire. La forma de la llama en fuego bajo determinará la cantidad de ajuste requerido. Si el manómetro montado justamente antes de la boquilla indica presiones anormalmente altas significa que la boquilla del inyector está obstruida y es necesario examinarla y limpiarla.

#### 3.8.4 Alimentación de Aceite Combustible

Antes del encendido inicial, se debe establecer y verificar el flujo, temperatura y presión del aceite combustible.

Se debe abrir todas las válvulas en las líneas de succión y de regreso de aceite. La válvula de desvío en la válvula de control de aceite combustible debe abrirse hasta establecer el flujo de aceite. Normalmente la válvula con orificio se deja en una posición cerrada. Sin embargo, en los arranque "en frío" se puede abrir por cortos periodos para ayudar a establecer el flujo de aceite. Las válvulas de desvío y con orificio deben volverse a la posición cerrada inmediatamente después de que exista el flujo de aceite, lo cual se determina en el manómetro de la presión de abastecimiento de aceite. No se debe hacer ninguna asignación de presiones mientras las válvulas están abiertas.

Se debe arrancar momentáneamente la bomba para verificar su sentido de rotación. Luego se debe cebar con aceite el colador de la línea de succión arrancando la bomba y observando el manómetro de la presión del conjunto de control para determinar el establecimiento del flujo de aceite combustible. El aceite pesado en el tanque de combustible debe estar a una temperatura tal que pueda suplir la viscosidad de aceite necesaria para un flujo a través de la bomba de aceite y líneas de succión. Si no se establece el flujo después de dos o tres cebados, se debe corregir el problema ya que puede dañar el mecanismo interno de la bomba. Un vacuómetro<sup>(13)</sup> debe ser instalado a la entrada de succión de la bomba y debe observarse su lectura varias veces para verificar la calidad del vacío en el sistema.

Con respecto a la presión de aceite, debe ser regulada en varios puntos del recorrido. Primero en la válvula de escape del

---

<sup>(13)</sup> Un vacuómetro es un manómetro que puede medir presión negativa (de vacío), aunque dependiendo de su rango de operación puede medir un rango de presión positiva.

calentador de aceite, la cual en fuego alto debe indicar 75 psi en el manómetro de la presión del abastecimiento de aceite. El segundo lugar está en la válvula de control de aceite. Se debe ajustar el regulador de presión de aceite combustible para que el manómetro del quemador de aceite registre aproximadamente 45 psi. La válvula de escape de contrapresión se debe ajustar de modo que su manómetro indique unos 10 psi menos que el manómetro del quemador. Luego que el quemador ha encendido varias veces se pueden hacer ajustes posteriores a las válvulas si son necesarias. Estas presiones tendrán una fluctuación de aproximadamente 10 psi en su cambio de fuego bajo a fuego alto.

Antes de encender el interruptor del calentador de aceite, se debe verificar que la cámara del calentador está llena de aceite combustible, indicado por una lectura en el manómetro de presión del aceite combustible. El termostato del calentador eléctrico de aceite se debe ajustar para mantener una temperatura del aceite de aproximadamente 90° C. Debe tenerse en cuenta que el tamaño del calentador eléctrico es relativamente pequeño, ya que únicamente se utiliza en los arranques en frío y en fuego bajo. Luego el calentador de vapor se encarga de calentar mayores cantidades de aceite combustible, tan pronto como exista presión de vapor en la caldera, para suplir el combustible necesario para el funcionamiento en fuego alto. En operación normal, el termostato del calentador eléctrico se mantiene en una asignación más baja que el calentador de vapor, de manera que no exista calentamiento por medios eléctricos excepto cuando el vapor no esté disponible.

El termostato de vapor debe ser ajustado para una temperatura de 105-100° C. El calentador eléctrico se apagará tan pronto como el vapor suministre calor. Todas estas temperaturas son iniciales, ya que dependen de la composición del aceite pesado, la cual puede variar según su procedencia, necesitando una temperatura de precalentamiento más alta o más baja. La viscosidad del aceite pesado en el inyector debe estar entre 300 y 150 SSU, la temperatura real del aceite al llegar al quemador debe ser

determinada por la apariencia de la llama y la buena combustión verificada en el analizador de oxígeno colocado en la base de la chimenea.

La válvula de desvío manual debe cerrarse después de notarse un ascenso de temperatura en el termostato del conjunto de la válvula de control. También se debe cerrar la válvula de compuerta con orificio. Una vez establecidas las asignaciones correctas de temperatura en los termostatos del calentador de aceite, se debe fijar el interruptor de baja temperatura de aceite a un valor aproximadamente  $16^{\circ}\text{C}$  más abajo que la temperatura normal de operación, del mismo modo el interruptor de alta temperatura de aceite debe fijarse para abrirse a una temperatura  $11-16^{\circ}\text{C}$  más alta que la de operación normal.

#### 3.8.5 Alimentación de Broza

Se debe verificar inicialmente el arranque del motor del cargador, en especial en la dirección de introducción o extracción de broza en el horno. El arrancador reversible debe operar en la dirección apropiada y debe estar etiquetada. Debe asegurarse que los cojinetes del sinfín estén lubricados adecuadamente, al igual que el reductor de velocidad.

Los interruptores de nivel de broza deben ser accionados y verificar si se cierran, lo cual hará detener o arrancar el motor reversible. Antes del encendido inicial se debe asegurar que no existan materias extrañas de tamaño relativamente grande en el sinfín que puedan bloquear su giro o dañar su hélice. También debe revisarse el flujo de agua en los drenajes inferiores, de manera que se evacuen eficientemente.

Cuando todas las condiciones tratadas hasta aquí en esta sección 3.8 se han obtenido, la caldera está lista para el

encendido. La siguiente sección 3.8.6 se referirá al arranque y operación normal.

### 3.8.6 Arranque, Operación y Parada

Antes del arranque se deben verificar todas las condiciones mencionadas anteriormente en esta sección 3.8. Luego debe seleccionarse la condición de funcionamiento en el control programador según el combustible empleado en "solo aceite" o "aceite-broza". El interruptor manual-automático debe estar en la posición "automático" y el control manual de llama debe estar en "close".

Conecte el interruptor general del control programador, el indicador de demanda de carga se encenderá y el indicador de bajo nivel de agua debe estar apagada, asegurando que existe un nivel de agua seguro en la caldera. La caldera iniciará entonces la secuencia de operación vista al principio de este capítulo.

Si sucede falla de llama, se activará el indicador y el ventilador soplador purgará la caldera de gases no quemados antes de parar. No se debe tratar de arrancar el quemador si la cámara de combustión está caliente o si existen vapores combustibles en el hogar o en los tubos de humo. Se debe esperar unos minutos y volver a encender el control programador, cerciorandose que se efectúe debidamente la secuencia de prepurga. Si no se efectúa apropiadamente la secuencia de arranque, debe chequearse el sistema y corregir la falla antes de volver a efectuar el arranque de la caldera.

Durante la operación normal, el interruptor manual-automático debe permanecer en la posición "auto" y bajo la modulación de presión. Si se opera en la posición "manual", el receptáculo de presión y el refractario experimentarán condiciones indeseables. La

operación normal de la caldera continuará hasta que se den alguna de las siguientes situaciones:

- (a) el control programador sea puesto manualmente en "off".
- (b) el control de bajo nivel de agua se active.
- (c) La presión del aire para combustión o para atomización bajen del nivel mínimo.

Otros motivos posibles de parada son sobrecargas en motores, falla de llama, circuitos abiertos, fusibles quemados, disyuntores termomagnéticos disparados o debido a otros dispositivos de seguridad interconectados en los circuitos.

En situaciones de parada normal, o por el control de límite para operación o por colocar el interruptor control programador manualmente en "off", el indicador de demanda de carga no seguirá encendida. Paradas debidas a condiciones que hacen funcionar los controles de seguridad o de interconexión actúan el indicador de falla de llama (y el timbre de alarma) y la luz de demanda de carga permanecerá encendida. Se debe localizar el motivo de la falla y corregirla antes de que se reanude la operación.

Si el interruptor del control de programación se coloca en la posición "off", se desarrolla la secuencia de parada. Se extrae la broza del cargador, se quedan sin energía la válvula de combustible y se apaga la llama en el horno y se inicia la pospurga en la caldera. Al final del período de pospurga el ventilador centrífugo se desconecta, al igual que el motor de la bomba de aire. La unidad está lista para empezar de nuevo.

Se aconseja verificar el cierre hermético en las válvulas de combustible. A pesar de los filtros y coladores, materia extraña en líneas nuevas o renovadas puede fijarse debajo del asiento de la válvula estorbando un cierre hermético. Acontece especialmente en unidades recientemente instaladas. Se debe corregir cualquier condición que resulte en goteo o filtración.

Se debe verificar y probar el buen funcionamiento de los varios controles cuando la caldera empieza a funcionar y todas las veces que se reemplace un control. Luego se recomiendan pruebas periódicas según el plan de mantenimiento.

Los controles de seguridad deben ser chequeados con mayor frecuencia, principalmente los dispositivos de falla de llama y el control de límite para operación. Ambos controles hacen parar el funcionamiento de la caldera. El control de límite para operación se prueba dejando que aumente la presión de vapor hasta que se alcance la asignación, notese el manómetro de vapor para averiguar la presión máxima permitida mientras se activa el control de límite para operación. Debe abrirse la válvula colectora para dejar escapar el vapor a presión, o sea relajar la presión.

## CAPÍTULO IV

### CONTROL PROGRAMADOR

#### 4.1 Introducción

El control programador es el componente más importante en el funcionamiento de una caldera, en especial el caso particular en el cual la caldera consumirá dos tipos de combustibles. La complejidad del sistema hace necesario utilizar muchas variables de entrada que deben ser procesadas para producir condiciones de salida apropiadas.

En este capítulo trataremos de los controles programadores electrónicos de modelos específicos de entre algunos de los más prestigiosos fabricantes de controles. Dichos controles se presentarán en orden de complejidad, desde los básicos hasta los más sofisticados. Entre estos últimos se encuentran los PLCs, que debido a su versatilidad y facilidad de uso para un amplio rango de aplicaciones, se describirá con mayor detalle.

#### 4.2 Control Programador Electrónico

En el Capítulo II se trató en forma general de los controles programadores, dichos controles se dividieron en dos tipos: electromecánicos y electrónicos. Debido al desuso de los programadores electromecánicos y al auge de los programadores electrónicos, se tratará en especial estos últimos.

Actualmente existe en el mercado varios tipos de controladores electrónicos, los cuales los podemos clasificar en dos grupos distintos:

- (a) Controles electrónicos a base de relevadores
- (b) Controles electrónicos computarizados

Dependiendo del grado de automatización y a los recursos con que se cuenten, se puede escoger desde controles parcialmente manuales hasta controles totalmente automáticos, casi libre de la intervención humana. Es necesario presentar claramente cada tipo de control en una caldera para que se vean sus ventajas y desventajas. Obviamente el mejor controlador para nuestro caso sería a base de PLCs, pero no siempre esto está de acuerdo con la realidad existente en la industria de hoy. Es recomendable evaluar cada una de las siguientes alternativas para escoger la más apropiada según la complejidad, capacidad y recursos en cada situación.

#### 4.3 Controles Electrónicos a Base de Relevadores

Los controles electrónicos a base de relevadores utilizan circuitos lógicos digitales para efectuar las funciones con las que han sido diseñadas. Por lo general tienen pocas opciones de programación, por lo que sus funciones son limitadas y poco flexibles, pero representan una alternativa económica en los casos en que un control completamente automático sea prohibitivo o no práctico. Entre estos tipos de controladores se analizarán dos casos específicos, los cuales son:

(a) Controles Primarios de Seguridad de Llama (Flame Safeguard Primary Controls) R4795, de Honeywell.

(b) Controles Manejadores de Quemadores (Burner Management Controls) Serie D30, de Fireye.

#### 4.3.1 Controles Primarios de Seguridad de Llama R4795

Los controles de seguridad de llama Honeywell proporcionan dispositivos de estados sólido para la protección y salvaguarda de la llama en calderas industriales con quemadores de aceite, incluyendo un período de prepurga antes de cada arranque.

Las características principales del modelo R4795 son:

(a) Selección del temporizador de estado sólido de enchufar para la prepurga con 7, 10, 30, 60 o 90 seg. según los requerimientos de Underwriters Laboratories Inc.

(b) Incluye terminales para conexión de un interruptor de prueba de aire para proporcionar el flujo de aire en el período de prepurga, purga y en todo el período de operación.

(c) Capacidad de intercambio de amplificadores de señales de llama de estado sólido, con código de colores, permitiendo usar el programador con detectores de llama ultravioleta o de rectificación.

(d) El programador permite un segundo intento desde la prepurga si se presenta una falla de llama mientras el quemador esté operando. Si el piloto de llama no se restablece, se dispara el interruptor de enclavamiento de seguridad.

(e) Otras condiciones bajo las cuales se dispara el interruptor de seguridad son (1) detección de llama en el período de prepurga, (2) falla de ignición del piloto o llama principal, y (3) pérdida de llama mientras el quemador está en funcionamiento.

(f) Si el interruptor de seguridad se dispara, queda enclavado mecánicamente, por lo que debe ser restaurado manualmente. Este interruptor es a prueba de polvo.

(g) Como opción se puede proporcionar contactos spdt<sup>(14)</sup> para operar un sistema de alarma externo en el caso del disparo del interruptor de seguridad.

(h) Posee un circuito contra interferencia de ignición (para el amplificador de rectificación únicamente) que protege el circuito de la interferencia provocada por la chispa de alto voltaje de la ignición, dando una indicación visual cuando ocurra.

(i) La circuitería de estado sólido elimina el uso de tubos de vacío e incrementa la resistencia a la vibración. No necesita potencia adicional cuando esté apagado el quemador, lo cual evita el tiempo de calentamiento en los tubos antes del arranque.

(j) Todos sus componentes son enchufables, facilitando su reparación.

(k) Posee un conector de corriente de llama en el amplificador para la conexión de un microamperímetro para medir la señal de flama con el sistema en operación.

En la Fig. 4-1 se muestra los componentes internos del R4795, la Fig. 4-2 se muestra su diagrama de conexión y la Fig. 4-3 se muestra el alambrado de los detectores de llama que pueden ser usados por este programador.

A continuación se describe la utilización de cada terminal:

Terminal	Carga
3	Válvula Piloto, 125 VA.
4	Ignición interrumpida, 360 VA.

---

<sup>(14)</sup> SPDT = contactos de un polo y doble tiro, por sus iniciales en inglés "Single Pole Doble Throw". Los polos se refiere al número de contactos independientes del dispositivo y el tiro se refiere al tipo de contacto de cada polo, doble tiro es un contacto de conmutación.

- 5 Válvula principal de combustible, 125 VA.
  - 6-7 Interruptor de prueba de aire, 0.6 A a 30 VDC.
  - 8 Motor soplador del quemador, 9.8 FLA y 58.8 LRA a 120 VAC; 4.9 FLA y 29.4 LRA para 220 ó 240 VAC.
- Terminales de alarma, 3 A a 24 V; o 1 A a 120 V en caja de conexiones apropiada.

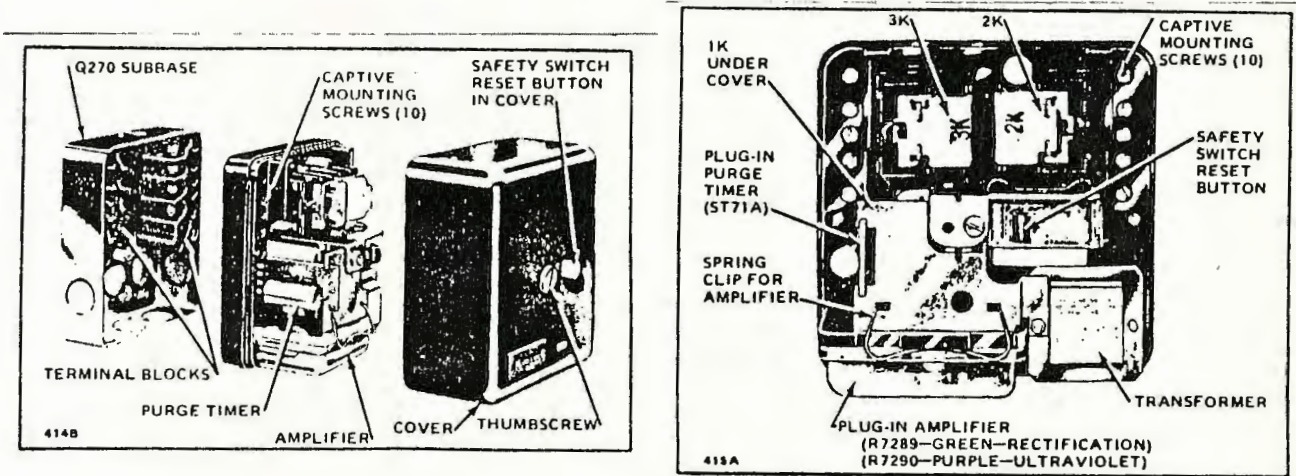


Fig. 4-1. Componentes internos del R4795.

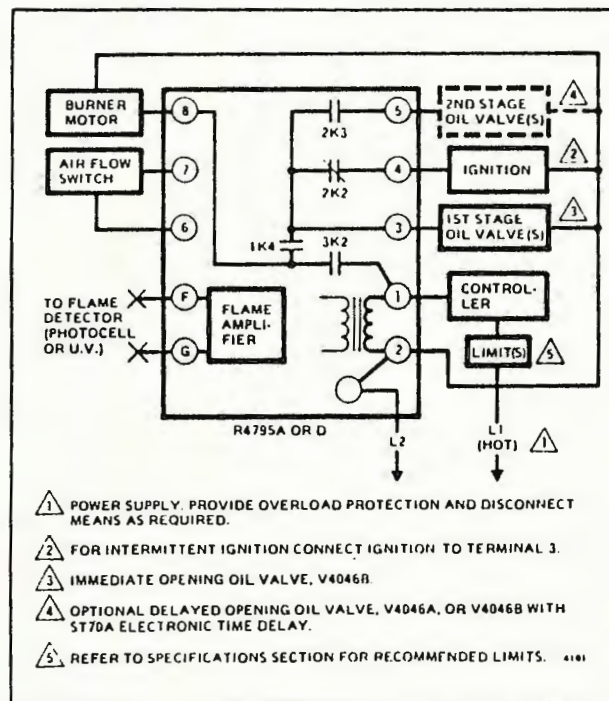


Fig. 4-2. Diagrama funcional del R4795 para aceite combustible con ignición interrumpida.

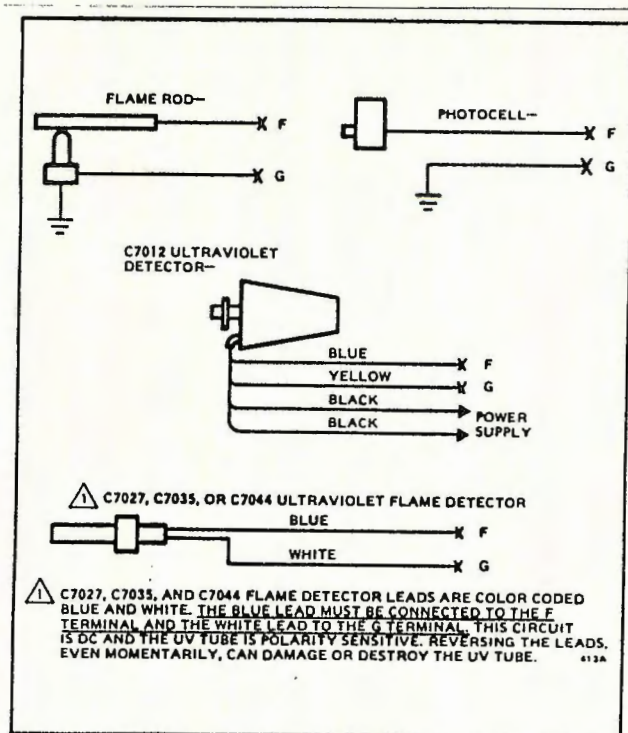


Fig. 4-3. Alambrado de los detectores de llama.

El terminal 1 posee controladores o límites que permiten el encendido del control cuando éstos están satisfechos (cerrados). Estos límites pueden ser el interruptor de prueba de aire de atomización, interruptor de temperatura de combustible, interruptor de presión de combustible, etc.

La operación del R4795 es la siguientes:

#### Operación Normal

Encendido (interruptor del controlador y límites cerrados)	El terminal 1 se energiza. El relevador 3K cierra el contacto 3K2 y energiza el terminal 8 (motor soplador).
---	--

Prueba de flujo de aire	El interruptor de prueba de aire de combustión entre los terminales 6 y 7 se cierra, energizando el temporizador de purga.
----------------------------	--

Prepurga completada (7, 10, 30, 60 ó 90 seg)	El relevador 1K cierra los contactos 1K4 y energiza el terminal 3 (válvula piloto) directamente y el terminal 4 (ignición) cerrando el contacto de relevador de llama 2K2.
Prueba de llama (piloto o llama principal)	El relevador 2K se energiza. El contacto 2K2 se abre para apagar la ignición, el contacto 2K3 se cierra para energizar la válvula principal de combustible. El contacto 2K1 se abre para desenergizar el temporizador de purga.
Apagado del controlador	Todos los relevadores se desenergizan, el sistema se apaga.

#### Operación en Falla

Falla de llama	El relevador 1K y 2K se desenergizan. El contacto 1K4 se abre y desenergiza los terminales 3, 4 y 5. Si existe aún aire de combustión, el período de prepurga empieza de nuevo. Después de la prepurga, se realiza un intento de encender el quemador.
Falla de aire de combustión	Si el aire de combustión falla durante el ciclo de operación, el relevador 1K se desenergiza. El contacto 1K4 se abre y desenergiza los terminales 3, 4 y 5. Únicamente el terminal 8, el motor soplador, se mantiene energizado. Si el aire se restablece, el período de prepurga empieza y la secuencia de arranque se repite.
Falla del temporizador de prepurga	Si el temporizador de purga enchufable no se coloca apropiadamente, o si no funciona apropiadamente, el motor ventilador funcionará en el encendido, pero el relevador 1K no se energizará. El resultado será una purga continua.
Retención por refractario caliente (usando fotoceldas)	Si el refractario caliente retiene el relevador de llama al final del ciclo de operación, el arranque se bloquea hasta que el refractario caliente no siga reteniendo el relevador de llama.

Con el R4795 se puede obtener un funcionamiento completo y seguro del sistema alimentador de combustible. Los sistemas de control de los damper de chimenea y de aire de combustión, al igual que el sistema de modulación de la válvula dosificadora de combustible funcionarán en forma independiente sin interferir el funcionamiento completo de la caldera. Pero en el sistema controlador de broza debe ser agregado el sistema de control de nivel de broza para la carga gradual de la broza, teniendo en cuenta también los amplificadores para los electrodos de rectificación.

#### 4.3.2 Controles Manejadores de Quemadores Serie D30

Los Controles Manejadores de Quemadores de la Serie D30 de la firma Fireye proporciona protección por falla de la llama principal y de ignición para quemadores de aceite con ignición automática. En conjunto con los controles de límite de operación y dispositivos de enclavamiento, se puede programar automáticamente, con lógica temporizadora de esta sólido, el motor soplador, la ignición y la válvula principal de combustible. El ciclo de control empieza automáticamente cuando el control de operación se cierra y seguido de un corte de energía eléctrica, pero debe ser restaurado manualmente después de un apagado por seguridad.

La programación de arranque incluye un chequeo de arranque de seguridad para cada arranque. Si se detecta la señal de llama, la ignición no se energizará y ocurrirá un enclavamiento de seguridad. Por medio de los terminales de la válvula principal de combustible se comprueba su cierre como prioridad para el arranque y la prepurga. También se comprueba que exista posición de fuego bajo para la ignición. Se proporciona un circuito de enclavamiento para interruptores de prueba de aire, interruptores de presión de combustible, etc. los cuales deben estar satisfechos durante la prepurga y el período normal de operación. El sistema de control está diseñado para desenergizar todas las válvulas de combustible

en cuatro segundos después de una falla de llama. Un circuito de alarma activa alarmas audible y visual después del enclavamiento por falla.

Los módulos amplificadores de enchufar permiten la selección de métodos de detección de llama del tipo ultravioleta, infrarroja o de rectificación. Para incrementar la seguridad y eficiencia, Fireye también proporciona como opción amplificadores infrarrojos con "autocheck" (usando señal de llama pulsante) y los amplificadores-scanner ultravioleta 72DUVS-45UV5 (usando un scanner con obturador) los cuales chequean la función del sistema detector de llama para fallas en cualquier componente durante cada ciclo de operación del quemador. Cada modulo amplificador posee conectores de prueba para la medición de la señal de llama con un voltímetro DC.

El programador de estado sólido es un módulo de enchufar. Un interruptor de prueba permite al operador cambiar la prioridad de programación para desenergizar la válvula principal de combustible, para propósitos de prueba. El control completo está diseñado para enchufar para una fácil instalación. Todos los detectores de llama están miniaturizados.

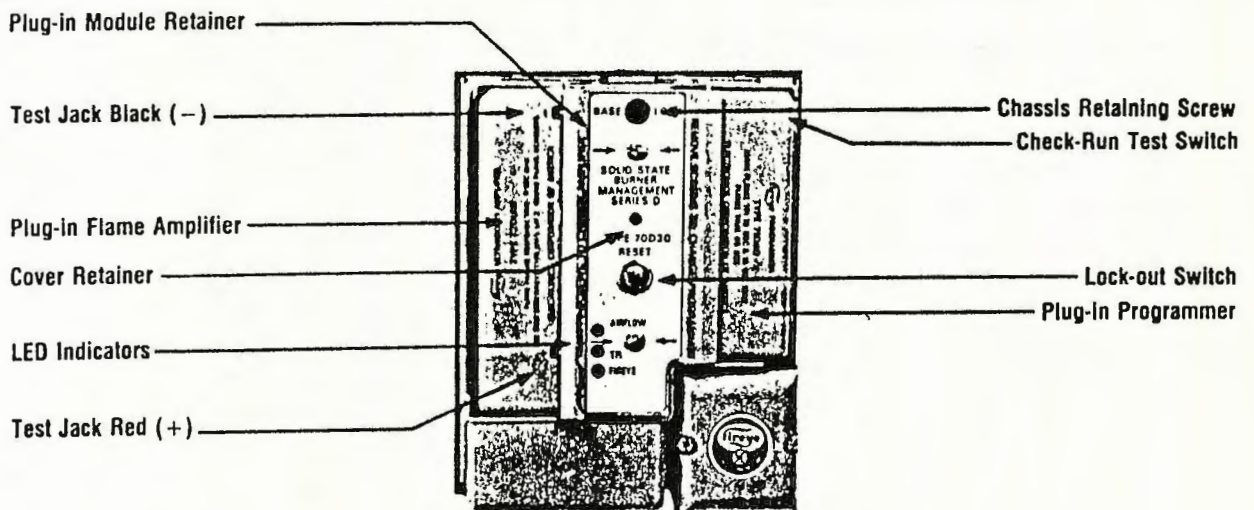


Fig. 4-4. Componentes del sistema Fireye D30.

La Fig. 4-4 muestra los componentes principales del sistema D30. Los controles tipo D30 posee programadores con tiempos de prepurga de 15, 30 y 90 segundos. En la Fig. 4-5 muestra el alambrado y el diagrama simplificado del control D30.

La secuencia de operación del sistema es la siguiente:

#### Arranque

(1) Con potencia aplicada, los circuitos de control de limite de operación cerrados y el enclavamiento de la válvula principal de combustible cerrada, el motor soplador se energiza.

(2) El circuito de enclavamiento de operación se cierra (flujo de aire, presión de combustible, etc.) y la luz indicadora de flujo de aire se enciende.

(3) El programador proporciona el tiempo de purga.

(4) Cuando la purga se completa con la posición de fuego bajo de arranque probada, la ignición es energizada (terminales X,5 y 6) y el indicador de prueba de ignición TFI ("trial for ignition") se enciende.

(5) Cuando la llama se detecta, se enciende el indicador "Fireye Indicator".

(6) Cinco segundos después de ser energizado, el terminal X se desenergiza y apaga la chispa de ignición. Luego sigue un período de 5 segundos de estabilización del piloto.

(7) Después de 10 segundos de la prueba de ignición proporcionada si se detecta la llama, la válvula principal de combustible (terminal 7) se energiza y el indicador "TFI" se apaga.

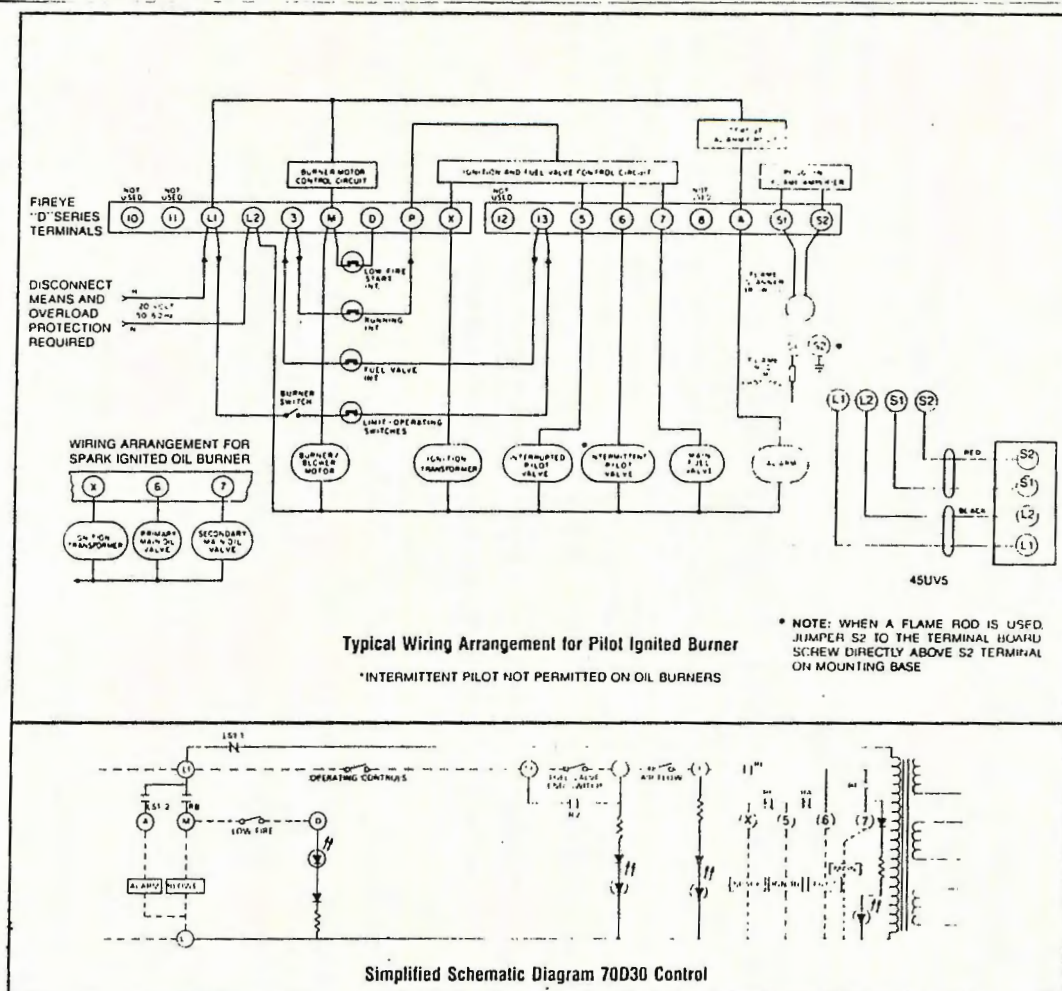


Fig. 4-5. Alambrado y diagrama simplificado del control D30.

(8) Diez segundos más tarde, el terminal 5 se desenergiza e interrumpe la válvula piloto de gas.

(9) El terminal 6 (piloto intermitente) se mantiene energizada en toda la duración del periodo de operación.

(10) Fin del programa de arranque.

### Apagado Normal

(1) Cuando el control de operación abre su circuito, la válvula principal de combustible se desenergiza.

(2) Después de 15 segundos de pospurga, el motor soplador se desenergiza.

(3) Todos los indicadores se apagan.

Nota: Si el enclavamiento de la válvula principal de combustible no está cerrada en el arranque, el control no iniciará el arranque. Si ésta se abre durante la prepurga y permanece abierta, el programa se parará y el motor soplador se desenergizará en 15 segundos. Si el circuito de enclavamiento de operación no está cerrada en el arranque, la secuencia de programación no se iniciará y el motor soplador continuará energizada. Si ésta se abre durante la purga, el temporizador de purga se desactivará. Si ésta se abre durante el ciclo de operación, inmediatamente se cerrará el flujo de combustible y el ciclo de programación se detendrá. Si el interruptor de fuego bajo de arranque no está cerrada en la ignición, la secuencia de programación se detendrá hasta que ésta se cierra.

### Apagado por Falla

(1) Si la llama piloto no se detecta durante los 10 segundos del período de ignición, la válvula piloto y el transformador de ignición se desenergizarán y el control se enclavará por seguridad.

(2) Si la llama no se detecta al final de los 10 segundos de prueba de llama principal en el período de ignición, todas las válvulas de combustible se desenergizarán y el control se enclavará por seguridad.

(3) Si la llama principal falla durante el periodo de operación, todas las válvulas de combustible se desenergizarán dentro de los cuatro segundos después de la pérdida de señal de llama y el control se enclavará por seguridad.

(4) Se requiere un restablecimiento manual en cualquier enclavamiento por seguridad.

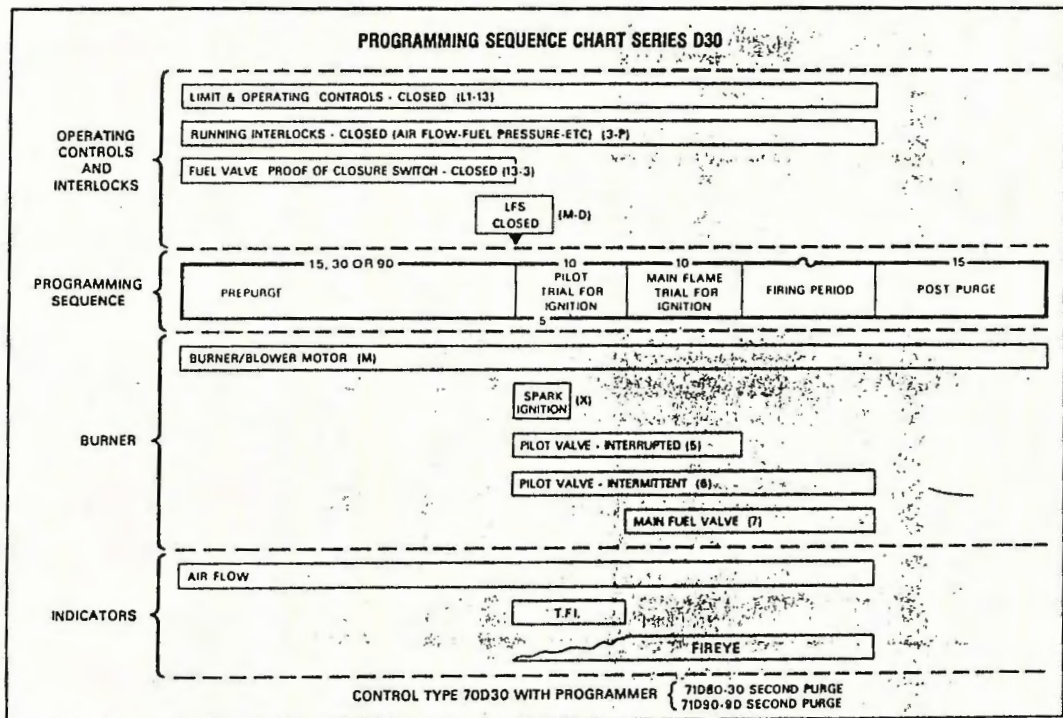


Fig. 4-6. Secuencia de programación del control Fireye serie D30.

