

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

ESTUDIO PARA LA ADAPTACION DE UN GENERADOR DE VAPOR
ACUOTUBULAR QUE UTILIZA COMO COMBUSTIBLE EL BAGAZO
DE CAÑA, PARA QUE UTILICE BAGAZO DE CAÑA Y/O
ACEITE-COMBUSTIBLE. EN EL INGENIO CONCEPCION,
DEPARTAMENTO DE ESCUINTLA.

TESIS

PRESENTADA A LA HONORABLE JUNTA DIRECTIVA DE LA

FACULTAD DE INGENIERIA POR:

WERNY ESTUARDO LOPEZ RAMOS

AL CONFERIRSELE EL TITULO DE

INGENIERO MECANICO

GUATEMALA, AGOSTO DE 1,996.

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
Biblioteca Central

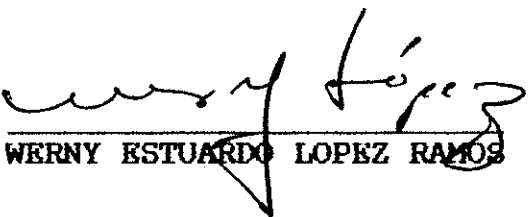
06
T (3764)
C.4

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de tesis titulado:

ESTUDIO PARA LA ADAPTACION DE UN GENERADOR DE VAPOR ACUOTUBULAR QUE UTILIZA COMO COMBUSTIBLE EL BAGAZO DE CANA, PARA QUE UTILICE BAGAZO DE CANA Y/O ACRITE-COMBUSTIBLE. EN EL INGENIO CONCEPCION, DEPARTAMENTO DE ESCUINTLA.

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica.

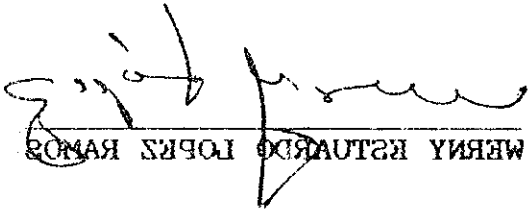

WERNY ESTUARDO LOPEZ RAMOS

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Compliendo con los preceptos que establece la ley de la
República de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración
el trabajo de tesis titulado:

ESTUDIO PARA LA ADAPTACION DE UN GENERADOR DE VAPOR ACOTUBULAR
QUE UTILIZA COMO COMBUSTIBLE EL BAGAZO DE CAÑA,
PARA QUE UTILICE BAGAZO DE CAÑA Y/O ACITTE-COMBUSTIBLE.
EN EL INGENIO CONCEPCION, DEPARTAMENTO DE ESCUINTLA.

Este trabajo fue asignado por la Dirección de la Escuela
de Ingeniería.


WENNY ESTUARDO LOPEZ RAMOS

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

MIEMBROS DE LA JUNTA DIRECTIVA

DECANO: ING. JULIO ISMAEL GONZALEZ PODSZUECK
VOCAL PRIMERO: ING. MIGUEL ANGEL SANCHEZ GUERRA
VOCAL SEGUNDO: ING. JACK DOUGLAS IBARRA SOLORZANO
VOCAL TERCERO: ING. JUAN ADOLFO ECHEVERRIA MENDEZ
VOCAL CUARTO: BR. FERNANDO WALDEMAR DE LEON CONTRERAS
VOCAL QUINTO: BR. PEDRO IGNACIO ESCALANTE PASTOR
SECRETARIO: ING. FRANCISCO JAVIER GONZALEZ LOPEZ

TRIBUNAL QUE PRACTICO EL EXAMEN

GENERAL PRIVADO

DECANO: ING. JULIO ISMAEL GONZALEZ PODSZUECK
EXAMINADOR: ING. RODOLFO ORLANDO GARCIA SOTO
EXAMINADOR: ING. CARLOS HUMBERTO PEREZ RODRIGUEZ
EXAMINADOR: ING. CARLOS HUMBERTO FIGUEROA VASQUEZ
SECRETARIO: ING. FRANCISCO JAVIER GONZALEZ LOPEZ



INGENIO CONCEPCION

17 de Mayo de 1995.

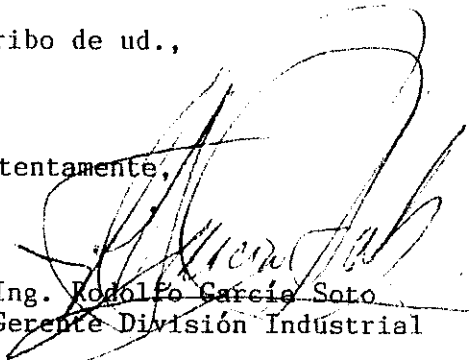
Ingeniero
Pedro Quiroa Méndez
Coordinador de la Unidad E.P.S.
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Ing. Quiroa:

Atenta y respetuosamente me dirijo a usted para informarle que ya tuve a bien revisar el informe del Proyecto de EPS del estudiante Werny Estuardo López Ramos con carnet número 90-30269, dándole mi aprobación para que pueda realizar los trámites correspondientes.

Sin otro particular, me suscribo de ud.,

Atentamente,



Ing. Rodolfo García Soto
Gerente División Industrial

c.c. *** Archivo

WELR:rr



FACULTAD DE INGENIERIA
Unidad de Prácticas de Ingeniería
Ejercicio Profesional Supervisado
E.P.S

Ciudad Universitaria, Zona 12
01013 Guatemala, Centroamérica

REF.EPS.C.141.95

Guatemala, 29 de septiembre de 1,995

Señor
Ing. Jorge Siguere R.
Coordinador de la Carrera
de Ingeniería Mecánica
Presente

Señor Coordinador:

Atentamente por este medio, estoy adjuntando el Informe Final equi-
valente al Trabajo de Tesis, del estudiante universitario de la Carrera
de Ingeniería Mecánica **WERNY ESTUARDO LOPEZ RAMOS**, quien desarrolló el Pro-
yecto del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.), titulado **ESTUDIO PARA
LA ADAPTACION DE UN GENERADOR DE VAPOR ACUOTUBULAR QUE UTILIZA COMO COMBUS-
TIBLE EL BAGAZO DE CAÑA, PARA QUE UTILICE BAGAZO DE CAÑA Y/O ACETTE-COMBUS-
TIBLE, EN EL INGENIO CONCEPCION, DEPARTAMENTO DE ESCUINTLA.**

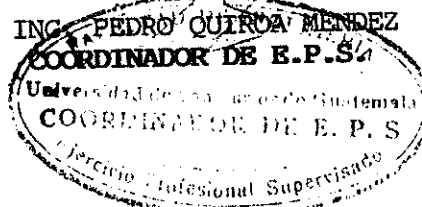
El Informe Final fue debidamente APROBADO por el Ingeniero Mecánico
Electricista **Rodolfo García Soto**, quien fungió como Asesor de dicho traba-
jo.

En base a lo anterior, y a la respectiva revisión, ésta Coordinación
APRUEBA el Informe Final, ya que cumplió con los objetivos establecidos
originalmente del E.P.S.

Sin otro particular, me suscribo de usted.

Deferentemente,

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"



PQM/lgg.

c.c.: Archivo

Anexo: El mencionado Informe Final.

1,995 AÑO DE LA REFORMA UNIVERSITARIA, CON TU PARTICIPACION LA REFORMA AVANZA

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



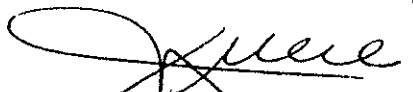
FACULTAD DE INGENIERIA

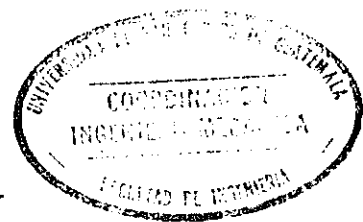
Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería Mecánica Industrial, Ingeniería Química, Ingeniería Mecánica Eléctrica, Escuela Técnica, Ingeniería en Sistemas Ingeniería Electrónica y Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos.

Apartado Postal 217-1-01-907, Guatemala
Ciudad Universitaria, Zona 12
Guatemala, Centroamérica

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del asesor, con el visto bueno del Coordinador de E. P. S. al trabajo de tesis titulado ESTUDIO PARA LA ADAPTACION DE UN GENERADOR DE VAPOR ACUOTUBULAR QUE UTILIZA COMO COMBUSTIBLE EL BAGAZO DE CAÑA, PARA QUE UTILICE BAGAZO DE CAÑA Y/O ACEITE-COMBUSTIBLE, EN EL INGENIO CONCEPCION, DEPARTAMENTO DE ESCUINTLA, del estudiante Werny Estuardo López Ramos, procede a la autorización del mismo.

ID Y ENSEÑAD A TODOS


Ing. Jorge Siguere R.
DIRECTOR DE ESCUELA



Guatemala, octubre de 1,995



FACULTAD DE INGENIERIA

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica
y Regional de Post-grado de Ingeniería
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12
Guatemala, Centroamérica

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, Ingeniero Jorge C. Siguere Rockstroh, al trabajo de tesis titulado Estudio para la Adaptación de un Generador de Vapor Acuotubular que Utiliza como Combustible el Bagazo de Caña, para que Utilice Bagazo de Caña y/o Aceite-Combustible. En el Ingenio Concepción, Departamento de Escuintla, presentado por el estudiante universitario Werny Estuardo López Ramos, procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRIMASE

ING. JULIO ISMAEL GONZALEZ PODSZUECK

DECANO



Guatemala, mayo de 1,996.

/bedei.

ACTO QUE DEDICO

A DIOS

Como ser supremo y omnipotente, por darme entendimiento, fé y esperanza.

A MIS PADRES

Mario Ranferi López Villagrán.
Alicia Ramos Pineda.
Por su abnegación, amor, apoyo y comprensión.
Que Dios los bendiga y guarde.

A MIS HERMANOS

Mario Fernando, Luis Orlando, Carlos Rodolfo y Julio Elí, por su comprensión, cariño y abnegación.

A MIS ABUELOS

Gonzalo Ramos Felicito López
Bernarda Pineda Estela Villagrán

Por los padres que me han dado, y los consejos que me han expresado.

A MI CUNADA Y SOBRINO

Con mucho cariño.

A MIS TIOS Y PRIMOS

Con mucho aprecio y respecto.

A MIS AMIGOS

Pablo Vinicio, Oscar González, César Adolfo, Hugo Villatoro, Marvin Rolando, Mario Fernando y Juan Carlos, por su amistad.

A MIS COMPAÑEROS DE ESTUDIO

Sergio Nimatuj, Hamiltón Pérez, Victor Carol, Isaac Ismael, Jaime Anibal, René Briones, Wilson Pineda y Abac Yax.

A LA FAMILIA

López Hernández, por el apoyo que me brindaron.

Y A USTED

Con todo respecto.

AGRADECIMIENTOS

**A LOS INGENIEROS:
RODOLFO GARCIA SOTO
Y MARINO MENDOZA**

Por su asesoría y colaboración en la ejecución del presente trabajo de tesis, y que a través de lo cual se permitieron ser un peldaño fundamental para lograr el triunfo.

**A LOS COMPANEROS
DE E.P.S.**

Sergio Estrada y César Landaverry por el compañerismo y solidaridad mostrada al emprender el Ejercicio Profesional Supervisado.

**AL PERSONAL DEL
INGENIO CONCEPCION**

Por su asistencia y ayuda prestada al desarrollo del presente trabajo. En especial a los Srs. Rudecindo Mejía y Roberto Contreras, y al departamento de calderas.

**AL INGENIO
CONCEPCION**

Por abrir sus puertas y permitir realizar la práctica y el estudio para la ejecución del Ejercicio Profesional Supervisado.

**A TODAS LAS PERSONAS QUE DE UNA U OTRO FORMA PARTICIPARON
EN LA REALIZACION DE ESTE TRABAJO DE TESIS**

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
Biblioteca Central

INDICE GENERAL

	Página
I. Lista de gráficas.....	1
II. Lista de tablas.....	2
III. Lista de figuras.....	3
IV. Lista de símbolos.....	5
V. Glosario.....	6
VI. Introducción.....	9
VII. Objetivos.....	11
VIII. Parte central.....	13
CAPITULO 1. Control y principios de automatiza- ción en los generadores de vapor....	13
1.1 Operación manual.....	13
1.2 Operación automática.....	16
1.3 Sistemas de control en la operación de calderas: descripción y aplica- ción.....	17
1.3.1 Regulación automática.....	17
1.3.2 Tipos de procesos.....	18
1.3.3 Medición.....	19
1.3.4 Control por retroalimentación.....	21
1.3.5 Modos de control.....	24
1.3.6 Elementos de sistemas de control neu- mático, eléctrico y/o electrónico....	25
1.3.7 Aplicación del control automático a calderas de un ingenio.....	40
1.3.8 Selección del sistema del agua de alimentación.....	41
1.3.9 Sistemas básicos de control de uno, dos y tres elementos.....	43
1.4 Breve descripción de fallas en el sistema de vapor por falta de contro- les.....	48
1.4.1 Sobrecalentamiento de los tubos de convección.....	48
1.4.2 Arrastre de agua.....	49
CAPITULO 2. La combustión.....	49
2.1 Combustibles.....	50
2.2 Tipos de combustibles.....	50
2.2.1 Combustibles sólidos.....	50
2.2.2 Combustibles líquidos.....	51
2.2.3 Combustibles gaseosos.....	51
2.3 Proceso de combustión.....	51

2.3.1	Reactivos productos.....	52
2.3.2	Combustión con aire.....	53
2.3.3	Aire teórico.....	53
2.3.4	Relación entre aire y combustible....	54
2.4	El bagazo como combustible.....	55
2.4.1	Composición física del bagazo.....	55
2.4.2	Composición química del bagazo.....	56
2.4.3	Poder calorífico de los combustibles.	56
2.4.3.1	Poder calorífico del bagazo.....	57
2.4.4	Combustión del bagazo.....	57
2.4.4.1	Combustión del bagazo seco sin ex- ceso de aire.....	58
2.4.4.2	Combustión del bagazo húmedo con ex- ceso de aire.....	58
2.5	El aceite-combustible (fuel-oil) como combustible.....	60
2.5.1	Características de los aceites-com- bustibles.....	61
2.5.2	Valor calorífico de los aceites-com- bustibles.....	64
CAPITULO 3.	Generadores de vapor acuotubulares de bagazo.....	68
3.1	Alimentación de bagazo.....	68
3.1.1	Operación del alimentador rotativo...	71
3.2	Equipo de combustión.....	71
3.3	Tipos de hornos.....	72
3.3.1	Horno distribuidor o de alimentación por aspersión.....	72
3.4	Cámara de combustión.....	74
3.4.1	Volumen de la cámara de combustión...	74
3.5	Dimensiones del hogar.....	75
3.6	Area de la parrilla.....	76
3.7	Peso de bagazo quemado por unidad de área de la parrilla y por hora.....	76
3.8	Superficie de calentamiento.....	77
3.9	Tiros.....	77
3.10	Eficiencia de un generador de vapor acuotubular de bagazo.....	78
3.11	Principales controles automáticos en un generador de vapor acuotubular de bagazo.....	78
3.11.1	Control del agua de alimentación.....	78
3.11.2	Control de la presión.....	81
3.11.3	Control del tiro en el hogar.....	81

CAPITULO 4.	Generadores de vapor acuotubulares de aceite-combustible.....	84
4.1	Alimentación de aceite-combustible...	84
4.2	Equipo de combustión.....	85
4.2.1	Pre-calentamiento del aceite-combustible.....	85
4.2.2	Hogar.....	86
4.2.3	Quemador.....	87
4.3	Tipos de quemadores.....	89
4.3.1	Quemador de vaporización del tipo a presión.....	90
4.3.2	Quemador de atomización de aire o de vapor de alta presión, tipo inyector o venturi.....	91
4.3.3	Quemador de petróleo atomizador horizontal, de traza giratoria.....	91
4.3.4	Quemador atomizador de aire a baja presión, tipo de presión variable....	92
4.3.5	Quemador mecánico o atomizador a presión de aceite, del tipo de flujo de regreso.....	92
4.3.6	Unidad quemadora completa mecánica o de atomización de aceite a presión...	92
4.4	Ubicación de los quemadores.....	93
4.4.1	Fuego opuesto.....	93
4.5	Características de la flama.....	95
4.6	Superficies de calentamiento.....	96
4.7	Tiro.....	96
4.8	Eficiencia de un generador de vapor acuotubular de aceite-combustible....	96
4.9	Principales controles automáticos en un generador de vapor acuotubular de aceite-combustible.....	98
4.9.1	Modo automático/manual.....	99
4.9.2	Cálculo de las subrutinas.....	101
4.9.3	Desplegados.....	101
CAPITULO 5.	Características comunes y diferencias entre los generadores de vapor acuotubulares de bagazo y de aceite-combustible.....	103
5.1	Características comunes.....	103
5.1.1	Componentes del generador de vapor acuotubular.....	103
5.1.2	Refractario y/o aislamiento.....	103
5.1.3	Sistema de alimentación y circulación de agua hacia y en la caldera.....	104
5.1.4	Dispositivos de seguridad de las calderas.....	105

5.2	Diferencias.....	105
5.2.1	Alimentación de combustible.....	105
5.2.2	Suministro y distribución de aire para la combustión.....	105
5.2.3	Dimensiones del hogar.....	106
5.2.4	El horno.....	107
5.2.5	Superficie calórica.....	108
5.2.6	Producción de gases.....	108
5.2.7	Eficiencia de combustión.....	113

CAPITULO 6.	Estudio para la adaptación de un ge- nerador de vapor acuotubular que u- tiliza bagazo de caña, para que uti- lice bagazo de caña y/o aceite-com- bustible.....	113
-------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----

6.1	Comparativo de combustión, bagazo y aceite-combustible.....	113
6.1.1	Porcentaje de exceso de aire teórico para bagazo.....	115
6.1.2	Porcentaje de exceso de aire teórico para aceite-combustible.....	116
6.2	Comportamiento del hogar.....	116
6.2.1	Presión del hogar positiva.....	117
6.2.2	Presión del hogar negativa.....	117
6.3	Manejo de gases.....	117
6.3.1	Comparativo tiro inducido.....	120
6.3.2	Comparativo tiro forzado.....	120
6.4	Comportamiento de los tubos de agua, quemando bagazo o quemando aceite- combustible.....	121
6.5	Ubicación adecuada de los quemadores.	122
6.6	Control del excedente del porcentaje de exceso de aire teórico.....	123
6.7	Modificaciones necesarias para el funcionamiento eficiente de la cal- dera.....	124
6.8	Pruebas de arranque y puesta en mar- cha de la caldera.....	126
6.9	Precauciones y protecciones.....	129
6.10	Operación de la caldera.....	130
6.10.1	Bajo nivel de agua.....	131
6.10.2	Atoración de chifles.....	131
6.10.3	Embotellamiento de la caldera.....	132
6.10.4	Guarda fuego.....	133
6.10.5	Operación con los quemadores.....	134

IX.	Conclusiones.....	139
X.	Recomendaciones.....	141
XI.	Referencias.....	142
XII.	Bibliografía.....	143
XIII.	Anexo.....	144

Lista de gráficas

Gráfica	Descripción	Página
1.1	Curva de reacción respecto del tiempo de un proceso con una capacidad y una resistencia.	19
1.2	Curva de reacción respecto del tiempo de un proceso con dos capacidades y dos resistencias.	20
2.1	Relación entre la gravedad del combustible y el calor de combustión.	62
2.2	Relaciones de viscosidad y temperatura para combustibles de petróleo típico.	62
2.3	Relación entre el % de O ₂ y CO ₂ contra aire en exceso.	66
2.4	Relación entre el calor de combustión vs. la gravedad API.	67
2.5	Temperatura del punto de rocío vs. el azufre en el petróleo.	68
3.1	Cantidad de bagazo total alimentado a la caldera vs. el % de alimentación.	69
5.1	Relación entre el flujo de vapor y el % de oxígeno, quemando bagazo.	109
5.2	Relación entre el flujo de vapor y el monóxido de carbono, quemando bagazo.	110
5.3	Relación entre el flujo de vapor y el % de oxígeno, quemando fuel-oil No.6.	111
5.4	Relación entre el flujo de vapor y el monóxido de carbono, quemando fuel-oil No.6.	112

6.1	Flujo de vapor vs. la presión de hogar, combustión con bagazo.	118
6.2	Flujo de vapor vs. la presión de hogar, combustión con fuel-oil No.6.	119

Lista de tablas

Tabla	Descripción	Página
1.1	Comparación de términos, símbolos y unidades de varios sistemas físicos.	18(b)
1.2	Guía general para la selección del sistema del agua de alimentación.	42
2.1	Valores correlativos entre el exceso de aire y el contenido de CO ₂ .	59
2.2	Requisitos de la ASTM para aceites-combustibles.	63(b)
2.3	Análisis finales típicos de combustibles de petróleo.	64
2.4	Escorias típicas de calderas alimentadas con combustóleo No.6.	64
2.5	Poder calorífico y gravedad API de los aceites-combustibles.	65
2.6	Volumen de aire requerido por volumen de gas de los aceites-combustibles.	65
2.7	% de oxígeno en los gases de combustión en relación al % de aire en exceso, para diferentes combustibles.	66
3.1	Relaciones óptimas en los hornos de parrilla de bagazo quemado por unidad del área de la parrilla y por hora.	77
3.2	Análisis de combustión quemando bagazo, caldera No.4.	79

4.1	Análisis de combustión quemando fuel-oil No.6, caldera No.4.	97
5.1	Comparativo de eficiencias de com- bustión, quemando bagazo y quemando fuel-oil No.6.	113
6.1	Comparativo del análisis de combus- tión antes del precalentador.	114
6.2	Comparativo del análisis de combus- tión después del precalentador.	115

Lista de figuras

Figura	Descripción	Página
1.1	Esquema básico, caldera No.4.	15
1.2	Proceso con dos resistencias y dos capacidades.	20
1.3	Ejemplificación de un circuito de control por retroalimentación.	22
1.4	Diagrama de bloques, del circuito de control por retroalimentación.	23
1.5	Principio del mecanismo tobera- lengueta.	26
1.6	Válvula relé.	27
1.7	Transmisor neumático.	28
1.8	Controlador neumático.	30
1.9	Regulador modulador 53MC5000.	31
1.10	Tablero frontal del regulador modulador.	33
1.11	Jerarquía de comandos en el modo de ingeniería.	37
1.12	Opciones frontales de conexión para el regulador modulador.	39

1.13	Control de tres elementos.	44
1.14	Control de dos elementos.	47
1.15	Control de un elemento.	47
3.1	Alimentador rotativo de bagazo.	69
3.2	Horno distribuidor o de alimentación por aspersión.	73
3.3	Diagrama del sistema de control del agua de alimentación.	80
3.4	Diagrama del sistema de control de la presión.	82
3.5	Diagrama del sistema de control del tiro en el hogar.	83
4.1	Accesorios necesarios para el bombeo del combustóleo.	87
4.2	Quemador C-E para carbón pulverizado, fuel o gas.	89
4.3	Esquema de los diferentes tipos de quemadores.	90
4.4	Quemadores de gas o aceite-combustible de flama direccional. Fuego opuesto.	94
4.5	Fondo de un turbofogón mostrando las aberturas para los quemadores y el hogar de tabique refractario.	94
4.6	Configuración de los controles de combustión.	102
6.1	Parte superior del tablero de control de los quemadores. Representa el sistema de protecciones.	129
6.2	Parte inferior del tablero de control del quemador. Representa el sistema operativo del tablero.	135

Lista de símbolos

FIT	Indicador transmisor de flujo
LIT	Indicador transmisor de nivel
A	Generador de señal manual
$F(x)$	Función de control final
$A \quad T$	Estación de control automático/manual
Δ	Unidad de sustracción
K	Controlador proporcional
$K \quad I$	Controlador proporcional más integral
Σ	Sumador
$F(t)$	Unidad de señal de retraso

Glosario

Abrasión

Acción y efecto de desgastar por fricción.

Aditamento

Añadidura o adición de algo. Es algo que se agrega

Aislamiento

Conjunto de dispositivos para evitar el intercambio entre un recinto y el medio exterior de calor, sonido, etc.

Alúmina

Oxido de aluminio anhidro que se halla en la naturaleza gralite; formando, en combinación con la sílice y otros cuerpos, los feldespatos y las arcillas.

Armonizar

Relativo a la armonía. Conveniente proporción y correspondencia de unas cosas con otras.

Aspersión

Rociar, regar.

Atomizar

Dividir en partes sumamente pequeñas.

Bateria (de molinos)

Conjunto o grupo de molinos.

Carga

Demanda de vapor en libras de vapor por hora en una caldera.

Cenicero

Recipiente donde se deposita o conduce la ceniza.

Conductividad

Propiedad de un cuerpo para facilitar la propagación del calor, la electricidad, etc., a través de su propia masa.

Convección

Tipo de transmisión de la energía calorífica en el seno de un fluido. Depende de las características del movimiento del fluido y de su conductividad interna.

Demanda

Solicitud, pedido.

Densidad

Masa por unidad de volumen de un cuerpo.

Desplegado

Relativo a desplegar. Aclarar y hacer patente lo poco inteligible. Ejercitar una actividad.

Dispositivo

Mecanismo dispuesto para obtener un resultado automático.

Estabilidad

Calidad de estable y firme en el espacio; permanencia, duración en el tiempo.

Estrategia

Arte de coordinar todo tipo de acciones para la conducción de un asunto.

Exfiltración

Salir hacia afuera.

Exhibición

Acción y efecto de mostrar, manifestar, etc.

Flexión

Acción y efecto de doblarse fácilmente. Deformación transversal producida en un cuerpo elástico al ser sometido a una fuerza capaz de superar su resistencia.

Fluido

Dícese de los cuerpos cuyas moléculas tienen una débil fuerza de unión, de modo que pueden deslizarse unas sobre otras (líquidos) o desplazarse libremente (gases) adoptando la forma del recipiente que las contiene.

Flujo

Acción y efecto de fluir (correr un líquido).

Gama

Serie ordenada por el valor creciente de una magnitud.

Hollín

Parte espesa del humo que se pega a las chimeneas y a los tubos de la caldera. El hollín es carbono casi puro.

Ignición

Inflamación de la mezcla de aire y carburante.

Lecho

Cama. Porción de algunas cosas que están extendidas horizontalmente sobre otras (cenizas sobre la parrilla).

Menú

Lista de opciones que un programa ofrece al usuario.

Oferta

Promesa que se hace de dar, cumplir o ejecutar una cosa.
Propuesta para contratar.

Over-fire

Sobre fuego.

Parámetro

Constante arbitraria que aparece en la ecuación de una curva, superficie, etc. Valor que puede ser tomado como referencia.

Pared de agua

Conjunto de tubos por los cuales circula agua, y que rodean el hogar de una caldera.

Parrilla

Elemento de la caldera sobre la cual se depositan las cenizas de la combustión.

Permeabilidad

Calidad de permeable (que puede ser penetrado por el agua u otro fluido).

Proceso

Conjunto de las fases sucesivas de un fenómeno natural o de una operación artificial.

Pulverizar

Convertir en polvo un material.

Radiación

Emisión de ondas o corpúsculos materiales por parte de una fuente.

Refractario

Cuerpo que resiste, sin fundirse, una temperatura elevada.

Retroalimentación

Volver a alimentarse desde el principio.

Superficie de calefacción

Superficie que se calienta o que recibe la acción del calor en la caldera.

Transducir

Relativo a transducción. Cualquier operación que transforma magnitudes de determinado tipo en otras distintas, proporcionales a las anteriores.

Vapor

Fase o estado gaseoso de una sustancia que se alcanza a unas condiciones características de presión y temperatura.

Introducción

Con la creciente demanda de energía eléctrica de Guatemala se ha hecho necesaria la participación del sector privado como una opción para la producción de energía eléctrica, para satisfacer la creciente demanda de ésta.

En tiempo de zafra la venta de energía eléctrica por parte del Ingenio Concepción S.A. no sería ningún problema, pues, el excedente de bagazo sería suficiente para proporcionar el combustible necesario para generar el vapor que se necesita para la producción de energía eléctrica para la venta. Pero, en tiempo de reparación o tiempo muerto no hay bagazo, no obstante, hay que producir energía eléctrica, esta necesidad llevó a la decisión de adaptar quemadores de aceite-combustible a las calderas diseñadas, originalmente, para quemar bagazo.

El propósito de este trabajo es dar a conocer las consideraciones básicas que hay que tomar en cuenta para la adaptación de los quemadores de aceite-combustible a una caldera de bagazo, dar a conocer también el procedimiento de operación y funcionamiento de la caldera con los quemadores en servicio y las modificaciones necesarias que hay que realizar antes de pasar de un combustible a otro.

El presente trabajo introduce, directamente, la terminología utilizada en el área térmica y, especialmente, al área de plantas de vapor; sin dedicarse a la definición de los conceptos básicos de los generadores de vapor respecto de lo cual ya se ha

escrito mucho y que, al hacerlo, se caería en repetir lo que ya se ha investigado. Por lo que en el capítulo 1, se inicia con una introducción de los controles y principios de la automatización en los generadores de vapor, abarcando en esta parte un tipo de controlador electrónico de amplio uso actualmente en el proceso de la automatización de las calderas.

En el capítulo 2, se hace referencia a los principios de la combustión, dando mayor énfasis a los combustibles como el bagazo y el aceite-combustible, a su composición, propiedades, etc.

El capítulo 3, se dedica al estudio de los generadores de vapor de bagazo, dándole mayor importancia a un tipo especial de horno, el horno distribuidor o de alimentación por aspersión; El capítulo 4, se aborda una descripción de los generadores de vapor de aceite-combustible, los diferentes tipos de quemadores, características del fuel-oil No.6 y No.2 y, por último, una breve descripción de los controles automáticos utilizados. En el capítulo 5, se reúnen las características comunes a ambos generadores de vapor y, también, se resaltan las diferencias más notorias e importantes.

En el capítulo 6, se exponen algunos comparativos en el concepto de combustión; se presenta el comportamiento de diferentes variables en función al flujo de vapor y combustible quemado, las modificaciones necesarias para el funcionamiento eficiente de la caldera, descripción de las pruebas de arranque y

puesta en marcha de la caldera, protecciones y, por último, se describe la operación y funcionamiento de la caldera, los problemas más frecuentes y la forma de como resolverlos.

Objetivos

Generales.

- 1.- Proporcionar un documento con la información básica y necesaria para tomar en cuenta aquellas consideraciones necesarias e importantes para la adaptación de un generador de vapor acuotubular que utiliza bagazo de caña como combustible, para que utilice bagazo de caña y/o aceite-combustible.
- 2.- Dar a conocer los lineamientos de operación y funcionamiento del generador de vapor acuotubular bajo la adaptación antes mencionada.

Específicos.

- 1.1 Comparar las características comunes y las diferencias entre las calderas que queman bagazo y las que queman aceite-combustible.
- 1.2 Analizar la influencia de sus diferencias.

- 1.3 Buscar una forma de hacer interactuar sus diferencias, es decir, que se pudiera utilizar o anular cualquiera de ellas para que no interfiriera en la adaptación.

- 2.1 Observar las maniobras de operación del generador de vapor bajo la adaptación de los quemadores de aceite-combustible.

- 2.2 Seguimiento de los procedimientos de restauración en la operación de la caldera en estudio.

PARTE CENTRAL

CAPITULO 1

CONTROL Y PRINCIPIOS DE AUTOMATIZACION EN LOS GENERADORES DE VAPOR

Los objetivos fundamentales de cualquier generador de vapor son los siguientes:

(1) suministrar la cantidad de vapor necesario, bajo condiciones de presión y temperatura previamente especificadas, en un tiempo determinado;

(2) mantener, durante la operación, la mejor eficiencia.

Para que una caldera alcance estos objetivos, es necesario que durante su operación se controlen los siguientes 6 factores:

- (1) presión del vapor;
- (2) cantidad de combustible;
- (3) cantidad de aire para la combustión;
- (4) evacuación de gases (tiro)
- (5) suministro de agua de alimentación;
- (6) calidad del agua (tratamiento químico).

1.1 OPERACION MANUAL

Aspectos principales en la operación de una caldera.

Para la fabricación del azúcar se necesita una determinada cantidad

de vapor que en algunos momentos dados aumenta.

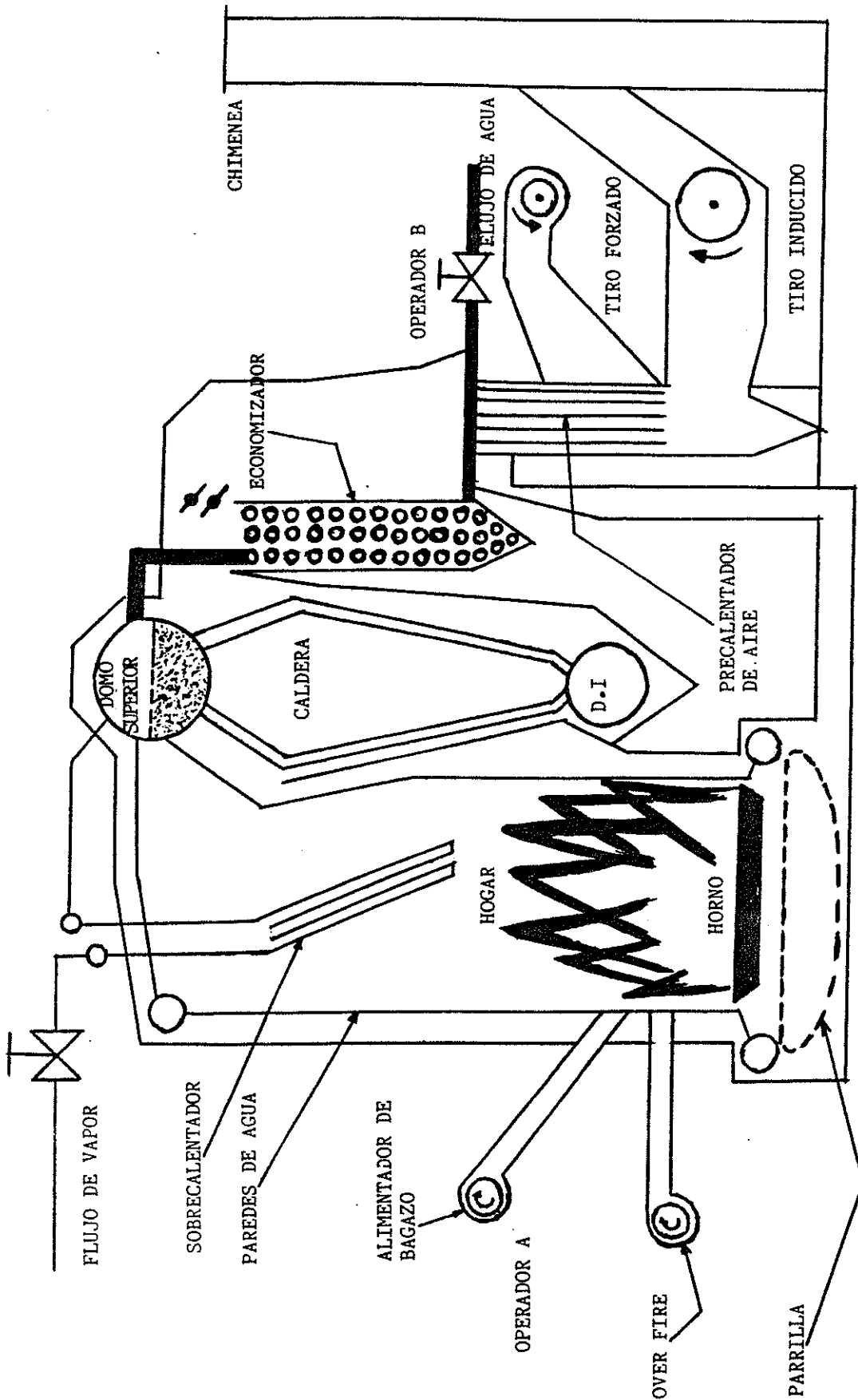
La demanda de vapor implica que se consumirá agua, por lo tanto, si en un momento determinado la demanda aumenta, el nivel del agua en el domo descenderá y el operador B en la fig. 1.1, tendrá que abrir la válvula del agua de alimentación para inyectar agua a la caldera.

