



D-10757



T
621184
L579
C.2



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería Mecánica



"MODIFICACION DE CALDERAS EN EL INGENIO SAN CARLOS"

INFORME TECNICO

Previo a la Obtención del Título de

INGENIERO MECANICO

Presentado por:

Carlos Stanley León Vanegas



Guayaquil

-

Ecuador

**Año
1991**

AGRADECIMIENTO

Al Ing. IGNACIO WIESNER,
Director de Informe
Técnico, por su valiosa y
desinteresada ayuda para
la elaboración del
presente informe.

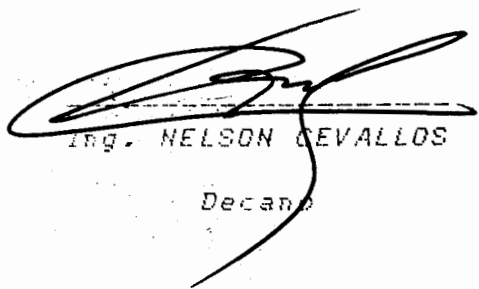
DEDICATORIA

A mi abuelo ALFONSO VANEGAS

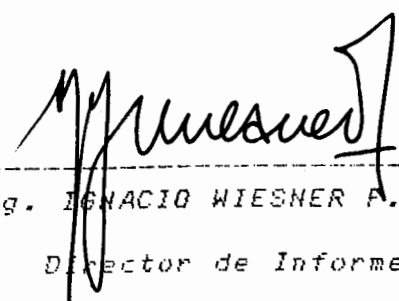
A MI MADRE

A MI ESPOSA

A MIS HERMANOS



Ing. NELSON CEVALLOS
Decano



Ing. IGNACIO WIESNER P.
Director de Informe



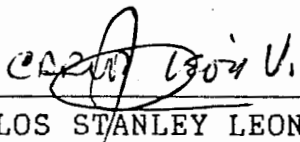
Ing. FRANCISCO ANDRADE
Miembro del Tribunal

DECLARACION EXPRESA

DECLARO QUE:

"Este Informe Técnico corresponde a la resolución de un problema práctico relacionado con el perfil profesional de la Ingeniería Mecánica".

(Reglamento de Graduación mediante la elaboración de Informes Técnicos).


CARLOS STANLEY LEON VANEGAS

RESUMEN

El Ingenio San Carlos ubicado en la parroquia Marcelino Maridueña, es una empresa agro-industrial que siembra caña de azúcar, la procesa y obtiene azúcar para consumo nacional.

En el procesamiento de la caña de azúcar la principal fuente de energía es el vapor generado por calderas que utilizan como combustible el bagazo de la caña. En 1962 tratando de mejorar la calidad del vapor la empresa contrató la instalación de 2 supercalentadores de vapor en las calderas S-9966 y S-9670. pero no es sino hasta 1972 en que instalan medidores de flujo entre otros instrumentos, que se constata la baja producción de estas calderas.

Revisé la documentación y encontré que los supercalentadores tenían varios tubos menos, esto desde su instalación. por lo que decidí sacar vapor saturado desde el domo superior-posterior y mezclándolo con el vapor recalentado por medio de una tubería de 3 pg de diámetro, logrando un aumento en la producción de vapor de 70.000 lb/hr a 90.000 lb/hr en la caldera S-9966, y de 35.000 lb/hr a 40.000 lb/hr en la S-9670, teniendo como producción nominal 122.000 lb/hr y 60.000 lb/hr respectivamente.

Revise el estado de los tiros mecánicos y del colector de vapor, encontrando deficiencia en ellos; por lo que

sugerí al Ingenio la instalación de los tubos faltantes, el cambio del diámetro del colector de 12 a 20 pg, y el mejoramiento de los tiros y ventiladores.

MODIFICACION DE CALDERAS DEL INGENIO SAN CARLOS

. - ANTECEDENTES

CAPITULO I

DEFINICION DEL PROBLEMA

- 1.1.- EL INGENIO SAN CARLOS
- 1.2.- ESTADO DE LAS CALDERAS AL SER INSTALADAS
- 1.3.- INSTALACION DE SUPERCALENTADOR DE VAPOR
- 1.4.- SITUACION ACTUAL DE LAS CALDERAS
- 1.5.- LA RED DE VAPOR
- 1.6.- CAUSAS POSIBLES DE LA FALTA DE GENERACION DE VAPOR
- 1.7.- CALDERAS BABCOCK & WILCOX S-9966 Y S-9670
- 1.8.- BALANCE DE ENERGIA

CAPITULO II

SOLUCION DEL PROBLEMA

- 2.1.- SOLUCION PROVISIONAL
- 2.2.- CALDERA B&W S-9966
- 2.3.- CALDERA B&W S-9670
- 2.4.- OTRAS MEJORAS
- 2.5.- SOLUCION DEFINITIVO DEL PROBLEMA

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

ANTECEDENTES

Sociedad Agrícola e Industrial San Carlos es una empresa Agro-Industrial que se encuentra ubicada en la Parroquia Marcelino Maridueña, dedicada al cultivo y cosecha de la caña de azúcar. El periodo de cosecha se inicia los primeros días del mes de Julio y termina los últimos días de Diciembre. La caña de azúcar es procesada obteniendo en primer lugar el jugo en los trapiches, el cual es purificado en clarificadores, luego el agua presente en el jugo es evaporada en equipos que emplean vapor denominados cuádruples, obteniendo de esta manera una masa bien consistente denominada meladura, esta es sometida a saturación en tachos al vacío para obtener los cristales de azúcar, por último se filtra o purga la meladura en centrifugas obteniendo de esta manera el azúcar blanca.

Para poder realizar todo el proceso el Ingenio cuenta con 7 calderos que proveen energía en forma de vapor, de los cuales 5 están en funcionamiento, el vapor es utilizado para mover turbinas que son utilizadas en los molinos del trapiche, bombas y generar electricidad, el vapor de escape se lo emplea en el proceso de evaporación. Las calderas son del tipo de hogar al vacío y utilizan bagazo de caña como combustible primario y bunker "c" como combustible secundario. La capacidad instalada de las 5 calderas que están en funcionamiento con su producción actual se resume en el siguiente

cuadro:

	NOMINAL	ACTUAL
CALDERA #1	61.000 lb/hr	61.000 lb/hr
CALDERA #2	122.000 "	70.000 "
CALDERA #3	60.000 "	35.000 "
CALDERA #4	70.000 "	70.000 "
CALDERA #7	130.000 "	150.000 "
TOTAL	443.000 lb/hr	386.000 lb/hr

Cuando fueron instaladas las calderas no se realizaron las mediciones de flujo de vapor ya que no existían instrumentos para ello, y pasó desapercibida ya que la demanda de vapor era mucho menor que la oferta, por lo que no se le prestó la real atención a la producción de las calderas. En 1962 tratando de mejorar la calidad del vapor se contrata la instalación de 3 super-calentadores de vapor, de los cuales solo se logra instalar 2, uno en la caldera #2 y otro en la caldera #3, como la temperatura de vapor obtenida resultó mucho mayor que la que podían soportar los rodets de las turbinas, se eliminaron algunos tubos en cada supercalentador. En 1972 se instalan medidores de flujo en las calderas, e inmediatamente se constata la baja producción de las calderas motivo de este trabajo.

Es así que se cruza información con la B&W constructoras de las calderas, contestando que la responsabilidad de ellos se termina desde el momento que son aceptadas las calderas, incluso se compara las

capacidades de evaporación con las demás calderas; luego de esto se inicia contactos con la T.E.S. la cual es una firma especializada en modificaciones de calderas, esta firma cree en el caso de la caldera #2, que puede aumentar la producción a 150.000 LB/HR pero realizando cambios en su diseño actual.

El presente trabajo explica los pasos tendientes a mejorar la producción de las caldera #2 y #3, pero por las condiciones de zafra, el cual es un período de funcionamiento continuo de 6 meses, se ha presentado una solución temporal, para luego de finalizada esta y empezada la reparación en el mes de enero emprender los trabajo tendientes a dar una solución definitiva al problema de estas calderas.



CAPITULO I

DEFINICION DEL PROBLEMA

1.1.- EL INGENIO SAN CARLOS

Sociedad Agrícola e Industrial San Carlos. fue fundada en el año de 1897, se encuentra ubicada en la Parroquia Marcelino Maridueña del Cantón Yaguachi en la Provincia del Guayas, sus campos de cultivos se extienden por tres cantones: Yaguachi, Naranjito y El Triunfo. Se encuentra a 32 pies de altura sobre el nivel del mar.

Desde sus inicios procesa caña durante la estación de verano, es decir desde el mes de Julio al mes de Diciembre, y el resto del tiempo se dedica a reparación general de la Fábrica, este se denomina "tiempo muerto".

La energía necesaria para mover la maquinaria en general en el proceso de la industrialización de la caña ha sido siempre VAPOR generado en Calderas, que utilizan como combustible primario el bagazo de la caña y como combustible secundario el bunker C. Además, un turbo generador produce electricidad para las necesidades de toda la Fábrica, y como los motores eléctricos son más eficientes que los de vapor se los ha ido sustituyendo.

Actualmente la Fábrica de azúcar cuenta con dos tandems de molinos de 3 mazas con vírgenes inclinadas, el trapiche (Tandem) "A" que tiene 1 desmenuzadora y 6 molinos, y el trapiche "B" que tiene 4 molinos, los cuales producen jugo de caña y bagazo, a este jugo se le tiene que sacar toda el agua presente por lo que además

existen diversos equipos de evaporación tales como: pre-calentadores y calentadores del jugo, pre-evaporadores, cuádruples (evaporadores) y tachos (lugar donde se forma el cristal del azúcar) y posee una secadora de azúcar donde sale el producto final. Para mover toda esta maquinaria tales como turbinas para los molinos y bombas, para evaporar el agua del jugo, y mover toda la maquinaria la Fábrica cuenta con siete (7) Calderas las cuales tienen una capacidad instalada de 473.000 Lb/Hr de vapor, 443.000 a 220 PSI (recalentado) y 30.000 a 110 PSI (saturado).

De los 443.000 lb/hr de vapor instalada, se genera 385.000 lb/hr repartido de la siguiente manera:

CALDERA #1	61000
#2	70000
#3	35000
#4	70000
#7	150000
TOTAL	386000 LB/HR

Por lo que nuestro problema se encuentra centrado en la falta de generación de las calderas #2 y #3, además de los cambios efectuados para mejorarlas.

La producción de Sociedad Agrícola e Industrial San Carlos representa entre el 30 y el 40 % de la producción nacional, teniendo en la zafra de 1989 un total de 2'699.255 quintales de azúcar.

1.2.-ESTADO DE LAS CALDERAS AL SER INSTALADAS

Como el número para de nominar a la caldera no guarda relación con la fecha de su instalación se presentará las características de las calderas deacuerdo a la fecha de su instalación.

CALDERA #3

FECHA DE INSTALACION	1950
MARCA	BABCOK & WILCOX
CONTRATO Y TIPO	S-9670 CL32 SPL.LDL
PRODUCCION DE VAPOR (BAGAZO)	61,000 LB/HR
PRODUCCION DE VAPOR (BUNKER)	61,000 LB/HR
PRESION TRABAJO	225 PSIG
SUPERF. CALENTAMIENTO	10,510 PIE2
LB VAPOR/SUPERF.CALENT.	5.8 LB/PIE2
TEMP ASUA ALIMENT.	212 xF
# TUBOS, DIAMETRO	840, 3.25 Pg
# HORNOS, TIPO	3 WARD
SUPERF. HORNOS	136 PIE2
LB/HR VAPOR / SUP.HORNOS	448,53
BAGAZO	4.400 BTU/LB
*CALENTADOR DE AIRE	VERTICAL
# TUBOS, DIAMETRO	392, 2.25 Pg
SUPERF.CALENTAMIENTO	5.130 PIE2
TEMP GAS ENTRADA	627xF
TEMP GAS SALIDA	438xF
TEMP AIRE ENTRADA	80xF
TEMP AIRE SALIDA	371xF
LB/HR VAPOR /SUP.CALENTADOR	11,69

TIRO INDUCIDO

FLUJO GAS LB/HR	127.000/5,1"H2O/430xF
TEMP GAS CHIMENEA	430 xF
TIRO REQUERIDO	5,1"H2O/127.000 LB/HR
RPM VENTILADOR	1.170 RPM
BHP	100 HP
MARCA	PRATT-DANIEL
TIPO	THERMIX
TAMANO	#110 DESIGN K
RPM MOTOR	1.185 RPM
VOLT/HP MOTOR TRASMISION	220/100

TIRO FORZADO

FLUJO GAS	91.000/6,6"H2O/80xF
TIRO TOTAL REQUERIDO	6,6"H2O/91.000 LB/HR
MARCA	STURTEVANT
TIPO	SWSI ARR3
TAMANO	440
SERIE	9A-17308
RPM/HP	1.180/50
COMPUERTA DE TIRO	EXTERIOR
HP MOTOR	50 HP
RPM MOTOR	1.180 RPM