#### Descripción de las Funciones de los Controles de Operación

(1) Controles de Operación: generalmente activadas por presión o temperatura. Normalmente, cuando el control de operación se cierra, el programa de arranque del quemador empieza. Cuando el

control de operación se abre, el quemador se apaga. Estos se conectan entre los terminales L1 y 13.

(2) Interruptores Límites: generalmente activados por presión, nivel de agua o temperatura. Estos dispositivos detienen el quemador cuando se abre un interruptor límite y se reinicia cuando se vuelve a cerrar. Estos se conectan entre los terminales L1 y 13.

(3) Prueba de la Válvula de Combustible por Enclavamiento de Cierre: es un interruptor integral montado en la válvula principal de combustible y activada por el vástago de la válvula. Esta se conecta entre el terminal 3 y 13. La prueba de válvula por enclavamiento de cierre previene un arranque del quemador si el vástago de la válvula no está en la posición de válvula cerrada "valve closed".

(4) Enclavamientos de Operación: generalmente son interruptores de prueba de aire, interruptores de baja o alta presión de combustible, interruptores de temperatura de aceite, interruptores de presión, y controles de densidad de exceso de humo. Estos enclavamientos proporcionan las condiciones apropiadas para operación normal del quemador. Estas conectados entre los terminales 3 y P.

(5) Enclavamientos de Fuego Bajo en el Arranque: generalmente es un interruptor de posición en el motor de control de llama, que se conectan con el sistema de modulación y están en una posición apropiada cuando el quemador está apagador. Estos se conectan entre los terminales M y D.

#### 4.4 Controles Electrónicos Computarizados

Los controles programadores computarizados son los más utilizados hoy en día para el control de una caldera. Su facilidad de programación permite absorber la mayor parte de las funciones de

operación, y en nuestro caso particular dicha flexibilidad permite integrar subsistemas con diversas funciones para crear un sistema de control armonizado. Existen en el mercado controles computarizados diseñados específicamente para calderas, pero aunque presentan muy buenas características, no tienen disponibilidades de incorporarles nuevas funciones.

A continuación se describirá las características y funcionamiento de dos casos específicos de controles programadores computarizados para calderas.

#### 4.4.1 Control de Quemadores Computarizado CB70

El programador CB70 es un sistema inteligente de control integrado computarizado para aplicaciones de quemadores independientes de aceite, gas o combinados. Su principal control y elemento lógico es una microcomputadora de alta eficiencia que está programada para proporcionar altos niveles de seguridad, funcionabilidad y características más allá de la capacidad de los controles convencionales electromecánicos o discretos de estado sólido.

Las funciones proporcionadas por el Control de Quemador Computarizado CB70 incluye secuencias automáticas, supervisión de llama, indicadores de condiciones, anunciación de alarma, auto diagnóstico y bajo consumo de potencia. También acepta amplificadores de señales de llama de enchufar de estado sólido.

El conexionado de los terminales son los siguientes:

Terminal	Carga
5 ó 6	Transformador de ignición/válvula piloto, 4.5 A de ignición y 50 VA de piloto, o 2,5 A de ignición y 75 VA de piloto

- 7 Válvula principal de combustible (de solenoide, motorizada o de diafragma) y válvula de orificio si se requiere, 250 VA de piloto, o 65 VA de piloto en paralelo con válvula motorizada o válvulas usando un total de 1,150 VA de rotor bloqueado, 460 VA para abrir y 250 VA para sostener.
- 8 Motor soplador, 9.8 FLA, 58.8 LRA.
- 9 Alarma, 75 VA de piloto.
- 10, 11, 13 y 16 Contactos del motor de control de llama, 75 VA de piloto.

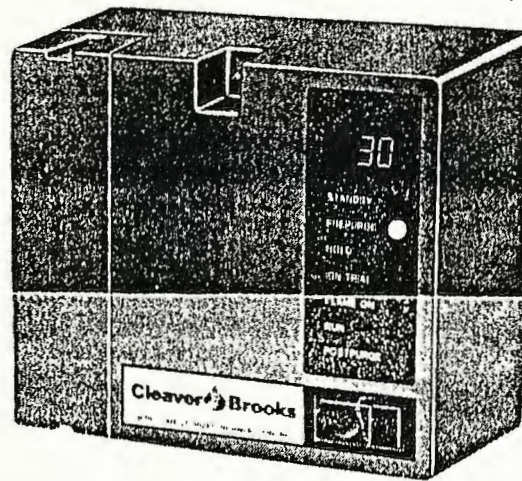


Fig. 4-7. Control de Quemador Computarizado CB70.

La seguridad de la combustión es la principal tarea del CB70, el 60% del tiempo de operación de la microcomputadora se dedica a ejecutar 15 rutinas de seguridad diferentes pero enlazadas. Más de 400 chequeos de seguridad se ejecutan cada segundo que el CB70 está en operación para verificar el funcionamiento total del control (operación de la microcomputadora, ejecución y memoria del programa, funciones de temporización, entradas de señales, operaciones lógicas, y comandos de salida). Esto asegura que el CB70 está dispuesto a ejecutar su tarea fundamental de seguridad de combustión con el más alto grado de seguridad disponible.

Las condiciones para que ocurra un apagado de seguridad son:

(1) Una señal de llama se presenta continuamente por más de 30 segundos durante el preinicio.

(2) Un control de preignición se abre durante el preinicio.

(3) El interruptor de arranque en fuego bajo falla al cerrar dentro de 3 minutos cuando el motor de control de llama se mueve hacia la posición de fuego bajo al final de la prepurga (indicadores de "HOLD" y "PREPURGE" parpadeando).

(4) El piloto falla en el encendido.

(5) La llama principal falla al encender.

(6) Los contactos para los límites y controladores están intermitentes.

(7) La frecuencia de la línea de alimentación cambia del valor de 60 Hz ( $\pm 10\%$ ).

(8) El Modulo de Programación falla o se posiciona inadecuadamente.

(9) La carga crítica en los terminales de seguridad son energizados inapropiadamente.

(10) Falla interna en el CB70.

(11) El sistema de detección de llama falla.

(12) Se detecta señal de llama después de los primeros 10 segundos durante la prepurga.

(13) El interruptor de purga en fuego alto falla al cerrar dentro de los 3 minutos posteriores en que el motor de control de

llama cambia la posición a fuego alto en el arranque de la prepurga.

(14) Un control de ignición se abre durante el periodo de prepurga.

(15) La señal de llama se detecta durante la retención de fuego bajo.

(16) Un enclavamiento de cierre se abre durante la prepurga (después de 10 segundos), la prueba de ignición, o los periodos de operación.

(17) Un enclavamiento de preignición abre después de cinco segundos de la pospurga.

(18) El interruptor de prueba de fuego bajo se abre durante la prueba de llama principal.

Un apagado de seguridad ha ocurrido cuando el interruptor de restablecimiento se ilumina y un código de falla se muestra.

La Fig. 4-8 muestra el diagrama de bloques interno simplificado del CB70, la Fig. 4-9 muestra su secuencia de programación y la Fig. 4-10 muestra el diagrama de alambrado.

El CB70 proporciona la siguiente secuencia de operación cuando se usa con un detector y amplificador de detección de llama:

#### Preinicio

El CB70 está lista para iniciar el arranque de la secuencia de operación cuando los controladores del quemador están cerrados. Todos los demás controles, límites y enclavamientos están en el correcto estado de operación. La luz indicadora de la condición de "STANDBY" está encendida.

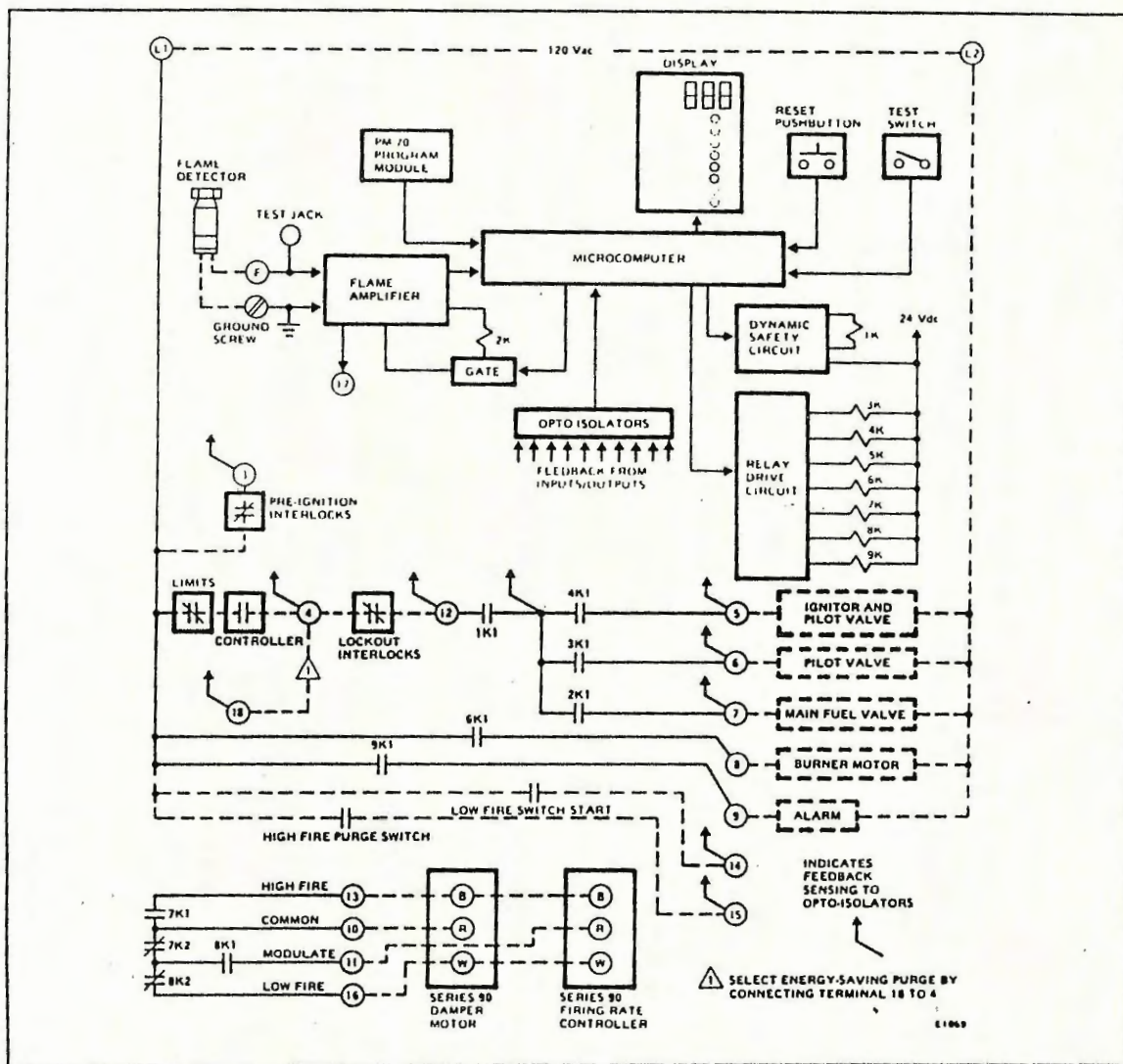


Fig. 4-8. Diagrama de bloques interno simplificado del CB70.

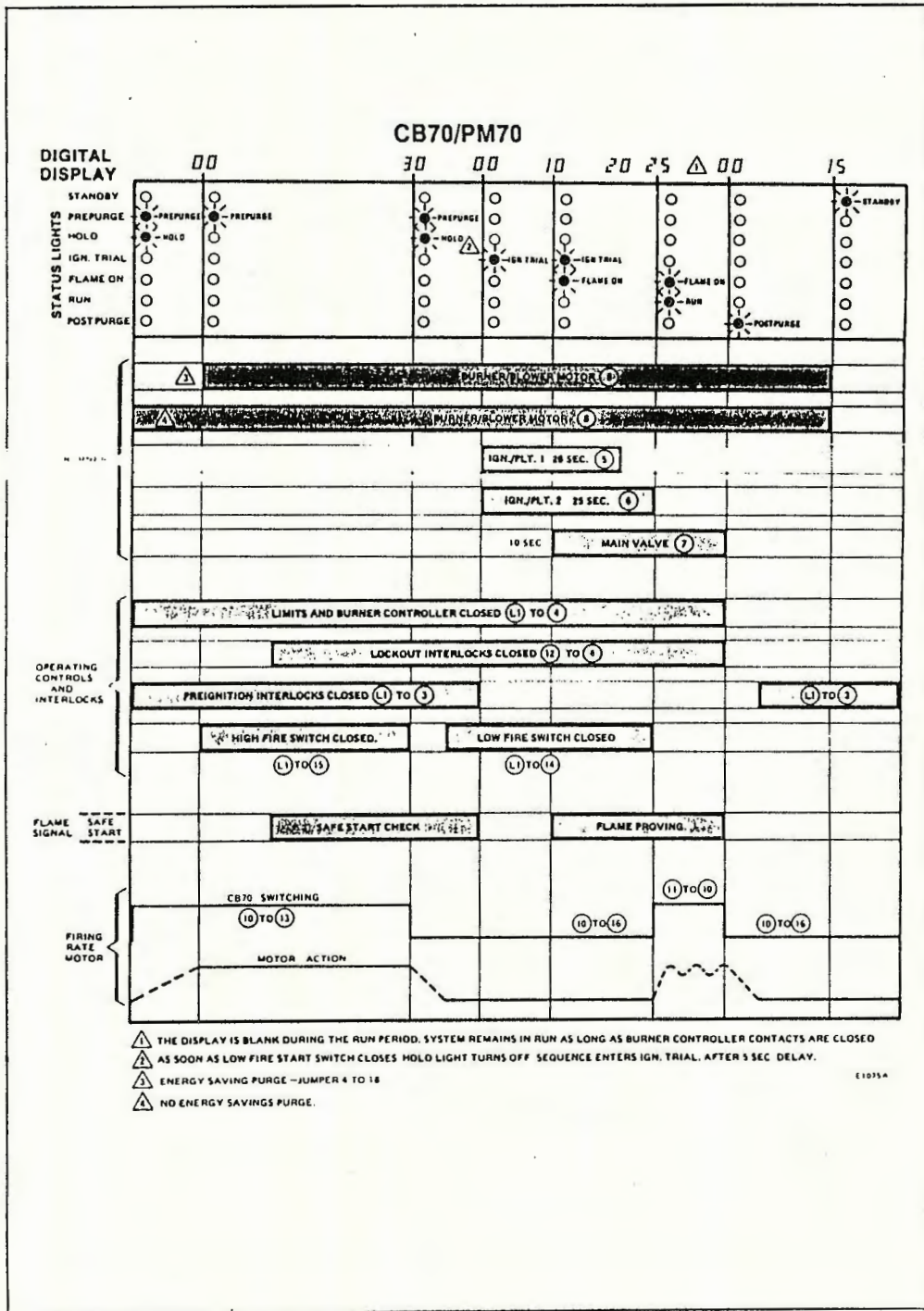


Fig. 4-9. Secuencia de operación del CB70.

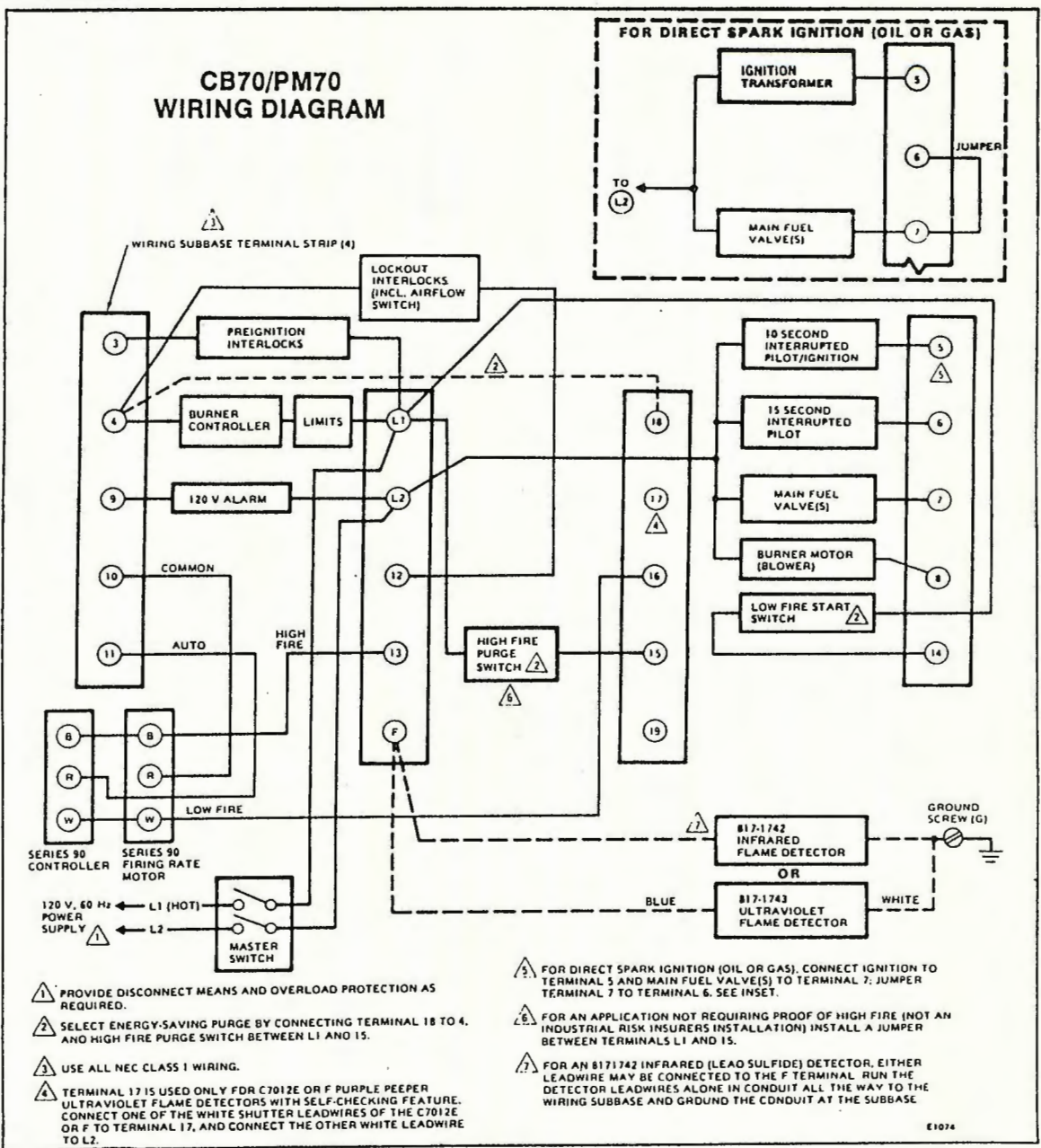


Fig. 4-10. Diagrama de alambrado del CB70.

### Arranque Normal

(1) Con potencia aplicada (los límites, controladores y enclavamientos de preignición cerrados, y sin señal de llama presente) el motor de control de llama se mueve a la posición de fuego alto. La pantalla debe mostrar "00", el indicador de "STANDBY" se apaga y los indicadores de "PREPURGE" y "HOLD" se encienden.

(2) Cuando el motor de control de llama alcanza la posición de fuego alto, el interruptor de purga de fuego alto se cierra. El indicador de "HOLD" se apaga y el período de prepurga de 30 segundos empieza. La pantalla empieza un conteo desde "00" hasta "30".

(3) Los enclavamientos deben estar cerrados por 10 segundos dentro de la prepurga (prueba de flujo de aire) o un apagado por seguridad ocurrirá.

(4) Al término de los 30 segundos de prepurga la secuencia se para y el motor de control de llama se mueve a la posición de fuego bajo. El indicador de "HOLD" se enciende y la pantalla detiene el conteo.

Nota: si el interruptor de fuego bajo se cierra prematuramente, el sistema se disparará enclavandose. Se mostrará un código de error en la pantalla.

(5) Cuando el motor de control de llama alcanza la posición de fuego bajo, se cierra el interruptor de fuego bajo y permite que la secuencia continúe. El indicador de "HOLD" se apaga y (después de un retardo de 5 segundos para permitir que se complete el movimiento del motor) la secuencia entra en el período de prueba de ignición.

(6) Con el interruptor de prueba de fuego bajo cerrado (y el interruptor "RUN/TEST" en la posición "RUN") el transformador de ignición y la válvula piloto (terminales 5 y 6) se energizan. El indicador de la condición "PREPURGE" se apaga y el indicador de "IGN TRIAL" se enciende. En la pantalla empezará un conteo desde "00" hasta "25" segundos.

(7) Tan pronto como la presencia de flama se detecta, el indicador de "FLAME ON" se enciende.

(8) Diez segundos desde el inicio del período de prueba de ignición y con presencia del detector de llama (indicador "FLAME ON" encendido) la válvula principal de combustible (terminal 7) se energiza.

Nota: si la presencia de la llama no se detecta para este tiempo, ocurrirá un apagado por seguridad.

(9) Veinte segundos desde el inicio del período de prueba de ignición, el transformador y la válvula piloto (terminal 5) se desenergizan. Esto completa el período de establecimiento de la llama principal de 10 segundos.

(10) A 25 segundos de iniciado el período de prueba de ignición, la válvula piloto (terminal 6) se desenergiza. Esto completa los 15 segundos del período de establecimiento de la llama principal. El control del motor de control de llama se pasa al controlador modulante. El indicador de "IGN TRIAL" y la pantalla frontal se apagan y el indicador de "RUN" se enciende.

El Control Computarizado del Quemador CB70 está ahora en el modo normal de operación y se mantendrá hasta que un comando externo le indique hacer otra cosa.

## Apagado Normal

(1) Cuando el controlador del quemador se abre, la válvula principal de combustible (terminal 7) se desenergiza inmediatamente, y el motor de control de llama se coloca en posición de fuego bajo. El indicador de "RUN" se apaga y el indicador de "POSTPURGE" se enciende. En la pantalla frontal empieza un conteo desde "00" hasta "15" segundos. Después que la llama se extingue, el relevador de llama se desactiva y el indicador de "FLAME ON" se apaga.

(2) Después de los 15 segundos de pospurga, el motor soplador (terminal 8) se desenergiza. El indicador de "POSTPURGE" y la pantalla frontal se apagan. El indicador de "STANDBY" se enciende finalizando el ciclo de operación.

### 4.4.2 Multiprogramador 6940B

El multiprogramador 6940B de la firma Hewlett-Packard se muestra en la Fig. 4-11. El multiprogramador proporciona un enlace entre el controlador y los procesos. Esta relación se muestra en la Fig. 4-12. En términos simples, el multiprogramador sirve de interfase entre el controlador y el mundo físico. En la Fig. 4-13 se muestra el diagrama de bloques del multiprogramador. Miles de multiprogramadores se usan hoy en día como parte de sistemas ensambladores como prueba y control de producción, adquisición de datos para sistemas industriales, monitoreo de procesos, pruebas de duración, control de calidad y evaluación de componentes.

El multiprogramador consiste esencialmente en un procesador central con circuitos de control interno por medio de un microprocesador e interruptores pulsadores en el panel frontal, además de las ranuras y conectores para 15 tarjetas de enchufar de entrada/salida (I/O). En la Fig. 4-11 se muestra dicho arreglo con algunas tarjetas I/O y el programador HP 9825A conectada al

procesador central. Estas tarjetas proporcionan los circuitos necesarios para las funciones programables de I/O.

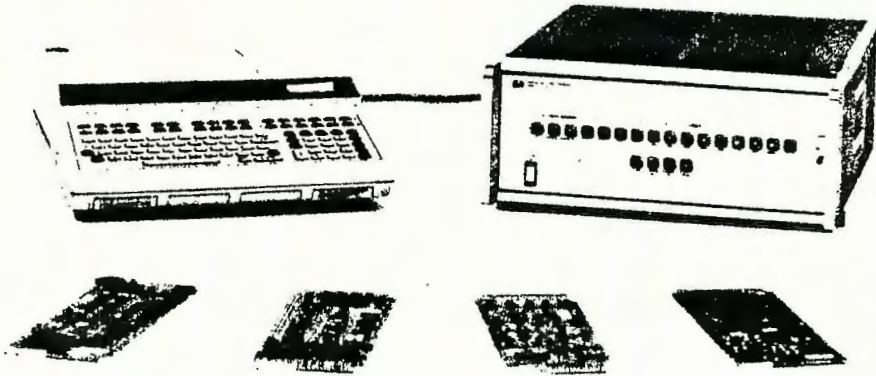


Fig. 4-11. Multiprogramador HP 6940B con tarjetas I/O y el programador HP 9825A.

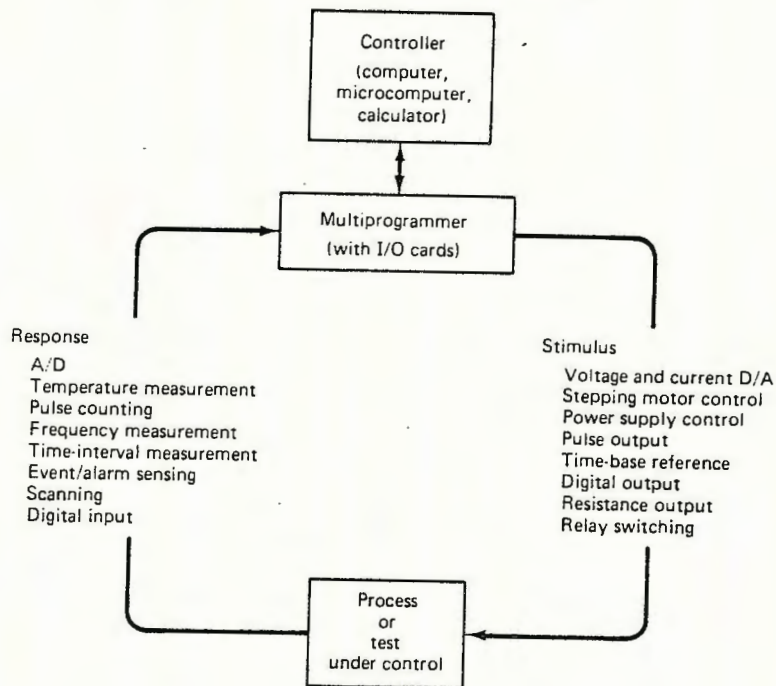
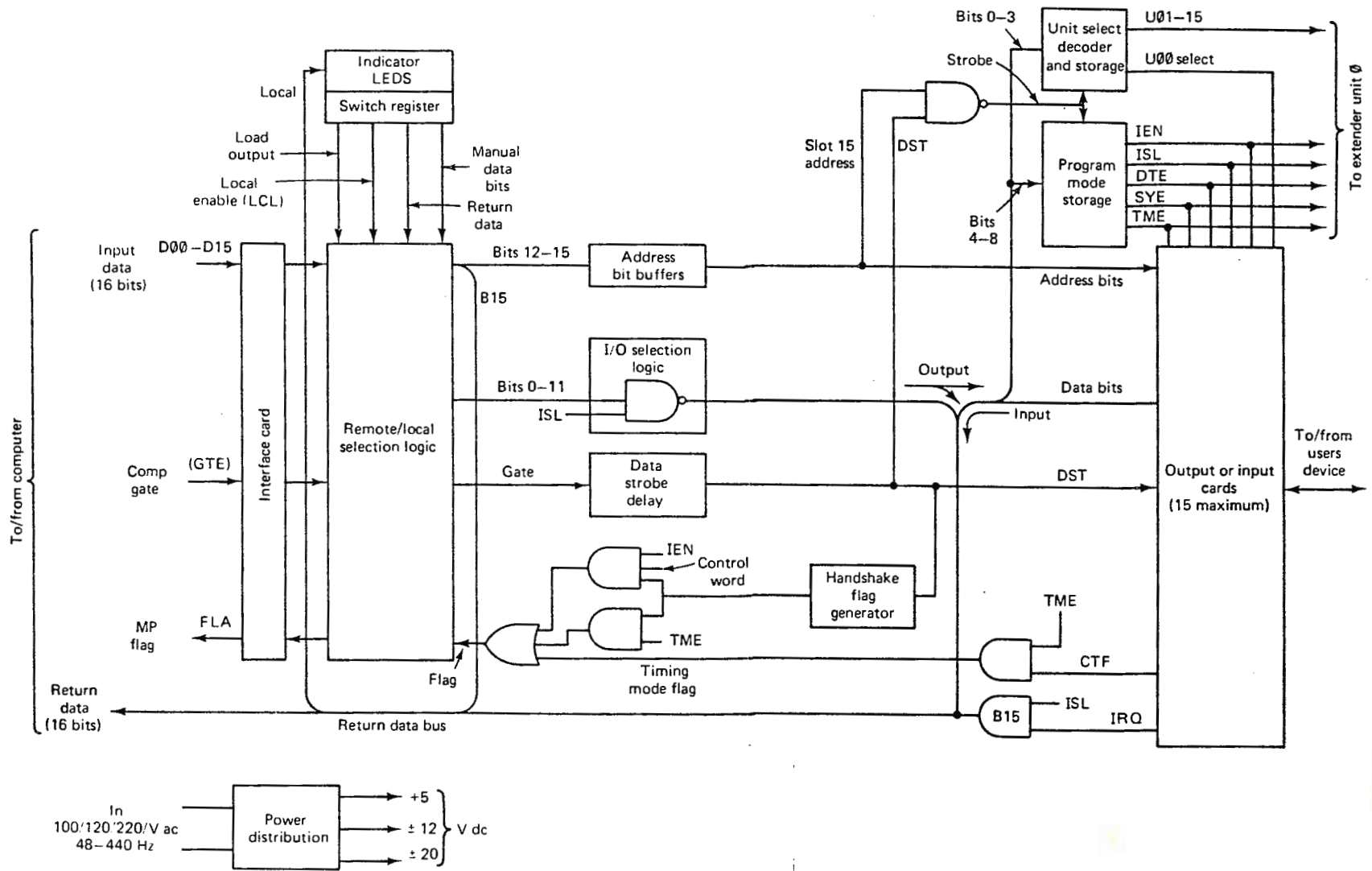


Fig. 4-12. Relación entre el multiprogramador, el controlador y los procesos o pruebas bajo control del sistema.

Fig. 4-13. Diagrama de bloque general del multiprogramador.



La característica principal del multiprogramador es que el usuario necesita instalar únicamente las tarjetas necesarias para realizar su control particular o la función de instrumentación. Así, el multiprogramador puede adaptarse a muchos sistemas simples o complejos, y puede ser cambiada (por el usuario) si el sistema requiere cambios.

Además del procesador central (modelo 6940B), existe un extensor (modelo 6941B) disponible para sistemas más grandes. El extensor es similar en apariencia a la unidad de procesamiento central, excepto que el extensor no tiene los interruptores en el panel frontal. Cada extensor puede acomodar hasta 15 tarjetas I/O. A su vez, hasta 15 extensores puede ser conectadas al procesador central obteniendo hasta 240 canales I/O individuales direccionables (una tarjeta por canal). Los extensores pueden estar separados uno de otro, y a su vez del procesador central, con un máximo de 100 pies.

También se requieren un conjunto de interfases entre el procesador central y el controlador. Estas interfases incluyen hardware y software para operar el multiprogramador para varios controladores Hewlett-Packard. Por ejemplo, la interfase HP 59500A se usa para computadoras que usan HP-IB (Hewlett-Packard Interface Bus). Esta interfase es necesaria ya que el HP-IB usa interfase serial alfanumérica ASCII, y el multiprogramador usa un formato paralelo de 16 bit. La interfase HP 14550B es una interfase paralela de 16 bit para usarse con las minicomputadoras Hewlett-Packard tales como la HP 1000, mientras que la HP 98032A es para computadoras con capacidad de I/O de 16 bit, tales como las series HP 9800. El programador modelo 9825A mostrado en la Fig. 4-11 usa ya sea la interfase HP-IB ó una GPIO (General Purpose I/O) con la interfase opcional HP 98032A-040.

Para aplicaciones de control de calderas, se necesitará conocer con más detalle el funcionamiento de los distintos tipos de

tarjetas disponibles para el multiprogramador. Además, también es conveniente saber la forma de programación del procesador central.

#### 4.4.2.1 Tarjetas de Entrada

Las tarjetas de entrada recibirán todos cambios de las variables de entrada que son monitoreadas ya sea por interruptores, contactos, límites, etc y por equipos de medición. Por lo tanto, dichas tarjetas pueden ser analógicas y digitales.

**Tarjeta Convertidora de Voltaje A/D de Alta Velocidad 69422A.** Esta tarjeta monitorea voltajes de corriente continua bipolares en uno de cuatro rangos,  $\pm 100$  mV,  $\pm 1$  V,  $\pm 10$  V ó  $\pm 100$  V, y regresa una palabra digital de 12 bit hacia el controlador para indicar la magnitud y signo del voltaje medido. La tarjeta usa un amplificador muestreo/sostenedor de alta eficiencia y un convertidor A/D de aproximación sucesiva la cual proporciona una alta velocidad de conversión y precisión. El voltaje de entrada de corriente continua es almacenada para mantener una alta impedancia de entrada. Hasta 20,000 lecturas de voltaje por segundo pueden transferirse desde la tarjeta hacia el controlador a través de los circuitos del procesador central. Las lecturas pueden iniciarse por comandos de programa o por una señal de disparo externa aplicada a la tarjeta.

**Convertidos A/D de Bajo Nivel y Scanner 69423A.** La Fig. 4-14 muestra el diagrama de bloques de esta tarjeta. Se pueden monitorear seis canales de termocuplas u otras fuentes de corriente continua de bajo nivel con esta tarjeta. La tarjeta regresa una palabra digital de 12 bit hacia el controlador para indicar el signo y la magnitud del voltaje medido en el canal seleccionado. La selección ya sea de rangos unipolar o bipolar y el canal deseado son programables desde el controlador. La señal que se mide pasa a través de un amplificador integrado dentro del convertidor A/D de envolvente múltiple. Se usan relevadores para seleccionar uno de

las seis canales de entrada. Se usa un séptimo canal para leer la temperatura del bloque de terminales de entrada isotérmicos.