Al aumentar el flujo de agua a evaporar, lógicamente, se necesitará más temperatura para conseguir el vapor a la presión especificada; y, para obtener la temperatura adecuada se necesitará quemar más combustible, por lo que el operador A de la fig. 1.1, al ver por la mirilla que ha descendido el nivel de bagazo en el horno, tendrá que abrir la compuerta por la que entra el bagazo al horno.

Al haber más combustible en el horno se hace necesario que entre más aire haya para la combustión. Además, se necesita una cantidad exacta de exceso de aire para que la combustión sea completa. Este aire para la combustión se introduce a la caldera mediante un ventilador de tiro forzado y, aún más, hay que abrir más o menos, según sea conveniente, las compuertas que permiten la entrada del aire.

También, para que la combustión sea completa, es necesario remover los gases resultantes de la combustión del bagazo. Esto se hace por un ventilador de tiro inducido que manda los gases de la combustión a la chimenea.

Para averiguar si la combustión es completa, al operar



ESQUEMA BASICO CALDERA No. 4, INGENIO CONCEPCION, S. A.

manualmente, habría que estar viendo de continuo el color del humo o gases que salen de la chimenea y en base a esto, regular las compuertas de tiro forzado e inducido.

Este tipo de operación, tal como se puede apreciar por la descripción anterior, es muy deficiente, pues, todos los datos que se obtienen niveles de los domos, nivel del bagazo, color del humo, etc., son muy inexactos y, además, llegar a coordinar todas las variables en la mayoría de los casos, toma demasiado tiempo, lo cual implica pérdidas en la producción.

A este tipo de dificultades hay que añadirle que los datos son tomados por personas, los operadores, que con cierta frecuencia se distraen o hacen, negligentemente, su trabajo.

1.2 OPERACION AUTOMATICA

Su principal ventaja es que con ésta se puede tener de manera muy eficiente, una gran cantidad de vapor.

La operación por medio de controles automáticos tiene entre sus ventajas, la centralización de toda la información en la producción de vapor, es decir, que cada dispositivo de control o elemento regulador, de alguna forma envía su señal hasta el tablero de control o sala de mandos y, automáticamente, en igual forma se envía la respuesta a cada dispositivo para que regule los factores que vimos en la operación manual. Esta señal se puede transmitir de diversas formas, dependiendo de si el sistema es neumático, hidráulico o electrónico.

El sistema de control automático tiene la desventaja de que es un sistema más que necesita mantenimiento, entrenamiento del personal y preparación específica para que realmente logre su objetivo, pues, el control debe estar calibrado en su punto exacto; sin embargo, esta aparente desventaja a la larga significa un gran ahorro.

Con el uso de controles automáticos se obtienen condiciones de operación más uniformes y, además, se puede mantener un rendimiento constante muy cercano a lo establecido por el grado de eficiencia.

Entre más variaciones existan en la operación de la caldera, más ventajoso resulta tener controles automáticos, ya que se requiere más tiempo para reunir a mano, dichas variaciones en una constante. En igual forma, entre más grande es una caldera, más se vuelven indispensables los sistemas de control automático.

1.3 SISTEMAS DE CONTROL EN LA OPERACION DE CALDERAS:

DESCRIPCION Y APLICACION

1.3.1 REGULACION AUTOMATICA

La regulación automática puede ser definida como una técnica destinada a equilibrar la oferta y la demanda (de materia o energía) en un cierto periodo de tiempo, de modo que el proceso se mantenga a un cierto nivel operativo, previamente fijado. Para conseguir el equilibrio entre la oferta y la demanda es necesario medir el flujo saliente del sistema y emplear ésta información a través de la realimentación para regular el flujo entrante en el

sistema.

El sistema físico que se debe regular puede ser de tipo electrónico, térmico, hidráulico, neumático, gaseoso, mecánico o cualquier otro. La tabla 1.1 compara términos, símbolos y unidades de varios sistemas físicos corrientes, todos ellos obedecen a las mismas leyes de la física.

El comportamiento de un proceso en el tiempo, define sus características dinámicas; si no interviene el tiempo sólo quedan determinadas las características estáticas. Sin embargo, los dos tipos de respuestas, estáticas (permanentes) y dinámicas (variables con el tiempo) deben ser consideradas en la operación y conocimiento de un sistema de regulación de procesos.

1.3.2 TIPOS DE PROCESOS

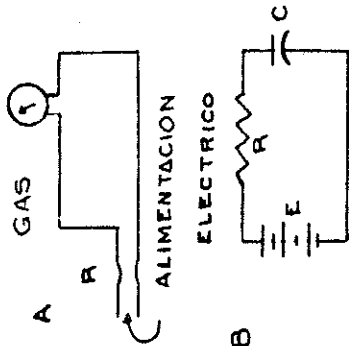
El tipo de proceso más sencillo es el que contiene una sola capacidad y una sola resistencia, tal como se muestra en las figuras de la tabla 1.1, que representan un proceso con una capacidad y una resistencia en forma neumática (a) eléctrica (b) térmica (c) e hidráulica (d).

Para mostrar cómo se comportan con respecto al tiempo se puede producir un cambio brusco (perturbación instantánea o escalón) en la entrada del proceso y examinar la salida. El cambio resultante en la variable del proceso respecto del tiempo, está representado en la gráfica 1.1. Las curvas de reacción de los 4 tipos de sistemas, neumático, eléctrico, térmico e hidráulico, serán

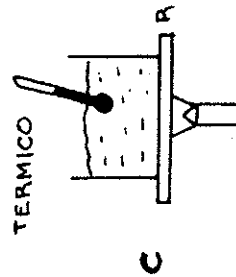
TABLA 1.1 ANALOGIA ENTRE SISTEMAS FISICOS BASICOS

VARIABLE	ELECTRICA	HIDRAULICA	NEUMATICA	TERMICA
CANTIDAD	q coulombios	m ³ litros	m ³ kms.	Calorias o BTUs.
POTENCIAL (FUERZA)	FEM V voltios	Presión P psi o kg/cm ² m. de carga	Presión psi kg/cm ²	Temperatura T °C o °F
CAUDAL/SEG.	Corriente I amperios Coulombios/ seg.	m ³ /seg. lts./min. gls./mit. Q/t	m ³ /seg. kg./seg. Q/t	Calorias/seg. BTU/seg. Q/t
RESISTENCIA	R Ohmios V/I Volts/Amps.	Resistencia hidráulica m.carga/m ³ /s. seg/m ²	Resistencia hidráulica kg/m ² /kg/seg. seg/m ²	°F (Btu/seg) °C (Cal/seg)
CONDUCTAN- CIA	g I/R	g m ³ /kg/m ²	g m ³ /kg/m ²	(btu/°F-seg) (Cal/°C-seg)
CAPACITAN- CIA	C Faradios coulombios/ voltio q/V	m ³ /m. de carga m ²	kg./kg/m ² m ²	Btu/°F Calorias/°C
TIEMPO	t Seg.	t Seg.	t Seg.	t Seg.

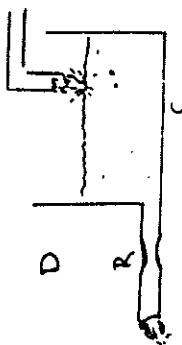
NEUMATICO

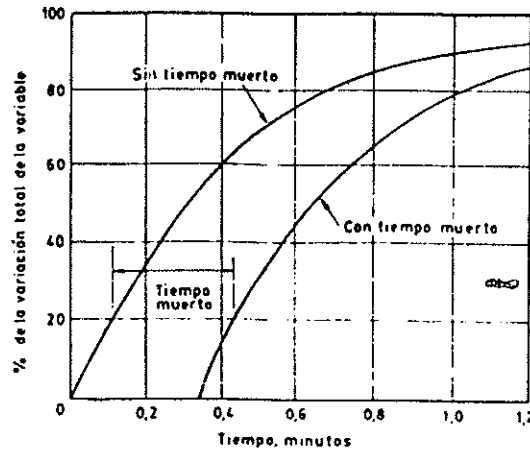


TERMICO



HIDRAULICO





Gráfica. 1.1

idénticas. La interpretación de este tipo de curvas es básica en la regulación automática.

Procesos con más de una capacitancia y una resistencia.

En la práctica un proceso contendrá muchas capacidades y resistencias. La fig. 1.2 representa un proceso con dos resistencias y dos capacitancias y la gráfica. 1.2, muestra la curva de reacción del proceso.

1.3.3 MEDICION

Para regular, primero, se debe medir la condición que se desea mantener en el valor o entre los valores deseados. El instrumento de medición debe estar conectado a un "regulador". El instrumento usado para medir la variable debe dar una señal que puede ser empleada por el regulador, pues, la mayoría de reguladores

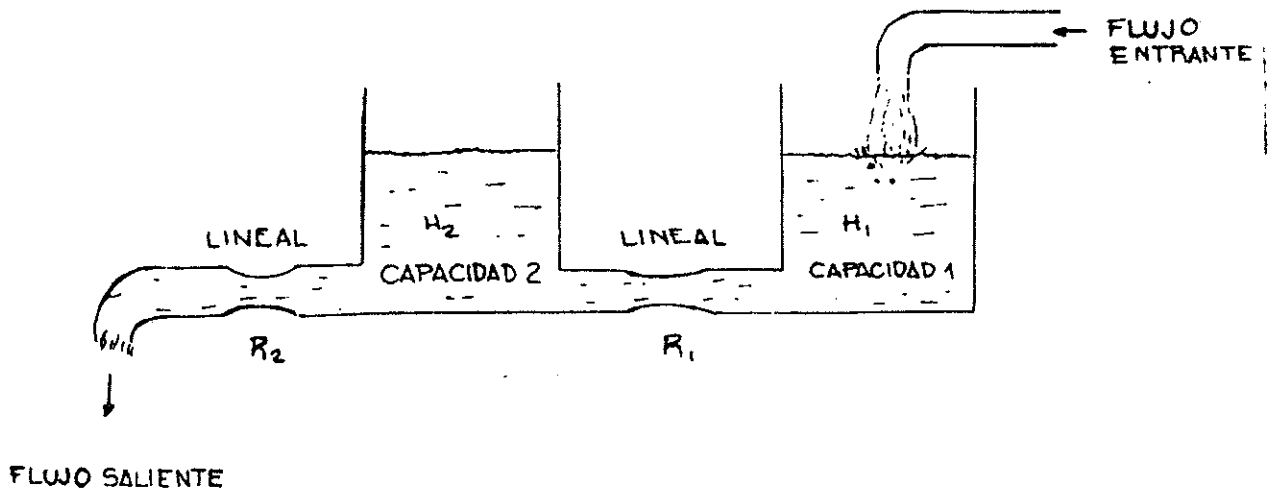
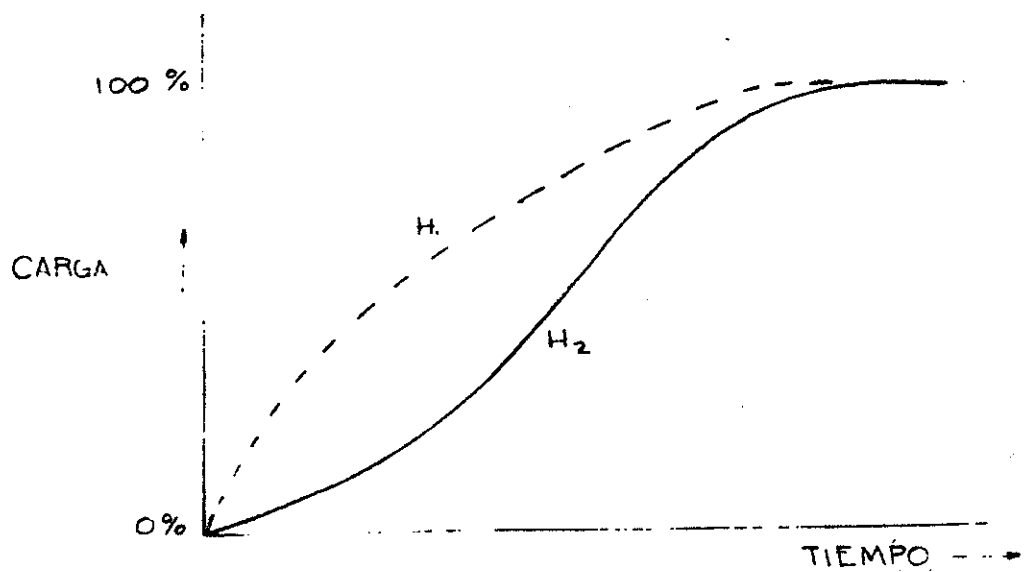


Fig. 1.2



Gráfica 1.2

son neumáticos o electrónicos, es decir que regulan el proceso mandando las válvulas neumáticas o los motores eléctricos.

Otro problema inherente al sistema de control es que el

instrumento de medición puede estar colocado lejos del regulador.

Los dos problemas se resuelven con el uso de un "transmisor de la medición".

En los ingenios azucareros de Guatemala están utilizando sistemas de control neumático y electrónico. El transmisor neumático es un instrumento que realiza la medición y emite una señal proporcional al valor actual de la variable. Esta señal puede ser enviada a largas distancias, lo cual es ventajoso cuando el regulador está a cierta distancia del punto en que se hace la medición.

Cuando el sistema de control es eléctrico, entonces, se utiliza un transductor el cual transforma la señal eléctrica a una señal neumática. Por lo regular este tipo de control trabaja en un rango de señal eléctrica de (4 mA a 20 mA) a una señal neumática de (3 a 15 psi). Ahora bien, los transmisores neumáticos, generalmente, producen un cambio de presión de aire de (3 a 15 psi) para un cambio en la medición de (0 a 100%).

1.3.4 CONTROL POR RETROALIMENTACION

Para ilustrar el concepto de circuito de control, obsérvese el cambiador de calor de la fig. 1.3. El propósito de este sistema es mantener la temperatura del fluido de proceso en un valor específico llamado "punto de ajuste" o "punto de control". La tarea del sistema de control consiste en medir la temperatura del fluido de proceso y manipular una válvula en la línea de vapor para

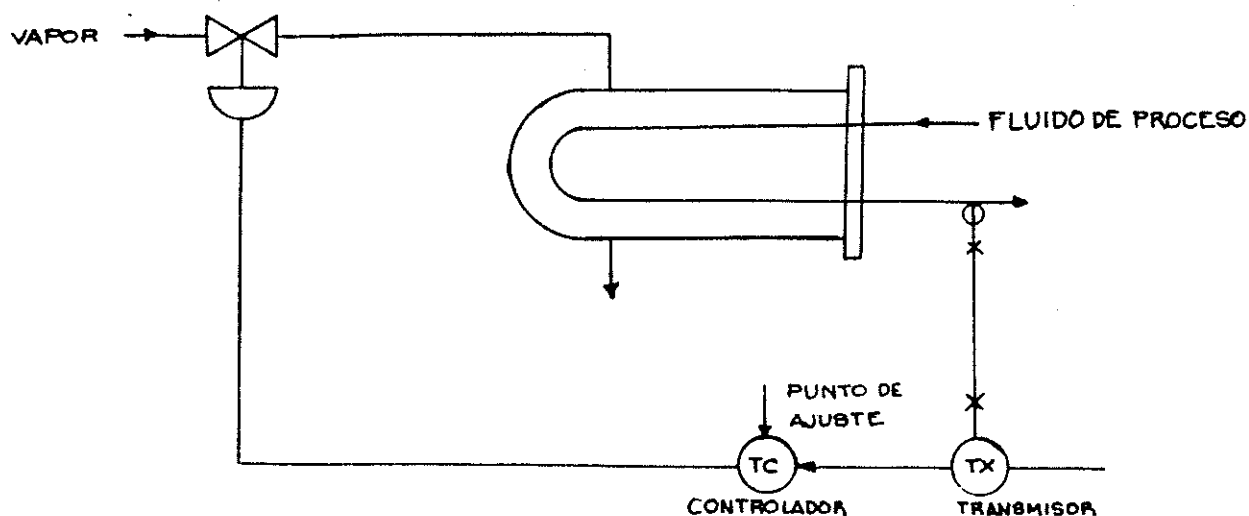


Fig. 1.3

permitir el paso de la cantidad adecuada de vapor y, así, mantener constante en el valor deseado, la temperatura del flujo de proceso.

A este concepto general se le llama control por retroalimentación o control retroalimentado, puesto que la variable que interesa se mide y los resultados se retroalimentan a través del sistema de control hacia el proceso.

La mayoría de los sistemas de control automático están basados en éste principio de retroalimentación.

Los sistemas de control son necesarios debido a que los procesos están sujetos a disturbios fuera de control o a cambios en la carga. En el caso de los ingenios azucareros, concretamente en el caso de las calderas, la demanda de vapor es muy variable, por

lo cual el sistema de control automático especialmente en las calderas son de gran capacidad se hace indispensable.

El diagrama de proceso, generalmente, se traduce en un diagrama de bloques para facilitar el análisis de control. La fig. 1.4, es un esquema que representa dicho diagrama; se muestran los elementos más importantes de un circuito de control: el proceso, la retroalimentación (el elemento medidor) el controlador, la variable controlada, la variable retroalimentada, la variable manipulada, la variable de referencia o punto de ajuste y la variable no controlada (disturbio).

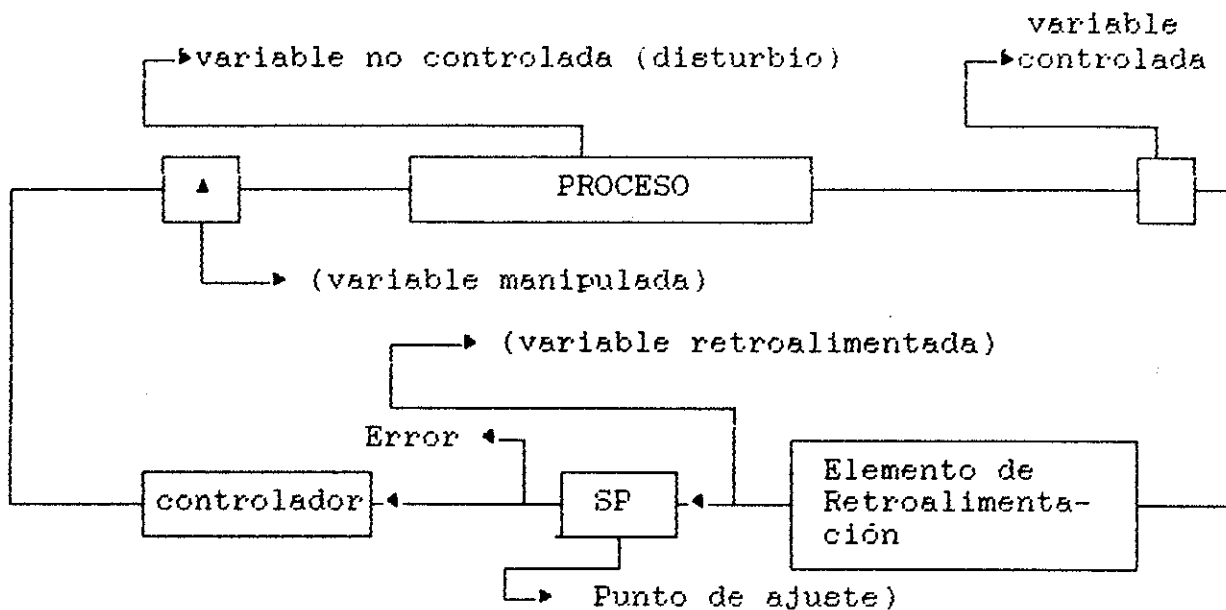


Fig. 1.4

1.3.5 MODOS DE CONTROL

(1) Control de dos posiciones (sí-no) (todo o nada)

La salida cambia de un extremo a otro cuando la variable cruza el punto de ajuste.

(2) Control de dos posiciones con diferencial

Es un control de dos posiciones con zona muerta. La salida de control cambia de un extremo a otro cuando la variable alcanza el borde de la zona muerta. La salida vuelve a cambiar otra vez hasta que la variable cruza el otro extremo de la zona muerta.

3) Control flotante

La velocidad de cambio de la salida de control depende de la señal de error (la variable menos el punto de ajuste) Flotante de velocidad constante: la velocidad no puede ser cambiada. Flotante de velocidad proporcional: la salida se mueve más rápidamente mientras más grande es el error.

(4) Control proporcional

El cambio en la salida del controlador es proporcional al cambio en la señal: variable menos el punto de ajuste; la constante de proporcionalidad es la ganancia del controlador.

(5) Control de reajuste automático (o de acción integral):

La salida de control cambia de acuerdo a la integral con

respecto del tiempo de la función de la señal de error. Generalmente, se combina con la acción proporcional y, entonces, se repite la acción proporcional inicial mientras dure el error. La acción de reajuste automático cesa, cuando la señal de error regresa a cero.

(6) Control de acción derivada (Pre-Act)

La salida de control cambia de acuerdo con la velocidad de cambio de la señal de error. Generalmente, se combina con la acción proporcional y representa el intervalo de tiempo que se adelanta a la acción proporcional. La acción derivada cesa cuando la señal de error se mantiene constante.

1.3.6 ELEMENTOS DE SISTEMAS DE CONTROL NEUMÁTICO, ELÉCTRICO Y/O ELECTRÓNICO

LENGUETA Y TOBERA

El dispositivo básico de control neumático está constituido por la unidad tobera-lengueta. Esta unidad junto con el relé amplificador y los fuelles de realimentación, forman un mecanismo simple, de acción rápida para el modo de control múltiple.

El mecanismo básico neumático convierte un pequeño movimiento (posición) o fuerza en una señal neumática equivalente (proporcional) La fig. 1.5 enseña el principio del mecanismo tobera-lengueta. Un corrimiento de la lengueta de centésimas de milímetro produce una señal neumática proporcional que puede variar

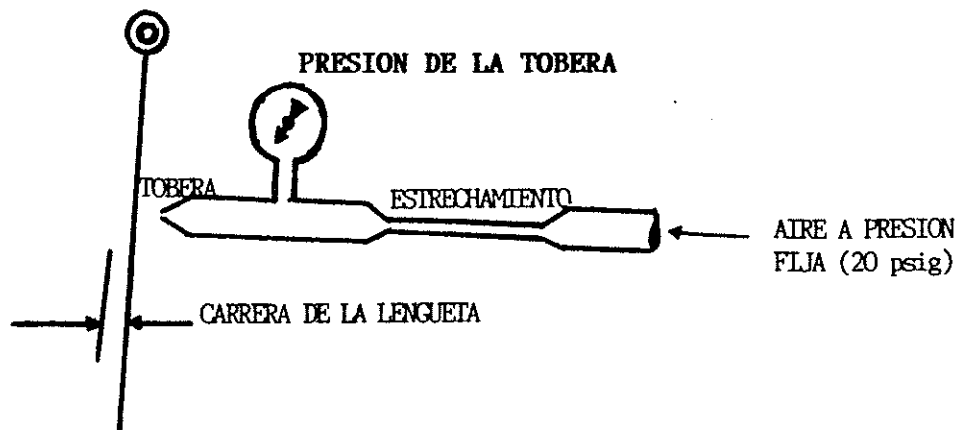


Fig. 1.5

desde cero hasta la presión de alimentación.

VALVULA RELE

Esta válvula es un dispositivo diseñado para amplificar la presión de la tobera.

La presión de la tobera se aplica al relé neumático, el cual contiene un diafragma que opera una pequeña válvula del tipo de bola. Como el diafragma tiene una gran superficie, pequeños cambios de presión en su superficie producen una fuerza suficiente para mover la válvula de bola. Esta válvula, cuando está abierta permite que todo el aire de alimentación alcance la salida y si está cerrada hace que la tobera purgue el aire a la atmósfera.

Si se cambia la posición de la lengüeta respecto de la tobera, la presión del aire que actúa sobre el diafragma del relé varía y abre o cierra el relé de la válvula de bola y, así, aumenta

o disminuye el volumen de aire de alimentación, el cual puede, ahora, fluir directamente desde la alimentación a la salida; venciendo una de las deficiencias de la lengüeta-tobera; es decir, la acción lenta. Fig. 1.6.

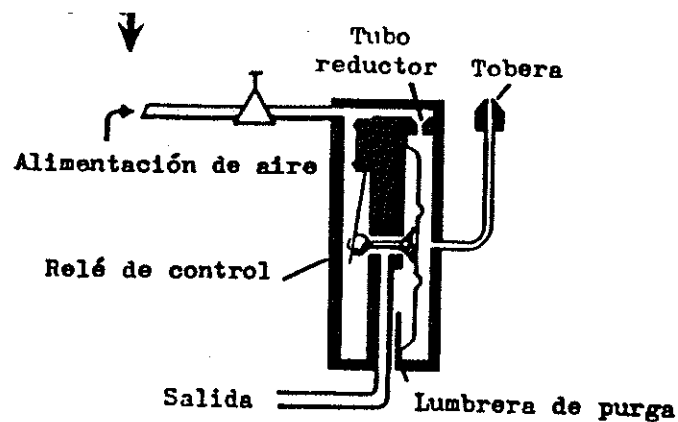


Fig. 1.6

EL REGULADOR DE PRESION

Consiste, simplemente, en una válvula de paso que se abre y cierra para mantener una presión constante, aguas abajo.

EL TRANSMISOR NEUMATICO

El transmisor neumático es un instrumento que mide la presión o temperatura y transmite esta medición como una señal de aire proporcional. Fig. 1.7.

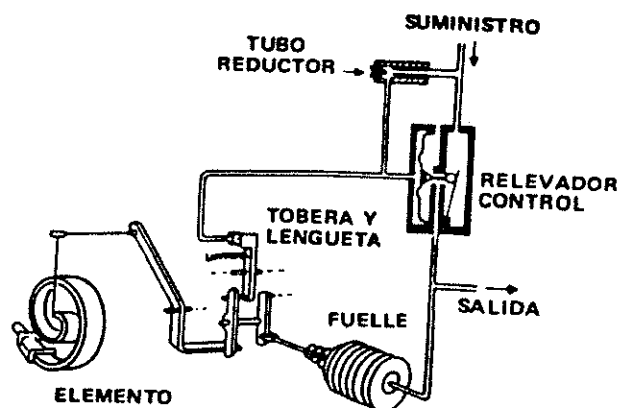


Fig. 1.7 (Transmisor)

El suministro de aire pasa a través de una restricción en la línea. La presión reducida, determinada por la relación entre la lengüeta y la tobera, es aplicada al diafragma del relevador de control.

Cambios en la variable medida (presión o temperatura) hacen que se muevan el elemento y sus enlaces. Este movimiento altera la relación de lengüeta y tobera lo cual, actuando a través del relevador, cambia la retroalimentación (fuelle) y la presión de salida hasta que se restablece el equilibrio. Para cada valor de la medición hay una relación definida de lengüeta-tobera y, por lo

tanto, una presión de salida definida.

La presión de salida es transmitida a un receptor neumático para registrar, indicar y/o controlar.

EL CONTROLADOR NEUMÁTICO

El controlador detecta continuamente la diferencia entre una medición del proceso y su punto de ajuste y produce una señal neumática de salida que es una función de esta diferencia y del tipo de control. La señal de salida es transmitida a una válvula de control y otro dispositivo de control. La medición del proceso, el punto de ajuste y la señal de salida son indicados por el controlador. Fig. 1.8.

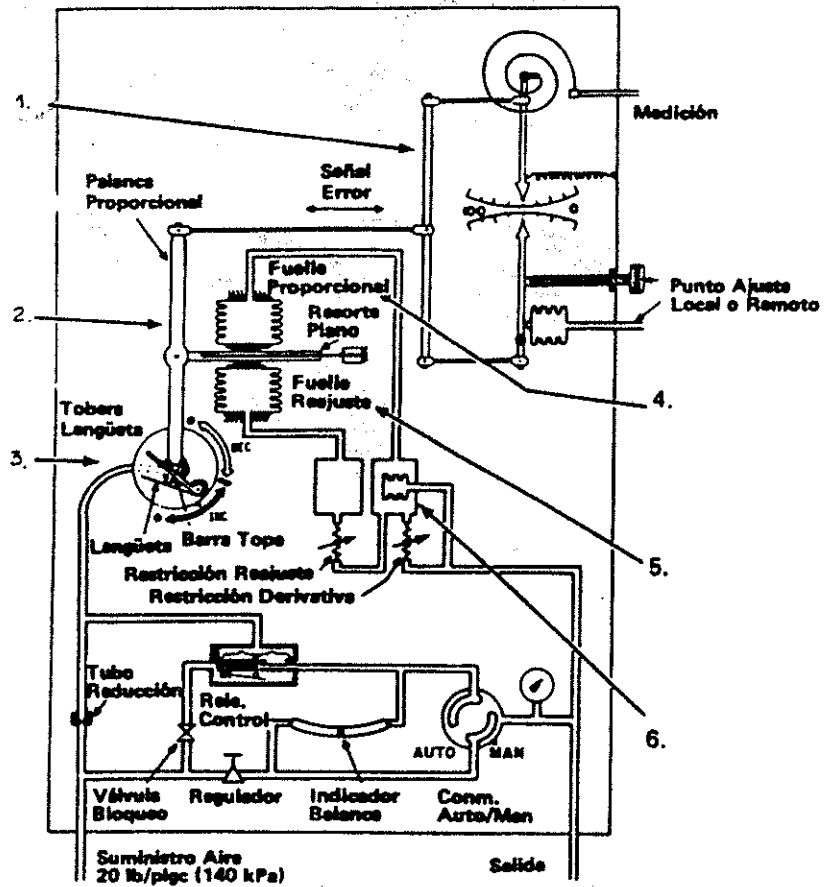
VALVULA Y MOTOR

La salida de aire del regulador mueve la válvula de control que, a su vez, gobierna el caudal entrante de material o de energía en el proceso. La respuesta de la válvula depende del tipo de motor de válvula; es decir, del dispositivo que transduce la señal de salida del regulador en posición de válvula. El motor puede ser neumático o eléctrico.

Al motor de válvula se le llama elemento final de control y su función es colocar en posición la válvula de control.

Los motores de válvula pueden disponerse de manera que abran o cierren la válvula al aumentar la presión del aire; la elección de la acción la dicta, usualmente, la clase de proceso regulado.

Principio de Funcionamiento



Controlador con Acciones Proporcional, de Reajuste y Derivativa, y Sistema de Transferencia Automático/Manual (Opcional).

Fig. 1.8 (Controlador neumático)

REGULADOR MODULADOR 53MC5000 F&P

Este instrumento es un controlador o regulador electrónico que funciona a través de una base de datos.

La base de datos del regulador modulador está compuesta de

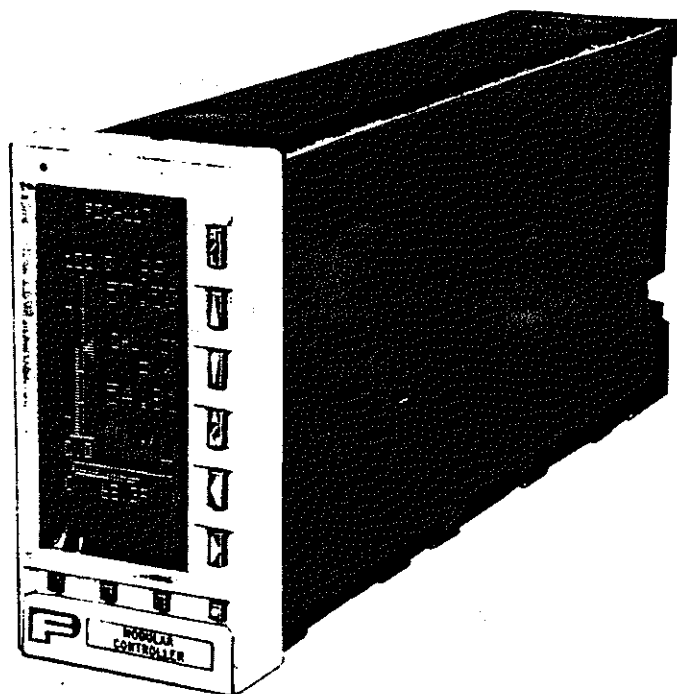


Fig. 1.9 (MICRO-DCI™ MODULAR CONTROLLER)

muchos parámetros de control y muestra diferentes operaciones de importancia. Cada parámetro es identificado por una ubicación en la base de datos (e.g. A10 o C100) Los valores específicos cargados dentro de la localización de la base de datos capacitan al 53MC5000 a hacer funciones especiales. Por conveniencia, los valores de la base de datos hacen una función particular estando agrupados dentro de módulos. Todos los datos en la base de datos son de uno a seis tipos. Los tipos de datos son identificados por el primer carácter de la ubicación de la base de datos.

La funcionalidad del controlador 53MC5000 es controlada por el

índice de la función del instrumento (FIX). La FIX está establecida por medio de una base de datos de parámetros B00.

Todos los parámetros de la base de datos son usados por estrategias de control, flexibles, las cuales incluyen toda la información requerida para levantar y poner en operación el controlador 53MC5000. Las estrategias de control usadas para esto son:

- (1) estrategia de control estandard simple;
- (2) estrategia de control de doble circuito cerrado.

Ya viene de fábrica, habilitada la estrategia de control flexible, FIX 1. La estrategia de control básica, FIX 1, es un singular circuito cerrado controlador (PID).

Las FIXe disponibles son:

- (1) FIX 0 CONTROL SUSPENDIDO
- (2) FIX 1 ESTRATEGIA DE CONTROL FLEXIBLE (FCS)
- (3) FIX 97 MUESTRA DE PRUEBA
- (4) FIX 98 POR FALTA DE BASE DE DATOS
- (5) FIX 99 PROGRAMANDO EL F-CIM

Todas las FIXe son ejecutadas en un medio común de entrada, salida y módulos generales. Cada estrategia de control mencionada puede ser modificada tomando ventaja del modulo estandard.

Tablero frontal del controlador.

Desplegado.

El regulador modulador contiene una alta visibilidad que muestra una matriz de puntos. Es posible configurar estática y/o,

dinamicamente, datos para la aplicación de exhibiciones o desplegados especificos.