CALDERA #2

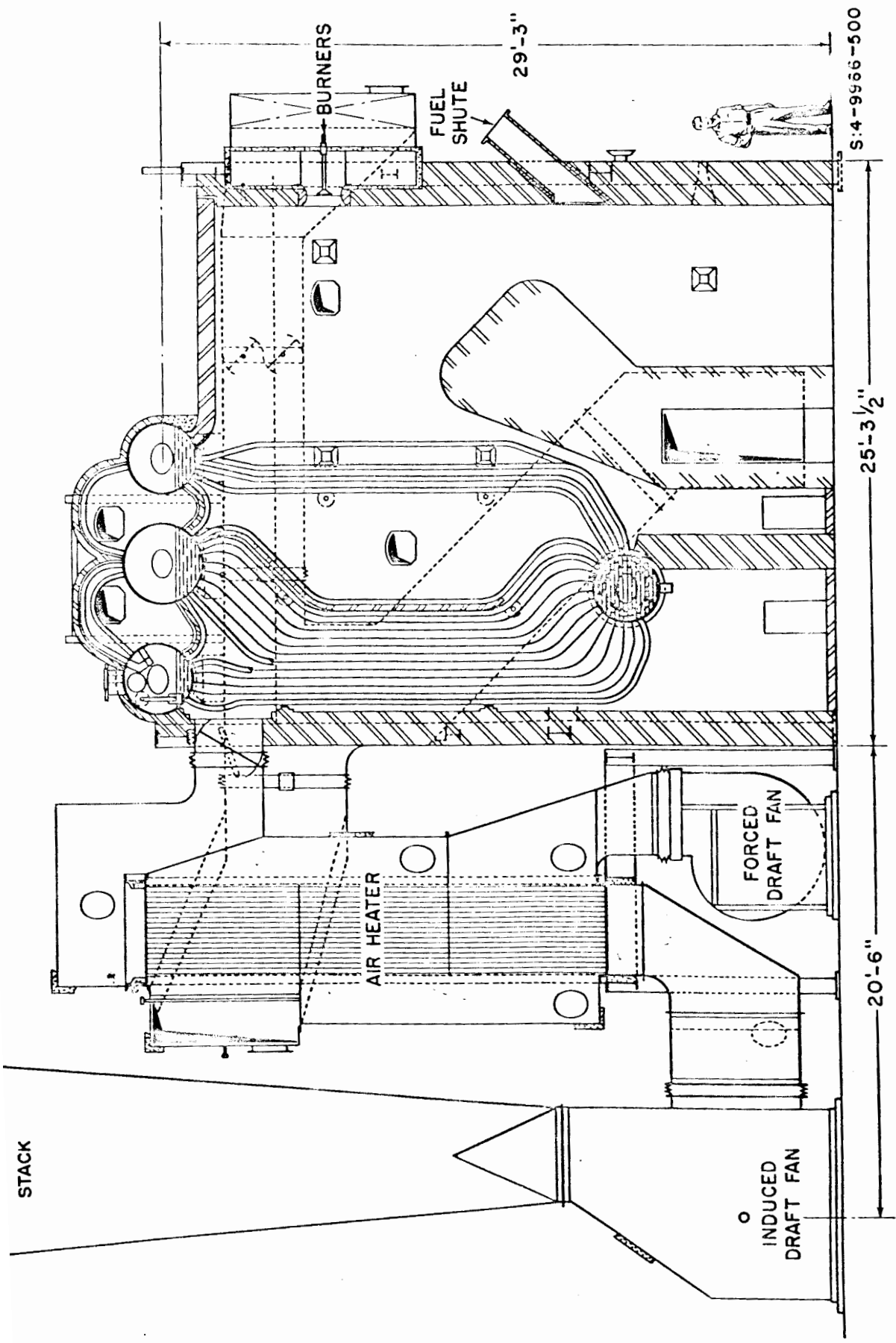
FECHA DE INSTALACION	1956
MARCA	BABCOCK & WILCOX
CONTRATO Y TIPO	S-9966 CL32 SPL.LDL #6
PRODUCCION DE VAPOR (BAGAZO)	122,000 LB/HR

PRODUCCION DE VAPOR (BUNKER)	60,000 LB/HR
PRESION TRABAJO	225 PSIG
PRESION A LA SALIDA DOMO	125 PSIG
SUPERF. CALENTAMIENTO	16,890 PIE2
LB VAPOR/SUPERF.CALENT.	7.22 LB/PIE2
TEMP AGUA ALIMENT.	212 xF
# TUBOS, DIAMETRO	1320, 3.25 Pg
# HORNOS, TIPO	4 WARD
SUPERF. HORNOS	208 PIE2
LB/HR VAPOR / SUP.HORNOS	586.5
BAGAZO	4.400 BTU/LB
*CALENTADOR DE AIRE	VERTICAL
# TUBOS, DIAMETRO	864, 2.25 Pg
SUPERF.CALENTAMIENTO	8,790 PIE2
TEMP GAS ENTRADA	655xF
TEMP GAS SALIDA	460xF
TEMP AIRE ENTRADA	80xF
TEMP AIRE SALIDA	385xF
LB/HR VAPOR /SUP.CALENTADOR	11,70

TIRO INDUCIDO

FLUJO GAS LB/HR	251.000/5,7"H2O/460
TEMP GAS CHIMENEA	460 xF
TIRO REQUERIDO	5,7"H2O/251.000 LB/
RPM VENTILADOR	1.050 RPM
BHP	220 HP
MARCA	PRATT-DANIEL
TIPO	1 DISEÑO K
TAMANO	140

RPM MOTOR	1.770 RPM
VOLT/HP MOTOR TRASMISION	460/250
TIRO FORZADO	
FLUJO GAS	184.000/7,3"H2O/80x
TIRO TOTAL REQUERIDO	7,3"H2O/184.000 LB/
MARCA	STURTEVANT
TIPO	# 95 TV-10 DWDE
TAMANO	MONT 3 CLASE 2
RPM/HP	1.110/97
COMPUERTA DE TIRO	EXTERIOR
HP MOTOR	150 HP
RPM MOTOR	1.770 RPM



SOCIEDAD AGRICOLA INDUSTRIAL SAN CARLOS
GUAYAQUIL, ECUADOR. S.A.

Las calderas a lo largo del tiempo han ido sufriendo modificaciones, es así que al ser instaladas éstas trabajaban con una presión de vapor de 110 psig saturado, cuando se modificaron las turbinas en la fábrica también se modificó la presión de trabajo de las calderas siendo de 220 psig, que es la de diseño, esta modificación se la realizó con el objeto de obtener mas trabajo del vapor al ser expandido en las turbinas.

1.3.-INSTALACION DEL SUPERCALENTADOR DE VAPOR

Los super-calentadores son intercambiadores de calor que se encuentran en el paso de los gases calientes, éstos reciben vapor saturado o ligeramente húmedo que proviene del domo de la caldera pasa por los tubos del super-calentador elevando su energía para luego entregarlo al colector general de las calderas para ser usado en el proceso de la elaboración del azúcar.

En el año de 1962 el Ingenio contrata la instalación de 3 super-calentadores para ser usados en las calderas #1 #2 #3, pero solamente fueron montados en las calderas #2 y #3 motivo de este estudio, el vapor al ser sobrecalentado debería de llegar a 550 F (220 psig) como máximo, caso contrario se aflojarían los rodetes de las turbinas con respecto a su eje.

1.4.-SITUACION ACTUAL DE LAS CALDERAS

Antes de haber realizado los cambios en las calderas éstas tenían las siguientes condiciones de

operación:

CALDERA #3

Produce 35.000 LB/HR de vapor a 220 psig y 585 F, se le suministra aire auxiliar frio por medio de un ventilador con el objeto de crear turbulencia en el horno para que el bagazo esté más tiempo en suspensión antes de amontonarse en pilas, este aire tiene un caudal de 5000 cfm a 30" H₂O y una velocidad a la salida de la tobera de 25.000 pies /min. Las condiciones del agua de alimentación son parecidas a las de diseño, con la diferencia que pasan por un des-aireador con el objeto de eliminar el oxígeno que contiene.

CALDERA #2

Produce unas 70.000 LB/HR de vapor a 220 psig y 535 F, tambien se le suministra aire auxiliar para mantener el bagazo más tiempo en suspensión y las condiciones del agua son las mismas que el de la caldera #3.

1.5.-LA RED DE VAPOR

Se trabaja en la Fábrica de azúcar con 4 diferentes presiones de vapor, de las cuales 1 es producida por las calderas (220 psig y 550 F), otra es producto de inyección directa por válvulas reductoras (110 psig sat), y las otras 2 son productos del escape de las turbinas (20 y 10 psig sat). Existen en la actualidad dos calderas de 15.000 LB/HR de vapor de 110

220 PSIG

SATURADOR
5.000 #/Hr

466.5 Tr
T

TURBO
GENERADOR
112.000 #/Hr
(130.000 Los 2 Turbos)

TRAPICHE "A"
105.288 #/Hr

TRAPICHE "B"
+ FORZADO CALD. 7
112.350 #/Hr

T. CENTRIFUGAS
2da 6 3ra 5.895 #/Hr
T. BOMBA AGUA CAL-
DERAS. c/u 16.200 #/Hr.

BOMBAS
AGUA PRIMARIA 8.200
#/Hr.

110 PSIG

SECADORA
12.000 #/Hr

BOMBA
VACIO
c/u 5.000 #/Hr

VARIAS
TURBINAS
Y OTRAS
10.000 #/Hr

SATURADOR
4.000 #/Hr

20 PSIG

PRECALENTADOR
JUGO
55.033 #/Hr

PRE-EVAPORADOR
DE JUGO # 1
64.706 #/Hr

PRE-EVAPORADOR
DE JUGO # 2
81.874 #/Hr

PRE-EVAPORADOR
DE JUGO # 3
174.386 #/Hr

RED DE VAPOR

10 PSIG

CUADRO
#1

CUADRO
#2

CUADRO
#3

CUADRO
#4

TACHOS

DEBILITADOR

CALENTADOR

Ø 10"
130.000 #/Hr

Ø 12"
160.000 #/Hr

(Las 2)
MX
26.310
#/Hr

100

92.297
#/Hr
Max

110

38.936
#/Hr

psig sat a las que les estoy sometiendo a reparación para que entren a funcionar, ya que estas han estado abandonadas por 4 años.

El vapor de 220 psig se lo emplea para que desarrolle trabajo en las turbinas para mover los molinos y algunas bombas, parte de este vapor es expandido en válvulas automáticas a 110 psig. Las 5 calderas tienen una capacidad instalada 443.000 LB/HR, pero actualmente se genera hasta 386.000 LB/HR. Además por efecto de mantener la temperatura del vapor a 550 F se inyecta agua, lo que da una producción extra de 5.000 LB/HR producto de la evaporación del agua inyectada.

El vapor de 110 psig se lo emplea principalmente en el secado del azúcar, y parte para mover sistemas turbinas-bombas. Cuando entren a funcionar las calderas #5 y #6, que generan 30.000 LB/HR de vapor de 110 psig, parte de la inyección de 220 a 110 será suplida por la generación de estas calderas. Parte de este vapor de 110 psig es inyectado por válvulas automáticas ya sea a 20 o 10 psig. Agua también es inyectada para mantener una temperatura ligeramente mayor que la de saturación, lo que da una producción extra de 5.000 LB/HR de vapor.

El mayor parte del vapor de 20 psig y de 10 psig es aportado por los escapes de todas las turbinas de la Fábrica, el resto es aportado por la inyección de válvulas automáticas, se los emplea en el proceso de

evaporación del agua presente en el jugo y en la formación de los cristales del azúcar. Agua es inyectada aportando con 4.000 LB/HR de vapor de 20 psig extra. En la figura #2 se describe esquemáticamente la red de vapor.

Las válvulas automáticas tienen una doble función, la de aportar la cantidad de vapor cuando uno o dos trapiches paren, y la de suplir la cantidad de vapor que el escape requiera, todo esto con el objeto de que el proceso de la elaboración del jugo de la caña en azúcar sea continuo.

1.6.-CAUSAS POSIBLES DE LA FALTA DE GENERACION

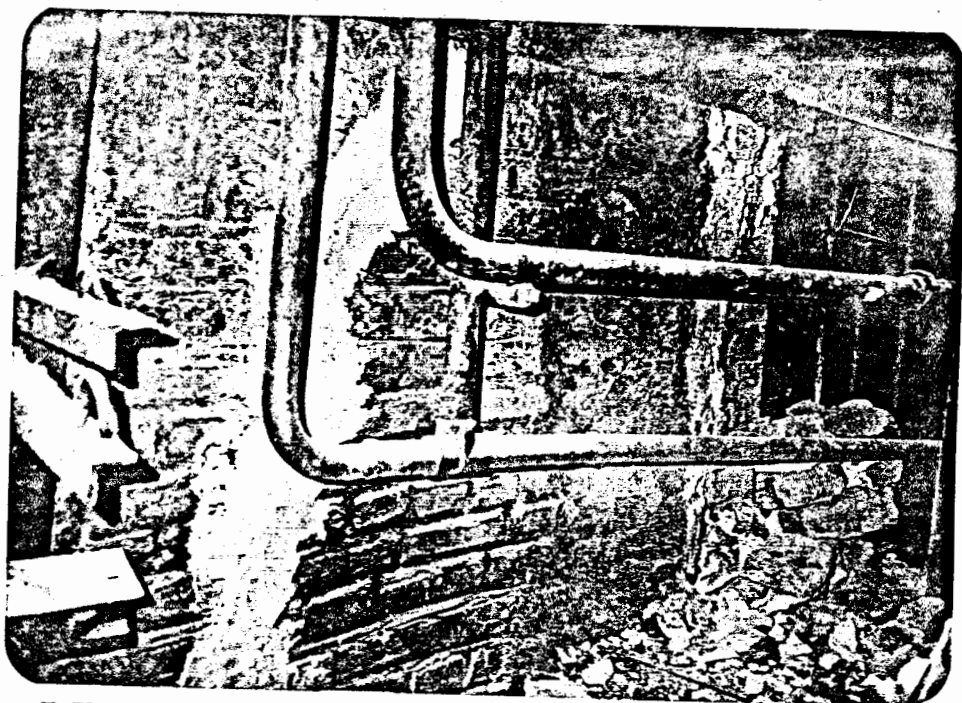
La baja generación de vapor de las calderas puede darse por las siguientes razones: -Grietas en las paredes de los ladrillos refractarios. -Falta de tubos en el banco generador. -Fallas en el calentador de aire. -Deficiencia de los tiros mecánicos, Inducido y/o Forzado. -Defectos o mala operación de la caldera. -Calidad del combustible.

