



EFFECTOS DE LA EFICIENCIA DE UN GENERADOR DE VAPOR DE 300 MW QUEMANDO COMBUSTOLEO (BUNKER 'C' O ACEITE No. 6), DEBIDO A LAS IMPUREZAS CONTENIDAS EN EL COMBUSTIBLE Y AL CONTROL DE LA TEMPERATURA DE LOS GASES DE ESCAPE.

NOMBRE DEL ALUMNO:

JAJME NEFTALI GONZALEZ BEGNE

TRABAJO

Presentado a la División de Estudios de
Posgrado de

FACULTAD DE INGENIERIA

de la

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

Como requisito para obtener

el diploma de

especialista en: PROYECTO DE INSTALACIONES

MECANICAS EN CENTRALES

TERMoeLECTRICAS

CIUDAD UNIVERSITARIA D.F., a 3 de Marzo de 1986



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



DEPFI

T. UNAM

1986

GON

EFFECTOS DE LA EFICIENCIA DE UN GENERADOR DE VAPOR DE 300 MW QUEMANDO COMBUSTOLEO (BUNKER 'C' o ACEITE No. 6), DEBIDO A LAS IMPUREZAS CONTENIDAS EN EL COMBUSTIBLE Y AL CONTROL DE LA TEMPERATURA DE LOS GASES DE ESCAPE.

APROBADO POR EL JURADO:

Presidente: ING. LUIS NORIEGA GIRAL

Vocal: ING. MARTINIANO AGUILAR

Secretario :ING. SALVADOR PEREZ PINEDA

Suplente: DR. ALEJANDRO ROMERO LOPEZ

Suplente: M EN I LUBIN MARTINEZ HDEZ.

P R O L O G O

Para obtener la energía eléctrica en una Central Termoeléctrica, es necesario contar con tres equipos principales que son: Generador de Vapor, Turbina y Generador Eléctrico.

La presente tesis describe esencialmente a los Generadores de vapor y en específico a los problemas que se derivan de las impurezas contenidas en el combustible usado para la generación de vapor.

Comprende además las cuatro medidas preventivas más usadas para evitar los efectos de las impurezas contenidas en el combustible; así como también un análisis económico sencillo de la pérdida de generación para una salida de máquina no programada debido a la falla o mala operación del control de la temperatura de los gases de escape.

El desarrollo de este trabajo es llevado a cabo con referencia a la Central Termoeléctrica Pdte. Emilio Portes Gil en Río Bravo, Tamaulipas, U-3.

Esperamos así mismo, que lo aquí desarrollado sirva como una guía para todos aquellos envueltos dentro de la operación de una Central, así como para los que requieran información de los conceptos desarrollados.

C O N T E N I D O

	PAGINA
1.- DESCRIPCION DEL CICLO DE LA CENTRAL	1
2.- GENERADORES DE VAPOR	
2.1.- GENERALIDADES.....	15
2.1.1.-REQUERIMIENTOS DE UN BUEN GENERADOR.....	22
2.1.2.-PROBLEMAS EN LOS GENERADORES DE VAPOR.....	23
2.1.3.-ESPECIFICACIONES DEL GENERADOR DE LA CENTRAL	26
2.2.-DESCRIPCION DEL SISTEMA AIRE-GASES.....	27
2.3.-DESCRIPCION DEL SISTEMA AGUA-VAPOR.....	30
3.- EFECTOS DE LAS IMPUREZAS DEL COMBUSTIBLE	34
4.- MEDIDAS DE PREVENCION DE LA ACCION DE LAS IMPUREZAS DEL COMBUSTIBLE.....	39
5.- ANALISIS ECONOMICO DE LA PERDIDA DE GENERACION Y CONCLUSIONES.....	47
BIBLIOGRAFIA.....	51

CAPITULO I.- DESCRIPCION DEL CICLO DE LA CENTRAL.

Del pozo caliente del condensador principal, el condensado es sacado mediante una tubería de 24" y tomado — por la succión de las bombas de condensado (dos en paralelo que trabajan al 100% de carga). La descarga se junta — en un cabezal, del cual se tienen derivaciones de líneas para proveer agua de condensado en algunos auxiliares tales como el agua de sellos de las bombas de agua de alimentación, dosificación de químicos, toberas de rocío de la carcaza de baja presión, rociador del condensador de sellos, llenado del generador vapor/vapor, y atemperador de vapor de sellos de baja presión; y continuar después — en una sola línea de 12" hacia una T en donde se divide — en 2 ramas con disminución de diámetro a 10". Uno de los ramales pasa por el condensador de vapor de sellos y el otro se dirige al banco de eyectores donde pasa por el intercondensador y el postcondensador. Posteriormente vuelven a unirse las dos ramas en una línea de 12" la cual se dirige al calentador No. 1 y después al calentador No. 2, existiendo la posibilidad de eliminar o bloquear ambos calentadores, derivando el flujo por medio de un by-pass directamente a la entrada del calentador No. 3.

Antes de llegar al calentador No. 1, existen dos derivaciones una es la de retorno de condensado al tanque de repuesto y la otra la de recirculación al condensador.

Del calentador No. 2 sale una línea en 12" hacia el calentador No. 3, después al calentador No. 4, y de aquí pasa al deareador y luego al tanque de oscilación. Igualmente, existe la posibilidad de bloquear los calentadores

Nos. 3 y 4, llevando la salida del calentador No. 2 directamente hacia al deareador.

De la parte inferior del tanque de oscilación sale una tubería de 12" que llega al cabezal de succión de las bombas booster y luego por medio de una tubería de 10" entra a la succión de las bombas de agua de alimentación (tres en paralelo que trabajan al 50% de carga). De un paso intermedio de las bombas sale una línea de 3" que suministra el agua para los atemperadores del recalentado del generador de vapor.

En las descargas de las bombas se cuenta con una válvula de retención y posteriormente una válvula motorizada que es accionada simultáneamente con el motor de la bomba, al ponerse en servicio éste. Antes de esta válvula se encuentra la línea de flujo mínimo o de retorno al deareador.

Las descargas de las bombas de agua de alimentación se unen en un cabezal de 14" con dos derivaciones; la primera mediante una línea de 8" alimenta el agua para llenado de la carcasa y la cavidad del motor eléctrico de las bombas de circulación forzada del generador de vapor, además de las atemperaciones para los sobrecalentadores secundario y terciario; y la segunda que continua con línea de 14" que llega al calentador No. 6 y pasa después al calentador No. 7, para dirigirse a la entrada al generador de vapor localizada en el economizador.

Existen las derivaciones o by-pass necesarios para eliminar o bloquear al calentador No. 6 así como al calentador No. 7 o a ambos.

En el generador de vapor se llevan a cabo los proce--

cesos de vaporización y sobrecalentamiento. Del sobrecalentador terciario el vapor sale a la turbina de alta presión por medio de dos tuberías de 12", que tienen una línea igualadora. Llegan a ambos lados de la turbina a los cabezales derecho e izquierdo de las cajas de vapor en -- donde pasa por la válvula de estrengulamiento y las válvulas de gobierno para salir por cuatro líneas hacia la cámara de toberas distribuidoras. La expansión comienza -- en este punto al pasar primero por el paso Curtis (acción) y luego continuar con los pasos Rateau (reacción).

Una vez desarrollado el trabajo mecánico el vapor -- descargado denominado recalentado frío, fluye mediante una tubería de 30" hacia el cabezal de entrada al recalentador del generador de vapor. Antes de entrar se divide -- en dos líneas de 22" cada una con un atemperador. Se tienen también otras derivaciones que alimentan al calentador No. 7, al regulador de vapor de sellos, y al cabezal de vapor auxiliar.

Una vez que el vapor ha pasado por la zona de recalentamiento, regresa como recalentado caliente mediante -- dos líneas de 20" que se unen en una de 22" y entra a la turbina de presión intermedia No. 1, después de pasar por las válvulas de paro e interceptoras.

El vapor descargado por esta turbina es llevado a la turbina de presión intermedia No. 2 utilizando para tal, el espacio comprendido entre carcazas ya que el grupo turbina es de doble carcaza. Antes de entrar a la turbina de presión intermedia No. 2 se tiene una salida de vapor por medio de una línea de 10", que va a alimentar al calentador No. 6.

Después de la salida de la turbina de presión intermedia el vapor es conducido por un cross-over a la turbina de baja presión. Parte de este vapor descargado es conducido por una línea de 14" a alimentar al deareador.

La turbina de baja presión es del tipo de doble flujo con la entrada de vapor en la parte central y fluyendo hacia el escape abierto en cada extremo y de ahí al condensador.

A diferentes pasos de la turbina están implementadas las extracciones que alimentan a los calentadores No. 4 y No. 3, con diámetros en las líneas de 14" y 16" respectivamente y a los calentadores No. 2 y No. 1 los cuales tienen alimentación doble, simétrica y se hallan colocados en el cuello del condensador.

La turbina de baja presión tiene un dispositivo atemperador del vapor de escape alimentado por la bomba de condensado y cuya finalidad es la de evitar las altas temperaturas en la carcasa que puedan presentarse a bajas cargas.

Todo el sistema de drenes, tanto el de baja como el de alta presión de los calentadores es en cascada, para lograr la máxima transferencia de calor posible y aumentar la eficiencia total del ciclo.

El vapor de la extracción No. 7 que entra al calentador No. 7 se condensa y drena normalmente al calentador No. 6 a través de una línea de 8"; y drena de emergencia al condensador a través de una línea de 6".

El condensado del calentador No. 6 formado por el vapor de la extracción No. 6 más el condensado del calentador No. 7 es drenado normalmente al deareador donde entra

nuevamente al ciclo. El drenado de emergencia se realiza al condensador mediante una línea de 6".

El deareador es alimentado además de la extracción - No. 5 por el condensado del calentador No. 6 y por el del tanque colector del generador vapor/vapor. Como es un calentador de contacto directo para el control de su nivel derrama directamente al condensador.

El vapor de la extracción No. 4 que entra al Calentador No. 4 se condensa y fluye al calentador No. 3 normalmente, a través de una línea de 6". El drenaje de emergencia se realiza al condensador a través de una válvula de control de 4".

El condensado del calentador No. 3 formado por el vapor de la extracción No. 3 más el condensado del Calentador No.4 , descarga normalmente al calentador No. 2 a través de una línea de 8". Aquí también llegan los condensados de los calentadores de aire/vapor. Se tiene un dren de emergencia al condensador con línea de 6".

El condensado del calentador No. 2 formado por el condensado del vapor de la extracción No. 2 más el condensado del calentador No. 3 descarga en el calentador No.1, teniendo su descarga de emergencia al condensador.

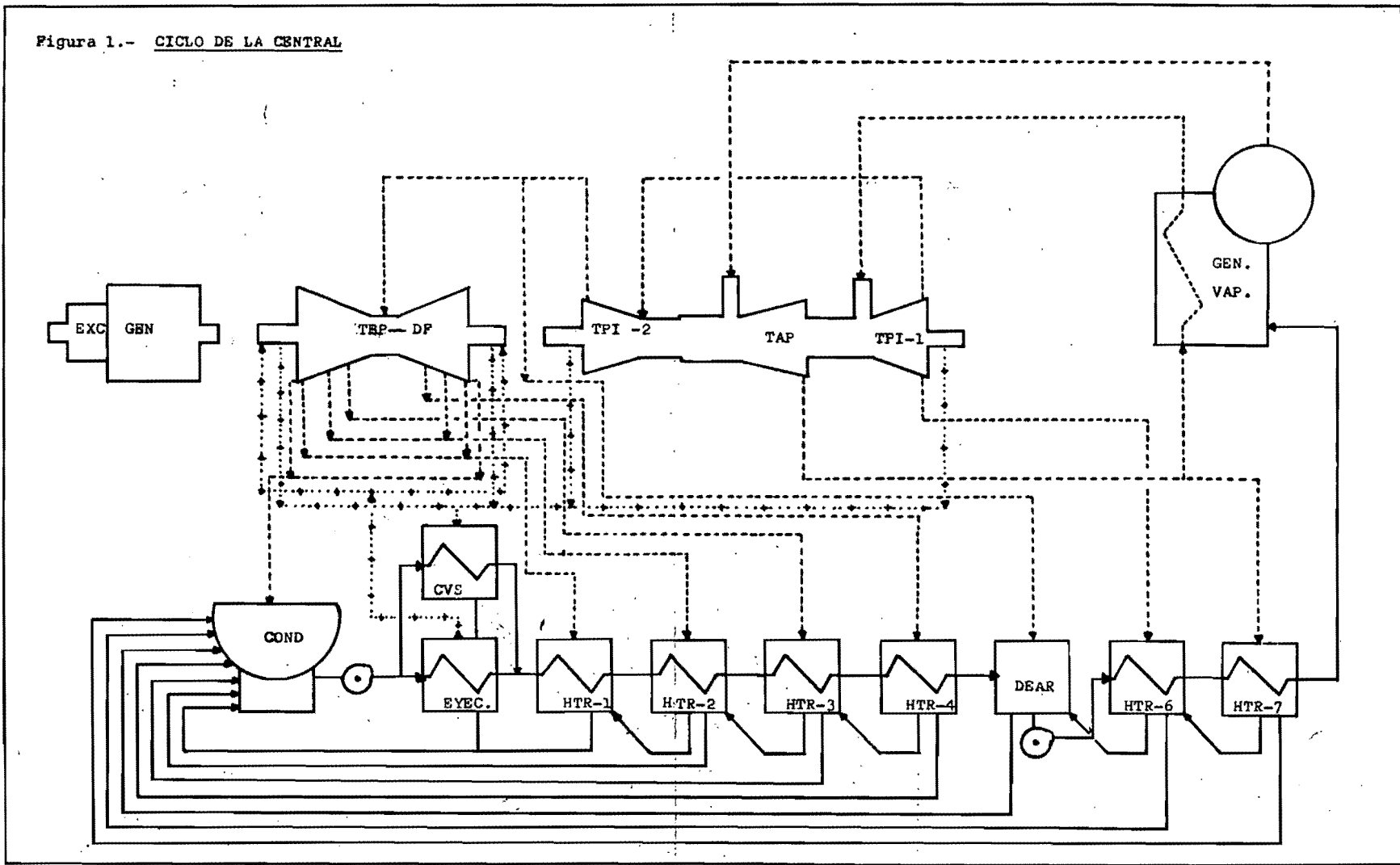
Al calentador No. 1 le llegan el condensado del vapor de la extracción No. 1 más el condensado del calentador No. 2, descargando normalmente por alto nivel con una línea de 20" al condensador. El drenaje de emergencia se realiza por muy alto nivel del calentador con otra línea de 20" al condensador.