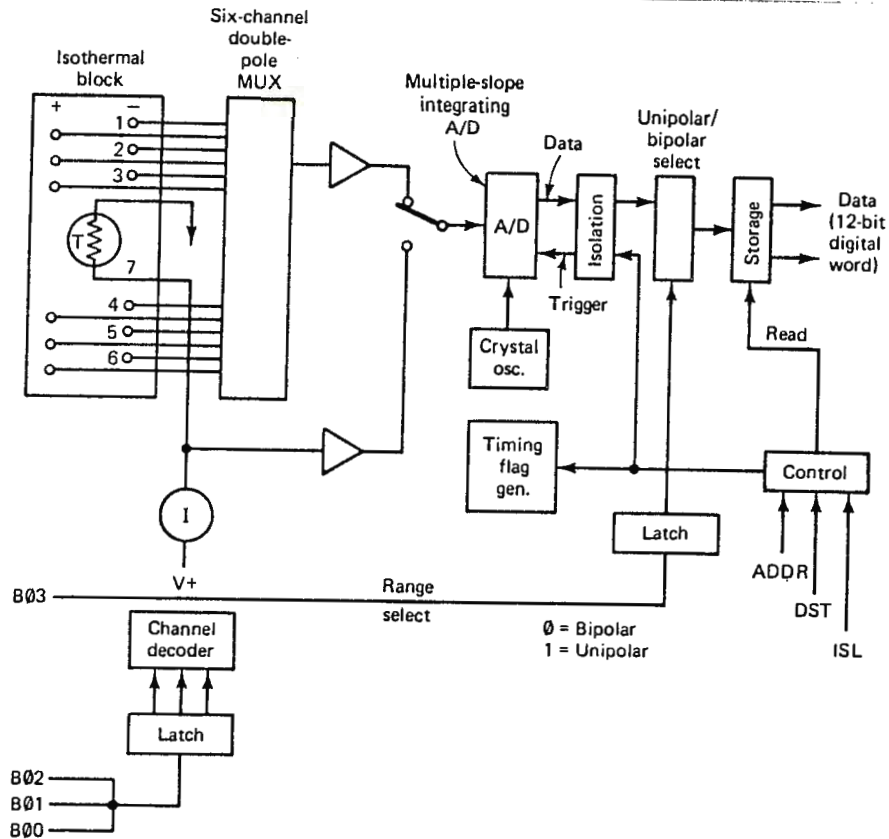


Fig. 4-14. Diagrama de bloques de la tarjeta convertidora A/D de bajo nivel y scanner.

**Tarjeta de Entrada Digital 69431A.** Esta tarjeta de entrada de propósito general tiene almacenamiento, capacidad de enlace por compuerta/bandera, y la habilidad de interrumpir el controlador cuando la línea de bandera está puesta por dispositivos externos. La tarjeta se usa para leer datos desde instrumentos digitales, interruptores, ICs, contactos y otras fuentes de datos digitales. La Fig. 4-15 es un diagrama de bloques simplificado. Como se muestra, la tarjeta puede aceptar entradas desde salidas de colector abierto o desde circuitos digitales TTL/DTL, dependiendo de la opción seleccionada. La tarjeta permite al controlador leer 12 bit de niveles lógicos o el cierre de contactos que tiene como

referencia el común lógico del controlador (la tierra de corriente alterna).

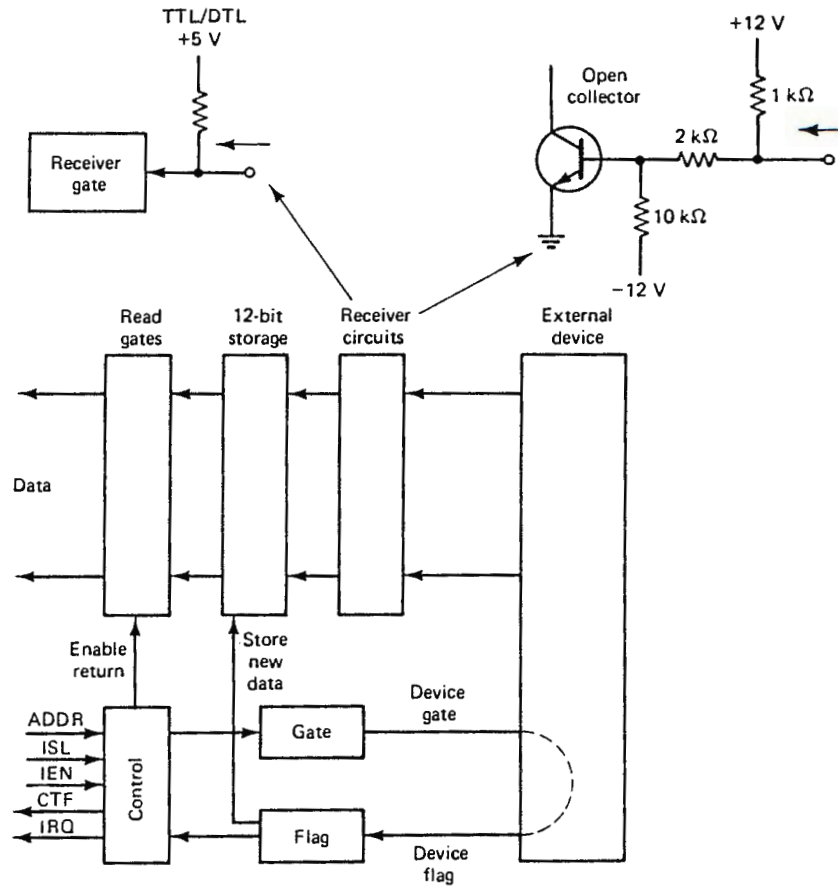


Fig. 4-15. Diagrama de bloques simplificado de tarjetas de entrada digital.

#### 4.4.2.2 Tarjetas Especiales

Las tarjetas de propósitos especiales realizan funciones adicionales al controlador, que son necesarias en situaciones específicas. Entre ellas tenemos temporizadores programables, de interrupción y de circuitos definidos por el usuario.

**Tarjeta Temporizadora Programable 69600B.** Esta tarjeta puede usarse para demorar la operación del controlador por un periodo de tiempo programable cuando se hacen lecturas periódicas o se generan salidas a intervalos específicos. La tarjeta también puede ser

usada para proporcionar una salida de un pulso de disparo o para interrumpir el controlador en tiempos programables. La tarjeta genera una salida de un pulso de disparo controlada por cristal y el tiempo de finalización del pulso es comandada por el programa. Ambos pulsos están disponibles en las formas de borde positivo o borde negativo. Uno o más temporizadores (hasta 15) pueden usarse con el procesador central para demorar o interrumpir el programa controlador para propósitos de ordenamiento de operaciones de entrada o salida con otras tarjetas o instrumentos.

**Tarjeta Sensora de Eventos 69434A.** Esta tarjeta interrumpe el controlador cuando la palabra digital externa de 12 bit que se monitorea no es igual a los 12 bit de referencia almacenados en la tarjeta por el controlador. Se pueden colocar puentes en la tarjeta para generar la interrupción cuando la palabra externa es distinta a, igual a, más grande que o más pequeña que la palabra de referencia de 12 bit. Esta flexibilidad permite al multiprogramador actuar como un sensor de alarma, liberando al controlador ejecutar otras tareas durante las condiciones normales.

**Tarjeta de Interrupción de Proceso 69436A.** Esta tarjeta interrumpe el controlador cuando cualquiera de las 12 líneas que son monitoreadas cambian de estado. La tarjeta tiene almacenamiento para 12 líneas externas. Hasta 24 líneas pueden ser monitoreadas por una tarjeta si no se necesita identificación de la línea interrumpida. La tarjeta almacena datos que duran 100 ns o más. El bit de interrupción están identificados. La tarjeta puede ser programada para almacenar eventos que ocurren mientras que el sistema de interrupción está apagado.

**Tarjetas de Circuitos Definidos por el Usuario.** Cada tarjeta de circuitos definidos por el usuario tiene espacio y las condiciones para el montaje de dicha circuitería. Las fuentes de alimentación del multiprogramador pueden usarse en estas tarjetas como alimentación externa. Pueden tener circuitos incorporados para compuertas de separación para datos de entrada o de salida.

#### 4.4.2.3 Tarjetas de Salida

Estas tarjetas producen un voltaje, corriente o resistencia programadas por el controlador, para la forma analógica. En forma digital, proporcionan salidas digitales de propósito general.

**Tarjeta Convertidora de Voltaje D/A Cuádruple 69322A.** Esta tarjeta proporciona cuatro salidas individuales bipolares programables en el rango de  $\pm 10$  V a 5 mA. Dos de los 12 bit de datos de entrada especifican cual salida es programada y las 10 bit restantes representan el voltaje de salida deseado. Las cuatro salidas comparten un conexión de tierra común la cual está aislada de la tierra de entrada de datos. La Fig. 4-16 es un diagrama de bloques de la tarjeta D/A cuádruple. Cada una de las cuatro circuitos de salida programable consiste de un almacenador de 10 bit y un convertidor digital-analógico (DAC) de 10 bit. Cuando la tarjeta se direcciona y los datos son activados (strobed), los bit de 0 a 9 representando el voltaje de salida bipolar deseada, son transferidos dentro del almacenador especificado por los bit 10 y 11. El almacenador retiene los bit de datos hasta que son seleccionados de nuevo y reprogramados con nuevos datos. El DAC asociado convierte los bit 0 a 9 en la salida equivalente ( $-10.24$  a  $+10.22$  V).

Los voltajes de salida programables de  $-10$  a  $+10$  V de cada uno de las cuatro salidas en cada tarjeta puede ser usada para controlar o probar una variedad de dispositivos analógicos. Las tarjetas D/A son usadas a menudo en aplicaciones de control que requiere de señales para cambiar en intervalos de tiempo programados. Hasta 160 tarjetas D/A cuádruples puede ser controladas individualmente por el controlador. El intervalo de tiempo entre los cambios programados puede ser tan corto como 100  $\mu$ seg o tan larga como se desee. El intervalo de tiempo puede ser establecido usando temporizadores.

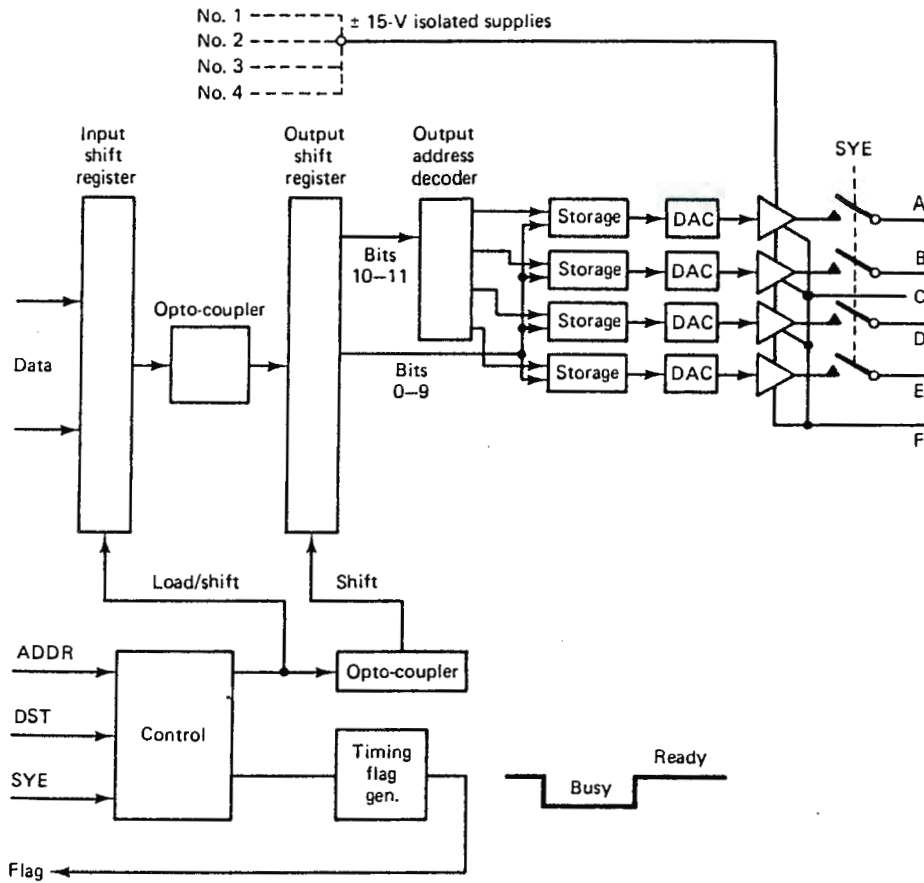


Fig. 4-16. Diagrama de bloques de una tarjeta convertidora de voltaje D/A cuádruple.

La Fig. 4-17 muestra algunas aplicaciones típicas para las tarjetas D/A. Como se muestran, las tarjetas pueden ser usadas para válvulas de flujo de control y pantallas analógicas. Las salidas analógicas del D/A son usados también en pruebas de garantía y evaluación de componentes. Las salidas D/A pueden ser usadas también para manejar entradas analógicas de grabadores de carta continua y graficadores X-Y.

**Tarjetas de Resistencia de Salida 69500A-69513A.** Estas tarjetas proporcionan un valor de resistencia programada en su salida. La Fig. 4-18 se muestra un diagrama de bloques simplificado. Doce relevadores con blindaje magnético selecciona el valor de la resistencia modificando el valor de una serie de

resistencias de alta precisión. Un máximo de 15 tarjetas de resistencia pueden ser usadas con el procesador central.

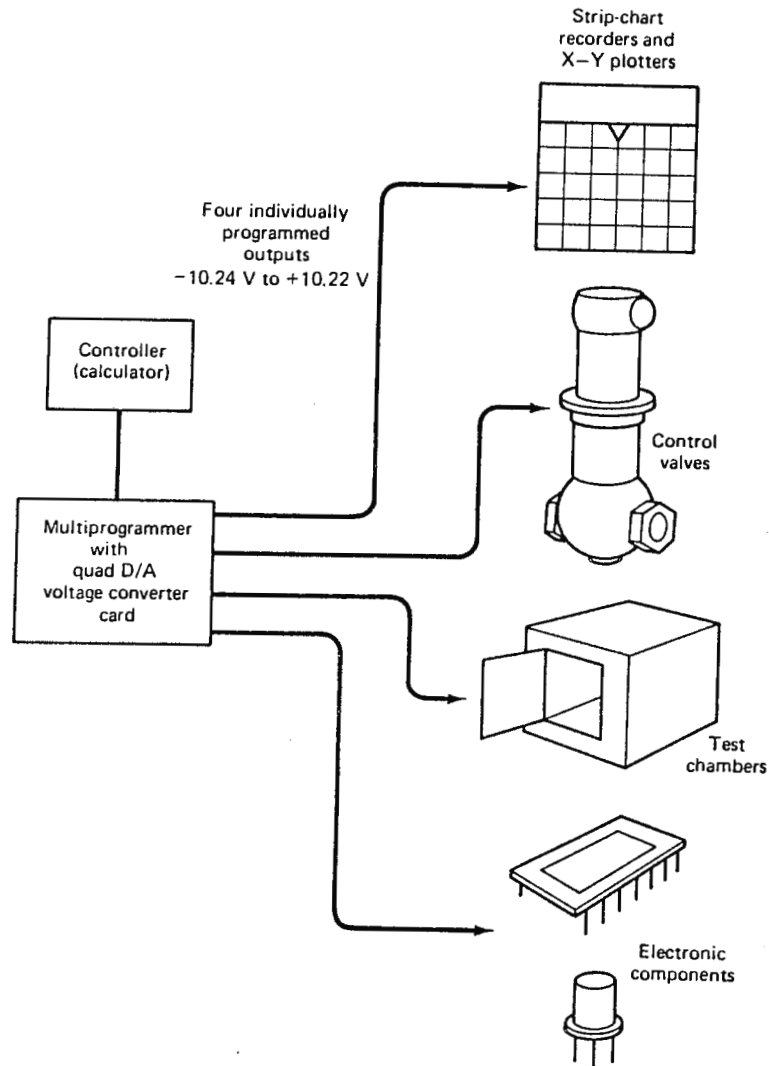


Fig. 4-17. Aplicaciones típicas de las tarjetas convertidoras de voltaje D/A cuádruple.

**Tarjeta Convertidora de Corriente D/A 69370A.** Esta tarjeta proporciona una salida de corriente constante de alta velocidad que es el análogo de los datos de entrada digitales binarias desde el controlador. La Fig. 4-19 muestra el diagrama de bloques simplificado. La tarjeta proporciona almacenamiento de doble fila, una característica que permite a todas las tarjetas D/A en un sistema cambiar sus salidas simultáneamente. La corriente de salida

de 0 a 20 mA de esta tarjeta puede usarse como prueba y control de dispositivos con impedancias de entrada de hasta 500 ohmios. Muchos tipos de convertidores electromecánicos, hidráulico o neumático usando entradas de 1 a 5 o 4 a 20 Ma puede ser controlada por esta tarjeta.

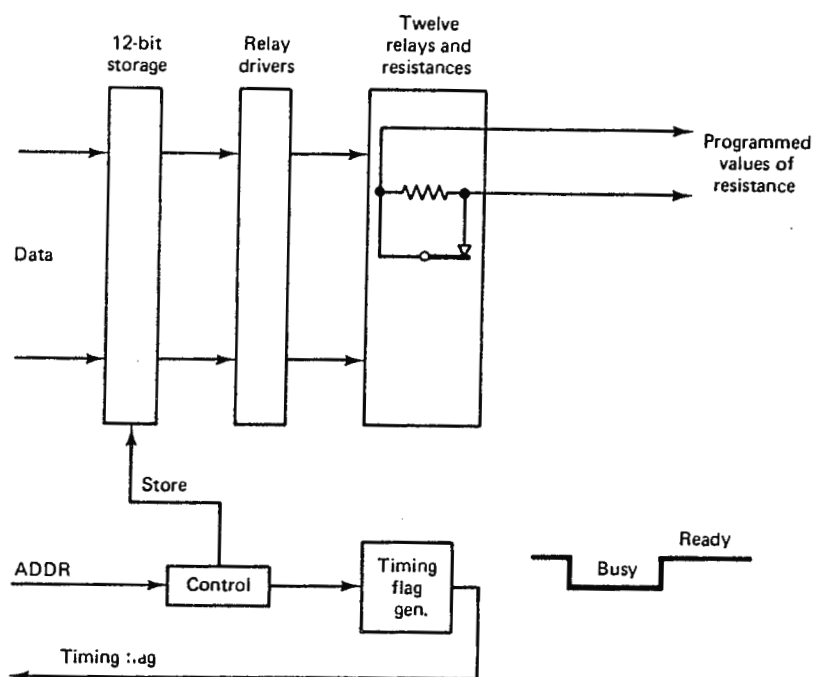


Fig. 4-18. Diagrama de bloques simplificado de las tarjetas de resistencia de salida.

**Tarjeta de Salida Digital 69331A.** Esta tarjeta de salida de propósito general tiene salidas discretas de transistores que pueden proporcionar niveles lógicos de 5 ó 12 V para instrumentos, circuitos manejadores de solenoides e interruptores de corriente alterna de estado sólido. La tarjeta tiene almacenamiento para salidas de 12 bit, capacidad de sistemas habilitador/deshabilitador y capacidad de enlace compuerta/bandera para asegurar la transferencia ordenada de datos a dispositivos digitales externos. La tarjeta proporciona 12 bit con niveles lógicos compatibles con TTL/DTL como salida. La tarjeta usa el método de temporización de compuerta/bandera de transferencia de datos digitales. Se pueden usar un máximo de 15 tarjetas de salida digitales con un procesador central.

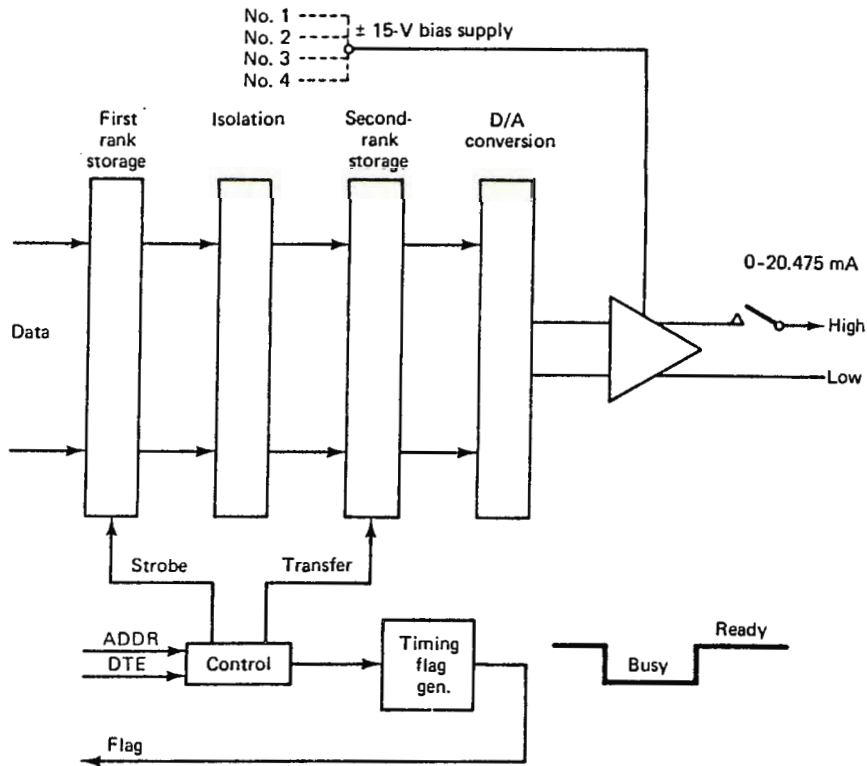


Fig. 4-19. Diagrama de bloques simplificado de la tarjeta convertidora de corriente D/A.

**Tarjeta de Salida de Colector Abierto 69332A.** Esta tarjeta es similar a la 69331A, excepto que el 69332A tiene salidas de colector abierto y puede manejar más voltaje y corriente que el 69331A. Las salidas para el 69332A no están bajo el control de compuerta/bandera. La 69332A está diseñada para manejar indicadores y bobinas de relevadores usando una fuente de potencia externa. Los circuitos de almacenamiento digital de almacenamiento en las tarjetas permiten un controlador sencillo de canal I/O para controlar hasta 2 880 indicadores o bobinas de relevadores. Doce separadores de IC en la tarjeta actúa como interruptores para voltajes de hasta 30 VDC y corrientes de hasta 40 mA.

**Tarjeta de Salida de Relevadores 69330A.** Esta tarjeta proporciona 12 pares de contactos spst, normalmente abiertos. Se pueden usar un máximo de 15 tarjetas en un procesador central, produciendo 180 contactos independientes disponibles para

conmutación o funciones de control. Se proporcionan dos relevadores adicionales para la operación de circuitos compuerta/bandera externos. La capacidad de enlace compuerta/bandera de esta tarjeta la hace apropiada para el control de instrumentos que son programados con el cierre de los contactos. El enlace garantiza que los 12 relevadores de datos tengan suficiente tiempo para operar antes que el relevador de compuerta actúe.

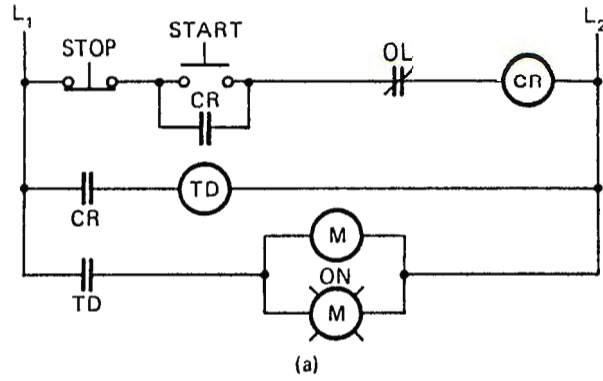
#### 4.4.2.4 Conceptos de Programación

Como la mayoría de los PLC, el multiprogramador permite programarse desde el diagrama de escalera convencional, en la cual se muestran todos los controles a usar en el sistema. Previamente a la escritura de un programa, deben seguirse dos pasos básicos:

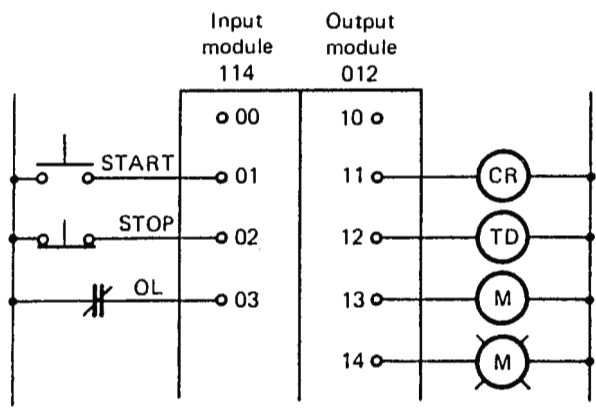
(1) Determinese la secuencia de operación y las condiciones que deben satisfacerse para completar la tarea.

(2) Asignase una dirección para cada dispositivo de entrada y salida.

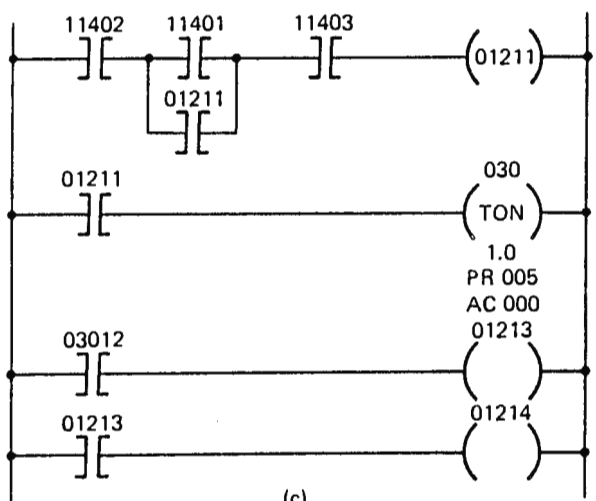
Como ejemplo, la Fig. 4-20 muestra como la lógica de relevadores de la Fig. 4-20(a) se convierte en diagrama de escalera programable. Cuando el pulsador "START" se presiona, el relevador de control "CR" se energiza a través de los contactos de sobrecarga normalmente cerrados. Al mismo tiempo, los contactos auxiliares "CR" cierran en el relevador de control y energiza el temporizador de retardo "TD". Después de 5 segundos que se desactiva el temporizador de retardo, se energiza el contactor "M" y el indicador "M" se enciende. La Fig. 4-20(b) ilustra las entradas y salidas de los módulos I/O. La Fig. 4-20(c) muestra el diagrama de escalera como queda programada en el programador, las direcciones del ejemplo son las siguientes:



(a)



(b)



(c)

Fig. 4-20. Ejemplo de programación: (a) lógica de relevador, (b) modulo I/O, (c) diagrama de escalera del PLC.

Entrada	Dirección	Salida	Dirección
START	11401	CR	01211
STOP	11402	TD	03012
OL	11403	M	01213
		M ON	01214

## CAPÍTULO V

### ASPECTOS COMPLEMENTARIOS

#### 5.1 Introducción

Paralelo a lo referente al sistema de combustión de broza para calderas, es necesario ampliar varios aspectos complementarios que son necesarios para el mejor entendimiento de lo que implica un proyecto de este tipo.

Entre estos temas se debe dar especial importancia está la contaminación, específicamente la del aire, la cual es el primer factor que se vería alterado por un proceso de combustión a gran escala como es la caldera. Los ingenieros de hoy ya no deben centrar su atención en aspectos puramente técnicos de su especialización, ya que cada vez más toma importancia el aspecto ecológico de toda obra. Al tener en cuenta los conocimientos básicos de los aspectos de la contaminación, se estarían evitando daños, demandas y multas en la operación de una planta industrial.

#### 5.2 Contaminación

Se puede definir la contaminación del aire como la presencia en la atmósfera exterior de uno o más contaminantes o sus combinaciones, en cantidades tales y con tal duración que sean o puedan afectar la vida humana, de animales, de plantas, o de la propiedad, que interfiera el goce de la vida, la propiedad o el ejercicio de las actividades.

La contaminación del aire forma parte de la vida moderna. Es la consecuencia de la manera como se construyen las ciudades, la contaminación del aire es un residuo de los métodos como se producen todas las mercancías, además de la generación de energía para calentar e iluminar ciudades y países enteros.

La contaminación es algo que afecta adversamente a nuestro ambiente, los ingenieros de plantas industriales y de servicios, no sólo tienen que estar conscientes de la energía sino que deben estar muy atentos a la contaminación que su operación genera como un subproducto.

La causa principal de toda la contaminación del aire es la combustión, y ésta es esencial para el hombre. Cuando ocurre la combustión perfecta o teórica, el hidrógeno y el carbono del combustible se combinan con el oxígeno del aire para producir calor, luz, dióxido de carbono y vapor de agua. Sin embargo, las impurezas del combustible, una incorrecta relación entre el combustible y el aire, o temperaturas de combustión demasiado altas o demasiado bajas son causa de la formación de productos secundarios, tales como monóxido de carbono, óxidos de azufre, óxidos de nitrógeno, cenizas finas e hidrocarburos no quemados, todos ellos contaminantes del aire.

Procesos naturales, como por ejemplo incendios forestales, descomposición de la vegetación, tormentas de polvo y erupciones volcánicas siempre han contaminado el aire. A pesar de que la producción mundial total de muchos de los gases y materias particuladas, reconocidos como contaminantes es mucho mayor cuando procede de fuentes naturales que cuando procede de fuentes producidas por el hombre, la distribución y dispersión globales de dichos contaminantes resultan en concentraciones promedio de un bajo valor. Mediante la precipitación, oxidación y absorción en los océanos y el suelo, la atmósfera se puede limpiar por sí sola si se le da el tiempo suficiente. Además, los contaminantes producidos por el hombre se concentran por lo general en regiones geográficas

de poca extensión; por tanto, la mayor parte de la contaminación del aire la provoca el hombre.

A continuación se presenta una clasificación general de los contaminantes del aire:

- (1) Materia particulada o partículas
- (2) Compuestos que contienen azufre
- (3) Compuestos orgánicos
- (4) Compuestos que contienen nitrógeno
- (5) Monóxido de carbono
- (6) Compuestos halogenados
- (7) Compuestos radiactivos

La materia particulada se divide frecuentemente en subclases, que incluyen polvo fino (menor de 100  $\mu\text{m}$  de diámetro), polvo grueso (más de 100  $\mu\text{m}$  de diámetro), vapores (0.001 - 1  $\mu\text{m}$  de diámetro) y neblinas (0.1 - 10  $\mu\text{m}$  de diámetro). Los vapores son partículas formadas por condensación, sublimación o reacción química, y a veces se las designa como humo. Los vapores, humo, neblina y niebla forman una clase más amplia llamada aerosoles.

Las materias 2 hasta 6 inclusive de la lista general anterior se pueden agrupar en dos amplias clasificaciones: contaminantes primarios y secundarios. Los contaminantes primarios son los emitidos directamente por las fuentes, mientras que los secundarios son los que se forman en la atmósfera por reacciones químicas entre los contaminantes primarios y las especies químicas que se encuentran usualmente en la atmósfera. La Tabla 5-1 presenta una lista de los contaminantes primarios y secundarios para las clases de sustancias. Nótese que el dióxido de carbono ha sido colocado entre paréntesis en la tabla, ya que el  $\text{CO}_2$  no se considera un contaminante. No obstante, el aumento en la concentración mundial de  $\text{CO}_2$  es la principal preocupación en lo que respecta a su efecto de invernadero. Las partículas, el monóxido de carbono, los óxidos de azufre, óxidos de nitrógeno, hidrocarburos, oxidantes

fotoquímicos, etc. se tratan con algún detalle en las siguientes secciones.

Tabla 5-1

## Clasificación general de los contaminantes gaseosos del aire

Clase	Contaminantes Primarios	Contaminantes Secundarios
Compuestos que contienen azufre	SO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> S	SO <sub>3</sub> , H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , MSQ <sup>(15)</sup>
Compuestos orgánicos	Compuestos de C <sub>1</sub> - C <sub>6</sub>	Cetonas, aldehido, ácidos
Compuestos que contienen nitrógeno	NO, NH <sub>3</sub>	NO <sub>2</sub> , MNO <sub>3</sub>
Oxidos de carbono	CO, (CO <sub>2</sub> )	(Ninguno)
Halógeno	NCl, HF	(Ninguno)

### 5.2.1 La Materia Particulada o Partículas

Partícula es un término que se emplea para describir las materias sólidas y líquidas, dispersas y arrastradas por el aire, mayores que las moléculas individuales (las moléculas miden aproximadamente 0.0002  $\mu\text{m}$  de diámetro) pero menores de 500  $\mu\text{m}$ <sup>(16)</sup>. Las partículas en este rango de tamaño tienen una vida media en suspensión que varía desde unos cuantos segundos hasta varios meses. Las partículas menores de 0.1  $\mu\text{m}$  experimentan movimientos brownianos aleatorios resultantes de la colisión con las moléculas individuales. Las partículas entre 0.1 y 1  $\mu\text{m}$  tienen velocidades de asentamiento en el aire estático que, aunque finitas, son pequeñas comparadas con las velocidades del viento. Las partículas mayores de 1  $\mu\text{m}$  tienen velocidades de asentamiento significativas, pero pequeñas. Las partículas por encima de aproximadamente 20  $\mu\text{m}$ ,

<sup>(15)</sup> MSQ<sub>4</sub> y MNO<sub>3</sub> denotan compuestos de sulfatos y nitratos respectivamente.

<sup>(16)</sup> 1  $\mu\text{m}$  = 1 micrón = 10<sup>-4</sup> cm.

tienen grandes velocidades de asentamiento y se eliminan del aire por gravedad y otros procesos de inercia.

Uno de los efectos más comunes de la contaminación del aire es la reducción de la visibilidad resultante de la absorción y dispersión de la luz por los materiales líquidos y sólidos arrastrados por el aire. La visibilidad se altera por las partículas que se forman en la atmósfera por las reacciones en la parte gaseosa. Aunque no son visibles, el dióxido de azufre, el vapor de agua y el ozono en grandes cantidades cambian las características de absorción y transmisión de la atmósfera. Se han realizado muchos esfuerzos en años recientes a fin de relacionar la concentración de los contaminantes llevados por el aire, y que han tomado la forma de plumas en la atmósfera. La reducción de la visibilidad no sólo resulta desagradable para el individuo, sino que puede sufrir fuertes efectos psicológicos. Además, se presentan algunos peligros que afectan a la seguridad.

Entre los equipos de control de partículas tenemos los siguientes:

- (a) Cámaras de sedimentación por gravedad
- (b) Separadores ciclónicos (centrífugos)
- (c) Colectores húmedos
- (d) Filtros de tela
- (e) Precipitadores electrostáticos

Es necesario determinar cierto número de factores antes de poder hacer una apropiada selección del equipo de colección. Entre los datos requeridos se encuentran los siguientes: las propiedades físicas y químicas de las partículas; el intervalo de la tasa de flujo volumétrico de la corriente del gas; el intervalo de las concentraciones de partículas que se podrían esperar (cargas de polvo); la temperatura y presión de la corriente de flujo; la humedad; la naturaleza de la fase gaseosa como por ejemplo las características corrosivas y de solubilidad); y la condición

requerida por el efluente tratado. Este último elemento de información puede ser el más importante, ya que indica la eficiencia de colección que se ha de cumplir, ya sea por una sola pieza de equipo o varias operando en serie. En muchos casos, las consideraciones anteriores limitan al ingeniero a uno o dos tipos básicos de equipo.