1.7.- CALDERAS BABCOX & WILCOX S-9670 Y S-9966

CALDERA B&W S-9670 #3

REFRACTARIO

Durante la zafra de 1989 se detectaron unas grietas en las esquinas superiores de la pared frontal, por lo que existía una gran cantidad de gases calientes que escapaban por ellas, se pensó que tapando estas



FOTO#1 FISURA PARED LATERAL , CALDERA #3

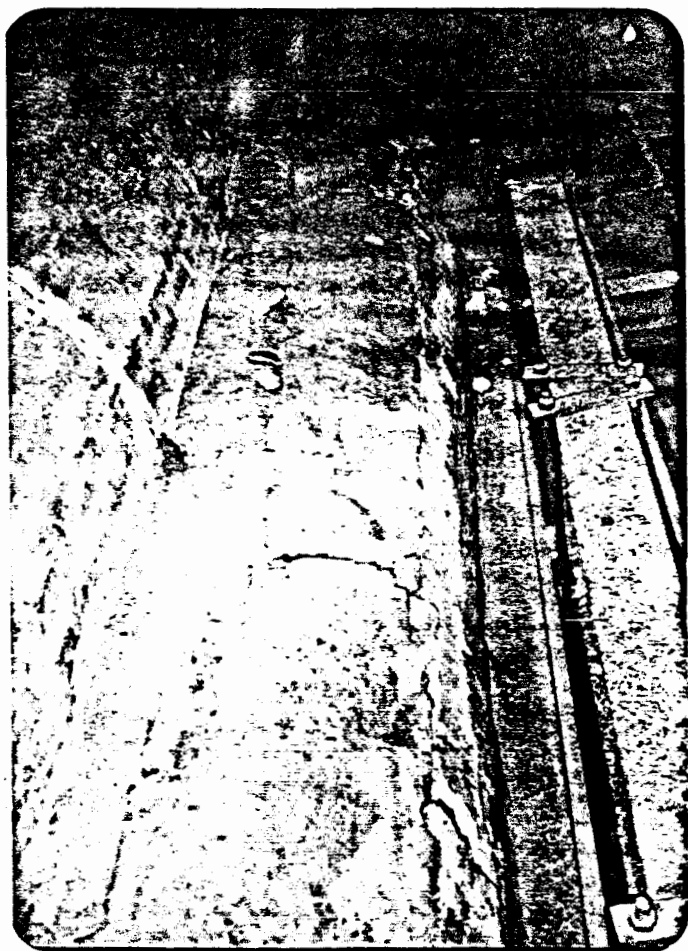


FOTO #2
FISURA EN CIELO , CALDERA #2



FOTO #3 FISURA PARED DELANTERA, CALD. #2.



FOTO #4, FISURA PARED DELANTERA, CALD. #3

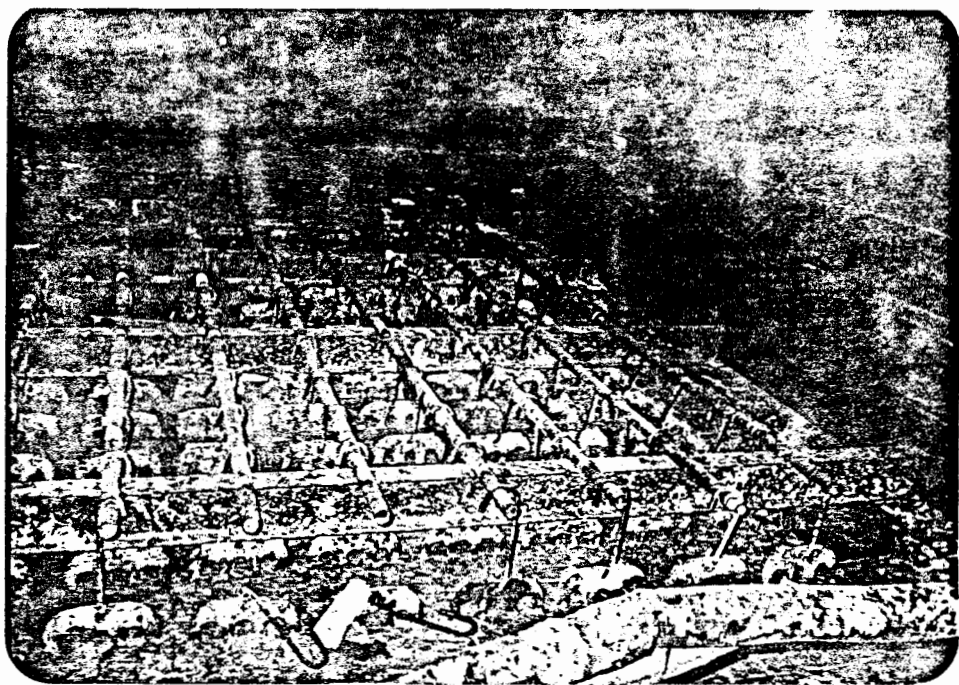


FOTO #5 ----- CIELO CALDERA #2

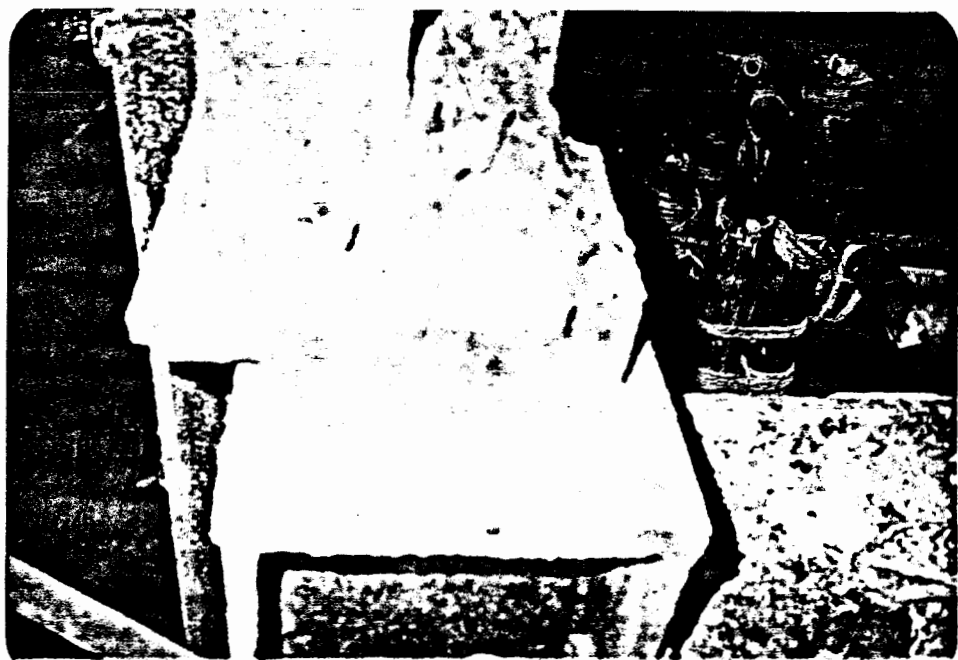
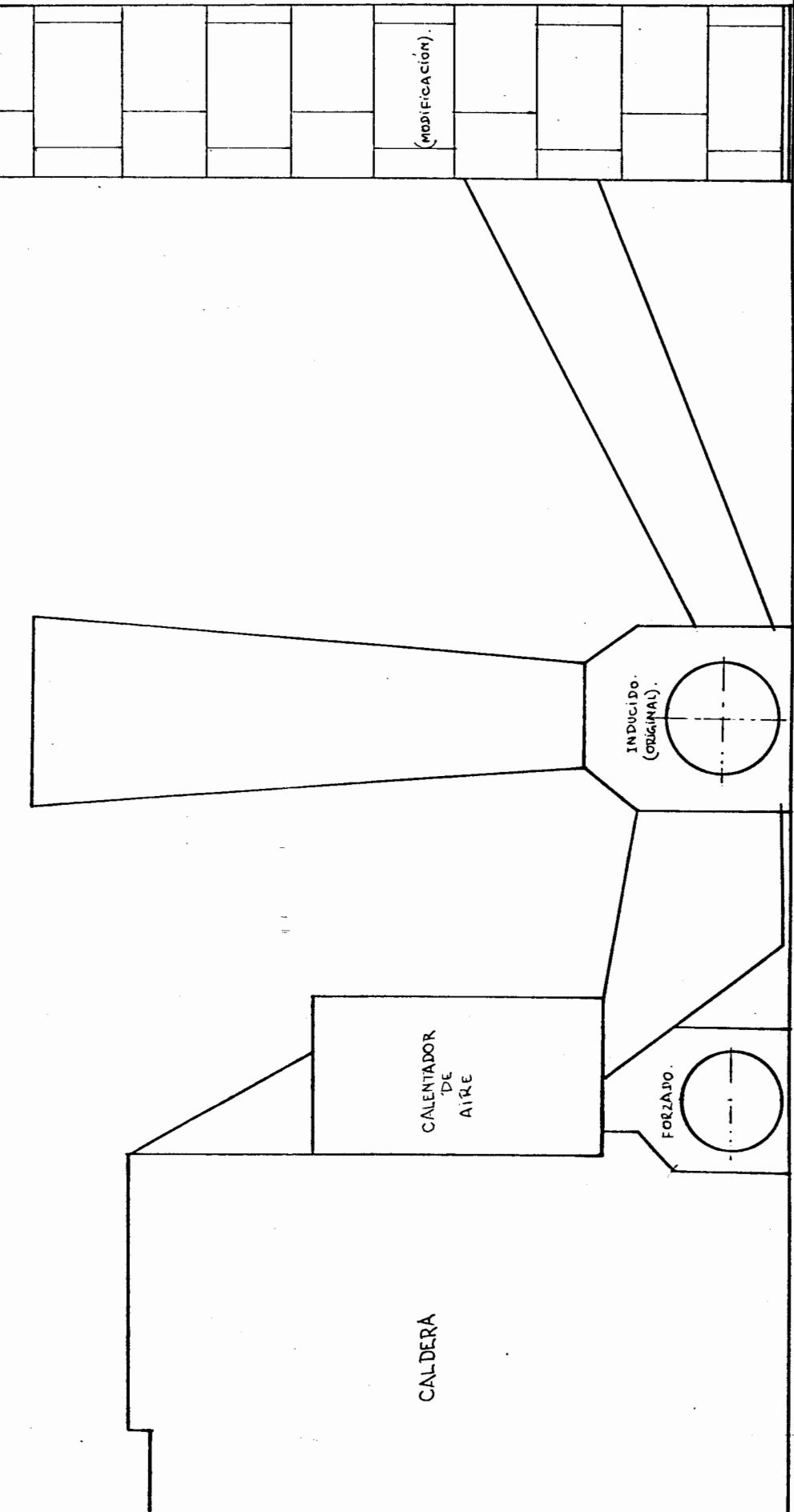


FOTO #6 = DESPLAZAMIENTO DE VIGA POR PANDEO DE COLUMNA, CALD.#3.

grietas en una de las paradas semanales se aumentaría la eficiencia de la caldera, pero semana a semana se sustituye el concreto refractario por que se desprende de las grietas, se realiza una investigación más profunda descubriendo que parte del peso de la cubierta de las calderas (zinc) que sirve de techo está apoyado en esta caldera, se detecta incluso que existía pandeo en las columnas frontales de perfil estructural I 10 WF de 49 LB/PIE, que era lo que ocasionaba el agrietamiento del refractario, por lo que durante el tiempo muerto de 1990 se decide a cambiar las columnas y a reparar los ladrillos refractarios, pero echo esto, e iniciada la zafra de 1990 la falta de generación continúa con el problema. Lo que queda por comprobar es el estado en el que se encuentran los deflectores de gases y los hornos con sus toberas de aire, por lo que se elimina como causa fundamental del problema del refractario.

BANCO GENERADOR DE VAPOR

En el año de 1985 se cambió la mayor parte de los tubos, por lo que no existen problemas por tubos que se encuentren taponados, se taponan los tubos en el tiempo de zafra ya que el funcionamiento de las calderas es continuo y las paradas semanales de reparación duran de 16 a 18 Horas, se los cambia por nuevos en el tiempo muerto. Pero debido a la falta de limpieza externa de los tubos éstos han adquirido capas de hollín de por lo menos 2 mm, este hollín actúa como una capa aislante,



disminuyendo de esta manera la transferencia de calor y bajando la eficiencia de la caldera.

CALENTADOR DE AIRE

El aire entra al horno a la temperatura de diseño, el problema ocurre cuando uno o varios tubos se agrietan mezclándose de esta manera el gas, producto de la combustión, y el aire necesario para la combustión, esto es fácil de comprobar ya que existen medidores registradores de las temperaturas del gas que entra y sale, y la temperatura del aire que sale del calentador (economizador). Los tubos dañados permanecen así hasta la finalización de la zafra, ya que en las paradas semanales nos es posible detectar el tubo con problemas por lo corto del tiempo, por lo que la localización y reparación de los tubos dañados se la efectúa durante el tiempo muerto, por lo dicho anteriormente se inicia la zafra con una eficiencia, y a medida que ésta esté por finalizar la eficiencia disminuye.

TIROS MECANICOS

TIRO INDUCIDO

Durante el tiempo de zafra la única medición que se lleva cabo es la de la presión estática a la succión del tiro inducido, pero desde que los ventiladores de estos tiros fueron adquiridos han sido reparados sus elementos en los talleres del .pa

Ingenio, además para evitar el rápido desgaste de los álabes del ventilador han sido recubiertos con soldadura

antifricción tipo COBALAR. Cuando se ha sustituido los álabes desgastados los ventiladores pueden haber perdido sus medidas originales. Por último no existe documentación que avale el cambio efectuado en la posición de la chimenea, es decir mediciones de flujos antes y después del cambio efectuado, tal como se muestra en la figura #3.

TIRO FORZADO

De la misma forma que en el tiro inducido la única medición efectuada es la presión estática, como no está expuesto a fluido abrasivo no existe desgaste apreciable.

CALDERA B&W S-9966 #2

REFRACTARIO

Durante la zafra de 1989 se detectaron grietas en las paredes laterales, a la altura de los domos del super calentador, por lo que parte del calor generado se estaba escapando, teniendo este problema de 3 a 4 años atrás; además el wafle deflector de gases se encontró en malas condiciones. Debido a esto en el tiempo muerto se reparó estas anomalías. Debido a la falta de las toberas inferiores de los hornos éstos no fueron reconstruidos lo que puede estar ocasionando una inadecuada mezcla aire/combustible, lo que se comprueba por la coloración de los gases saliendo por la chimenea.