El par motor obtenido en la turbina de vapor se transmite en forma directa al rotor del Alternador para la ge-

neración de la energía eléctrica, como producto final del ciclo de la central.

A continuación se muestra en la figura 1, el diagrama unifilar simplificado del ciclo de la central.

Figura 1.- CICLO DE LA CENTRAL



CONSIDERANDO EL CICLO DE LA CENTRAL DESDE EL PUNTO DE VISTA TERMODINÁMICO, PODEMOS DECIR QUE SE LLEVA A CABO UN - CICLO RANKINE REGENERATIVO CON RECALENTAMIENTOS.

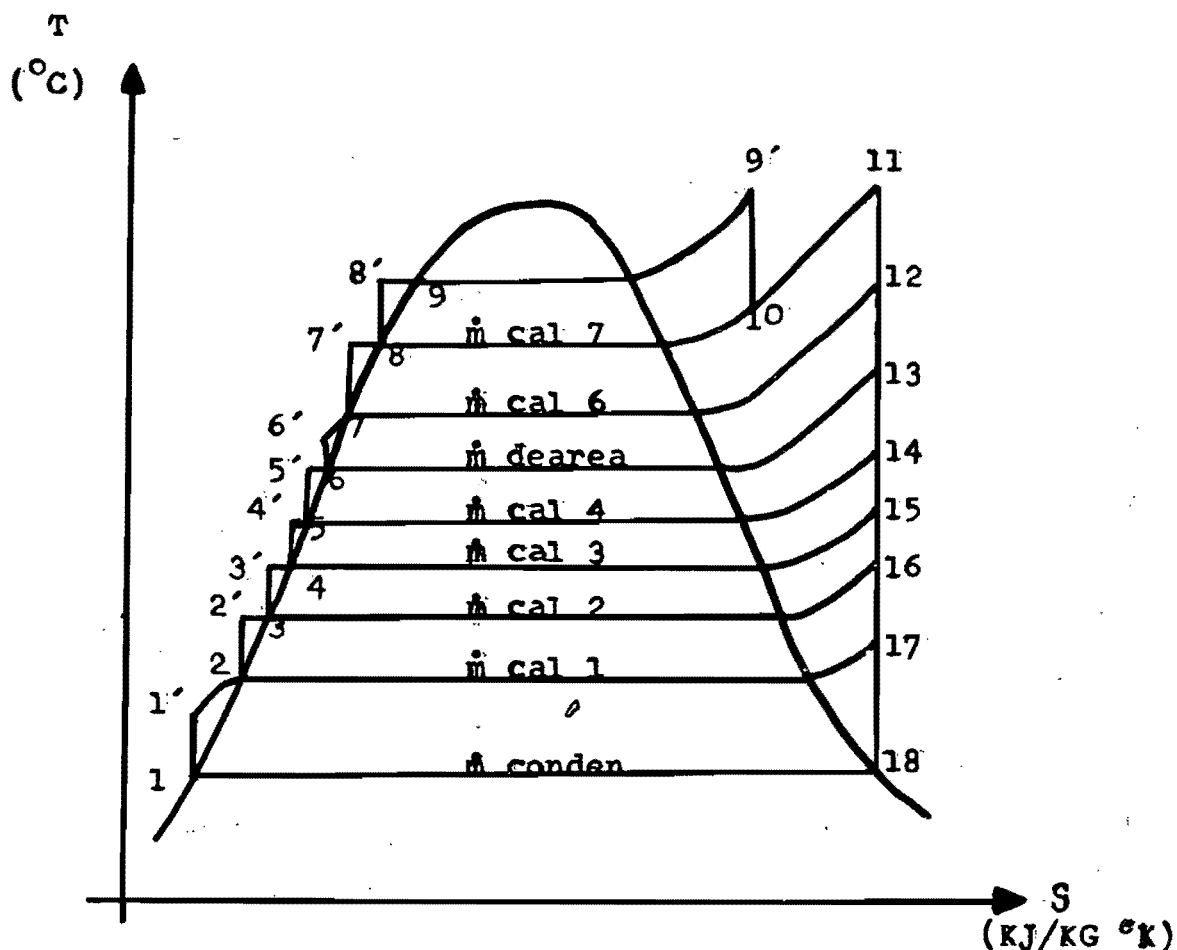
EL VAPOR DESPUÉS DE EXPANSIONARSE EN LA TURBINA DE ALTA PRESIÓN, SE LE HACE VOLVER A LA CALDERA PARA UN RECALENTAMIENTO POSTERIOR ANTES DE EXPANSIONARSE POR LAS TURBINAS DE PRESION INTERMEDIA No. 1 Y No. 2 Y POSTERIORMENTE POR LA TURBINA DE BAJA PRESIÓN. EL RECALENTAMIENTO TIENE UNA DOBLE VENTAJA. PRIMERO EVITA UNA HUMEDAD EXCESIVA EN EL EXTREMO - DE BAJA PRESIÓN DE LA TURBINA, IMPIDIENDO LA CORROSIÓN Y EROSIÓN DE LOS ÁLABES DE LA MISMA. SEGUNDO, AUNQUE SE CONSUME MÁS ENERGÍA EN EL CICLO RANKINE, SE OBTIENE UN PORCENTAJE MAYOR DE TRABAJO, CON LA CONSECUENTE MEJORA DEL RENDI--- MIENTO TÉRMICO DEL CICLO.

EN DIFERENTES ETAPAS DE SU PASO POR LA TURBINA SE EX-- TRAE PARTE DEL VAPOR, EL CÚAL ES UTILIZADO PARA CALENTAR EL AGUA DE ALIMENTACIÓN ANTES DE QUE ENTRE EN LA CALDERA. EN - CADA CALENTADOR, EL AGUA ADQUIERE CALOR HASTA UNOS POCOS DE GRADOS POR DEBAJO DE LA TEMPERATURA DE SATURACIÓN CORRESPON DIENTE A LA PRESIÓN DE VAPOR DE EXTRACCIÓN. LA CALDERA EN - ESTE CASO, SUMINISTRA ÚNICAMENTE LA ENERGÍA NECESARIA PARA LA VAPORIZACIÓN Y EL RECALENTAMIENTO.

CUANDO LA CANTIDAD DE MASA EXTRAIDA PARA CALENTAR EL - AGUA DE ALIMENTACIÓN O FRACCIÓN MÁSCICA DE VAPOR SE CONDENSA EN EL CALENTADOR, ESTÁ TRANSFIERE SU CALOR LATENTE AL AGUA DE ALIMENTACIÓN QUE FLUYE A TRAVÉS DEL CALENTADOR. LA MASA RESTANTE CONTINÚA EXPANSIONANDOSE Y REALIZANDO TRABAJO HAS- TA QUE SU PRESIÓN CAE HASTA LA DEL CONDENSADOR. EL CICLO DE LA CENTRAL CONTEMPLA EL USO DE SEIS CALENTADORES DE SUPERFI CIE (CUATRO DE BAJA PRESIÓN Y DOS DE ALTA PRESIÓN), UNO - DE CONTACTO DIRECTO (DEAREADOR), Y UN CONDENSADOR DE SUPER- FICIE; PARA OBTENER EL MÁXIMO APROVECHAMIENTO DEL CALOR.

A CONTINUACIÓN ES MOSTRADO EN LA FIGURA 2, EL DIAGRAMA TEMPERATURA - ENTROPIA CORRESPONDIENTE .

FIGURA 2.- DIAGRAMA T-S DEL CICLO DE LA CENTRAL.-



- 1-1' PROCESO DE COMPRESIÓN ISOENTRÓPICA REALIZADO POR LA -- BOMBA DE CONDENSADO.
- 1'-2 PROCESO DE CALENTAMIENTO ISOBÁRICO EN FASE LÍQUIDA REALIZADO POR LA BOMBA DE CONDENSADO.
- 2-2' PROCESO ISOENTRÓPICO QUE SE LLEVA A CABO EN EL CALENTADOR No. 1
- 3-3' PROCESO ISOENTRÓPICO QUE SE LLEVA A CABO EN EL CALENTADOR No. 2.
- 4-4' PROCESO ISOENTRÓPICO QUE SE LLEVA A CABO EN EL CALENTADOR No. 3.
- 5-5' PROCESO ISOENTRÓPICO QUE SE LLEVA A CABO EN EL CALENTADOR No. 4.
- 6-6' PROCESO DE COMPRESIÓN ISOENTRÓPICA REALIZADO POR LA --

BOMBA DE AGUA DE ALIMENTACIÓN.

- 6-7 PROCESO DE CALENTAMIENTO ISOBÁRICO EN FASE LÍQUIDA - REALIZADO POR LA BOMBA DE AGUA DE ALIMENTACIÓN.
- 7- 7' PROCESO ISOENTRÓPICO REALIZADO POR EL CALENTADOR No. 6.
- 8 -8' PROCESO ISOENTRÓPICO REALIZADO POR EL CALENTADOR No. 7.
- 9 -9' PROCESO DE VAPORIZACIÓN ISOBÁRICO REALIZADO EN LA CALDERA.
- 9'-10 PROCESO DE EXPANSIÓN ISOENTRÓPICA REALIZADO POR LA -- TURBINA DE ALTA PRESIÓN.
- 11-12 PROCESO DE EXPANSIÓN ISOENTRÓPICA REALIZADO POR LAS - TURBINAS DE PRESION INTERMEDIA No. 1 Y No. 2.
- 13-18 PROCESO DE EXPANSIÓN ISOENTRÓPICA REALIZADO POR LA -- TURBINA DE BAJA PRESIÓN.
- 18-1 PROCESO ISOBÁRICO DE TRANSFERENCIA DE CALOR EN EL CONDENSAADOR.