### 5.2.2 Monóxido de Carbono

El monóxido de carbono es un gas incoloro e inodoro. Es muy estable y tiene una vida media en la atmósfera de 2 a 4 meses. Las emisiones globales del monóxido de carbono son grandes (350 millones de toneladas/año en 1968) de las que aproximadamente 20% es obra del hombre. Una tal concentración resultaría en un aumento de cerca de 0.03 ppm<sup>(17)</sup>/año en la concentración ambiental. Los hongos en el suelo pueden eliminar una porción significativa de la cantidad liberada, y se supone, por lo general, que el CO se oxida a CO<sub>2</sub> en la atmósfera, a pesar de que la tasa de conversión es muy lenta. Se tiene alguna evidencia de que el CO puede ser químicamente activo durante la formación del neblumo.

Existen muchos estudios que demuestran que las altas concentraciones de monóxido de carbono (> 750 ppm) pueden causar cambios fisiológicos y patológicos y, finalmente, la muerte. El monóxido de carbono es un veneno que inhalado priva a los tejidos del cuerpo del oxígeno necesario. La combinación del monóxido de carbono conduce a la formación de la carboxihemoglobina COHb; la combinación del oxígeno y la hemoglobina produce la oxihemoglobina, O<sub>2</sub> HB. La hemoglobina tiene una afinidad por el CO que es aproximadamente 210 veces su afinidad por el oxígeno. Es decir, la presión parcial del CO requerido para saturar totalmente la hemoglobina es sólo de 1/200 a 1/250 de la presión parcial del oxígeno requerido para la completa saturación con el oxígeno.

---

<sup>(17)</sup> ppm = partes por millón.

### 5.2.3 Oxidos de Azufre

El dióxido de azufre y el trióxido de azufre son los óxidos dominantes del azufre presentes en la atmósfera. El  $\text{SO}_2$  es un gas incoloro, no flamable y no explosivo que produce una sensación gustatoria a concentraciones de 0.3 a 1.0 ppm en el aire. A concentraciones mayores a 3.0 ppm, el gas tiene un olor acre e irritable. El dióxido de azufre se convierte parcialmente a trióxido de azufre o ácido sulfúrico y a sus sales mediante procesos fotoquímicos o catalíticos en la atmósfera. El trióxido de azufre forma ácido sulfúrico con la humedad del aire. Los óxidos de azufre en combinación con las partículas y la humedad del aire producen los efectos más perjudiciales atribuidos a la contaminación atmosférica del aire. Por desgracia, ha resultado difícil aislar los efectos de sólo el dióxido de azufre.

Para controlar las emisiones de azufre se debe usar combustibles de bajo contenido de azufre (las diferentes reglamentaciones varían, pero puede considerarse aproximadamente menos que 3% de azufre en peso) o bien por tratamiento químico de los gases, ya sea en el hogar o más adelante. Algunas reglamentaciones prohíben todos los combustibles excepto el gas licuado de petróleo (LP), que contiene en forma natural muy poco azufre.

### 5.2.4 Hidrocarburos

Los hidrocarburos no parecen causar ningún daño apreciable por la corrosión en los materiales. Las partículas o el hollín procedente de hidrocarburos no quemados, ensucian las superficies. De todos los hidrocarburos, sólo el etileno tiene efectos adversos sobre las plantas ante concentraciones ambientales conocidas. El efecto principal del etileno es inhibir el crecimiento de las plantas.

Hasta ahora, los estudios de los efectos de las concentraciones de hidrocarburos gaseosos sobre el aire ambiente, no han demostrado la existencia de efectos adversos directos en la salud del hombre. Estudios de las propiedades carcinogénicas de ciertas clases de hidrocarburos sí indican que ciertas formas de cáncer parecen ser causadas por la exposición a hidrocarburos aromáticos que se encuentran en el hollín y los alquitranes. Los carcinógenos identificables arrastrados por el aire son en su mayoría hidrocarburos aromáticos polinucleares. Los hidrocarburos no quemados, en combinación con los óxidos de nitrógeno y en presencia de la luz solar, forman oxidantes fotoquímicos, componentes del neblumo fotoquímico, los que tienen efectos adversos en la salud del hombre y de las plantas.

#### 5.2.5 Oxidos de Nitrógeno

De los seis o siete óxidos de nitrógeno, el óxido nítrico (NO) y el dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) son importantes contaminantes del aire. A pesar de que el NO está por lo general presente en la baja atmósfera (formado por acción biológica en la superficie del terreno) no se considera como contaminante del aire. Ni el NO ni el NO<sub>2</sub> causan daños directos a los materiales; sin embargo, el NO<sub>2</sub> puede reaccionar con la humedad presente en la atmósfera para formar ácido nítrico que puede ser causa de considerable corrosión de las superficies metálicas. El dióxido de nitrógeno absorbe la luz visible y a una concentración de 0.25 ppm causará apreciable reducción de la visibilidad.

El dióxido de nitrógeno actúa como un fuerte irritante y a iguales concentraciones es más dañino que el NO. Sin embargo, a concentraciones encontradas en la atmósfera, el NO<sub>2</sub> es sólo potencialmente irritante y potencialmente relacionado con la fibrosis pulmonar crónica. En combinación con hidrocarburos no quemados, los óxidos de nitrógeno reaccionan con la luz solar y forman el neblumo fotoquímico. Debido a esta actividad química se

ha establecido la norma primaria de calidad del aire para los óxidos de nitrógeno y que se ha fijado en  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$  de promedio anual.

#### 5.2.6 Oxidantes Fotoquímicos

Los agentes fotoquímicos, ozono (O<sub>3</sub>), nitrato de peroxiacetilo (NPA), nitrato de peroxibencilo (NPB), y otras trazas de sustancias que pueden oxidar el ion yoduro del yoduro de potasio, se conocen como oxidantes fotoquímicos. El ozono y el NPA están presentes en las más altas concentraciones, y los efectos perjudiciales del neblumo fotoquímico se relacionan por lo general con la concentración de dichas especies. Los aerosoles formados durante las reacciones químicas que crean el neblumo causan una notable reducción de la visibilidad, y dan a la atmósfera un matiz pardusco. El ozono ataca al hule sintético, con lo que reduce la vida de las llantas, el aislamiento de hule, etc. Se pueden colocar inhibidores del ozono dentro de los productos de hule. También atacá la celulosa de los textiles, reduciendo la resistencia de dichos artículos. Todos los oxidantes descolorean las telas. Los oxidantes, principalmente el NPA y el NPB, causan severa irritación en los ojos, y en combinación con el ozono irritan la nariz y la garganta, producen constricción del pecho, y a concentraciones altas ( $3,900 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) producen fuerte tos e incapacidad de meditación.

#### 5.3 Plumas de la Chimenea

Las plumas de la chimenea es la forma geométrica que forma los gases de escape. La dispersión de los contaminantes en la atmósfera se efectúa por medio de dos mecanismos generales: la velocidad promedio del viento y la turbulencia atmosférica. El efecto de la primera es simplemente de transportar los contaminantes desde la fuente en la dirección del viento; la segunda hace que los

contaminantes fluctúen de la concentración de la corriente principal en las direcciones verticales y transversales del viento. Los dos tipos de turbulencia, mecánica y convectiva, ocurren por lo general simultáneamente en cualquier condición, pero en relaciones mutuas variables. Debido a estas variaciones, las formas geométricas generales de las plumas de gas emitidas de las chimeneas son muy diferentes.

En la Fig. 5-1 se indican seis clasificaciones del comportamiento de las plumas. Además de la variación general de la forma geométrica en el plano de coordenadas x-z, se muestran también perfiles aproximados de velocidad y temperatura. Puede ocurrir una transición gradual de uno a otro tipo. La pluma de espiral que se muestra en la Fig. 5-1(a) ocurre cuando existe un alto grado de turbulencia convectiva. La pluma de espiral presenta una tasa de cambio superadiabática en la atmósfera, lo que conduce a fuertes condiciones de inestabilidad. Los remolinos térmicos pueden resultar lo suficientemente grandes como para arrastrar una parte de la pluma hasta el nivel del suelo durante cortos períodos. A pesar de que los grandes remolinos tienden a dispersar los contaminantes sobre una amplia región, pueden ocurrir altas concentraciones en áreas localizadas del terreno.

Una pluma de cono, Fig. 5-1(b) ocurre bajo una estabilidad esencialmente neutral, y domina la turbulencia mecánica en pequeña escala. El efecto de cono ocurre cuando los cielos están nublados ya sea durante el día o durante la noche. Los vientos varían típicamente de moderados a fuertes. La cubierta de nubes impide la entrada de la radiación solar durante el día y el escape de la radiación terrestre durante la noche. Se ha observado que el semiángulo de la pluma, la que tiene la forma general de un cono, es de aproximadamente  $10^\circ$ . A diferencia de las espirales, en el caso de los conos la mayor parte de la concentración de contaminante es arrastrada bastante lejos por el viento antes de llegar al nivel del terreno en cantidades significativas.

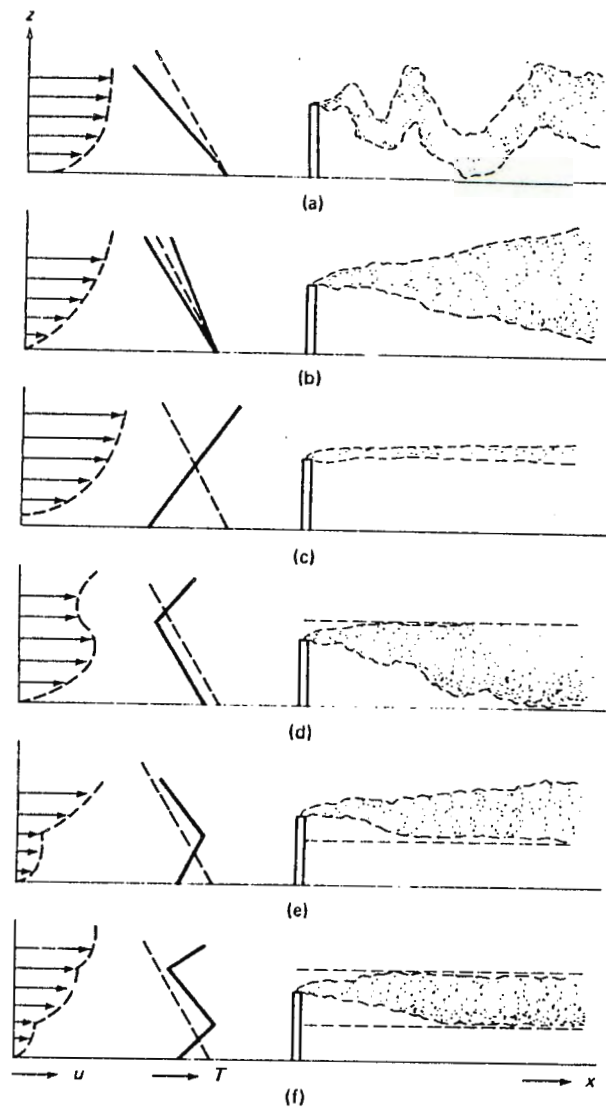


Fig. 5-1. Perfiles típicos de velocidad, temperatura y forma de las plumas en el sistema de coordenadas  $x-z$ , para diversas condiciones atmosféricas. (a) de espiral, gran inestabilidad; (b) de cono, cerca de la estabilidad neutral; (c) de abanico, inversión de superficie; (d) de fumigación, inversión de flotación; (e) de flotación, inversión por debajo de la chimenea; (f) de atrapamiento, inversión por debajo y por encima de la altura de la chimenea.

La pluma de abanico ocurre en la presencia de grandes tasas de cambio negativas, de manera que tiene lugar una fuerte inversión a una considerable distancia por encima de la altura de la chimenea.

La atmósfera es extremadamente estable, y se elimina la turbulencia mecánica. Si la densidad de la pluma no difiere significativamente de la atmósfera circundante, la pluma se traslada junto con el viento a una elevación aproximadamente constante, como se muestra la Fig. 5-1(c). Las inversiones son características de condiciones nocturnas despejadas, cuando la tierra se enfría por la radiación que se escapa. Muy poco del efluente de contaminante llega al suelo.

Las plumas de fumigación ocurren cuando una capa estable de aire está a corta distancia por encima del sitio de emisión de la pluma, y una capa inestable de aire se encuentra debajo de la pluma. La Fig. 5-1(d) ilustra los perfiles generales cuando existe inversión arriba. El perfil de temperatura necesario para la fumigación se origina generalmente en la mañana temprano, después de una noche caracterizada por una inversión estable. El sol de la mañana calienta el suelo, lo que conduce a su vez a un gradiente negativo de temperatura hacia arriba del terreno. Una vez que la capa inestable recién formada alcanza la altura de una chimenea, grandes concentraciones del gas de la misma (que presentaban anteriormente perfil de abanico) serán arrastradas por el viento hasta la superficie del terreno. Afortunadamente, las condiciones de fumigación no duran normalmente más de una media hora. No obstante, durante este período, se alcanzarán concentraciones relativamente altas a nivel del terreno. La fumigación se ve favorecida por los cielos despejados y los vientos ligeros y predomina más en el verano.

Las condiciones para la pluma de flotación indicadas en la Fig. 5-1(e) son contrarias a las de la pluma de fumigación. La capa de inversión está por debajo de la pluma y la capa inestable está dentro y por encima de ésta. Esta resulta en una situación favorable, ya que los contaminantes se dispersan junto con el viento sin concentraciones significativas a nivel del terreno. Mientras que las condiciones de fumigación son características temprano en la mañana, justamente después de la salida del sol, las

condiciones de flotación predominan al caer la tarde y el anochecer, bajo cielos despejados. Durante el día, se establece un gradiente negativo de temperatura en toda la atmósfera baja, como resultado del calor solar. Al caer la tarde, la radiación de la superficie conduce a la formación de una capa de inversión cerca del nivel del terreno. Según se hace más profunda la capa de inversión, una pluma de flotación cambiará a una pluma de abanico. Por tanto, la flotación es una situación transitoria. Cuando existe inversión tanto por debajo como por arriba de la altura de la chimenea, se tiene como resultado el atrapamiento. La difusión de los contaminantes está severamente restringida a la capa entre las dos regiones estables, como se muestra en la Fig. 5-1(f).

Las características generales del terreno que rodea una chimenea y la situación y naturaleza de los edificios con respecto a la misma ejercen una notable influencia sobre el comportamiento de pluma. Cuando se sitúa una chimenea a favor del viento desde la estructura, como se ve en la Fig. 5-2(a), es obvio el importante efecto aerodinámico de los remolinos sobre la dispersión de los contaminantes. Cuando sea insuficiente la altura de la chimenea, la naturaleza del flujo sobre la parte superior del edificio induce una contracorriente, de manera que las concentraciones de contaminantes son grandes adyacentes al lado a favor del viento del edificio. La situación empeora según se disminuye la altura de la chimenea. Existe una condición similar cuando se coloca una chimenea en una posición a favor del viento, con respecto al edificio. El flujo descendente desde el edificio situado antes de la chimenea hace que el efluente de la chimenea caiga rápidamente al suelo, en una dirección a favor del viento, con respecto a la chimenea. Esto es esencialmente cierto cuando el edificio sea más alto que la chimenea. Finalmente, se muestra en la Fig. 5-2(b) una chimenea montada en un edificio o inmediatamente adyacente al mismo. Es obvio que el efluente de la chimenea elevada no se verá apreciablemente afectado por el arrastre procedente del edificio. Es fácil visualizar lo que ocurriría si la chimenea no fuera mucho más alta que el edificio. En una situación de este tipo, se puede

aplicar la siguiente regla práctica: a fin de evitar el flujo inducido de los contaminantes de la chimenea en dirección al suelo, en las cercanías de un edificio, la altura de la chimenea debe ser cuando menos el doble de la altura del edificio.

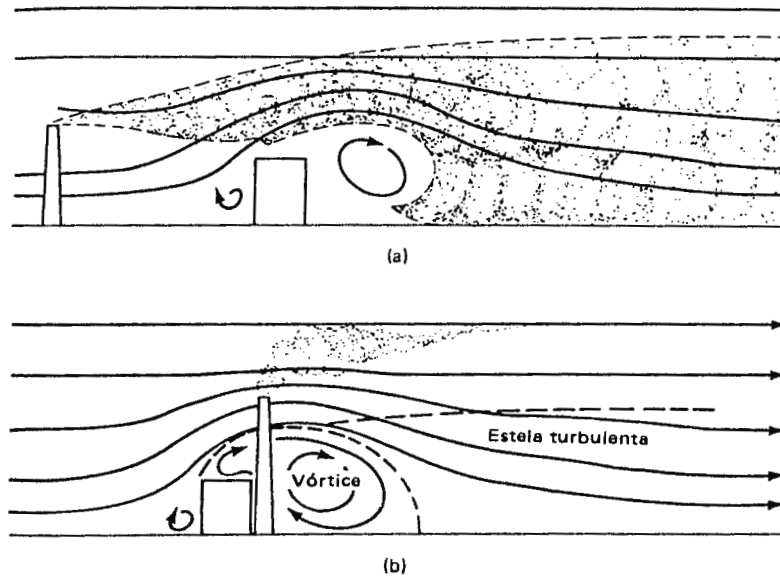


Fig. 5-2. (a) El efecto aerodinámico de un edificio situado en la dirección de flujo del viento con respecto a una chimenea, sobre la dispersión del efluente gaseoso. (b) Efecto de una chimenea montada sobre o inmediatamente adyacente a un edificio sobre la dispersión en la dirección del viento.

#### 5.4 Detectores de Llama

La detección de la llama en la industria es muy importante desde el punto de vista de seguridad. Los quemadores de gas o petróleo utilizados en los hornos o en las calderas de vapor, necesitan para que su funcionamiento sea correcto que la llama producida por el combustible sea estable y de la calidad y que se mantenga en estas condiciones mientras el quemador esté en marcha. Ante un fallo en la llama, el sistema de protección debe actuar inmediatamente excitando el circuito eléctrico de enclavamiento previsto en la instalación para que el conjunto "caiga" en

seguridad, y evite la entrada de combustible sin quemar eliminando así el peligro de su eventual encendido y explosión subsiguiente.

Los detectores de llama aprovechan varias características de llama para su funcionamiento: calor, ionización y radiación.

El calor lo utilizan los detectores térmicos formados por bimetales, termopares, varillas de dilatación y dispositivos a expansión de líquidos que proporcionan un control relativamente satisfactorio en instalaciones domésticas.

Los detectores basados en la radiación se fundamentan en la radiación de energía que una llama irradia en forma de ondas que producen luz y calor. En la Fig. 5-3 pueden verse las radiaciones visibles (10% de la total), infrarrojos (90% de la total) y ultravioleta (1% de la total), así como las propias de la llama de petróleo, de gas y del refractario.

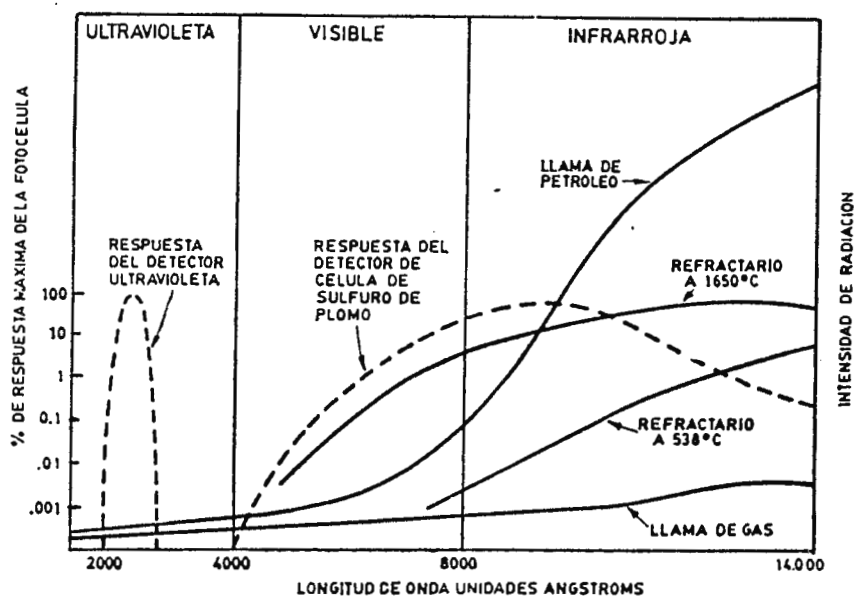


Fig. 5-3. Gráfico de radiación de la llama.

Los detectores disponibles en calderas se pueden clasificar como sigue:

- (a) Rectificador de electrodo
- (b) Detector de fotocelda
- (c) Detector infrarrojo
- (d) Detector ultravioleta

A continuación se muestra una tabla comparativa de sus características.

Tabla 5-2  
Características Comparativas de los Detectores de Llama

Detección de llama		Rectificación	Infrarrojo	Radiación visible	Ultravioleta
Tipo de detector		Electrodo de rectificación	Fotocélula de sulfuro de plomo	Fotocélula de sulfuro de cadmio	Tubo detector ultravioleta
↑ VENTAJAS	Igual detector para llama de gas o fuel-oil		X		X
	Capaz de enfocar un punto de la llama	X			
	Capaz de enfocar un plano de la llama		X	X	X
	No influido por el refractario caliente	X			X
	Autocomprobación antes de cada arranque	X	X	X	X
↑ INCONVENIENTES	Dificultad en apuntar a la llama		X		
	Deterioro rápido del electrodo a altas temperaturas	X			
	Insensible a la llama de gas con alta concentración de aire		X	X	
	Corriente gases calientes en refractario puede simular la llama		X		
	Refractario caliente puede simular la llama			X	
	Ignición eléctrica puede simular la llama				X

#### 5.4.1 Rectificador de Electrodo

La ionización es el fundamento de los detectores de llama de rectificación. Una tensión alterna aplicada a dos electrodos colocados dentro de la llama hace circular una pequeña corriente alterna ya que los gases en la llama están ionizados. La resistencia de la llama es bastante alta, del orden de 250 000 a 150 000 000 ohmios y la corriente que pasa es de unos pocos microamperios. Estos detectores de conductividad tienen el inconveniente de que un cortocircuito de alta resistencia entre los electrodos simula la llama.

Los detectores de llama de rectificación (Fig. 5-4) se basan en que al aplicar una tensión alterna a los electrodos (varilla y quemador) la corriente circula con mayor facilidad en un sentido que otro si la superficie activa de una de los electrodos (superficie expuesta a la llama) es varias veces mayor que la del otro electrodo (4:1). De este modo se obtiene una corriente alterna rectificada, parecida a una corriente continua pulsante, con lo cual si se presenta un cortocircuito de alta resistencia en los electrodos se genera una señal alterna que es detectada como falsa por el circuito electrónico. Tienen el inconveniente de que no pueden usarse satisfactoriamente en quemadores de bunker ya que la llama de bunker quema en despegue del inyector del quemador y además se forman sedimentos e incluso corrosiones en la varilla por la combustión de bunker.

Para su uso práctico en calderas, los rectificadores de electrodos son unidades tipo "bujía" por su semejanza en su conexión eléctrica, tienen montaje por rosca, y un aislamiento de porcelana barnizada. Pueden tener 12, 18 o 24 plg de largo.

Se debe proporcionar una adecuada superficie aterrizada (eléctricamente) que esté en contacto con la llama, la cual debe ser al menos cuatro veces más grande que el área de la porción del electrodo en contacto con la llama. Esto es esencial para ajustar

la relación de áreas de electrodo y tierra para proporcionar una máxima lectura en mediciones de prueba. La Fig. 5-5 muestra la instalación de un rectificador de electrodos.

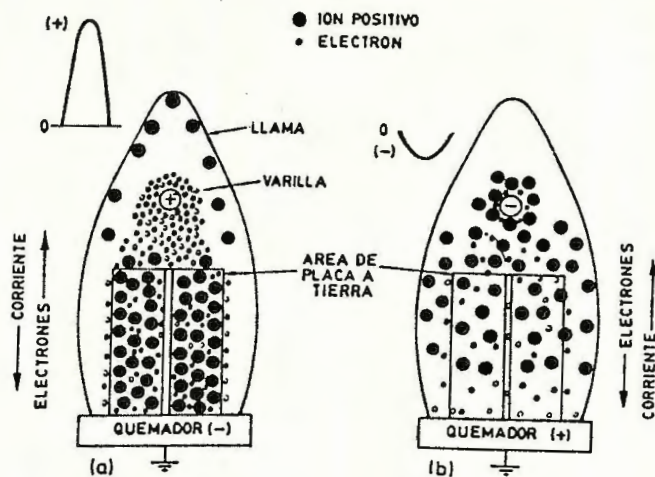


Fig. 5-4. Detector de llama por electrodos de rectificación.

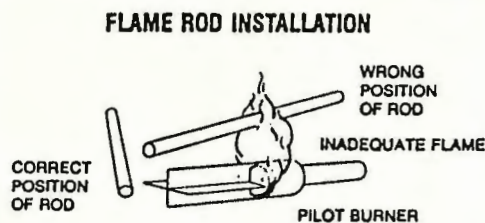


Fig. 5-5. Instalación del electrodo de rectificación.

Es preferible colocar el electrodo en ángulo descendente para minimizar el efecto de arrufo<sup>(18)</sup> y para prevenir que éste entre en contacto con cualquier objeto. El electrodo de rectificación se usa normalmente para llamas no luminosas como la llama del petróleo. En llamas no luminosas, la punta del electrodo debe introducirse al menos  $\frac{1}{2}$ " dentro de la llama, pero no más de la mitad del electrodo. En llamas parcialmente luminosas, la punta del electrodo debe extenderse únicamente hasta el borde de la llama, no es necesario mantener un absoluto contacto ininterrumpido con la llama.

<sup>(18)</sup> Arrufo es una curvatura por pandeo debida a las dilataciones térmicas no uniformes en toda la superficie del electrodo.

### 5.4.2 Detector de Fotocelda

Los detectores de fotocelda son dispositivos que convierten la energía radiante en electricidad por la interacción entre la energía radiante y un material semiconductor. Pueden ser de dos tipos: fotoresistencias y fotodiodos.

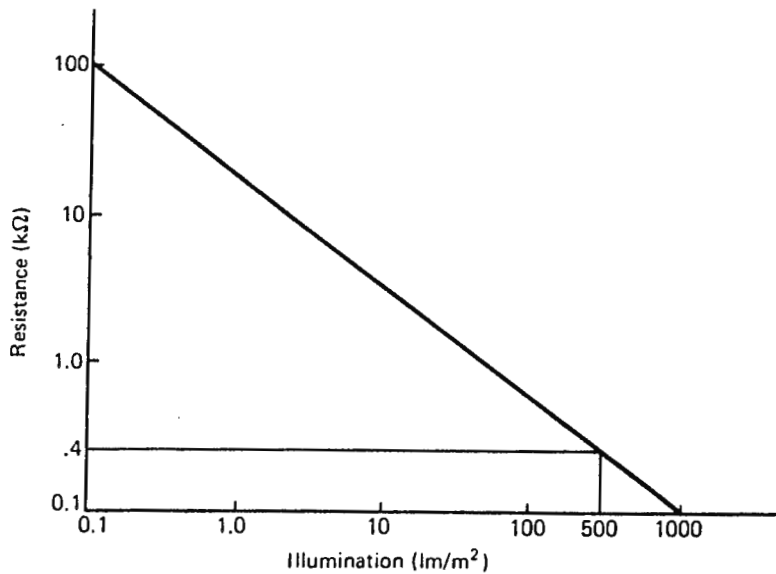


Fig. 5-6. Características de resistencia de una celda fotoconductor.

Las fotoresistencias dependen de la variación de la resistencia del material semiconductor cuando se exponen a los niveles variantes de energía radiante incidente. La mayoría de las fotoresistencias son de sulfuro de cadmio (SCd) y seleniuro de cadmio (SeCd). Estos tipos de celdas operan con corriente ya sea cc ó ca; una celda consiste de una hoja delgada de Scd ó SeCd con electrodos metálicos depositados en un substrato metálico. Las celdas de Scd se usan principalmente en aplicaciones de medición de luz; y las celdas de SeCd se usan como contadores debido a su tiempo de respuesta rápida comparada con la celda de SCd. El principal parámetro de las fotoresistencias es la sensibilidad de la celda, la corriente de la celda a un voltaje dado para un nivel

de iluminación especificado. La sensibilidad es afectada por el color de la luz, su intensidad, el tipo de material y la geometría del área activa. La característica de resistencia vrs. iluminación de una fotocelda proporciona datos importantes para la aplicación de la celda. Una característica de resistencia típica para un fotoresistencia se muestra en la Fig. 5-6. Se debe notar que el gráfico resistencia versus iluminación tiene una escala log-log y mantiene su linealidad hasta aproximadamente  $1000 \text{ lm}^{(19)}/\text{m}^2$ .

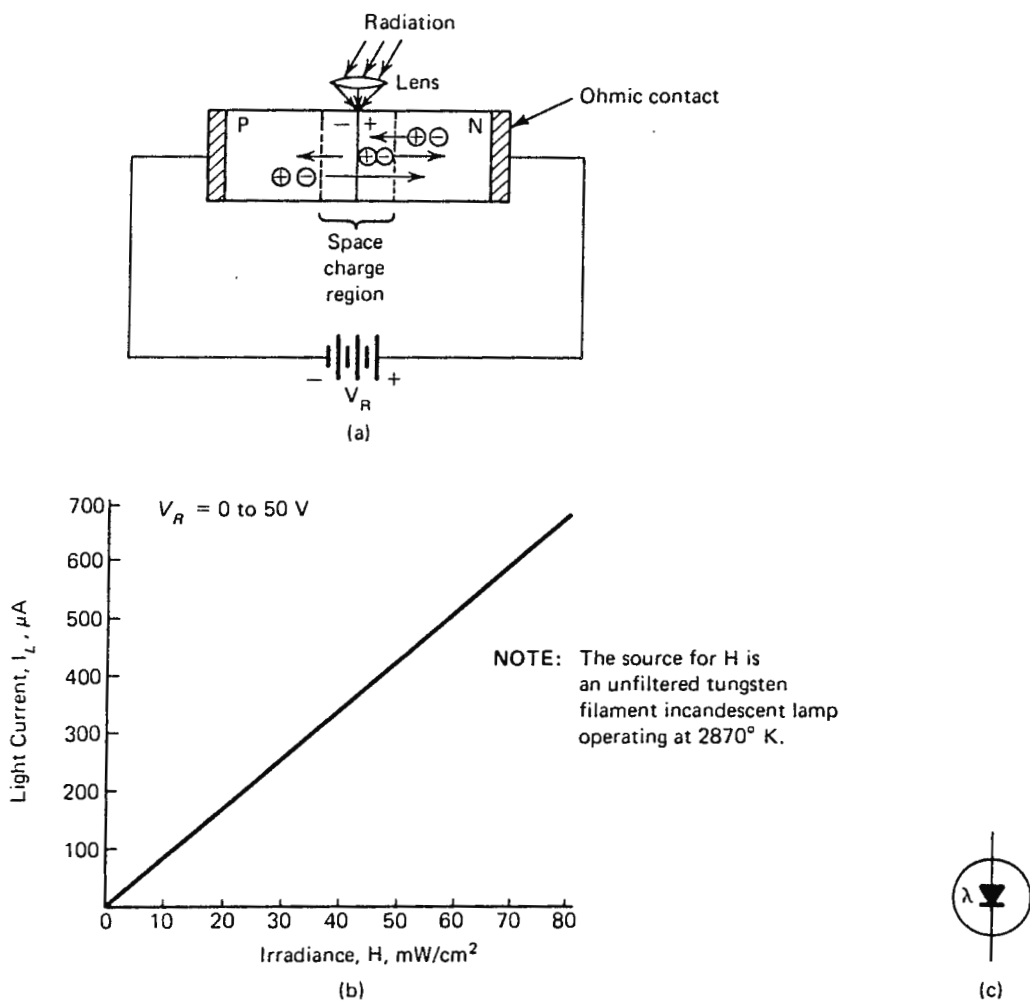


Fig. 5-7. Unión p-n de un fotodiodo: (a) esquemático, (b) corriente de luz versus irradiación, (c) símbolo de circuito.

<sup>(19)</sup>  $\text{lm} = \text{lumen}$ . El lumen es la cantidad de flujo luminoso radiante desde una fuente perpendicular de 1 candela (cd) hasta una superficie esférica de 1  $\text{pie}^2$  a una distancia de 1 pie desde la fuente, o sobre un área esférica de 1  $\text{m}^2$  a una distancia de 1 m.

Los fotodiodos tienen la misma construcción que una unión p-n de un diodo, excepto que tiene una ventana o lentes en la cubierta del diodo para permitir que la radiación caiga en la unión p-n. La unión p-n del fotodiodo se trabaja en polarización en reversa, lo cual aumenta la anchura del espacio de la región de carga. Cuando la radiación cae en la unión p-n, se crean pares electrón-huecos lo cual incrementa la disponibilidad de portadores minoritarios; esto es, los electrones en el material p y huecos en el material n. Los portadores minoritarios bajo condiciones de polarización en reversa causa un aumento significativo en la corriente de fuga  $I_L$  (Fig. 5-7). Se debe notar que si el fotodiodo fuera polarizado en directa, el incremento en los portadores mayoritarios causaría un incremento insignificante en la corriente directa. En general, los fotodiodos se caracterizan por una relación lineal entre la radiación incidente y la corriente de salida.

#### 5.4.3 Detector Infrarrojo

Los detectores infrarrojos pueden usarse con gas, aceite, carbón, o llamas de combustibles duales. Debido a que más de 90% de la radiación total de la llama es infrarroja, estos detectores reciben una amplia radiación de alta intensidad, y esto permite detectar tanto llamas débiles como las más calientes.

El material sensitivo usado en los detectores infrarrojos es el sulfuro de plomo. La resistencia eléctrica del sulfuro de plomo cae cuando se expone a la radiación infrarroja. Si se aplica un voltaje a través de la celda de sulfuro de plomo, fluirá corriente cuando la celda se exponga a la radiación infrarroja.

Las celdas de sulfuro de plomo no pueden distinguir entre los rayos infrarrojos emitidos por el refractario caliente y la radiación infrarroja de la llama. Por lo tanto, los sistemas de detección infrarroja incluyen un amplificador el cual responde únicamente a la radiación fluctuante de la llama y rechaza la señal

estable del refractario caliente. La Fig. 5-8 muestra la posición del detector infrarrojo.

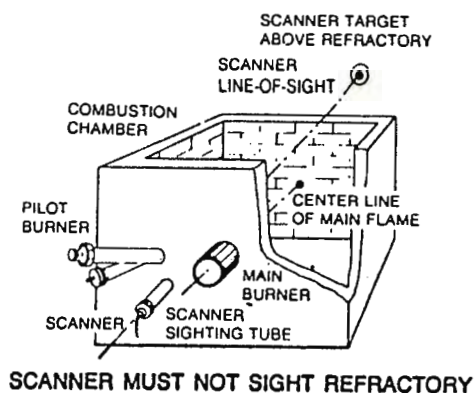


Fig. 5-8. Instalación del detector infrarrojo.

Desafortunadamente, el humo o el vapor del combustible dentro de la cámara de combustión pueden reflejar, desviar o bloquear intermitentemente la radiación del refractario caliente, haciéndolo así fluctuante. Esta radiación fluctuante puede simular la radiación fluctuante de una llama, y puede estar presente aún después que el refractario ha cesado su luminancia visible. Por lo tanto, se debe tener cuidado cuando se aplique un sistema de detección infrarroja para asegurar que respondan únicamente a la llama.