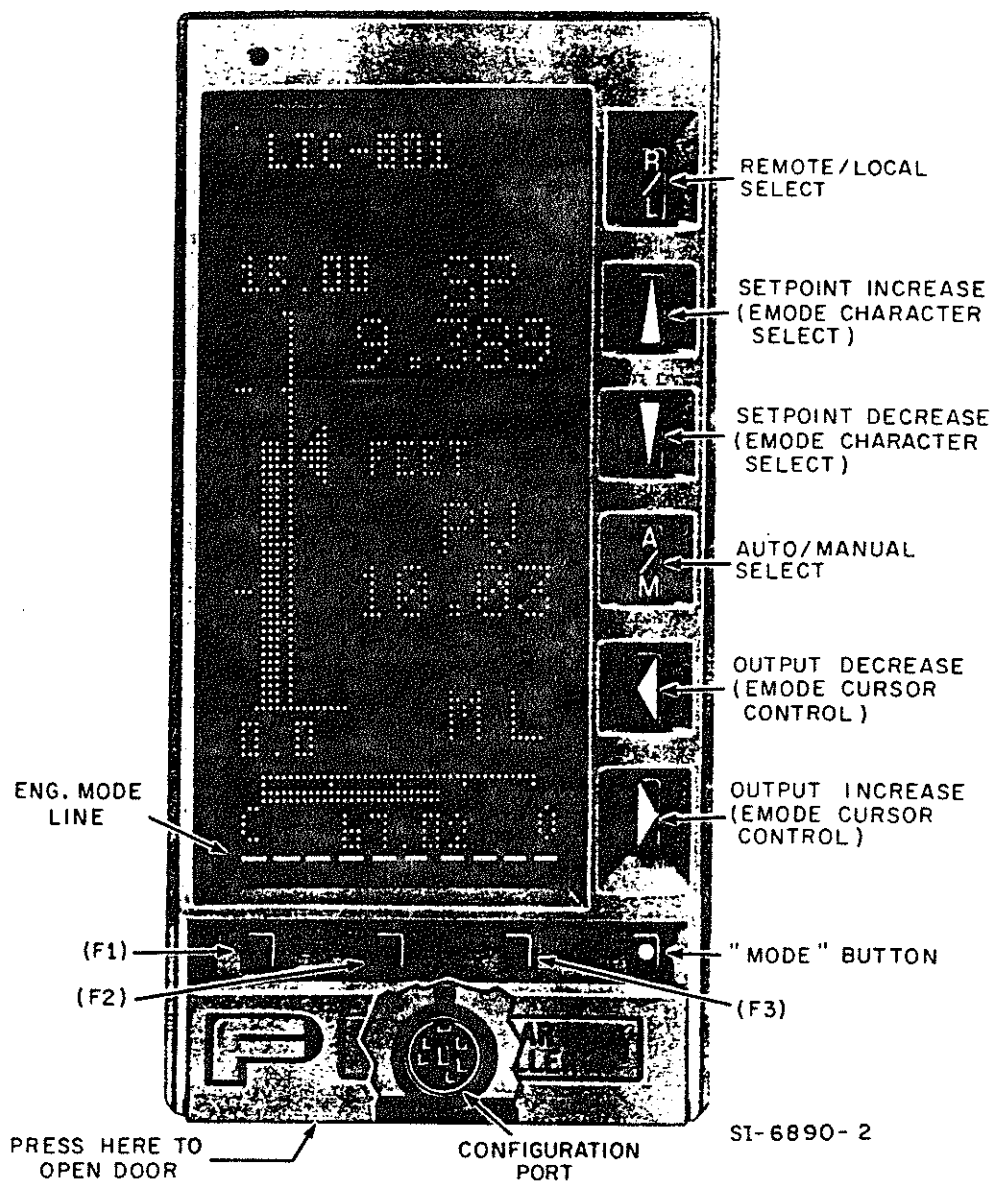


Fig. 1.10 (Tablero frontal del regulador modulador)

Anunciación de la alarma

Si un procedimiento o proceso de alarma ocurre ALARM comenzará a chispear sobre el tope o cima del desplegado. La alarma es reconocida presionando el botón de modo MODE.

Línea de ingeniería.

Cuando el controlador está en modo de ingeniería, el botón de línea del exhibidor puede ser usado para el desplegado o cambiar cualquier parámetro controlador.

Teclas de funciones.

La operación de los 10 botones sobre el frente del controlador dependen del tipo de desplegado comúnmente seleccionado. En general, la función de las teclas se describen abajo. A menos que, según sea especificada una función en el modo de ingeniería, las funciones registradas están por modo de control.

R/L: esta tecla es usada por el punto y grupo de desplegados para cambiar entre Remoto REMOTE y local LOCAL los modos de los puntos de control.

BOTONES DE SP: los botones del punto de control son usados para ajustar el punto de control del punto de los desplegados y lo más notable de las diferentes selecciones en otras exhibiciones. En modo de ingeniería estas teclas son usadas para cambiar o ajustar

valores.

A/M : este botón es usado por el punto de muestras para cambiar entre automático AUTOMATIC y manual MANUAL la operación.

BOTONES DE SALIDA: la salida de los botones son usados por el punto de muestras para ajustar la salida del controlador cuando el controlador está en manual. En modo de ingeniería éstas teclas son usadas para cambiar o ajustar valores.

EL BOTON DE MODO: el botón de modo MODE es usado para apagar el anunciador de la alarma. Si el anunciador de la alarma no está encendido cuando la tecla es presionada, el modo de Ingeniería está ingresado. Presionando la tecla de modo MODE un rato en modo de ingeniería se retornará a usar el modo de operador normal.

F1: la tecla F1 es normalmente usada, también, para regresar la pantalla del desplegado previo o para pasar al próximo grupo de exhibiciones, dependiendo de cómo fue configurada la jerarquía de los desplegados. En el modo de Ingeniería la tecla F1 retorna igual al menú previo.

F2: la tecla F2 es normalmente usada para adelantar a la próxima exhibición. En modo de ingeniería la tecla F2 es usada para avanzar a través de las diferentes selecciones. (Desplegar, Configurar,

Programar).

F3: la tecla F3 es usada como una tecla de entrada o ingreso al estado o condición, parámetros y sumario de exhibiciones para seleccionar el indicado menú preferido. En el modo de ingeniería la tecla F3 es usada como una entrada para seleccionar la selección común o completar el ingreso.

La función de las teclas anteriormente descritas, es determinada por el desplegado corrientemente seleccionado y el modo de operación.

El 53MC5000 tiene 2 modos de operación estandard:

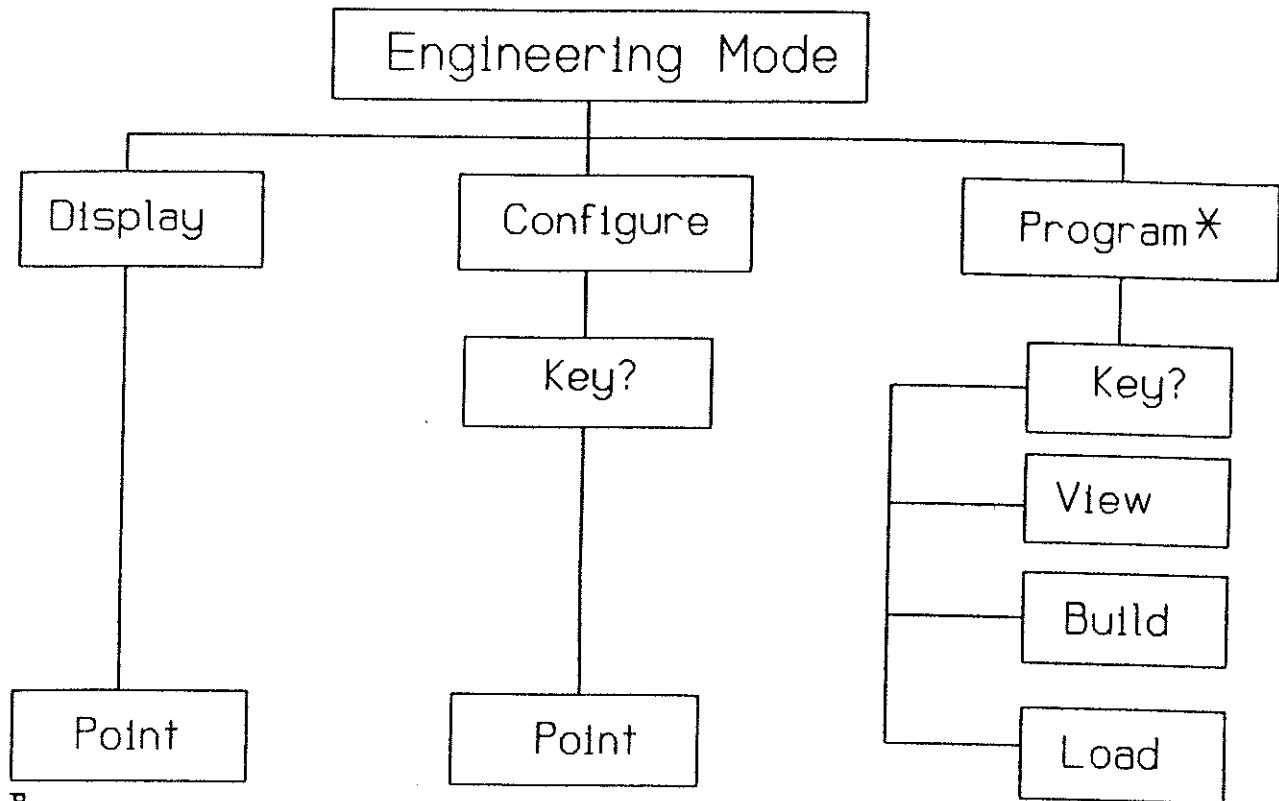
- (1) Modo de controlador (Modo de operación normal)
- (2) Modo de ingeniería (Modo de configuración)

Se describe a continuación el modo de ingeniería:

Modo de ingeniería;

Tipos de parámetros.

La operación del controlador 53MC5000 es especificada por un control de parámetros llamados la base de datos "database". Todos los datos en la base de datos son de uno a seis tipos descritos abajo. Los parámetros están arreglados y descritos de acuerdo a su función.



Engmode fcd

* Refer to Customization Guide 53MC5000

Fig. 1.11 (Jerarquía de comandos en el modo de ingeniería)

Dato Tipo "L": representa una sencilla numeración de bit. Estos pueden tener valores de 0 a 1. Hay 1000 parámetros de tipo "L" nombrados de L000 a L999.

Dato Tipo "B": representa enteros positivos con valores de 0 a 255. Hay 512 parámetros de tipo "B" nombrados de B000 a B511.

Dato Tipo "C": representa verdaderos valores análogos (puntos flotantes) Tienen separación de una parte en 32,768 (15 bits) y un rango dinámico de $\pm 10^{32}$. Hay 640 parámetros tipo "C" nombrados de C000 a C639.

Dato Tipo "H": representa gran precisión de valores análogos (puntos flotantes) Tienen separación de una parte en 2 billones (31 bits) y un rango dinámico de $\pm 10^{32}$. Hay 128 parámetros tipo "H" nombrados de H000 a H127.

Dato Tipo "A": representa filas que son de 10 caracteres largos. Hay 224 parámetros de tipo "A" nombrados de A000 a A223.

Dato Tipo "F": representa filas que son de 5 caracteres largos. Hay 448 parámetros tipo "F" nombrados de F000 a F447.

Métodos para cambiar parámetros.

Los parámetros pueden ser cambiados usando cualquiera de los siguientes 4 métodos:

- (1) usando los botones del frente del controlador;
- (2) usando el F&P configurar de mano (o cualquier terminal

OPCIONES FRONTALES DE CONEXION PARA EL REGULADOR MODULADOR

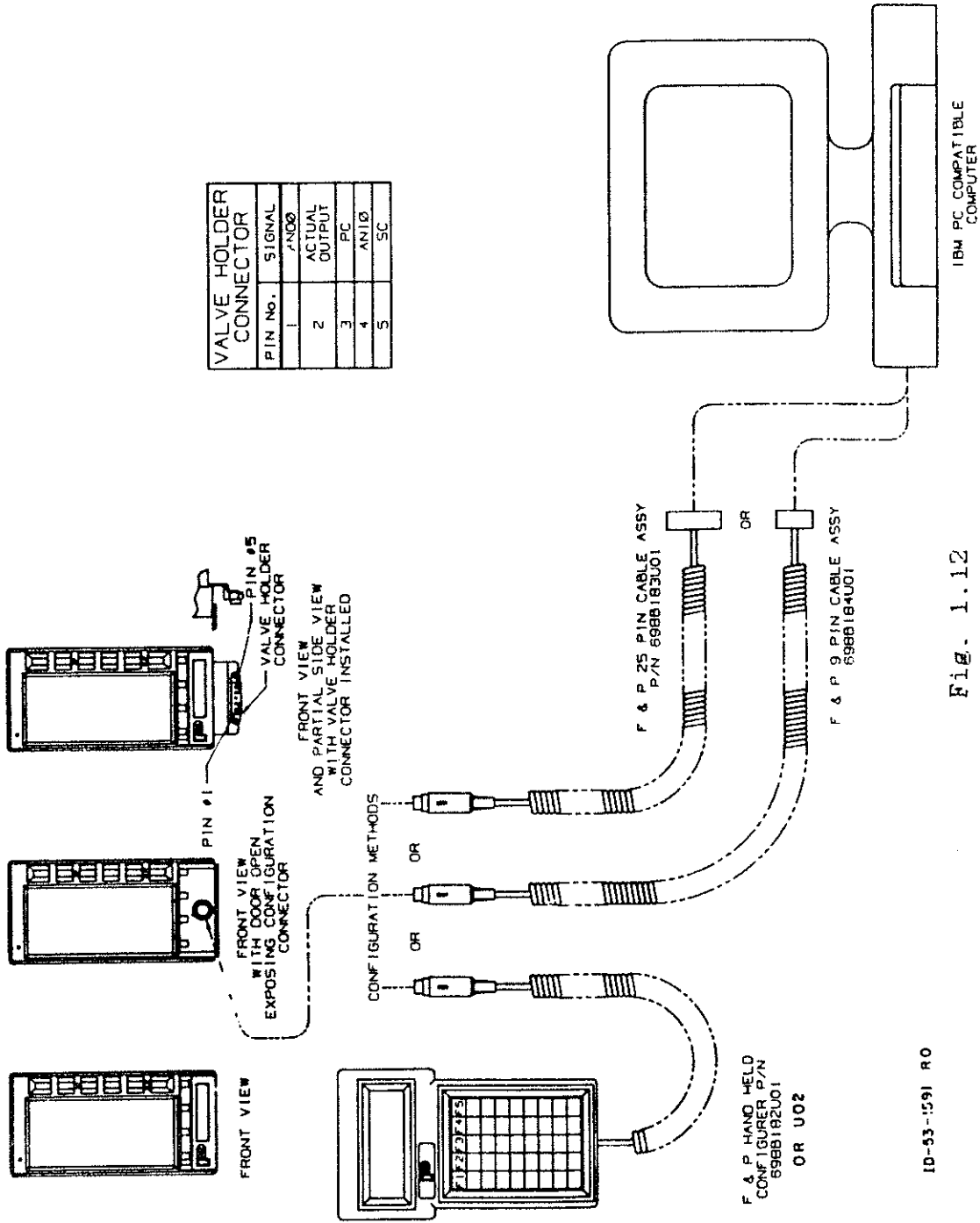


Fig. 1.12

ASCII RS-232) enchufando hacia el conector de la configuración sobre el frente del controlador;

(3) usando una IBM PC compatible, corriendo el programa de configuración MC5FIG.EXE, suministrado como parte del 53HC3300C del paquete del software;

(4) usando un F&P SUPERVISOR-PC corriendo la revisión 3 o luego el software.

1.3.7 APLICACION DEL CONTROL AUTOMATICO A CALDERAS DE UN INGENIO

Como se mencionó anteriormente, para que una caldera alcance sus objetivos fundamentales, es necesario controlar los 6 factores que se señalaron al principio de este capítulo.

De los seis factores mencionados, sólo el tratamiento del agua de alimentación se hace sin automatizar, pues, dicho tratamiento se controla en el laboratorio. Todos los demás factores se controlan en función de un "control maestro" que en este caso, es el nivel del agua en el domo principal de la caldera.

La instrumentación de una caldera, básicamente, consta de los siguientes elementos:

(1) Control del nivel de agua en el domo de la caldera:

- un sensor y transmisor de señal del nivel,
- un medidor y transmisor del flujo de vapor,
- un medidor y transmisor del flujo de agua de alimentación,
- un controlador registrador que reúne las señales anteriores

y emite la señal de control hacia la válvula de alimentación,

- un regulador de presión del agua en la línea de la bomba hacia la caldera.

(2) CONTROL DE TIRO INDUCIDO

- Se controla por medio de sensores-transmisores de la presión en el horno.

(3) CONTROL DE TIRO FORZADO Y DEL COMBUSTIBLE

Tanto el tiro o, sea, el aire para la combustión y el suministro o alimentación de combustible, se controla por la señal de presión de vapor en el domo de la caldera.

1.3.8 SELECCION DEL SISTEMA DEL AGUA DE ALIMENTACION

La selección de un sistema de control de agua de alimentación adecuado, depende de varios factores, tales como: el diseño de la caldera, régimen de variación de la carga, equipo de suministro del agua, etc. La tabla 1.2 da una guía general para la selección del sistema; sin embargo, la selección final se debe determinar con base en los requerimientos de cada aplicación.

Tabla simplificada de selección.

Hay que usar el tipo de control inmediato superior cuando el

TABLA SIMPLIFICADA DE SELECCION

TIPO DE SISTEMA DE CONTROL	MENOS DE 75.000 LBS./HR	75.000 A 100.000 LBS./HR	ARRIBA DE 100.000 LBS./HR
TRES ELEMENTOS	No se aplica	Para carga v presión de agua variable v calderas con economizador	Para todos los tipos de carga
DOS ELEMENTOS	Para cargas irregulares v grandes fluctuaciones de carga	Para cargas estables o fluctuantes	Para cargas estables o medianamente fluctuantes
UN ELEMENTO	Para cargas estables (procesos continuos)	Para cargas estables con buen suministro v regulación de presión de agua	No se aplica
TERMO-HIDRAULICO	Para cargas estables	No se aplica	No se aplica

nivel en el domo es inestable debido a:

- tamaño reducido del domo,
- efectos de dilatación-contracción (*)
- regulación pobre de entrada de calor,
- alta concentración de sólidos,
- cuando las calderas no están equipadas con modernos dispositivos de separación de vapor

(* Dilatación-Contracción: es un efecto que se produce en el nivel del agua en el domo, cambia el nivel sin cambiar el volumen de agua. Un incremento súbito en la carga es seguido por un incremento en el calor de entrada el cual causa una dilatación en el nivel debido a un incremento en el volumen de las burbujas de vapor debajo de la superficie. Y un súbito decremento en la carga produce una contracción (baja el nivel) debido al decremento en el volumen de las burbujas de vapor.

1.3.9 SISTEMAS BASICOS DE CONTROL DE UNO, DOS Y TRES ELEMENTOS CONTROL DE TRES ELEMENTOS

El control de 3 elementos es un circuito de control de alimentación que mantiene el flujo de entrada de agua, igual a la demanda del agua de alimentación.

La medición del nivel en el domo protege contra el arrastre que pudiera haberse debido a errores en los medidores de flujo, purgadores, etc.

CONTROL DE TRES ELEMENTOS

Nivel del domo Flujo de vapor Flujo de agua

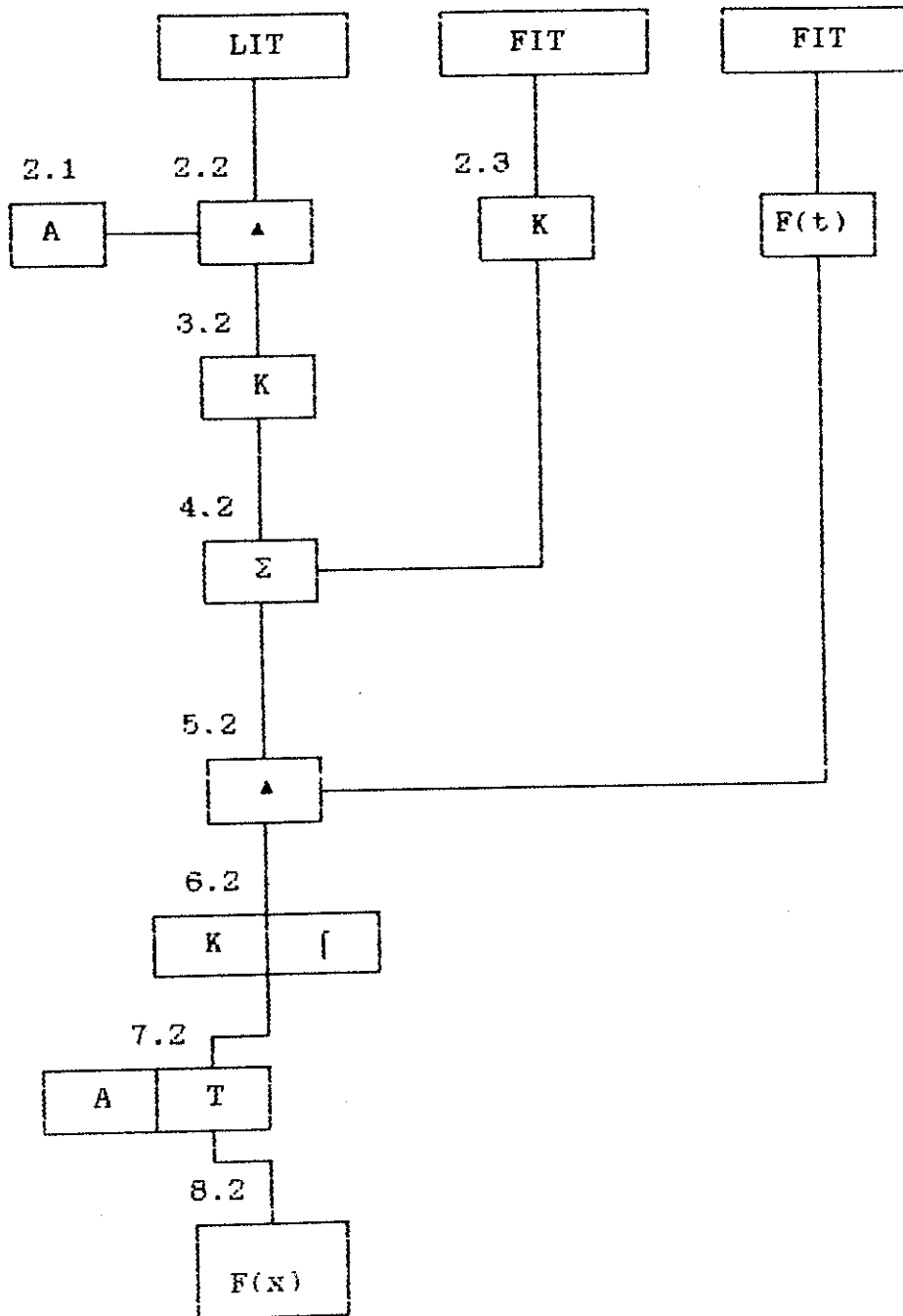


Fig. 1.13

El controlador 3.2 de la fig. 1.13, aplica acción proporcional al error entre la señal de nivel del domo y el punto de ajuste. La suma de la señal de error (a la salida de 3.2) y la señal de flujo de vapor es la señal de demanda de agua de alimentación.

La señal de demanda de agua de alimentación es comparada con el flujo de entrada de agua y, la diferencia, es la salida del controlador 5.2.

El controlador 6.2 aplica acción proporcional más integral a la salida de 5.2 para corregir la señal del agua de alimentación y, así, regular la válvula o el control de velocidad de la bomba.

Los sistemas de control de agua de alimentación, de 3 elementos pueden ser ajustados para restablecer un nivel predeterminado en el domo, para todas las cargas o en calderas que están sujetas a severas fluctuaciones de carga, el sistema puede ajustarse para permitir que el nivel del domo varíe con la carga, para compensar los efectos de dilatación-contracción.

CONTROL DE DOS ELEMENTOS

El control de dos elementos es un circuito de control transmisor de agua de alimentación que utiliza medidores de flujo para controlar la entrada de agua de alimentación, con medidor de nivel para mantener el nivel correcto en el domo.

El controlador 3.2 aplica acción proporcional entre la señal de nivel en el domo y su punto de ajuste.

La suma de la señal de error del nivel del domo (salida de

3.2) y la señal de flujo, determinan la posición de la válvula.

De esta manera, el medidor de flujo mantiene un flujo de agua de alimentación proporcional al flujo de vapor; la instrumentación del nivel del domo corrige cualquier desbalance en la entrada de agua y la salida de vapor causado por las desviaciones en la relación entre la posición de la válvula del flujo de agua y de los necesarios ajustes transitorios para hacerle frente a los efectos de dilatación-contracción de la caldera.

CONTROL DE UN ELEMENTO

En el sistema de control de nivel de un elemento, el agua en el domo está al nivel deseado cuando la señal del transmisor de nivel es igual al punto de ajuste.

Si existe un nivel no deseado, el controlador 3.2 aplica una acción proporcional más integral a la diferencia entre la señal del nivel en el domo y la señal del punto de ajuste, para cambiar la posición del regulador de la válvula.

La estación manual/automática 4.2, da al operador un control completo sobre la válvula. Un posicionador de válvula puede ser incluido en el ensamble de la válvula de control para armonizar las características de la válvula con los requerimientos particulares del sistema.

El control de nivel de un elemento mantendrá un nivel constante en el domo para cambios leves en la carga, en la presión del vapor o en la presión de suministro de agua. Sin embargo, si

CONTROL DE DOS ELEMENTOS

CONTROL DE UN ELEMENTO

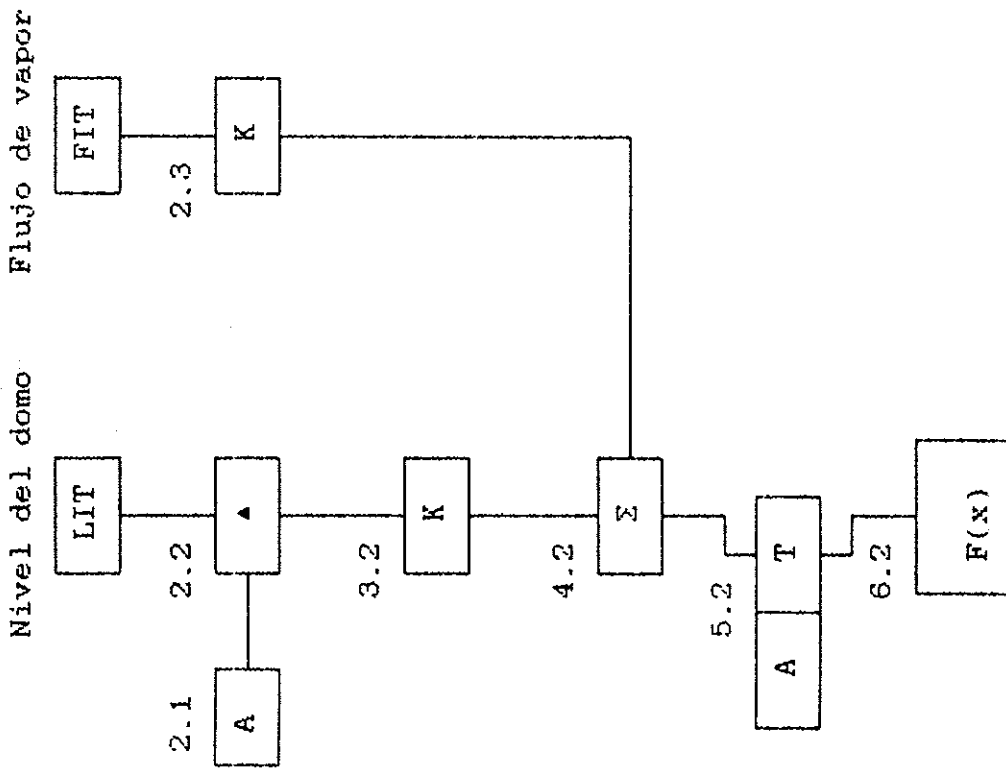


Fig. 1.14

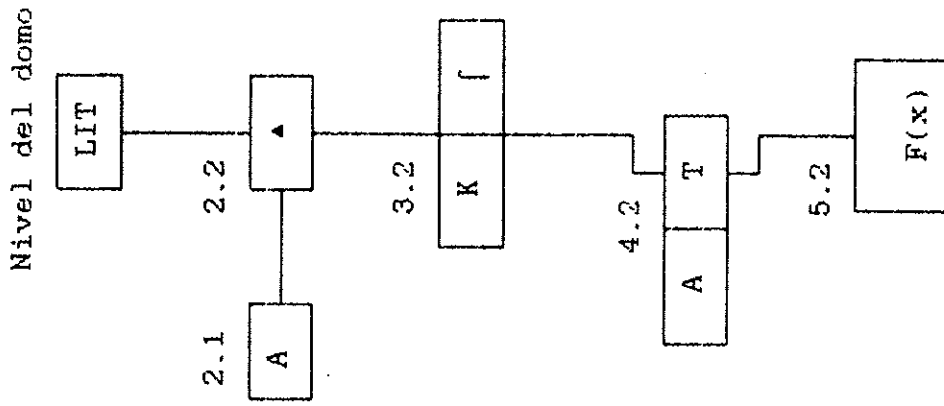


Fig. 1.15

el control sólo satisface los requerimientos de nivel del domo, los efectos excesivos de contracción-dilatación, causarán amplias variaciones en el nivel, cosa que no sucede con los controles de dos o tres elementos. Figs. 1.14 y 1.15.

1.4 BREVE DESCRIPCION DE FALLAS EN EL SISTEMA DE VAPOR POR FALTA DE CONTROLES

Se mencionaron algunos de los daños materiales causados en las calderas y turbinas por causa de falta de controles.

En los ingenios azucareros la demanda de vapor fluctúa grandemente; cuando se da el caso que la demanda de vapor baja sensiblemente, no hay mayor problema, pues, todas las calderas tienen válvulas de seguridad que dejan escapar vapor para que no aumente la presión en forma peligrosa y aún en los casos en que las calderas son operadas manualmente, da tiempo al operador de cortar la alimentación de combustible.

1.4.1 SOBRECALENTAMIENTO DE LOS TUBOS DE CONVECCION

Cuando en un momento dado la demanda de vapor aumentara repentinamente, se evaporará el agua que está entrando en el domo más rápidamente, bajaría el agua a un nivel que no es el adecuado con el consiguiente peligro que los tubos de convección se quemasen; esto sucede debido a que las calderas utilizadas en los ingenios son de tubos de agua y, al quedarse sin agua debido a la súbita evaporación, se sobrecalientan y se queman.

1.4.2 ARRASTRE DE AGUA

Por otra parte, cuando hay un incremento súbito en la demanda de vapor, se forma una especie de vacío, el cual produce una succión de agua del domo y es lo que se conoce con el nombre de "arraete".

El arrastre súbito y concentrado de agua en el vapor, es tremendamente pernicioso, pues dicho arrastre, además de producir lo que en Guatemala se llama "golpe de agua" que destruye las tuberías y así daña y destruye los álabes de los rotores.

Hay otro tipo de arrastre que también se debe a la falta de controles en el nivel del domo de las calderas y aunque es un arrastre menor, es frecuente y erosiona, paulatinamente, los álabes de los rotores, hasta que hace perder a la turbina su eficiencia y, por consiguiente, hay que cambiar los álabes, lo cual representa una reparación costosa que es mayor o menor, dependiendo de la turbina, ya que se necesita balancear, dinámicamente, los rotores después de haberlos reparado. También existe el arrastre de productos químicos (soda) que daña las válvulas de disparo y la posible destrucción de las turbinas.

CAPITULO 2.

LA COMBUSTION

Cuando se oye hablar de una combustión se sabe que se trata,

por lo común, de la quema u oxidación de los materiales llamados combustibles.

Conviene recordar que en toda combustión intervienen dos componentes esenciales: el combustible y el comburente o material oxidante.

2.1 COMBUSTIBLES

El combustible es uno de los principales componentes en una reacción de combustión y no es más que el material oxidable o material que puede quemarse.

Los elementos fundamentales de un combustible son: Carbono (C) e Hidrógeno (H) El azufre (S) es un elemento, pero, no se considera como combustible, sino, mas bien, como un cuerpo indeseable.

2.2 TIPOS DE COMBUSTIBLES

Los combustibles comerciales, ya sea en su estado natural o en formas preparadas, se pueden presentar en tres estados diferentes: sólidos, líquidos y gaseosos.

2.2.1 COMBUSTIBLES SOLIDOS

Los combustibles sólidos comprenden los carbonos, lignitos, coques, maderas y residuos combustibles de muchos procesos de fabricación, por ejemplo: el bagazo que se extrae del proceso de fabricación del azúcar.

2.2.2 COMBUSTIBLES LIQUIDOS

Los combustibles líquidos, como la gasolina, el keroseno (o queroseno) y el combustóleo ("Fuel-Oil") se obtienen mediante la destilación del petróleo. Presentan ciertas ventajas sobre el combustible sólido: mayor limpieza en la combustión y fácil manejo y almacenamiento. La fórmula química general de los hidrocarburos líquidos es C_xH_y , y, los valores de los subíndices x e y , dependen de la familia de hidrocarburos.

2.2.3 COMBUSTIBLES GASEOSOS

Los combustibles gaseosos también son una mezcla de diversos hidrocarburos. Presentan una combustión casi completa y de gran limpieza. Los productos de su combustión no poseen componentes de azufre, por lo que no causan efectos nocivos en el ambiente. Los combustibles gaseosos se pueden dividir en: gases naturales y gases industriales. Los gases naturales son los que se encuentran bajo el suelo y los gases industriales son los manufacturados o hechos por el hombre. Entre éstos hay enormes diferencias que radican en la proporción de constituyentes en cada uno de ellos.

2.3 PROCESO DE COMBUSTION

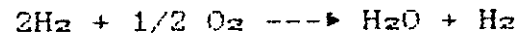
El proceso de combustión consiste en la oxidación o quema de los constituyentes del combustible y es posible formular ecuaciones para describir dicho proceso reactivo. A continuación se presentan las ecuaciones que describen la combustión de los

diversos componentes del combustible en general.

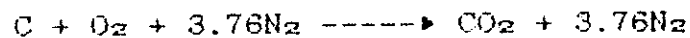
Ecuación básica: $C + O_2 \rightarrow CO_2$

Combustión incompleta: $C + 1/2 O_2 \rightarrow CO$

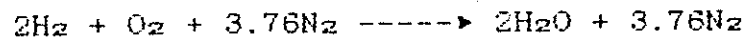
Combustión con Hidrógeno libre en los productos:



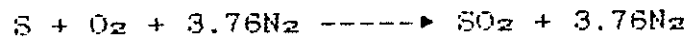
Combustión del Carbono en el aire:



Combustión del Hidrógeno en el aire:



Combustión del Azufre en el aire:



Durante el proceso de la combustión, la masa total permanece inalterada, de modo que en el balance de las ecuaciones de reacción se aplica la ley de conservación de la masa.

2.3.1 REACTIVOS PRODUCTOS

En todo proceso reactivo, como lo es el proceso de combustión, intervienen diferentes sustancias, las cuales se definen así:

- reactivos: son las sustancias iniciales en la reacción;
- productos: son el resultado de la reacción o sustancias finales.

Cuando un combustible hidrocarbónico se oxida por completo, los productos resultantes son dióxido de carbono y agua. El agua puede existir en forma sólida, líquida o gaseosa, lo cual depende de la presión y la temperatura final del producto.

2.3.2 COMBUSTION CON AIRE

La mayor parte de los procesos de combustión se llevan a efecto con aire y no con oxígeno puro. El aire está formado por varios elementos, en particular oxígeno, nitrógeno y argón, así como por algunos otros vapores y gases inertes; su composición volumétrica (o molar) es de, aproximadamente, 21% de oxígeno, 78% de nitrógeno y 1% de argón. Sin embargo, aquí se considera que el aire sólo contiene nitrógeno puro, es decir, que está formado únicamente por oxígeno y nitrógeno, cuya consideración se enmendada tomando 28.16 como masa (o peso) molecular en vez de 28.016.

2.3.3 AIRE TEORICO

La cantidad mínima de aire necesaria para oxidar los reactivos se conoce con el nombre de aire teórico. Cuando la combustión se lleva a cabo con el aire teórico debe ocurrir íntegramente. En la práctica esto resulta imposible. Se necesita más oxígeno del teóricamente necesario para lograr la combustión u oxidación total de los reactivos. Se requiere, entonces, un exceso de aire, pues, cada porción de combustible, por ejemplo una gota, debe hallarse estrictamente rodeada por un número de moléculas de oxígeno mayor

que el necesario, para asegurar la oxidación de todas las moléculas del hidrocarburo. Este exceso de aire, generalmente, se expresa como un porcentaje del aire teórico.