LOS VALORES DE ENTROPIA, ENTALPIA, PRESIÓN, Y TEMPERATURA PARA CADA UNO DE LOS PUNTOS ANTERIORES, CON CARGAS DE 75 MW, 150 MW, Y 300 MW; SON MOSTRADOS EN LA SIGUIENTE TABLA:

TABLA 1.-

PUNTO	PROPIEDAD	75 MW	150 MW	300 MW
1	h (KJ/KG)	104.876	104.876	104.876
	s (KJ/KG, °K)	0.3676	0.3676	0.3676
	P (kg/cm ²)	0.032	0.032	0.032
	T (°C)	25	25	25
1'	h (KJ/KG)	106.201	106.202	106.206
	s (KJ/KG, °K)	0.3676	0.3676	0.3676
	P (KG/CM ²)	.040	0.0573	0.0978
2	h (KJ/KG)	123.77	146.57	188.322
	s (KJ/KG, °K)	0.4298	0.5052	0.6386
	P (KG/CM ²)	0.040	0.0573	0.0978
	T (°C)	29	35	45

3	h (KJ/KG)	199.85	230.069	292.781
	s (KJ/KG °K)	0.6745	0.7679	0.9548
	P (KG/CM ²)	0.1138	0.1606	0.3179
	T (°C)	47	55	70
4	h (KJ/KG)	280.99	355.656	410.330
	s (KJ/KG °K)	0.9181	1.1342	1.2840
	P (KG/CM ²)	0.2812	0.5896	0.9618
	T (°C)	67	85	98
5	h (KJ/KG)	336.573	427.173	486.857
	s (KJ/KG °K)	1.0806	1.3293	1.4854
	P (KG/CM ²)	0.4291	1.1094	1.7875
	T (°C)	80.5	102	116
6	h (KJ/KG)	508.113	598.881	719.308
	s (KJ/KG °K)	1.5404	1.7635	2.0431
	P (KG/CM ²)	2.10	3.93	8.10
	T (°C)	121	142	170
6'	h (KJ/KG)	508.189	600.123	720.954
	s (KJ/KG °K)	1.5404	1.7635	2.0431
	P (KG/CM ²)	3.8014	9.21	18.961
7	h (KJ/KG)	593.489	742.994	891.407
	s (KJ/KG °K)	1.7505	2.0961	2.4124
	P (KG/CM ²)	3.8014	9.21	18.961
	T (°C)	141	175	208
8	h (KJ/KG)	755.4090	893.183	1,078.833
	s (KJ/KG °K)	2.1231	2.4162	2.7817
	P (KG/CM ²)	9.83	19.106	39.70
	T (°C)	178	209	248
9	h (KJ/KG)	1,650.31	1,650.31	1,650.31
	s (KJ/KG °K)	3.7810	3.7810	3.7810

	P (KG/CM ²)	169	169	169
	T (°C)	350	350	350
9	h (KJ/KG)	3,514.71	3,372.89	3,401.29
	s (KJ/KG °K)	6.3157	6.3891	6.4246
	P (KG/CM ²)	169	169	169
	T (°C)	510	530	540
10	h (KJ/KG)	2,939.43	2,957.79	3,068.20
	s (KJ/KG °K)	6.9383	6.6838	6.5845
	P (KG/CM ²)	9.83	19.10	39.70
	T (°C)	248	274	340
11	h (KJ/KG)	3,474.04	3,501.01	3,532.62
	s (KJ/KG °K)	7.7757	7.5102	7.2440
	P (KG/CM ²)	9.83	19.10	39.70
	T (°C)	498	518	540
12	h (KJ/KG)	3,170.30	3,258.32	3,303.08
	s (KJ/KG °K)	7.7757	7.5102	7.2440
	P (KG/CM ²)	3.80	9.21	18.96
	T (°C)	351.12	397.21	425.30
13	h (KJ/KG)	3,013.10	3,024.09	3,058.09
	s (KJ/KG °K)	7.7757	7.5102	7.2440
	P (KG/CM ²)	2.10	3.93	8.10
	T (°C)	272	279.69	301.69
14	h (KJ/KG)	2,705.27	2,749.99	2,731.37
	s (KJ/KG °K)	7.7757	7.5102	7.2440
	P (KG/CM ²)	0.4921	1.109	1.787
	T (°C)	112.37	137.98	141.84
15	h (KJ/KG)	2,612.82	2,640.04	2,664.57
	s (KJ/KG °K)	7.7757	7.5102	7.2440

	P (KG/CM ²)	0.2812	0.5896	0.9618
	T (°C)	67	85	98
16	h (KJ/KG)	2,477.59	2,461.94	2,452.11
	s (KJ/KG °K)	7.7757	7.5102	7.2440
	P (KG/CM ²)	0.1138	0.1606	0.3179
	T (°C)	47	55	70
17	h (KJ/KG)	2,342.76	2,299.00	2,279.83
	s (KJ/KG °K)	7.7757	7.5102	7.2440
	P (KG/CM ²)	0.040	0.0573	0.0978
	T (°C)	29	35	45
18	h (KJ/KG)	2,310.01	2,231.02	2,161.90
	s (KJ/KG °K)	7.7757	7.5102	7.2440
	P (KG/CM ²)	0.032	0.032	0.032
	T (°C)	25	25	25
	m vapor TAP (KG/HR)	222,910	420,126	915,082
	m vapor cal. 7 (KG/HR)	12,168	22,145	79,009
	m vapor cal 6 (KG/HR)	8,060	18,979	50,370
	m vapor dearea. (KG/HR)	7,582	16,942	43,064
	m vapor cal. 4 (KG/HR)	4,376	9,491	23,400
	m vapor cal. 3 (KG/HR)	4,135	15,709	21,786
	m vapor cal. 2 (KG/HR)	6,030	13,441	32,970
	m vapor cal. 1 (KG/HR)	0	7,446	34,085

***** TODOS LOS VALORES OBTENIDOS SON CONSIDERANDO LAS LECTURAS REALES DE OPERACION PARA CADA CARGA *****

Sabemos que:

$$\begin{aligned}
 W_{\text{turb}} = & (h_{12} - h_{13}) (\dot{m}_{\text{vapor TAP}} - \dot{m}_{\text{vapor cal.7}} - \\
 & \dot{m}_{\text{vapor cal. 6}}) + (h_{13} - h_{14}) (\dot{m}_{\text{vapor TAP}} - \\
 & \dot{m}_{\text{vapor cal. 7}} - \dot{m}_{\text{vapor cal.6}} - \dot{m}_{\text{vapor dearea.}}) \\
 & + (h_{14} - h_{15}) (\dot{m}_{\text{vapor TAP}} - \dot{m}_{\text{vapor cal 7}} - \\
 & \dot{m}_{\text{vapor cal 6}} - \dot{m}_{\text{vapor dearea.}} - \dot{m}_{\text{vapor cal 4}}) \\
 & + (h_{15} - h_{16}) (\dot{m}_{\text{vapor TAP}} - \dot{m}_{\text{vapor cal 7}} - \\
 & \dot{m}_{\text{vapor cal 6}} - \dot{m}_{\text{vapor dearea.}} - \dot{m}_{\text{vapor cal 4}} \\
 & - \dot{m}_{\text{vapor cal 3}}) + (h_{16} - h_{17}) (\dot{m}_{\text{vapor TAP}} - \\
 & \dot{m}_{\text{vapor cal 7}} - \dot{m}_{\text{vapor cal 6}} - \dot{m}_{\text{dearea.}} - \dot{m}_{\text{va}} \\
 & \text{por cal 4} - \dot{m}_{\text{vapor cal 3}} - \dot{m}_{\text{vapor cal 2}}) + (h_{17} \\
 & - h_{18}) (\dot{m}_{\text{vapor TAP}} - \dot{m}_{\text{vapor cal 7}} - \dot{m}_{\text{vapor}} \\
 & \text{cal 6} - \dot{m}_{\text{vapor dearea.}} - \dot{m}_{\text{vapor cal. 4}} - \dot{m}_{\text{va}} \\
 & \text{por cal 3} - \dot{m}_{\text{vapor cal 2}} - \dot{m}_{\text{vapor cal 1}})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 W_{\text{pump}} = & (\dot{m}_{\text{vapor TAP}} - \dot{m}_{\text{vapor cal 7}} - \dot{m}_{\text{vapor cal 6}} - \dot{m}_{\text{vapor}} \\
 & \text{dear} - \dot{m}_{\text{vapor cal 4}} - \dot{m}_{\text{vapor cal 3}} - \dot{m}_{\text{vapor}} \\
 & \text{cal 2} - \dot{m}_{\text{vapor cal 1}}) [h_{1'} - h_1] + (\dot{m}_{\text{vapor}} \\
 & \text{TAP} - \dot{m}_{\text{vapor cal 7}} - \dot{m}_{\text{vapor cal 6}}) [h_{6'} \\
 & - h_6]
 \end{aligned}$$

$$Q_H = [h_{9'} - h_9] (\dot{m}_{\text{vapor TAP}}) + [h_{11} - h_{10}] (\dot{m}_{\text{vapor}} \\
 \text{TAP} - \dot{m}_{\text{vapor cal. 7}})$$

De donde:

$$N_{\text{TH}} = \frac{W_{\text{turb}} - W_{\text{pump}}}{Q_H}$$

$$\text{H.R.} = (\dot{m}_{\text{vapor TAP}}) (h_{9'} - h_{10}) + (\dot{m}_{\text{vapor TAP}} - \dot{m}_{\text{vapor}} \\
 \text{cal 7}) [h_{11} - h_{12}] - W_{\text{pump}} / \text{KWH generados}$$

Substituyendo valores obtenemos:

		<u>75 MW</u>	<u>150 MW</u>	<u>300 MW</u>
N_{TH}	(%)	34.10	38.30	41.41
H.R.	(KCAL/KWH)	1,972.23	1,800.32	1,648.58

CAPITULO II.- GENERADORES DE VAPOR.

2.1.- GENERALIDADES.

Un generador de vapor es un dispositivo usado para la producción de vapor que se utiliza en la alimentación a otros equipos que producen energía, directamente en procesos o bien, para propósitos de calentamiento.

El diseño de los generadores de vapor considera la -- transmisión de calor de una fuente externa de combustión a un fluido contenido dentro de ella. El líquido que generalmente se utiliza para la producción de vapor es el agua, -- debido a su bajo costo como materia prima; aunque existen también generadores que utilizan el mercurio o algún otro tipo de fluidos en algunas plantas modernas.

El calor desarrollado por el combustible se transmite en el interior del generador de vapor por radiación y convección logrando con esto la ebullición del fluido.

Los elementos que constituyen un generador de vapor -- son los siguientes:

A) Caldera.

Consiste propiamente de los siguientes elementos:

Hogar : Es la cámara donde el combustible es quemado. Es -- también llamada la cámara de combustión. Esta circundada sobre sus cuatro lados por un número de tu -- bos de agua, generalmente llamados paredes de agua. El combustible es inyectado en el interior del hogar y con el aire de combustión es quemado completamente. El calor radiante de la flama y los gases productos de la combustión son absorbidos por las paredes de agua, donde el calor es transferido al

agua que circula a través de ellas.

Los gases de combustión después de haber sido enfriados parcialmente por las paredes de agua, dejan el hogar y entran a las superficies de calentamiento por convección del sobrecalentador, recalentador y economizador.

Las condiciones necesarias para el hogar son las siguientes:

- El tamaño del hogar deberá ser capaz de mantener una estable combustión del combustible suministrado y conseguir que ésta se realice completa.
- El agua circulando a través de las paredes de agua del hogar deberá ser suficiente para poder enfriar los tubos que las componen a un nivel de temperatura conveniente.
- La temperatura de gas a la salida del hogar deberá provocar un efectivo intercambio de calor en la zona convectiva de la caldera.

Los tipos de hogar que podemos encontrar son:

- Hogar sencillo
- Hogar dividido
- Hogar doble.

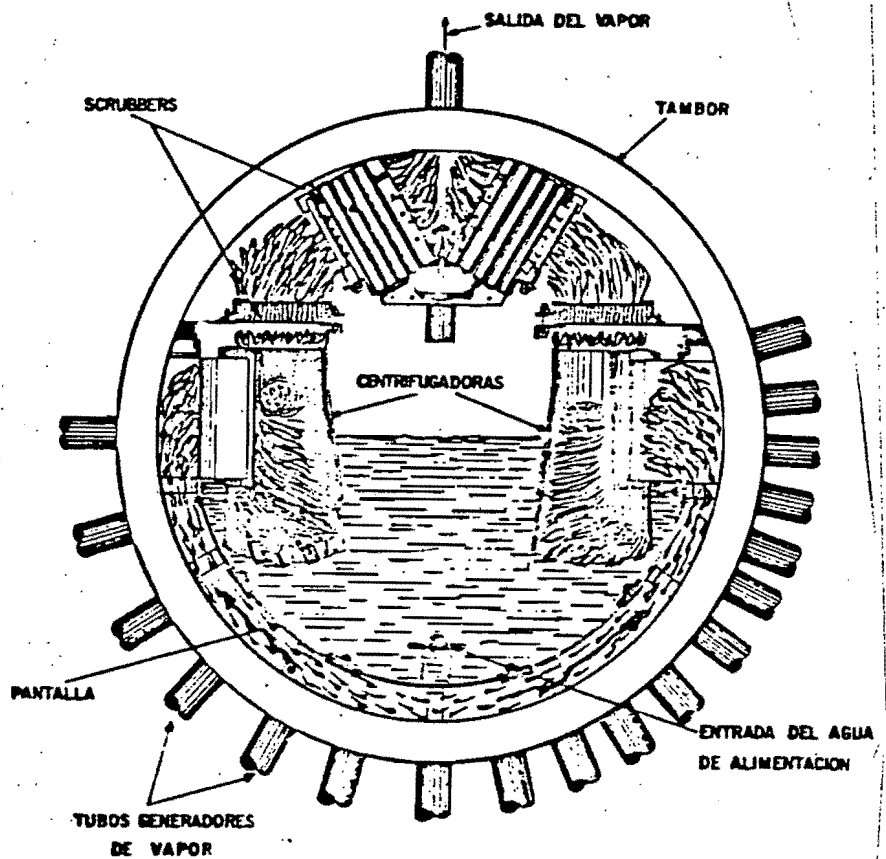
Domo de Vapor : Su función primordial es la de separar la mezcla agua-vapor en cada uno de sus componentes. Para ello está provisto de tres tipos de separadores que son:

- Primarios o Ciclónicos
- Secundarios o de placas.
- Terciarios o de placas corrugadas.

Además de aquí parten y llegan los tubos -

elevadores, los de salida de vapor saturado, los downcomers, los de agua de alimentación provenientes del economizador, los de inyección química, y el de la purga continua.