#### 5.4.4 Detector Ultravioleta

Los detectores de radiación ultravioleta consisten en un tubo que contiene dos electrodos, normalmente de tungsteno. El tubo es de material permeable a la radiación ultravioleta, cuarzo por ejemplo y está lleno de un gas inerte. El funcionamiento es similar al de un tubo Geiger.

Si una radiación ultravioleta penetra en el tubo e incide sobre el cátodo éste emite electrones que son atraídos por el ánodo

a causa del campo eléctrico establecido entre ambos. Este proceso ioniza el gas en el tubo con lo que éste conduce una corriente. Para asegurar una verificación constante de la presencia de llama, es preciso interrumpir periódicamente la tensión entre cátodo y ánodo, con el fin de que se establezca la conductividad del tubo un número de veces por segundo, dado que dicho tubo presenta, una vez excitado, una descarga automantenida en tanto que exista un campo eléctrico entre los electrodos.



Since oil and gas flames radiate more ultraviolet energy from the base of the flame than from further out in the flame, this fact should be taken into consideration when installing the scanner sight pipe.

TYPICAL SCANNER INSTALLATIONS

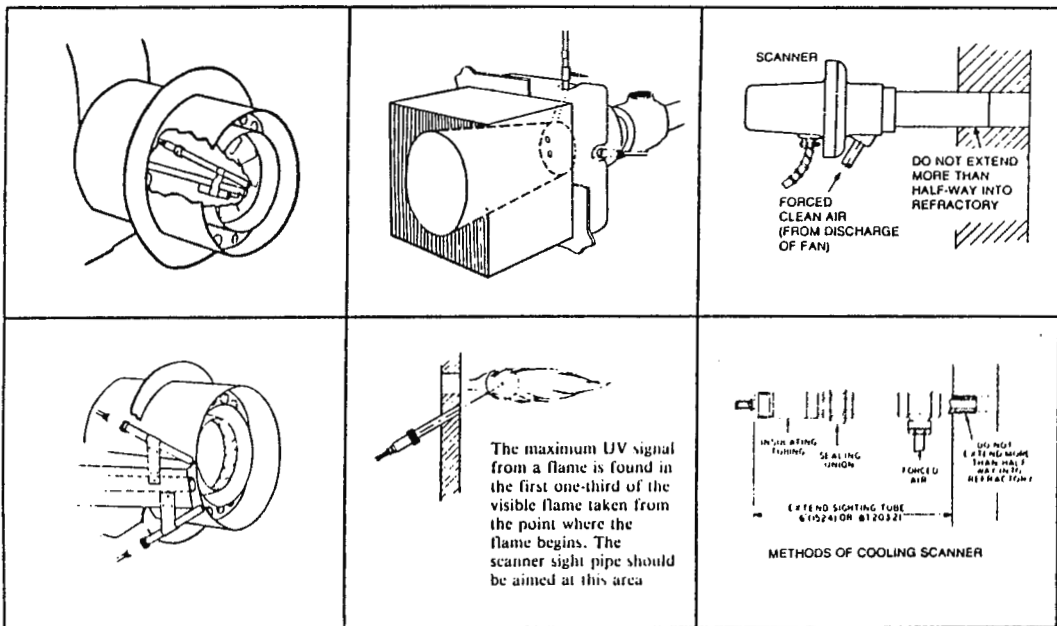


Fig. 5-9. Instalaciones típicas de los detectores ultravioleta.

En la Fig. 5-9 se muestran algunos ejemplos de instalación de los detectores ultravioleta. Se debe notar que la vista desde el

detector debe cubrir totalmente la llama, la cual también debe apuntar a la base de la llama, ya que allí se encuentra la máxima señal ultravioleta de la llama.

La ventaja principal de los detectores de radiación ultravioleta es su total insensibilidad a las radiaciones infrarroja y visible no siendo afectados por este motivo, por las radiaciones del refractario caliente<sup>(20)</sup>. Dado que ambas llamas de gas y de aceite combustible generan radiaciones ultravioletas, estos detectores son idóneos para instalaciones mixtas.

### 5.5 Motores Modulantes

Los motores modulantes se utilizan para operar válvulas y registros por medio de circuitos de control modulante de bajo voltaje. Los motores posicionan un registro o una válvula en cualquier punto entre las posiciones de totalmente abierta y totalmente cerrada, proporcionando la posición adecuada según lo demanda el controlador.

Para la operación de los motores modulantes, se necesitan dos reóstatos, uno en el dispositivo controlador y otro en el motor, formando un circuito puente con el relevador de balanceo del motor. Cuando el valor del medio controlado se mantiene en el punto de ajuste del controlador, el circuito está balanceado (fluye una corriente igual en cada mitad del relevador de balanceo) y el motor no corre.

Cuando el valor del medio controlado cambia, el contacto deslizante del reóstato en el controlador se mueve. Esto provoca un desbalance en el circuito y fluye más corriente a través de una mitad del relevador de balanceo (Fig. 5-10). El relevador se cierra

---

<sup>(20)</sup> Algunos detectores de llamas sensan erróneamente las radiaciones provenientes del refractario caliente dentro del horno y no la llama misma. Esta característica indeseable se llama efecto "hold-in".

y el motor corre en la dirección necesaria para corregir el cambio en temperatura o presión. Cuando el motor corre, su contacto deslizante del reóstato se mueve para balancear el circuito y parar el motor.

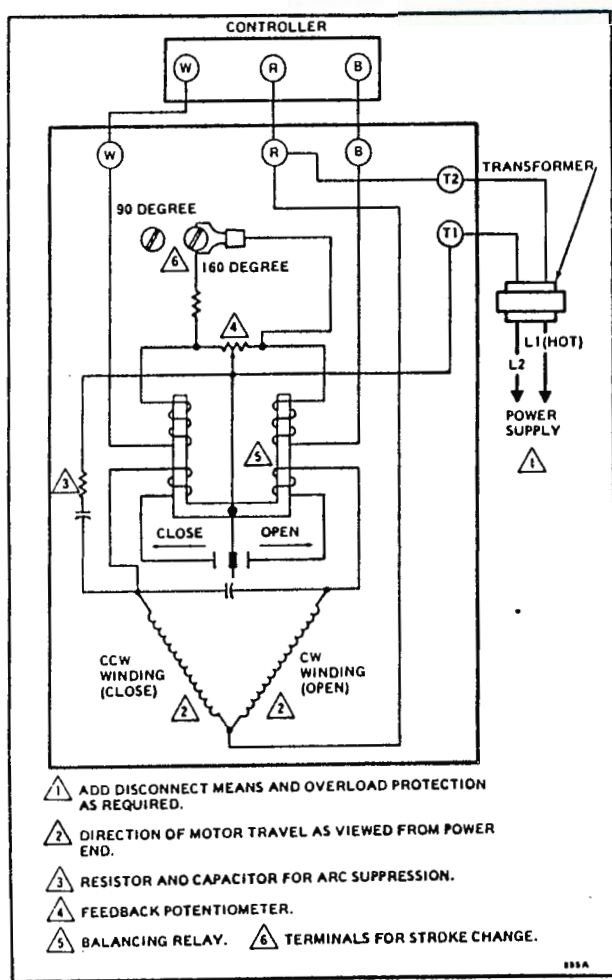


Fig. 5-10. Diagrama esquemático interno y conexiones básicas externas de un motor modulante reversible.

Los motores modulantes se pueden seleccionar según el torque, la carrera, el voltaje de alimentación y el tipo de retorno de la carrera. El torque depende de la carga que se mueve, por ejemplo un registro con 13 pies<sup>2</sup> necesita 20 lb-plg, 23 pies<sup>2</sup> necesita 35 lb-plg de torque y otro de 50 pies<sup>2</sup> necesita un motor de 75 lb-plg. También pueden tener una carrera de 75, 90 ó 160 grados según la aplicación. Los voltajes de alimentación comúnmente usados son de

240, 120 y 24 V ac, según la disponibilidad del sitio. El retorno de la carrera puede ser por resorte (éstos no tienen relevador de balanceo) o por inversión de la polaridad en los devanados del motor (motor reversible). Otras características adicionales están en su eje y en los interruptores auxiliares, por ejemplo, pueden utilizarse los dos extremos de su eje o únicamente uno, y pueden tener uno, dos o ningún contacto auxiliar, utilizados generalmente como medios de control de equipos auxiliares externos u otros motores modulantes en ciertas condiciones de posición del motor; por ejemplo se puede ajustar un interruptor auxiliar para que se satisfaga al llegar a cierto valor de grados en su movimiento, indicando tal vez la posición de fuego alto o bajo.

Casi todos los motores modulantes pueden colocarse de cualquier posición, pero por lo general se evitan la colocación con su eje vertical, pero cuando no se puede evitar, se debe colocar el lado de potencia en la posición más baja. Los brazos y accesorios para la unión de los motores con los registros o válvulas deben estar de acuerdo con las sugerencias del fabricante. Algunos fabricantes proporcionan estas uniones como opciones. Los registros no deben abrirse más de  $60^\circ$ , ya que la ganancia adicional de flujo es muy pequeña cuando la abertura es mayor que  $60^\circ$ . Otra recomendación importante es el de evitar parar o demorar la carrera normal del motor, ya que podría dañarlo, por eso algunos motores tienen interruptores térmicos para protección de sobrecarga en estos casos.

En cuanto a la conexión eléctrica, existen ciertas normas referente a los reóstatos usados. Sus extremos están codificados con W (color blanco) y B (color azul) y el contacto deslizante con el R (color rojo). Si la presión o temperatura del medio controlado aumenta, el contacto deslizante se mueve hacia W, y si cae, ésta se mueve hacia B. El valor de la resistencia entre W y B depende de la aplicación y del fabricante, pueden ser por ejemplo de 470, 870 ó 2080 ohmios.

## 5.6 Tipos de Válvulas

Las válvulas pueden ser de varios tipos según sea el diseño del cuerpo y el movimiento del obturador. Las válvulas de movimiento lineal en las que el obturador se mueve en la dirección de su propio eje se clasifican como se especifica a continuación.

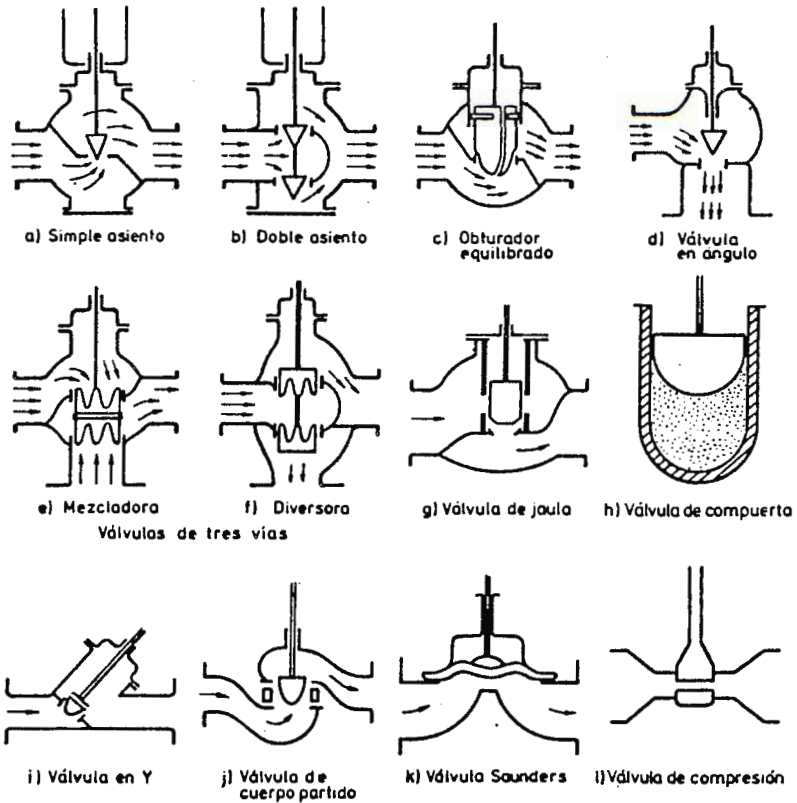
### 5.6.1 Válvula de Globo

Puede verse en las Fig. 5-11 a, b y c siendo de simple asiento, de doble asiento y de obturador equilibrado respectivamente. Las válvulas de simple asiento precisan de un actuador de mayor tamaño para que el obturador cierre en contra de la presión diferencial del proceso. Por lo tanto, se emplean cuando la presión del fluido es baja y se precisa que las fugas en posición de cierre sean mínimas. El cierre estanco se logra con obturadores provistos de una arandela de teflón. En la válvula de doble asiento o de obturador equilibrado la fuerza de desequilibrio desarrollada por la presión diferencial a través del obturador es menor que en la válvula de simple asiento. Por este motivo se emplea en válvulas de gran tamaño o bien cuando debe trabajarse con una alta presión diferencial. En posición de cierre las fugas son mayores que en una válvula de simple asiento.

### 5.6.2 Válvula en Ángulo

Esta válvula representada en la Fig. 5-11 d, permite obtener un flujo de caudal regular sin excesivas turbulencias y es adecuada para disminuir la erosión cuando ésta es considerable por las características del fluido o por la excesiva presión diferencial. El diseño de la válvula es idóneo para el control de fluidos que vaporizan (flashing), para trabajar con grandes presiones diferenciales y para los fluidos que contienen sólidos en suspensión.

OBTURADORES DE MOVIMIENTO LINEAL



OBTURADORES DE MOVIMIENTO CIRCULAR

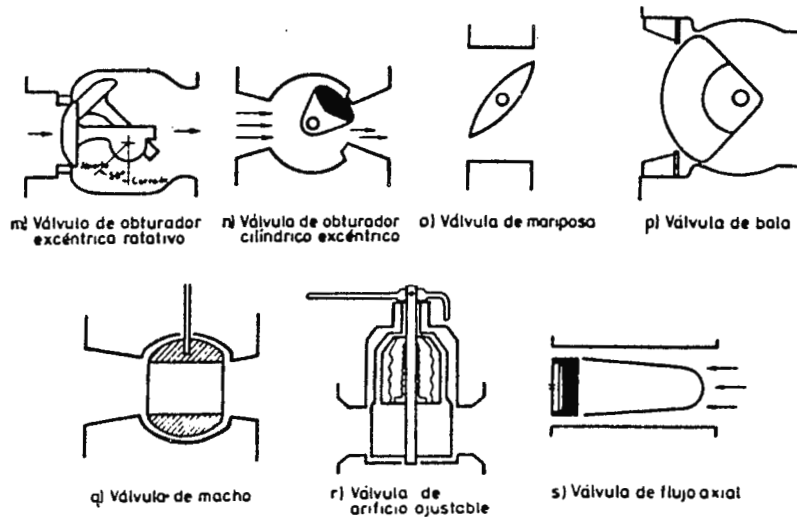


Fig. 5-11. Tipos de válvulas de control.

### 5.6.3 Válvula de Tres Vías

Este tipo de válvula se emplea generalmente para mezclar fluidos, válvulas mezcladoras (Fig. 5-11 e), o bien para derivar de un flujo de entrada dos de salida, válvulas diversoras (Fig. 5-11 f). Las válvulas de tres vías intervienen típicamente en el control de temperatura de intercambiadores de calor.

### 5.6.4 Válvula de Jaula

Consiste en un obturador cilíndrico que desliza en una jaula con orificios adecuados a las características de caudal deseadas en la válvula (Fig. 5-11 g). Se caracterizan por el fácil desmontaje del obturador y porque éste puede incorporar orificios que permiten eliminar prácticamente el desequilibrio de fuerzas producido por la presión diferencial favoreciendo la estabilidad del funcionamiento. Por este motivo, este tipo de obturador equilibrado se emplea en válvulas de gran tamaño o bien cuando debe trabajarse con una alta presión diferencial. Como el obturador está contenido dentro de la jaula, la válvula es muy resistente a las vibraciones y al desgaste. Por otro lado, el obturador puede disponer de aros de teflón que, con la válvula en posición cerrada, asientan contra la jaula y permiten lograr así un cierre hermético.

### 5.6.5 Válvula de Compuerta

Esta válvula efectúa su cierre con un disco vertical plano, o de forma especial, y que se mueve verticalmente al flujo de fluido. Por su disposición es adecuada generalmente para control todo-nada, ya que en posiciones intermedias tiende a bloquearse. Tiene la ventaja de presentar muy poca resistencia al flujo de fluido cuando está en posición de apertura total (Fig. 5-11 h).

### 5.6.6 Válvula en Y

En la Fig. 5-11 i puede verse su forma. Es adecuada como válvula de cierre y de control. Como válvula todo-nada se caracteriza por su baja pérdida de carga y como válvula de control presenta una gran capacidad de caudal. Posee una característica de autodrenaje cuando está instalada inclinada con un cierto ángulo. Se emplea usualmente en instalaciones criogénicas.

### 5.6.7 Válvula de Cuerpo Partido

Esta válvula (Fig. 5-11 j) es una modificación de la válvula de globo de simple asiento teniendo el cuerpo partido en dos partes entre las cuales está presionado el asiento. Esta disposición permite una fácil sustitución del asiento y facilita un flujo suave del fluido sin espacios muertos en el cuerpo. Se emplea principalmente para fluidos viscosos y en la industria alimentaria.

### 5.6.8 Válvula Saunders

En la válvula Saunders (Fig. 5-11 k), el obturador es una membrana flexible que a través de un vástago unido a un servomotor, es forzada contra un resalte del cuerpo cerrando así el paso del fluido. La válvula se caracteriza porque el cuerpo puede revestirse fácilmente de goma o de plástico para trabajar con fluidos agresivos. Tiene la desventaja de que el servomotor de accionamiento debe ser muy potente. Se utiliza principalmente en procesos químicos difíciles, en particular en el manejo de fluidos negros o agresivos o bien en el control de fluidos conteniendo sólidos en suspensión.

### 5.6.9 Válvula de Compresión

Esta válvula funciona mediante el pinzamiento de dos o más elementos flexibles, por ejemplo, un tubo de goma. Igual que las válvulas de diafragma se caracterizan porque proporcionan un óptimo control en posición de cierre parcial y se aplican fundamentalmente en el manejo de fluidos negros corrosivos, viscosos o conteniendo partículas sólidas en suspensión (Fig. 5-11 l).

Las válvulas en las que el obturador tienen un movimiento circular se clasifican como se detalla a continuación.

### 5.6.10 Válvula de Obturador Excéntrico Rotativo

Consiste en un obturador de superficie esférica que tiene un movimiento rotativo excéntrico y que está unido al eje de giro por uno o dos brazos flexibles (Fig. 5-11 m). El eje de giro sale al exterior del cuerpo y es accionado por el vástago de un servomotor. El par de éste es reducido gracias al movimiento excéntrico de la cara esférica del obturador. La válvula puede tener un cierre estanco mediante aros de teflón dispuesto en el asiento y se caracteriza por su gran capacidad de caudal, comparable a las válvulas mariposa y a las de bola y por su elevada pérdida de carga admisible.

### 5.6.11 Válvula de Obturador Cilíndrico Excéntrico

Esta válvula (Fig. 5-11 n) tiene un obturador cilíndrico excéntrico que asienta contra un cuerpo cilíndrico. el cierre hermético se consigue con un revestimiento de goma o teflón en la cara del cuerpo donde asienta el obturador. La válvula es de bajo coste y tiene una capacidad relativamente alta. Es adecuada para fluidos corrosivos y líquidos viscosos o conteniendo sólidos en suspensión.

### 5.6.12 Válvula de Mariposa

El cuerpo está formado por un anillo cilíndrico dentro del cual gira transversalmente un disco circular (Fig. 5-11 o). La válvula puede cerrar herméticamente mediante un anillo de goma encastrado en el cuerpo. Un servomotor exterior acciona el eje de giro del disco y ejerce su par máximo cuando la válvula está totalmente abierta (en control todo-nada se consideran  $90^\circ$  y en control continuo  $60^\circ$ , a partir de la posición de cierre ya que la última parte del giro es bastante inestable), siempre que la presión diferencial permanezca constante. En la selección de la válvula es importante considerar las presiones diferenciales correspondientes a las posiciones de completa apertura y de cierre; se necesita una fuerza grande del actuador para accionar la válvula en caso de una caída de presión elevada. Las válvulas de mariposa se emplean para el control de grandes caudales de fluidos a baja presión.

### 5.6.13 Válvula de Bola

El cuerpo de la válvula tiene una cavidad interna esférica que alberga un obturador en forma de esfera o de bola (de ahí su nombre) (Fig. 5-11 p). La bola tiene un corte adecuado (usualmente en V) que fija la curva característica de la válvula, y gira transversalmente accionada por un servomotor exterior. El cierre estanco se logra con un aro de teflón incorporado al cuerpo contra el cual asienta la bola cuando la válvula está cerrada. En posición de apertura total, la válvula equivale aproximadamente en tamaño a 75% del tamaño de la tubería. La válvula de bola se emplea principalmente en el control de caudal de fluidos negros, o bien en fluidos con gran porcentaje de sólidos en suspensión. Una válvula de bola típica es la válvula de macho (Fig. 5-11 q) que consiste en un macho de forma cilíndrica o troncocónica con un orificio transversal igual al diámetro interior de la tubería. El macho

ajusta en el cuerpo de la válvula y tiene un movimiento de giro de 90°. Se utiliza generalmente en el control manual todo-nada de líquidos o gases.

#### 5.6.14 Válvula de Orificio Ajustable

El obturador de esta válvula consiste en una camisa de forma cilíndrica que está perforada con dos orificios, uno de entrada y otro de salida y que gira mediante una palanca exterior accionada manualmente o por medio de un servomotor. El giro del obturador tapa parcial o totalmente las entradas y salidas de la válvula controlando así el caudal. La válvula incorpora además una tajadera cilíndrica que puede deslizarse dentro de la camisa gracias a un macho roscado de accionamiento exterior. La tajadera puede así fijarse manualmente en una posición determinada para limitar el caudal máximo (Fig. 5-11 r). La válvula es adecuada en los casos en que es necesario ajustar manualmente el caudal máximo del fluido, cuando el caudal puede variar entre límites amplios de forma intermitente o continua y cuando no se requiere un cierre estanco. Se utiliza para combustibles gaseosos o líquidos, vapor, aire comprimido y líquidos en general.

#### 5.6.15 Válvula de Flujo Axial

Las válvulas de flujo axial consisten en un diafragma accionado neumáticamente que mueve el pistón, el cual a su vez comprime un fluido hidráulico contra un obturador formado por un material elastómero. De este modo, el obturador se expande para cerrar el flujo anular del fluido. Este tipo de válvulas se emplea para gases y es especialmente silencioso. Otra variedad de la válvula de flujo axial es la válvula de manguito, que es accionada por compresión exterior del manguito a través de un fluido auxiliar a una presión superior a la del propio fluido (Fig. 5-11 s).

## 5.7 Analizador de Oxígeno

Los analizadores de oxígeno utilizados en el análisis de la cantidad de oxígeno en los gases de combustión se basan en el paramagnetismo del oxígeno. El paramagnetismo es una propiedad que poseen varios materiales, entre ellos el oxígeno; se magnetizan cuando se exponen a la acción de un campo magnético. De este modo una bola suspendida en equilibrio en un campo magnético variará de posición al pasar el gas a analizar ya que el oxígeno del gas absorberá parte de la energía magnética disponible en el campo.

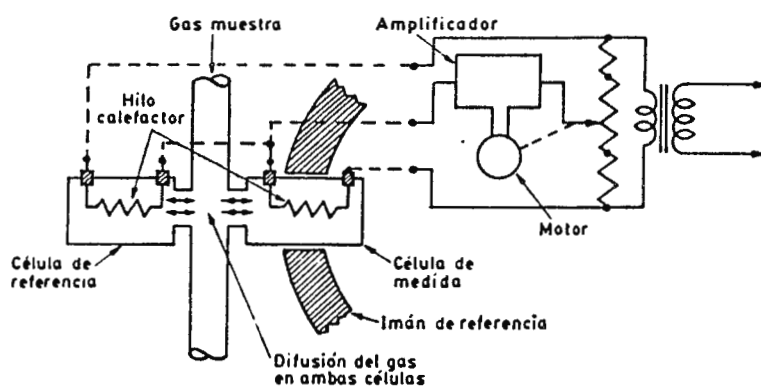


Fig. 5-12. Analizador de oxígeno paramagnético.

Este principio se emplea en el analizador de la Fig. 5-12 en el que el gas circula por dos cámaras idénticas con dos pequeños calefactores. Uno de ellos está en el seno de un fuerte campo magnético con lo que el oxígeno que es paramagnético desplaza los otros gases y el elemento calefactor se enfría más rápidamente. De este modo, las diferencias de temperatura medidas con un circuito de puente de Wheatstone son proporcionales a la susceptibilidad magnética del gas y al ser el oxígeno el único gas paramagnético presente, son también proporcionales al contenido de oxígeno.

## 5.8 Normas de Seguridad

Debido a lo arriesgado y peligroso que resulta trabajar con calderas, especialmente en sistemas que involucren combustibles altamente inflamables, es necesario valorizar la importancia de las normas de seguridad a emplear. En Estados Unidos la OSHA (Occupational Safety and Health Administration) es la entidad encargada de promulgar y hacer cumplir dichas normas, de la misma forma, cada país tiene sus propias organizaciones que regulan dichas normas.

Los requisitos de la OSHA para que una planta sea más segura son: (a) proteger adecuadamente toda la maquinaria; (b) examinar y poner en condiciones de funcionamiento todos los aparatos y dispositivos para seguridad; (c) reparar todos los aparatos eléctricos para que no ofrezcan riesgo a los empleados y se establecen protecciones contra incendio; (d) estudiar todos los problemas de manejo de materiales para tener un movimiento seguro y sin problema en toda la planta; (e) instituir normas de seguridad y limpieza. No hay nada que influya más negativamente en la moral de un programa de prevención de accidentes o de la conciencia de seguridad entre los trabajadores que un lugar de trabajo sucio y desordenado; (f) establecer un sistema de registros; se efectúan estudios periódicos de la planta para ver que todo esté seguro; (g) capacitar a los empleados; ha de insistirse siempre en la seguridad. Se debe emplear medios visuales en el programa de seguridad. Deben pegarse carteles y cambiarse cada cierto tiempo. Se deben utilizar sistemas audiovisuales en cada junta de seguridad. Se deben enseñarse a los supervisores nuevas ideas tomadas de las publicaciones sobre seguridad del National Safety Council y autoridades equivalentes en otros países.

Como ejemplo, en 1988 la OSHA reportó un informe de 5 070 accidentes en instalaciones relacionadas con calderas, de los cuales hubo 64 heridos y 8 muertos. Las estadísticas indican que el bajo nivel de agua en las calderas fue la causa principal de daños,

y las explosiones en el hogar las que causaron la mayoría de los heridos.

Algunos distribuidores e instaladores de maquinaria, instrumentación y equipo eléctrico tienen contratos de mantenimiento y servicio para casi cualquier situación. El mantenimiento sólo lo debe efectuar personal experimentado. A la larga, resulta más seguro y económico tener estos contratos. Cuando no se tiene suficiente personal, consulte con el fabricante de su equipo antes de que alguna persona sin experiencia dañe un costoso equipo o, lo que sería peor, ocasione lesiones a otras personas.

Entre algunas recomendaciones cuando se trabajan con calderas, se encuentran las siguientes:

\* Antes de entrar al cuerpo de una caldera que ha estado apagada se debe entrar aire en la abertura con un soplador o ventilador. Se pone la boquilla de una manguera conectada con el soplador o con el tubo para aire cerca del piso del agujero de visita. Esto hará que los gases suban y salgan por la abertura. Las personas que entran en el cuerpo de una caldera que ha estado apagada pueden sufrir un desmayo. Si se lava el cuerpo de una caldera, se deja secar y se tiene cerrada algún tiempo, es peligroso quitar la tapa del agujero para hombre y entrar sin antes hacer circular aire. Como la mayoría de las superficies de hierro del cuerpo de la caldera consumen oxígeno, siempre hay que ventilarla antes de entrar.

\* Los gases y vapores de los productos de petróleo que hay en los tanques son tóxicos y explosivos. Los reglamentos de seguridad exigen probar los tanques antes de entrar en ellos. Los efectos de los vapores del petróleo varían en composición, concentración y tiempo de estar expuesto a ellos. En pequeñas cantidades producen una ligera embriaguez; pero con concentraciones grandes la inhalación va seguida de inconsciencia y a veces puede ser mortal. Se sabe que hay personas que inhalan vapores de productos de

petróleo, como una variante de la drogadicción. Sólo personas capacitadas deben probar si hay vapores o gases explosivos.

\* Todas las personas se deben crear hábitos de seguridad: 1. Nunca se deja que los cinceles tengan "cabeza de hongo"; se esmerilan para alisarlos. 2. No se deja que los mangos de las llaves de tuercas se deformen. 3. Nunca se han de llevar herramientas en los bolsillos. 4. Se utilizan gafas o caretas protectoras al trabajar con productos químicos fuertes o al quitar rebabas o esmerilar. 5. No han de levantarse objetos pesados. 6. Los nudos en los cables deben estar bien hechos; hay publicaciones en donde aparecen infinidad de clases de nudos. 7. No deben usarse tacones de caucho en pisos de planchas aceitosas. 8. Hay que mantener los pisos despejados y bien barridos. 9. Hay que acatar las precauciones de seguridad al utilizar escaleras de mano. 10. No se debe usar aire comprimido para quitarse el polvo de la ropa. 11. Nunca se juega ni se hacen bromas en el lugar de trabajo.

\* Antes de empezar a trabajar en cualquier motor de combustión o eléctrico, eje de transmisión o similar, máquinas con motor u otras, hay que comprobar que nadie los pueda poner a funcionar sin que se autorice. Se debe poner un candado personal en el interruptor de control, palanca o válvula y se guarda la llave en el bolsillo. También se debe colocar un rótulo de "Hombres Trabajando" o similar en el control y cierre el mecanismo de forma eficaz.

\* Antes de parar una planta, se debe verificar que no exista peligros de incendio. Se retira todo el material de desecho del edificio y patios. Se sacan los líquidos inflamables de los tanques de proceso que se van a parar. Se corta la electricidad y el gas para inmovilizar la maquinaria; se desconectan o cierran los cilindros de aire comprimidos en los múltiples. Siempre que sea posible, desconecte todos los circuitos eléctricos en el tablero principal, excepto los necesarios para alumbrado, bombas contra

incendios y alarmas. Luego, cierre las válvulas principales para el gas y desconecte los transformadores.

\* El humo es muy irritante en todo el sistema respiratorio. La sofocación y la tos, a consecuencia de respirar aire cargado de humo, pueden evitar que el aire inhalado llegue a los pulmones. Como el aire cargado de humo es deficiente en oxígeno, la víctima se asfixia muy pronto si no puede salir al aire libre. El humo suele ser pobre en oxígeno, pero contiene monóxido de carbono, que también ocasiona asfixia. Los productos plásticos expuestos al fuego despiden gases tóxicos que pueden ser mortales.

### 5.9 Consideraciones Económicas

Los cálculos de optimización para una caldera siempre requieren que se consideren factores económicos y termodinámicos. No conviene hacer una proposición económica del diseño para condiciones termodinámicas cuyos cálculos indiquen que se trata de la planta con la más alta eficiencia. A medida que se logra mayor aproximación al pico de la curva de eficiencia, se observa que la mayor ganancia que se podría obtener al mejorar las condiciones de operación empieza a declinar progresivamente, y el costo para lograr esa mayor ganancia no será económico si el ahorro que se logre de combustible queda contrarrestado por el efecto del incremento resultante en el costo de capital. Las condiciones de operación "económicas" (que son distintas de las termodinámicamente óptimas) serán aquellas a las que se logre el justo equilibrio entre ambas; su determinación se ilustra mediante el siguiente cálculo que muestra cómo se puede estimar la presión de vapor económica en una planta sin recalentamiento (el método es de aplicación general). Los siguientes parámetros adicionales a los termodinámicos se utilizan en los cálculos:

S : Costo del combustible, en colones por tonelada ( $10^3$  kg)

V : Valor térmico del combustible, MJ/kg

L : Factor de carga de la planta, %

R : Porcentaje de gravamen al capital (interés, fondo de amortización, etc.)

E : Costo del capital de la planta, en colones por MW de producción.

Se va a suponer que la planta opera a carga de diseño completa todo el tiempo que trabaje, aunque eso implique que sólo opera L% del año. Por tanto, el cálculo sólo es aplicable a la estación de carga básica.

Los primeros cuatro parámetros anteriores se pueden agrupar para formar un factor de operación "m" dado por:

$$m = \frac{SL}{VR} \quad (5-1)$$

Si se hace una breve consideración se demostrará que mientras más grande sea el valor de "m", mayor será la presión económica. (Puede notarse que el costo del combustible para un usuario potencial tendría que estar ligado al valor térmico del combustible; entonces S y V ya no serían variables independientes y el costo del combustible se tendría que cargar por cada mil MJ).

Se desea determinar hasta qué magnitud será económico continuar con el desarrollo de la presión de vapor más allá del "dato de presión" seleccionado arbitrariamente para el cual se va a diseñar la caldera. Para esto, se requieren los siguientes datos obtenidos de los cálculos termodinámicos:

$\eta_p$  : % de la eficiencia global de la caldera a las condiciones de vapor

$\delta$  : % de reducción del "gasto térmico" en la planta como resultado del desarrollo de las condiciones del vapor tomadas arbitrariamente, donde el "gasto térmico" de la caldera es el recíproco de la eficiencia global.

Entonces, por cada MJ generado:

Reducción del consumo de combustible

$$= \frac{S}{\eta_b V} \text{ Kg/MJ} \quad (5-2)$$

Ahorro monetario:

$$= \frac{S}{\eta_b V} \times 10^3 \text{ ¢/MJ} \quad (5-3)$$

De igual manera, por MW de capacidad instalada,

$$\text{MJ generados por año} = 8760 \times 3600 \times L / 100 = 315.4 \times 10^6 L \quad (5-4)$$

Ahorro monetario por año = (5-3) x (5-4)

$$\text{Valor del capital del ahorro, } C = \frac{(5-3) \times (5-4)}{R/100} \quad (5-5)$$

$$\text{Finalmente} \quad C = 31\,540 \frac{m}{\eta_b} \text{ ¢/MW} \quad (5-6)$$

Desde el punto de vista económico conviene incrementar más la presión de diseño siempre y cuando el valor del capital del ahorro para un incremento dado de presión exceda al gasto o desembolso adicional del capital debido al aumento de la presión. De ahí que, si E es el costo del capital de la planta, expresado en colones por MW de producción, entonces a la "presión económica",

$$\frac{dE}{dp} = \frac{dc}{dp} = 31\,540 \frac{m}{\eta_b} \frac{dS}{dp},$$

$dS/dp$  es la pendiente de la gráfica de S con respecto a p, por consiguiente, la presión económica será aquella en la que una línea de la pendiente económica es tangente a la curva, de donde

$$\frac{dS}{dp} = \frac{\eta_b}{31\,540m} \frac{dE}{dp} \quad (5-7)$$

En un periodo de inflación elevada, los valores numéricos citados de S y  $dE/dp$  pronto serían obsoletos. Debido a ello, a medida que aumente la inflación se esperará que los valores de estas cantidades se mantengan aproximadamente a la par.