BANCO GENERADOR DE VAPOR

Esta caldera desde su instalación no se le ha

renovado los tubos del banco generador, lo que se le ha efectuado es que cuando un tubo falla se lo tapona en el tiempo de zafra ya que el funcionamiento de las calderas es continuo y las paradas semanales de reparación duran de 16 a 18 Horas, se los cambia por nuevos en el tiempo muerto, por lo que facilmente existen tubos que datan de 1956. En lo que va de la zafra de 1990 esta caldera registra paradas por fallas de tubos que totalizan el 73.70% hasta el 30 de septiembre del total de las 5 calderas que están en funcionamiento, agrabando esto la falta de limpieza externa de los tubos por lo que han adquirido capas de hollín de por lo menos 2 mm el cual actua como aislante térmico, disminuyendo la transferencia de calor y la eficiencia térmica de la caldera.

CALENTADOR DE AIRE

Los problemas en cuanto a calentador de aire es muy similar al de la caldera S-9670 por lo que el problema ocurre cuando se agrietan los tubos produciéndose una mezcla del aire y el gas, por lo que es necesario introducir más aire por el forzado para mantener una buena combustión, esto se detecta en las cartas de los registradores de las temperaturas del aire y gas entrando y saliendo. Los tubos dañados permanecen así toda la zafra, siendo cambiados durante el tiempo muerto.

TIROS MECANICOS

La situación de los tiros es similar al de la caldera S-9670, por lo que no se tiene una medida exacta de la cantidad de gases que la caldera se encuentra desalojando. También a esta caldera se le efectuó el cambio en la posición de la chimenea, y lo que es más se cambió el sentido de rotación del ventilador.

TIRO FORZADO

De la misma forma que en el tiro inducido la única medición efectuada es la presión estática, como no está expuesto a fluido abrasivo no existe desgaste apreciable. Además no se conoce la cantidad de aire que se está dando para la combustión del bagazo en la caldera.

DEFECTOS O MALA OPERACION DE LAS CALDERAS

La producción de una caldera se encuentra en función de la demanda de vapor y del flujo de combustible. Como es obvio la demanda de vapor no es fijo durante las 24 horas del día, tiene momentos en que es máxima y otros en la que es mínima, por lo que la cantidad de combustible quemado en la caldera va a ser mayor o menor respectivamente, de la misma manera a mayor cantidad de combustible mayor aire necesario para la combustión y a menor cantidad de combustible menor cantidad de aire. Como el combustible empleado en las calderas es el bagazo que sale de los Trapiches, si éstos no suministran bagazo, ya sea por una pequeña parada por operación o una falta momentánea de caña, el

flujo de bagazo hacia las calderas disminuye, por lo que la cantidad de aire debe de disminuir cerrando las compuertas del forzado, pero no ocurre esto sino que el operador espera que más bagazo le sea suministrado ocasionando una pérdida de energía ya que los gases salen con una mayor temperatura. Por otro lado, cuando una parada larga del trapiche ocurre, bagazo adicional se suministra a las calderas desde el patio de almacenamiento de bagazo tratando de mantener el flujo de combustible, a esto lo que el operador realiza es cerrando las compuertas del forzado ocasionando de esta manera una combustión incompleta desperdiciando combustible. Estos problemas son más notorios en los turnos nocturnos.

CALIDAD DEL COMBUSTIBLE

El bagazo es el material sólido, fibroso que sale de la abertura trasera del último molino de un trapiche después de la extracción del jugo; es el residuo de la molienda de la caña.

El bagazo está compuesto de .-agua (W) .-material insoluble (principalmente celulosa que constituye la fibra del bagazo) (F) .-sustancias en solución con el agua consistente en azúcar e impurezas (D, entre el 2 y el 5%), luego la fibra será:

$$F = 100 - w - D$$

El bagazo tiene un peso específico que va de 80 a 120 gr/dm³. La composición química de nuestro bagazo realizada por la B&W de Mexico es la siguiente:

PODER CALORIFICO 3375 BTU/LB

CARBONO	23.45 %
HIDROGENO	2.87 %
OXIGENO	21.12 %
AGUA	50.00 %
CENIZAS	2.59 %

El bagazo al salir de los molinos posee la fibra de la caña y agua, por lo que el poder calorífico que posea va a depender del porcentaje de humedad; como dato de diseño se tiene que posee 4.400 BTU/LB con 50% de humedad, pero a medida que aumenta la humedad disminuye el poder calorífico. Cada 2 horas se realiza análisis del bagazo teniendo como máximo valor 54% y como mínimo 49% de humedad en peso.

Para conocer el estado de las calderas se realizó en 1987, con la ayuda de la BABCOCK de México, un análisis de gases en el que se incluía el poder calorífico del bagazo usando 3.375 BTU/LB con 50% de humedad, por lo que para cálculos posteriores se tomará este valor como poder calorífico del bagazo. Resumiendo; el combustible no posee un poder calorífico estable durante las 24 horas del día, por lo que se quemará más o menos bagazo dependiendo del poder calorífico, es decir de la humedad, caso contrario se tendrá una mala combustión y el rendimiento de la caldera disminuirá.

1.8.- BALANCE DE ENERGIA

CALDERA #3 S-9670

Producción Actual	35.000 LB/HR vapor
Presión vapor psig	220
Temperatura vapor xF	550
Entalpia vapor BTU/LB	1292.7
Temperat. Agua xF	205
Entalpia Agua BTU/LB	168

Energía absorbida por el agua para convertirse en vapor.-

$$\begin{aligned}
 Q_a &= M_v * (H_v - H_a) \\
 &= 35,000 \text{ LB/HR} * (1292.7 - 168) \text{ BTU/LB} \\
 &= 39,364,500 \text{ BTU/HR}
 \end{aligned}$$

Energía generada (Eficiencia de la caldera 62% dato del fabricante).-

$$\begin{aligned}
 Q_g &= Q_a / e \\
 &= 39,364,500 \text{ BTU/HR} / .62 \\
 &= 63,491,129 \text{ BTU/HR}
 \end{aligned}$$

Bagazo requerido (poder calorífico 3375 BTU/LB).-

$$\begin{aligned}
 M_b &= Q_g / c_b \\
 &= 63,491,129 \text{ BTU/HR} / 3,375 \text{ BTU/LB} \\
 &= 18,812.19 \text{ LB/HR}
 \end{aligned}$$

Aire requerido para la combustión (4.22 Lb de aire por cada libra de bagazo B&W Mexico).-

$$\begin{aligned}
 M_a &= M_b * 4.22 \\
 &= 18,812.19 \text{ LB/HR} * 4.22 \\
 &= 79,387.42 \text{ LB/HR (FORZADO)}
 \end{aligned}$$

Flujo de gases (5.17 Lb gases por cada libra

de bagazo B&W Mexico).-

$$\begin{aligned}M_g &= M_b * 5.17 \\&= 18,812.19 \text{ LB/HR} * 5.17 \\&= 97,258.99 \text{ LB/HR (INDUCIDO)}\end{aligned}$$

Por lo tanto para generar los 35,000 LB/HR de vapor a 220 psig actuales se debe consumir 18,812.19 LB/HR de bagazo con un poder calorífico de 3,375 BTU/LB, el tiro forzado debe de dar 79,387.42 LB/HR de aire, y el tiro inducido debe manejar 97,258.99 LB/HR de gases. Se supone una buena combustión y que la calidad del bagazo no cambie.

CALDERA #2 S-9966

Producción Actual	70.000 LB/HR vapor
Presió vapor psig	220
Temperatura vapor xF	540
Entalpia vapor BTU/LB	1287.2
Temperat. Agua xF	205
Entalpia Agua BTU/LB	168

Energía absorbida por el agua para convertirse en vapor.-

$$\begin{aligned}Q_a &= M_v * (H_v - H_a) \\&= 70,000 \text{ LB/HR} * (1287.2 - 168) \text{ BTU/LB} \\&= 78,344,000 \text{ BTU/HR}\end{aligned}$$

Energía generada (Eficiencia de la caldera 62% dato del fabricante).-

$$\begin{aligned}Q_g &= Q_a / e \\&= 78,344,000 \text{ BTU/HR} / .62\end{aligned}$$

$$= 126,361,290 \text{ BTU/HR}$$

Bagazo requerido (poder calorífico 3375 BTU/LB). -

$$M_b = Q_g / c_b$$

$$= 126,361,290 \text{ BTU/HR} / 3,375 \text{ BTU/LB}$$

$$= 37,440.38 \text{ LB/HR}$$

Aire requerido para la combustión (4.22 Lb de aire por cada libra de bagazo B&W Mexico). -

$$M_a = M_b * 4.22$$

$$= 37,440.38 \text{ LB/HR} * 4.22$$

$$= 157,998.40 \text{ LB/HR (FORZADO)}$$

Flujo de gases (5.17 Lb gases por cada libra de bagazo B&W Mexico). -

$$M_g = M_b * 5.17$$

$$= 37,440.38 \text{ LB/HR} * 5.17$$

$$= 193,566.76 \text{ LB/HR (INDUCIDO)}$$

Por lo tanto para generar 70,000 LB/HR de vapor a 220 psig se debe de quemar 37,440.38 Lb/Hr de bagazo, para ésto se debe de suministrar 157,998.4 Lb/Hr de aire por el tiro Forzado, y el Tiro Inducido debe de extraer 193,566.76 Lb/Hr de gases, suponiendo una buena combustión y que la calidad del bagazo no cambie.

CAPITULO II

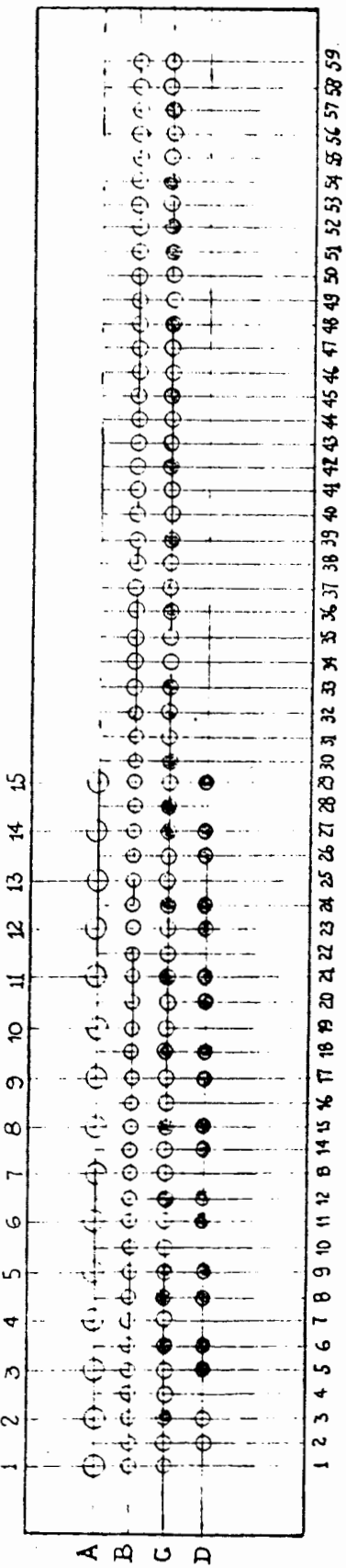
SOLUCION DEL PROBLEMA

2.1.- SOLUCION PROVISIONAL

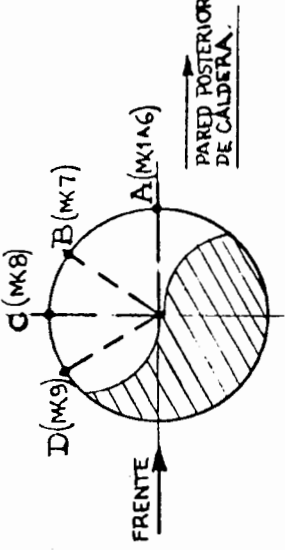
Se desarrolló un método en el cual se realizaba tanteos para determinar las posibles causas de la falta de producción de estas calderas usando los datos conocidos y determinando otros. En primer lugar se revisó la documentación de los tubos del banco generador, del supercalentador de vapor y del calentador de aire, en segundo lugar se determinó las condiciones de operación de los tiros, tanto inducido como forzado, y por último el colector de vapor.

Para la caldera B&W s-9966 la gran mayoría de los tubos del banco generador tienen algunos años de funcionamiento por lo que son fácilmente susceptibles de agrietarse (o fallar) durante el periodo de zafra, por lo que hasta el 19 de septiembre de 1990 se tiene 16.414 pie² de superficie, de un total de 16.890 pies², es decir que representa apenas un 2.8% de superficie de transferencia menos por lo que no representa una cantidad apreciable y no constituye una causa de falta de producción, en la figura #4 se observa la localización de los tubos que actualmente se encuentran tapados o fuera de servicio.

El banco de tubos del supercalentador consta de 3 filas de tubos, de éstas sólo una está completa (59 tubos), la fila intermedia tiene 37 de un total de 59 tubos, y la fila interior todos los 19 tubos de que



FRETE



VISTA-LATERAL

DISPOSICION DE LOS TUBOS
EN EL CABEZAL DE ENTRADA DEL
SUPERCALENTADOR DE VAPOR DE AGUA
CALDERA N°2

Fig # 5

A (MK 1A6)	= 15 TUBOS DE VAPOR SATURADO (2 3/32" ø)
B (MK 7)	= 59 TUBOS DEL SUPERCALENTADOR (2 1/2" ø)
C (MK 8)	= 59 " "
D (MK 9)	= 19 " "

● TAPONES
TOTAL 41

consta le faltan, la localización de estos tubos se muestra en la figura #5, es decir que nos da un total de 41 tubos menos de los 137 de que consta o dicho de otra manera un 29.93% menos de superficie de paso del vapor lo que nos está dando una idea de un estrangulamiento del flujo de vapor en el supercalentador por lo que es una causa de la falta de producción de vapor.

Al iniciar la zafra la totalidad de los tubos del calentador de aire entraron a funcionar en buen estado, al revisar el registrador de temperatura se observan instantes en que se cruzan las líneas de la temperatura de salida de los gases y la temperatura de salida del aire, lo que nos da una posible rotura de tubos, al comprobar ésto se notó que las plumas del registrador no estaban localizadas en un mismo punto, por lo que las mediciones correspondían a tiempos diferentes; por lo que al encontrarse en buen estado se elimina como causa de una falta de producción de vapor.