A continuación en la figura 3 es mostrado el arreglo interior del domo de vapor.



Sobrecalentador y Recalentador: Son elementos formados por una serie de tubos en forma de serpentín, en los cuales se logra obtener un grado de calentamiento secundario del vapor. Como están suje-

tos a altas temperaturas, los tubos están hechos de acero de alta aleación o acero inoxidable. Su arreglo fundamentalmente se debe de realizar cuidando tener alta temperatura sobre los tubos, y el poder realizar un efectivo control de temperatura del vapor.

Domo inferior : También conocido como domo de lodos, tiene como función principal el de depositar o precipitar las impurezas que pudiera llevar el agua a su paso por éste.

Economizador : Tiene la finalidad de calentar el agua de alimentación por debajo del punto de ebullición, aprovechando el calor de los gases de escape antes de que abandonen el hogar.

Pre calentadores Regenerativos: Absorbe el calor de los gases de escape del hogar y transfiere este calor al aire de entrada. Está formado por unos elementos de transferencia de calor que giran continuamente. Los elementos son placas o láminas de metal alineadas y empacadas compactamente en grupos, que forman los sectores de un cilindro dividido radicalmente y conocidos con el nombre de canastas. Se acomodan en tres capas conocidas como: Zona fría, Zona intermedia, y Zona caliente.

El extremo frío del pre calentador es aquel por don

de se admite el aire y se descargan los gases. -- Por el contrario el extremo caliente es aquel por donde se admiten los gases calientes y se descarga el aire. La envolvente del rotor tiene conexiones para los ductos en ambos extremos y está sellada adecuadamente por sellos radiales y circunferenciales, con lo que se forman pasajes herméticos. El calor es absorbido por las canastas al pasar por la corriente de gases, después la canasta es llevada a la corriente de aire, en donde se libera el calor retenido y, por lo tanto, incrementando la temperatura del aire necesario en la combustión.

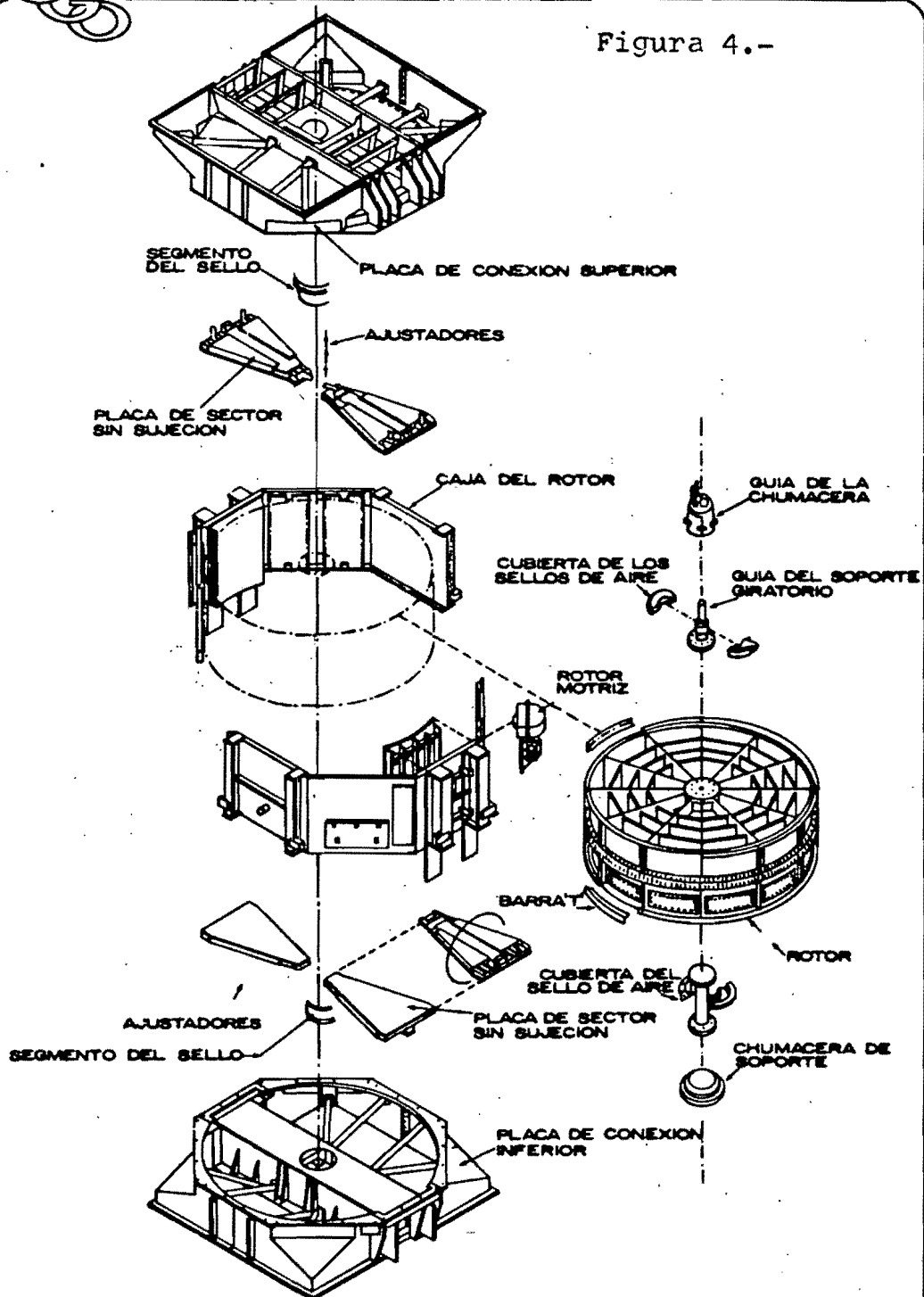
Los precalentadores regenerativos Ljungstrom se pueden clasificar en dos tipos, según el arreglo de los ductos de aire y gases del Generador de vapor: verticales y horizontales.

La fuerza para el virado del rotor se aplica en la perifería. Una cremallera a lo largo de todo el rotor esta acoplada con un piñon que gira a baja velocidad. El piñon es movido por una flecha de un reductor de engranes accionado por un motor eléctrico. Se tiene una turbineta de aire con mecanismo auxiliar de apoyo en caso de falla del motor eléctrico.

La figura 4 , nos muestra las partes de un precalentador regenerativo Ljungstrom.



Figura 4.-



PRECALENTADOR DE AIRE DESARMADO

Calentadores Aire con Vapor : Son instalados en el ducto de aire de entrada a los precalentadores regenerativos para mantener una temperatura adecuada - que evite la formación de ácido sulfúrico en - los elementos de calentamiento.

B) Estructuras de Soporte de la Caldera.-

Hay dos clases de sistemas para soporte de la caldera, uno es el sistema de soporte en la parte alta y el otro es el de soporte en la parte baja. Con el primero, el peso de la caldera en la dirección vertical es soportado por medio de traveses colgadas desde su parte superior de la estructura. Con el segundo, el peso se encuentra soportado sobre el piso. Generalmente se usan para grandes calderas y pequeñas calderas respectivamente.

C) Sistema para el quemado de Combustible.-

Fundamentalmente existen dos tipos, el tipo tangencial o de esquinas, y el tipo horizontal. La mayoría de los generadores de vapor de gran capacidad usan el tipo tangencial, y las de pequeña capacidad el tipo horizontal.

El tipo tangencial provee una excelente y muy estable combustión.

El equipo necesario para este sistema incluye: Quemadores, tanques de almacenamiento de combustible, bombas, calentadores, filtros, venteos, y tubería de conducción. Además un equipo de control y supervisión de parámetros para su correcto manejo.

D) Sistema de aire y gases (ventiladores, ductos de aire y gases) .-

Este sistema suministra el aire necesario para la combustión del combustible en el hogar, y descarga los gases -

producto de la misma a la atmósfera. Existen dos tipos de sistemas:

-TIPO BALANCEADO : El hogar se mantiene a una presión negativa con respecto a la de la atmósfera, normalmente entre -10 y -20 mm_{agua}. Es aplicado a generadores de vapor que usan carbón o gas. El aire y el gas -- son introducidos y descargados mediante el uso de un ventilador de tiro forzado y un ventilador de tiro inducido.

-TIPO FORZADO : Conocido también como presurizado. El hogar se mantiene con una presión positiva. Usualmente aplicado a generadores de vapor que utilizan combustóleo o gas natural. Se usan solo ventiladores de tiro forzado.

2.1.1.- REQUERIMIENTOS DE UN BUEN GENERADOR DE VAPOR.

En el diseño y manufactura de los generadores de vapor se debe tener un especial cuidado a los siguientes puntos:

A) Alta Eficiencia.-

El costo de la energía generada en una central termoeléctrica nos muestra claramente que el costo del combustible representa un valor alto. Por ello es deseado que se tenga una alta eficiencia, para poderlo abatir.

B) Alta Confianza y Seguridad.-

Estos son dos factores muy importantes y necesarios en las centrales. Si el generador de vapor es parado de repente, ello causará la pérdida de la venta de energía además de los problemas a las industrias y los usuarios.

C) Buen funcionamiento.

Si la combustión del combustible en el hogar es pobre,

el hollín y las cenizas emitidas pueden causar problemas de contaminación del aire, y el combustible no quemado provocará que la eficiencia de la caldera disminuya considerablemente.

D) Mínima contaminación al Medio Ambiente.-

Las centrales termoeléctricas algunas veces causan -- contaminación del medio ambiente debido a:

- 1) Contaminación del aire debido a gases sulfurosos, hollín y cenizas.
- 2) Ruido.
- 3) Contaminación del agua.
- 4) Malos olores.
- 5) Calor de escape del agua.

Por ello deberán estar diseñadas para minimizar al máximo todas estas condiciones.

E) Fácil operación y Mantenimiento.-

Deberán ubicarse bien los accesos al equipo, para poder llevar a cabo una buena operación o mantenimiento del mismo.

G) Fácil Construcción y Corto Tiempo de Entrega.-

En caso que se este diseñando el generador de vapor, estos dos factores suman gran importancia ya que el costo de construcción puede llegar a nulificar los beneficios obtenidos por alguno de los puntos anteriores a corto plazo, y retrasar el crecimiento económico industrial de un sector por su incremento en la demanda eléctrica.

2.1.2.- PROBLEMAS EN LOS GENERADORES DE VAPOR.-

En el diseño y operación de un generador de vapor es de especial atención el conocimiento de los problemas que

se encuentran tanto en lado agua como en lado gases. Estos problemas no solo dañan al generador de vapor y los sistemas relacionados con él, sino que también disminuyen notablemente su eficiencia. También pueden causar una salida - del mismo, y el disturbio de la operación productiva de la Central.

Estos problemas varían en su naturaleza y causas, y los mecanismos que las provocan son variados. A continuación describiremos el bosquejo de cada uno de ellos.

I.- PROBLEMAS CAUSADOS EN LOS GENERADORES DE VAPOR POR EL AGUA.

El agua cruda que es tratada para formar el agua de - repuesto para el ciclo de generación de vapor contiene varias clases de impurezas. Estas impurezas son removidas mediante un adecuado tratamiento antes de que el agua sea alimentada a la caldera, pero si este tratamiento no es el adecuado, se tendrán los siguientes problemas:

A) Los debidos a la incrustación de depósitos en el interior de los tubos y elementos.-

Si hierro, cobre o otras impurezas están disueltas en el agua de alimentación, su concentración se incrementa al alcanzarse la evaporación del agua y cuando llegan a su límite de solubilidad se separan y depositan sobre las superficies de calentamiento, formando incrustaciones.

Los depósitos que se forman en el interior de los tubos de generación causan el aumento de temperatura del metal de los tubos, y cuando estos exceden el límite permitido del material, podrá venir la falla del mismo.

Por otra parte el aumento del espesor de la incrustación, provocará también la disminución de la transferencia de calor efectuada sobre la superficie de los elementos.

B) Corrosión y abrasión en el interior de la caldera.-

Los materiales metálicos tiene como propiedad el llevar a cabo reacciones químicas y eléctricas que provocan la corrosión. Sujetan a los elementos a una acción oxidante, que puede llegar a provocar el oxido, y la desintegración de los mismos. Para minimizar tanto como sea posible la corrosión en la caldera, deberán mantenerse las cualidades propias de alcalinidad y oxígeno disuelto en el agua de alimentación y el agua de la caldera, dentro de los límites permisibles de diseño.

Existen dos tipos de corrosión que se encuentran en el interior de la caldera, una es la corrosión extendida ampliamente en algunas areas de las superficies de calentamiento y, la otra es la corrosión que se desarrolla puntualmente y por lo regular es profunda. Esta ultima es llamada " corrosión de foso", y causa concentración de esfuerzos que pueden llegar a la fractura del tubo.

Cuando el hierro esta sujeto a una corrosión alcalina se produce sodio férrico y se libera hidrógeno. Este hidrógeno penetra a través de la superficie del acero y provoca una descarbonización granular, que se refleja en la abrasión del metal.