Hasta ahora se ha tratado de una caldera con operación a carga básica para la que se supuso que el factor de carga L permanecería

constante durante toda la vida útil de la planta. sin embargo, debido a que la caldera se vuelve cada vez más obsoleta a medida que transcurre el tiempo, se le da prioridad a la operación de plantas más recientemente construidas de mayor eficiencia. Por tanto, la suposición de que el factor de carga se mantiene constante es irreal cuando se efectúan los cálculos relacionados con la recuperación del préstamo o capital durante el periodo de vida de una caldera. Debido a que los cargos económicos son tan importantes como los análisis termodinámicos, se examinan en forma breve los factores que intervienen en la recuperación del capital.

Una vez construida el sistema de vapor a un costo determinado de capital de ( $\phi C$ ) y habiendo solicitado una gran suma de dinero como préstamo para la construcción, se presenta la necesidad de pagar el préstamo, con un interés pertinente a una tasa de  $r$  %, por un periodo que se extienda durante la vida esperada de la planta. Dicho pago debe hacerse en cuotas anuales (anualidades), lo que constituye un cargo constante al capital de  $\phi C$  (colones) que se utilizará para el pago del préstamo. Al calcular este cargo, se debe aplicar la técnica conocida como recuperación y amortización del capital (RAC). Esto tiene en cuenta el hecho de que  $\phi X_n$  que se pague al final del año "n" no recuperaría la suma total del préstamo sino una pequeña cantidad  $\phi X_n / (1+r/100)^n$ . En este contexto a estas cantidades se les dan las denominaciones siguientes:

- $\phi X_n$  = "Cantidad de efectivo" para el año n.
- $\phi X_n / (1+r/100)^n$  = "Cantidad a amortizar" durante el año n.
- $1 / (1+r/100)^n$  = "Factor de amortización" para el año n (también se llama "valor actual" de  $\phi$ , que se abona para el pago del préstamo en n años).

La cantidad  $\phi X_n$  sería el producto de la carga al capital por cada unidad de producto vendida, es decir,  $\phi c$ , para el número de unidades que se producirían en un año al operar la planta con el

factor de carga  $L_n$  pronosticado para ese año. El valor de "c" se cargaría en la forma que a continuación se describe.

Queda claro del análisis anterior que, con el fin de pagar durante un período de N años (o sea la vida esperada de la planta) la deuda total equivalente al costo del capital  $\phi C$  de la planta, se debe satisfacer la siguiente expresión:

$$C = \sum_{n=1}^{n=N} [x_n / (1 + \frac{r}{100})^n] \quad (5-8)$$

Como  $x_n$  es una función de la carga de capital  $c$  (que se toma como una constante) y del factor de carga  $L_n$ , el cual varía con "n", la determinación del valor de "c" que satisfaga la Ec. (5-8). Cada término corresponde a un año en la vida esperada para la planta. Es evidente, de la forma de la Ec. (5-8), que la contribución a la sumatoria durante los últimos años de la operación de la planta será muy pequeña. Esto favorece el análisis RAC, puesto que minimiza el efecto en las finanzas de los pronósticos de los últimos años de operación y que, además, son los menos confiables.

En los cálculos del RAC se utilizan varios valores de la tasa de interés  $r$  de acuerdo con el propósito del análisis y si se va a considerar la posibilidad de que se presente una inflación. En este contexto, es importante hacer notar que la "aparente" caída del valor de  $\phi_1$  con el tiempo, la cual es el resultado de la aplicación del factor de amortización, sólo se obtiene al aplicar el interés compuesto y no tiene conexión con la inflación.

El cargo que se hizo a las condiciones económicas del vapor al inicio de esta sección se llevó a cabo en términos de colones de valor fijo. En ausencia de inflación, la tasa de interés citada relativamente baja sería aceptable para un inversionista prudente. Sin embargo, en un período inflacionario, el inversionista

esperaría una recuperación mucho mayor de capital para proteger el poder de compra del dinero que le fue prestado. En tal caso convendría utilizar una tasas de interés bastante alta en los cálculos de la amortización que debe reflejarse en cada unidad de producción durante el período de vida de la planta. Además, el cargo que se haga se debe ajustar año tras año para compensar los altos costos del combustible que resulten de la inflación.

## CAPÍTULO VI

### EJEMPLO DE APLICACIÓN

#### 6.1 Introducción

Para complementar el diseño del sistema de alimentación de combustible propuesto, es necesario demostrar su aplicación en una caldera específica. En este capítulo se supondrá una caldera comúnmente utilizada en los ingenios azucareros, la cual se modificará de manera que pueda utilizar bagazo de caña como combustible principal.

#### 6.2 Enunciado

Se requiera acondicionar una caldera de tubos de fuego de retorno horizontal similar a la mostrada en la Fig. 1-1, de tal forma que pueda utilizar ya sea broza y/o aceite pesado No. 6. Las características generales de la caldera son las siguientes:

Capacidad de la caldera:	250 BHP
Número de pasos:	2
Dimensiones del tambor:	Ø2m x 4m
Dimensiones del horno:	4.5m largo, 2.5m ancho y 3.0m alto.
Tipo de broza:	Bagazo de caña 30% de humedad

Como es común, la caldera puede estar dentro de un ingenio azucarero, teniendo a disposición inmediata energía eléctrica y condiciones industriales de trabajo.

### 6.3 Diseño

Antes de iniciar el diseño, se debe aclarar que el diseño corresponde únicamente a las partes asociadas con el sistema de modulación de combustible mixto, y no a todo el conjunto de la caldera. Los sistemas a diseñar son los siguientes:

- a) Sistema de aire de combustión
- b) Sistema de alimentación de combustible
- c) Sistema de alimentación de gas
- d) Sistema de aire de atomización

#### 6.3.1 Sistema de Aire de Combustión

Para encontrar el caudal de aire necesario para la combustión se obtiene de la siguiente manera:

Se sabe que para el bagazo de caña con 30% de humedad se necesitan 4.02 lbs de aire por libra de bagazo para su combustión y que esto produce 5 307 BTU por lb de bagazo<sup>(21)</sup>, por tanto:

$$250 \text{ BHP} \times \frac{33\,500 \text{ BTU/hr}}{1 \text{ BHP}} = 8\,375\,000 \text{ BTU/hr}$$

$$8\,375\,000 \text{ BTU/hr} \times \frac{1 \text{ lb bag.}}{5\,307 \text{ BTU}} \times \frac{4.02 \text{ lb aire}}{1 \text{ lb bag.}} = 6\,343.97 \text{ lb aire/hr}$$

$$\text{Vol} = \text{m}^3/\text{hr} = 6\,343.97/1.1774 = 5\,388.11 \text{ m}^3/\text{hr}$$

$$Q = 5\,388.11 \text{ m}^3/\text{hr} \times \frac{35.32 \text{ pie}^3}{1 \text{ m}^3} \times \frac{1 \text{ hr}}{60 \text{ min}} = 3\,171.8 \text{ cfm}$$

$$Q = 3\,171.8 \text{ cfm}$$

---

<sup>(21)</sup> Datos tomados del trabajo de graduación "Optimización del Uso del Bagazo de Caña en Calderas de Ingenios Azucareros", referida en la bibliografía.

La velocidad de salida del ventilador, en el ducto de aire se obtiene mediante la Tabla 2-4:

para edificios industriales  
y salidas de ventiladores: 1 700 - 2 800 pies/min

tomando un valor intermedio:  $v = 2\ 200$  pies/min

Cálculo de la sección transversal del ducto, a la salida del ventilador con  $Q = 3\ 171.8$  cfm y  $v = 2\ 200$  pies/min

$$Q = Av \Rightarrow A = Q/v = 3\ 171.8/2\ 200$$

$$A = 1.44 \text{ pies}^2$$

Suponiendo que a la salida del ventilador las dimensiones del ducto son  $W$  (ancho) y  $H$  (alto) y que  $W = 1.2H$ , se tiene:

$$A = W \times H = 1.2H \times H = 1.2H^2, \Rightarrow 1.44 = 1.2H^2$$

$$\Rightarrow H = 1.095 \text{ pies}$$

$$W = 1.31 \text{ pies}$$

La longitud de la tubería desde el ventilador centrífugo hasta la entrada de la caldera, según las dimensiones mostradas en el plano de detalle del intercambiador de calor es:

$$L = 2(4.5) + 2(1.5)$$

$$L = 12 \text{ m}$$

$$L = 36.4 \text{ pies}$$

Cálculo de las pérdidas por fricción en los ductos, Tabla 2-3, con una velocidad de  $2\ 200$  pies/min y el caudal de  $3\ 171.8$  cfm, se encuentran las pérdidas en plg  $H_2O$  por 100 pies de longitud de tubería

$$\begin{array}{r} 0.5 \text{ plg } H_2O \text{ ————— } 100 \text{ pies} \\ \times \text{ ————— } 36.4 \text{ pies} \\ \hline x = (0.5 \times 36.4)/100 = 0.182 \text{ plg } H_2O \end{array}$$

Cálculo de pérdidas en rejillas y accesorios (Tabla 2-2)

rejillas:  $0.1 - 0.2 \Rightarrow \Delta P = 0.15 \text{ plg H}_2\text{O}$

calentadores de aire:  $0.1 - 0.35 \Rightarrow \Delta P = 0.225 \text{ plg H}_2\text{O}$

$$\begin{aligned} \text{Pérdida total: } P &= P_{\text{ductos}} + P_{\text{rejillas}} + P_{\text{calentadores}} \\ P &= 0.182 + 0.15 + 0.225 \\ P &= 0.557 \text{ plg H}_2\text{O} \end{aligned}$$

con margen de seguridad de 15%:

$$P = 0.557 \times 1.15 = 0.6405 \text{ plg H}_2\text{O}$$

$$P = 5/8 \text{ plg H}_2\text{O (aprox.)}$$

Por lo tanto, el ventilador centrífugo que se necesita tendrá las siguientes características<sup>(22)</sup>

Presión estática :	5/8 "H <sub>2</sub> O
Diámetro del rotor :	12 5/8"
Potencia del motor :	1 HP, 1725 rpm
Voltaje :	115/230 V, 60 Hz
Tipo de motor:	split
Caudal:	3 200 cfm
Dimensiones:	h = 13 7/18"      w = 15 5/8"

### 6.3.2 Sistema de Alimentación de Combustible

El sistema de alimentación de combustible se muestra en la Fig. 1-3, en donde se muestran todos los accesorios y dispositivos utilizados. La selección de los elementos más importantes se describirá a continuación.

La selección de la bomba de combustible se realiza a partir de la Tabla 6-1 Equipo de Bombeo para Aceite Combustible No. 6:

<sup>(22)</sup> Tomado del Anexo D.

- con una capacidad de 250 BHP, se debe seleccionar una bomba de engranajes con un motor de  $\frac{3}{4}$  HP, proporcionando 270 GPM a 420 rpm
- la presión de descarga es de unos 75-100 psi
- la altura de succión recomendada es 17 plg Hg
- la bomba será montada cerca del tanque, en la parte inferior de éste.

Tabla 6-1  
Equipo de Bombeo para Aceite Combustible No. 6

CC	Descripción de la bomba	Localización	Modelo y tamaño	Motor	GPH RPM (a 60 ciclos)	Presión de descarga lbs/pulg <sup>2</sup> . operación normal	Altura de succión máxima recomendada Pulg Hg.
80 100	bomba de desplazamiento positivo, rotativa, de engranajes.	La bomba de combustible se embarca suelta, para montarse tan cerca del tanque de combustible como sea posible.	2 CF 1"	1/3	135 420	75-100	17
125-150 200			2 CF 1"	1/2	170 520	75-100	17
250 300 350			3 CF 1"	3/4	270 420	75-100	17
400,500 600,700			3 CF 1 1/4"	1	335 520	75-100	17

La selección del diámetro de tubería de suministro y retorno se determinará a partir de la Tabla 6-2:

Con una caldera de 250 BHP se tiene:

- el diámetro de la tubería del tanque a la bomba  $\varnothing 2\frac{1}{2}$ "
- el diámetro de la tubería de la bomba a la caldera  $\varnothing 1\frac{1}{2}$ "
- el diámetro de la tubería de retorno al tanque  $\varnothing 2$ "

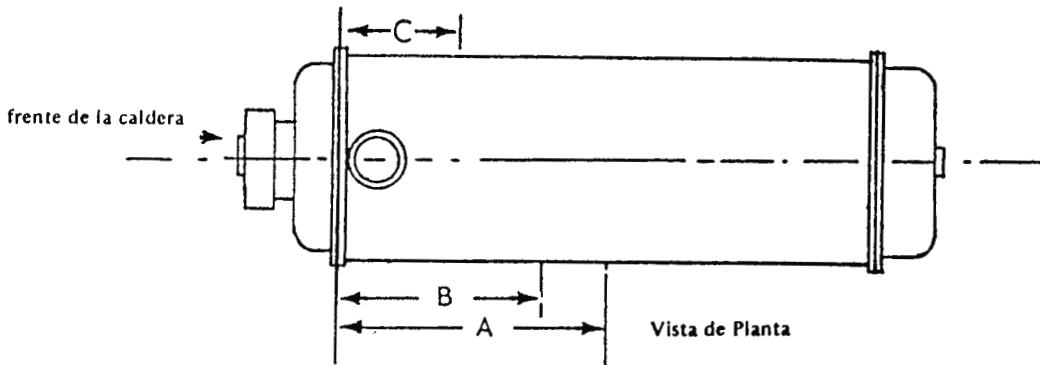
Para el dimensionamiento del tanque de combustible consideraremos lo siguiente:

- para una caldera de 250 BHP:

$$250 \text{ BHP} \times \frac{33\,500 \text{ BTU/hr}}{1 \text{ BHP}} = 8\,375\,000 \text{ BTU/hr}$$

Tabla 6-2  
Tamaño, Localización y Recomendaciones sobre la línea de conexión

Tamaño, localización y recomendaciones sobre la línea de conexión.



Modelo CB

CC	Conexiones de Suministro		Conexiones de retorno		Conexiones del piloto de gas presión requerida 4 pulg. columna de agua		* Tamaño recomendado de la línea de combustible (tubería estandar pulg IPS)		
	Tamaño (Pulg) (NPT) Mínima	Localización de la dimensión "A" (Pulgadas)	Tamaño (Pulg) (NPT)	Localización de la dimensión "B" (Pulgadas)	Tamaño (Pulg) (NPT)	Localización de la dimensión "C" (Pulgadas)	Tanque de almacenamiento a la bomba	Bomba a la caldera	Línea de retorno al tanque
60 80 100	1 1/4	#6 Oil 27 3/4	3/4	# 6 Oil 19 3/4	1/2	28	2	1 1/4	1 1/4
125,150	1 1/4	49 1/2	1/4	39 1/2	1/2	38	2 1/2	1 1/2	2
200	1 1/4	65 1/2	1 1/4	39 1/2	1/2	38	2 1/2	1 1/2	2
250,300 350	1 1/4	89 3/4	1 1/4	59 3/4	1/2	56	2 1/2	1 1/2	2
400,500 600,700	1 1/4	89 3/4	1 1/4	59 3/4	1/2	54	3	2	2

\* Para líneas de succión con una elevación máxima de 10 pies y un total de 100 pies de línea de succión.  
Ver instrucciones de dimensionamiento de la línea de combustible petróleo pesado para sistemas con otras condiciones.

- suponiendo una operación de la caldera de 30 hr semanales y el calor de combustión del petróleo de 150 700 BTU/gln, podemos

obtener el volumen de combustible necesario para trabajar durante ese periodo de tiempo

$$V = \frac{\text{BTU/hr} \times \text{hr}}{\text{BTU/gln}} = \frac{8\,375\,000 \times 30 \text{ hr}}{150\,700} = 1\,667.22 \text{ gln}$$

- para dimensionar el tanque se debe dar un 50% adicionales al volumen para asegurar un margen de seguridad en periodos extras

$$V \text{ tanque} = 1\,667.22 \times 1.5 = 2\,500 \text{ gln} = 9.46 \text{ m}^3$$

- asumiendo que el tanque será de forma cilíndrica con las proporciones  $L = 2D$ , se obtienen las siguientes dimensiones:

$$D = 1.8 \text{ m} \quad L = 3.6 \text{ m}$$

La cantidad de broza por minuto que puede ser introducida a la caldera se obtiene de la siguiente forma:

Volumen desplazado por revolución del tornillo:

$$V = A \times \text{Paso}$$

$$V = \frac{\pi(D^2 - d^2)}{4} \times P$$

$$V = \frac{\pi(D^2 - d^2)P}{4} \text{ m}^3/\text{rev} \quad (6-1)$$

en donde, D: diámetro del sinfín

d: diámetro del eje

P: paso de la hélice

si el tornillo gira a  $w$  rpm, el flujo de broza será

$$V = v \times w$$

$$V = \frac{\pi(D^2 - d^2)Pw}{4} \text{ m}^3/\text{min} \quad (6-2)$$

El tiempo que tardará en llenar el hogar de la caldera con broza el tornillo es de:

$$t = V_h/V, \text{ min} \quad (6-3)$$

donde  $V_h$ : volumen de broza en el hogar  
 $t$  : tiempo en minutos

### 6.3.3 Sistema de Alimentación de Gas

Como se muestra en el plano del sistema de alimentación de gas para una caldera HTR, el sistema consta de dos tanques de gas propano, la línea de gas, un regulador de presión de gas, un manómetro, la válvula solenoide y una válvula primaria de corte.

Para una caldera de 250 BHP se tiene que la presión necesaria de suministro mínimo será de 12" de agua (Tabla 6-3), pero el regulador de presión de gas deberá ser ajustado según la forma de la llama piloto. La tubería generalmente es de  $\frac{1}{4}$ ", ya que el consumo y la caída de presión son muy pequeñas.

Tabla 6-3  
 Presión de Suministro de Gas  
 Requerimientos Mínimos  
 (Pulgadas columna de agua)

BHP	Presión Mínima
60	4"
80	5"
100	6"
125	6"
150	6"
200	9"
250	12"
300	12"
350	13"
400	13"
500	18"
600	22"

#### 6.3.4 Sistema de Aire de Atomización

El sistema de aire de atomización consta de la bomba de aire con el tanque receptor de aceite-aire, línea de aire de atomización, válvula solenoide, válvula de retención y el interruptor de prueba de aire de atomización.

El conjunto de la bomba de aire, tanque receptor, filtro limpiador de aire será del tipo proporcionado por la firma Cleaver-Brooks. La línea de alimentación consistirá de tubería de  $\frac{1}{2}$ " con un acoplamiento flexible en el quemador. Se debe verificar que la presión en el manómetro de aire de atomización debe ser de 7 psi en condiciones normales.

## CONCLUSIONES

1.- Actualmente no existe una forma óptima de aprovechar los residuos orgánicos e interrelacionarlos con otros tipos de combustibles, por lo tanto, el sistema propuesto en el proyecto servirá como guía para todas aquellas personas que deseen optimizar la producción de vapor mediante estos residuos.

2.- Se obtendrá vapor de la caldera con mayor eficiencia ya que la combustión será controlada por un sistema de control que sensorá los distintos parámetros de la caldera, modificando sus controles según las necesidades.

3.- El costo de los combustibles fósiles va en creciente aumento, nunca desde la revolución industrial hasta nuestros días han sido tan costosos; puesto que la Tierra contiene una cantidad finita y la demanda crece año con año, el desarrollo de la tecnología apunta hacia este aspecto, buscando la mayor eficiencia de las plantas industriales con la mínima cantidad de combustible.

4.- La contaminación ambiental ha llegado a puntos preocupantes en la actualidad, incluso en ciertas ocasiones ha sido fatal. Por tanto, toda planta generadora de energía debe llevar a la par los mecanismos apropiados para evitar dicha contaminación. De este criterio dependerá nuestra calidad de vida futura.

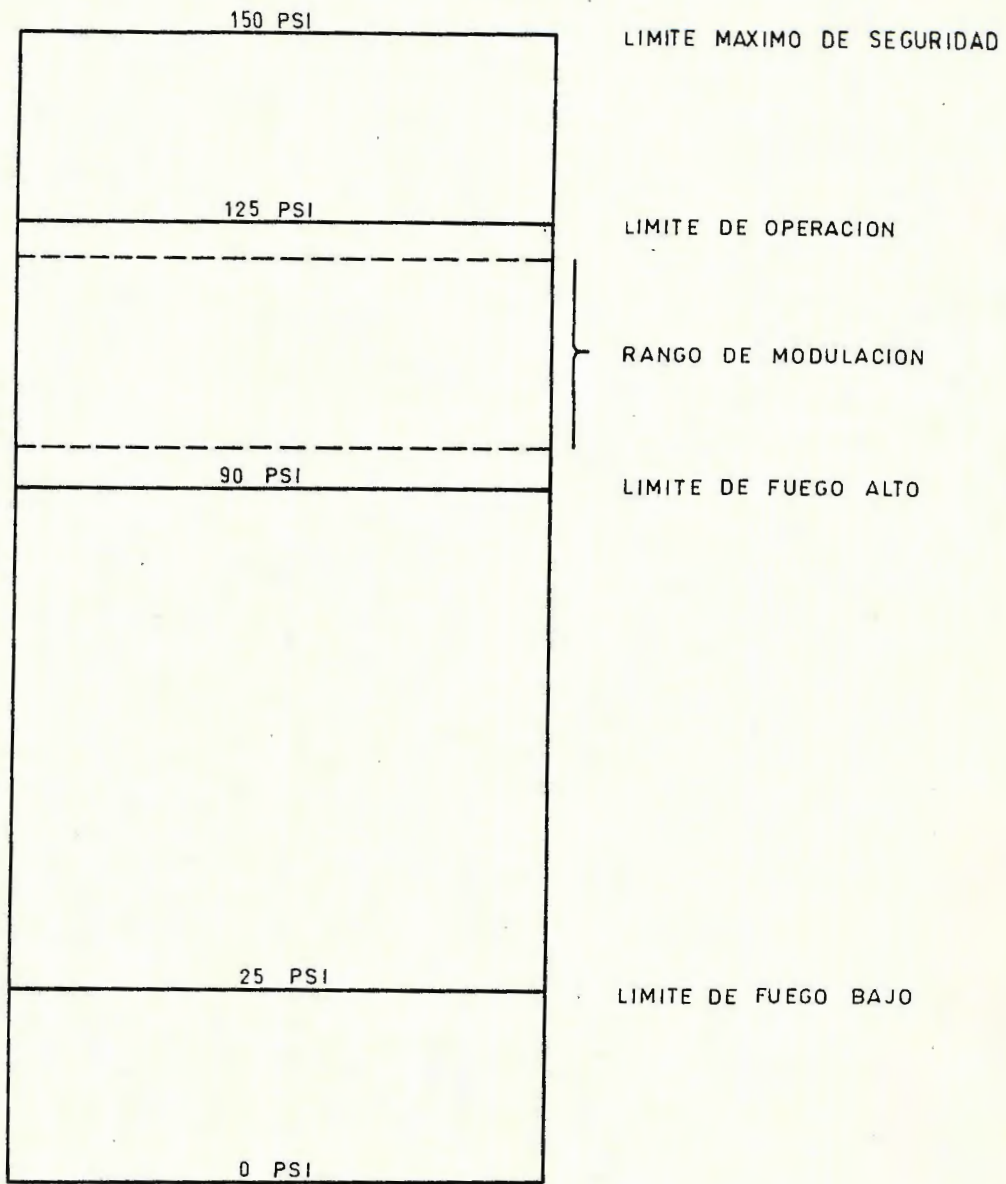
5.- La regeneración y recuperación de calor, el uso de combustibles alternativos (abundante y de bajo costo) y el empleo de sistemas electrónicos de control son las tendencias actuales en el uso del vapor, consecuencia principalmente de la crisis energética que vivimos.

ANEXOS

## A. PLANOS

A continuación se presentan los siguientes planos del sistema de combustible de la caldera:

- Sistema de Combustible
- Distribución de Accesorios
- Niveles de Presión
- Control Programador
- Secuencia de Programación
- Distribución Eléctrica y de Control
- Detalles

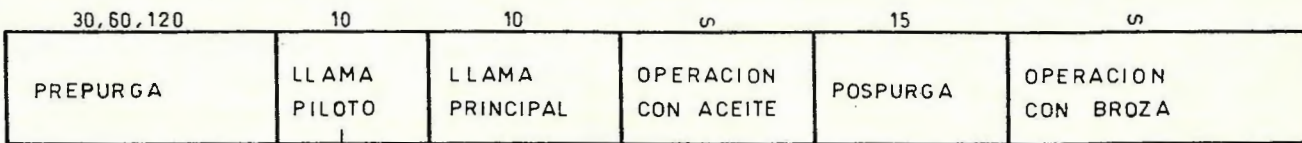


PRESIONES DE OPERACION

CONTROLES DE OPERACION

LIMITES Y CONTROLES DE OPERACION CERRADOS

SECUENCIA DE PROGRAMACION



5

VENTILADOR CENTRIFUGO

QUEMADOR

CHISPA

VALVULA PILOTO

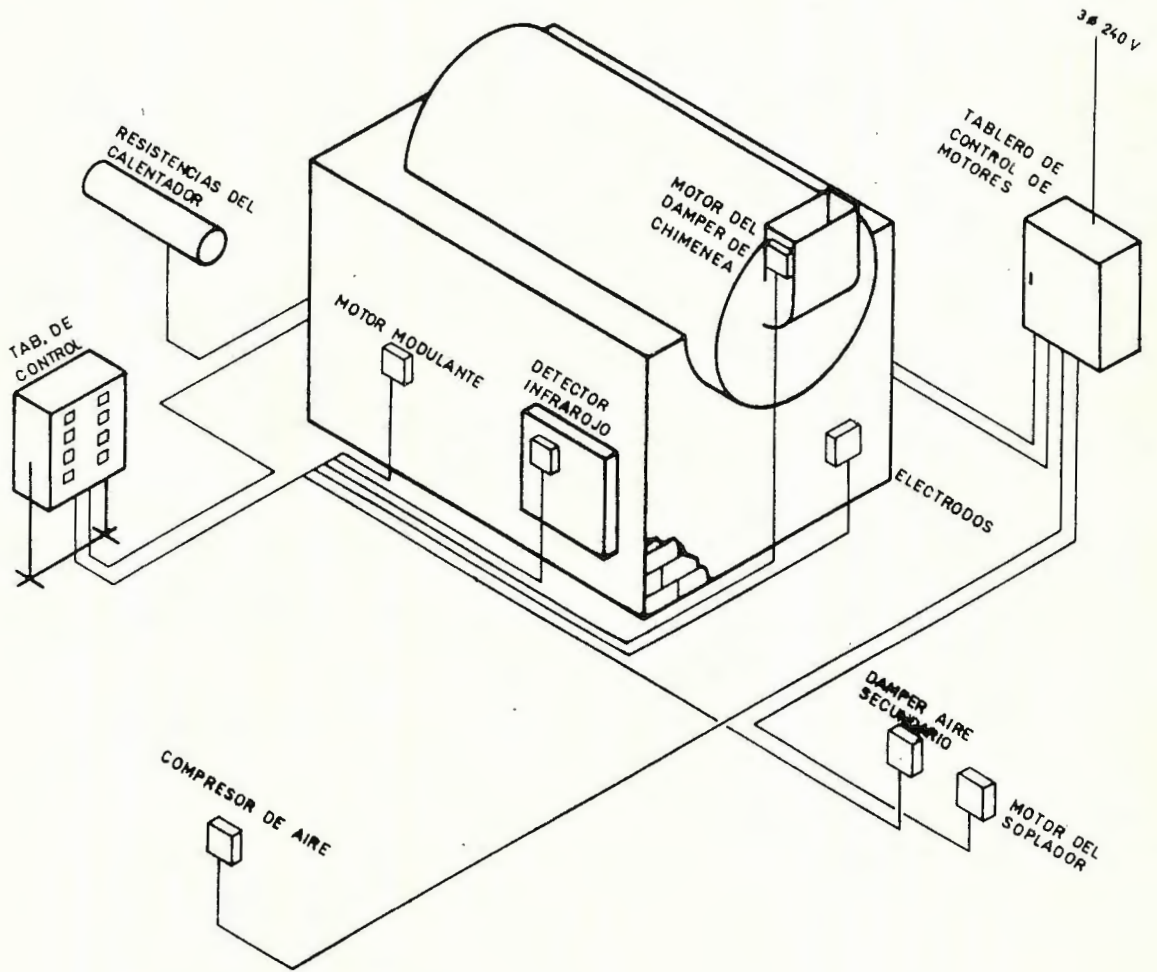
VALVULA PRINCIPAL DE ACEITE

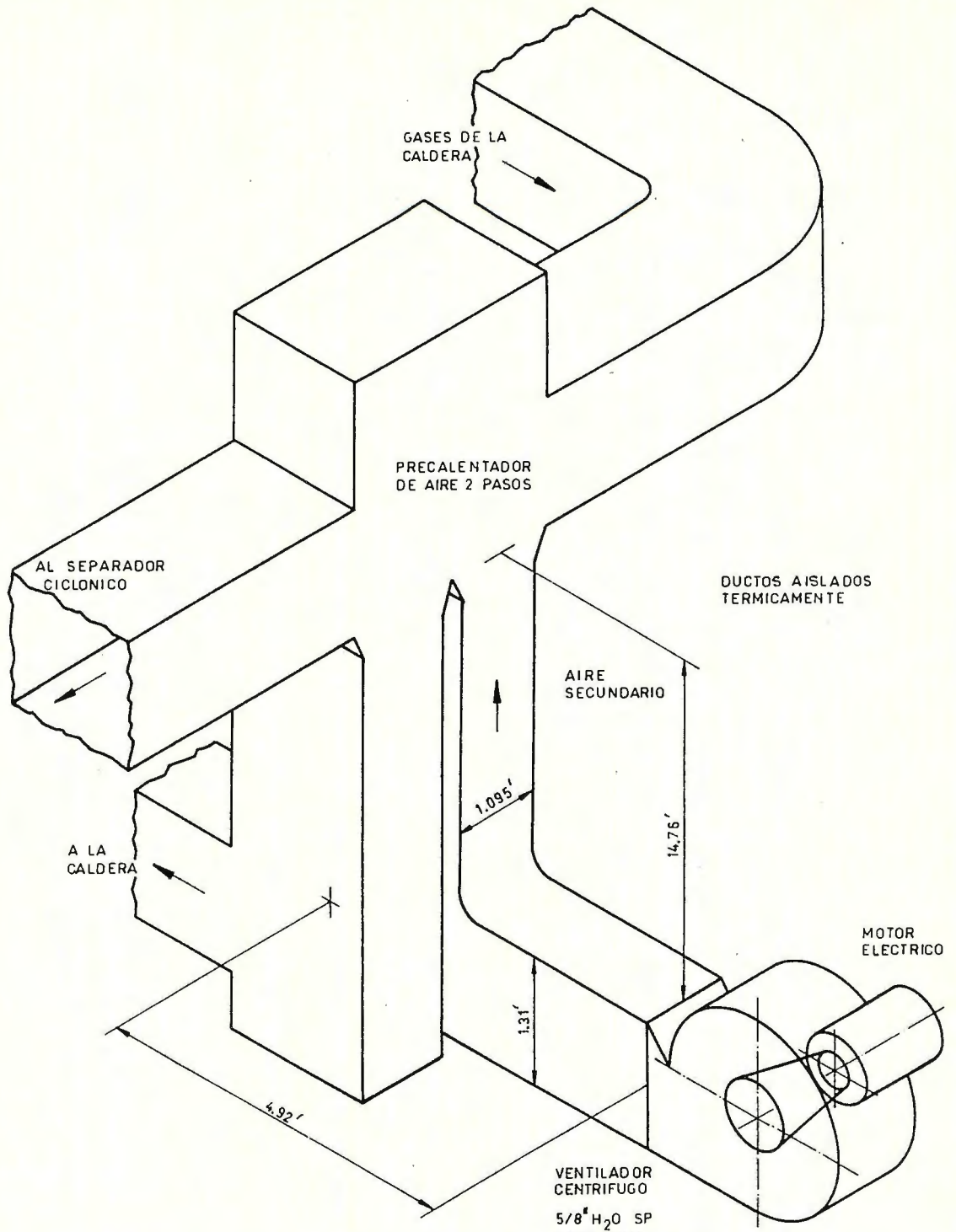
MOTOR MODULANTE



SECUENCIA DE OPERACIONES

DISTRIBUCION ELECTRICA





GASES DE LA CALDERA

PRECALENTADOR DE AIRE 2 PASOS

AL SEPARADOR CICLONICO

DUCTOS AISLADOS TERMICAMENTE

AIRE SECUNDARIO

A LA CALDERA

MOTOR ELECTRICO

VENTILADOR CENTRIFUGO  
 5/8" H<sub>2</sub>O SP  
 2200 CFM  
 3/4 HP  
 115/230 V 60 HZ  
 1725 RPM MOTOR  
 910 RPM VENTILADOR

4.92'

1.31'

1.095'

14.76'

## B. GUÍA DE SELECCIÓN DE MOTORES

(1) Alimentación. La alimentación monofásica es la alimentación más comúnmente usada. Los motores monofásicos pueden operar en un sistema trifásico cuando está conectada apropiadamente a cualquiera de las tres fases. Un motor trifásico es más barato y más durable que un motor monofásico con la misma potencia, pero debe considerarse el costo adicional de la instalación de la línea trifásica.

(2) Tipo de Motor. Un motor de fase partida es una buena elección cuando la carga de arranque es pequeña (sopladores y ventiladores movidos por fajas) o cuando la carga no se aplica hasta que se alcanza la velocidad de operación (sierras de mesa y taladros). Los motores de polo sombreado y de capacitor permanente separado son usados normalmente para sopladores y ventiladores manejados directamente. Los motores de arranque por capacitor se usan en bandas transportadoras, compresores de aire y otros equipos que tienen cargas altas de arranque. Los motores trifásicos se usan para aplicaciones con el torque de arranque más alto y donde se disponga de alimentación trifásica.

(3) Potencia y Velocidad del Motor. (Véase Fig. B-1). Se debe chequear los datos de placa si se reemplaza un motor. En equipos nuevos se debe seguir las recomendaciones del fabricante. En general, el precio y el tamaño físico de los motores aumentan con el incremento de la potencia y la disminución de la velocidad.

(4) Rodamientos. Los motores con rodamientos de manguitos se usan en cargas moderadas. Por lo general pueden ser montados en cualquier posición y son más silenciosos y baratos que los motores con rodamientos de bolas. Los motores con rodamientos de bolas se recomiendan para mecanismos con cargas pesadas.