La caldera B&W S-9670 presenta similares características de las enunciadas anteriormente, el supercalentador de esta caldera consta de 2 filas, la exterior tiene 37 de 39 y la interior 12 de 27 tubos, lo que nos da 17 tubos menos de un total de 66, o dicho de otra manera 25.76% menos de superficie de paso del vapor. Como se observa en las figuras #6 y #7. Esta coincidencia de tubos faltantes en el supercalentador se da solamente en las calderas motivo de este trabajo por lo que como alternativa se decidió sacar vapor saturado

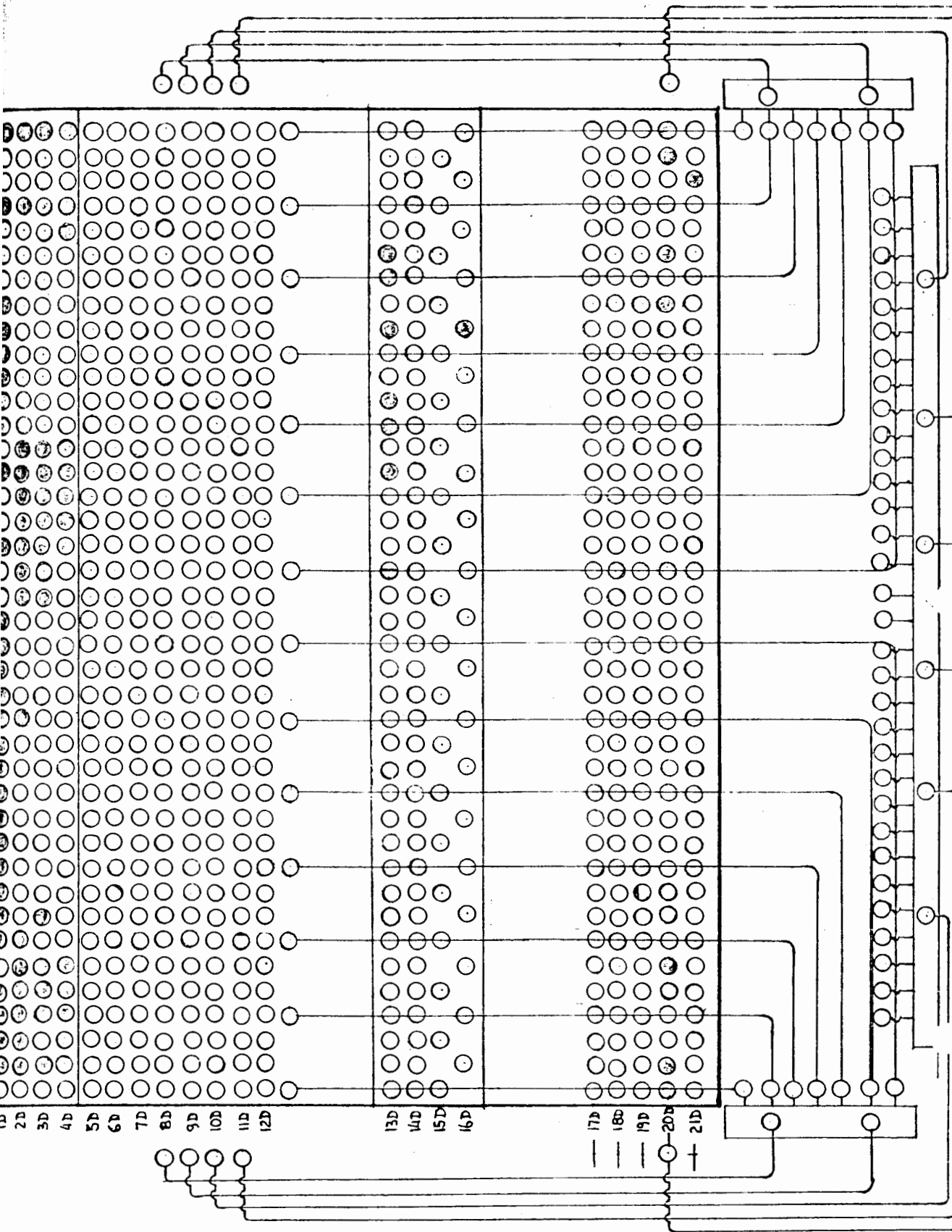


FIG #6

ENFRIAMIENTO
DE PARED

Nota: ENFRIAMIENTO DE PARED

SOLO EN CALDERAS 1Y4

- 1) — TUBOS QUE SALEN DEL DOMO 3
AL DOMO INFERIOR.
- 2) — TUBOS QUE SALEN DEL DOMO 1
AL DOMO INFERIOR.
- 3) — TUBOS SIN NUMERO SON DE ENFRIA-
MIENTO DE PARED.

C. 100/100

○ TAPADO

En 100/100

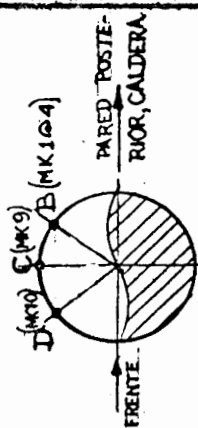
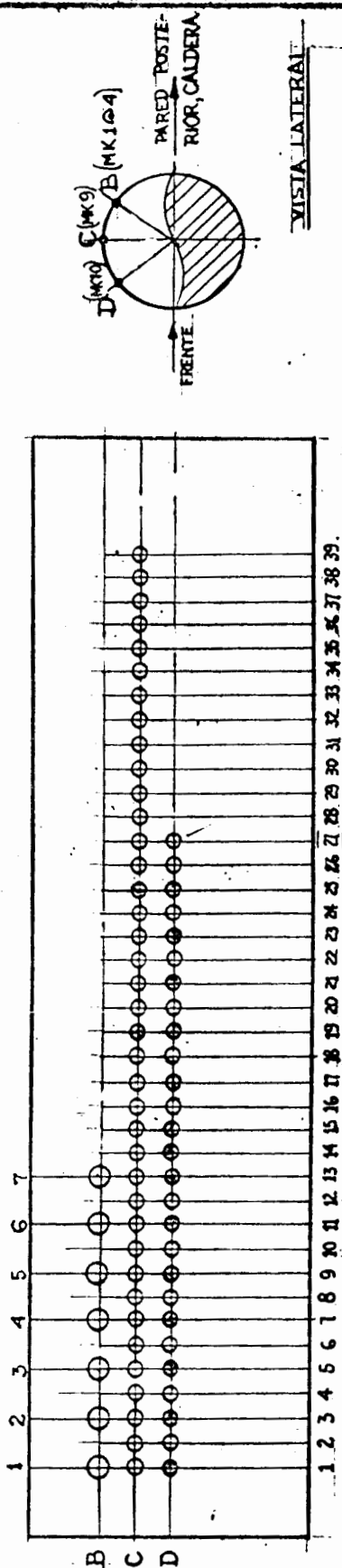
Sociedad Agrícola é Ind.
SAN CARLOS

Esc. SIN Dib. L. ROMER

Fech. 13 JULIO 81

Rev.

Obra



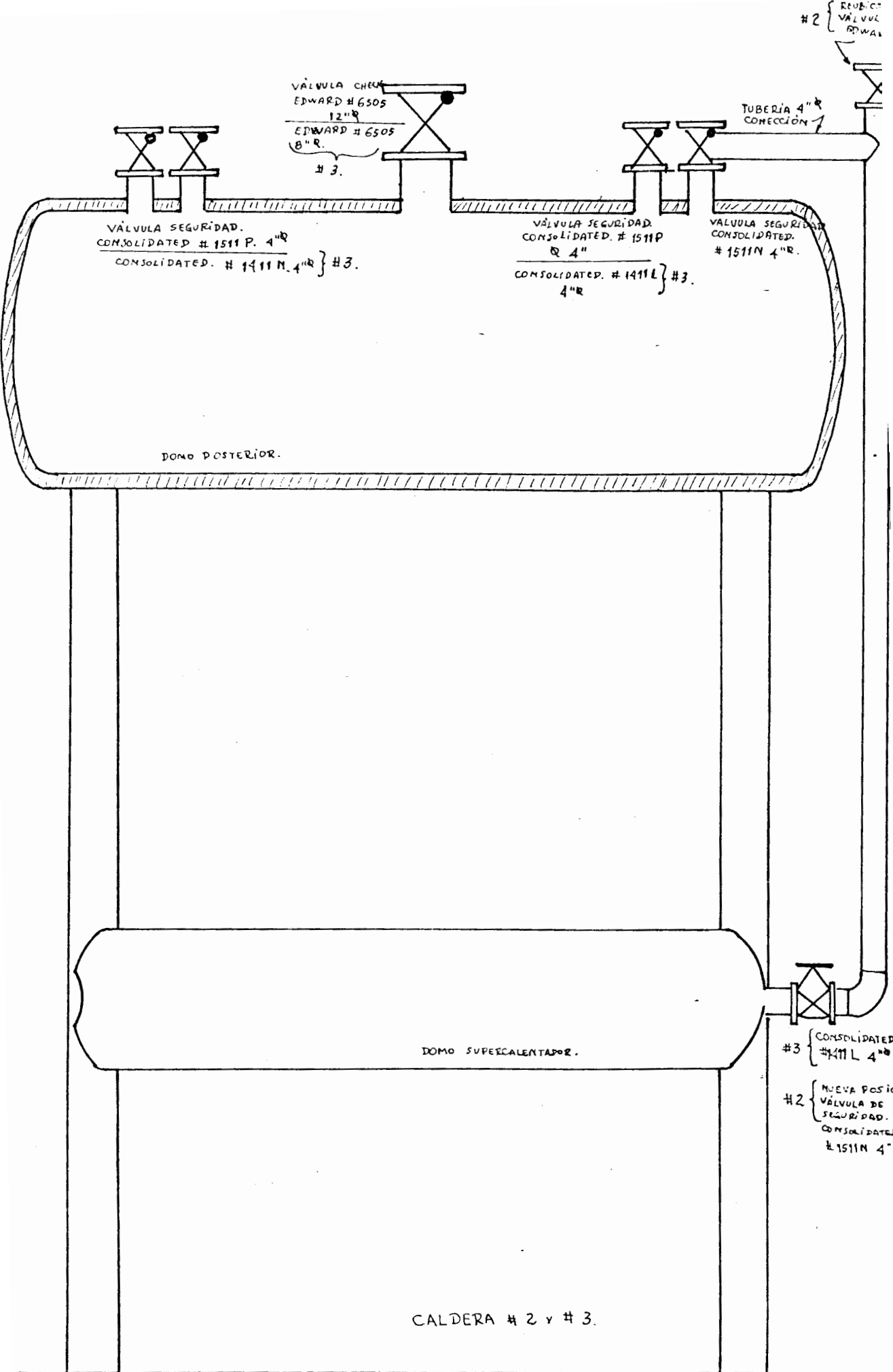
VISTA LATERAL

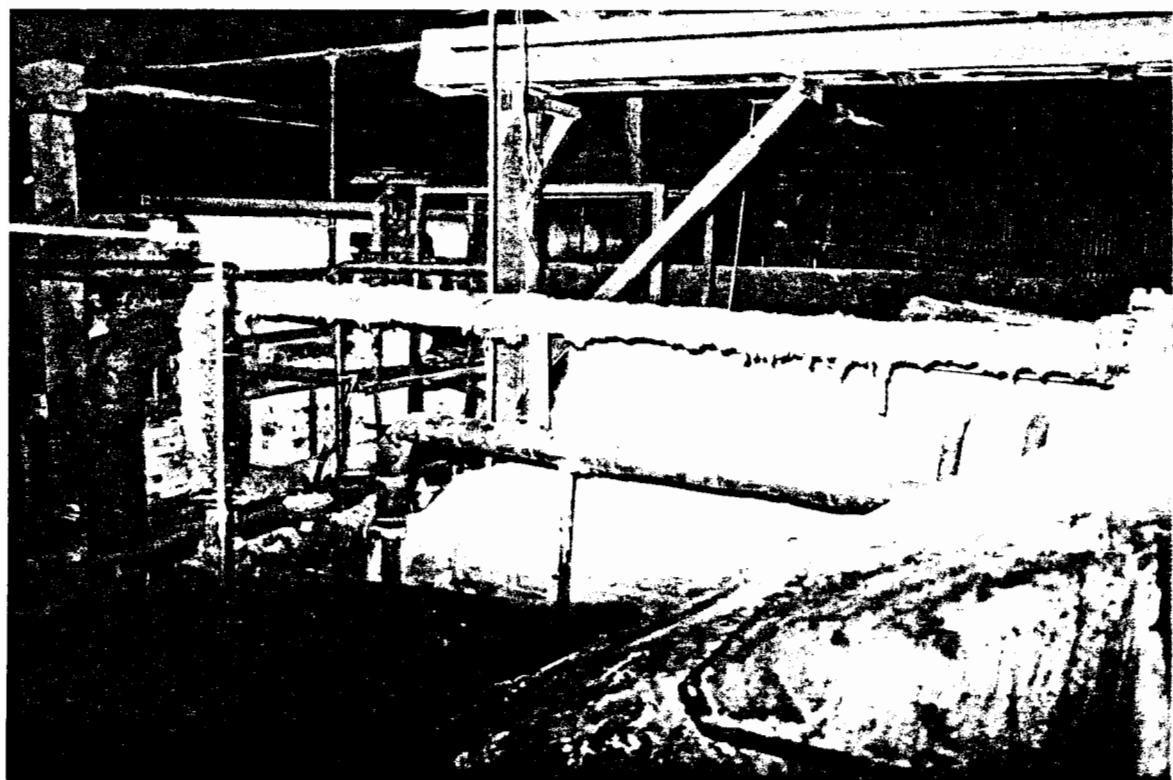
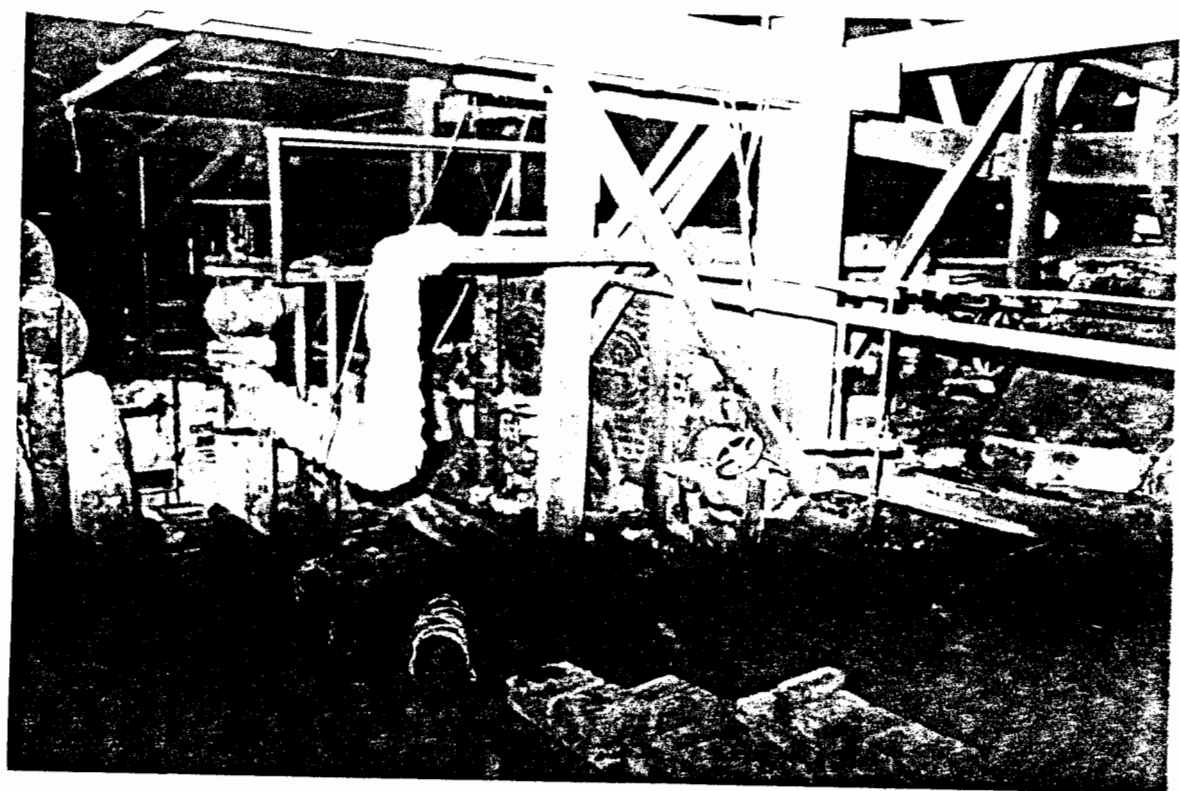
DISPOSICION DE LOS TUBOS
EN EL CABEZAL DE ENTRADA DEL
SUPERCALENTADOR DE VAPOR DE AGUA.
CALDERAS N° 1 Y N° 2