II.- PROBLEMAS CAUSADOS EN LOS GENERADORES DE VAPOR POR LOS GASES DE COMBUSTION.-

Los aceites pesados generalmente contienen algunas cantidades de vanadio (V) y azufre (S). Cuando son arrastrados por los gases de combustión a través de la caldera, estos elementos atacan a la superficie del sobrecalentador, recalentador y precalentadores de aire, y tienen a causar corrosión sobre la superficie del metal. En el siguiente capítulo, este tema es más ampliamente tratado.

2.1.3.- ESPECIFICACIONES DEL GENERADOR DE VAPOR DE LA CENTRAL.-

- (1) Diseño de la caldera ... Mitsubishi-CE, Circulación Controlada, Recalentador R_2 diante, Hogar presurizado.
- (2) Presión de Vapor Diseño 204 kg-cm^2
Salida Sobrecalentador 175.9
Domo 188.3 kg/cm^2
Salida Recalentador 40.0 kg/cm^2
- (3) Temperatura de Vapor... Salida Sobrecalentador 540.6°C
Salida Recalentador 550.6°C
- (4) Temperatura Agua Alimentación
Entrada Economizador 248°C
- (5) Temperatura del Aire
Temperatura Ambiente 27°C
Entrada al Precalentador. 71°C
Salida del Precalentador. 301°C
- (6) Flujo de Vapor
Salida del Sobrecalentador....
 $1,026,000 \text{ Kg/HR}$
Entrada al Recalentador.....
 $922,500 \text{ Kg/HR}$
- (7) Sistema Combustible
Para gas natural o Aceite pesado (com bustoleo o Bunker 'C ') con quemadores tangenciales con inclinación.
- (8) Sistema Aire y Gases
Presurizado, con el uso de ventiladores de tiro forzado.
- (9) Control de la Temperatura de Vapor
Por medio de: Recirculación de Gases
Atomización para desobrecalentamiento.
Inclinación de quemadores
- (10) Arreglo General Domo de vapor
Domo de lodos
Pared de Agua
Sobrecalentador horizontal con pared enfriada por vapor, 3 secciones.
Recalentador tipo horizontal.
Economizador tipo espiral
Precalentadores Ljungstrom tipo vertical invertido.

2.2-. DESCRIPCION DEL SISTEMA AIRE-GASES.

El aire necesario para llevar a cabo la combustión - es tomado por dos ventiladores de tiro forzado (centrífugos, flujo radial, y aletas curvas positivas), los cuales descargan a un ducto colocado a ambos lados del generador de vapor. Ambos ductos se juntan posteriormente por medio de un ducto igualador de presión, que nos da la flexibilidad de operación en caso de falla de alguno de los ventiladores. Cada ventilador tiene compuertas tanto en la succión como en la descarga, siendo las primeras las que regulan el flujo de aire de entrada.

El aire pasa a continuación por los calentadores de aire con vapor donde su temperatura es aumentada para evitar condensaciones que dañen al precalentador regenerativo. Después del calentador los ductos tienen una derivación las cuales se unen y suministran el aire necesario - para los sellos de aire de las mirillas.

Los ductos principales continúan, llevando el aire a los precalentadores regenerativos (tipo Ljungstrom vertical invertido, compuesto por: 120 canastas calientes, 120 canastas intermedias, y 168 canastas frías; tamaño 27 1/2', y accionamiento por motor eléctrico o turbineta neumática en caso de falla), para elevar su temperatura y de allí - por medio de ductos, es llevado a la caja de aire del generador de vapor.

Antes de llegar a las cajas de aire, los ductos tienen un ducto de unión el cual conduce aire a la descarga del ventilador recirculador de gases que sirve como sello para mantenerlo a baja temperatura, cuando se pone fuera de servicio al tener cualquier condición operativa anor--

mal que afecte su correcto funcionamiento.

Tanto la entrada como la salida del precalentador regenerativo de aire cuentan con compuertas para su aislamiento (condiciones de lavado, amarre del precalentador, incendio, o cualquier otra condición operativa necesaria); así como la llegada de aire al ventilador recirculador de gases.

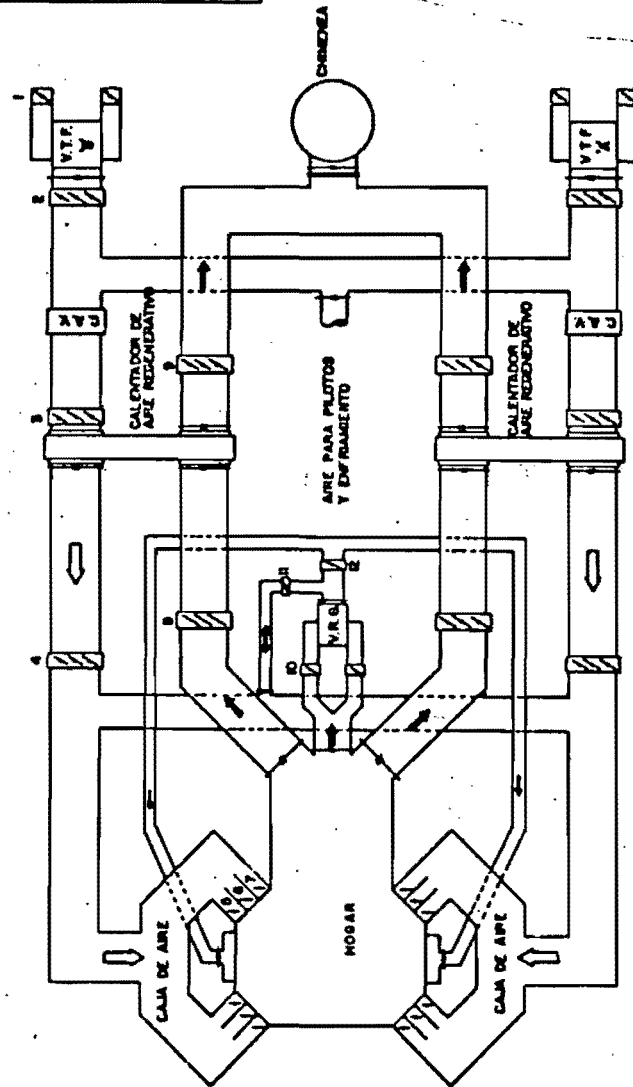
El aire interviene en la combustión la cual se efectúa en el hogar y ya como gases de combustión salen del generador de vapor después de haber pasado por los sobrecalentadores, el recalentador y el economizador subdividiéndose - los ductos; conduciendo una parte de los gases a la succión del ventilador recirculador de gases (centrífugo, flujo radial, y aletas curvas positivas), el cuál los toma y los descarga por medio de dos ductos a las partes inferiores respectivas del hogar del generador de vapor; y la otra parte es llevada a los precalentadores regenerativos en donde después de transferir parte de su calor salen rumbo a la chimenea, por donde son expulsados a la atmósfera.

La figura 2 mostrada a continuación nos refiere más claramente el circuito aire-gases del generador de vapor, detallado anteriormente.

Figura 5.- SISTEMA DE AIRE Y GASES.

SIMBOLOGIA	
	FLUJO DE AIRE
	FLUJO DE GASES
	VALVO VENTIL
	COMPONENTE

N O M B R E S	
1	V.T.F. COMPARTI M. DE ENTRADA
2	V.T.F. COMPARTI M. DE SALIDA
3	P.A.R. COMPARTI M. DE AIRE DE ENTRADA
4	P.A.R. COMPARTI M. DE AIRE DE SALIDA
5	COMPARTI M. DE AIRE PARA COMBUSTIBLE
6	COMPARTI M. DE AIRE PARA CALOR
7	CONTROL DE EXHAUSTO DE AIRE
8	C.A. COMPARTI M. DE GASES DE ENTRADA
9	C.A. COMPARTI M. DE GASES DE SALIDA
10	V.R.A. COMPARTI M. DE ENTRADA
11	V.R.A. COMPARTI M. DE CALENTAMIENTO
12	V.R.A. COMPARTI M. DE SALIDA



2.3-. DESCRIPCION DEL SISTEMA AGUA-VAPOR.

Del calentador No. 7 el agua de alimentación entra al cabezal de entrada del economizador, pasa después por los elementos de éste aumentando su temperatura al aprovechar el calor de los gases de salida del generador de vapor, y finalmente descarga en un cabezal de salida de donde el agua es conducida al domo superior, entrando por la parte inferior. El domo cuenta con cuatro válvulas de seguridad y con los elementos de instrumentación necesarios para la supervisión del nivel de agua.

Del domo superior y por la parte inferior del mismo se tienen cuatro tubos bajantes (downcomers) que se unen en un cabezal de donde está tomada la succión de las bombas de circulación forzada del generador de vapor (tipo centrífugo de una sola etapa). Estas bombas son dos y ayudan a que la circulación del agua a través del generador sea más efectiva optimizando así la transferencia de calor. Su motor se encuentra sumergido en agua destilada y es enfriada en un circuito exterior.

La descarga de las bombas de circulación forzada es doble y va al domo inferior donde es repartida a los cabezales inferiores de las tuberías de las cuatro paredes del generador. Estas tuberías son de vaporización y descargan en cabezales superiores, de donde el flujo se dirige al domo superior.

El vapor después de haber pasado por los secadores primarios, secundarios y, terciarios, sale del domo superior por varias tuberías que descargan en el cabezal de entrada de las paredes enfriadas por vapor. De aquí pasa por el cabezal de paredes "U", luego al cabezal de salida

de las paredes enfriadas por vapor, y posteriormente llega mediante cuatro tubos al cabezal de entrada de la sección de sobrecalentamiento.

El sobrecalentamiento se efectúa en tres etapas siendo estas, sobrecalentamiento de baja temperatura, sobrecalentamiento de temperatura intermedia y sobrecalentamiento de alta temperatura, contando con atemperadores que ayudan en el control de la temperatura del vapor dispuestos a las entradas de la segunda y tercera etapa de sobrecalentamiento. El agua necesaria para la atemperación es obtenida de la descarga de las bombas de agua de alimentación.

La disposición de los atemperadores a la entrada de los sobrecalentadores de temperatura intermedia y alta temperatura obedece a que el vapor que entra al sobrecalentador después de la atemperación sufre una disminución de temperatura, por lo que el material de que está hecho el sobrecalentador puede ser de acero de menor calidad que si no sufriera la atemperación en ese punto; además, si se pusiera la atemperación a la salida del sobrecalentador de alta temperatura cuando el vapor va directamente a la turbina, se corre el riesgo en una falla del control de enviar vapor saturado que nos dañaría el equipo.

A la salida del sobrecalentador de alta temperatura el vapor debe reunir las características necesarias de presión y temperatura para ser conducido hacia la turbina de alta presión, 170 Kg/cm^2 y 540°C .

La salida de la última etapa de sobrecalentamiento se efectúa por medio de dos tuberías de 14" colocadas a cada lado del generador de vapor, teniendo cada línea una válvula de seguridad, y una de ellas además, una válvula -

de seguridad electromagnética.

Del cabezal de entrada del sobrecalentador de alta temperatura y después de la atemperación está la salida de vapor auxiliar.

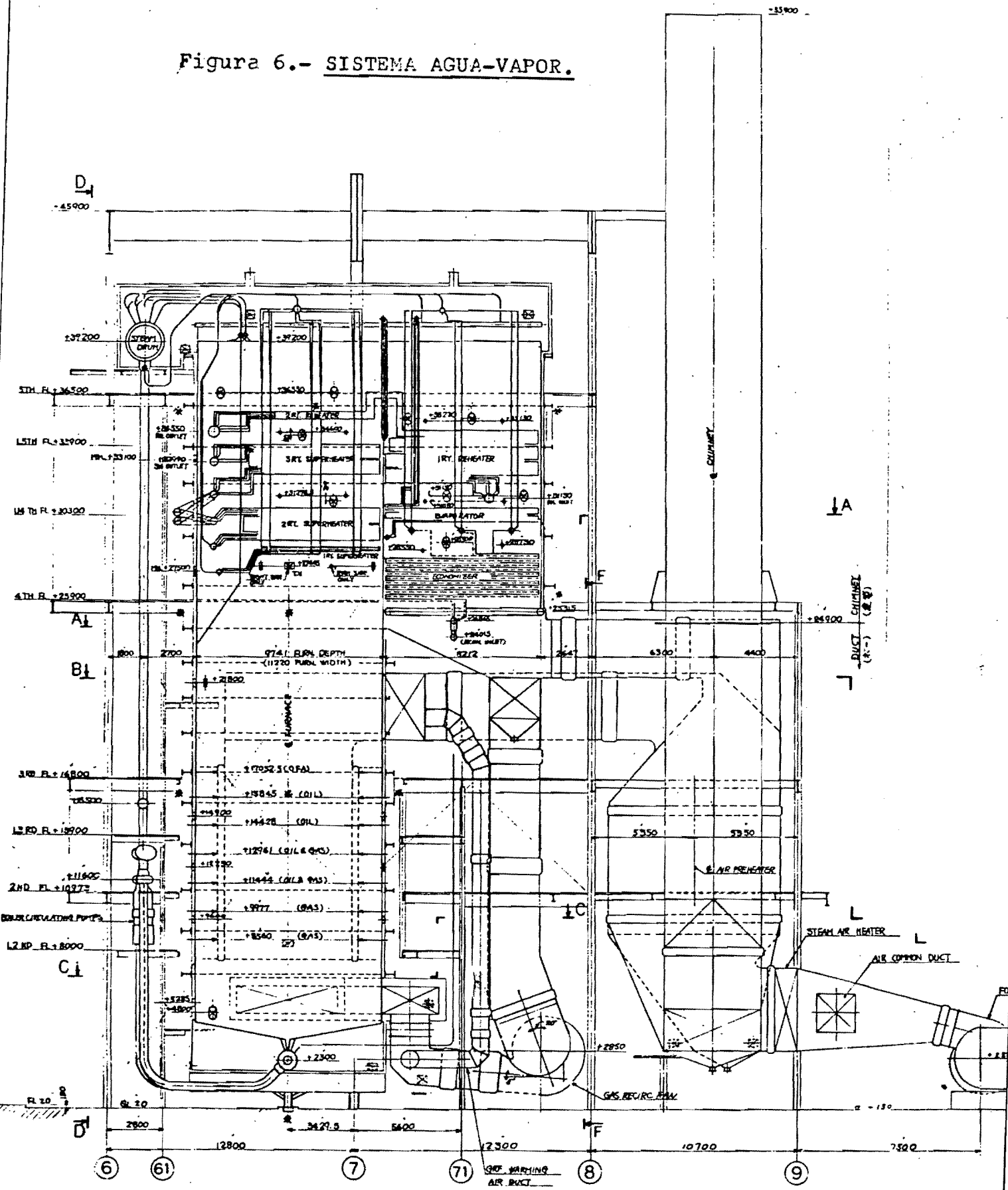
Todas las etapas de sobrecalentamiento cuentan con sus respectivas válvulas de purga y venteos que descargan al tanque de purgas.