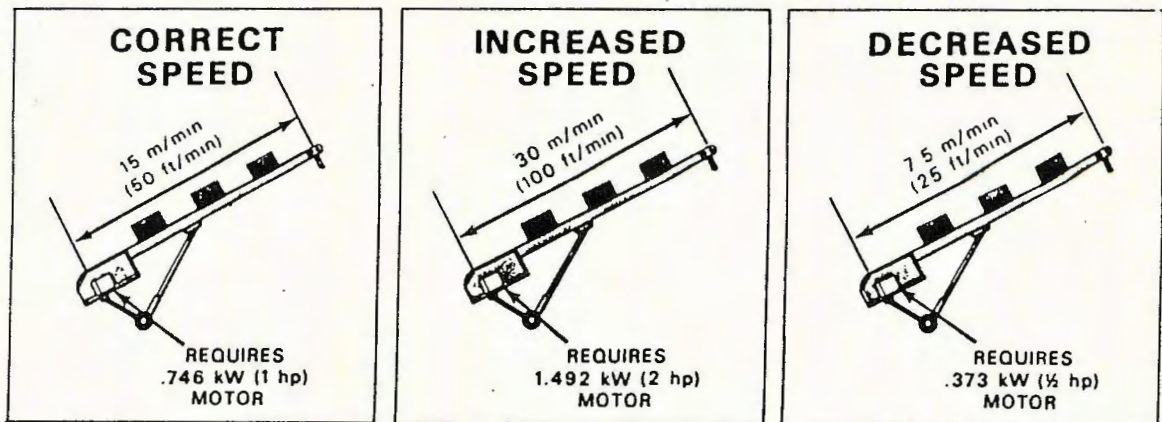


Fig. B-1. La velocidad y la potencia son importantes cuando se selecciona un motor eléctrico para un trabajo.

(5) Voltaje. Las especificaciones nominales del motor debe concordar con el voltaje y la frecuencia (Hz) de la alimentación.

(6) Carcasa. Los motores abiertos a prueba de goteo son usados en áreas que está secas, limpias y ventiladas. Si deben se instalan en exteriores, el motor debe protegerse con una cubierta que no restrinja el flujo de aire. Condiciones húmedas y polvosas requieren carcasas totalmente cerradas. En condiciones peligrosas, sin importar su grado, se requiere un motor a prueba de explosión. Una máquina para localizaciones peligrosas (a prueba de explosión) es una máquina totalmente cerrada en la cual la carcasa esta diseñada y construida para soportar una explosión de un vapor o gas específico que pueda ocurrir dentro de la máquina y para prevenir la ignición de un gas o vapor específico que pueda ocurrir en la cubierta (NEMA 1.26.3). Se debe asegurar la clase y grupo nominal del motor conforme a los requerimientos de una localización peligrosa.

(7) Dimensiones de Eje y Montaje. Seleccione si debe tener estructura NEMA u otro tipo de normalización de motores, apropiada para acoplarse a las dimensiones existentes o nuevas (Fig. B-2).

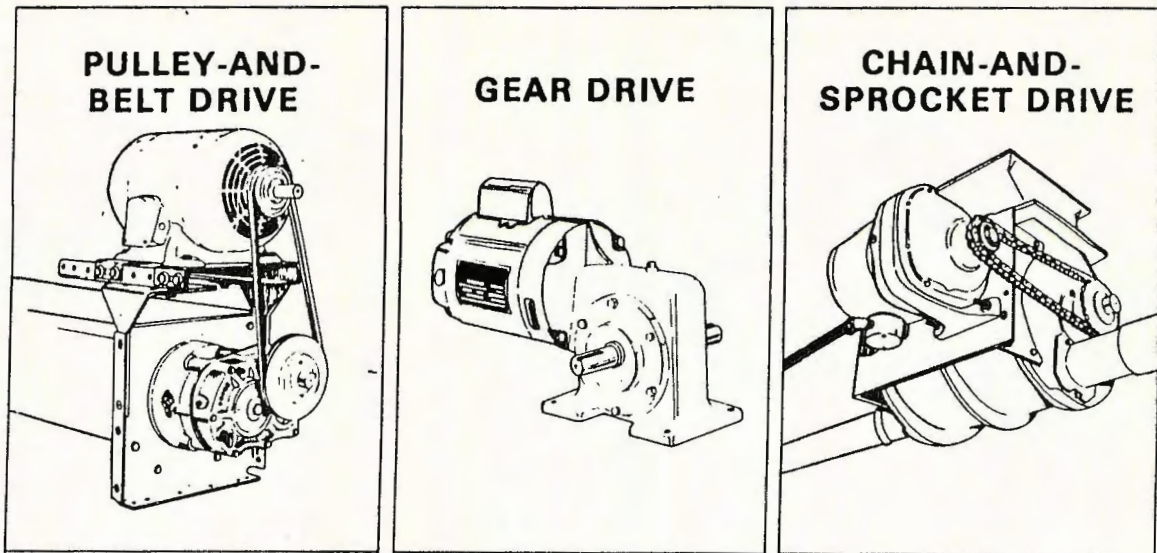


Fig. B-2. Los tipos más comunes de acoplamientos en motores.

(8) Protección Térmica. El uso de motores con protección térmica o arrancadores de motores con relevadores de sobrecargas térmicas protege contra sobrecalentamientos provocadas falla en el arranque o sobrecargas. La protección puede ser un arrancador que cumpla con el Art. 430 del NEC, un motor con protección térmica integral incorporada (un motor protegido térmicamente) o un motor protegido por impedancia.

Para motores de potencia fraccional, los que tienen protección térmica integral ("protector built-in", Fig. B-3) es un poco mas caro pero de instalación más simple. Para motores de potencia integral, se debe usar siempre un arrancador de motores.

Los motores con protección térmica con restablecimiento automático no debe usarse con motores de arranque automático ya que puede ser peligroso. Si existe esta condición debe usarse motores con protección térmica de restablecimiento manual. Algunas aplicaciones con arranque automático son en compresores, bandas transportadora, herramientas, equipos de granjas y algunos ventiladores.

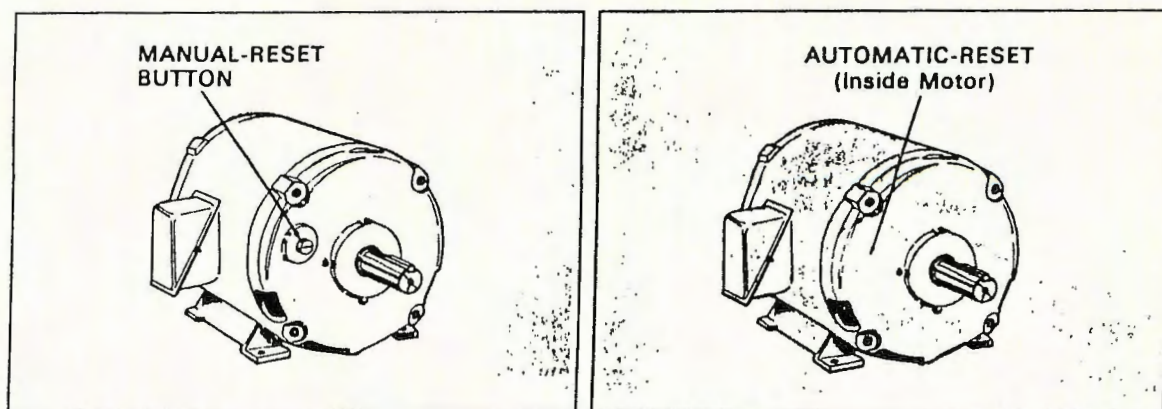


Fig. B-3. Tipos de control de sobrecarga dentro del motor.

(9) Capacitores de Operación para Motores con Capacitor Permanente Separado (PSC, "Permanent Split Capacitor"). Los valores nominales de los capacitores según la potencia del motor pueden variar dependiendo de la aplicación y la marca. El funcionamiento y valor del capacitor es esencial para la apropiada operación del motor. Para asegurar la máxima eficiencia y vida útil del motor, siempre use el capacitor correcto según como lo especifique su placa de valores nominales.

## C. GUÍA DE SELECCIÓN DE REDUCTORES

### (1) Seleccionando un Reductor.

Un reductor es un dispositivo eléctrico/mecánico que utiliza un motor eléctrico para manejar un tren de engranajes dentro de su cubierta. El tren de engranajes reduce la velocidad de salida incrementando el torque disponible.

Los reductores están diseñados para mover un objeto en una dirección y velocidad (RPM) dada, proporcionando el torque requerido. La selección del reductor debe ser un proceso fácil una vez los requerimientos de salida están identificados.

Es indispensable conocer los requerimientos de velocidad y torque de la carga a manejar. Algunas veces deben considerarse las cargas y ambientes severos antes de que el dispositivo manejador sea seleccionado. La potencia no es un factor importante en la selección de un reductor normal, ya que cada reductor está diseñado para un nivel de funcionamiento específico.

### (2) Consideraciones Mecánicas.

Velocidad. Existen velocidades de salida desde menos de 1/2 RPM hasta casi 300 RPM, dependiendo del tipo de motor y razones de velocidad de los engranajes. Basado en la aplicación, se debe considerar si habrá modificación adicionales a la velocidad producidas sistemas de mecanismos por poleas antes de determinar la velocidad de salida del reductor.

Torque de Arranque. Proporciona la potencia inicial para mover el mecanismo. En una banda transportadora grande, los requerimientos de torque de arranque pueden ser altos mientras que anuncios publicitarios rotantes pueden requerir muy poco torque

para vencer la resistencia. Reductores pequeños generalmente tienen las especificaciones de torque de arranque y operación por separado. Reductores de cargas más pesadas generalmente solo tienen especificado su torque de plena carga (en operación) debido a que su torque de arranque es relativamente alto.

Torque de Operación (Plena Carga). Es la fuerza continua que mantiene en movimiento las cosas después del arranque inicial y debe mantener la potencia bajo todas las situaciones de carga variable para proporcionar el servicio adecuado. El torque de operación es el máximo torque disponible para una operación continua y segura. Recuerde que la frecuencia de arranques y paros requerirá usar el torque de arranque más frecuentemente. Esto puede producir un calentamiento excesivo, causando falla prematura en el motor.

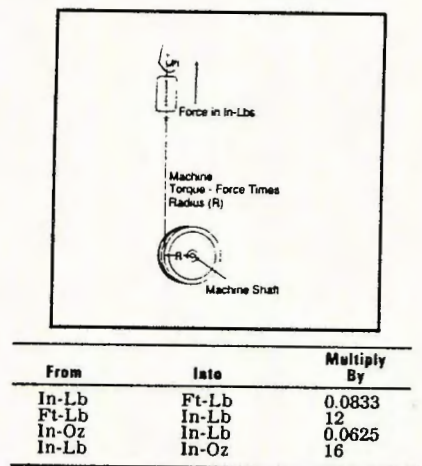


Fig. C-1. Método de medición del torque.

### (3) Cargas.

Una carga son todos los dispositivos conectados al mecanismo que moverá el eje del reductor. No todas las cargas que se acoplan a un reductor tienen requerimientos de velocidad y torque estable. Algunas cargas demandan picos de potencia del reductor durante el

ciclo de funcionamiento. Eso puede ser, en algunos casos, excesivo para los engranajes del reductor. También, las condiciones ambientales y las restricciones de espacio necesitan ser tomadas en cuenta.



Fig. C-2. Simbología usada en los tipos de carga.

(4) Engranajes/Material.

Ejes Paralelos. Los reductores de eje de entrada y salida en paralelo incluyen diseños de engranajes helicoidales y rectos. Los engranajes de la primera etapa son generalmente helicoidales para bajo ruido, hechos de un material fenólico, nylon o acero. Los engranajes posteriores son usualmente metálicos, según requiere el nivel de funcionamiento del reductor. Los reductores de ejes paralelos proporcionan alta eficiencia en paquetes compactos.

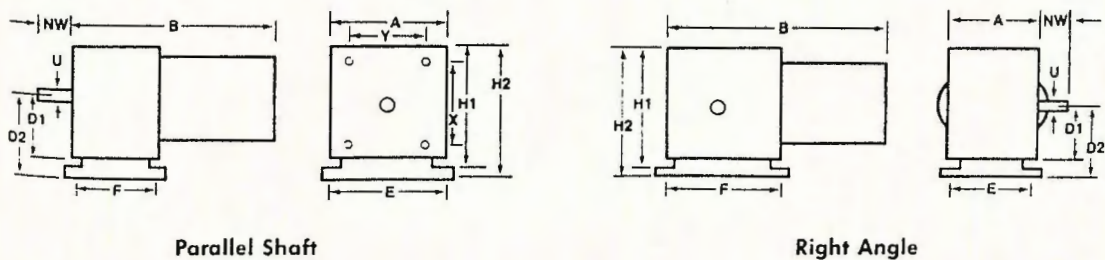


Fig. C-3. Dimensiones de referencia para reductores.

Ejes Rectos. Estos incluyen predominantemente el tipo sinfín de maquinado a precisión. El tornillo sinfín es usualmente de bronce, pero puede ser de hierro fundido. Los reductores de ángulo recto tienden a ser de construcción más fuerte, manejan cargas de alto impacto y operan más silenciosamente que los de ejes paralelos del mismo tamaño, pero a menudo son menos eficientes.

## D. SOPLADORES ACCIONADOS POR FAJAS

Suitable for 80 to 90% of normal blower applications for residential heating, and heating and cooling systems. Widely used for commercial heating, ventilation cooling, and similar air-moving systems.

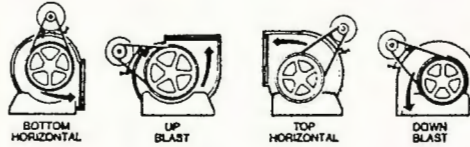
For standard heating or ventilation systems, use blowers listed at free air to 3/8" static pressure. For systems with higher static pressures, use blowers listed from 1/2 to 3/4" static pressure.

Heavy gauge, die-stamped steel housing. 9 1/2 to 18 1/2" double width blower wheels. Ground and burnished shaft. Sealed sleeve bearings.

Continuous duty 115/230V, or 230/460V, resilient mounted, automatic reset thermal protected motors. Motor and appropriate drives for bottom horizontal discharge packed separately when ordered. A longer or shorter belt may be required with other discharge positions.

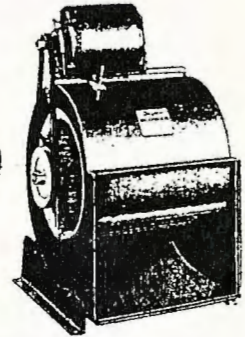
### HIGH EFFICIENCY BLOWERS

Identical to blowers listed above but have Dayton 1/4, 1/3, 1/2, and 3/4 HP, 1725 RPM, 115V, 60 Hz Wattrimmer motors. Provide substantial energy savings and lower operating costs. Motors UL Recognized Component and CSA certified. Refer to Dayton Wattrimmer Motor listings for typical energy and cost savings.



### 4 TYPICAL DISCHARGE POSITIONS

Mounting supports and blower sides pre-punched in proper areas for quick assembly for above discharges. Motor mount and hardware included.



Wheel Dia W		BLOWER DIMENSIONS				Less Motor & Drive			Shpg. Wt.		
Shaft Dia	Outlet H	W	Overall H	W	D	Stock No.	List	Each			
9 1/2"	7 1/2"	3/4"	7 1/2"	9 1/2"	14"	13"	13"	4C669	\$90.50	\$54.19	15.0
9 1/2"	9 1/2"	3/4"	10 1/4"	11 1/4"	17"	15"	15"	2C972	93.10	55.76	22.1
10 1/2"	10 1/2"	3/4"	11 1/2"	13 1/2"	19"	17"	17"	2C974	102.60	61.43	25.0
12 1/2"	12 1/2"	1"	13 1/2"	15 1/2"	22"	20"	19"	2C978	150.55	90.18	40.0
15"	15"	1"	15 1/2"	18 1/2"	26"	23"	23"	2C978	213.95	129.30	58.0
18 1/2"	18 1/2"	1"	18 1/2"	21 1/2"	31"	29"	27"	2C980	391.10	234.20	80.0



### PERFORMANCE FOR HEATING OR VENTILATING SYSTEMS

CFM AIR DELIVERY AT RPM SHOWN					BLOWER WITH 1725 RPM MOTOR AND DRIVE								
Wheel Dia	Free Air	1/8" SP	1/4" SP	3/8" SP	Blower RPM	HP	Volts 60 Hz	Full-Load Amps @ 115V	Motor Type	Stock No.	With Automatic Thermal Protection List	Each	Shpg. Wt.
9 1/2"	1090	1015	735	—	690	1.6	115	—	Split	7F887	\$202.72	\$125.02	30.6
	1580	1350	1000	—	625	1.4	115	—	Split	7C655	206.01	127.61	39.0
10 1/2"	1750	1400	—	—	492	1.4	115	—	Split	7C657	212.49	132.47	41.2
	2060	1790	1420	—	560	1.3	115	—	Split	7C659	229.39	142.67	42.4
12 1/2"	2680	2280	1700	—	425	1.3	115	—	Split	7C661	281.82	176.85	58.2
	3140	2820	2420	1800	500	1/2	115	—	Split	7C663	328.76	205.14	62.3
15"	3950	3450	2800	—	405	1/2	115	—	Split	7C665	390.22	245.25	81.0
	4550	4150	3600	2850	458	3/4	115/230	—	Split	7C667	443.10	276.92	84.4
18 1/2"	6300	5700	4500	—	350	1	115/230	—	Cap	7C670	724.07	452.88	116.0
	6300	5700	4500	—	350	1	230/460	—	3-Ph	7C604†	662.61	415.19	107.0
HIGH EFFICIENCY BLOWER WITH WATTRIMMER MOTOR													
9 1/2"	1090	1015	735	—	690	1.4	115	3.2	Cap	7F918†	227.83	140.18	33.6
	1580	1350	1000	—	625	1.4	115	3.2	Cap	7F712	223.96	138.40	40.0
10 1/2"	1750	1400	—	—	492	1.4	115	3.2	Cap	7F715	230.44	143.26	42.2
	2060	1790	1420	—	560	1/3	115	4.1	Cap	7F717	247.34	153.54	45.4
12 1/2"	2680	2280	1700	—	425	1/3	115	4.1	Cap	7F719	299.77	187.72	61.2
	3140	2820	2420	1800	500	1/2	115	6.2	Cap	7F721	346.71	216.01	65.3
15"	3950	3450	2800	—	405	1/2	115	6.2	Cap	7F723	408.17	256.12	84.0
	4550	4150	3600	2850	458	3/4	115	8.3	Cap	7F771	452.08	282.32	85.0


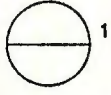

### PERFORMANCE FOR HEATING AND AIR CONDITIONING SYSTEMS

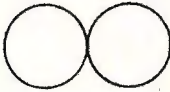
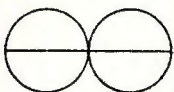
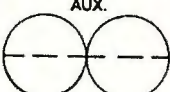
CFM AIR DELIVERY AT RPM SHOWN					BLOWER WITH 1725 RPM MOTOR AND DRIVE								
Wheel Dia	Free Air	1/2" SP	5/8" SP	3/4" SP	Blower RPM	HP	Volts 60 Hz	Full-Load Amps @ 115V	Motor Type	Stock No.	With Automatic Thermal Protection List	Each	Shpg. Wt.
9 1/2"	•	1100	810	—	990	1.3	115	—	Split	7F888	\$234.71	\$144.10	33.8
	•	1840	1580	1000	959	1.2	115	—	Split	7C071	287.09	176.38	45.9
10 1/2"	•	2080	1660	—	837	1.2	115	—	Split	7C072	286.55	177.03	47.2
	•	2500	2200	1800	910	3.4	115/230	—	Split	7C073	345.60	212.53	52.1
12 1/2"	•	3100	2680	—	692	3/4	115/230	—	Split	7C074	408.25	253.01	69.8
	•	3600	3280	2840	750	1	115/230	—	Cap	7C075	488.93	303.32	76.4
•	3600	3280	2840	750	1	230/460	—	3-Ph	7C062†	422.74	262.82	67.4	
HIGH EFFICIENCY BLOWER WITH WATTRIMMER MOTOR													
9 1/2"	•	1100	810	—	990	1.3	115	4.1	Cap	7F919†	252.66	154.98	36.8
	•	1840	1580	1000	959	1.2	115	6.2	Cap	7F727	305.04	187.25	48.9
10 1/2"	•	2080	1660	—	837	1.2	115	6.2	Cap	7F729	304.50	187.90	50.2
	•	2500	2200	1800	910	3.4	115	8.3	Cap	7F772	354.58	217.93	52.7
12 1/2"	•	3100	2680	—	692	3.4	115	8.3	Cap	7F773	417.23	258.41	70.4

(†) These blowers should not be installed in a system having below 1/2" static pressure; see table above for air delivery between free air and 3/4" SP. (‡) 230/460V 60 Hz. (¶) 3-phase motors—NOT thermally protected. (†) Reduced housing size.


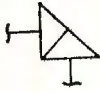


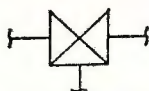
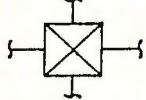
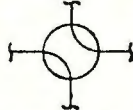

## E. SIMBOLOGÍA

### Simbolos generales



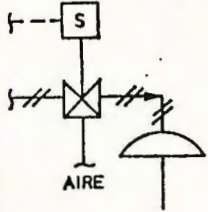
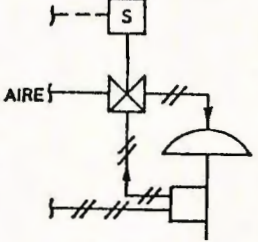
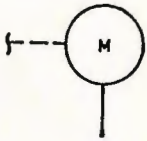
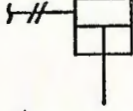
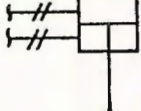


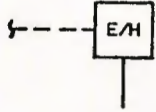
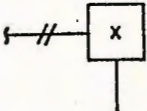
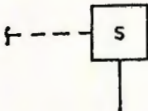

 <p>∅ aprox. 7/16" = 11,1mm</p> <p>LOCAL</p>	 <p>MONTAJE EN PANEL 1</p>	 <p>MONTAJE DETRAS DEL PANEL</p>	
<p>INSTRUMENTO PARA UNA VARIABLE MEDIDA CON CUALQUIER NÚMERO DE FUNCIONES</p>			

 <p>MONTAJE LOCAL</p>	 <p>MONTAJE EN PANEL</p>	 <p>AUX.</p> <p>MONTAJE DETRAS DE PANEL AUXILIAR</p>	
<p>INSTRUMENTO PARA DOS VARIABLES MEDIDAS. OPCIONALMENTE INSTRUMENTO CON MAS DE UNA FUNCION. PUEDEN AÑADIRSE CIRCULOS ADICIONALES SI SE PRECISAN</p>			

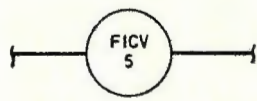
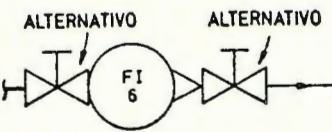
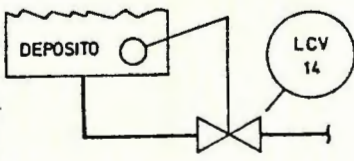
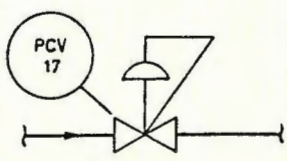
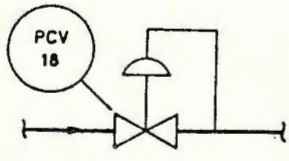
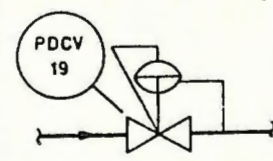
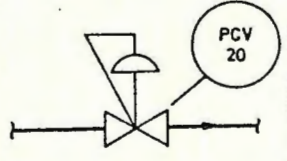
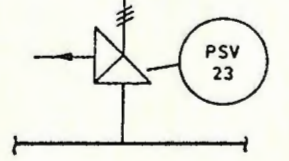
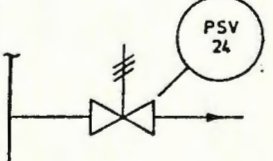
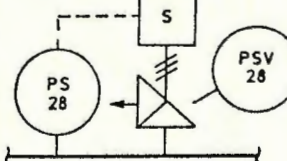
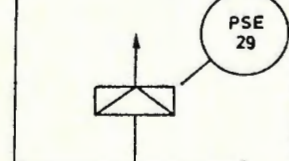
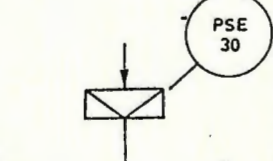
### Simbolos para válvulas de control

 <p>GLOBO, COMPUERTA U OTRA</p>	 <p>ANGULO</p>	 <p>MARIPOSA, PERSIANA O COMPUERTA</p>	 <p>OBTURADOR ROTA- TIVO O VALVULA DE BOLA</p>
 <p>TRES VIAS</p>	 <p>ALTERNATIVA 1</p>  <p>ALTERNATIVA 2</p> <p>CUATRO VIAS</p>		
 <p>SIN CLASIFICAR</p>			

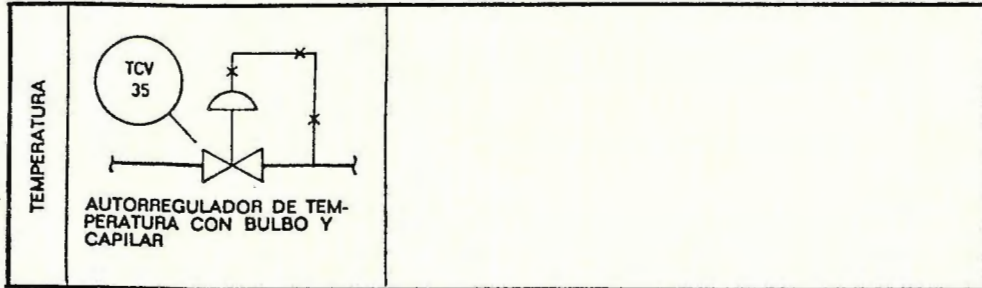
**Símbolos para actuadores**

 <p>SIN POSICIONADOR</p>	 <p>PREFERIDA PARA DIAFRAGMA CON PILOTO (POSICIONADOR VALVULA SOLENOIDE, ...)</p>	 <p>AIRE</p> <p>PREFERIDO</p>	 <p>AIRE</p> <p>OPCIONAL</p>
<p>DIAFRAGMA CON MUELLE</p>		<p>DIAFRAGMA CON MUELLE, POSICIONADOR Y VALVULA PILOTO QUE PRESURIZA EL DIAFRAGMA AL ACTUAR</p>	
 <p>MOTOR ROTATIVO</p>	 <p>SIMPLE ACCIÓN</p>  <p>DOBLE ACCIÓN</p> <p>CILINDRO SIN POSICIONADOR U OTRO PILOTO</p>		
 <p>PREFERIDO PARA CUALQUIER CILINDRO</p>	 <p>ACTUADOR MANUAL</p>	 <p>ELECTROHIDRAULICO</p>	
 <p>SIN CLASIFICAR</p>	 <p>SOLENOIDE</p>	 <p>PARA VALVULA DE ALIVIO O DE SEGURIDAD (DENOTA UN MUELLE, PESO, O PILOTO INTEGRAL)</p>	

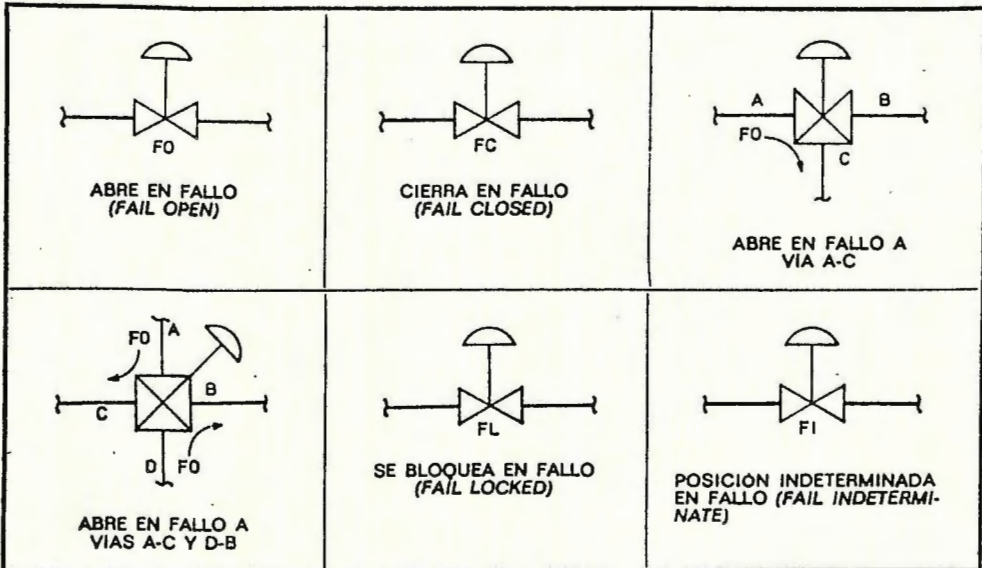
**Autoreguladores**

<p>CAUDAL</p>	 <p>REGULADOR AUTOMÁTICO CON INDICACIÓN INTEGRAL DEL CAUDAL</p>	 <p>ALTERNATIVO ALTERNATIVO</p> <p>ROTAMETRO INDICADOR CON VALVULA MANUAL DE REGULACION</p>	
<p>NIVEL</p>	 <p>CONTROLADOR DE NIVEL CON ENLACE MECANICO</p>		
<p>PRESION</p>	 <p>AUTORREGULADOR DE PRESION CON TOMA INTERIOR</p>	 <p>AUTORREGULADOR DE PRESION CON TOMA EXTERIOR</p>	 <p>REGULADOR REDUCTOR DE PRESION DIFERENCIAL CON TOMAS INTERIOR Y EXTERIOR</p>
	 <p>AUTORREGULADOR DE PRESION POSTERIOR CON TOMA INTERIOR</p>	 <p>VALVULA DE ALIVIO O DE SEGURIDAD DE ANGULO</p>	 <p>VALVULA DE ALIVIO O DE SEGURIDAD DE PASO RECTO</p>
	 <p>VALVULA DE ALIVIO O DE SEGURIDAD DE ANGULO DISPARADA POR SOLENOIDE</p>	 <p>DISCO DE RUPTURA PARA PRESION</p>	 <p>DISCO DE RUPTURA PARA VACIO</p>

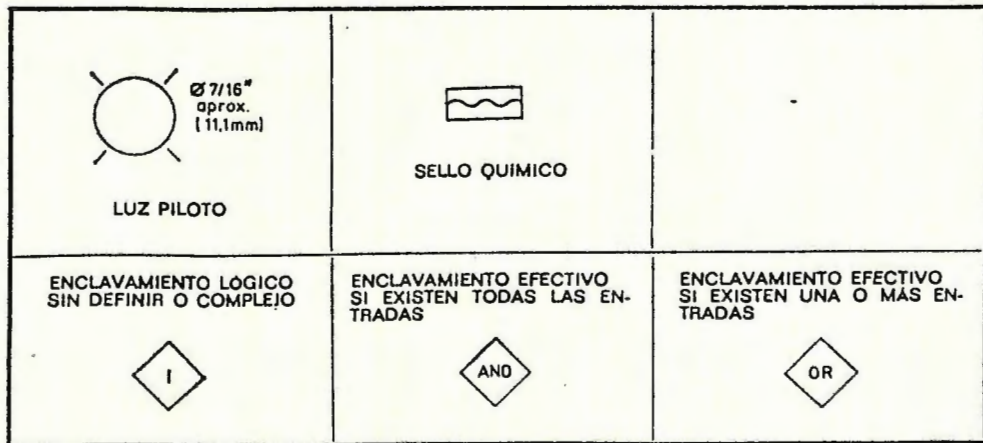
**Autoreguladores (Cont.)**



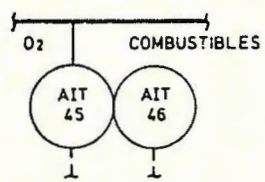
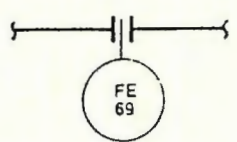
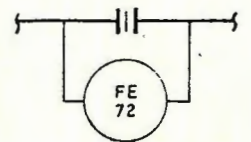
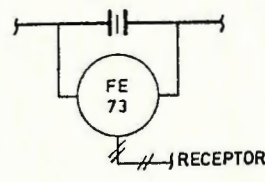
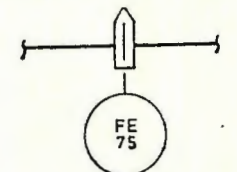
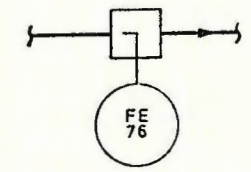
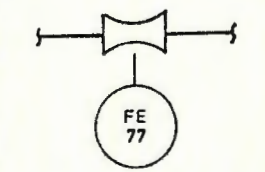
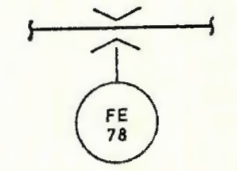
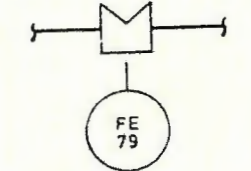
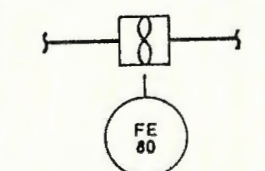
**Acción del actuador en caso de fallo de aire (o de potencia)**