Si el exceso de aire es insuficiente para permitir una combustión completa, entonces, no todo el carbono se oxidará a la forma de dióxido de carbono, sino que una parte resultará como monóxido de carbono. Cuando haya una cantidad, considerablemente menor, de aire teórico aparecerán hidrocarburos no quemados en los productos. Estos producen el hollín o humo negro que en ocasiones arrojan las chimeneas. Lo anterior sucede cuando no se cumple una o más de las siguientes condiciones que se requieren para una combustión completa:

- (1) la mezcla de combustible y aire debe hallarse a la temperatura de ignición;
- (2) tiene que haber oxígeno suficiente para asegurar una oxidación completa;
- (3) el oxígeno debe encontrarse en contacto íntimo con el combustible.

2.3.4 RELACION ENTRE AIRE Y COMBUSTIBLE

Dos conceptos importantes del proceso de la combustión indican la proporción entre el aire y el combustible que interviene; se trata de las llamadas: relación aire-combustible, $R_{a/c}$, y, su recíproco, la relación combustible-aire, $R_{c/a}$. Ambas pueden expresarse en términos de la masa del combustible y del aire presente.

2.4 EL BAGAZO COMO COMBUSTIBLE

El bagazo final o, simplemente, el bagazo, es el material sólido, fibroso, que sale de la abertura trasera del último de los molinos de la batería, después de la extracción del jugo.

Este es, pues, el residuo de la molienda de la caña.

La fibra de la caña, es en general suficiente para que la cantidad de bagazo producida por el molino se utilice, a su vez, como combustible en los hornos de las calderas y produzca todo el vapor necesario para el movimiento de los motores y para la fabricación.

Con un contenido normal de fibra (12-14%) y en una fábrica bien balanceada y bien diseñada, debe quedar un exceso de bagazo (o de vapor) útil para otros fines.

2.4.1 COMPOSICION FISICA DEL BAGAZO

Sus propiedades más importantes, desde el punto de vista de la producción del vapor son:

- Humedad; es la cantidad de agua contenida en el bagazo al salir del último molino y se expresa en % de volumen.

Los valores más frecuentes son: $w = 48$ a 51% .

Material insoluble; constituido, principalmente, por la celulosa y que constituye la fibra del bagazo. Cuyo % en volumen oscila alrededor del 50%.

Sustancias en solución en el agua: consistentes en azúcar e impurezas. Estas sustancias en solución se presentan en pequeñas cantidades que van del 2 al 5%.

2.4.2 COMPOSICION QUIMICA DEL BAGAZO

La composición química del bagazo seco, varía ligeramente, de acuerdo con diferentes autores, pero, la variación entre esas cifras no es muy grande y es posible basar los cálculos en los siguientes valores medios:

C = 47%; H = 6.5%; O = 44% y Cenizas = 2.5%.

2.4.3 PODER CALORIFICO DE LOS COMBUSTIBLES

La potencia calorífica de un combustible es la energía liberada por unidad de peso o de volumen del mismo. Para los combustibles sólidos o líquidos la potencia calorífica se expresa en Kcal/Kg (Btu/Lb) y para los gaseosos en Kcal (Btu) por metro cúbico (pie cúbico) de gas medido a una temperatura de 15.6°C y a una presión absoluta de 762 mm de mercurio.

Los combustibles que contienen hidrógeno tienen dos potencias caloríficas: la superior y la inferior. La combustión del hidrógeno produce vapor de agua, el cual en los hogares ordinarios se escapa a la temperatura de los gases de la chimenea.

Potencia calorífica inferior: es el calor liberado por Kg (Lb) de combustible después de deducir el necesario para vaporizar el agua

formada por la combustión del hidrógeno.

Potencia calorífica superior: es el calor obtenido cuando el vapor producido se condensa y se recupera su calor.

2.4.3.1 PODER CALORIFICO DEL BAGAZO

Para los fines de esta tesis, se limita al poder calorífico del bagazo húmedo, pues, en tales condiciones es quemado en las calderas.

El poder calorífico del bagazo está en función del % de fibra del bagazo, el azúcar en el bagazo (Pol. de bagazo en %) glucosa, % de humedad y otras impurezas.

Hay diferentes ecuaciones que conducen a determinar el poder calorífico, tanto superior como inferior del bagazo. En este trabajo se utilizarán las siguientes ecuaciones que se utilizan muy bien en la práctica:

$$P.C.S. = 8280*(1 - w) \text{ Btu/Lb}$$

$$P.C.I. = 7650 - 8730*w \text{ Btu/Lb}$$

w = Humedad del bagazo relativa a la unidad

P.C.S = Poder o valor calorífico superior

P.C.I.= Poder calorífico inferior

2.4.4 COMBUSTION DEL BAGAZO

Para el fin de esta investigación, no se entrará al análisis respecto del detalle de la combustión del bagazo; sino, sólo se

hará mención de los aspectos más importantes a considerar en este proceso y que serán de utilidad, posteriormente.

2.4.4.1 COMBUSTION DEL BAGAZO SECO SIN EXCESO DE AIRE

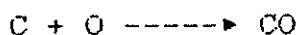
El aire, teóricamente, necesario para quemar 1 Kg. de bagazo seco es:

Peso total = 5.75 Kg.

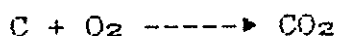
Volumen total = 4.47 m³ a 0°C y 760 mm de Hg.

2.4.4.2 COMBUSTION DEL BAGAZO HUMEDO CON EXCESO DE AIRE

En la práctica no es posible quemar combustible proporcionándole sólo la cantidad de aire, teóricamente, necesaria: la combustión sería, en esta forma, pobre e incompleta. Para obtener una combustión completa, sin dejar material no quemado y para que todo el carbono se convierta en CO₂ es necesario proporcionar cierto exceso de aire. En efecto, se perderá una proporción considerable de calor, si se permite que, parte del carbono se queme, formando únicamente CO. La reacción:



libera únicamente 2473 Kcal./Kg. de carbono, mientras que la combustión normal:



libera 8140.

El peso y volumen de aire empleado por Kg. de bagazo húmedo se obtienen a través de las siguientes ecuaciones:

$$P_a = 5.75 * (1 - w) * m$$

$$V_a = 4.47 * (1 - w) * m$$

donde:

w = humedad del bagazo

m = exceso de aire en relación a la unidad

Los valores obtenidos son calculados para una temperatura de 0°C y 760 mm de Hg. La corrección para determinarlos a cierta temperatura se hará de la siguiente manera:

$$V_t = V_o * (273 + t)/273$$

donde:

V_t = Volumen a la temperatura t

V_o = Volumen a la temperatura de 0°C

273 = Constante

Para hablar respecto de la combustión del bagazo húmedo, se tendría mucho que decir sobre composición en peso o molar. Pero, se considera más importante hacer un comentario sobre los ensayos, observaciones y resultados que se han obtenido, y, a través de ellos, sacar ciertas conclusiones.

En la tabla 2.1 se dan algunos valores correlativos entre el exceso de aire en relación a la unidad (m) y el contenido de CO₂ también con relación a la unidad (δ).

δ	0.06	0.07	0.08	0.09	0.10	0.11	0.12	0.13	0.14	0.15	0.16	0.17
m	3.27	2.80	2.45	2.18	1.96	1.78	1.63	1.51	1.40	1.30	1.22	1.15

Teóricamente, el máximo % de CO₂ en los gases humerales, quemando bagazo, es de 19.6%.

Si se desea obtener una combustión completa sin una apreciable formación de CO, es necesario admitir un mínimo de exceso de aire.

De acuerdo a varios autores e investigaciones realizadas por éstos, se ha llegado a concluir que las mayores eficiencias en las calderas se obtienen cuando:

- el contenido de CO₂ está entre el 12 y 14%;
- el exceso de aire entre el 40 y 60%.

2.5 EL ACEITE-COMBUSTIBLE (FUEL-OIL) COMO COMBUSTIBLE

Los aceites combustibles más utilizados en la industria, designados por los grados ASTM son los siguientes:

No.1, aceite destilado, empleado para la evaporación en quemadores de tipo doméstico y en los que requieren este grado de combustible;

No.2, aceite destilado cuyo objetivo general es usarse para el calentamiento doméstico y en quemadores que no requieran del aceite-combustible No.1;

No.4, no requiere, generalmente, de precalentamiento para su manejo o para quemarse;

No.5, (ligero) puede requerir precalentamiento, según el clima y el equipo.

No.5. (pesado) puede requerir precalentamiento para quemarse y en climas fríos puede ser necesario para manejarlo;

No.6, necesita precalentamiento para quemarse o manejarlo.

Concretamente, los (Fuel-Oil) utilizados en los quemadores de la caldera No.4 del Ingenio Concepción S.A. son: el No.2 y el No.6, siendo, este último, el más usado.

2.5.1 CARACTERISTICAS DE LOS ACEITES-COMBUSTIBLES

Se describirán, brevemente, las propiedades más importantes de los aceites-combustibles.

DENSIDAD: se determina por lo común a la temperatura ambiente con hidrómetros especiales, corregidos a 60°F y se expresa en grados API. Es una escala que se relaciona en proporción inversa al peso específico (s) a 60°/60°F, como sigue:

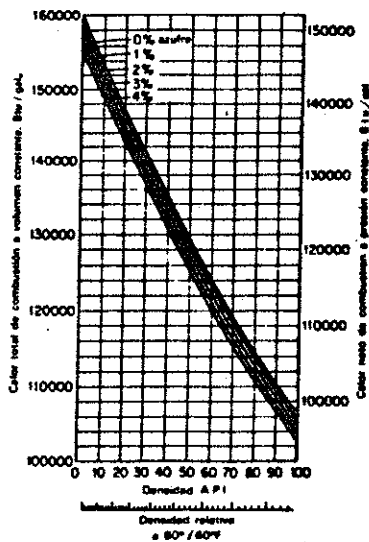
$$\text{Grados API} = (141.5/s) - 131.5$$

El calor de combustión se correlaciona, también, con la gravedad del combustible y se puede estimar hasta dentro de 1% como se muestra en la gráfica 2.1.

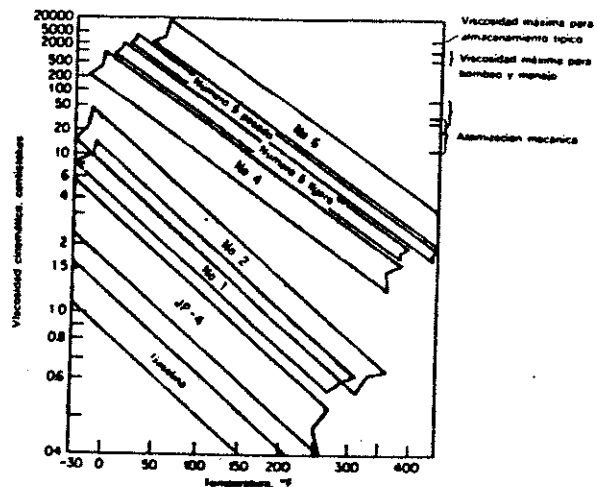
VISCOSIDAD: la viscosidad es la medida de fluidez de un líquido. En la gráfica 2.2, se muestran relaciones de viscosidad y temperatura para combustibles de petróleo típico.

PUNTO DE FLUIDEZ O CONGELACION; es la temperatura a la cual la superficie que rodea un termómetro ya no es fluido.

Las gamas de punto de fluidez de $< - 60^{\circ}\text{F}$, para algunos combustibles del tipo queroseno a chorro hasta $> + 115^{\circ}\text{F}$ para los combustibles cerosos del No.6 y las relaciones de viscosidad y temperatura de la gráfica 2.2 no son válidas a temperaturas cercanas al punto de fluidez.



Gráfica 2.1



Gráfica 2.2

PUNTO DE INFLAMACION; el punto de inflamación de un aceite es una medida de su volatilidad. Se alcanza el punto de inflamación cuando se produce una tenue llama azulada sobre la superficie total pero que se extingue por sí sola al retirar la llama de prueba.

PUNTO DE COMBUSTION; es la temperatura a la cual los vapores

desprendidos del aceite continúan ardiendo con llama permanente después de retirada la llama de prueba.

En la actualidad se considera que el bunker C es otra denominación para el combustible No.6. Originalmente, el Bunker C y B eran combustibles en las gamas superior e inferior de viscosidad, respectivamente, de la clasificación de los combustibles No.6 y el Bunker A era un combustible del No.5.

Los sistemas de combustión para aceites combustibles No.6 se diseñaron por lo común para precalentar el combustible desde 90 a 120 °F, con el fin de reducir la viscosidad para facilitar el manejo y calentamiento del combustible desde 165 a 200 °F para reducir todavía más la viscosidad, con el fin de lograr una atomización adecuada. Para lograr tal fin, se recurre al calentamiento de las líneas por medio de vapor o electricidad, según lo requieran las condiciones climáticas, la longitud de las tuberías y la frecuencia de utilización. Los combustibles de grado No.2 o más ligeros no se suelen precalentar; una excepción es la de las turbinas industriales de gas que requieren con frecuencia un precalentamiento de los aceites-combustibles No.2, hasta lograr una viscosidad de 12 centistokes o menos para los arranques en frío, durante el invierno.

A continuación se muestra en la tabla 2.2 los requisitos detallados de la ASTM para aceites-combustibles.

Grado de aceite combustible	Descripción y requisitos para el uso	Punto de inflamación, °F (°C)	Punto de fluidos o congelación, °F (°C)	Agua y sedimentos, % en volumen	Residuos de carbono en fondos de 10%, %	Cenizas, % en peso	Temperatura de destilación, °F (°C)				Viscosidad Saybolt, s				Viscosidad cinemática, centistokes				Densidad (A.P.I.)	Corrosión de tira de cobre
							Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo			Máximo	Mínimo
No. 1	Un aceite destilado destinado a quemadores del tipo de olla para vaporizar y otros quemadores que requieren este grado de combustible	100 o legal (38)	0	Rastros	0.15	...	Punto de 50% Máximo: 550 Mínimo: (268)	Universal a 100°F (38°C)	Máximo: ... Mínimo: ...	Parafina 122°F (50°C)	Máximo: ... Mínimo: ...	A 100°F (38°C)	Máximo: 2.2 Mínimo: 1.4	A 122°F (50°C)	Máximo: ... Mínimo: ...	35	Ni. 3			
No. 2	Un aceite destilado para fines generales de calefacción doméstica, para uso en quemadores que no requieren combustible No. 1	100 o legal (38)	20 (-7)	0.10	0.35	...	5.40 (282)	(32.8) (37.83)	...	...	...	2.0	3.8	...	30		
No. 4	Por lo común no se necesita precalentamiento para el manejo o la combustión	130 o legal (55)	20 (-7)	0.30	...	0.10	...	45	125	...	...	(5.8)	(20.4)	...				
No. 5 (ligero)	Se puede necesitar precalentamiento, dependiendo del clima y los equipos	130 o legal (55)	...	1.00	...	0.10	...	150	300	...	...	(32)	(65)	...				
No. 5 (pesado)	Se puede necesitar precalentamiento para la combustión y, en climas fríos, también para el manejo	130 o legal (55)	...	1.00	...	0.10	...	150	750	(23)	(40)	(75)	(162)	(42)	(41)					
No. 6	Se requiere precalentamiento para el manejo y la combustión	150 (65)	...	2.00	...	...	...	(900)	(4000)	45	300	...	...	(92)	(633)		

*A.S.T.M. Burner Fuel Specification D 396.

Tabla 2.2

63(b)

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
Biblioteca Central

2.5.2 VALOR CALORIFICO DE LOS ACEITES-COMBUSTIBLES

La fórmula de Dulong es una ecuación a través de la cual se puede obtener la potencia calorífica de un combustible, basada en las proporciones en peso, del carbono total, hidrógeno útil y azufre, expresada por:

$$Q = 145.44 * C + 620 * (H - O/8) + 41 * S \text{ (Btu/Lb)}$$

en donde:

C, H, O Y el S son, respectivamente, los porcentajes en peso de carbono, hidrógeno total, oxígeno y azufre.

En la tabla 2.3 se muestran los análisis finales típicos de combustibles de petróleo.

En la tabla 2.4 se muestran las escorias típicas de calderas alimentadas con combustible del No.6.

Composición, %	Combustible núm. 1 (41.5° A.P.I.)	Combustible núm. 2 (33° A.P.I.)	Combustible núm. 4 (23.2° A.P.I.)	No. 4 FO. de bajo cont. de azufre (12.6° A.P.I.)	No. 6 de alto cont. de azufre (15.5° A.P.I.)
Carbono	86.4	87.3	86.47	87.36	84.67
Hidrógeno	13.6	12.6	11.65	10.49	11.02
Oxígeno	0.01	0.04	0.27	0.64	0.38
Nitrógeno	0.003	0.006	0.24	0.38	0.18
Azufre	0.09	0.22	1.35	0.84	3.97
Ceniza	<0.01	<0.01	0.02	0.04	0.02
Razón C/H	6.35	6.93	7.42	8.31	7.62

Tabla 2.3

	Cenizas de aceite, %	Depósito en el supercalentador, %
SiO ₂	1.7	7.0
Al ₂ O ₃	0.3	4.1
Fe ₂ O ₃	3.8	5.8
CaO	1.7	4.5
MgO	1.1	2.5
NiO	1.9	1.1
V ₂ O ₅	7.9	0.9
Na ₂ O	31.8	23.7
SO ₂	42.3	46.4

*De McIlroy, Holler y Lee. A.S.M.E., publicación no. 52-A-160.

Tabla 2.4

A continuación se presenta una serie de tablas y gráficas que

permiten conocer de manera más directa los diferentes valores del poder calorífico de los combustibles (Tabla 2.5), el volumen de aire requerido (Tabla 2.6), el % de oxígeno en los gases de combustión en relación al % de Aire en Exceso (Tabla 2.7), el % de O₂ y CO₂ vs. Aire en exceso (Gráfica 2.3), el calor de combustión vs. la gravedad API (Gráfica 2.4) y, por último, el punto de rocío vs. el azufre en el petróleo (Fuel-Oil) (Gráfica 2.5).

Fuel-Oil No.	Designación	API	Btu/Gal.
1	S. doméstico liviano	38-40	136000
2	S. doméstico mediano	34-36	138500
3	S. doméstico pesado	28-32	141000
4	S. industrial liviano	24-26	145000
5	S. industrial mediano	18-22	146500
6	S. industrial pesado	14-16	148000

TABLA 2.5

Fuel-Oil No. (Densidad en Kg./m ³)	Volumen de aire requerido/Volumen de Gas	
	m ³ aire/m ³ comb.	pie ³ aire/Gal.U.S. comb.
1 (805.1)	9176	1296
2 (848.2)	9579	1353
4 (900.9)	10054	1420
5 (932.0)	10301	1455
6 (962.0)	10563	1492

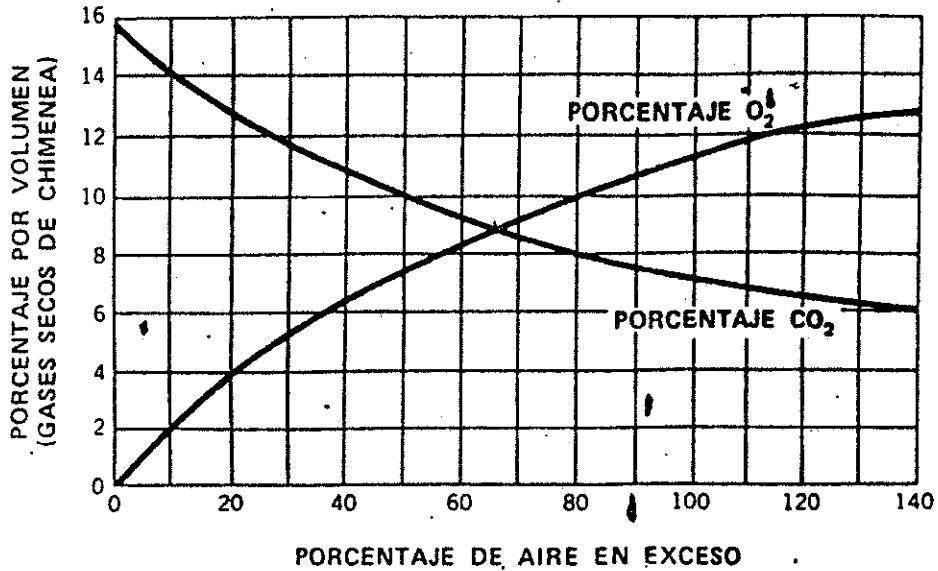
TABLA 2.6

% Aire en exceso

Combustible	0	1	5	10	20	50	100	200
Gas natural	0	0.25	1.18	2.23	4.04	7.83	11.4	14.7
Propano	0	0.23	1.08	2.06	3.75	7.38	10.9	14.3
Petróleo No.2	0	0.22	1.06	2.02	3.69	7.29	10.8	14.2
Petróleo No.6	0	0.22	1.06	2.01	3.67	7.26	10.8	14.2

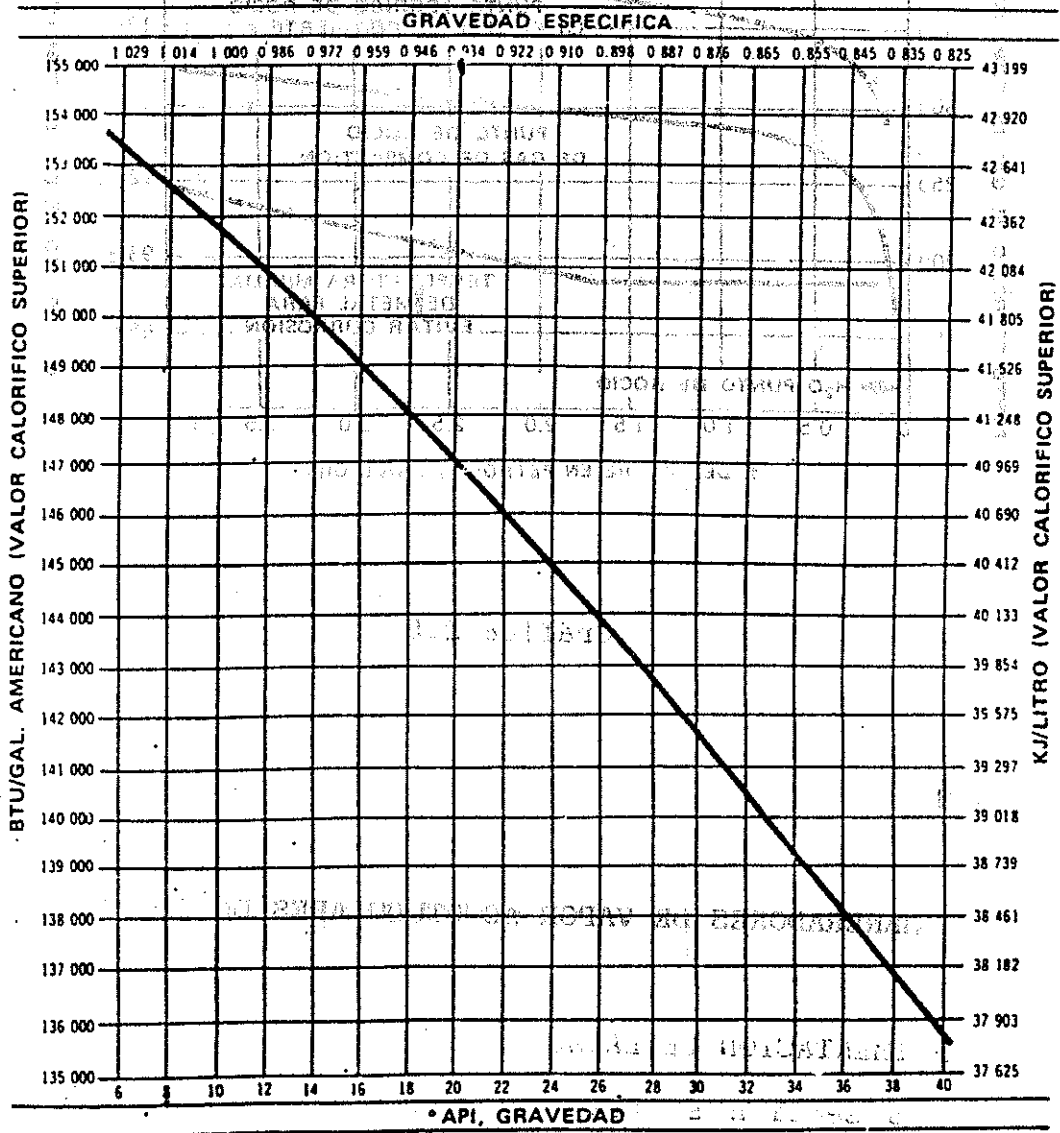
Tabla 2.7

O₂ Y CO₂ vs. AIRE EN EXCESO



Gráfica 2.3

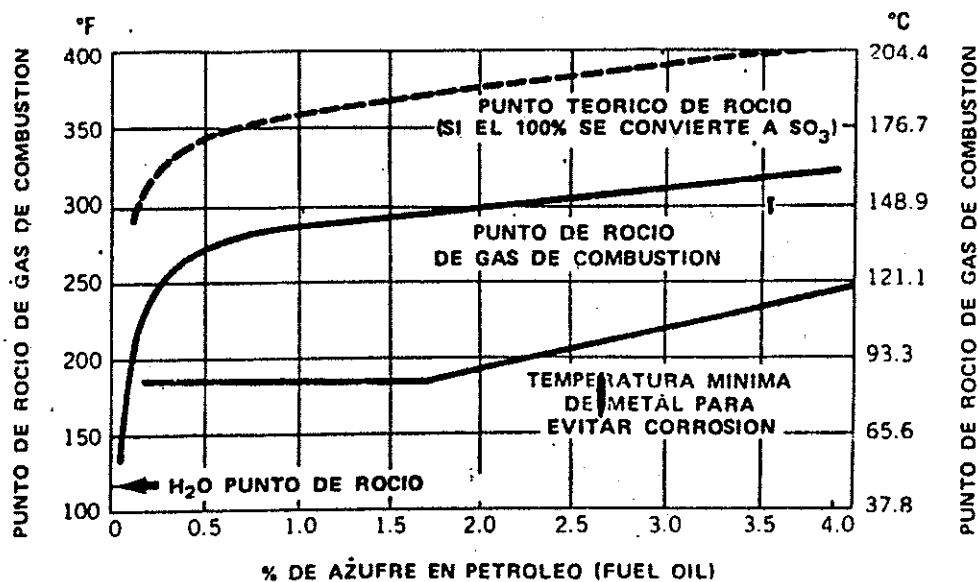
**CALOR DE COMBUSTION DE COMBUSTIBLES
RELACION APROXIMADO* DE BTU/GRAVEDAD**



* Valores derivados de esta gráfica no necesariamente estarán de acuerdo con valores de calentamiento mostrados para combustibles específicos en la Tabla 1 de valores típicos para petróleos (Fuel Oils). Esto es porque la gráfica no permite variaciones por el contenido de azufre.

Gráfica 2.4

PUNTO DE ROCIO vs. AZUFRE EN PETROLEO



Gráfica 2.5

CAPITULO 3

GENERADORES DE VAPOR ACUOTUBULARES DE BAGAZO

3.1 ALIMENTACION DE BAGAZO

En esta sección se tratará la alimentación de bagazo en el horno distribuidor o de alimentación por aspersión, por ser el más moderno y cuyo uso se ha difundido, considerablemente, en los ingenios azucareros de Guatemala.

La alimentación de bagazo se da a través de una tolva y un

alimentador rotativo que puede ser accionado por medio de un motor hidráulico, por ejemplo.

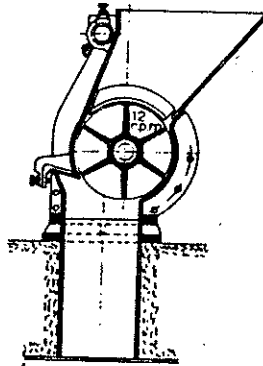


Fig. 3.1

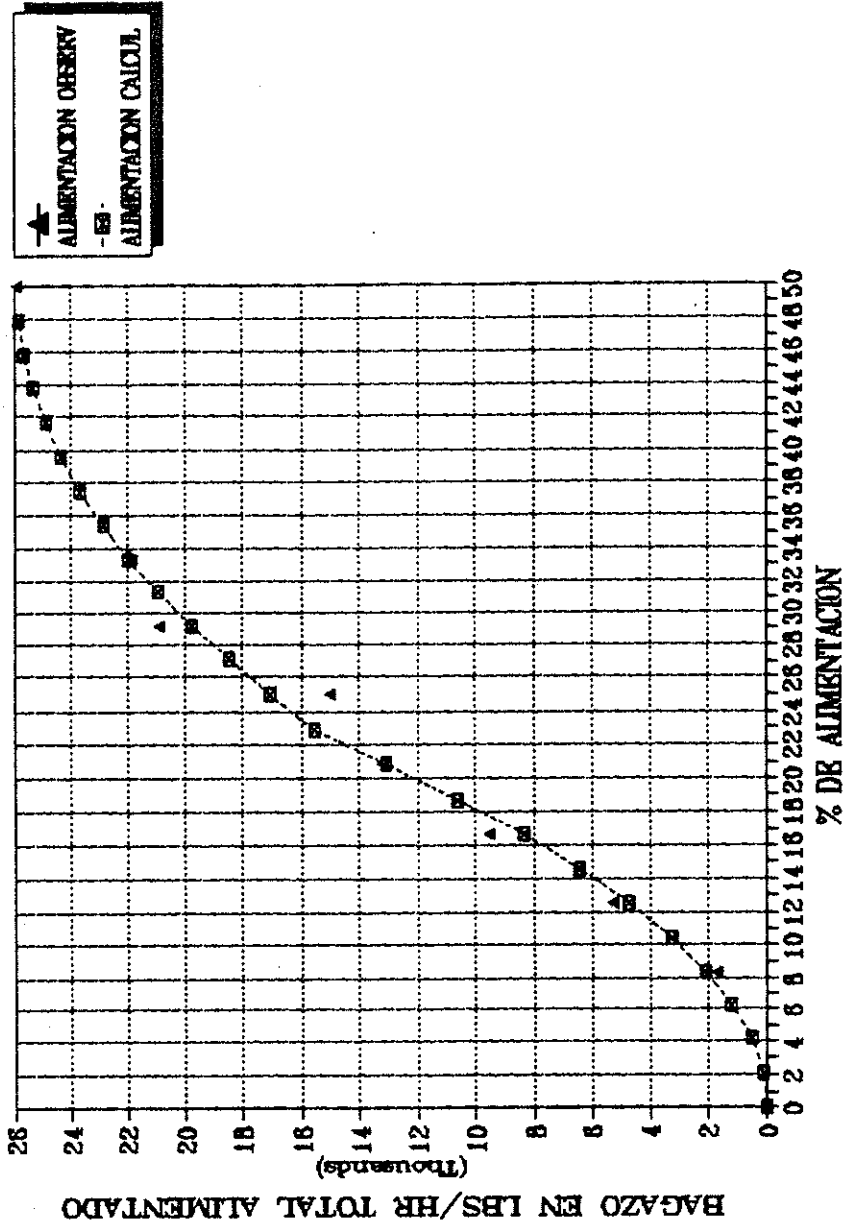
Este alimentador se muestra en la fig. 3.1, puede ser movido a través de un motor hidráulico de velocidad, límite máximo, ajustable, y que a su vez es movido por una señal de aire que puede ser suministrada manual o automáticamente.

En la automatización, esta alimentación se registra a través de un % de alimentación, que da solamente una idea superficial y abstracta de la cantidad de bagazo que está entrando a la caldera.

Este % de alimentación está gobernado por el valor de control de la presión.

A continuación se muestra la gráfica 3.1 que da una idea real y que fue obtenida por medio de ensayos, muestras y observaciones

% DE ALIMENTACION VRS BAGAZO EN LBS/HR



Gráfica 3.1

de la cantidad de bagazo que entra a la caldera vrs. el % de alimentación.

3.1.1 OPERACION DEL ALIMENTADOR ROTATIVO

Lo que se persigue con el alimentador rotativo es que, a medida que aumentan las rpm. de éste, entra más cantidad de bagazo, por el volumen libre que hay en el alimentador y que es ocupado por el bagazo, si aumentan las rpm. del alimentador, entonces, también aumenta la señal de presión hacia el motor hidráulico y esto se manifiesta en el monitor de la computadora por un aumento en el % de alimentación.

A través de las observaciones se ha logrado apreciar que las señales de presión regularmente usadas son de 4.5 a 9 Psi y cuyos % de alimentación correspondientes son de 12.5%, como mínimo, y, 50%, como máximo.

3.2 EQUIPO DE COMBUSTION

Para la quema de bagazo se utiliza un alimentador mecánico que está compuesto por: (1) el alimentador rotativo, (2) un canal cerrado o conducto (Chifle) y (3) la parrilla, que puede ser de toberas planas aspersadoras ó del tipo móvil o viajera.

Además de esto, se necesita del equipo auxiliar como los ceniceros y lo que se refiere al sistema de aire (OVER-FIRE).

3.3 TIPOS DE HORNOS

Existen (4) tipos principales de horno de bagazo: (1) el horno de gradilla; (2) el horno de Cook u horno de herradura; (3) el horno Ward; y (4) el horno distribuidor.

Los primeros (3) tipos de hornos ya no son muy utilizados en la actualidad, por lo que se enfatizará en el horno distribuidor o de alimentación por aspersión, por el amplio uso difundido en los ingenios azucareros de Guatemala.

3.3.1 HORNO DISTRIBUIDOR O DE ALIMENTACION POR ASPERSION

Este es el modelo más reciente, consta simplemente del espacio situado entre los tubos de la caldera y una parrilla especial plana o levemente inclinada (Pin-Hole).

La parrilla plana puede ser: (1) fija; (2) de tipo basculante, para remover las cenizas a mano; y, (3) mecánica, con descarga continua de cenizas. Esta última se recomienda para capacidades de 70,000 Lbs/Hr. o mayores.

El método de alimentación del bagazo es el que constituye la parte más original del horno distribuidor. Se efectúa por medio de una caída, a través del chifle, pero, en el momento en que se descarga en el horno se sopla aire a presión por medio de un tubo perforado localizado justamente abajo de esta caída, la cual corre longitudinalmente a lo largo del fondo de la misma. (Lo anterior constituye lo que comúnmente se le llama OVER-FIRE) El aire empuja

al bagazo, violentamente, al horno.

En esta forma el bagazo se seca y se quema a medida que cae al horno y, los pedazos más grandes, completan su combustión en la parrilla.

La mayor parte entra por abajo a través de los agujeros de la parrilla y que también ayuda a la combustión en suspensión.

Se considera que este tipo de horno permite reducir el exceso normal de aire al 30% (en lugar del 40 al 50%) y, consecuentemente, mejora la eficiencia, (véase la Fig. 3.2).

*Spreader stoker
for burning wood waste.
(Riley Stoker Corp.)*

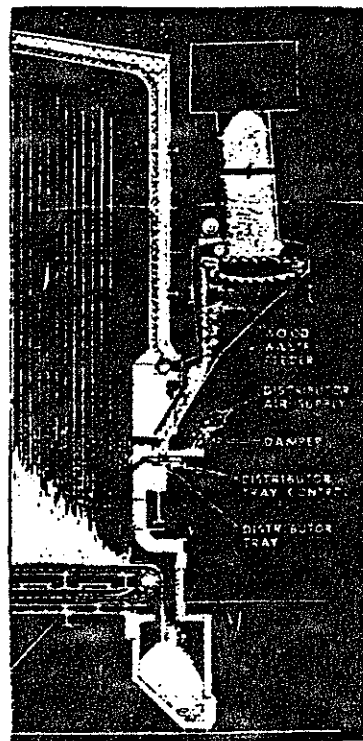


Fig. 3.2

Se recomienda para este tipo de horno, planear las dimensiones del horno, de tal forma, que mantenga alrededor de 200,000 Kcal/Hr. y no pasar de 350,000 Kcal/Hr.

3.4 CAMARA DE COMBUSTION

3.4.1 VOLUMEN DE LA CAMARA DE COMBUSTION

El volumen de la cámara de combustión debe ser proporcional al volumen de los gases necesarios para la combustión.