Después de haber trabajado el vapor en la turbina de alta presión retorna al generador de vapor como recalentado frío por medio de dos líneas de 20" las cuales se unen en un cabezal a la entrada del recalentador teniendo atemperación por medio de agua tomada de un paso intermedio de la bomba de agua de alimentación. Cada línea posee dos válvulas de seguridad.

En el recalentador la temperatura es elevada nuevamente a 540°C. Efectuado el recalentamiento, todos los elementos del recalentador descargan en un cabezal de salida el cual tiene dos líneas de 20" para conducir el vapor recalentado caliente hacia la turbina de presión intermedia No. 1.

A continuación se muestra el diagrama del sistema agua-vapor de la central, en la figura 3.

Figura 6.- SISTEMA AGUA-VAPOR.



CAPITULO III.- EFECTOS DE LAS IMPUREZAS DEL COMBUSTIBLE.

El fenómeno de combustión es el aspecto primario en el diseño de calderas y afecta en una u otra forma a los demás procesos que tienen lugar, como por ejemplo, la --- transferencia de calor, resistencia estructural, contaminación, materiales, etc. Su influencia no solo comprende la parte de diseño, sino también la operación y mantenimiento.

El proceso real de combustión no puede ser descrito con las reacciones químicas de oxidación ya que éstas solo marcan el estado inicial y final en el sistema; en realidad un número grande de reacciones intermedias en que a parecen transformaciones con velocidades grandes que producen inestabilidades intermedias caracterizan el proceso de combustión desde el punto de vista de desarrollo como: velocidad, aportación de calor, elementos que frenan la - reacción, etc.

El combustible es la materia prima a base de la cual se genera la energía eléctrica en la central. Se denominan combustibles, como se sabe, sustancias de las que, al -- quemarse se desprende una gran cantidad de calor.

Todos los tipos de combustibles, sólidos, líquidos - y gaseosos, por mucho que se diferencien unos de otros en su aspecto y estado exterior, son de por sí la combinación química de los mismos elementos: Carbono (C), Hidrógeno (H), Oxígeno (O), Nitrógeno (N) y, Azufre (S). Además cada combustible contiene ceniza, humedad, y algunas otras sustancias ignífugas catalogadas como impurezas del combustible.

Estas impurezas también se les denomina como lastre del combustible, debido a que además de no participar activamente en el proceso de combustión aumentan considerablemente el peso del combustible que llega a la central y de los productos de combustión (ceniza, escoria, vapores de agua, y gases) que es preciso extraer del hogar.

Realizando un análisis químico del Combustóleo (Bunker C o aceite No. 6) que es el combustible empleado en las Centrales Termoeléctricas de 300 MW, encontramos los siguientes elementos:

.Densidad °API a 60°F	11.6 a 12.4
.Viscosidad S.S.F. a 122°F	330 a 380
.Poder Calorífico Superior cal/kg	9,900 a 10,200
.Poder Calorífico Inferior cal/kg	9,000 a 9,500
.Contenido de Carbono %	83 a 87
.Contenido de Hidrógeno %	10 a 18
.Contenido de Nitrógeno %	0.3 a 0.4
.Contenido de Azufre %	3.2 a 3.6
.Temp. de inflamación °C	72 a 74
.Contenido de Vanadio ppm	200 a 230
.Contenido de Sodio ppm	3,000 a 3,500
.Contenido de Níquel ppm	50 a 60
.Contenido de Cobre ppm	1.0 a 1.100
.Contenido de Fierro ppm	7.5 a 7.9
.Contenido de Magnesio ppm	5.000 a 5.070
.Contenido de Potasio ppm	4.650 a 4.850
.Agua %	1.8 a 2.4
.Sedimentos y Agua %	0.2 a 0.4
.Cenizas Totales %	0.08 a 0.12
.Asfaltenos %	13.8 a 16.0

Cuando se tiene una combustión completa se tienen los siguientes productos en los gases de combustión: Bioxido de Carbono (CO_2), Oxígeno (O_2), Nitrógeno (N_2), vapor de Agua (H_2O), Anhídrido Sulfuroso (SO_2), cenizas y escoria.

El Bióxido de Carbono, Oxígeno, Nitrógeno, y vapor de agua, son eliminados a la atmósfera a través de la chimenea. El anhídrido sulfuroso obtenido de la combustión del Azufre en el hogar, cuando se combina con el vapor de agua de los gases de escape productos de la combustión se transforma en ácido sulfúrico (H_2SO_4), y a una temperatura de 140°C alcanza su límite de saturación precipitandose como rocío que humedece las superficies de intercambio de calor de los elementos finales del generador de vapor (precalentadores regenerativos y ductos de salida) volviendolos susceptibles a un ataque por corrosión muy severo. Esta acción es también denominada corrosión a baja temperatura.

Las cenizas arrastradas por los gases de la combustión a grandes velocidades, motiva el desgaste mecánico (abrasión) de las superficies de calentamiento a lo largo de todos los elementos del generador de vapor. La que va a parar a la atmósfera se sedimenta en un gran espacio alrededor de la central, contaminando el aire y el territorio circundante.

Finalmente, la escoria, que comprende a todos los materiales minerales sólidos residuales (Sodio, Níquel, Cobre, Fierro, Magnesio, Potasio, y Asfaltenos) en combinación con el Vanadio (V), forman un compuesto con bajo punto de fusión debido a la dilatación y aumento de su velocidad molecular en el proceso de combustión, que ataca la superficie

del metal en los elementos del sobrecalentador y recalentador del Generador de vapor, provocando una alta corrosión. Este tipo de corrosión es la llamada a "altas temperatu---ras".

Generalmente ocurre cuando la temperatura del metal - se encuentra entre 620 y 650 °C o por encima de estos valores, y aumenta en razón directa a los incrementos de temperatura. Esta es una de las razones por los cuáles se res---tringe que la temperatura de vapor en la caldera exceda de los límites permisibles de diseño, y concentra todos los esfuerzos para la adecuada ubicación de las superficies de - calentamiento en la zona de alta temperatura de los gases.

CAPITULO IV.- MEDIDAS DE PREVENCION DE LA ACCION DE LAS IMPUREZAS DEL COMBUSTIBLE.

FUNDAMENTALMENTE SE PRACTICAN LAS SIGUIENTES MEDIDAS - PREVENTIVAS CONTRA LOS EFECTOS CAUSADOS POR LAS IMPUREZAS - DEL COMBUSTIBLE SOBRE LOS ELEMENTOS DEL GENERADOR DE VAPOR, LAS CUALES SON:

- CONTROL DE LA TEMPERATURA DE LOS GASES DE ESCAPE.
- LAVADO DE LOS PRECALENTADORES REGENERATIVOS.
- UTILIZACIÓN DE MATERIALES RESISTENTES A LA CORROSIÓN.
- Uso DE ADITIVOS.

CONTROL DE LA TEMPERATURA DE LOS GASES DE ESCAPE.-

ES LLEVADO A CABO POR MEDIO DEL AUMENTO DE LA TEMPERATURA DEL AIRE DE ENTRADA AL GENERADOR DE VAPOR NECESARIO PARA LA COMBUSTIÓN. PARA ESTO SON UTILIZADOS LOS CALENTADORES DE AIRE CON VAPOR, LOS CUALES INCREMENTAN LA TEMPERATURA -- DEL AIRE DE ENTRADA PARA LA COMBUSTION.

EL GENERADOR DE VAPOR CUENTA CON DOS CALENTADORES DE - AIRE CON VAPOR, INSTALADOS, UNO EN CADA DUCTO DE AIRE, EN-- TRE LA DESCARGA DE LOS VENTILADORES DE TIRO FORZADO Y LOS - PRECALENTADORES DE AIRE REGENERATIVO TIPO LJUNGSTROM, Y TIENEN COMO FINALIDAD PROTEGER A ÉSTOS ÚLTIMOS DE LA CORROSIÓN PRODUCIDA POR LA FORMACIÓN DE ÁCIDO SULFÚRICO A PARTIR DEL AZUFRE CONTENIDO EN LOS GASES DE COMBUSTIÓN AL QUEMARSE EL COMBUSTÓLEO, YA QUE AL DESCENDER LA TEMPERATURA DE ELLOS POR EFECTO DEL INTERCAMBIO DE CALOR DE LOS GASES CON EL AIRE, - SE CONDENSAN SOBRE LOS ELEMENTOS DEL LADO FRÍO DEL PRECALENTADOR REGENERATIVO Y LOS CORROE, POR LO QUE EL CALENTADOR - DE AIRE CON VAPOR PROTEJE AL LJUNGSTROM EVITANDO QUE LA TEMPERATURA DE LOS GASES DESCIENDA HASTA EL PUNTO DE ROCÍO DE LOS VAPORES DE ÁCIDO, APROXIMADAMENTE 140⁰ C.

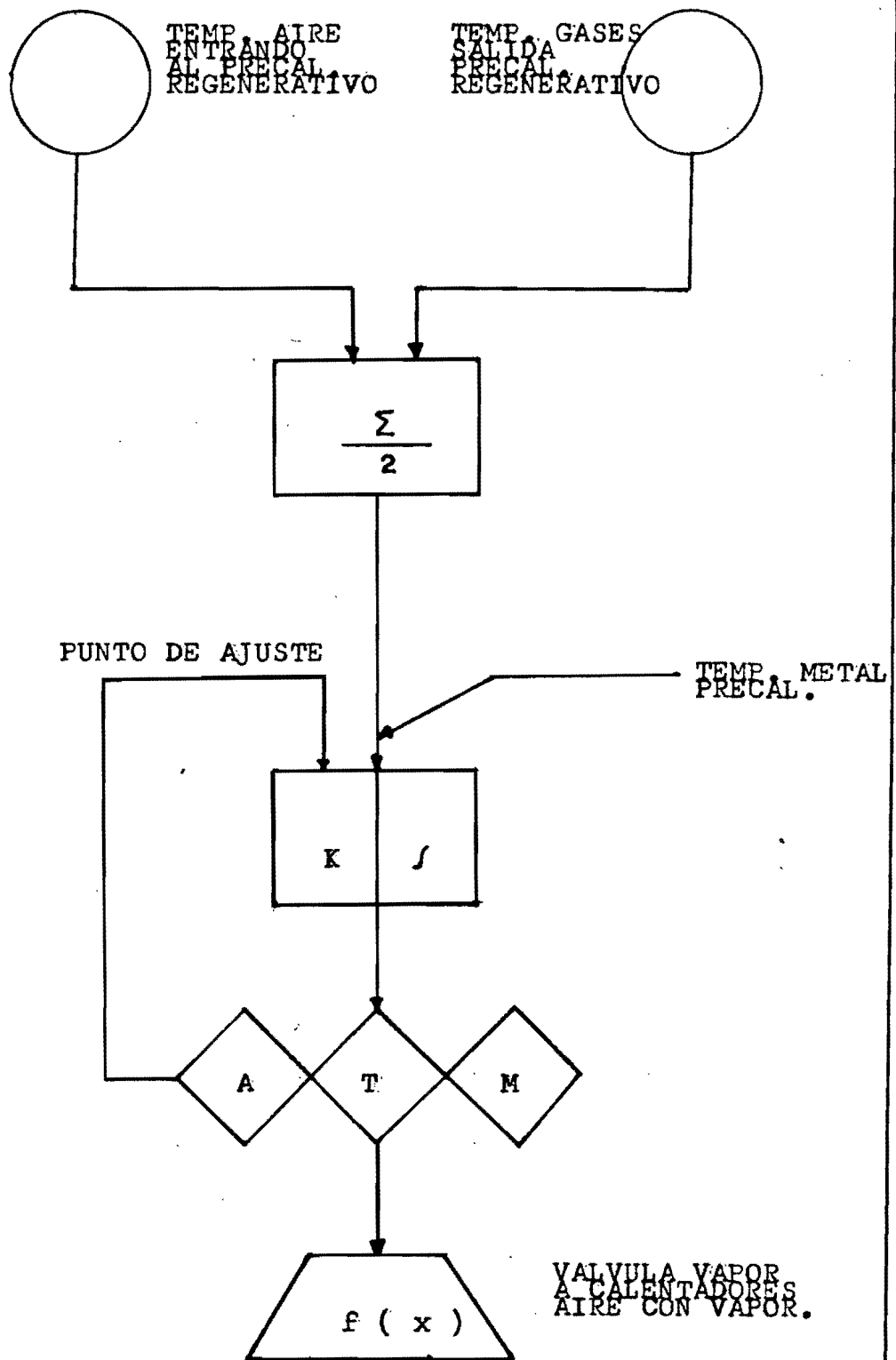
DURANTE EL ARRANQUE Y ANTES DE QUE LA PRESIÓN DE LA EXTRACCIÓN No. 5 ALCANCE UNA PRESIÓN DE 6.4 KG/CM² SE ABASTECE DE VAPOR AL CALENTADOR CON VAPOR AUXILIAR, Y LA VÁLVULA DE