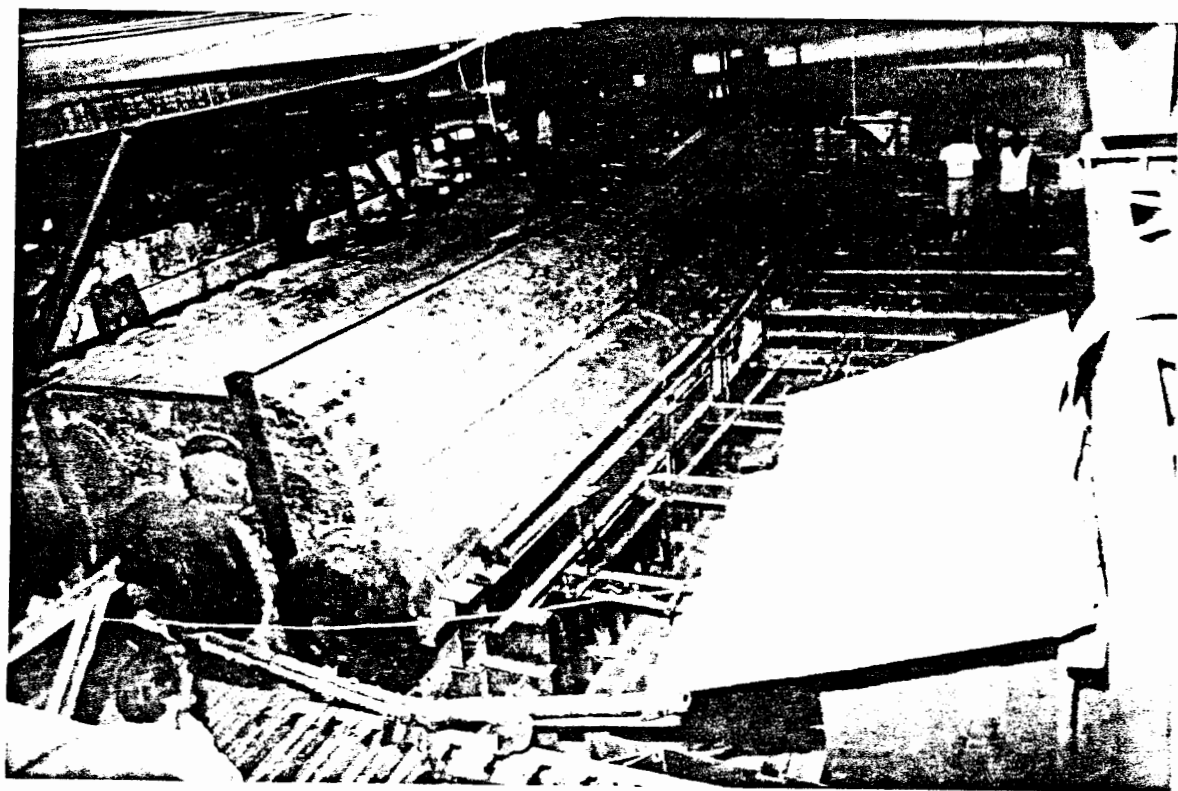
Fig # 7

• TUBOS TUBEROS
TOTAL 17

B (MK104)	= 7 TUBOS DE VAPOR SATURADO (2 31/32" Ø)
C (MK9)	= 39 TUBOS DEL SUPERCALENTADOR (2 1/2" Ø)
D (MK10)	= 27 " "







que no pase por el banco de tubos del supercalentador por medio de una tubería de 4" de diámetro y conectarla a la tubería de salida de vapor de la caldera, usandopara el efecto una salida disponible en la anteriormente existía una válvula de seguridad, en la figura #8 se observa el arreglo y distribución de esta tubería. Según el manual CRANE por una tubería de 4" de diámetro puede pasar vapor vivo a razón de 25.000 LB/HR con una velocidad de 10.000 pies/min, es decir que .pa se puede esperar sacar como máximo 25.000 LB/HR de vapor saturado para ser mezclado con el vapor recalentado, por lo tanto si esto se cumple se puede esperar que la caldera B&W S-9966 produzca 95.000 LB/HR de vapor y la caldera B&W S-9670 60.000 LB/HR.

En primer lugar se colocó la tubería de 4" de diámetro en la caldera B&W S-9966 colocando además una válvula de globo y una válvula check de 300 LB de vapor como una precaución, esto se realizó en unas de las 6 paradas que se efectúan los fines de semana. Luego que las calderas entraron a funcionar y entraron a regimen, se abrió la válvula de globo, inmediatamente se notó que la caldera aumentaba su producción, incluso en ciertos momentos sobrepasó las 100.000 LB/HR de producción, teniendo en las 24 horas de operación una producción promedio de 90.000 LB/HR.

En la caldera #3 se obtuvo una producción promedio en las 24 horas de 40.000 LB/HR.

Por lo tanto en estas dos calderas se obtuvo 25.000

LB/HR promedio más de vapor a un costo relativamente pequeño.

2.2.- CALDERA B&W S-9966

Para conocer el estado de los tiros es necesario conocer los flujos de gases y aire. Para el caso del tiro inducido el ducto por el que pasan los gases tiene una sección circular pero para el tiro forzado el ducto tiene una sección no circular. Debido a la falta de un instrumento que sea capaz de medir directamente el flujo por secciones grandes, se construyeron tubos pitot con el objeto de determinar las condiciones de estancamiento (presión total) y las condiciones de borde (presión estática) y con estos datos medir indirectamente el flujo, ayudado por las siguientes relaciones:

$$h_{dw} = h_{Tw} - h_{sw}$$

$$h_{da} = \frac{h_{dw} * \gamma_w}{\gamma_a}$$

$$\gamma_a = \frac{g}{g_c} * \frac{P_{atm}}{RT}$$

$$h_{da} = \frac{v_a^2}{2g}$$

$$v_a = c * \sqrt{2 * g * h_{da}}$$

$$Q_a = \gamma_a * v_a * A_{ducto}$$

En donde $h_{da} \rightarrow$ Cabezal dinámico en pg de aire

$h_{dw} \rightarrow$ Cabezal dinámico en pg de agua

$h_{Tw} \rightarrow$ Cabezal total en pg de agua

$h_{sw} \rightarrow$ Cabezal estático en pg de agua

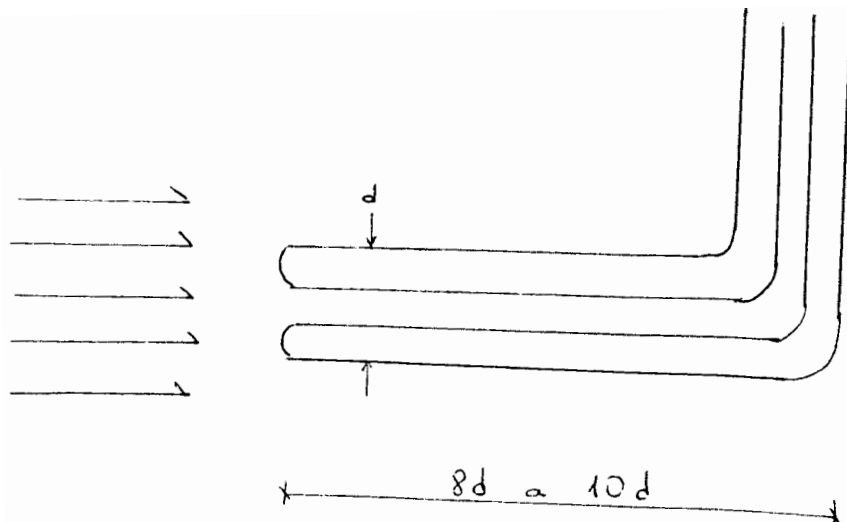
$\gamma_a \rightarrow$ peso específico del aire lb/pie³

γ_w -> peso específico del agua 62.4 lb/pie³
 g/gc -> 1
 P_{atm} -> presión atmosférica (en Ingenio 30 pg
 R -> constante universal de gases
 T -> Temperatura del aire en $^{\circ}R$
 v_a -> velocidad del aire pie /sg²
 g -> gravedad 32.2 pie/sg²
 c -> constante de calibración del pitot
 m -> flujo masico
 A_{ducto} -> Area del ducto

Para determinar el valor de "c" se instaló un pitot, similar al empleado para nuestras mediciones, en una línea de vapor la cual tiene instalada un plato orificio junto con un registrador del flujo, estos valores se compararon con los obtenidos con el pitot midiendo los cabezales totales y estáticos por medio de las ecuaciones anteriores, el cociente entre el flujo del plato orificio y el flujo calculado con el pitot nos da el valor de la constante "c". Para nuestro caso utilizamos el pitot a calibrar en una tubería de 8" de diámetro, lo que nos dio un factor "c" de .2995 , pero para efecto de nuestro estudio utilizaremos 0.3.

$c = 0.3$ FACTOR DE CALIBRACION DEL PITOT

Las dimensiones usadas en el pitot para la obtención de los datos se muestran el siguiente gráfico.



El tiro Inducido y Forzado poseen compuertas que se utilizan para regular el flujo, cuando la caldera está en operación el tiro Inducido trabaja con la compuerta completamente abierta, y el tiro Forzado parcialmente forzado (aproximadamente un 75%). Por la anteriormente expuesto se obtuvo para el Inducido una muestra de datos y para el Forzado dos, una para operación y otra para completamente abierta o máximo.