Este volumen se relaciona entonces, generalmente, con la cantidad de calorías que libera por hora el combustible empleado (N1).

En virtud de que existe una cierta relación entre la superficie de calentamiento de la caldera y la cantidad de vapor que puede producir el volumen de la cámara de combustión puede también relacionarse con la superficie de calentamiento de la caldera.

Para hornos distribuidores del tipo Riley, Miller da un máximo de 400,000 Kcal/H/m², pero, recomienda mantenerse alrededor de 250,000, valor óptimo necesario para mejorar la eficiencia y disminuir la formación de cenizas.

Relacionando esta cifra con la superficie de calentamiento de la caldera y expresando los volúmenes de combustión en dm³/m² de superficie de calentamiento, las cifras anteriores corresponden, aproximadamente, en:

Calderas de tubos de agua,

$$v = 80 \text{ a } 120 \text{ dm}^3/\text{m}^2$$

Según Hugot, los mejores resultados se obtienen con 250,000 Kcal/H/m³ y 80 dm³/m² en calderas de tubos de agua.

El volumen (V) de la cámara de combustión está dado por la siguiente fórmula:

$$V = (B * Ni) / 250,000$$

V = Volumen de la cámara de combustión, en m³

B = Peso del bagazo quemado, en Kg/H

Ni = Valor calorífico neto del bagazo, en Kcal.

3.5 DIMENSIONES DEL HOGAR

Las dimensiones del hogar se fijan considerando los siguientes factores:

(a) longitud de la llama: el recorrido de los gases en combustión entre la parrilla y los tubos de la caldera debe ser, por lo menos, de 5 m o de preferencia de 7 a 8 m. No debe exceder de 10 m.

Si la longitud, particularmente, es menor de 5 m, no se realiza una completa combustión y si es mayor a 10 m las pérdidas por radiación y por fugas de aire aumentan;

(b) ancho de la caldera: generalmente, el ancho de la caldera viene dado por la superficie de calefacción que se proporciona por metro de ancho;

(c) volumen de la cámara de combustión: el volumen del hogar viene

determinado por la ecuación anterior.

3.6 AREA DE LA PARRILLA

En lo que se refiere al horno distribuidor con base en las observaciones efectuadas, el área de la parrilla, cuando ésta es plana es igual al área de la sección transversal del hogar, dejando un espacio aproximado de 1 m entre ésta y la pared frontal del horno para la caída de las cenizas al cenicero. Cuando la parrilla es ligeramente inclinada (Pin-Hole) y limpiada con sopladores de vapor (toberas) su área es relativamente mayor al área de la sección transversal del hogar.

3.7 PESO DE BAGAZO QUEMADO POR UNIDAD DEL AREA DE LA PARRILLA Y POR HORA

El trabajo de la parrilla de un horno se expresa por la cantidad de bagazo quemado en esta parrilla por m² de superficie de la misma. Este trabajo puede designarse por:

$$B = \frac{\text{Peso del bagazo quemado/hora en la parrilla}}{\text{Area de la parrilla}}$$

Este concepto es interesante porque, para obtener una combustión suficiente, es necesario relacionar la superficie de la parrilla a la cantidad de bagazo que se quema, por hora.

En la tabla 3.1 se dan las relaciones óptimas en los hornos de parrilla.

	Kg/m ² /H	Lb/pie ² /H
Baja	500 - 700	100 - 140
Moderada	700 - 800	140 - 160
Alta	800 - 1000	160 - 200

Tabla 3.1

3.8 SUPERFICIE DE CALENTAMIENTO

Las superficies de calefacción en un Generador de vapor acuotubular, generalmente, está dado por los siguientes elementos: (1) superficie de convección, (2) superficie del economizador, (3) del sobrecalentador, (4) del precalentador de aire y si es de este tipo (5) la superficie de la pared de agua.

3.9 TIROS

Los principales tiros utilizados en los Generadores de vapor son: el Tiro forzado y el Tiro inducido.

Para regular la cantidad de aire que se necesita suministrar por el ventilador (de Tiro forzado) se abren o se cierran los deflectores del ventilador, suministrando la menor cantidad de aire cuando estos están cerrados y la mayor cantidad cuando están abiertos.

El Tiro forzado es controlado por el valor de control de la presión o, comúnmente llamado dentro de la automatización, el (Set

Point) de la presión y éste, a su vez, regula la cantidad de bagazo que entra a la caldera. Este tipo de control se muestra más adelante.

Los gases a evacuar por el ventilador del Tiro inducido, regularmente, es controlado por los dampers, que no son más que una especie de paletas con un eje al centro que les permite abrir y cerrar, estando éstas ubicadas antes del ventilador; la abertura o cierre de los dampers es controlado por el valor de control de la presión de hogar, es decir, por el Set-Point de la presión de hogar y cuyo control se muestra posteriormente.

3.10 EFICIENCIA DE UN GENERADOR DE VAPOR ACUOTUBULAR DE BAGAZO

A continuación se muestra en la tabla 3.2, los datos registrados de la eficiencia y otros términos de importancia en un ensayo de análisis de la combustión de la caldera No. 4 del Ingenio Concepción. Datos recabados antes y después del precalentador de aire.

3.11 PRINCIPALES CONTROLES AUTOMATICOS EN UN GENERADOR DE VAPOR ACUOTUBULAR DE BAGAZO

3.11.1 CONTROL DEL AGUA DE ALIMENTACION

En la Fig. 3.3, se muestra el diagrama del sistema de control del agua de alimentación de la caldera. Las celdas convertidoras de presión diferencial reciben señales de presión del nivel del domo

GASES DE COMBUSTION	1era Lectura		2da Lectura		3era Lectura		4ta Lectura	
	Antes	Después	Antes	Después	Antes	Después	Antes	Después
Temperatura (°F)	513	320	515	320	537	323	561	354
Monóxido de Carbono (CO), PPM	1444	769	466	860	672	214	765	3000
% de Oxígeno (O ₂)	12	14.3	10	11.5	9.7	11.3	8.6	7.2
% de Exceso de Aire	143	143	92	150	97	73	53	50
% de Dióxido de Carbono (CO ₂)	8.4	20.1	10	8.3	10.3	11.4	13.5	13.4
% de Eficiencia	64	66	65	72.5	63.6	70	65	77.5
Presión de Hogar (Plg. col. agua)	-0.11	-0.08	-0.12	-0.10	-0.11	-0.02	-0.05	0.00
Flujo de Vapor (Klb/Hr)	44.51	42.85	43.90	43.43	60.84	53.14	80.73	78.82

Nota: La 1era y 2da lecturas fueron tomadas para un valor del set-point de la presión de hogar de -0.10; mientras que la 3era para un set-point de -0.07 y la 4ta lectura para un set-point de -0.05 plg. col. de agua.

Tabla 3.2 Análisis de combustión, caldera No.4 quemando bagazo.

(celda 1) de la línea de vapor (celda 2) y de la línea de alimentación de agua (celda 3); éstas convierten las señales de presión en señales electrónicas y las envía al controlador que las procesa de acuerdo con el programa establecido y, luego, envía una señal electrónica a un convertidor de señales (I/P) que la convierte en una señal de presión abre o cierra la válvula neumática, que depende de las necesidades de agua en la caldera.

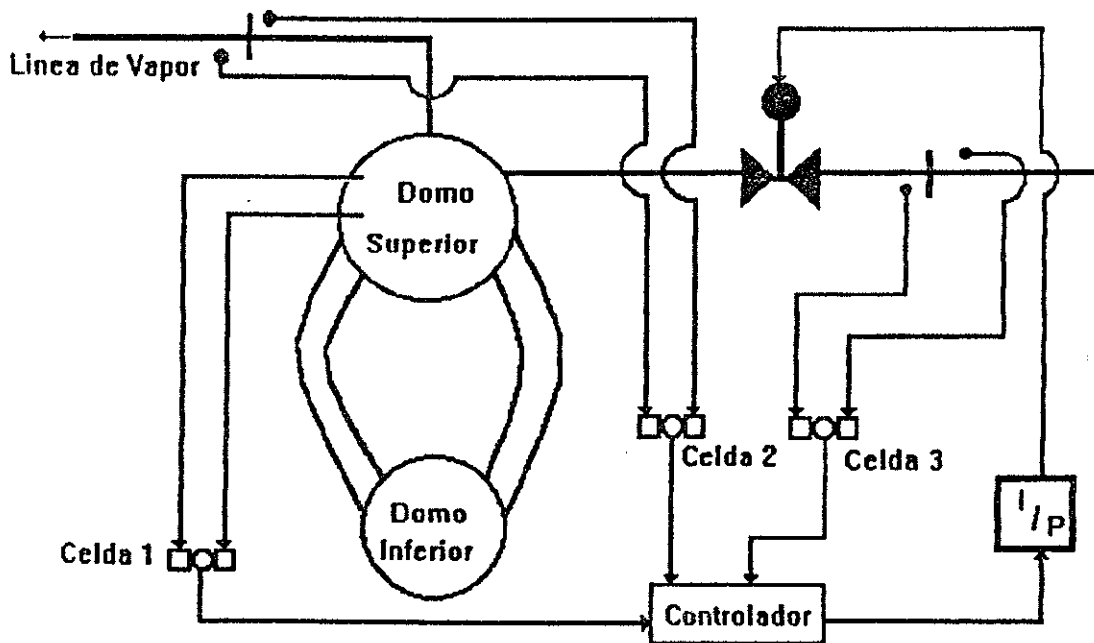


Fig. 3.3 Diagrama del sistema de control del agua de alimentación

3.11.2 CONTROL DE LA PRESION

En la Fig. 3.4, se muestra un diagrama que representa el sistema de control de la presión en la caldera por medio del control del aire de combustión (Tiro forzado) y del sistema de alimentación de bagazo.

Como se puede observar en el diagrama, el controlador recibe señales electrónicas de la presión del domo (P_{domo}) de la presión del aire forzado (AF) y, además, un valor de referencia (SP) que es el valor de la presión que se desea mantener en la caldera. Cuando el controlador recibe estas dos señales, las opera y realiza dos funciones: (1) enviar una señal electrónica a un convertidor de señales (I/P) que la convierte en una señal de presión para accionar los tambores alimentadores de bagazo (TAB) que alimentan a la caldera. La segunda es enviar otra señal electrónica a un convertidor de señales (I/P), para que también la convierta en una señal de presión que accione los deflectores del ventilador del Tiro forzado las cuales controlan el flujo de aire hacia el hogar.

3.11.3 CONTROL DEL TIRO EN EL HOGAR

Como se puede observar en la Fig. 3.5 el controlador recibe una señal electrónica (TI) de la presión real que existe en el hogar y un valor SP, introducido, exteriormente al controlador, el cual representa la presión que se desea mantener para que los gases sean evacuados, eficientemente.

Cuando estos dos datos son operados por el controlador, éste

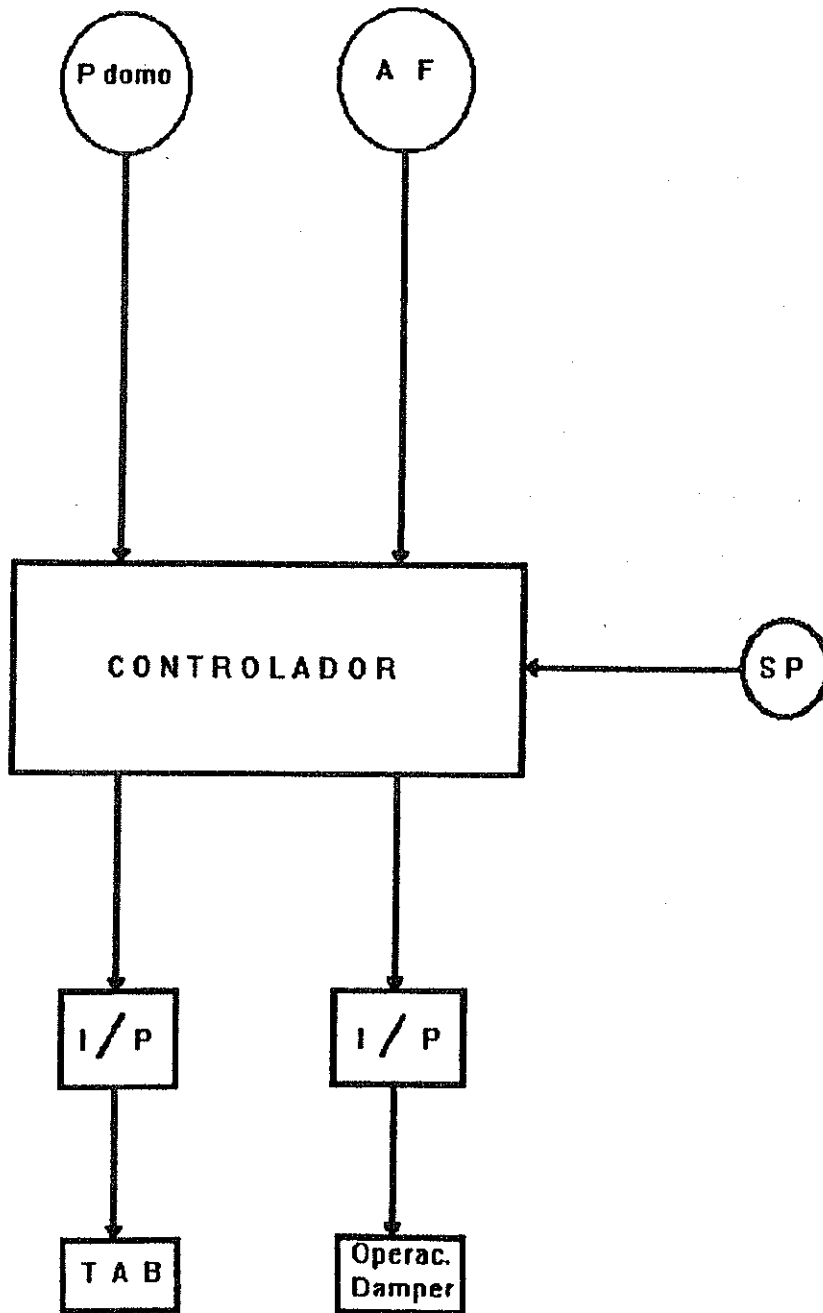


Fig. 3.4 Diagrama del sistema de control de la presión

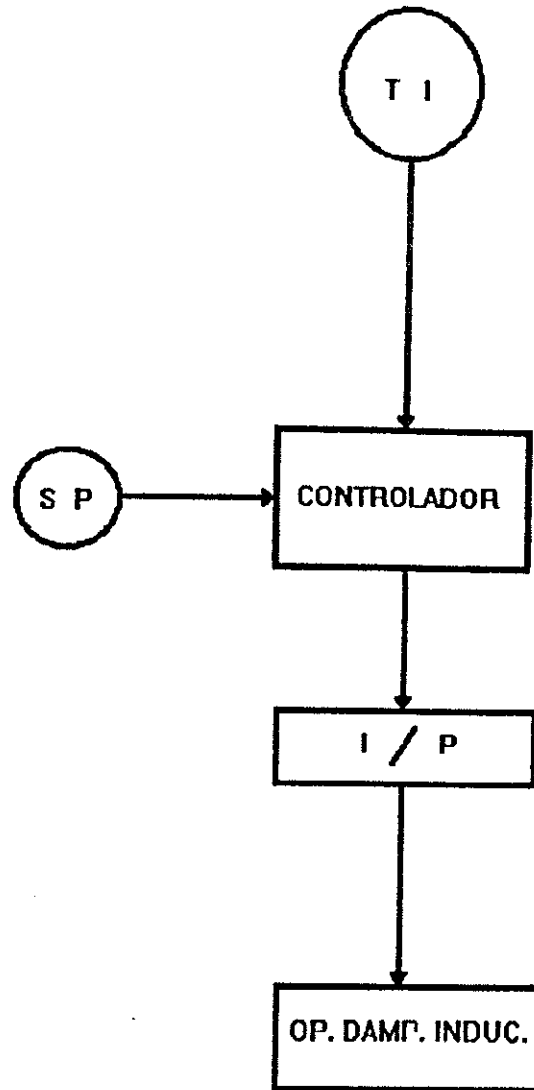


Fig. 3.5 Diagrama del sistema de control del tiro en el hogar

envia una señal electrónica a un convertidor de señales (I/P) que la convierte en una señal de presión, que acciona el dämper del ventilador de tiro inducido el cual abre o cierra el flujo de los gases expulados de la caldera por la chimenea.

CAPITULO 4

GENERADORES DE VAPOR ACUOTUBULARES DE ACEITE-COMBUSTIBLE

4.1 ALIMENTACION DE ACEITE-COMBUSTIBLE

Generalmente, el combustible líquido es bombeado del tanque de almacenamiento a un tanque de día, el cual sirve como depósito para alimentar a las calderas. Este tanque de día, para el caso del combustóleo, requiere también de un calentamiento (a 60 °C).

Tanto el tanque de almacenamiento como el de día, en el caso del combustóleo, deben estar, preferentemente, protegidos contra las pérdidas de calor por medio de un aislamiento adecuado, sobre todo en lugares con invierno crudo. Lo mismo puede decirse respecto de las tuberías.

Las bombas empleadas para el manejo de los combustibles líquidos son de desplazamiento positivo, recomendándose para el diseño de tuberías las siguientes velocidades:

- (1) succión: 0.1 a 0.2 m/seg
- (2) descarga: 0.4 a 0.6 m/seg

4.2 EQUIPO DE COMBUSTION

Consiste en un conjunto de monoblocks, dispuestos entre el depósito de almacenamiento y los quemadores, que incluyen todos los elementos necesarios para acondicionar el combustible de forma que adquiera las características que precisa para una buena pulverización. En ellos se verifican las operaciones de filtrado previo, bombeo, calentamiento y filtrado final. Es importante que el combustible llegue a los quemadores con la viscosidad y temperatura adecuada para una buena combustión, por eso es que en ocasiones se instalan viscosímetros para regular el calentamiento.

Un grupo de preparación para combustible industrial, consta de: (1) Filtro de succión, (2) Bombas, (3) Calentadores (mediante vapor o eléctrico para el arranque) (4) Filtros de alimentación, (5) Regulaciones de presión y temperatura del combustible (6) Tuberías (7) Válvulas manuales (8) Equipos de medición (manómetros, termómetros, viscosímetros, etc.) y (9) Base.

En la fig. 4.1 se indican los accesorios precisos para la manipulación del combustible.

4.2.1 PRE-CALENTAMIENTO DEL ACEITE-COMBUSTIBLE

Como se mencionó en el capítulo 2, los sistemas de combustión para aceites-combustibles del No.6 se diseñaron, por lo común, para precalentar el combustible desde 90 a 120 °F, con el fin de reducir la viscosidad para facilitar el manejo y calentamiento del combustible desde 165 a 200 °F para reducir todavía más la

viscosidad, con el fin de lograr una atomización adecuada.

En el seguimiento de las observaciones que se han llevado a cabo operando 1 ó los 2 quemadores se ha logrado apreciar una atomización correcta del aceite-combustible No.6 cuando éste llega al quemador con una temperatura que oscila en un rango de 200 a 230 °F.

Ahora, en lo que se refiere al aceite-combustible No.2 y como fue también mencionado en el capítulo 2, éste no necesita precalentamiento.

4.2.2 HOGAR

La proporción de calor liberado y la temperatura sostenida del hogar, afectarán los materiales de las paredes del mismo y con tal motivo rigen su construcción. Si la temperatura o la erosión provocan una destrucción prematura de las paredes refractarias, lo indicado será colocar paredes enfriadas por agua. La cámara de combustión debe tener el espacio suficiente para contener la flama.

Lamentablemente, no se pudo encontrar literatura que indique una longitud del recorrido de los gases de combustión del aceite-combustible, pero, por las observaciones y análisis de combustión efectuados sobre la caldera en estudio, se ha logrado determinar una localización de los quemadores muy adecuada, ya que, se logra desarrollar la flama y no cortarse, lo que originaría un % de CO alto, el cual no llegó a ser así en el análisis de combustión efectuado y, también, no se puede pensar en un recorrido

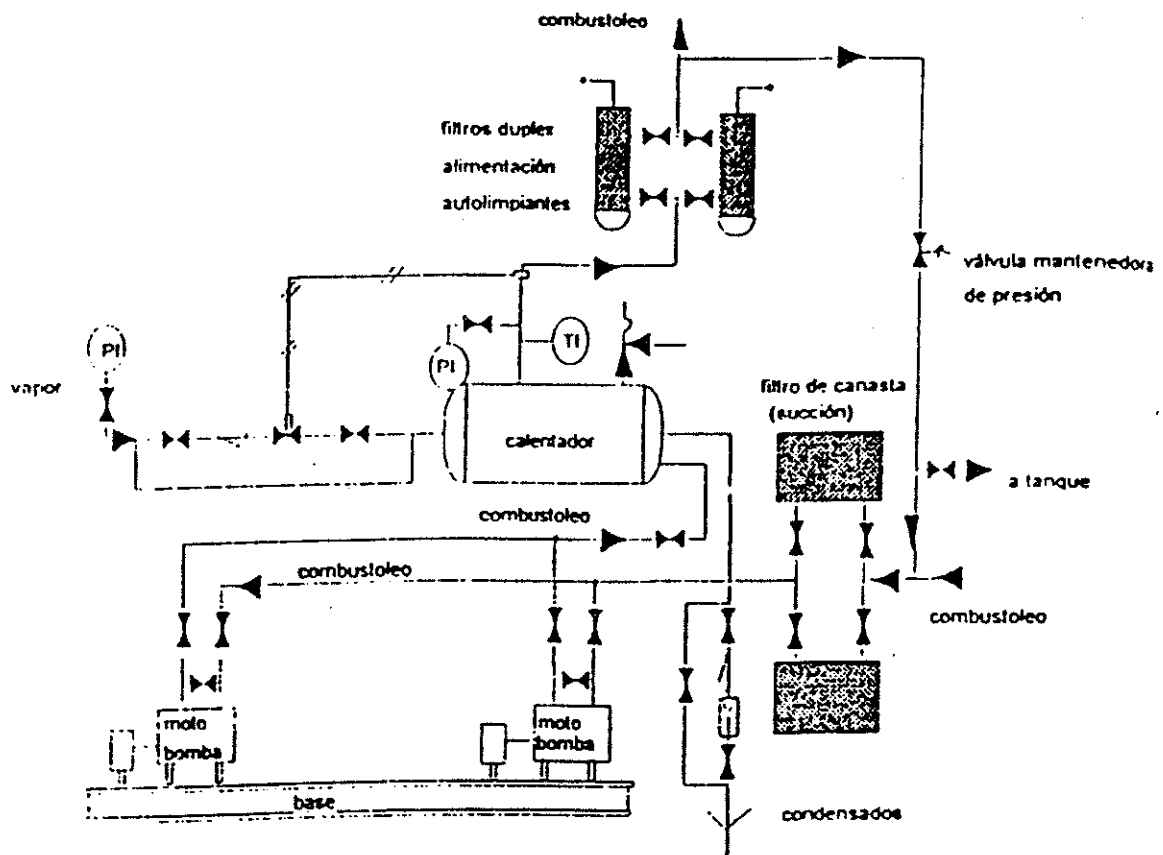


Fig. 4.1 Accesorios necesarios para el bombeo del combustóleo de flama largo porque entonces la eficiencia disminuiria ya que habria pérdidas por radiación y fugas de aire, pero, en el análisis efectuado se considera haber obtenido una buena eficiencia.

4.2.3 QUEMADOR

Los quemadores de fuel atomizan el combustible y lo mezclan intimamente con el aire suministrado para la combustión, esto se

hace con aire ya precalentado.

Cuando se cumplen estas dos condiciones se consigue obtener una combustión completa con un exceso de aire mínimo.

La atomización puede llevarse a cabo con aire, gas o vapor de agua, a presiones relativas desde 24.84 Psig a 99.35 Psig o por medios mecánicos.

Algunas veces se utilizan como agentes atomizadores el gas natural y los gases sub-productos a presiones de 49.68 psig o más. El gas empleado para la atomización ayuda al mismo tiempo a mantener la ignición al quemar combustibles especiales.

El vapor de agua es un agente atomizador eficaz, pero, antieconómico. En condiciones muy favorables el consumo de vapor es de 0.1 a 0.2 Lb/Lb de fuel quemado. El vapor puede tomarse directamente de la caldera calentada por el quemador, pero, entonces, no se dispone de vapor para la puesta en marcha si se trata de una caldera sola y hay que recurrir a otros procedimientos para atomizar hasta que la caldera desarrolla presión. Otras desventajas del vapor de agua en la atomización son: pérdida de agua de la caldera, funcionamiento ruidoso, limpieza frecuente de los quemadores, pérdidas caloríficas extras y aumento de la humedad de los gases de la chimenea, que hace bajar la temperatura del punto de rocío de los gases. Los atomizadores a base de vapor de agua no se suelen construir para más de 17 GPM de fuel. En la Fig. 4.2 se muestra un quemador C-E para carbón pulverizado, fuel o gas natural.

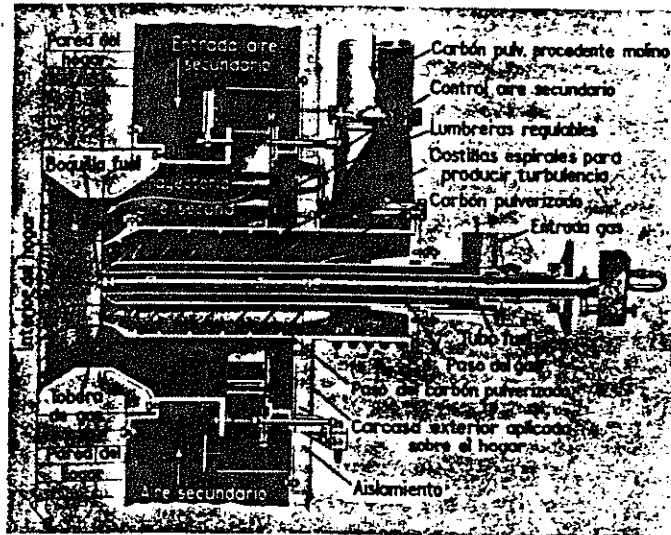


Fig. 4.2 Quemador C-E para carbón pulverizado, fuel o gas natural

4.3 TIPOS DE QUEMADORES

Existe una clasificación general de los quemadores de aceite-combustible la cual consiste en: (1) Quemadores de vaporización y (2) Quemadores atomizadores de aceite.

QUEMADORES DE VAPORIZACION

El calor de la flama convierte continuamente el combustible líquido en vapor en el aire de combustión, de modo que sostiene la flama.

QUEMADORES ATOMIZADORES DE ACEITE

Rocián combustible desde una tobera, presiones de 100 a 300 Lb/Plg.² ó lo atomizan en aire o vapor a presiones de 0.5 a 200 Lb/Plg.².

En la Fig. 4.3 se muestran, esquemáticamente, los diferentes tipos de quemadores.

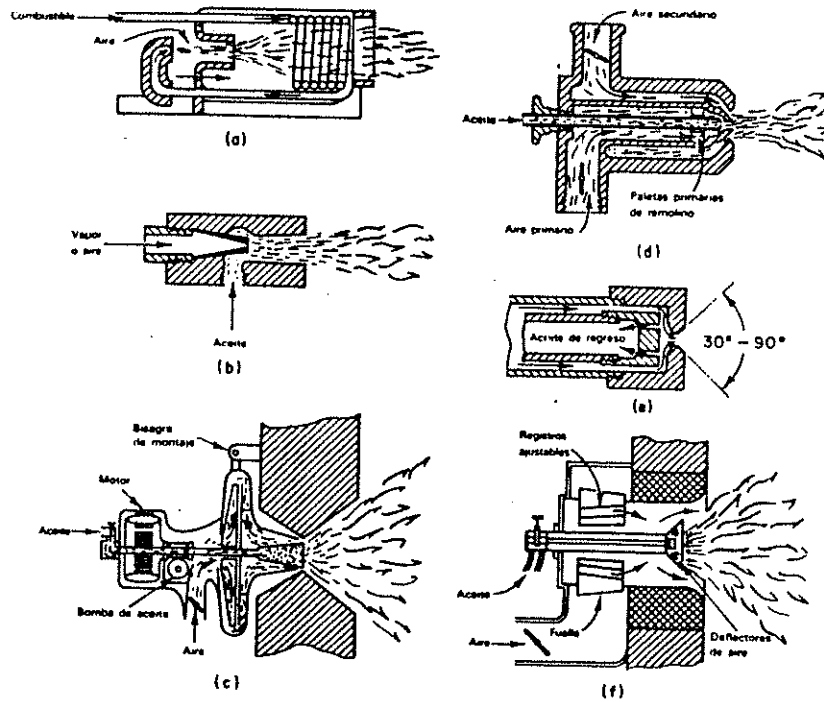


Fig. 4.3

4.3.1 QUEMADOR DE VAPORIZACION DEL TIPO A PRESION

El petróleo pasa por la tubería del serpentín. Se utiliza queroseno o gasolina, de 0.1 a 8 Gal/H de 5 a 50 Lb/Plg.² de

presión de combustible, con un índice de disminución de 3 a 1. Para sopletes, lámparas y equipos de quemador, portátiles, del tipo de sopletes. Inciso (a) de la Fig. 4.3.

4.3.2 QUEMADOR DE ATOMIZACION DE AIRE O DE VAPOR DE ALTA PRESION, TIPO INYECTOR O VENTURI

Utiliza petróleo de todos los grados, del No.1 al 6, con los aceites pesados calentados para facilitar su circulación. Presión baja del petróleo, presión del vapor de 40 a 175 Lb/Plg.². Usa de 5 a 10% de aire o de 2 a 4 Lb. de vapor para la atomización. En las calderas, el 2% del vapor de salida se usa para la atomización. El vapor contribuye a calentar el aceite y ayuda a reducir el hollín en la combustión. Inciso (b) de la Fig. 4.3.

4.3.3 QUEMADOR DE PETROLEO ATOMIZADOR HORIZONTAL, DE TRAZA GIRATORIA

Usa combustibles de todos los grados, del No.1 al 6. El aceite pesado se tiene que calentar de 150 a 330 S.S.U. La presión del aceite es baja y la del aire va de 0.25 a 3 Lb/Plg.². Razón de disminución de 5 a 1. Capacidades: de 1 a 250 Gal/H. Para utilización de calderas de encendido automático. Inciso (c) en la Fig. 4.3.

4.3.4 QUEMADOR ATOMIZADOR DE AIRE A BAJA PRESION, TIPO DE PRESION VARIABLE

Usa aceite de todos los grados, desde el No.1 al 6, cuando se alimentan a viscosidad de 80 a 90 S.S.U. Presión del aceite de 5 a 20 Lb/Plg.²; presión del aire de 0.5 a 5 Lb/Plg.². Presión constante del aire primario; la del aire secundario varía. Razón de disminución de 4 a 1. Capacidad de 1 a 200 Gal./H. Inciso (d) en la Fig. 4.3.

4.3.5 QUEMADOR MECANICO O ATOMIZADOR A PRESION DE ACEITE, DEL TIPO DE FLUJO DE REGRESO

Se muestra en la Fig. 4.3 inciso (e) el diseño típico y el principio general de funcionamiento. Utiliza combustóleo de todos los grados, del No.1 al 6 y el aceite pesado se calienta hasta 150 S.S.U. La presión del aceite es de 300 Lb/Plg.² y la del aire es baja de tiro natural. La razón de disminución es de 10 a 1. Capacidades: de 10 a 1000 Gal/H.

4.3.6 UNIDAD QUEMADORA COMPLETA MECANICA O DE ATOMIZACION DE ACEITE A PRESION

Se proporciona aire por tiro natural o con un soplador de baja presión. Se usa en calderas y hornos giratorios. Los quemadores caseros de este tipo utilizan aceite a una presión de 100 Lb/Plg.². Inciso (f) en la Fig. 4.3.

4.4 UBICACION DE LOS QUEMADORES

Los quemadores para combustibles fluidos (incluyendo el carbón pulverizado) pueden ser colocados y acondicionados para (1) Combustión horizontal (por el frente, por la parte posterior o por los lados) (2) Combustión vertical (colocación en la parte superior del hogar o en la parte inferior de la base) (3) Fuego opuesto (en el frente y en la parte posterior) (4) Fuego tangencial (en la esquinas) o (5) Fuego ciclónico. El propósito de las diferentes formas de colocación es la obtención de una mezcla íntima del combustible (carbón, aceite o gas) con el aire para la combustión. Con el fuego tangencial o con el fuego opuesto, las flamas de dos o más quemadores están dirigidas al mismo punto, creando una turbulencia muy intensa (formación de remolinos o rotación) condiciones durante las cuales se mezclan perfectamente el aire y el combustible.

Para el caso que ocupa esta tesis y que es el método utilizado en la caldera No.4 se refiere al método de Fuego opuesto o Turbocombustión.

4.4.1 FUEGO OPUESTO

El turbofogón tiene las aberturas de los quemadores en ángulo respecto de la línea vertical; por ejemplo: apuntados hacia el piso de escorias fluidas (Figs. 4.4 y 4.5).

Los quemadores se colocan en paredes opuestas, para aventar el fuego uno contra otro. Aquí no se ha hecho ningún intento para

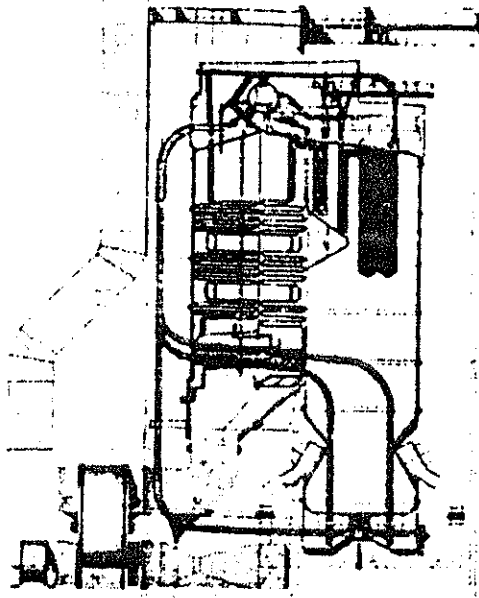


Fig. 4.4 Quemadores de gas o aceite-combustible de flama direccional. Fuego opuesto.

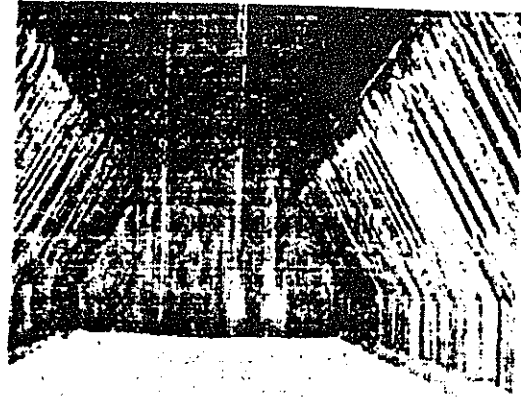


Fig. 4.5 Fondo de un turbofogón mostrando las aberturas para los quemadores y el hogar de tabique refractario en bruto.

obtener la mezcla previa o el remolino del combustible y el aire; en realidad se dedica bastante esfuerzo en el diseño para reducir la turbulencia y lograr un flujo lineal. Para controlar el choque de las corrientes y la temperatura del fondo del hogar (escorias fundidas) se utilizan compuertas graduables en los conductos de aire.

La interferencia y la entremezcla de las dos corrientes opuestas de combustible y aire, producen condiciones de extrema turbulencia abajo de la garganta del hogar; la combustión se completa casi en su totalidad en esta zona. La tendencia al choque de las flamas es muy reducida, debido a la rotación "lineal" de la

turbulencia.