CONTROL REGULA LA PRESIÓN DE 6.4 KG/CM². CUANDO LA CARGA SE INCREMENTA Y LA PRESIÓN DE LA EXTRACCIÓN No. 5 EXCEDE DEL VALOR ANTES MENCIONADO, SE CAMBIA EL SUMINISTRO DE VAPOR AL CALENTADOR, DEL VAPOR AUXILIAR A LA EXTRACCIÓN No. 5.

EN AMBOS CASOS EL CONTROL DE TEMPERATURA DE LOS GASES DE ESCAPE, ES LLEVADO A CABO DE LA SIGUIENTE MANERA: LAS SEÑALES DE TEMPERATURA DE AIRE ENTRANDO AL PRECALENTADOR REGENERATIVO Y LA DE LOS GASES DE SALIDA DEL PRECALENTADOR REGENERATIVO SON TOMADAS E INTRODUCIDAS A UN PROMEDIADOR. LA SEÑAL DE SALIDA DEL PROMEDIADOR AUNADA A LAS DE TEMPERATURA DEL METAL DEL PRECALENTADOR REGENERATIVO (LADO FRÍO) Y LA DEL PUNTO DE AJUSTE SON AUMENTADAS EN GANANCIA Y FILTRADAS AL PASAR POR UN ELEMENTO PROPORCIONAL MÁS INTEGRAL, Y POSTERIORMENTE LLEGAN A UNA ESTACIÓN DE TRANSFERENCIA MANUAL-AUTOMÁTICA DONDE SON COMPARADAS PARA QUE EN EL CASO DE EXISTIR CUALQUIER DESVIACIÓN SEA MODIFICADA LA SEÑAL DE LA VALVULA DE VAPOR A LOS CALENTADORES DE AIRE CON VAPOR.

A CONTINUACIÓN SE MUESTRA EL DIAGRAMA DE CONTROL ANTERIORMENTE REFERIDO.

Figura 7--. DIAGRAMA DE CONTROL DE LA TEMP. GASES DE ESCAPE.



ESTE CONTROL TIENE UNA LIMITANTE MUY BAJA QUE SE PUEDE LOGRAR CON RESPECTO AL AUMENTO DE LA TEMPERATURA DEL AIRE - DE ENTRADA AL PRECALENTADOR REGENERATIVO LJUNGSTROM POR MEDIO DEL USO DE LOS CALENTADORES DE AIRE CON VAPOR; Y LA -- CUAL ES QUE EL RANGO MÁXIMO DE TEMPERATURA OBTENIDA ES DE - 70 A 95° C, DEPENDIENDO DEL CLIMA Y LUGAR DE UBICACIÓN DE - LA CENTRAL.

LA SIGUIENTE TABLA NOS MUESTRA LAS TEMPERATURAS SEGU-- RAS DE OPERACIÓN DE PRECALENTADORES DE AIRE REGENERATIVOS - LJUNGSTROM PARA EVITAR DAÑOS EN LOS SELLOS Y ELEMENTOS IN-- TERCAMBIADORES DE CALOR LADO FRIO, EN BASE A LAS TEMPERATU-- RAS DEL AIRE DE ENTRADA A LOS MISMOS OBTENIDAS POR EL USO - DE LOS CALENTADORES DE AIRE CON VAPOR.

TABLA II

Temp. gas entrada	Temp. máx. salida de gas	Temp. entrada aire 10° C		Temp. entrada aire 37° C	
		Temp. mín. salida de aire	Temp. máx. salida de aire	Temp. mín. salida de aire	Temp. máx. salida de aire
205° C	175° C	37° C	95° C	65° C	120° C
235° C	175° C	65° C	120° C	95° C	150° C
260° C	175° C	95° C	150° C	120° C	175° C
285° C	175° C	120° C	175° C	150° C	205° C
315° C	175° C	150° C	205° C	175° C	235° C
345° C	175° C	175° C	235° C	205° C	260° C
370° C	175° C	205° C	260° C	235° C	285° C
400° C	175° C	235° C	285° C	260° C	315° C

Temp. entrada aire
65° C

Temp. mín. salida de aire	Temp. máx. salida de aire
---------------------------------	---------------------------------

95° C	150° C
120° C	175° C
150° C	205° C
175° C	235° C
205° C	260° C
235° C	285° C
260° C	315° C
285° C	345° C

LAVADO DE LOS PRECALENTADORES REGENERATIVOS.-

Los precalentadores regenerativos Ljungstrom están sujetos a un ensuciamiento continuo. Las partículas de gas procedentes de la combustión tienden a depositarse en los espacios entre las láminas de las canastas, reduciendo el área efectiva para el paso del aire y disminuyendo la capacidad del generador de vapor por limitaciones en la cantidad de aire requerido y por la alta presión en el hogar de la caldera.

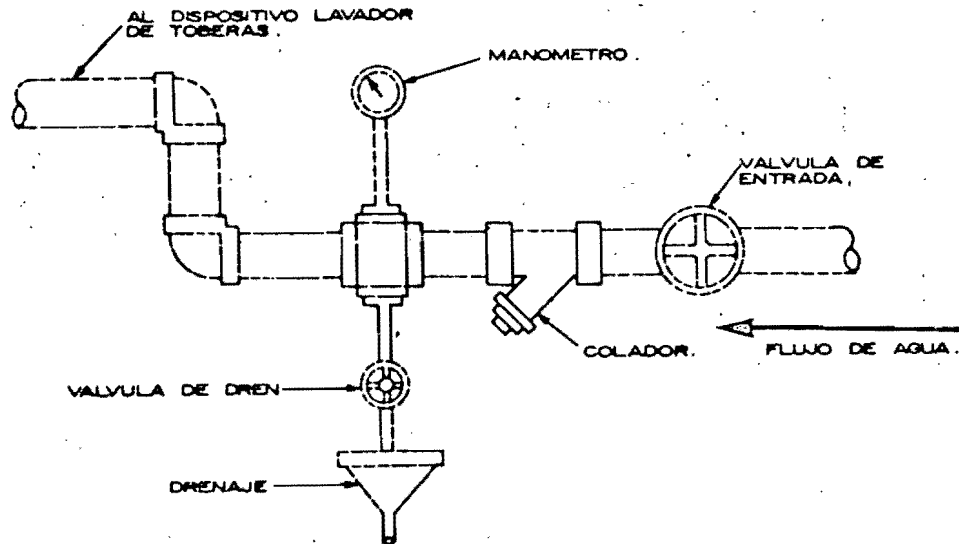
Cuando las condiciones de suciedad empiezan a ser importantes la carga de la unidad tendrá que derratearse y deberá ejecutarse el lavado de los precalentadores regenerativos Ljungstrom, para poder continuar suministrando la demanda de energía que el sistema Nacional requiera.

El lavado se realiza con los precalentadores aislados o fuera de servicio. Se tienen líneas de lavado con toberas estacionarias en ambos extremos del precalentador, así como sus respectivas líneas de drenaje para desalojar el agua de lavado y los sólidos removidos. El agua necesaria para el lavado es suministrada del sistema contra incendio de la central con una presión de 8 kg/cm^2 y es calentada por medio de una válvula mezcladora con vapor auxiliar. Además se le inyecta sosa cáustica para remover más fácilmente los depósitos acumulados. Durante toda la operación se mantiene una temperatura de 50°C de entrada de la mezcla a las toberas de lavado y un muestreo continuo en el drenaje para mantener un PH de 7.0

El lavado de los precalentadores regenerativos Ljungstrom reduce también la posibilidad de incendio de los mismos al eliminar también el material combustible acumulado

en las láminas de las canastas.

A continuación en la figura 8, es mostrado el arreglo sugerido de tuberías para el dispositivo de lavado.



NOTA:
LA TUBERIA DE ENTRADA DEBERA ESTAR A UN NIVEL MAS BAJO
QUE EL DISPOSITIVO DE LAVADO

Figura 8.- ARREGLO SUGERIDO PARA EL
DISPOSITIVO DE LAVADO

UTILIZACION DE MATERIALES RESISTENTES A LA CORROSION.-

El uso de materiales especiales resistentes a la corrosión en los elementos de calentamiento de los precalentadores regenerativos Ljungstrom, es otra de las alternativas que pueden ser usadas como medida de prevención de los efectos de las impurezas del combustible.

Generalmente solo se contempla las secciones de baja temperatura, o sea, la sección de canastillas frías. El material empleado para su fabricación es el acero "Corten" en calibre # 18, que es de exportación. Este acero solo se

puede conseguir en países industrializados con alta tecnología, y por lo anterior su precio es bastante elevado, en razón de 6 a 1 con el material normalmente usado que es el Acero al Carbón.

Deberá realizarse un estudio económico adecuado que justifique su uso, en base al tiempo de vida de las canastillas o alguna otra medida de prevención. En la siguiente figura 9, es dado el rango operativo adecuado de los precalentadores dependiendo de los materiales de sus componentes y del % de azufre contenido en el combustible.

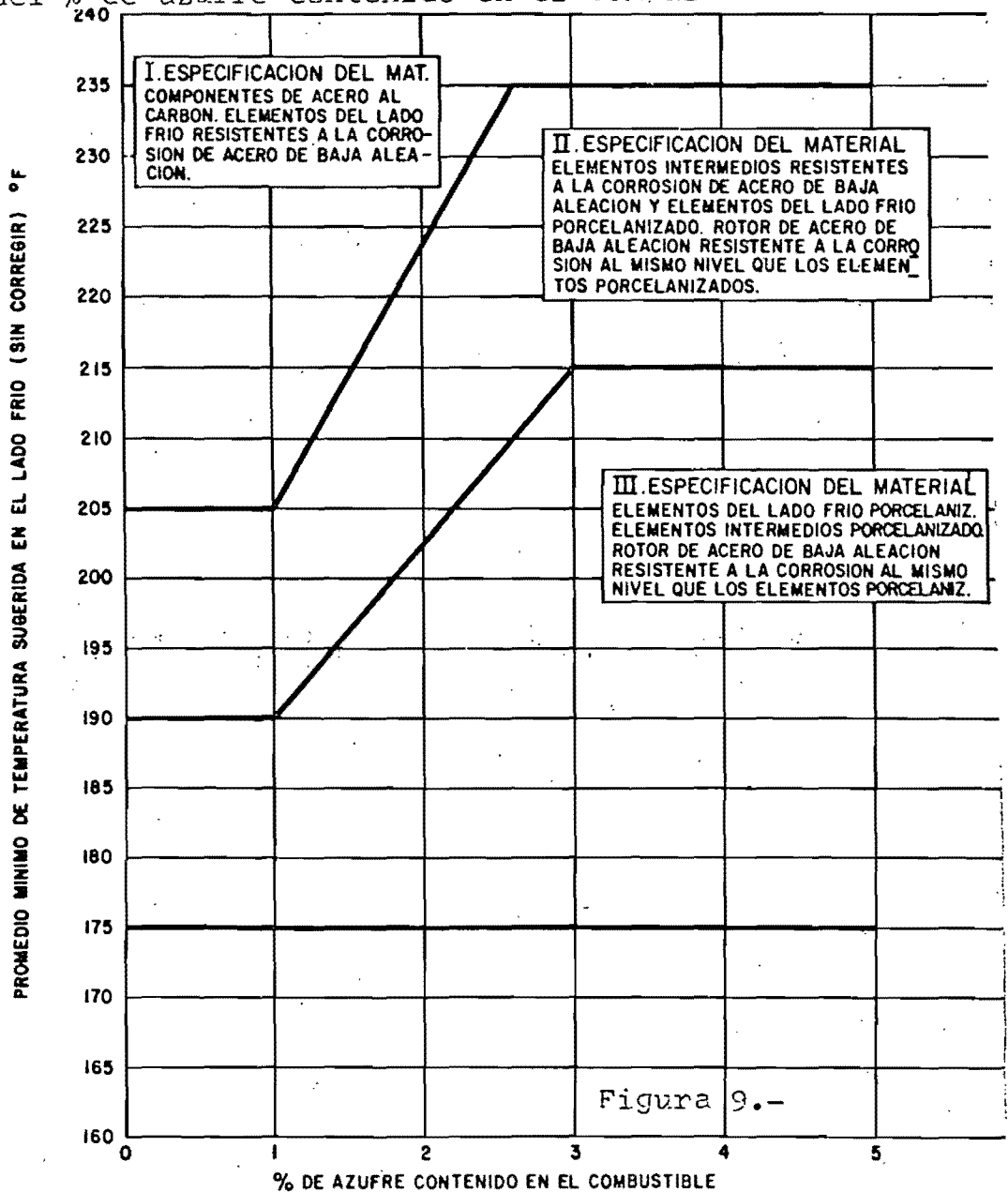


Figura 9.-

USO DE ADITIVOS.-

Esta medida de prevención es de reciente aplicación - en las centrales termoeléctricas; su característica primordial es la eliminación del vanadio (V) contenido como elemento residual en el combustóleo, por medio de su reacción con el uso de aditivos de magnesio (Mg).