TIRO FORZADO EN OPERACION

$$hdw = 0.75 \text{ pg agua}$$

$$Aducto = 19.93 \text{ pie}^2$$

$$T = 80 \times F = 540 \times R$$

$$R = 53.3 \text{ lbf.pie/lb.} \times R$$

$$\begin{aligned} \gamma_a &= \frac{g}{gc} \times \frac{P_{atm}}{RT} \\ &= 1 \times \frac{30 \text{ pg H}_2\text{O} \times 0.491 \frac{\text{lb/pg}^2}{\text{pg H}_2\text{O}} \times 144 \text{ pg}^2/\text{pie}^2}{53.3 \frac{\text{lbf. pie}}{\text{lb.} \times R} \times 540 \times R} \\ a &= 0.073696 \text{ lb/pie}^3 \end{aligned}$$

$$hd = \frac{hdw \times \gamma_w}{\gamma_a}$$

$$\begin{aligned}
 & .75 \text{ pg} * 1/12 \text{ pie/pg} * 62.4 \text{ lb/pie}^3 \\
 & = \frac{\quad}{.073696 \text{ lb/pie}^3} \\
 & = 52.92 \text{ pie aire}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 v_a &= c * \sqrt{2 * g * h_d} \\
 &= .3 * \sqrt{2 * 32.2 \text{ pie/sg}^2 * 52.92 \text{ pie}} \\
 &= 17.51 \text{ pie/sg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 m_a &= \rho_a * v_a * A_{\text{ducto}} \\
 &= .073696 \text{ lb/pie}^3 * 17.51 \text{ pie/sg} * 19.93 \text{ pie}^2 * 3600 \text{ sg/hr} \\
 &= 92605.0 \text{ lb/hr}
 \end{aligned}$$

FORZADO MAXIMO

$$\begin{aligned}
 h_{dw} &= 1.75 \text{ pg H}_2\text{O} \\
 h_{da} &= \frac{1.75 \text{ pg} * 1/12 \text{ pie/pg} * 62.4 \text{ lb/pie}^3}{0.073696 \text{ lb/pie}^3} \\
 &= 123.48 \text{ pie aire}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 v_a &= .3 * \sqrt{2 * 32.2 \text{ pie/sg}^2 * 123.48 \text{ pie}} \\
 &= 26.75 \text{ pie/sg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 m_a &= .073696 \text{ lb/pie}^3 * 26.75 \text{ pie/sg} * 19.93 \text{ pie}^2 * 3600 \text{ sg/hr} \\
 &= 141454.4 \text{ lb/hr}
 \end{aligned}$$

INDUCIDO

Los gases al salir de la caldera tienen una cantidad de bagazo que no se ha terminado de quemar o combustionar, esto causa que la medición del cabezal total en el tubo pitot se altere ya que tiende a taponarse por lo que se optó por tomar los datos utilizando aire a temperatura ambiente.

$$hdw = 0.5 \text{ pg H2O}$$

$$Aducto = 45.79 \text{ pie}^2$$

$$hda = \frac{.5 \text{ pg} * 1/12 \text{ pie/pg} * 62.4 \text{ lb/pie}^3}{.073696 \text{ lb/pie}^3}$$

$$= 35.28 \text{ pie de aire}$$

$$va = 0.3 * \sqrt{2 * 32.2 \text{ pie/sg}^2 * 35.28 \text{ pie}}$$

$$= 14.3 \text{ pie/sg}$$

$$ma = .073696 \text{ lb/pie}^3 * 14.3 \text{ pie/sg} * 45.79 \text{ pie}^2 * 3600 \text{ sg/hr}$$

$$= 173721.3 \text{ lb/hr}$$

Los cálculos anteriores fueron realizados con una producción promedio de vapor de 90000 lb/hr. Si hacemos un balance de energía para esta producción, tenemos:

PRODUCCION DE VAPOR 90000LB/HR

PRESION DE VAPOR 220 PSIG

TEMP VAPOR 510 xF

ENTALPIA VAPOR 1270 BTU/LB

TEMP AGUA 205 xF

ENTALPIA AGUA 168.4 BTU/LB

Energía Absorbida por el agua para convertirse en vapor

$$Qa = Mv * (Hv - Ha)$$

$$= 90000 \text{ lb/hr} * (1270 - 168.4) \text{ BTU/lb}$$

$$= 99,144,000 \text{ BTU/lb}$$

Energía generada (eficiencia 62 %)

$$Qg = Qa/e$$

$$= 99,144,000 \text{ BTU/hr} / .62$$

$$= 159.909.677 \text{ BTU/hr}$$

Bagazo requerido (poder calorífico 3375 BTU/lb)

$$M_b = Q_g / C_b$$

$$= 159,909,677 \text{ BTU/hr} / 3375 \text{ BTU/lb}$$

$$= 47380 \text{ lb/hr}$$

Aire requerido para la combustión

$$M_a = M_b * 4.22$$

$$= 47380 \text{ lb/hr} * 4.22$$

$$= 199,946 \text{ lb/hr}$$

Flujo de gases

$$M_g = M_b * 5.17$$

$$= 47380 \text{ lb/hr} * 5.17$$

$$= 244,958 \text{ lb/hr}$$

2.3.- CALDERA B&W S-9670

De igual manera se determina el flujo de los tiros Inducidos y Forzados por medio de tubos pitot instalados en los ductos de aire y gases. Las condiciones de operación son similares a las de la Caldera B+W S-9966 por lo que para el tiro Forzado se realizó dos mediciones la una con la compuerta completamente abierta y la otra con la compuerta 75% abierta, para el Inducido como trabaja con la compuerta completamente abierta se realizó una sola medición.

TIRO FORZADO EN OPERACION

$$h_{dw} = 0.8215 \text{ pg agua}$$

$$A_{ducto} = 10.69 \text{ pie}^2$$

$$T = 80^{\circ}\text{F} = 540^{\circ}\text{R}$$

$$R = 53.3 \text{ lbf.pie/lb.}^{\circ}\text{R}$$

$$\gamma_a = \frac{g}{g_c} * \frac{P_{atm}}{RT}$$

$$= 1 * \frac{30 \text{ pg H2O} * 0.491 \frac{\text{lb}_f/\text{pg}^2}{\text{pg H}_2\text{O}} * 144 \text{ pg}^2/\text{pie}^2}{53.3 \frac{\text{lb}_f \cdot \text{pie}}{\text{lb}_m \cdot \text{or}} * 540 \times R}$$

$$a = 0.073696 \text{ lb/pie}^3$$

$$hd = \frac{hdw * \gamma_w}{\gamma_a}$$

$$= \frac{.8215 \text{ pg} * 1/12 \text{ pie/pg} * 62.4 \text{ lb/pie}^3}{.073696 \text{ lb/pie}^3}$$

$$= 57.33 \text{ pie aire}$$

$$va = c * \sqrt{2 * g * hd}$$

$$= .3 * \sqrt{2 * 32.2 \text{ pie/sg}^2 * 57.33 \text{ pie}}$$

$$= 18.228 \text{ pie/sg}$$

$$ma = \gamma_a * va * Aducto$$

$$= .073696 \text{ lb/pie}^3 * 18.228 \text{ pie/sg} * 10.69 \text{ pie}^2 * 3600 \text{ sg/hr}$$

$$= 51698.7 \text{ lb/hr}$$

FORZADO MAXIMO

$$hdw = 1.00 \text{ pg H2O}$$

$$hda = \frac{1.00 \text{ pg} * 1/12 \text{ pie/pg} * 62.4 \text{ lb/pie}^3}{0.073696 \text{ lb/pie}^3}$$

$$= 70.54 \text{ pie aire}$$

$$va = .3 * \sqrt{2 * 32.2 \text{ pie/sg}^2 * 70.54 \text{ pie}}$$

$$= 20.219 \text{ pie/sg}$$

$$ma = .073696 \text{ lb/pie}^3 * 20.219 \text{ pie/sg} * 10.69 \text{ pie}^2 * 3600 \text{ sg/hr}$$

$$= 57346 \text{ lb/hr}$$

INDUCIDO

Los gases al salir de la caldera tienen una cantidad de bagazo que no se ha terminado de quemar o combustionar, esto causa que la medición del cabezal total en el tubo pitot se altere ya que tiende a taponarse, por lo que se optó por tomar los datos utilizando aire a temperatura ambiente.

$$hdw = 1.0 \text{ pg H}_2\text{O}$$

$$Aducto = 20.41 \text{ pie}^2$$

$$hda = \frac{1 \text{ pg} * 1/12 \text{ pie/pg} * 62.4 \text{ lb/pie}^3}{.073696 \text{ lb/pie}^3}$$

$$= 70.56 \text{ pie de aire}$$

$$va = 0.3 * \sqrt{2 * 32.2 \text{ pie/sg}^2 * 70.56 \text{ pie}}$$

$$= 20.22 \text{ pie/sg}$$

$$ma = .073696 \text{ lb/pie}^3 * 20.22 \text{ pie/sg} * 20.41 \text{ pie}^2 * 3600 \text{ sg/hr}$$

$$= 109504.8 \text{ lb/hr}$$

Los cálculos anteriores fueron realizados con una producción promedio de vapor de 40000 lb/hr. Si hacemos un balance de energía para esta producción, tenemos:

PRODUCCION DE VAPOR 40000LB/HR

PRESION DE VAPOR 220 PSIG

TEMP VAPOR 545 xF

ENTALPIA VAPOR 1287 BTU/LB

TEMP AGUA 212xF

ENTALPIA AGUA 170 BTU/LB

Energía Absorbida por el agua para convertirse en vapor

$$Qa = Mv * (Hv - Ha)$$

$$= 40000 \text{ lb/hr} * (1287 - 170.0) \text{ BTU/lb}$$

$$= 50'265.000 \text{ BTU/lb}$$

Energía generada (eficiencia 62 %)

$$Q_g = Q_a / e$$

$$= 50'265,000 \text{ BTU/hr} / .62$$

$$= 81'072,580.65 \text{ BTU/hr}$$

Bagazo requerido (poder calorífico 3375 BTU/lb)

$$M_b = Q_g / C_b$$

$$= 81'072.580.65 \text{ BTU/hr} / 3375 \text{ BTU/lb}$$

$$= 24021.5 \text{ lb/hr}$$

Aire requerido para la combustión

$$M_a = M_b * 4.22$$

$$= 24021.5 \text{ lb/hr} * 4.22$$

$$= 101,370.7 \text{ lb/hr}$$

Flujo de gases

$$M_g = M_b * 5.17$$

$$= 24021.5 \text{ Lb/hr} * 5.17$$

$$= 124,191.18 \text{ Lb/hr}$$

Todos estos datos se han colocado en las tablas #1 y #2 la cual resume las especificaciones que el constructor da a la caldera y los parámetros actuales de funcionamiento de las dos calderas, junto con una tercera columna en la que se explica la posible causa de la diferencia de valores entre las dos primeras columnas.

2.4 .-OTRAS MEJORAS

En el transcurso de la obtención y cálculo de flujos se observó que el colector general de calderas estaba constituido por tuberías de diferente diámetro, uno de 12 " y la otra de 16" ,tal como se muestra en las figuras 9a y 9b. Por lo que fué necesario calcular el diámetro mínimo de una tubería por la que se pueda circular la suma total de las producciones de todas las calderas. Si tomamos la producción nominal, por la tubería debe circular 442,000 lb/hr de vapor a 220 psig con 540 °F y que la caída de presión sea la menor posible.

En la página 3-16 del manual CRANE FLOW THROUGHT PIPE, VALVES AND FITTINGS, la velocidad razonable para vapor supercalentado con una presión mayor que 200 psig está comprendida entre 7000 y 20000 pie/min. Además en el mismo manual pagina 3-16 la velocidad para fluido compresible se puede calcular con la siguiente ecuación:

$$v = 3.06 * \frac{w * V}{d^2}$$

donde v es la velocidad media del flujo (pie/min)
 w es el flujo del vapor (lb/hr)
 V es el volumen específico del fluido (pie³/lb)
 d es el diámetro interno de la tubería (pg)

de los cuales

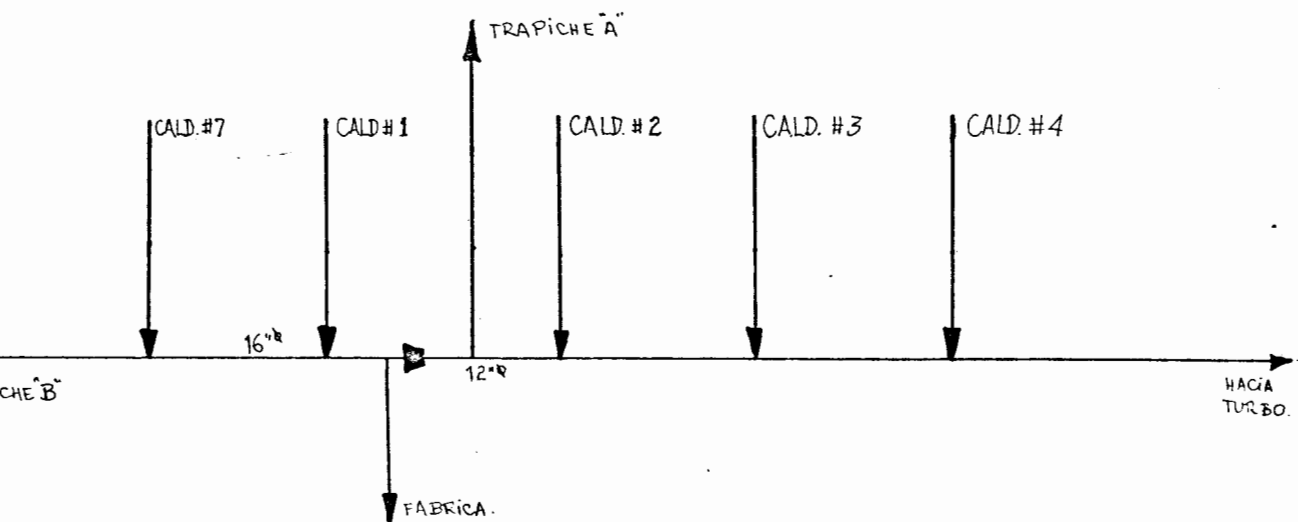


FIG. 9a.

COLECTOR DE VAPOR (ANTES).

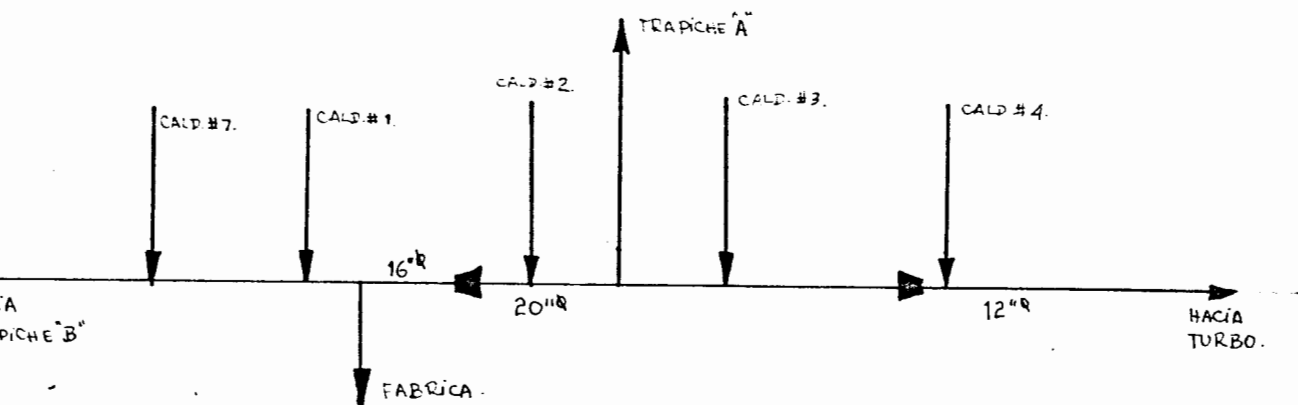


FIG. # 9b.