4.5 CARACTERISTICAS DE LA FLAMA

La flama es un fenómeno de la reacción química de un gas que ha sido calentado hasta su punto de ignición en presencia de otro gas; usualmente, el oxígeno de la atmósfera. El calor y la luz producida son características de la reacción química específicas. La luminosidad de la flama es causada, generalmente, por la presencia de partículas sólidas y de cuerpos extraños (naturales o artificiales) en el gas en combustión.

Las flamas que contienen partículas finas de carbón incandescente u otro tipo de residuos de carbón, son los que forman el cuerpo opaco de efectividad radiante. Las flamas no luminosas como las de la combustión del gas del combustible obtienen su efectividad radiante del dióxido de carbono y del vapor de agua, que tienen un valor bajo de radiación de, aproximadamente, el 10% de la que se obtiene del cuerpo opaco.

La flama no luminosa es mucho más caliente que la luminosa porque transforma en calor una cantidad mayor de energía.

Hay una notoria diferencia entre las flamas de los diversos combustibles. La luminosidad de la flama del aceite-combustible es alta, lo que da por resultado una transmisión alta de calor radiante de la llama al material refractario y a las paredes enfriadas por agua. En los combustibles gaseosos, la mayor parte de la transmisión de calor es por convección, una vez que los gases

abandonan el hogar propiamente dicho. Como aquí la radiación es mínima, no se requieren paredes enfriadas por agua en el hogar.

4.6 SUPERFICIES DE CALENTAMIENTO

Las superficies de calefacción en un Generador de vapor acuotubular que quema aceite-combustible son, básicamente, iguales a las de un Generador de vapor acuotubular que quema bagazo, es decir, (1) Superficie de convección, (2) Superficie del economizador, (3) del Sobrecalentador, (4) del Precalentador de aire y (5) la superficie de la pared de agua, aunque su disposición en el mismo difiere en atención a los diferentes diseños.

4.7 TIRO

Los diferentes sistemas de tiro en un Generador de vapor acuotubular que quema aceite-combustible, hacen la misma función que en cualquier otro generador de vapor acuotubular, aunque su operación queda limitada a las condiciones bajo las cuales trabaja el generador, en este caso el exceso de aire es menor y, por lo tanto, se necesita de un tiro forzado menor.

4.8 EFICIENCIA DE UN GENERADOR DE VAPOR ACUOTUBULAR DE ACEITE-COMBUSTIBLE

Para describir la eficiencia de un generador de vapor acuotubular de aceite-combustible, se presenta a continuación la

Gases de Combustión	1era Lectura		2da Lectura		3era Lectura		4ta Lectura	
	Antes	Después	Antes	Después	Antes	Después	Antes	Después
Temperatura (°F)	531		485	285	533	307	515	290
Monóxido de Carbono (CO), PPM	0		30	50	0	0	1	0
% de Oxígeno (Oz)	8.2		5.2	5.5	5.8	6.1	6.0	6.6
% de Exceso de Aire	59		26	33	38	36	37	42
% de Dióxido de Carbono (CO ₂)	10.2		12.4	12	11.5	11.8	11.2	11.4
% de Eficiencia	82		84.5	90.2	85.4	89.5	83.6	89.5

Tabla 4.1 Análisis de combustión, caldera No.4 quemando Fuel-Oil No.6.

Nota: la primera lectura fue tomada para un % de forzado de 75 y de inducido de 25; mientras que para la segunda lectura en adelante los porcentajes de forzado e inducido fueron de 75 y 20 %, respectivamente.

tabla 4.1 que muestra, aparte de la eficiencia misma del Generador de vapor acuotubular No.4 del Ingenio Concepción, quemando fuel-oil No.6 otros parámetros de importancia. Cabe mencionar que estos datos fueron obtenidos a través de un analizador de combustión aplicado antes y después del Pre-calentador de aire, cuando la caldera estaba en su máxima capacidad.

4.9 PRINCIPALES CONTROLES AUTOMATICOS EN UN GENERADOR DE VAPOR ACUOTUBULAR DE ACEITE-COMBUSTIBLE

Llámanse controles de la combustión a los dispositivos automáticos destinados a mantener la presión de vapor deseada y la proporción correcta entre el combustible y el aire al variar la carga.

En esta sección del capítulo 4 se describe la aplicación del regulador modular 53MC5000, descrito en el capítulo 1, a través de los datos del programa que controla el combustible y aire de la caldera.

Los siguientes párrafos describen la operación de la aplicación contenida en el programa.

Entradas:

- flujo de aire	ANI 0
- razón del encendido	ANI 2
- purga	CCI 0
- fuego bajo	CCI 1

Salidas:

- actuador de aire	ANO 0
- válvula de combustible	ANO 1

4.9.1 MODO AUTOMATICO/MANUAL

La señal análoga que representa a la razón de encendido es aplicada a una señal análoga de entrada 2 (AN12) y es desplegada según la variable del proceso (PV) en el circuito cerrado de control 0 (CON0) Unas BIAS (Tendencias) y/o multiplicador son aplicadas a la razón de encendido. El multiplicador del valor de control remoto, K10 (Base de datos localizada en C113) y el bias del valor de control, B10 (Base de datos localizada en C112) son usadas según el multiplicador y bias, respectivamente. El resultado del cálculo de estas "bias" son mostradas según el valor del punto de control (SP) en el circuito cerrado de control 0 (CON0).

El valor calculado en la próxima pasada por medio de una subrutina automático/manual (AMSW0) de la salida la cual es desplegada según el valor de salida (OUT) en el circuito cerrado de control 0 (CON0) Los pasos del modo automático corrigen la razón de encendido o razón de fuego a la segunda subrutina del circuito cerrado de control automático/manual (AMSW1) y también a los cálculos de la subrutina 1 (Caracterizador) En el modo manual también pasan unos valores al segundo circuito cerrado de control y a los cálculos de la subrutina (caracterizador) sin embargo, estos valores son seleccionados, manualmente, por el operador o retendrán el último valor. La salida caracterizada es entonces la salida del proceso por medio de una señal análoga de salida 0 (AN00).

La señal análoga la cual representa al flujo de aire es

aplicada a una señal análoga de entrada 0 (ANIO) y ésta no es directamente exhibida en uno u otro de los desplegados del circuito cerrado de control. El flujo de aire y la razón de combustión o encendido viniendo de la subrutina 2 automática/manual (AMSW2) son comparadas y la más baja de las dos señales son pasadas al multiplicador de la relación. Un valor de la relación es aplicado a una señal de selección baja. El valor de relación (RA) es desplegado en el circuito cerrado de control 1 (CON1) y puede ser ajustado usando la placa frontal del botón de presión para incrementar o decrecer el valor de control o de ajuste. El resultado del cálculo de la relación es introducida al cálculo de la subrutina 2 (caracterizador) La salida caracterizada es, entonces, la salida del proceso por medio de la señal análoga de salida 1 (ANO1).

Entradas de contacto 0 y 1 son usadas como indicaciones de purga y fuego bajo, respectivamente. Si una condición de purga ocurre, la entrada de contacto 0 (CCIO) cerrará. El programa de control de los monitores del estado de estos contactos forzará a retener un valor dentro del cálculo de la subrutina 1 (caracterizador) Los valores retenidos son individualmente definidos y pueden ser modificados si es requerido. El valor retenido para purga está ajustado a 100.0. Si una condición de fuego bajo ocurre, la entrada del contacto 1 (CC1) cerrará. Un valor retenido de 0.0 es forzado a entrar al respectivo cálculo de las subrutinas (caracterizadores).

4.9.2 CALCULO DE LAS SUBROUTINAS

El cálculo de subrutinas aceptará constantes de entrada a ser usadas por partes prudentes de la caracterización de polinomiales de tercer y onceavo orden.

4.9.3 DESPLEGADOS

Esta aplicación tiene cinco pantallas de desplegados estandar disponibles para usarse por el operador.

DESPLEGADO 1 es un circuito cerrado simple CONO desplegado, cuya leyenda leída es control maestro de la caldera (B_MASTER) Este desplegado/circuito cerrado de control se refiere al control maestro/controlador de aire (Boiler Master/Air Controller).

DESPLEGADO 2 es un circuito cerrado simple CON1 desplegado cuya leyenda se lee combustible/aire. Este desplegado/circuito cerrado de control se refiere al controlador de combustible/relación de combustible-aire.

DESPLEGADO 3 es un desplegado de circuito cerrado doble. Ambos circuitos cerrados de control, el control maestro (B_MASTER) y combustible/aire aparecen en este desplegado.

DESPLEGADO 4 es un desplegado de parámetro modular que despliega las tendencias comunes de razón de fuego, el flujo de aire y la

TERMINAL CONNECTIONS AND BLOCK DIAGRAM

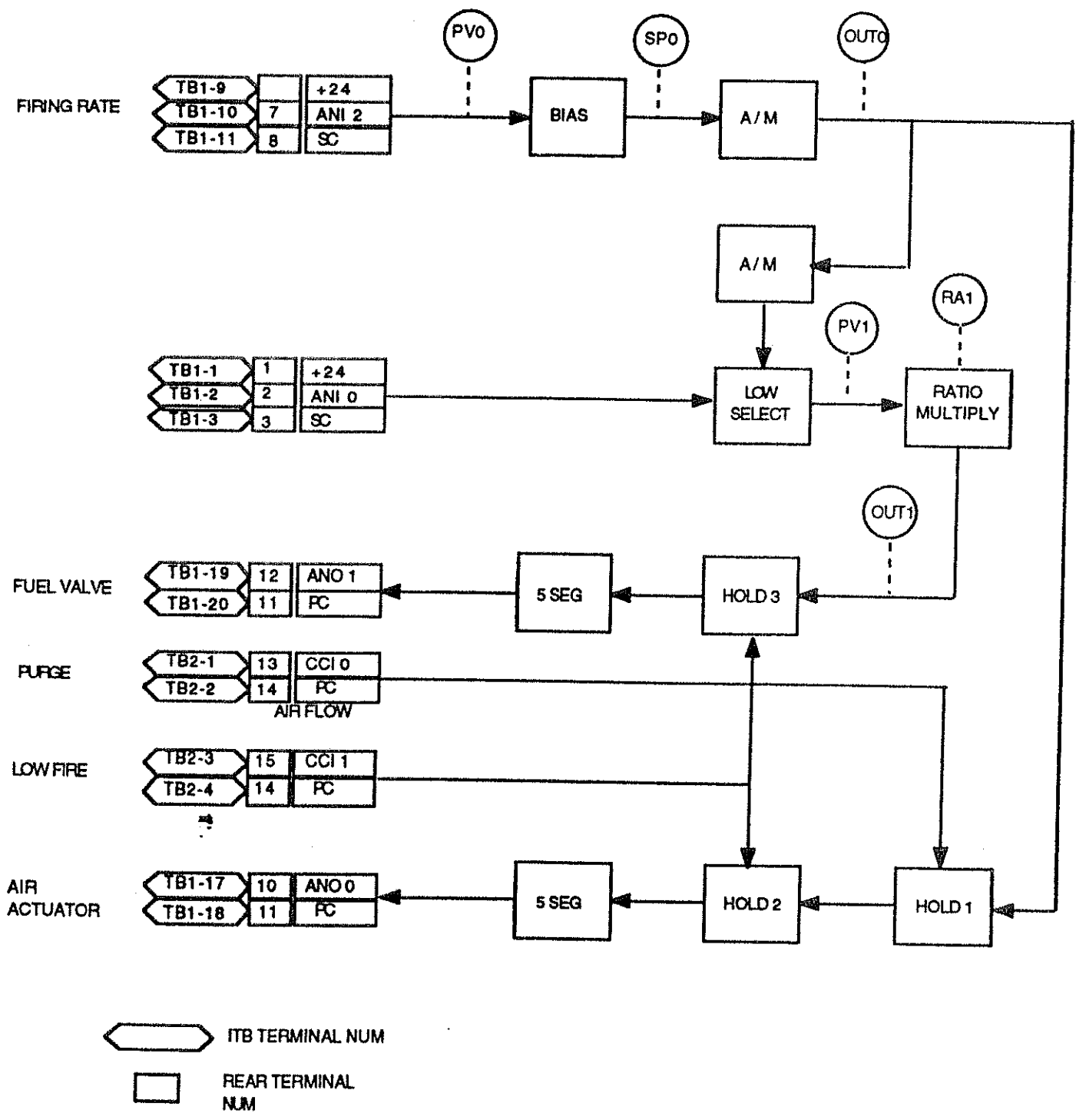


Fig. 4.6 Configuración de los controles de combustión

la señal de selección baja.

DESPLEGADO 5 es también un desplegado de parámetro modular. Este desplegado indica los dos flujos de aire introducidos y el promedio del flujo de aire en la salida.

En la Fig. 4.6 se muestra el sistema de configuración de los controles de combustión del 53MC500.

CAPITULO 5

CARACTERISTICAS COMUNES Y DIFERENCIAS ENTRE LOS GENERADORES DE VAPOR ACUOTUBULARES DE BAGAZO Y DE ACEITE-COMBUSTIBLE

5.1 CARACTERISTICAS COMUNES

5.1.1 COMPONENTES DEL GENERADOR DE VAPOR ACUOTUBULAR

De los componentes básicos del generador de vapor acuotubular son comunes a ambos generadores de vapor acuotubulares de bagazo y de aceite-combustible la sección del hogar, el sobrecalentador, el economizador, el precalentador de aire, los tiros y el sistema limpiador de hollín. Es decir, que se pueden utilizar, indistintamente, en ambos generadores de vapor.

5.1.2 REFRACTARIO Y/O AISLAMIENTO

Otra de las características comunes a los generadores de vapor acuotubulares, independientemente al combustible que quemen, es el

material refractario y/o aislamiento, pues éste es igualmente necesario, ya sea que el generador de vapor queme bagazo o aceite-combustible y el tipo o clase de dicho material a utilizar está en función a la temperatura a la que va a ser sometido.

5.1.3 SISTEMA DE ALIMENTACION Y CIRCULACION DE AGUA HACIA Y EN LA CALDERA

Otra de las características comunes e independientes al tipo de combustible que utiliza la caldera es la alimentación de agua hacia ésta y el diseño de su circulación dentro de la misma.

Cuando se habla de la alimentación de agua a la caldera se refiere, por ejemplo a, si ésta, está trabajando en un circuito cerrado con una turbina con condensador, en la cual, entonces, el vapor se condensa y pasa al deaerador y, luego, a la caldera ó el vapor producido por la caldera es utilizado para servicio de la fábrica por lo cual, entonces, parte de ese vapor es perdido en el proceso y se necesita inyectar agua de condensación, agua desmineralizada ó, inclusive, en un momento dado hasta podría inyectársele agua cruda, pues, es imperativo que la caldera mantenga agua.

Ahora, al referirse a la circulación de agua en la caldera se habla del flujo de agua, vapor o una mezcla de ambos a través de los circuitos internos de la caldera, los cuales dependen más del diseño mismo de la caldera, que de la clase de combustible que consume.

5.1.4 DISPOSITIVOS DE SEGURIDAD DE LAS CALDERAS

Los dispositivos de seguridad o de protección de las calderas son igualmente comunes, tanto a calderas que queman bagazo ó aceite-combustible y entre los cuales se cuentan: las válvulas de seguridad, requeridas para evitar el valor excesivo de la presión de vapor y las alarmas de bajo y alto nivel de agua, los cuales son dañinos a las calderas; el primero porque constituye un peligro de calentamiento excesivo de los tubos al quedarse sin agua y el segundo porque evita una circulación adecuada dentro de la caldera y provoca arrastres hacia la línea de vapor.

5.2 DIFERENCIAS

5.2.1 ALIMENTACION DE COMBUSTIBLE

El sistema de alimentación de combustible, depende del tipo de éste, por lo tanto y como se describió en los capítulos 3 y 4, y, como se aprecia en las figuras 3.1, 3.2 y 4.1, ambos sistemas en los generadores de vapor acuotubulares que queman bagazo y aceite-combustible son diferentes.

5.2.2 SUMINISTRO Y DISTRIBUCION DE AIRE PARA LA COMBUSTION

El suministro y distribución de aire para la adecuada combustión del bagazo y del aceite-combustible se realiza de diferente manera, como a continuación se describe:

- cuando el generador de vapor acuotubular está quemando bagazo, el aire necesario para la combustión es suministrado por el

ventilador de tiro forzado. Parte de este aire es conducido al horno y pasa a través de la parrilla, otra parte es conducido por el over-fire que empuja al bagazo hacia el horno y lo seca, simultáneamente, mientras se quema a medida que va cayendo, la cantidad de aire mencionada constituye el aire primario y, por último, el resto del aire es inyectado por medio de unas toberas en la parte frontal y trasera del horno, suministrando con esto el aire en exceso necesario para la combustión y es lo que forma el aire secundario.

Ahora, cuando se está quemando aceite-combustible al igual que cuando se quema bagazo, el aire se suministra por medio del ventilador de tiro forzado, pero, la distribución de aire es diferente, ya que parte de este aire es conducido a la parrilla (en mínima parte) con la única finalidad de proporcionar un medio de enfriamiento a la parrilla y evitar así que ésta se deflece por la acción del calor, ahora, como ese aire no se pierde sino se conduce a lo largo del hogar se puede considerar como parte del aire secundario. El resto del flujo de aire suministrado por el ventilador se conduce por conductos diferentes a los quemadores dividiéndose este mismo en aire secundario para completar la combustión y aire primario para atomizar el fuel-oil.

5.2.3 DIMENSIONES DEL HOGAR

Las dimensiones del hogar para una caldera acuotubular que quema bagazo son determinadas considerando los siguientes factores:

(a) longitud de flama entre 5 a 10 m. (b) superficie de calefacción por metro de ancho y (c) régimen calorífico de 400,00 Kcal/H/m² como valor máximo y para un valor óptimo de 250,000 Kcal/H/m².

Ahora, para calderas acuotubulares que queman fuel-oil, las dimensiones del hogar se determinan considerando lo siguiente:

(a) longitud de flama (que es relativamente corta), (b) intensidad calorífica de 400,500 Kcal/H/m², debiéndose mantener este valor abajo de 267,000 Kcal/H/m² para lograr una vida útil larga y un bajo costo de mantenimiento.

Por lo anteriormente mencionado, la mayor diferencia radica en la longitud de flama y el régimen calorífico puede llegar a considerarse, en un momento dado, una característica común. Llevando esto a que el hogar en las calderas que solo queman petróleo sea mucho más compacto.

5.2.4 EL HORNO

La diferencia más notable y es a la que en este trabajo se referirá la presente sección es la parrilla, elemento necesario para el retiro de cenizas en los combustibles sólidos cuando se utiliza un alimentador mecánico.

En una caldera acuotubular que queme aceite-combustible no es necesario la parrilla, pues, la combustión del fuel-oil es mucho más limpia que la del bagazo "combustible residual" y la formación de ceniza es mínima.

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
Biblioteca Centro.

5.2.5 SUPERFICIE CALORICA

Se enfocará esta sección a la superficie calorífica debida a la pared de agua.

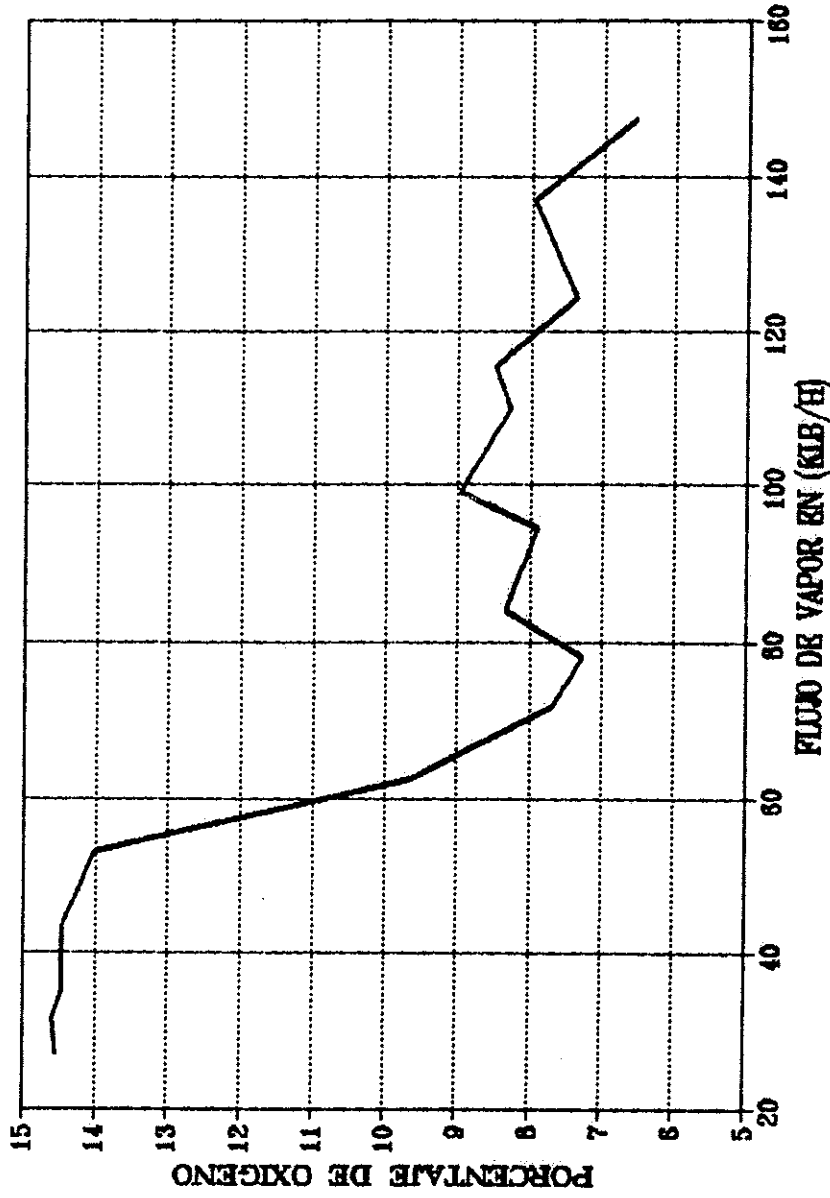
En lo que se refiere a la pared de agua ésta se hace más indispensable en un generador de vapor acuotubular que quema fuel-oil, ya que por el tipo de flama producida por éste, la transmisión de calor se lleva a cabo en mayor grado por radiación, requiriéndose así, pues, paredes enfriadas por agua, por otro lado, el choque directo de las flamas y la consecuente erosión que ocasiona en los materiales refractarios se evita utilizando paredes enfriadas por agua.

Las calderas acuotubulares de vapor con alimentación por asperción son calderas con paredes de agua adaptables para otros combustibles como carbón pulverizado, fuel-oil y gas.

5.2.6 PRODUCCION DE GASES

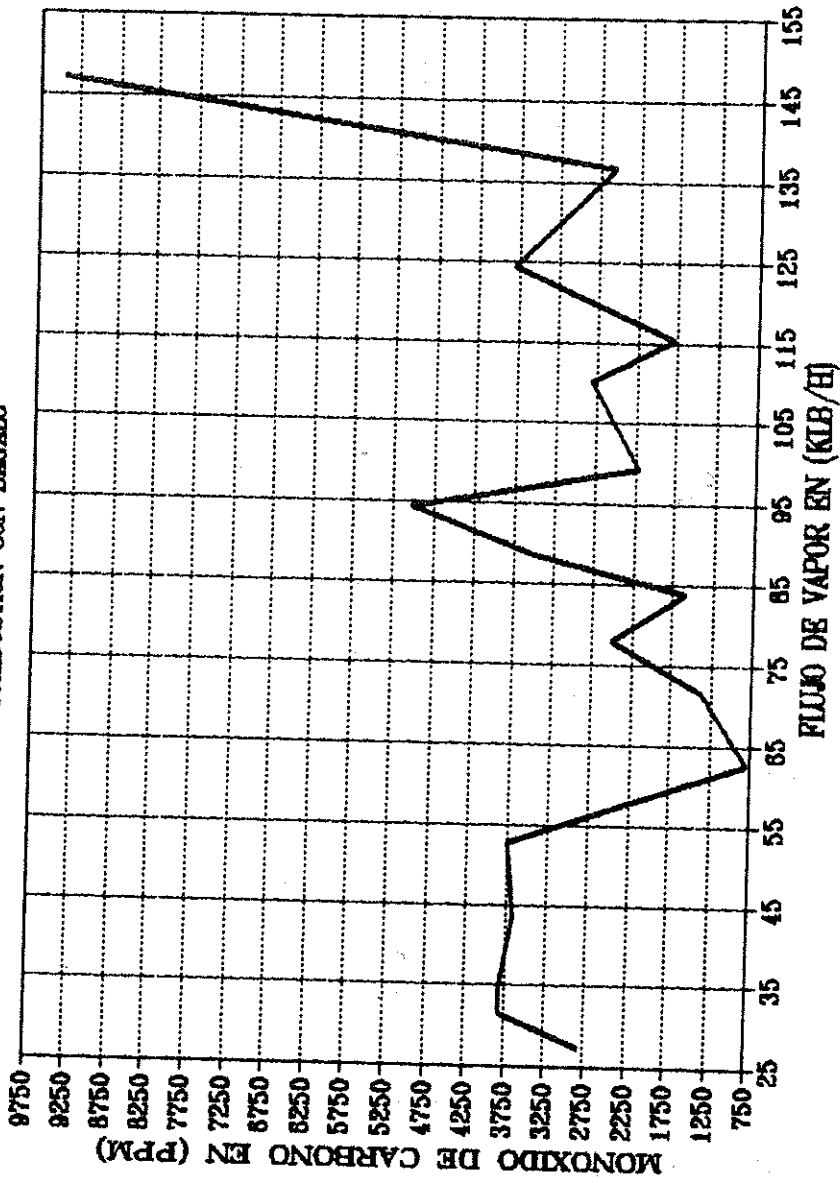
El % de oxígeno producido y la cantidad de monóxido de carbono (CO) generado es diferente en la combustión, tanto del bagazo como del fuel-oil y para ilustrar esto, se presentan las gráficas siguientes: % de oxígeno vrs. flujo de vapor (Graf. 5.1), CO (PPM) vrs. flujo de vapor (Graf. 5.2), estas dos primeras gráficas se obtuvieron quemando bagazo y, en las Grafs. 5.3 y 5.4 se muestran las mismas variables, respectivamente, sólo que quemando fuel-oil.

FLUJO DE VAPOR VERS. % DE OXIGENO
COMBUSTION CON BAGAZO



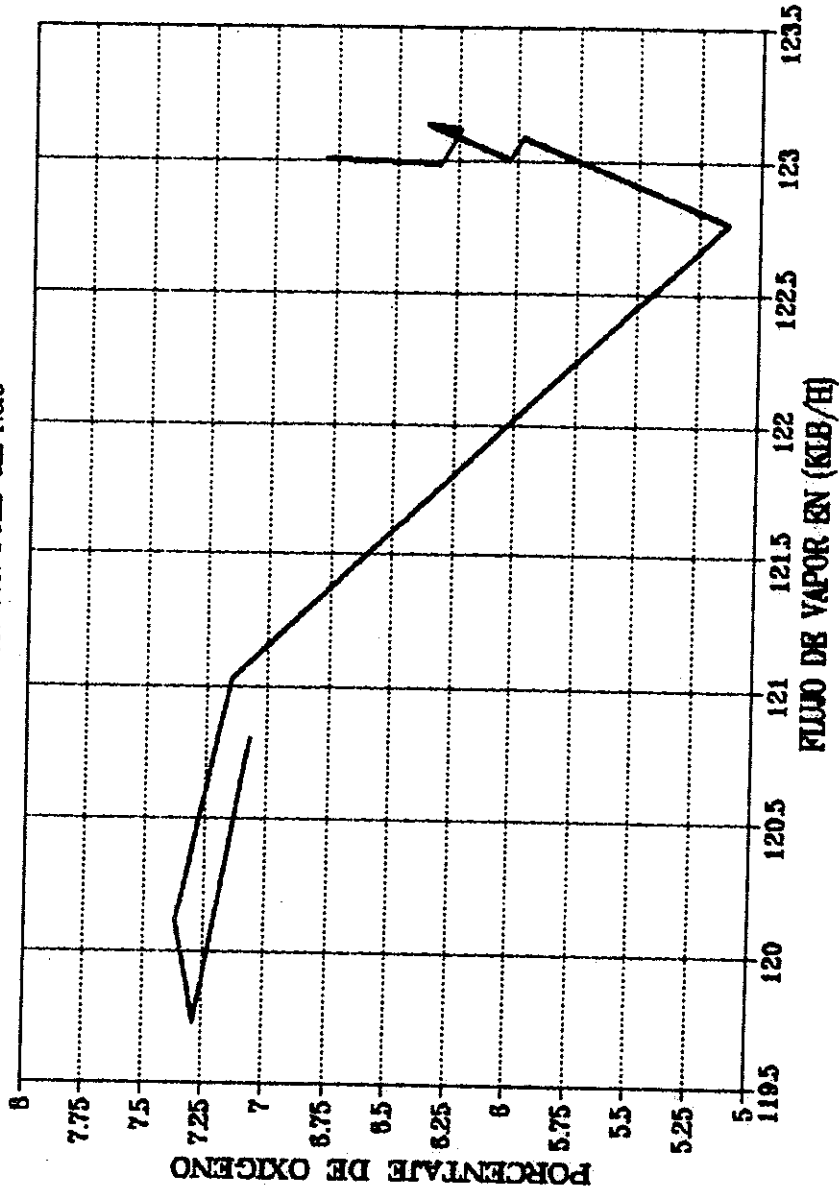
Gráfica 5.1

FLUJO DE VAPOR YES. MONOXIDO DE CARBONO
COMBUSTION CON BAGAZO



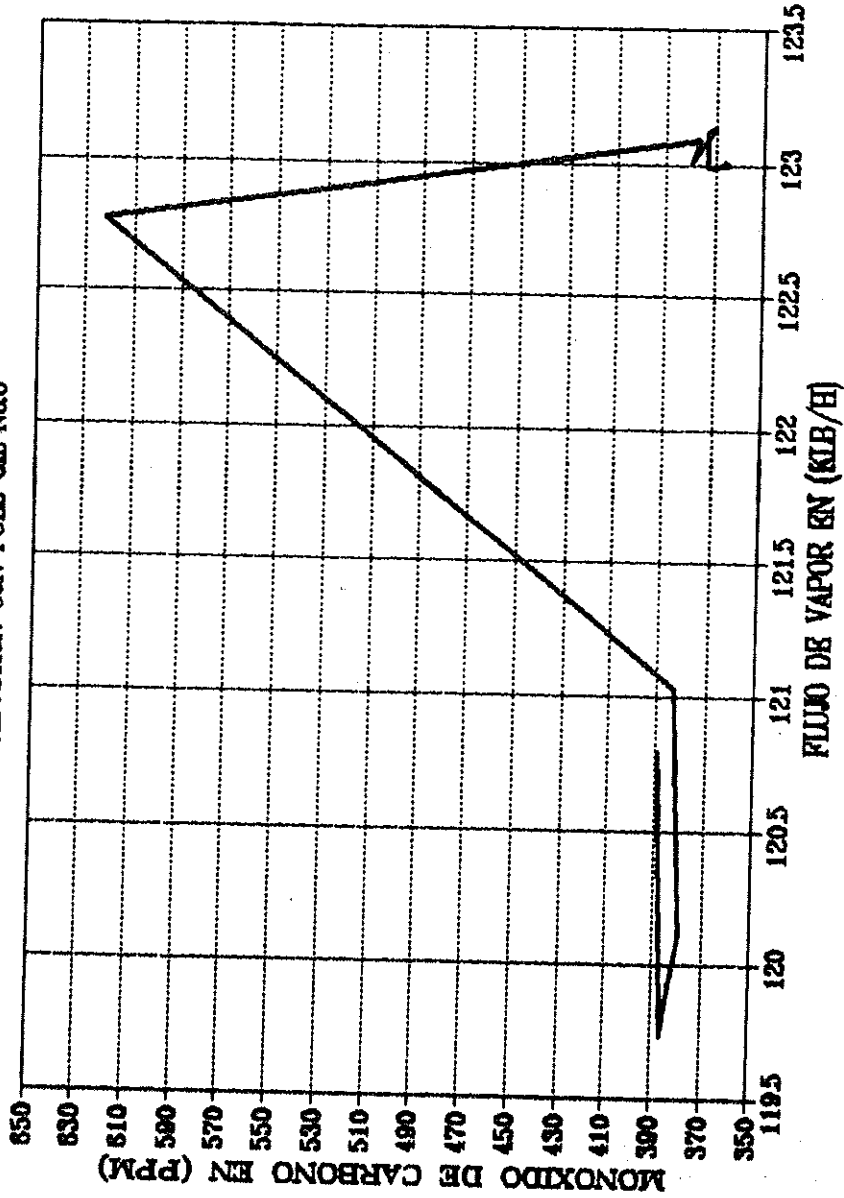
Gráfica 5.2

FLUJO DE VAPOR VERS. % DE OXIGENO
 COMBUSTION CON FUEL-OIL No.6



Gráfica 5.3

FLUJO DE VAPOR VRS. MONOXIDO DE CARBONO
 COMBUSTION CON FUEL-OIL No.6



Gráfica 5.4

5.2.7 EFICIENCIA DE COMBUSTION

Existe una diferencia notable entre la eficiencia de combustión del bagazo y del aceite-combustible y, por lo tanto, de la caldera misma.

Los análisis de combustión realizados demuestran ésta aceveración y para ilustrar esto se presenta la Tabla 5.1 que presenta los diferentes valores de eficiencia encontrados en los diversos análisis efectuados a la caldera, quemando bagazo y quemando fuel-oil.

Diferencias entre eficiencias

Combustible	■	▣	■	▣	■	▣	■	▣
Bagazo	64	66	65	72.5	63.6	70	65	77.5
Fuel-Oil No.6	82		84.5	90.2	85.4	89.5	83.6	89.5

■ Análisis efectuado antes del precalentador
▣ Análisis efectuado después del precalentador

Tabla 5.1

CAPITULO 6

ESTUDIO PARA LA ADAPTACION DE UN GENERADOR DE VAPOR ACUOTUBULAR QUE UTILIZA BAGAZO DE CAÑA, PARA QUE UTILICE BAGAZO DE CAÑA Y/O ACEITE-COMBUSTIBLE

6.1 COMPARATIVO DE COMBUSTION, BAGAZO Y ACEITE-COMBUSTIBLE

A continuación se presenta un comparativo de combustión entre

el bagazo y el aceite-combustible. Este surge de comparar los resultados obtenidos en el análisis de combustión efectuado a la caldera en estudio quemando bagazo, como quemando fuel-oil No.6 y que se expusieron en las tablas 3.2 y 4.1 respectivamente; sólo que ahora se presentan los promedios de los resultados obtenidos, experimentalmente, con los que teóricamente se deberían haber obtenido (los encontrados en la literatura).

La tabla 6.1 representa el comparativo de combustión antes del precalentador y la tabla 6.2 después del precalentador de aire.