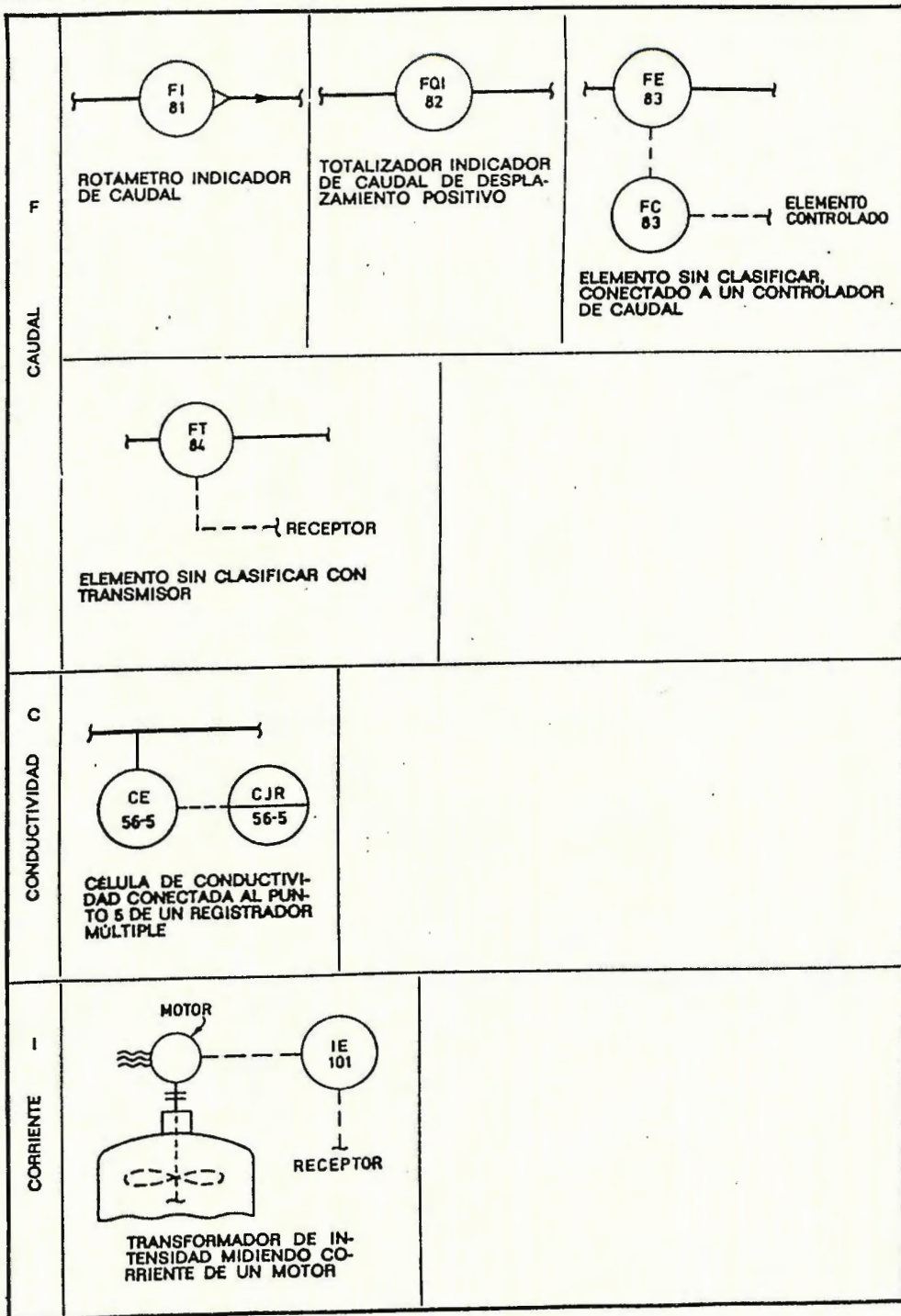
**Símbolos varios**



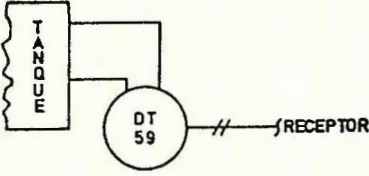
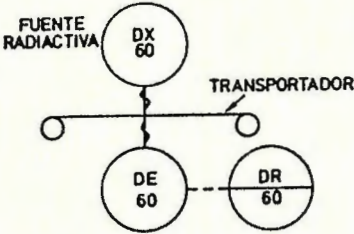
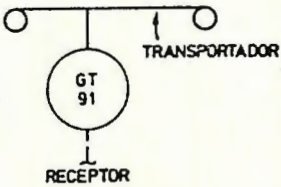
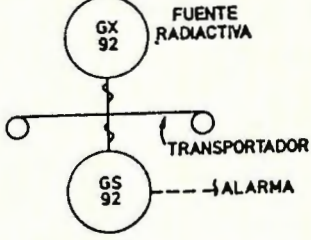
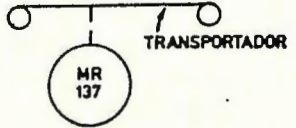
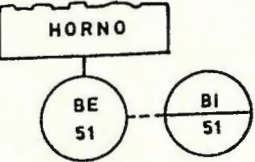
**Elementos primarios**

<p>A</p> <p>ANALISIS</p>	 <p>RECEPTOR RECEPTOR</p> <p>ANALISIS DOBLE DE OXI-GENO Y COMBUSTIBLE</p>		
	 <p>PLACA-ORIFICIO CON TOMAS EN LA BRIDA O EN LA CAMARA ANULAR</p>	 <p>PLACA-ORIFICIO CON TOMAS EN LA VENA CONTRAIDA, RADIALES O EN LA TUBERIA</p>	 <p>PLACA-ORIFICIO CONECTADA A UN TRANSMISOR DE PRESION DIFERENCIAL</p>
<p>F</p> <p>CAUDAL</p>	 <p>PLACA-ORIFICIO CON ACCESORIO DE CAMBIO RAPIDO</p>	 <p>TUBO PITOT O TUBO VENTURI-PITOT</p>	 <p>TUBO VENTURI O TOBERA</p>
	 <p>CANAL MEDIDOR</p>	 <p>VERTEDERO</p>	 <p>ELEMENTO DE TURBINA</p>

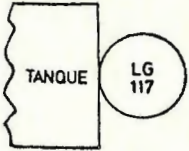
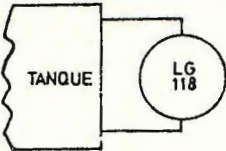
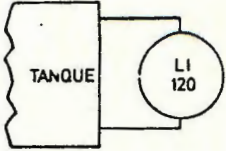
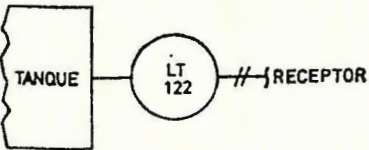
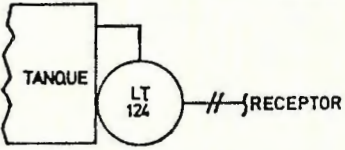
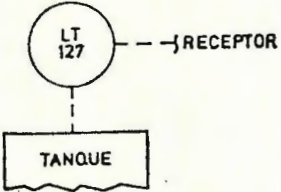
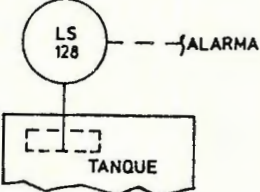
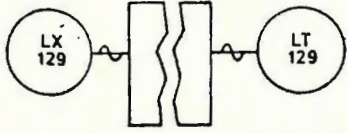
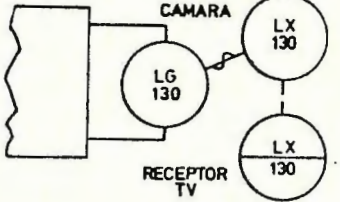
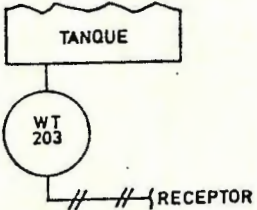
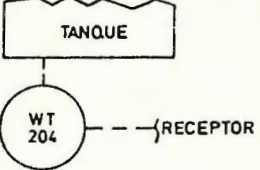
Elementos primarios (Cont.)



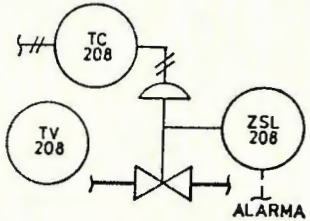
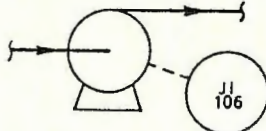
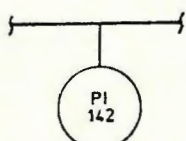
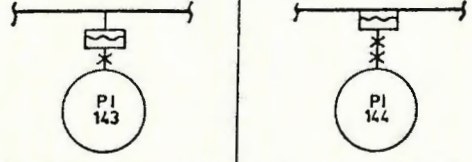
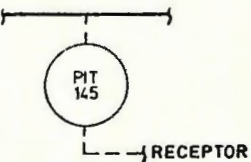
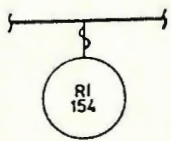
Elementos primarios (Cont.)

<p>D DENSIDAD O PESO ESPECIFICO</p>	 <p>TRANSMISOR DE DENSIDAD DE PRESIÓN DIFERENCIAL</p>	 <p>ELEMENTO RADIATIVO DE DENSIDAD CONECTADO A UN REGISTRADOR EN PANEL</p>
<p>G ESPESOR</p>	 <p>TRANSMISOR DE RODILLO</p>	 <p>INTERRUPTOR DE ESPESOR RADIATIVO</p>
<p>M HUMEDAD</p>	 <p>REGISTRADOR DE HUMEDAD</p>	
<p>B LLAMA</p>	 <p>DETECTOR DE LLAMA CONECTADO A UN INDICADOR DE INTENSIDAD DE LLAMA</p>	

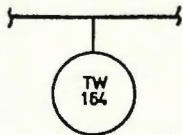
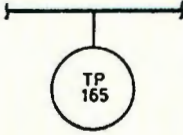
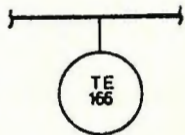
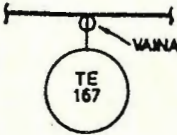
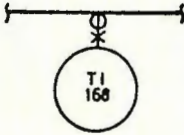
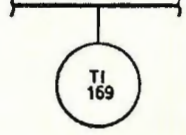
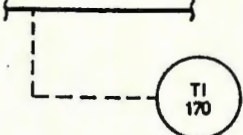
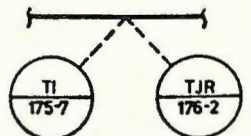
Elementos primarios (Cont.)

	 <p>TANQUE LG 117</p> <p>NIVEL DE VIDRIO INTEGRAL CON EL TANQUE</p>	 <p>TANQUE LG 118</p> <p>NIVEL DE VIDRIO DE CO- NEXION EXTERNA</p>	 <p>TANQUE LI 120</p> <p>INDICADOR DE NIVEL DE FLOTADOR O DE DESPLA- ZAMIENTO</p>	
NIVEL	 <p>TANQUE LT 122 RECEPTOR</p> <p>TRANSMISOR DE NIVEL DE FLOTADOR O DESPLAZAMIENTO MONTADO EN EL EXTE- RIOR DEL TANQUE</p>	 <p>TANQUE LT 124 RECEPTOR</p> <p>TRANSMISOR DE NIVEL DE PRESION DI- FERENCIAL MONTADO EN EL TANQUE</p>		
	 <p>LT 127 RECEPTOR</p> <p>TANQUE</p> <p>ELEMENTO DE NIVEL DE CAPACIDAD CONECTADO A UN TRANSMISOR DE NIVEL</p>	 <p>LS 128 ALARMA</p> <p>TANQUE</p> <p>INTERRUPTOR DE NIVEL DE SÓLIDOS DE PALETAS</p>		
	 <p>LX 129 LT 129</p> <p>RECEPTOR</p> <p>TRANSMISOR DE NIVEL RADIATIVO O SÓNICO</p>	 <p>CAMARA LG 130 LX 130</p> <p>RECEPTOR TV LX 130</p> <p>VISION REMOTA DE UN NIVEL DE VIDRIO MEDIANTE CÁMARA DE TELEVISION</p>		
PESO O FUERZA	 <p>TANQUE WT 203 RECEPTOR</p> <p>TRANSMISOR DE PESO DE CONEXION DIRECTA</p>	 <p>TANQUE WT 204 RECEPTOR</p> <p>GALGA EXTENSOMÉTRICA CONECTADA A UN TRANSMISOR DE PESO</p>		

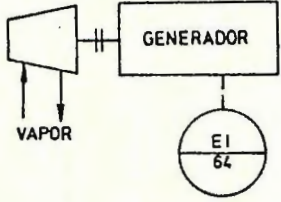

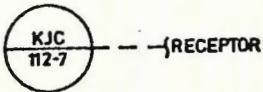
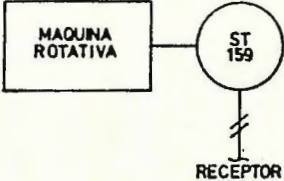
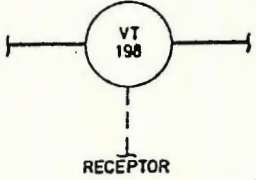
Elementos primarios (Cont.)

<p>Z POSICIÓN</p>	 <p>INTERRUPTOR DE FIN DE CARRERA ACCIONADO CUANDO LA VALVULA CIERRA A UNA POSICIÓN PREDETERMINADA</p>	
<p>J POTENCIA</p>	 <p>VATIMETRO CONECTADO AL MOTOR DE UNA BOMBA</p>	
<p>P PRESIÓN O VACÍO</p>	 <p>MANÓMETRO</p>	 <p>CON LÍNEA DE PRESIÓN      MONTAJE EN LÍNEA</p> <p>MANÓMETRO CON SELLO</p>
<p>P PRESIÓN O VACÍO</p>	 <p>ELEMENTO DE PRESIÓN DE GALGA EXTENSOMÉTRICA CONECTADO A UN TRANSMISOR INDICADOR DE PRESIÓN</p>	
<p>R RADIATIVIDAD</p>	 <p>INDICADOR DE RADIATIVIDAD</p>	

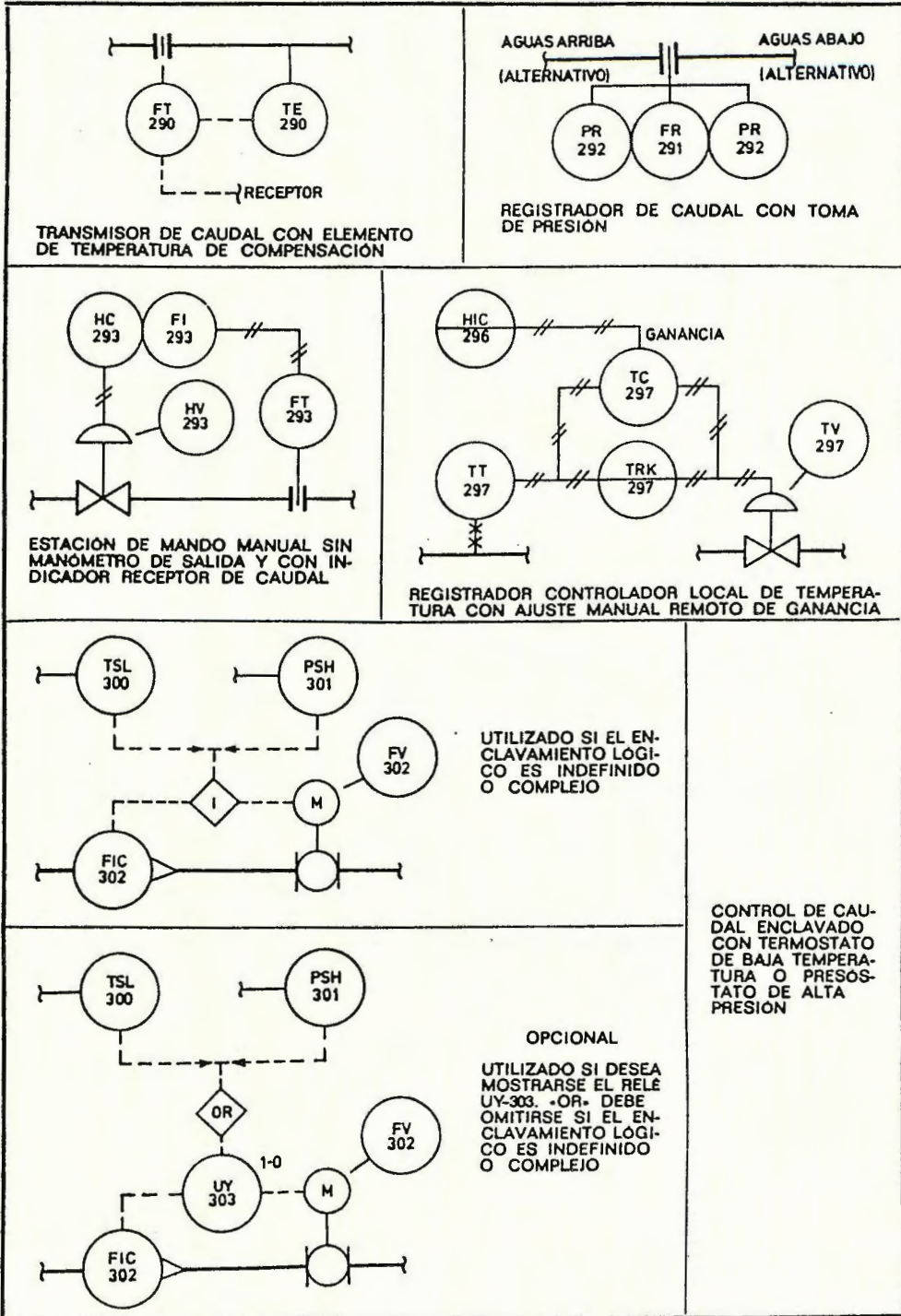
## Elementos primarios (Cont.)

TEMPERATURA			
	<p>CONEXIÓN DE ENSAYO DE TEMPERATURA CON VAINA</p>	<p>CONEXIÓN DE ENSAYO DE TEMPERATURA SIN VAINA</p>	<p>ELEMENTO DE TEMPERATURA SIN VAINA</p>
			
	<p>ELEMENTO DE TEMPERATURA CON VAINA</p>	<p>INDICADOR DE TEMPERATURA DE BULBO Y CAPILAR CON VAINA</p>	<p>TERMÓMETRO BIMETÁLICO O DE VIDRIO U OTRO LOCAL</p>
			
			
	<p>INDICADOR DE TEMPERATURA DE TERMOPAR O DE SONDA DE RESISTENCIA</p>		
	<p>TERMOPAR DOBLE CONECTADO A UN INDICADOR Y UN REGISTRADOR MULTIPLE DE TEMPERATURA</p>		

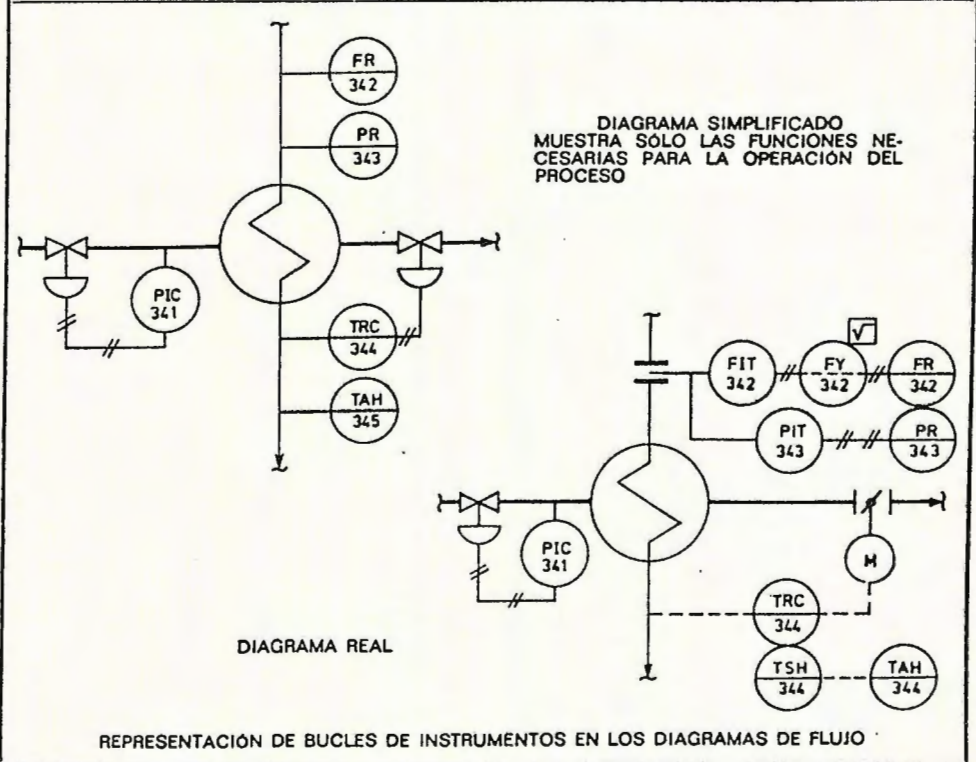
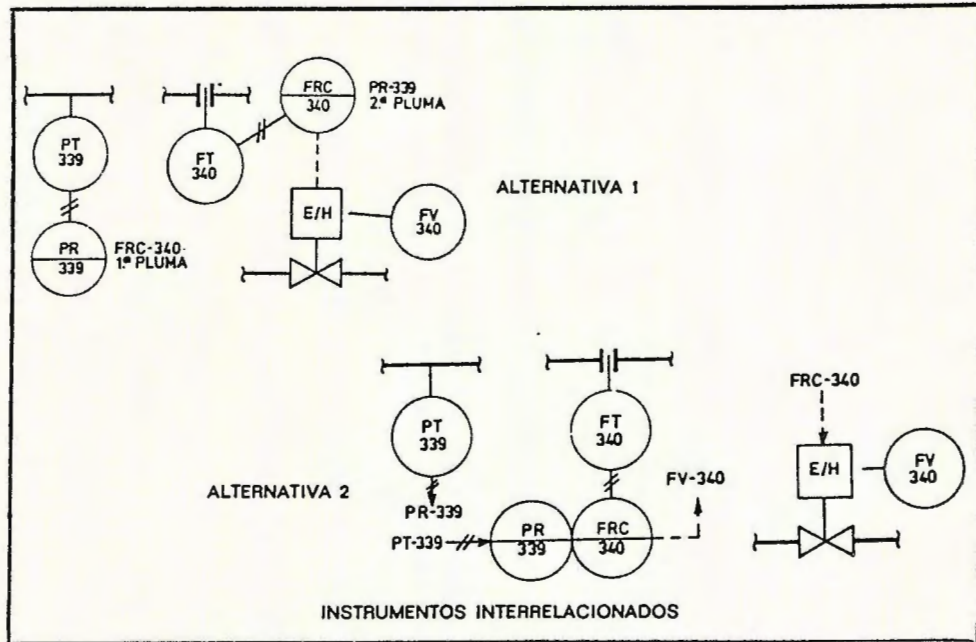
## Elementos primarios (Cont.)

<p style="text-align: center;">E</p> <p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">TENSION</p>	 <p style="text-align: center;">VOLTIMETRO INDICADOR CONECTADO A UN GENERADOR DE TURBINA</p>	
<p style="text-align: center;">K</p> <p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">TIEMPO O PROGRAMADOR</p>	 <p style="text-align: center;">RELOJ</p>	 <p style="text-align: center;">PUNTO 7. PROGRAMADOR MULTIPUNTO. TODO-NADA</p>
<p style="text-align: center;">S</p> <p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">VELOCIDAD O FRECUENCIA</p>	 <p style="text-align: center;">TRANSMISOR DE VELOCIDAD</p>	
<p style="text-align: center;">V</p> <p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">VISCOSIDAD</p>	 <p style="text-align: center;">TRANSMISOR DE VISCOSIDAD</p>	

Sistemas varios



Sistemas varios (Cont.)



## F. ABREVIATURAS

A/D	Analógico/Digital
ASME	American Society of Mechanical Engineers
ASTM	American Society for Testing Materials
BHP	Broiler Horse Power
BTU	British Thermal Unit
CA	Corriente Alterna
CD	Corriente Continua
cd	Candela
cfm	cubic feet per minutes (pies <sup>3</sup> /min)
CMOS	Complementary Metal Oxide Semiconductor
comb	Combustible
CPU	Central Processor Unit
CW	Clockwise
CCW	Counter-clockwise
D/A	Digital/Analógico
DTL	Diode-Transistor Logic
FLA	Full Load Ampere
gln	galón
hr	hora
HTR	Horizontal Tubular de Retorno
Hz	Hertz
IC	Integrated Circuit
I/O	Input/Output
KB	Kilo bytes
Kcal	Kilo caloría
Kg	Kilogramo
lb	libra
LFB	Caldera de hogar locomotor
lm	lumen
LP	Gas licuado de petróleo
LRA	Lock Rotor Ampere
min	minutos
MJ	Mega Joules = 10 <sup>6</sup> Joules

NC	Normally Close
NO	Normally Open
OSHA	Occupational Safety and Health Administration
PLC	Programmable Logic Controls
plg	pulgada
ppm	Partes por millón
q	Calor específico
rev	revoluciones
rpm	revoluciones por minuto
SC	Caldera marina escocesa
SP	Static Pressure
spdt	Single pole doble throw
SSU	Segundos Saybolt Universal
T	Temperatura
TFI	Trial for ignition
TTL	Transistor-Transistor Logic
$\mu\text{m}$	1 micrón = $10^{-6}$ m = $10^{-4}$ cm
VA	Volt-Ampere
VAC	Voltaje de corriente alterna
VDC	Voltaje de corriente continua
Vol	Volumen
VT	Caldera tubular vertical

## G. GLOSARIO

**Amplificador:** instrumento cuya señal de salida equivale a la señal de entrada incrementada y que se alimenta de una fuente distinta de la señal de entrada.

**Balance Térmico:** es un censo de cargas donde se anotan las cantidades de calor y/o las cantidades de vapor utilizado en un proceso industrial, referido a un período de tiempo (una hora generalmente).

**Bit:** unidad de información o dígito binario.

**BTU (British Thermal Unit):** es la cantidad de calor necesaria para elevar un grado Fahrenheit, la temperatura de una libra de agua. Es la unidad de calor en el sistema inglés.

**Caída de Presión:** es la diferencia de presión entre dos puntos, causada por la resistencia a la fricción y condensación en una línea de tubería.

**Calor:** es energía en transición (en movimiento) de un cuerpo o sistema a otro, solamente debida a una diferencia de temperatura entre los cuerpos o sistemas.

**Calor Específico:** es la cantidad de BTU necesarias para elevar la temperatura de 1 lb de petróleo 1°F. Varía entre 0.4 y 0.5, según sea la densidad relativa del petróleo. En pocas palabras, el calor específico indica la cantidad de vapor necesaria para calentar un petróleo a una temperatura deseada. Los petróleos ligeros tienen bajo calor específico; los pesados tienen calor específico elevado.

**Calor Latente:** es la cantidad de calor requerida para lograr el cambio de estado físico de una sustancia sin que existan variaciones en su temperatura.

**Calor Sensible:** es el calor que produce una elevación de temperatura en un cuerpo.

**Carbón:** es un mineral combustible, negro o café negruzco, formado por la descomposición parcial de materias vegetales sin contacto con el aire y con la influencia de la humedad, presión y temperatura. El carbón se encuentra en capas o vetas y se extrae de minas o a cielo abierto.

**Celda Fotoeléctrica:** componente que varía de características cuando se expone a la luz.

**Combustión:** es la combinación violenta, con desprendimiento sensible de calor y luz, del oxígeno del aire con el carbono, hidrógeno y azufre que constituyen los elementos activos de los combustibles sólidos, líquidos y gaseosos.

**Condensación:** es el cambio de vapor (fase gaseosa) a líquido con una transferencia de calor del vapor a la superficie de condensación.

**Conducción:** es la transmisión del calor entre dos cuerpos o partes de cuerpos en los que existe una diferencia de temperatura.

**Control Proporcional:** forma de control en la que existe una relación lineal entre el valor de la variable controlada y la posición del elemento final de control.

**Controlador:** instrumento que compara la variable controlada con un valor deseado y ejerce automáticamente una acción de corrección de acuerdo con la desviación.

**Convección:** es estrictamente un medio de mover energía de un lugar a otro, es un transporte de energía. Ocurre debido a que un fluido en movimiento recoge energía de un cuerpo caliente y la entrega a un cuerpo frío.

**Chimenea:** Es un ducto vertical donde se evacúan los gases de la combustión hacia el medio ambiente.

**Diafragma:** elemento sensible formado por una membrana colocada entre dos volúmenes. La membrana es deformada por la presión diferencial que le es aplicada.

**Domo:** es el área de la caldera donde se ubican los tubos de retorno, el tubo central de combustión (quemadores líquidos) y el agua para la evaporación. También es llamado **Tambor**.

**Ebullición:** es la vaporización de un líquido que tiene lugar en el seno mismo del líquido. La ebullición de un líquido tiene lugar a una temperatura, cuyo valor depende de la presión que está el líquido; mientras mayor sea ésta, mayor será aquella.

**Economizador:** es un dispositivo que recupera calor residual y que calienta el agua de alimentación entrante con los gases calientes de la chimenea que van saliendo.

**Eficiencia de la Caldera:** es la relación entre el calor aprovechado por el fluido (agua y vapor) y el calor que suministra el combustible al mismo en una hora.

**Eficiencia de Combustión:** es la efectividad exclusiva del quemador y está relacionada con su habilidad para quemar totalmente el combustible.

**Eficiencia Térmica:** es la efectividad de la transmisión de calor en un cambiador de calor. Esta no toma en cuenta las pérdidas por radiación y convección (como por ejemplo: el cuerpo de una

caldera, de la columna de agua, de la puerta trasera, etc.) u otras pérdidas varias, tales como: la variación en el poder calorífico, precisión en la medida del combustible, vapor y agua, o peso de los accesorios.

**Energía Radiante:** energía formada por ondas electromagnéticas.

**Evaporación:** es la vaporización de un líquido que tiene lugar exclusivamente en la superficie libre del líquido.

**Gas Natural:** es un gas incoloro e inodoro, consta en su mayor parte de metano ( $\text{CH}_4$ ) y suele contener algo de etano ( $\text{C}_2\text{H}_6$ ) y un poco de nitrógeno. El gas conocido como gas agrio, contiene sulfuro de hidrógeno y vapores de azufre orgánico.

**Hogar:** es la parte del horno donde se produce la combustión.

**Hollín:** es combustible no quemado o quemado parcialmente, significando consecuentemente pérdida en el consumo de combustibles. También es llamado combustible coquizado. Prácticamente es el resultado de una combustión incompleta.

**Horno:** es la parte de la caldera donde se produce la combustión, incluyendo la cámara de combustión, sus paredes y la chimenea.

**Infrarrojo:** zona del espectro electromagnético comprendida entre 0.78 a 300 micras.

**Memoria:** aparato en el que puede introducirse información y extraerse más adelante.

**Micra:** unidad de longitud igual a  $10^{-6}$  metros.

**Petróleo:** es el producto de la descomposición de animales marinos o de vegetales, atrapado en estanques a cierta profundidad

en la tierra. El petróleo crudo contiene de 83 a 87% de carbono y de 10 a 14% de hidrógeno, con rastros de oxígeno, nitrógeno y azufre.

**Potenciómetro:** divisor de tensión ajustable formado por un reóstato de tres terminales, uno de ellos móvil. Instrumento que mide una fuerza electromotriz desconocida mediante su compensación contra una diferencia de potencial conocida producida en un circuito por corrientes conocidas.

**Precalentador de Aire:** un precalentador de aire calienta el aire de la combustión. Generalmente utiliza el calor del gas de salida, pero algunos tipos obtienen su calor de los serpentines de vapor o de otro calor de desperdicio en la planta.

**Presión:** es la fuerza ejercida por el fluido en la unidad de superficie de la pared del recipiente que lo contiene o del seno mismo del fluido. Se mide por medio de un manómetro y se expresa en  $\text{Kg/cm}^2$ ,  $\text{lb/plg}^2$ , bars, Pa.

**Presión Absoluta:** es la presión que resulta de la adición de la presión manométrica y la presión atmosférica.

**Presión de Vacío:** Si la presión absoluta es menor que la atmosférica, a la lectura manométrica se le llama presión de vacío.

**Programador:** instrumento que ajusta su propio punto de consigna o bien el punto de consigna de otro instrumento controlador de acuerdo con un programa prefijado.

**Radiación:** es la transmisión del calor a través de un cuerpo a algún otro por medio de ondas de calor las cuales radian a través del cuerpo con mayor temperatura al otro con menor temperatura, sin tomar en cuenta el calentamiento del medio entre ellos.

**Realimentación:** parte de la señal de salida de un sistema que vuelve a la entrada.

**Ruido:** cualquier perturbación eléctrica o señal accidental no deseadas que modifica la transmisión, indicación o registro de los datos deseados.

**Sensibilidad:** razón entre el incremento de la lectura y el incremento de la variable que lo ocasiona después de haberse alcanzado el estado de reposo. Viene dada en tanto por ciento del alcance de la medida.

**Señal:** salida de información que emana de un instrumento. Información representativa de un valor cuantificado.

**Señal de Salida:** señal producida por un instrumento que es función de la variable medida.

**Señal de Salida Analógica:** señal de salida del instrumento que es una función continua de la variable medida.

**Señal de Salida Digital:** señal de salida del instrumento que representa la magnitud de la variable medida en forma de una serie de cantidades discretas codificadas en un sistema de notación. Se distingue de la señal de salida analógica.

**Sobrecalentador:** es una serie de tubos que reciben vapor del tambor de la caldera, o, si hay un recalentador, de la turbina. El vapor se calienta por arriba de la temperatura de saturación a la presión de la caldera.

**Superficie de Calefacción:** es la superficie de metal que está en contacto al mismo tiempo con los gases de combustión y con el agua o vapor, es decir, es toda superficie de una caldera que está en contacto por un lado con el agua y por el otro está expuesta al fuego o a la corriente de los gases de combustión. Se mide del lado

de los gases en  $m^2$  o  $pies^2$ , en las calderas de tubos de humo y por el lado del agua en las calderas de tubos de agua.

**Temperatura:** la temperatura de un cuerpo, es su estado térmico considerado con referencia a su poder de comunicar calor a otros cuerpos.

**Termistor:** resistencia cuyo valor varía con la temperatura en una forma definida deseada.

**Termopar:** par de conductores de materiales distintos unidos entre sí que generan una fuerza electromotriz cuando las dos uniones están a distintas temperaturas.

**Transductor:** recibe una señal de entrada función de una o más cantidades físicas y la convierte modificada o no a una señal de salida.

**Ultravioleta:** radiación electromagnética de ondas comprendidas entre 136 a 4 000 angstroms.

**Vapor:** es una fase intermedia entre la líquida y la de gas. El vapor tiene características semejantes a los gases, puesto que llenan por completo las paredes del recipiente que los contiene, pero no siguen la ley de los gases perfectos.

**Vaporización:** es el cambio de un cuerpo de la fase sólida o el líquida a la fase de vapor.

## BIBLIOGRAFÍA

- 1.- BROWN Robert H. - HENDERSON G. E. Electric Motors. (Athens, GA - 1990). Quinta Edición.
- 2.- Cleaver Brooks. Manual de Operación, Mantenimiento y Repuestos de Calderas Integradas Modelo CB. (Milwaukee - s.f.).
- 3.- Cleaver Brooks. Catalog No. CB18-6363. (Milwaukee - s.f.).
- 4.- CREUS SOLÉ Antonio. Instrumentación Industrial. (México - 1992). Cuarta Edición.
- 5.- ELONKA Stephen Michael - ROBINSON Joseph Frederick. Operación de Plantas Industriales. (México 1983). Segunda Edición.
- 6.- Fireye. Bolletín D-30. (Waltham 1984).
- 7.- GRAINGER. General Catalog No. 379. (s.f.)
- 8.- HOLMAN J. P. Transferencia de Calor. (México - s.f.).
- 9.- Honeywell. R4795 Catalog No. 60-2285-6. (Minneapolis - s.f.)
- 10.- Honeywell. M941A-D Catalog No. 60-2111-3. (Minneapolis - s.f.)
- 11.- JENNINS Burgess H. - LEWIS Samuel R. Aire Acondicionado y Refrigeración. (México - 1994). Primera Edición.
- 12.- KUTZ Myer. Enciclopedia de la Mecánica. Vol. 6 y 7. (España - s.f.).

- 13.- LENK John D. Handbook of Microcomputer-Based Instrumentation and Controls. (Englewoold Cliffs - 1984).
- 14.- OBERT Edward F. Motores de Combustión Interna. (México - 1992). Segunda Edición.
- 15.- PEARMAN Richard. Solid State Industrial Electronics. (Reston - 1984).
- 16.- SARMIENTO René - FIGUEROA Hector. Optimización del Uso del Bagazo de Caña en Calderas de Ingenios Azucareros. (Tesis, Universidad de El Salvador - 1985).
- 17.- Sociedad Electro Mecánica, S.A. de C.V. Manual de Calderas SELMEC. (México - 1981). Segunda Edición.
- 18.- WARK Kenneth - WARNER Cecil F. Contaminación del Aire. (México - 1990). Segunda Edición.
- 19.- WELTY James R. Transferencia de Calor Aplicada a la Ingeniería. (México - 1988). Primera Edición.