El óxido de magnesio (MgO) reacciona con el vanadio en forma de vanadatos, vanadil-vanadatos, y pentavanadatos, evitando que se forme el compuesto de los elementos residuales y el vanadio, y disminuyendo con ello en forma considerable la corrosión a alta temperatura que afecta a los elementos del sobrecalentador y recalentador de la caldera.

La relación de mezcla en peso del magnesio al vanadio deberá ser ajustada a un valor mayor de 3.0. Si el valor contenido del vanadio en el combustible es menor de 2 ppm, el aditivo de magnesio no es necesitado. En la central la relación de mezcla con el combustóleo es de 1 litro de aditivo por cada 3,000 litros de combustóleo.

La inyección del aditivo al combustóleo se realiza a la salida de los calentadores principales de combustible y antes de la llegada a la válvula de control de suministro a los cabezales de los quemadores.

Otra característica considerable del uso de los aditivos, es que eleva la temperatura de salida de los gases por arriba del punto de rocío ya que aumenta la temperatura de reacción de la combustión y, con ello reduce la corrosión a baja temperatura que se produce en los elementos finales de calentamiento de los precalentadores regenerativos Ljungstrom.

CARGOS FIJOS.

Depreciación del equipo y edificios (costo 75,000'000,000.- a 30 años)	\$ 2,500.-
Costo Capital (Financiamiento 8%)	<u>6,000.-</u>
TOTAL CARGOS FIJOS	\$ 8,500.-

GASTOS DE ADMINISTRACION.

(0.5 % del total del ingreso)	<u>\$ 1,281.-</u>
*****TOTAL GASTOS*****	\$ 24,866.-

REMANENTE DE INGRESOS \$ 757.-

CASO II

ESTIMADO DE INGRESOS Y GASTOS.

INGRESOS.

Millones de pesos

Venta de energía eléctrica Anual	
F.P. = 68.4% 1,797,960 MW	
X \$ 13,000.00 MW/HR	<u>\$ 23,373.-</u>
TOTAL INGRESOS	\$ 23,373.-

GASTOS DE OPERACION.

Consumo de combustible Anual	
MW x .3967 (factor cond. anormales)	
713,250 M ³	
X \$ 9,280.00 M ³	\$ 6,619.-
Consumo de gas Anual (1% comb.)	
7,132.5 M ³	
X \$ 10,500.00 M ³	75.-
Mano de obra directa	
(\$3,500.- x 24 hr x 365 d x 50 pers.)	1,533.-
Prestaciones Mano de Obra Directa (70%)	1,073.-

Refacciones estimadas para reparación y mantenimiento del equipo (20% ingreso)	4,674.-
Herramental (1% ingreso)	<u>233.-</u>
TOTAL GASTOS DE OPERACION	\$ 14,207.-

CARGOS FIJOS.

Depreciación del equipo y edificios (costo 75,000'000,000 a 30 años)	\$ 2,500.-
Costo Capital (Financiamiento 8%)	<u>6,000.-</u>
TOTAL CARGOS FIJOS	\$ 8,500.-

GASTOS DE ADMINISTRACION.

(0.5% del total del ingreso)	<u>\$ 1,169.-</u>
TOTAL GASTOS ADMON.	\$ 1,169.-

GASTOS DE REPARACION NO PROGRAMADA.

(8% del valor de refacciones esti- madas para reparación y mantto. del equipo)	<u>\$ 374.-</u>
*****TOTAL GASTOS *****	\$ 24,250.-

REMANENTE DE INGRESOS - \$ 877.-

De los estados estimados de ingresos y gasos mostrados anteriormente se observa que se tiene un decremento de carga de la unidad debido a los efectos de corrosión a baja temperatura, y que acarrea consigo un déficit de energía no producida de 173,040 MW dejando de percibirse por el solo concepto de cobro \$ 2,249'000,000.-.



DEFFI

C O N C L U S I O N E S

El hablar de un problema como es el de la corrosión a altas y bajas temperaturas involucra además del punto de vista económico, un sinnúmero de repercusiones técnicas y humanas; cuyo objetivo final no solo deberá ser centralizado sobre la solución o corrección de las medidas de prevención para la acción de las impurezas del combustible, sino que también deberán buscarse las causas reales que provocan el fenómeno por medio de un análisis exhaustivo del Generador de Vapor de la Central.

El hecho de juzgar a priori, puede no representar realmente el problema existente; deberán checarsse la eficiencia del generador y sus pérdidas, así como los informes metalográficos de las inspecciones visuales practicadas durante su mantenimiento por personal del Laboratorio de C.F.E.; y en base a ello asegurar la focalización, ya sea por el lado del uso inadecuado de las medidas de prevención o, ya sea por la existencia de algún o algunos problemas de combustión.

En el caso particular de esta Central tenemos los siguientes reportes:

--** EFICIENCIA DEL GENERADOR Y SUS PERDIDAS **__

BALANCE Y EFICIENCIA TERMICA DE LA CALDERA DE LA UNIDAD 3

--ANALISIS QUIMICO DEL COMBUSTIBLE--

	% EN MASA
CARBONO.....	82.66
HIDROGENO.....	10.76
OXIGENO.....	0
NITROGENO.....	.35
AZUFRE.....	3.46
AGUA.....	2.4
CENIZAS.....	10
COMBUSTIBLE EN CENIZAS..	0

--ANALISIS DE ORSAT--

	% EN VOLUMEN
OXIGENO.....	1.6
MONOXIDO DE CARBONO.....	1.2
BIOXIDO DE CARBONO.....	14.8
NITROGENO.....	82.4

--DATOS OPERATIVOS DE LA UNIDAD CON LA CARGA DE 225 MW

GASTO DE COMBUSTIBLE.....	54894	KG/HR
TEMPERATURA GASES DE ESCAPE.....	158	GRADOS CENT.
TEMPERATURA COMB. ENTRADA.....	135	GRADOS CENT.
TEMPERATURA AIRE DE ENTRADA.....	270.5	GRADOS CENT.
HUMEDAD ESPECIFICA DEL AIRE.....	.02	KG VAPOR/KG AGUA
PODER CALORIFICO SUPERIOR.....	41820.27	KJ/KG
PODER CALORIFICO INFERIOR.....	39443.84	KJ/KG
GASTO DE CENIZAS.....	90	KG/HR

--RESULTADOS OBTENIDOS--

GASTO DE COMBUSTIBLE RECHAZADO.....	9	KG/HR
GASTO DE COMBUSTIBLE NO QUEMADO.....	3402.47853	KGM/HR
GASTO DE GASES SECOS.....	723593.767	KG/HR
GASTO DE AIRE TEORICO.....	734158.724	KG/HR
EXCESO DE AIRE.....	4.78128179	%
GASTO DE AIRE REAL.....	709834.207	KG/HR
PERDIDA POR GASES SECOS.....	-81404298.8	KJ/HR
PERDIDA POR HUMEDAD DEL COMBUSTIBLE..	297425705	KJ/HR
PERDIDA POR FORMACION DE AGUA.....	120011272	KJ/HR
PERDIDAS POR HUMEDAD DEL AIRE.....	-3141548.74	KJ/HR
PERDIDAS POR COMBUSTION INCOMPLETA..	134206819	KJ/HR
PERDIDAS POR COMBUSTIBLE RECHAZADO..	376392.43	KJ/HR
PERDIDAS POR RADIACION.....	7012114.96	KJ/HR
PERDIDAS TOTALES.....	474486445	KJ/HR

EFICIENCIA TERMODINAMICA DE LA CALDERA

78.0860966 %

--** REPORTE METALOGRAFICO **--

Zona del hogar.- Fugas en pared lateral Sur con el orificio - en el centro y dirección hacia el lado de gases. Las paredes de los tubos con falla presentan un adelgazamiento progresivo en su espesor.

Refractario del piso levantado.

Paneles de quemadores con daños por sobrecalentamiento, en mayor proporción en la esquina 4 (lado sur).

Toberas de aire a pilotos deformadas por sobrecalentamiento.

Pared baffle con depósitos irregulares de hasta 30 mm de espesor con consistencia dura y adherencia fuerte; el color de la escoria es negro brillante.

Zona SH primario, secundario, y terciario.- Parte inferior del SH primario contiene gran cantidad de depósitos de consistencia muy dura y de una gran -- adherencia al tubo alcanzando hasta 50 mm de espesor. Se observan también picaduras sobre todos sus elementos y con mayor densidad hacia el lado sur.

La apariencia de los SH secundario y terciario es igual a la del primario.

Zona de RH primario y secundario.- Con iguales características a la zona anterior.

Zona del Economizador.- Relativamente limpia, sin presentar - daño alguno.

Zona de Ductos de Aire y Gases.- Las juntas de expansión se - encuentran con grandes depósitos en su parte inferior.

Sus elementos en buenas condiciones.

Zona de Precalentadores Regenerativos.- El lado de las canastillas intermedias completamente destruidas por corrosión.

De lo anterior podemos desprender que el problema que se tiene es debido fundamentalmente a la Combustión y no al uso inadecuado de las medidas preventivas contra las impurezas del combustible. Por lo tanto se deberá de realizar el ajuste de los siguientes puntos en base a los datos anteriormente mostrados:

- Verificación y corrección de las toberas, fichas, y posición de los quemadores de combustóleo.
- Verificación y corrección de la temperatura del hogar en la zona radiante.
- Corrección del exceso de la atemperación primaria y secundaria en la zona de Sobrecalentadores.
- Medición periódica de las temperaturas y velocidades en los ductos de aire y gases, para la detección de problemas de taponamientos.
- Monitoreo Continuo de la eficiencia de la Caldera y sus pérdidas a diferentes cargas, por medio del Análisis de Orsat a frecuencias periódicas cortas.
- En caso de lavado de los precalentadores regenerativos tipo Ljungstrom, se deberá realizar análisis continuo de acidez hasta dejarla neutra completamente.

La atención y cuidado prestado a cada uno de los puntos anteriores vendrá a redituar en una mayor optimización de la eficiencia del Generador de Vapor de la Central, y consecuentemente un costo más bajo de Generación por KW/ HR producido.

En el caso que las correcciones no puedan ser realizadas inmediatamente, deberá pensarse la posibilidad de reducir carga para la protección de los elementos del Generador y el trabajo del mismo dentro de los rangos de operación permisibles.

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

- INTRODUCCION A LAS CENTRALES TERMoeLECTRICAS. G.Y.JOLODOVSKY. NUEVOS MANUALES TECNICOS. EDITORIAL LABOR.

- / INSTRUCTIVOS OPERATIVOS. CENTRO DE ADIESTRAMIENTO DE OPERADORES DE CENTRALES TERMoeLECTRICAS IXTAPANTONGO.CFE.

- MANUAL DE INSTRUMENTACION Y CONTROL DE CENTRALES TERMoeLECTRICAS. CELAYA, GTO. CENTRAL ESCUELA CFE.

- / STEAM GENERATOR. REFERENCE MANUAL.RIO BRAVO, POWER PLANT MITSUBISHI. TOMO 1A-I.

- THE NATURE OF HEAT. FUEL AND COMBUSTION. AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE.

- / TECNICAS DE ANALISIS ECONOMICO EN INGENIERIA. WHITE, --- AGEE AND CASE. EDITORIAL LIMUSA.

- PETROLEUM REFINERY ENGINEERING. NELSON. ED. MC GRAW HILL.