Variables	BAGAZO		FUEL-OIL No.6	
	Teórico	Real	Teórico	Real
Aire Requerido	▼ 291.244 m ³ aire/ m ³ bagazo	RT=378.62 ▲ RO=571.57 ♀	(B) 10.563 m ³ aire/ m ³ fuel #6	RT=12147.45 RO=14788.20
% de Exceso de Aire	40-60% H. Dietri. 30%	* 96.25%	10-20%	* 40%
% de Oxígeno		* 10.08%	@ 2-4%	* 6.3%
CO (PPM)		* 836.75		* 7.75
% de CO ₂	12-14% máx. 19.6%	* 10.55%	@ 13-14%	* 11.32%
% de Eficiencia		* 64.4%		* 83.88%
Temperatura Gases humerales		* 531.5°F		* 516°F

Tabla 6.1

Variables	BAGAZO		FUEL-OIL No.6	
	Teórico	Real	Teórico	Real
Aire Requerido	▼ 291.244 m ³ aire/ m ³ bagazo	RT=378.62 ▲	(a) 10.563 m ³ aire/ m ³ fuel #6	RT=12147.45
		RO=594.14 ♀		RO=14471.31
% de Exceso de Aire	40-60% H. Distri. 30%	* 104%	10-20%	* 37%
% de Oxigeno		* 11.08%	@ 2-4%	* 6.07%
CO (PPM)		* 1210.75		* 16.67
% de CO ₂	12-14% max. 19.6%	* 13.3%	@ 13-14%	* 11.73%
% de Eficiencia		* 71.5%		* 89.73%
Temperatura Gases humerales		* 329.25°F	\$ 180-190°F & 250 °F	* 294°F

Tabla 6.2

- ▼ Dato calculado para un promedio de humedad y de densidad de bagazo de 47.78% y 111.68 Kg/m³ respectivamente, a una temperatura de 32°C y a la presión atmosférica
- ▲ RT=Relación teórica (aire necesario + aire de exceso teórico)
- ♀ RO=Relación observada (aire necesario + aire de exceso obtenido)
- (a) Dato recabado de la tabla 2.6
- * Promedios
- @ Datos extraídos de la gráfica 2.3
- \$ Para Fuel-oil 6 de bajo contenido de azufre (0.84%)
- & Para Fuel-oil 6 de alto contenido de azufre (3.97%)
- \$.& Temperatura mínima de metal para evitar corrosión (Véase la Gráfica 2.5)

6.1.1 PORCENTAJE DE EXCESO DE AIRE TEORICO PARA BAGAZO

Para una caldera acuotubular que utiliza bagazo como combustible, se ha logrado determinar que las mayores eficiencias

se obtienen cuando el exceso de aire está entre el 40 y el 60%.

Para el horno distribuidor, particularmente, se considera que éste permite reducir el exceso normal de aire al 30% (en lugar del 40 al 50%) y, consecuentemente, mejora la eficiencia.

6.1.2 PORCENTAJE DE EXCESO DE AIRE TEORICO PARA ACEITE-COMBUSTIBLE

En las calderas acuotubulares que utilizan como combustible el fuel-oil, el exceso de aire teórico para una efectiva combustión y una máxima eficiencia oscila entre el 10 al 20%.

El % del exceso de aire en la combustión con fuel-oil No.6 en la caldera No.4 es, aproximadamente, el doble del promedio de exceso de aire teóricamente requerido y entre las causas de esto esta la falta de hermeticidad de la caldera o, sea, presenta muchas entradas de aire no controladas.

6.2 COMPORTAMIENTO DEL HOGAR

Al hablar del comportamiento del hogar en la presente, se refiere a la presión que se debe mantener dentro del hogar, de tal forma que con ésta se evite la exfiltración de partículas incandescentes y se permita la circulación de aire del exterior para contribuir o formar parte del aire de exceso necesario para lograr una combustión eficiente.

Cabe mencionar que las dimensiones de la presión del hogar se dan en pulgadas de columna de agua.

6.2.1 PRESION DEL HOGAR POSITIVA

Teóricamente, no se recomienda una presión positiva (superior a la presión atmosférica) del hogar para calderas acuotubulares, ya que ésta contribuiría a la exfiltración excesiva de partículas incandescentes, lo cual no es recomendable y, también, a una combustión deficiente ya que se reduciría el % de exceso de aire.

6.2.2 PRESION DEL HOGAR NEGATIVA

Un valor negativo de la presión del hogar es lo más recomendable a utilizar para un comportamiento normal y una eficiente operación de la caldera acuotubular.

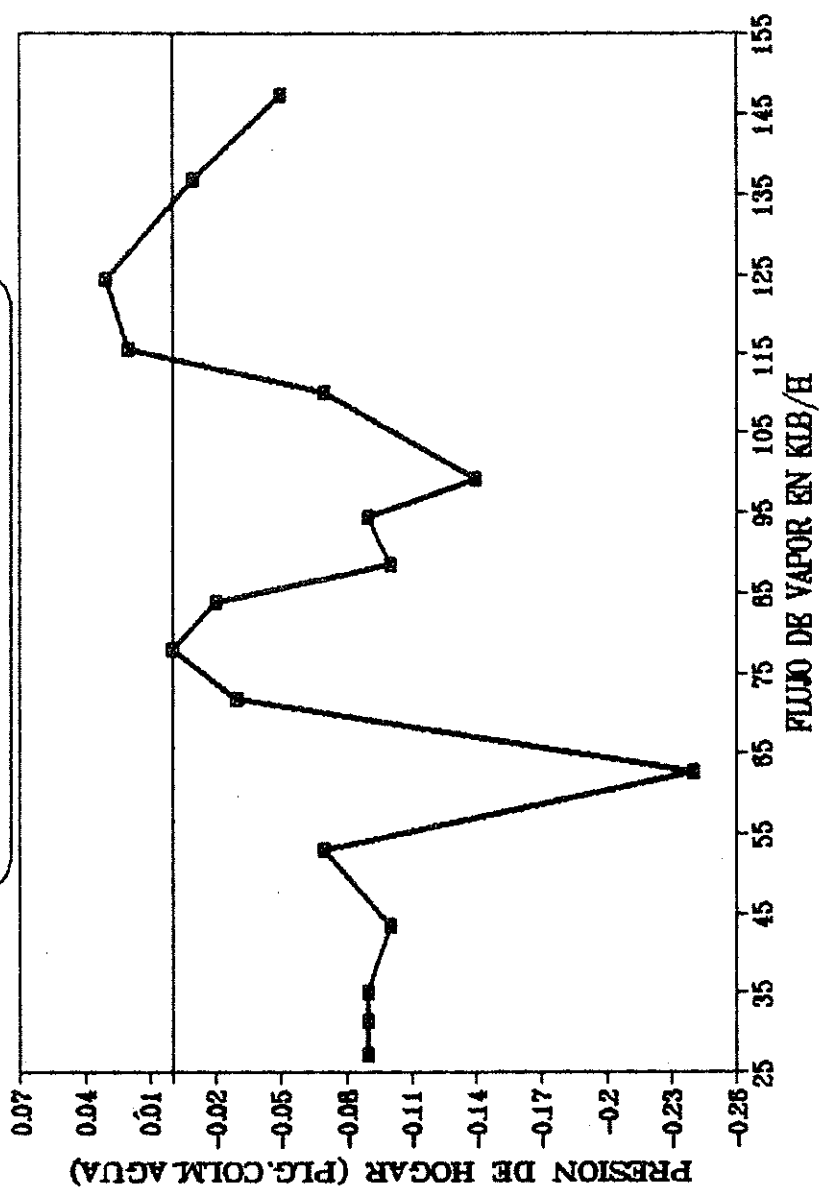
Un valor excesivamente alto de presión negativo resultaría en un aumento del % del exceso de aire, contribuyendo con esto a una disminución de la eficiencia de la caldera. Esto es debido a que los dampers del ventilador del tiro inducido están abriéndose cuando la presión de hogar está tendiendo a un valor negativo, creando una depresión alta en el hogar y provocando un flujo de aire hacia el interior del hogar y de la caldera en general.

En las Grafs. 6.1 y 6.2 se muestran las tendencias del comportamiento de la presión de hogar en función al flujo de vapor de la caldera en observación quemando bagazo y quemando fuel-oil No.6, respectivamente.

6.3 MANEJO DE GASES

Los medios más utilizados para el suministro y evacuación de

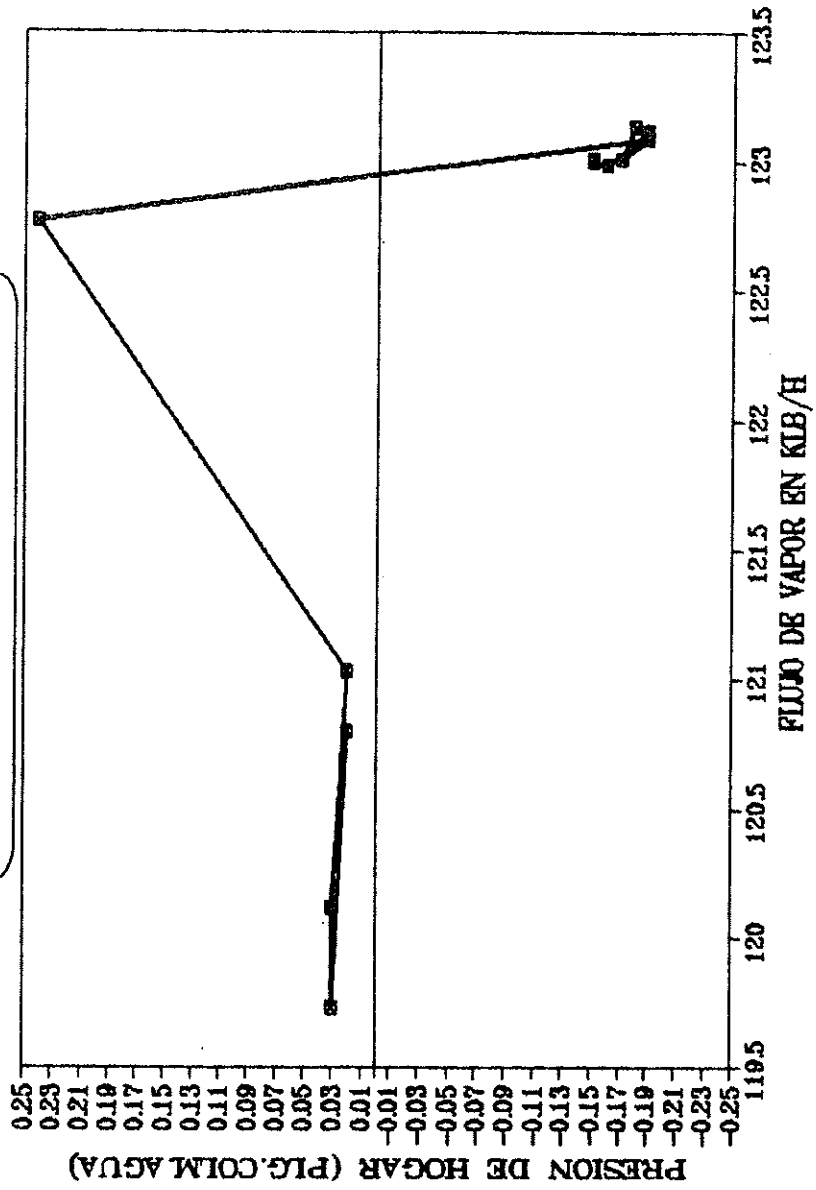
**TENDENCIA DE LA PRESION DE HOGAR
COMBUSTION CON BAGAZO**



Nota: - El control de la presión de hogar se mantuvo en automático
 - Las lecturas fueron tomadas para Set-point de la presión de hogar de -0.10

Gráfica 6.1

**TENDENCIA DE LA PRESION DE HOGAR
COMBUSTION CON FUEL-OIL, No.6**



Nota: - El control de la presión de hogar estuvo en manual
 - Las primeras 4 lecturas fueron tomadas para un % de
 abertura del inducido de 25% y el resto para un 20%

Gráfica 6.2

aire y gases son el tiro forzado y el tiro inducido, respectivamente.

6.3.1 COMPARATIVO TIRO INDUCIDO

El tiro inducido durante las pruebas realizadas quemando fuel-oil No.6 se manejó, manualmente, a través de la opción automático/manual del sistema de control automático, por lo que el el valor de control introducido al controlador no ajusta el valor de la presión de hogar al Set-point de la presión de hogar.

La abertura de los dampers se fijó, de tal forma, que no se produzca una elevada presión positiva en el hogar, tratando de mantener una leve succión del exterior hacia el horno. Los valores bajo los cuales se encontró un buen rendimiento y una buena evacuación de gases fue de 20 a 27.5% de abertura de los dampers.

En comparación con la operación del tiro inducido quemando bagazo, ésta responde, automáticamente, tratando de ajustarse al valor de presión de hogar previamente fijado.

6.3.2 COMPARATIVO TIRO FORZADO

El tiro forzado también se manejó en modo manual, tratando de ajustar la abertura de los deflectores del ventilador para un suministro de aire adecuado, de tal forma que se obtenga la cantidad de aire necesario y el mínimo % de exceso de aire para una eficiente combustión.

Por los ensayos realizados y los resultados obtenidos en el

análisis de combustión efectuado (Tabla 4.1) con un % de abertura de los deflectores de 75% se lograron valores aceptables, mientras que quemando bagazo, la abertura de los deflectores del ventilador del tiro forzado, está en función de la variación que tenga la presión de vapor, respecto del valor de ajuste.

6.4 COMPORTAMIENTO DE LOS TUBOS DE AGUA, QUEMANDO BAGAZO O QUEMANDO ACEITE-COMBUSTIBLE

Todas las calderas se dilatarán al ser calentadas y se contraerán al ser enfriadas. La expansión depende de la fuente que da origen al efecto calorífico, ya sea una flama radiante, los gases de la combustión un poco más fríos o, simplemente, el contacto con el agua caliente o con el vapor, dentro de la misma caldera. Tanto el calentamiento como el enfriamiento no son uniformes. Hay tendencias a la formación de focos calientes dentro de la caldera. Al diseñar una caldera, debe dársele especial atención a la expansión, una caldera bien diseñada estará, relativamente, exenta de tensiones de esta índole.

En una caldera de acero bien diseñada, habrá pocas dificultades ocasionadas por la expansión. La tubería de conexión debe tener facilidades para su expansión y para su movimiento. Las fugas en los extremos de los tubos rolados al domo o al espejo, son indicaciones generalmente claras de la existencia de tensiones originadas por los movimientos de la expansión y de la contracción. El agua fría no debe ser inyectada de manera que choque contra una

junta remachada.

6.5 UBICACION ADECUADA DE LOS QUEMADORES

Como se mencionó en el capítulo 4, las aberturas de los quemadores están en ángulo respecto de la línea vertical, apuntadas hacia el piso de escorias fluidas en una caldera acuotubular de fuel-oil y de fuego opuesto.

Una modificación que se hace en la ubicación de los quemadores a calderas acuotubulares que utilizan parrilla (como las que queman bagazo con alimentador mecánico) es evitar que los quemadores apunten hacia abajo, pues, esto produciría un choque de la flama contra la parrilla, lo cual sería pernicioso para ésta, en el mejor de los casos, bajo una inadecuada dirección de la flama se originaría un calentamiento excesivo de la parrilla que ocasionaría que ésta se pandeará por la acción del calor.

Para evitar lo anteriormente expuesto, en la caldera en observación la dirección o el ángulo del quemador respecto de la vertical es de 90° , tratando con ello de evitar el choque de la flama con la parrilla y el exceso de calor producido sobre ésta.

Cabe mencionar también que el fuego es opuesto por los lados y no como originalmente se diseña por el frente y en la parte posterior, esta modificación es fácil de explicar, pues, es debido al diseño original de la caldera, es decir, para quemar bagazo; la parte del frente está ocupada por los tambores alimentadores de bagazo, los chifles y el over-fire, quedando entonces muy poco

espacio para la instalación de los quemadores por el frente, evitando con esto la instalación por la parte posterior.

La altura de los quemadores en relación al piso del horno es determinada, tanto por el diseño de la caldera como por la longitud de flama del combustible. En el caso que ocupa este trabajo, la longitud de flama del fuel-oil No.6 es relativamente corta en comparación con la flama producida por la combustión del bagazo, llevando esto a realizar la instalación de los quemadores en la parte superior en relación al piso del horno y también de la parrilla, teniendo el cuidado de que la flama se desarrolle libremente y no sea cortada, pues, entonces, no se lograría una combustión eficiente.

6.6 CONTROL DEL EXCEDENTE DEL PORCENTAJE DE EXCESO DE AIRE TEORICO

Se ha mencionado en repetidas ocasiones que para una adecuada combustión, es decir, una combustión eficiente es necesario un mínimo porcentaje de exceso del aire teórico necesario. Este porcentaje mínimo de exceso de aire depende de la clase de combustible que se queme, pero, independientemente de eso, que es lo que sucede, si se suministra más aire del exceso mínimo requerido, entonces, ya no se tiene una combustión eficiente y, por consiguiente, disminuye la eficiencia de la caldera.

Para controlar el excedente del exceso de aire teórico mínimo necesario, se puede hacer de dos maneras:

(1) Evitar, al máximo, la infiltración de aire a la caldera, logrando una mayor hermeticidad en ésta, es decir, sellar en mejor forma la caldera.

(2) Ajustar el punto de control (Set-point) de la presión de hogar a un valor adecuado para lograr una buena evacuación de gases y reducir, al mínimo, la succión de aire a través de las mirillas del horno.

6.7 MODIFICACIONES NECESARIAS PARA EL FUNCIONAMIENTO EFICIENTE DE LA CALDERA

A lo largo de las observaciones efectuadas a la caldera en estudio, se han podido apreciar tres modificaciones necesarias y de suma importancia realizadas al momento de adaptar la caldera para quemar fuel-oil, no sólo para el funcionamiento eficiente de la caldera sino para la protección de sus partes. Dos de estas modificaciones están relacionadas con el suministro de aire a la caldera y la evacuación de gases y control del exceso mínimo de aire necesario; y, la otra, para protección de la parrilla de la caldera.

En lo que se refiere al suministro de aire, evacuación de gases y control del exceso mínimo de aire necesario, las modificaciones son las siguientes:

(1) poner en modo manual el control del tiro forzado y ajustar la abertura de los deflectores del ventilador a un 75%;

(2) poner en modo manual el control del tiro inducido y ajustar la abertura de los dampers del inducido entre 20 a 27.5%.

Para la protección de la parrilla que constituye la tercera modificación, existen dos formas de protegerla:

- la primera es:

(3) dejar abierta la compuerta del aire del forzado (que se utiliza cuando se quema bagazo) aproximadamente, en un 25%. El aire suministrado por este medio permite proporcionar el enfriamiento necesario para evitar la deflexión de la parrilla por la acción del calor. Aunque de esta manera no se tendría un estricto control sobre la cantidad de aire, suministrado para la combustión, ocasionando con esto un excedente del porcentaje de exceso de aire;

- la segunda es:

(3a) proteger la parrilla del alimentador con una capa de cenizas (temporalmente) de 10 a 13 cm. (4 a 5 plg.) o dos capas de tabique refractario <13 cm. (5 plg.)>.

6.8 PRUEBAS DE ARRANQUE Y PUESTA EN MARCHA DE LA CALDERA

A continuación se describen los pasos del procedimiento para el arranque inicial y puesta en marcha de la caldera No.4 para quemar fuel-oil No.6.

- (1) Energizar tablero de control del o los quemadores
- (2) Accionar el regulador modulador 53MC5000
- (3) Presionar el botón de selección del combustible (Diesel No.2)
- (3a) Abrir válvula del tanque de la planta de Diesel
- (3b) Verificar que esté lleno el tanque
- (3c) Revisar válvulas del sistema
- (3d) Verificar la energía, subir flippon
- (3e) Arrancar bomba de diesel
- (3f) Verificar presión de salida del sistema
- (3g) Válvula de salida a quemadores abierta
- (4) Instalar la lanza del quemador en su posición
- (5) Asegurarse que hay aire comprimido a 100 psig. en la línea y abrir las válvulas
- (6) Abrir las válvulas de los cilindros del gas de ignición (Gas Propano)
- (7) Abrir las válvulas del gas de ignición en el quemador
- (8) Meter la compuerta de la caja de aire y abrir las válvulas de entrada al quemador
- (9) Abrir válvulas de diesel en el quemador
- (10) Revisar las condiciones del tablero
- (11) Revisar y arrancar motor del ventilador de tiro inducido. (El damper debe estar cerrado antes de arrancar el motor)

- (12) Revisar y arrancar motor del ventilador del tiro forzado
(cerrar el damper antes de arrancarlo y abrirlo cuando esté
arrancado)
- (13) Revisar y arrancar ventilador del quemador a utilizarse
- (14) Conectar el switch del quemador
- (15) Oprimir botón de "Restablecer sistema"
- (16) Observar las señales del tablero; si las condiciones no se
cumplen el tablero indicará la falla a corregir
- (17) Cuando la presión de la caldera alcance 100 psig. abrir la
válvula de vapor en el domo superior y que va a pasar al
calentador de petróleo; antes de esto, abrir purgas de vapor.
- (18) En la planta de calentamiento de fuel-oil No.6, ver que las
purgas de vapor estén abiertas
- (19) Conectar la bomba del calentador de petróleo (Bomba No.1 ó 2)
- (20) Abrir la válvula de vapor (hacia el calentador)
- (21) Accionar el regulador de temperatura (Controlador electrónico)
- (22) Verificar que la temperatura del petróleo esté circulando en
el sistema del quemador entre (200-230 °F)
- (23) Abrir las válvulas de petróleo en el quemador
- (24) Seleccionar el botón No.6, en el tablero
- (25) Abrir la válvula de vapor de atomización
- (26) Poner el tiro forzado en modo manual y fijar la abertura de
los deflectores del ventilador en un 75%
- (27) Poner en modo manual el tiro inducido y fijarlo entre un 20 a
27.5% de abertura de los dampers

Ahora, si inicialmente la caldera está quemando bagazo, no arrancaríamos con diesel, sino con fuel-oil No.6, y, efectuaríamos los siguientes pasos:

- (a) energizar tablero de control del o los quemadores,
- (b) accionar el regulador modulador 53MC5000,
- (c) presionar el botón de selección de fuel-oil No.6,
- (d) conectar la bomba del calentador de petróleo,
- (e) abrir la válvula de vapor (hacia el calentador)
- (f) accionar el regulador de temperatura (Controlador electrónico)
- (g) instalar la lanza del quemador en su posición,
- (h) abrir las compuertas del aire del quemador,
- (i) abrir las válvulas de los cilindros del gas de ignición (Gas Propano)
- (j) abrir las válvulas del gas de ignición en el quemador,
- (k) abrir las válvulas del combustible en el quemador,
- (l) abrir la válvula de vapor de atomización,
- (m) encender el ventilador del quemador (en automático)
- (n) encender el quemador,
- (ñ) poner el tiro forzado en modo manual y fijar la abertura de los deflectores del ventilador en un 75%,
- (o) poner el modo manual el tiro inducido y fijarlo entre un 20 a 27.5% de abertura de los dampers,
- (p) parar 1 o 2 tambores de alimentación de bagazo, dependiendo de la presión de vapor reinante en ese momento,

(q) logrando una estabilización de la presión de vapor con los quemadores, parar el restante o restantes tambores de alimentación.

(r) cerrar las compuertas de los chifles.

(s) parar el ventilador del OVER-FIRE

6.9 PRECAUSIONES Y PROTECCIONES

Al hablar de las precauciones y protecciones se enfocará esta discusión al sistema de protecciones del quemador y no a las protecciones ya comúnmente conocidas de la caldera, que son las válvulas de seguridad y la alarma de bajo y alto nivel de agua en el domo superior.

Disparo protecciones caldera	Alta presión del combustible
Válvulas de combustible abiertas	Baja presión del combustible
Falla del ventilador del quemador	Baja presión de vapor de atomizado
Bajo flujo de aire de combustión	Bajo flujo de vapor de atomizado
	Alta temperatura del combustible
Falta de llama	Baja temperatura del combustible

Reconocer alarma

Restablecer alarma

Prueba alarma

Figura 6.1

Para ilustrar esta sección, se muestra en la figura 6.1, en la cual se representan los diferentes tipos de falla por las cuales el quemador se dispara para su protección y, además, se ilumina la causa del disparo para tomar las medidas de corrección, necesarias.

Por las observaciones que se han efectuado, se han podido determinar las causas más frecuentes por las cuales el quemador se dispara o sale de servicio y que a continuación se listan de acuerdo a la frecuencia de ocurrencia observada: (1) falta de llama del quemador, (2) baja presión del combustible, (3) baja temperatura del combustible, (4) alta temperatura del combustible, y (5) falla del ventilador del quemador.

6.10 OPERACION DE LA CALDERA

La operación, tanto manual como automática de una caldera acuotubular que quema bagazo, se describió ampliamente en el capítulo 1. por lo que en esta sección se hará una descripción breve de los diferentes problemas que se pueden dar en la operación de este tipo de caldera, sus consecuencias y la forma de cómo poderlos resolver.

Por la particularidad de la caldera, es decir, que opera tanto con bagazo como con fuel-oil No.2 ó No.6 se hará también una discusión de los diversos problemas que se pueden suscitar quemando fuel-oil y se hará, también, una descripción de la secuencia de encendido de los quemadores de aceite-combustible.

6.10.1 BAJO NIVEL DE AGUA

Uno de los problemas frecuentes en la operación de una caldera es el bajo nivel de agua, que se puede dar, independientemente del tipo de combustible que consuma la caldera.

La consecuencia de este tipo de falla recae en un excesivo calentamiento de los tubos de agua, llegando, inclusive, a quemarlos. Para evitar esto, existe una alarma que denuncia el bajo nivel de agua, la cual el operador escucha y le indica que tendrá que abrir, más la válvula de alimentación de agua ó, en el caso de un sistema automatizado, tendrá que abrir el "by-pass", hasta recobrar el nivel adecuado y en el caso de la alimentación automática se cerrará nuevamente el "by-pass".

6.10.2 ATORACION DE CHIFLES

Otro de los problemas que se dan con cierta frecuencia es la atoración de chifles, problema que sucede sólo en calderas que consumen bagazo. En particular, en el horno distribuidor.

El efecto de este problema es un decaimiento de la presión de vapor y, consecuentemente de la temperatura del vapor, ya que al estar atorado un chifle no hay circulación de bagazo, situación que conlleva a parar el tambor alimentador y, por lo tanto, se para la alimentación de bagazo. La forma de solucionar este problema es cerrar el forzado por un momento mientras uno de los operarios se encarga de desatorar el chifle, al hacerlo, nuevamente se abre el forzado.

6.10.3 EMBOTELLAMIENTO DE LA CALDERA

Esto en realidad no es un problema, sino, más bien, un procedimiento relativamente frecuente dentro de la operación de las calderas y que se puede dar indistintamente si se está quemando bagazo o fuel-oil. Por diversas razones a veces se necesita un consumo de vapor inferior al acostumbrado y, entonces, para ahorrar combustible, energía eléctrica y agua se saca de servicio una de las calderas que prestan servicio a la planta o fábrica, teniendo en cuenta que en cualquier momento dado se necesite de sus servicios, entonces, se necesita guardar la presión dentro de la caldera.

Si la caldera, originalmente, está quemando bagazo, el procedimiento a seguir es el siguiente: (1) parar el motor del ventilador del tiro forzado, (2) cerrar los deflectores del ventilador del forzado, (3) parar el motor del over-fire, (4) parar el motor del ventilador del tiro inducido, (5) cerrar los dampers del inducido, (6) parar la alimentación de bagazo, (7) abrir la válvula del super-heater (mientras halla fuego en el hogar) y (8) cerrar la alimentación de agua.

Cuando embotellamos la caldera estando quemando fuel-oil No.6, entonces, los pasos a seguir son los siguientes: (1) sacar de servicio los quemadores, (2) cerrar forzado (parar motor del ventilador), (3) cerrar inducido (parar motor del ventilador), (4) abrir válvula del super-heater hasta que el turbo ya no consuma vapor (si es que está en circuito cerrado con el turbo) y,

posteriormente, cerrar la válvula general y (5) cerrar la alimentación de agua.

El objetivo de abrir la válvula del super-heater es lograr una circulación del vapor dentro de la tubería de éste y evitar con ello que se pueda quemar la tubería.

6.10.4 GUARDA FUEGO

Una de las prácticas que no son muy frecuentes, pero, que, sin embargo, se suelen dar, es el guarda fuego, cuyo propósito es evitar las grietas y la humedad; práctica que se da siempre que se levanta presión en una caldera después de haber estado parada un cierto tiempo, de tal forma, que está fría y la presión es cero o muy baja.

El procedimiento para realizarlo es el siguiente:

- inicialmente la calderá esta parada:

- (1) se introducen fardos de bagazo y se queman (se hace en forma manual)
- (2) se espera a que caliente la caldera,
- (3) inicialmente se tienen abiertos los dampers del inducido, pero, el motor de éste está parado. Obteniéndose de esta forma, tiro natural,
- (4) se mantiene el nivel de agua a la mitad,
- (5) se arranca el motor del tiro forzado,
- (6) se abren los deflectores del ventilador del tiro forzado,
- (7) se arranca el over-fire,
- (8) se cierran los dampers del inducido,

- (9) se arranca el motor del ventilador del tiro inducido y se espera a que adquiera las revoluciones de operación,
- (10) se abren los dampers del inducido,
- (11) se acciona la alimentación de bagazo,
- (12) se mantiene la alimentación de agua abierta.

Cuando se embotella la caldera, dentro del mismo procedimiento está implícito, también, la manera de mantener un guarda fuego.

6.10.5 OPERACION CON LOS QUEMADORES

En la operación de los quemadores se distinguen dos etapas que son: (a) secuencia de encendido y (b) procedimiento de corrección de fallas más frecuentes en los quemadores.

Secuencia de encendido.

Para ilustrar este procedimiento se muestra la figura 6.2 que representa parte del tablero de control del quemador (la unión de las Figs. 6.1 y el 6.2 forman el tablero de control del quemador) y en el cual por medio de unas luces se exhibe la secuencia de encendido y que a continuación se explica.

Una vez cumplidas las condiciones de arranque del quemador, entonces, se enciende una luz blanca <Paso 1> (indicadora de condiciones cumplidas) y empieza el proceso de purga, es decir, evacuación de gases volátiles del hogar y del quemador (se enciende luz amarilla) <paso 2> utilizando para esta fase un tiempo estimado

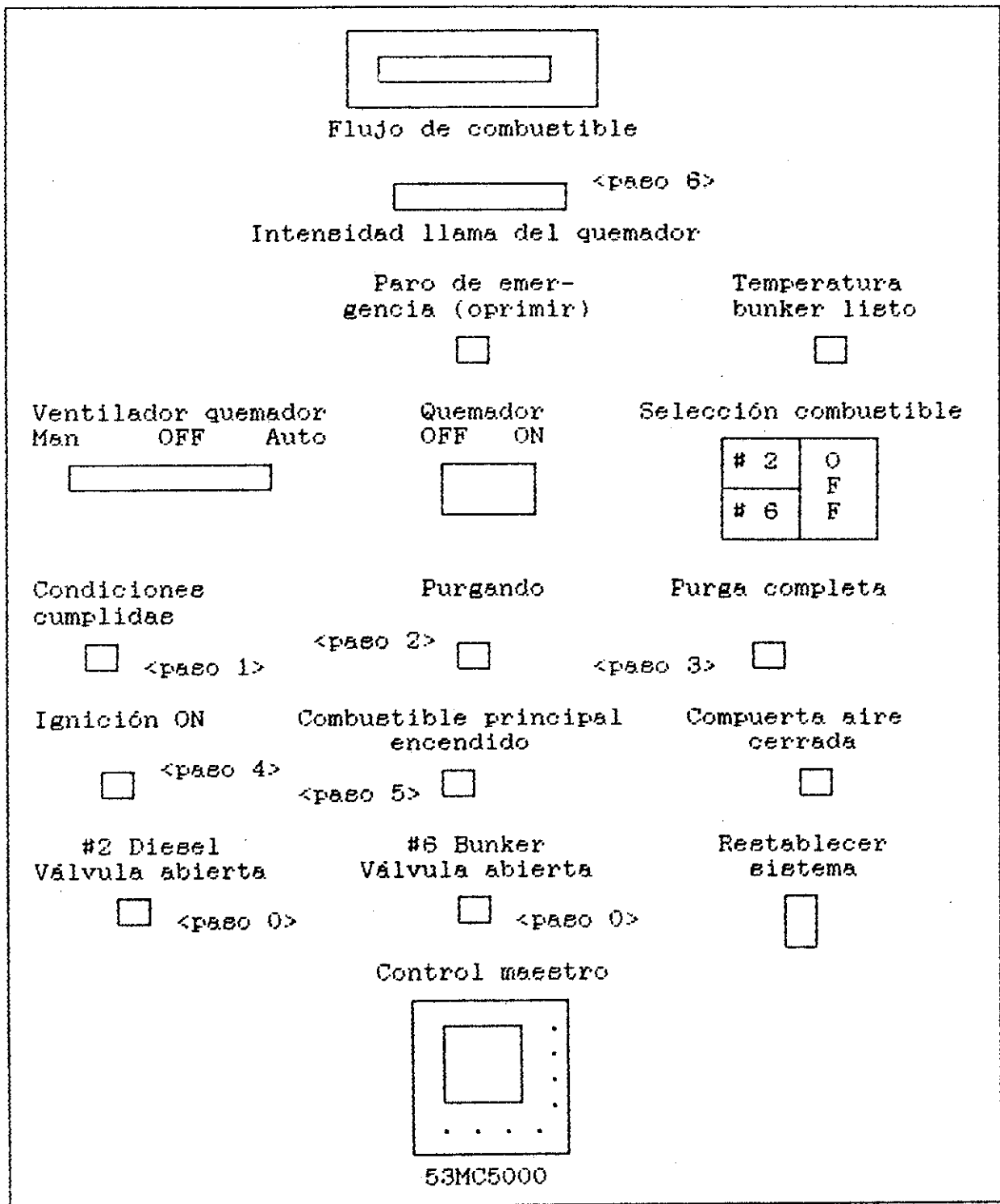


Figura 6.2

de 2 minutos, a continuación se enciende una luz verde <paso 3> (indicadora de que la purga se ha completado) aproximadamente, 5 segundos después enciende la luz azul <paso 4> (indicadora de que la ignición ya empezó), seguidamente, una luz roja <paso 5> (indicando que el combustible principal está encendido), inmediatamente, el registrador de intensidad de llama la detecta y empieza a indicar la intensidad de la flama <paso 6> Para todo esto, una luz verde <paso 0> debe estar encendida desde el inicio (indicando que la válvula del combustible principal está abierta) esta luz enciende al presionar el botón de selección del combustible.

Esta secuencia queda ilustrada a través de los pasos que se muestran en la figura 6.2.

(b) Procedimiento de corrección de fallas más frecuentes en los quemadores.

Cuando se habla del procedimiento de corrección de fallas de los quemadores se refiere al procedimiento de re-establecer la operación del quemador. Este procedimiento depende del tipo de falla que halla que corregir; a continuación se describirán los pasos a seguir en cada procedimiento en las fallas más comunes.

Falta de llama en el quemador.

Cuando existe una falla en el quemador, cual fuere, se enciende una luz amarilla y suena una chicharra como señal indicadora de la falla, esto es independiente del tablero de

control, en el cual se iluminará la falla específica que está ocurriendo.

En el caso de la falla de falta de llama del quemador, los pasos a seguir son los siguientes: (1) Reconocer la alarma (tablero de control) y (2) restablecer el sistema (tablero de control, con esto se reiniciará, nuevamente, la secuencia de encendido descrita anteriormente.

Baja presión del combustible.

Se iluminará la falla "baja presión del combustible" para lo cual se procede a reconocer la alarma y a restablecer el sistema y, nuevamente, se iniciará la secuencia de encendido. Si volviera a dispararse, entonces, se procede nuevamente a reconocer la alarma y a verificar la falla de baja presión directamente en el sistema de combustible; es decir, verificar el funcionamiento de la bomba o algún problema eléctrico en el motor de la bomba, si esto fuera así, se procede a conectar la bomba auxiliar para que levante presión y, entonces, se restablece el sistema (tablero de control, pulsar botón "restablecer sistema").

Baja temperatura del combustible.

Si la falla fuera una baja de temperatura, el procedimiento común a seguir es el siguiente: se reconoce la alarma y se mantiene recirculando el petróleo hasta que alcance la temperatura adecuada y, entonces, se procede a restablecer el sistema o se podría

proceder también a subir un poco el Set-point de la temperatura del combustible, en el controlador electrónico.

Alta temperatura del combustible.

Cuando la falla es por alta temperatura, entonces, se procede a reconocer la alarma y a restablecer el sistema; si la falla persiste, entonces, se vuelve a reconocer la alarma y se regula manualmente el flujo de vapor al calentador de petróleo, de tal forma, que adquiera la temperatura de operación adecuada y así se vuelve a restablecer el sistema y se retorna a la regulación automática.

Falla del ventilador del quemador.

Esta falla no es muy común aunque algunas veces se da, el procedimiento acostumbrado es el siguiente: reconocer la alarma y restablecer el sistema. Si la falla continua, se reconoce nuevamente la alarma y se inspecciona el funcionamiento del actuador de los dampers de los ventiladores del forzado de los quemadores ó el encendido del motor del ventilador.

Conclusiones

- 1.- En la actualidad, las calderas acuotubulares de vapor que utilizan bagazo como combustible, vienen diseñadas para adaptarlas para quemar carbón pulverizado, fuel-oil o gas.
- 2.- Las diferencias más notables entre las calderas de bagazo y de aceite-combustible se encuentran en: la alimentación de combustible, la distribución de aire para la combustión, la parrilla, la producción de gases y la eficiencia de combustión.
- 3.- El % del exceso de aire para calderas acuotubulares de vapor y de horno distribuidor quemando bagazo, debe estar cercano al 30%, mientras que quemando aceite-combustible éste debe reducirse alrededor de un 10-20%.
- 4.- En calderas acuotubulares que utilicen parrilla, esta debe protegerse de la flama de los quemadores bien sea haciendo circular una corriente de aire o a través de una capa de ceniza o tabique refractario de, aproximadamente, 13 cm (temporalmente).

- 5.- La dirección de la flama de los quemadores debe ser dirigida, de tal forma, que la parrilla absorba el mínimo de calor producido por ésta.

- 6.- La ubicación de los quemadores debe satisfacer dos aspectos importantes que son: dejar espacio suficiente para que la flama de los quemadores se desarrolle libremente y no dañar la parrilla con el calor producido por la flama.

Recomendaciones

- 1.- La información de esta tesis proporciona una base, relativamente general, para formar un criterio sobre los aspectos generales en la adaptación de un generador de vapor acuotubular que utiliza bagazo, para que consuma bagazo y/o aceite-combustible.
- 2.- Los lineamientos de operación y funcionamiento que se dan en este documento son procedimientos muy particulares y, de ninguna manera, se pretende generalizarlos como un procedimiento que debe ser seguido, estrictamente, de esa manera. Sólo pretenden servir como una guía e información que pueda ser utilizada.
- 3.- Por las observaciones efectuadas, la combustión simultánea de bagazo y aceite-combustible no es recomendable, pues, la pérdida de combustible en forma de bagazo sin quemar que sale de los ceniceros es apreciable, llegando a constituir gran pérdida de la eficiencia del generador de vapor acuotubular.
- 4.- Instruir a los operarios de los quemadores y de la caldera en el funcionamiento y operación de los tableros de control de los quemadores.

Referencias

- 1.- BATLLE GAYAN, José. Energía mediante vapor, aire o gas. 5a. Ed. España: Ed. Reverté, S.A. 1,982. Pp. 142-145; 152, 169, 180-181.
- 2.- DE LA CRUZ MUÑOZ, Jorge. Operación de calderas en la planta de fuerza del ingenio la unión. (Tesis: Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad de San Carlos). Guatemala, 1,994. Pp. 39-44.
- 3.- ESCOBEDO ORTEGA, Aaron. Calderas. Tipos, características y sus funciones. México: Ed. Continental, S.A. de C.V. 1,982. 716 p.
- 4.- GAFFERT, G. A. Centrales de vapor. Ed. España: Ed. Reverté, S.A. 1,973. Pp. 191-195.
- 5.- PLAUCHU L, Alberto. et. al. Optimización de calderas. Operación y mantenimiento. s.l.i. s.p.i. 1,994.
- 6.- RUIZ COUTINO, Carlos. Manual para ingenieros azucareros. 4a. Ed. México: Ed. Continental, S.A. 1,976. Pp. 603-693.
- 7.- SANZ CONTIN, Agustín. Biblioteca del ingeniero químico. 5a. Ed. México: Ed. McGraw-Hill, Inc. U.S.A. 1,991. Pp. 9-3 a 9-43.
- 8.- VILLACORTA IBARRA, Guillermo. Automatización de calderas en ingenios azucareros. (Tesis: Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad de San Carlos). Guatemala 1,979. Pp. 65-115.
- 9.- WOODRUFF, Everett Bowman. Steam-plant Operation. 4a. Ed. U.S.A.: Ed. McGraw, Inc. 1,977. Pp. 129 y 171.

Bibliografía

- 1.- CASTRO NAVARRETE, Felipe. et. al. Manual del ingeniero mecánico. 8a. Ed. Colombia: Ed. McGraw-Hill, Inc. U.S.A. 1,990.
- 2.- ESCOBEDO ORTEGA, Aaron. Calderas. Tipos, características y sus funciones. México: Ed. Continental, S.A. de C.V. 1,982.
- 3.- RUIZ COUTINO, Carlos. Manual para ingenieros azucareros. 4a. Ed. México: Ed. Continental, S.A. 1,976.
- 4.- SANZ CONTIN, Agustín. Biblioteca del ingeniero químico. 5a. Ed. México: Ed. McGraw-Hill, Inc. U.S.A. 1,991.
- 5.- VILLACORTA IBARRA, Guillermo. Automatización de calderas en ingenios azucareros. (Tesis: Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad de San Carlos). Guatemala 1,979.
- 6.- WOODRUFF, Everett Bowman. Steam-plant Operation. 4a. Ed. U.S.A.: Ed. McGraw, Inc. 1,977.

Anexo

En esta primera fase presentamos una serie de cuadros que representan el comportamiento en el tiempo de las diferentes variables involucradas en la operación y funcionamiento de la caldera en observación del Ingenio Concepción.

Se puede dividir éste apartado en tres partes diferentes: la primera de ellas describe los diferentes valores adoptados por las diversas variables que se presentan cuando en la caldera se realiza una combustión con bagazo, la segunda parte representa el comportamiento de las variables cuando la caldera está quemando aceite-combustible No.6. y, la tercera y última parte, se refiere y representa una combinación de las variables involucradas tanto cuando se realiza una combustión con bagazo, como cuando se realiza con fuel-oil No.6.

En la segunda fase de esta sección se realiza una breve referencia del lugar donde fue realizada esta investigación y una descripción general de diversos parámetros en la operación de la industria azucarera y se dan a conocer las capacidades y características de operación y diseño de los generadores de vapor acuotubulares utilizados en el Ingenio Concepción S.A., con el propósito de lograr una mayor comprensión y de ofrecer una mejor idea de este tipo de industria.

OPERACION CON BAGAZO

DESCRIPCION	LECTURAS EN EL TIEMPO							
	1	2	3	4	5	6	7	8
PRESSION DE VAPOR (PSI)	415.31	423.59	417.54	418.42	419.71	417.38	415.78	419.76
TEMPERATURA DE VAPOR (°F)	671.30	719.50	694.03	770.18	767.38	777.57	782.09	821.22
TIPO FORZADO (%)	41.44	13.04	26.93	32.23	21.89	47.39	35.35	24.35
ALIMENTACION DE BAGAZO (%)	29.02	18.00	23.5	24.9	21.2	30.05	26.3	21.80
PRESSION HOGAR.(PLG.COL.AGUA)	-0.05	-0.09	-0.13	-0.10	-0.11	-0.11	-0.08	-0.11
TIPO INDUCIDO (%)	29.75	24.57	23.49	27.26	24.83	30.69	27.13	29.86
FLUJO DE VAPOR (KLE/HR.)	44.32	41.70	49.54	59.56	68.11	61.44	59.17	63.03
NIVEL DEL DOMO (PLG.)	18.92	18.84	19.18	18.89	19.23	19.28	18.96	18.74
FLUJO DE AGUA (GPM)	100.89	72.05	79.25	132.66	122.13	117.79	126	206.86
PRESSION AGUA INYECCION.(PSI)	700-720	690-720	690-720	700	700-710	700-720	700	690-710
COMPUERTA FORZ. BAGAZO (%)	100	100	100	100	100	100	100	100
TEMP. GASES CHIMENEA (°C)	154-163	148-158	147-155	142-151	155-163	155-161	155-167	165-172
TEMP. AGUA INVEC. (°C)	106-116	109-117	109-117	118-125	124-128	122-130	122-126	118-124
NUM. DE TANQUES TRABAJANDO	2	2	2	3	3	3	3	3

OPERACION CON BAGAZO

DESCRIPCION	LECTURAS EN EL TIEMPO														
	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
PRESION DE VAPOR (PSI)	416.87	416.80	414.80	416.35	417.91	416.53	421.92	416.98							
TEMPERATURA DE VAPOR (OF)	802.34	798.91	723.20	748.19	738.08	734.53	728.31	770.47							
TIRO FORZADO (%)	33.26	20.10	27.93	40.36	39.02	63.28	60.80	66.32							
ALIMENTACION DE BAGAZO (%)	25.5	22.3	23.10	27.9	27.10	36.6	37.5								
PRESION HOGAR(PLG.CDL.AGUA)	-0.11	-0.10	-0.09	-0.08	-0.14	-0.03	-0.07	-0.08							
TIRO INDUCIDO (%)	26.17	20.10	18.96	28.57	27.77	37.32	43.42	35.45							
FLUJO DE VAPOR (KLB/HR)	65.08	84	36.29	67.27	73.57	75.36	76.22	83.28							
NIVEL DEL DORSO (PLG.)	18.91	18.83	18.78	19.20	18.81	19.54	19.11	19.89							
FLUJO DE AGUA (GPM)	116.07	128.09	75.86	123.67	178.28	224.21	221.06	83.23							
PRESION AGUA INYECCION(PSI)	700-710	700	700-740	700	700	700-720	700-720	800-880							
COMPUERTA FORZ. BAGAZO (%)	100	100	100	100	100	100	100	100							
TEMP. GASES CHIMENEA (OC)	167-166	167-166	128-133	169-166	162-168	161-171	166-172	166-172							
TEMP. AGUA INYEC. (OC)	122-128	98-107	94-98	122-132	124-131	124-131	122-130	126-133							
NUM. DE TAMBORES TRABAJANDO	3	3	2	3	2	2	3	3							

OPERACION CON BAGAZO

DESCRIPCION	LECTURAS EN EL TIEMPO											
	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
FRESION DE VAPOR (PSI)	423.00	414.80	411.84	414.80	417.91	423.34	417.10	416.80				
TEMPERATURA DE VAPOR (°F)	753.41	687.58	746.86	807.31	781.14	784.89	782.61	787.80				
TIRO FORZADO (%)	29.20	56.06	54.06	52.72	40.24	23.15	27.0	27.39				
ALIMENTACION DE BAGAZO (%)	23.90	33.50	33.10	32.50	27.80	21.50	22.80	23.40				
FRESION HOGAR (PLG.COL.AGUA)	-0.14	-0.06	-0.08	-0.10	-0.07	-0.14	-0.10	-0.10				
TIRO INDUCIDO (%)	29.68	31.03	26.48	29.38	26.49	23.83	24.55	24.68				
FLUJO DE VAPOR (KLS/HR)	75.02	48.79	41.66	61.98	60.91	58.59	59.09	61.10				
NIVEL DEL DOMO (PLG.)	19.55	18.89	18.77	19.20	19.10	18.95	18.04	19.12				
FLUJO DE AGUA (GPM)	111.24	92.58	106.43	126.59	124.63	126.03	128.45	117.45				
FRESION AGUA INYECCION (PSI)	700	700-720	700-720	700-720	700	700	700-720	700-710				
COMPUNTA FORZ. BAGAZO (%)	100	100	100	100	100	100	100	100				
TEMP. GASES CHIMENEA (°C)	157-182	138-146	137-144	132-148	139-145	145-152	144-151	151-160				
TEMP. AGUA INYEC. (°C)	118-123	108-113	99-106	118-120	116-122	118-126	118-124	99-104				
NUM. DE TAMBORES TRABAJANDO	3	2	2	3	3	3	3	3				

OPERACION CON ACEITE-COMBUSTIBLE No. 6

DESCRIPCION	LECTURAS EN EL TIEMPO							
	1	2	3	4	5	6	7	8
FRESION DE VAPOR (PSI)	424.63	423.55	424.63	424.63	424.55	424.37	423.63	424.37
TEMPERATURA DE VAPOR (OF)	552.71	552.64	553.55	553.55	553.75	553.95	553.71	553.13
TIRO FORZADO (%)	75	75	75	75	75	75	75	75
FRESION HOGAR (PLG. COL. AGUA)	0.02	0.03	0.03	0.02	0.24	-0.15	-0.17	-0.15
TIRO INDUCIDO (%)	25	25	25	25	25	25	25	25
FLUJO DE VAPOR (KLE/HR)	120.80	118.73	120.12	121.03	122.77	123.09	123.01	123.14
NIVEL DEL DOMO (PLG.)	19.03	18.85	18.87	19.02	18.88	18.97	18.82	18.98
FLUJO DE AGUA (GPM)	252.07	270.70	267.75	250.48	275.14	268.32	275.57	271.97
FRESION AGUA INYECCION (PSI)	575	590	590	590-590	570	580	570	575
COMPUERTA FORZ. BAGAZO (%)	25	25	25	25	25	25	25	25
FRESION COMBUSTIBLE (PSI)	52/100	55/100	53/102	54/102	55/102	54/103	52/104	53/103
TEMPERATURA COMBUSTIBLE (OF)	200/210	202/215	200/212	200/212	210/220	208/220	210/222	210/220
COMPUERTA FORZ. QUEMADOR (%)	35.5/35	35.0/35	35/35	35/35	35/40	37/38	35/40	37/40
FLUJO DE COMBUSTIBLE (GPM)	10/12	10/12	10/12	10/12	10/12	10/12	10/12	10/12
FRES. VAPOR/AIREATOMIZ. (PSI)	70/80	70/80	70/75	72/80	72/80	72/78	72/80	72/75
RELACION AIRE/COMB. (RA)	1.012/1.028	1.030/1.030	----- (QUEMADOR 1/QUEMADOR 2) -----					
TEMP. GASES CHIMENEA (OC)	140	170	171	150	155	140	135	150
TEMP. AGUA INYECCION (OC)	107	107	107	107	107	107	107	107
FORCENTAJE DE OXIGENO	7.07	7.28	7.37	7.15	6.13	6.98	6.03	6.38
PPM. DE MONOXIDO DE CARBONO	358.5	355.2	379.75	383.05	522.55	375.58	379.75	370.12

OPERACION CON ACEITE-COMBUSTIBLE No. 6

DESCRIPCION	LECTURAS EN EL TIEMPO					
	9	10	11	12		
PRESION DE VAPOR (PSI)	424.63	424.63	424.63	424.63		
TEMPERATURA DE VAPOR (OF)	699.62	640.87	642.29	644.72		
TIRO FORZADO (%)	75	75	75	75		
PRESION HOGAR(PLG.COL.AGUA)	-0.19	-0.16	-0.15	-0.15		
TIRO INDUCIDO (%)	20	20	20	20		
FLUJO DE VAPOR (KLB/HR)	123.12	122.90	123.0	123.01		
NIVEL DEL DOMO (PLG.)	19.02	18.93	18.80	19.07		
FLUJO DE AGUA (GPM)	271.43	275.44	278.84	266.10		
PRESION AGUA INYECCION(PSI)	590	590	590	570		
COMPUERTA FORZ. BAGAJO (%)	25	25	25	25		
PRESION COMBUSTIBLE (PSI)	83/103	84/104	80/104	82/104		
TEMPERATURA COMBUSTIBLE(OF)	206/216	212/227	214/226	212/226		
COMPUERTA FORZ. QUEMADOR(%)	37/40	37/41	38/40	37/41		
FLUJO DE COMBUSTIBLE (GPM)	10/12	10/12	10/12	10/12		
PRES.VAPOR/AIREATOMIZ.(PSI)	70/80	72/79	70/80	72/80		
RELACION AIRE/COMB. (RA)	1.030/1.030 -----(QUEMADOR 1/QUEMADOR 2)-----					
TEMP. GASES CHIMENEA (OC)	160	160	160	160		
TEMP. AGUA INYECCION (OC)	107	107	107	107		
FORCENTAJE DE OXIGENO	6.24	6.32	6.59	6.80		
PEM. DE MONOXIDO DE CARBONO	373.29	373.20	363.65	365.92		

OPERACION CON BAGAZO Y ACEITE-COMBUSTIBLE No.6

DESCRIPCION	LECTURAS EN EL TIEMPO								
	1	2	3	4	5	6	7	8	
PRESION DE VAPOR (PSI)	410.14	414.80	408.85	403.67	419.88	411.43	407.81	427.73	
TEMPERATURA DE VAPOR (OF)	741.54	731.05	724.40	728.25	737.32	728.14	742.23	750.74	
TIRO FORZADO (%)	36.27	36.48	34.58	31.80	35.55	36.78	37.04	28.81	
ALIMENTACION DE BAGAZO (%)	28.2	23.2	47.9	47.2	48.2	50.0	38.0	23.5	
PRESION HOGAR(PLJ.COL.AGUA)	-0.11	-0.03	0.13	0.21	-0.08	0.00	-0.02	-0.32	
TIRO INDUCIDO (%)	20.05	45.38	42.86	37.87	47.27	45.18	31.88	28.57	
FLUJO DE VAPOR (KLB/HR)	61.55	63.16	62.73	63.83	64.89	64.42	63.14	60.82	
NIVEL DEL DOMO (PLJ.)	19.22	18.88	19.87	19.87	18.93	18.90	19.05	18.77	
FLUJO DE AGUA (GPM)	180.68	134.30	88.85	80.94	83.48	111.83	182.94	136.03	
PRESION AGUA INYECCION(PSI)	700-710	870-890	880-700		890-790	890-710	700-710	890-710	
COMPUESTA FORZ. BAGAZO (%)	100	100	100	100	100	100	100	100	
PRESION COMBUSTIBLE (PSI)	94	93	94	94	94	93	96	93	
TEMPERATURA COMBUSTIBLE(OF)	214	213	214	208	213	213	209	209	
COMPUESTA FORZ. QUEMADOR(%)	52.73	51.05	52.73	51.05	51.05	51.05	51.05	51.05	
FLUJO DE COMBUSTIBLE (GPM)	6.36	6.31	6.36	6.44	6.36	6.42	6.42	6.43	
PRES.VAPOR/AIREATOMIZ.(PSI)	91	90	92	92	91	92	92	90	
RELACION AIRE/COMB. (RA)	1.932	(VALOR MANTENIDO A LO LARGO DE LA OPERACION)							
INTENSIDAD DE FLAMA (MA)	20-22.5	(INTENSIDAD DE LA FLAMA. CONSTANTE DURANTE LA OPERACION)							
CARGA TURBOGENERADOR (KW)	4.825	5.384		5.232		5.276	4.730		

OPERACION CON BAGAZO Y ACEITE-COMBUSTIBLE No. 6

DESCRIPCION	LECTURAS EN EL TIEMPO														
	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
PRESION DE VAPOR (PSI)	412.71	429.80	428.77	418.60	407.64	404.71	416.87	426.92							
TEMPERATURA DE VAPOR (°F)	731.73	783.63	764.08	728.62	733.47	731.05	736.27	756.57							
TIRO FORZADO (%)	97.33	24.75	10.0	92.33	63.49	67.08	16.01	16.17							
ALIMENTACION DE BAGAZO (%)	49.10	22.3	16.7	47.1	32.8	37.8	18.9	19.0							
PRESION HOGAR(PLG.COOL.AGUA)	-0.02	-0.31	-0.28	-0.01	-0.01	0.07	-0.15	-0.24							
TIRO INDUCIDO (%)	44.72	27.09	21.25	44.67	23.16	26.89	19.10	24.29							
FLUJO DE VAPOR (KLB/HR)	63.70	63.39	57.65	61.34	68.67	62.61	69.27	67.99							
NIVEL DEL DOMO (PLG.)	19.19	18.45	18.55	19.13	19.0	19.06	18.65	18.82							
FLUJO DE AGUA (GPM)	107.52	137.39	152.67	100.29	139.39	166.48	176.13	141.99							
PRESION AGUA INYECCION(PSI)	690-690	690-690	690-700	690-710	700-720	700-720	700-720	690-710							
COMPUERTA FORZ. BAGAZO (%)	100	100	100	100	100	100	100	100							
PRESION COMBUSTIBLE (PSI)	94	94	94	93	93	94	94	95							
TEMPERATURA COMBUSTIBLE(°F)	206	204	212	211	209	206	204	203							
COMPUERTA FORZ. QUEMADOR(%)	61.05	----- (VALOR CONSTANTE DURANTE LA OPERACION) -----													
FLUJO DE COMBUSTIBLE (GPM)	6.46	6.49	6.46	6.43	6.44	6.43	6.50	6.48							
PRES. VAPOR/AIREATOMIZ.(PSI)	91	90	91	92	91	91	90	91							
RELACION AIRE/COMB. (RA)	1.032	----- (RELACION INVARIABLE DURANTE EL FUNCIONAMIENTO) -----													
INTENSIDAD DE FLAMA (MA)	20-22.5	(INTENSIDAD DE LA FLAMA, CONSTANTE DURANTE LA OPERACION)													
CARGA DEL TURBOGENERADOR			6.423			6.039	6.499								6.000

OPERACION CON BAGAZO Y ACEITE-COMBUSTIBLE No. 6

DESCRIPCION	LECTURAS EN EL TIEMPO													
	17	18	19	20	21	22	23	24						
PRESION DE VAPOR (PSI)	410.92	432.15	417.84	415.84	416.09	419.20	408.85	433.44						
TEMPERATURA DE VAPOR (OF)	743.85	760.81	724.40	733.18	747.82	746.45	739.80	747.82						
TIRO FORZADO (%)	54.31	28.78	72.91	99.52	18.29	15.13	98.34	47.94						
ALIMENTACION DE BAGAZO (%)	33.2	25.1	39.9	49.9	19.8	18.6	38.3	39.5						
PRESION HOGAR(PLG.COL.AGUA)	-0.08	-0.31	-0.05	-0.05	-0.15	-0.14	0.03	-0.23						
TIRO INDUCIDO (%)	28.49	33.32	40.90	48.22	22.42	13.99	32.84	42.12						
FLUJO DE VAPOR (KLB/HR)	59.83	61.06	61.53	84.52	69.74	81.0	59.88	86.64						
NIVEL DEL DOMO (PLG.)	19.33	18.59	19.35	19.28	18.78	19.38	19.05	18.82						
FLUJO DE AGUA (GPM)	137.87	108.15	91.89	88.08	109.42	187.92	120.53	114.55						
PRESION AGUA INYECCION(PBI)	890-700	870-890	870-890	890-700	700-720	890-700	700-710	840-860						
COMPUESTA FORZ. BAGAZO (%)	100	100	100	100	100	100	100	100						
PRESION COMBUSTIBLE (PSI)	90	94	94	94	95	95	93	95						
TEMPERATURA COMBUSTIBLE(OF)	210	214	217	218	217	216	218	219						
COMPUESTA FORZ. QUEMADOR(X)	51.05	----- (VALOR CONSTANTE DURANTE LA OPERACION) -----												
FLUJO DE COMBUSTIBLE (GPM)	6.49	6.40	6.36	6.41	6.44	6.40	6.38	6.31						
PRES. VAPOR/AIREATOMIZ.(PSI)	91	91	92	91	91	91	91	91						
RELACION AIRE/COMB. (RA)	1.932	----- (RELACION INVARIABLE DURANTE EL FUNCIONAMIENTO) -----												
INTENSIDAD DE FLAMA (MA)	20-22.5	(INTENSIDAD DE LA FLAMA, CONSTANTE DURANTE LA OPERACION)												
CARGA DEL TURBOGENERADOR		4.860	4.895		4.954		5.112							

OPERACION CON BAGAZO Y ACEITE-COMBUSTIBLE No.6

DESCRIPCION	LECTURAS EN EL TIEMPO							
	25	26	27	28				
PRESION DE VAPOR (PSI)	423.59	416.87	421.52	426.19				
TEMPERATURA DE VAPOR (OF)	769.98	729.31	748.50	742.23				
TIRO FORZADO (%)	45.78	83.82	72.94	79.78				
ALIMENTACION DE BAGAZO (%)	29.8	44	39.9	42.3				
PRESION HOGAR(PLG.COOL.AGUA)	-0.18	-0.04	-0.14	-0.08				
TIRO INDUCIDO (%)	38.45	44.38	45.94	49.22				
FLUJO DE VAPOR (KLB/HR)	84.93	85.58	88.84	85.91				
NIVEL DEL DOMO (PLG.)	19.08	19.29	18.97	18.54				
FLUJO DE AGUA (GPM)	141.93	107.01	142.85	98.17				
PRESION AGUA INYECCION(PSI)	880-700	880-700	880-880	880-880				
COMPUERTA FORZ. BAGAZO (%)	100	100	100	100				
PRESION COMBUSTIBLE (PSI)	94	93	92	93				
TEMPERATURA COMBUSTIBLE(OF)	220	220	219	218				
COMPUERTA FORZ. QUEMADOR(%)	51.05	51.05	51.05	51.05				
FLUJO DE COMBUSTIBLE (GPM)	6.31	6.40	6.32	6.28				
PRES.VAPOR/AIREATOMIZ.(PSI)	89	90	90	90				
RELACION AIRE/COMB. (RA)	1.032	1.032	1.032	1.032				
INTENSIDAD DE FLAMA (MA)	20-22.5	20-22.5	20-22.5	20-22.5				
CARGA TURBOGENERADOR (KW)			5.821					

REFERENCIA GENERAL

En la actualidad, la agroindustria desempeña un papel importantísimo en la economía de Guatemala y uno de sus renglones más importantes es la producción de azúcar de caña, pues, es de los productos que más ingresos representan.

Los productores de azúcar son los ingenios y uno de ellos es el Ingenio Concepción S.A., localizado al Norte de la ciudad de Escuintla, Guatemala.

El corazón de este tipo de empresas son las calderas, pues, a través de ellas, se logra generar la energía necesaria para llevar a cabo el proceso de fabricación del azúcar. Las calderas que se utilizan en los ingenios, presentan características especiales que las hacen diferentes de las calderas que se conocen, normalmente. La diferencia básica es el tipo de combustible que se usa, pues, se aprovecha el bagazo que es un subproducto del proceso de fabricación del azúcar de caña, otra es su capacidad que es, relativamente, grande y, por último, el tamaño, que para ofrecer una idea, las calderas instaladas en el Ingenio Concepción alcanzan alrededor de 10 a 15 metros de altura, aproximadamente. Posteriormente, se presentan las características de operación y diseño de las diferentes calderas que se encuentran en el ingenio.

Vale la pena mencionar algunos parámetros de operación del proceso de fabricación del azúcar y la modalidad de trabajo que se tiene en este tipo de industria. En el Ingenio Concepción se

muelen, alrededor de 340 ton. de caña, por hora, lográndose un rendimiento promedio de 200 Lbs. de azúcar por tonelada. El sistema de trabajo es muy singular, pues, en un año de trabajo se dan dos etapas diferentes que son: la "Zafra", que no es más que el tiempo en que dura la molienda o, sea, la producción de azúcar y que dura alrededor de 6 meses; la segunda etapa es la "Reparación", que consiste en dar mantenimiento al equipo y hacerle algunas modificaciones que requieran o sean necesarias.

CARACTERISTICAS GENERALES
CALDERAS, INGENIO CONCEPCION S.A.

Caldera No.:	1	2	3	4
Marca caldera:	Wickes	Combustión	Combustión	Riley
Capacidad en Kcal/H:	31,066,906.5	38,572,543.25	44,311,998.34	31,621,000
Potencia en HP de caldera:	3,650.79	4,532.8	5,207.27	3,715.20
Capacidad vapor (Lb/H.):	120,000	140,000	160,000	110,000
Presión de trabajo (psi):	400	400	400(600)	400(600)
Tipo de caldera:	Acuotubular	Acuotubular	Acuotubular	Acuotubular
Tipo de horno:	Parrilla Móvil	Pin Hole	Pin Hole	Parrilla Móvil
No. de hornos:	1	1	1	1
Tipo de vapor:	Sobrecalentado	Sobrecalentado	Sobrecalentado	Sobrecalentado
Temperatura de vapor:	520	630	640	715

FASE DE INVESTIGACION
EJERCICIO PROFESIONAL SUPERVISADO

PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE LA TRAMPA CICLONICA

DEFINICION

La trampa ciclónica, básicamente, es un dispositivo que se utiliza para recolectar el hollín producido por la combustión del bagazo y cuyo objetivo principal es reducir el grado de contaminación ambiental.

PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

Los gases producidos por la combustión del bagazo recorren el hogar, el sobrecalentador, la superficie de convección, el economizador y, por último, el precalentador de aire. Al salir del precalentador de aire, los gases de la combustión entran a la trampa ciclónica con cierta velocidad impelida por la succión que produce el ventilador del tiro inducido.

La entrada de la trampa ciclónica está diseñada, de tal forma, que al ingresar los gases de la combustión adquieran un movimiento rotacional, el cual permite que a través de la fuerza centrífuga producida por este movimiento, las partículas de hollín choquen contra la pared de la trampa y, por el peso de éste, resbale por la pared hacia un conducto por el cual está circulando agua y que, además, tiene incorporado un tornillo sin fin, que en conjunto con el agua, conducen a las partículas de hollín atrapadas hacia el drenaje.

Para mejorar de algún modo la efectividad de las trampas ciclónicas se ideó en instalar una especie de rociadores de agua para que a través de ésta se atrapara mayor cantidad de hollín y lograr, así, reducir en mayor grado la contaminación ambiental producida por esta sustancia.

Para ver la diferencia entre la cantidad de hollín expulsado por una caldera con trampas usando rociadores y no usándolos, se muestran, posteriormente, los datos recabados en la caldera No.2.

UBICACION DE LA TRAMPA CICLONICA

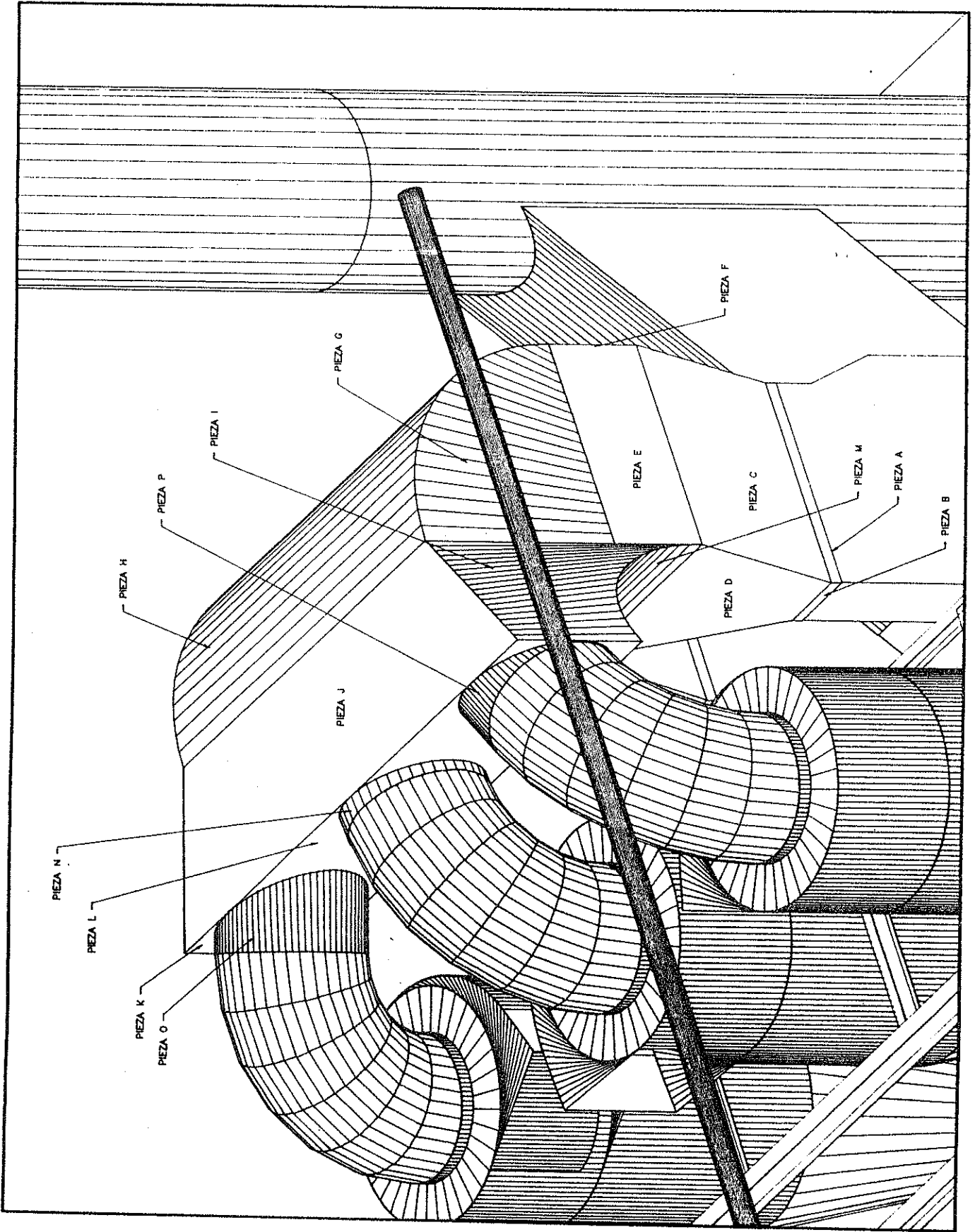
La trampa ciclónica está localizada entre el precalentador de aire y el ventilador del tiro inducido.

En la figura posterior se presenta la disposición y diseño de las trampas ciclónicas y se aprecia, también, la magnitud de las dimensiones que involucra este tipo de dispositivo.

En las calderas No. 2 y 3 del Ingenio Concepción S.A., el número de trampas instaladas son de 3 por caldera, como se puede ver en la figura antes mencionada.

EFFECTIVIDAD DE LAS TRAMPAS CICLONICAS

Para dar una idea de la utilidad o efectividad de esta clase de dispositivos, se muestran las cantidades de hollín recolectadas en las chimeneas de las calderas del Ingenio Concepción, por unidad de área y tiempo; las calderas No.1 y 4 sin trampas ciclónicas y con una producción de 100.000 Lb/Hr y 120.000 Lb/Hr, respectivamente, y las calderas No. 2 y 3 con trampas ciclónicas y con una capacidad de producción de 140.000 Lb/Hr y 160.000 Lb/Hr.



VISTA 3D

respectivamente.

Tabulación de datos.

Caldera No.1

Caldera No.2 (Sin rociadores)

Prueba:	Peso (Gr.)	Tiempo (Hr:Min)	Area (Ft ²)	Prod. hollin:
1	305.62	1 Hr.	3.374843	90.56 Gr/Hr/Ft ² .
2	224.9	1 Hr.	"	66.64 "
3	280.4	1 Hr.	"	83.08 "

Caldera No.2 (Con rociadores)

Prueba:	Peso (Gr.)	Tiempo (Hr:Min)	Area (Ft ²)	Prod. hollin:
1	2.0	1 Hr.	3.374843	0.593 Gr/Hr/Ft ² .
2	1.0	1 Hr:2 Min	"	0.287 "

Caldera No.3

Prueba:	Peso (Gr.)	Tiempo (Hr:Min)	Area (Ft ²)	Prod. hollin:
1	56.1	1 Hr.	3.374843	16.62 Gr/Hr/Ft ² .
2	129.544	"	"	38.39 "

Caldera No.4

PRECIPITACION DE HOLLIN

En esta sección se presenta una gráfica que representa la cantidad de hollín precipitado en (g/Hr/m²) en función de la distancia de emisión y la orientación.

PRECIPITACION DE HOLLIN