COLECTOR DE VAPOR (ACTUAL).

$$v = 7000 \text{ a } 20000 \text{ lb/hr}$$

$$V = 2.358 \text{ pie}^3/\text{lb TABLA A12 a A19 MANUAL CRANE}$$

$$w = 442000 \text{ Lb/hr}$$

Para una velocidad de 7000 pie/min tenemos:

$$d = \sqrt{3.06 * \frac{w+V}{v}}$$

$$d = \sqrt{3.06 * \frac{442000 \text{ lb/hr} * 2.358 \text{ pie}^3/\text{lb}}{7000 \text{ pie/min}}}$$

$$d = 21.35 \text{ pg}$$

En el monograma adjunto tenemos (3-17 CRANE)

$d = 24 \text{ "}$ diámetro SCHEDULE 40 con una velocidad de 18000 pie/min

Para una velocidad de 20000 pie/min tenemos

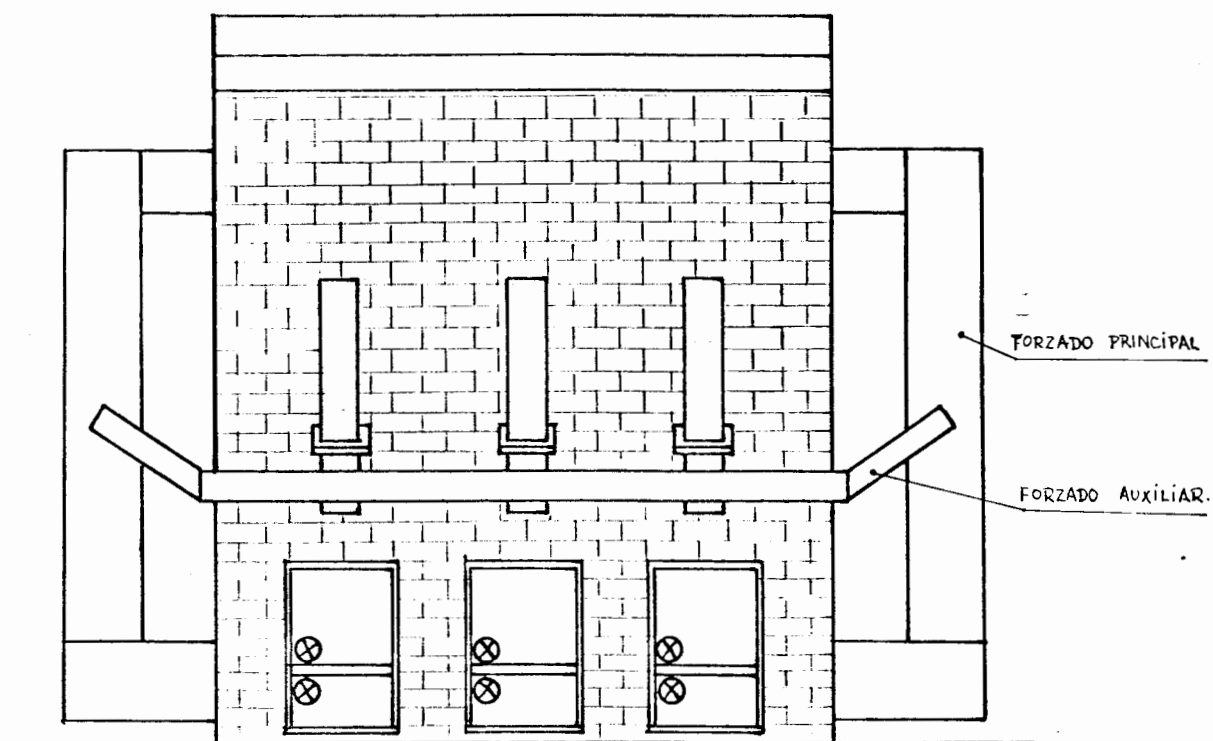
$$d = \sqrt{3.06 * \frac{442000 \text{ lb/hr} * 2.358 \text{ pie}^3/\text{lb}}{20000 \text{ pie/min}}}$$

$$d = 12.63 \text{ pg}$$

En el monograma adjunto (3-17 CRANE)

$d = 12 \text{ "}$ diámetro SCHEDULE 40 con una velocidad de 30000 pie/min

Además todas las calderas estaban utilizando aire frio como forzado auxiliar, este aire ayuda a crear turbulencia en el horno lo cual permite que el bagazo este un poco más de tiempo en suspensión y por consiguiente se combustione de mejor manera, tambien este aire ayuda a la combustión permitiendo que el CO.



DISPOSICION DE TUBERIA DE FORZADO AUXILIAR.

FIG. 10

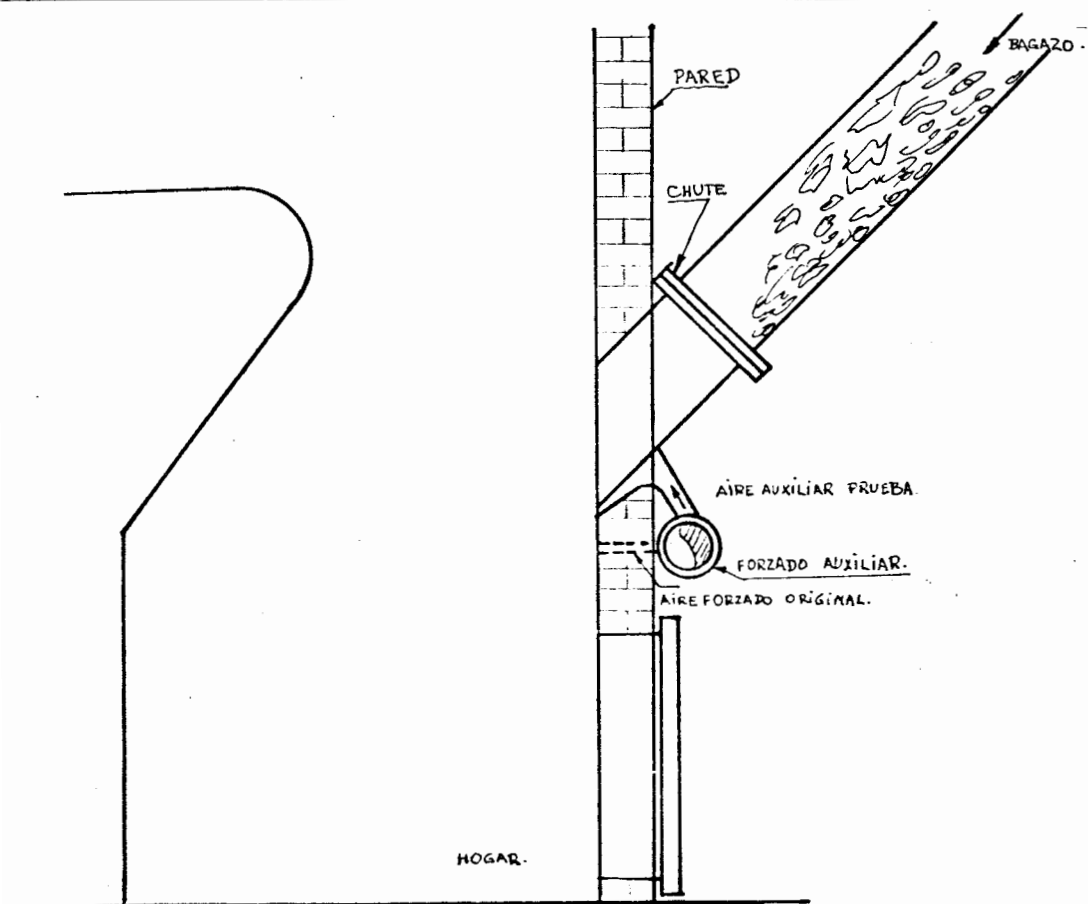


FIG. 11

FLUJO DE AIRE DE FORZADO AUXILIAR.

formado, por mala combustión, se transforme en CO2 permitiendo una liberación extra de energía , el problema se presenta que al ser frío tiende que la temperatura del hogar baje, para solucionar este inconveniente se construyó tubos de 10" de diámetro rolando planchas de 3/16 de espesor y se lo instaló en las calderas de tal manera que el aire utilizado sea el mismo que el forzado principal que es caliente, con lo que se consigue el mismo efecto pero sin enfriar el horno.

Una variante de esto último se está sometiendo a prueba durante la presente zafra, en la que el aire del forzado auxiliar antes de entrar al hogar, pasa por los chutes alimentadores de bagazo consiguiendo de esta manera "enfriar" el chute que es de hierro fundido que esta sometido a llama directa, y calentar por consiguiente un poco más el, esto se muestra esquemáticamente en las figuras # 10 y 11.

2.5 .-SOLUCION DEFINITIVO DEL PROBLEMA

En primer lugar, por las características de funcionamiento del Ingenio San Carlos todo cambio o reparación que tenga un tiempo de ejecución de más de 1 día (24 horas continuas) causa la paralización parcial o total de la planta, a no ser como en algunos casos se programe los cambios para ser realizados en el tiempo de no molienda, tal es el presente caso ya que los cambios que se pretenden realizar tienen un tiempo de duración

de más de un mes, por lo que estos cambios se realizarán luego de terminada la presente zafra, es decir en el periodo comprendido de enero a junio de 1991.

Los tubos tanto del banco generador como del supercalentador de las calderas motivo del presente estudio, deben de ser colocados, por lo que esta tarea debe de ser realizada por un grupo de 6 hombres, los cuales en una jornada de 8 horas deben de ser capaces de colocar 3 tubos, comprendida la tarea de alinearlos y espararlos, por lo que para un total de 110 tubos se necesitan 37 días laborables para cambiarlos.

El ventilador del tiro Inducido de la caldera #3 va a ser cambiado por uno de 2" más de diámetro que se tiene de repuesto para la caldera #1, tal como se muestra en la figura #12, esto se lo debe de realizar ya que siendo la caldera #1 y #3 de la misma capacidad misma marca y diseño desalojan la misma cantidad de gases y deben tener ventiladores del mismo tamaño que giren a la misma velocidad.

En cuanto al ventilador del tiro Inducido de la caldera #2 se esta realizando consultas con la Compañía Colombiana Refra_Metal subsidiaria de SOLIVENT-VENTEC para que nos suministren un ventilador que cumpla con las condiciones de diseño.

En refractarios la caldera #2 va a repararse integralmente el cielo ya que este se encuentra agrietado

siendo causa de entrada de aire frio al banco generador de tubos, esto sucede por que la caldera trabaja con un vacio de -0.5 " de H2O. Para la caldera #3 el trabajo es mucho más largo y costoso ya que se repararán las dos paredes laterales, la pared frontal y se reconstruirán completamente los hornos.

Al no tener completo los tubos del supercalentador, la caldera #2 un 29.93% y la caldera #3 un 25.76% de superficie de transferencia, el vapor fluye con una mayor velocidad por los tubos existentes, teniendo el vapor de esta manera menos tiempo para aumentar su energía, además al aumentar el vapor su velocidad por la ecuación de continuidad teniendo flujo estable y uniforme y aproximando el vapor a un gas ideal se tiene

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_{cv} \rho dV + \int_{cs} \rho \mathbf{v} \cdot d\mathbf{A} = 0$$

$$\int_{cs} \rho \mathbf{v} \cdot d\mathbf{A} = 0$$

$$\int_1 \rho_1 v_1 A_1 = \int_2 \rho_2 v_2 A_2$$

$$\frac{\rho_1}{\rho_2} = 1.43$$

$$\frac{A_1}{A_2} = 1/2$$

$$v_2 = 1.43 v_1 \frac{1}{2}$$

PARA CALDERA #2

Si por cada tubo pasan 657 lb/hr de vapor
(90.000 lb/hr PRODUCCION)

$$\mu = 0.020 \text{ centipoise (CRANE A-2)}$$

En el nomograma de 3.19 de CRANE

$$Re > 10.000$$

$$e/D = 0.0006 \text{ pag 365 Introd. to Fluid}$$

Mecha. FOX+MCDONALD

Lo que nos dá un flujo turbulento en cada uno de los tubos creando zonas de resistencia al paso del vapor, y de esta manera restringiendo la producción de la caldera. Igual analisis se puede efectuar con la caldera #3.

CONCLUSIONES

Con relación al problema planteado de baja producción de vapor en las calderas #2 y #3 y después de haber analizado posibles soluciones y puesto en marcha lo que se ha indicado se extraen las siguientes conclusiones:

.- Las grietas en las paredes de los refractarios ocasionan fugas de gases calientes las cuales causan que parte del calor generado se pierda.

.- Los tubos faltantes en los supercalentadores ocasionan zonas de flujo turbulento creando de esta manera una resistencia al paso del vapor hacia el colector para su consumo.

.- La calidad del combustible y la operación manual de la caldera influyen para que éstas tengan una régimen de funcionamiento no estable.

.- La falta de instrumentación adecuada en las calderas ocasionó que el problema no sea detectado a tiempo.

.- Los ventiladores de los tiros inducidos a las velocidades de operación actuales no manejan la cantidad de gases especificados por el constructor de las calderas.

.- Por efecto del tiempo y la falta de limpieza se ha formado en los tubos capas de hollín, las cuales

dificultan la transferencia de calor.

RECOMENDACIONES

.- En el tiempo muerto comprendido de enero a mayo de 1991 todas las grietas exixtentes en la paredes deben de ser reparadas, y donde el caso lo amerite reparar totalmente la pared. Es así que para el caso de la caldera #2 se reparará completamente el cielo, y para la caldera #3 las dos paredes laterales y la pared frontal incluido el cielo.

.- Los tubos faltantes tanto de agua como de vapor del supercalentador deben de ser colocados durante el tiempo muerto.

.- Para poder realizar mendiciones de los flujos de los gases de los ventiladores de los tiros inducidos en forma directa es necesaria la adquisición de los instrumentos adecuados.

.- Durante el tiempo de zafra en que las calderas se encuentran en funcionamiento se debe de realizar una mejor y cuidadosa supervisión de la operacion de estas.

BIBLIOGRAFIA

- .- MANUAL DE OPERACION DE LAS CALDERAS #2 Y #3
BABCOCK & WILCOX
- .- INTRODUCTION TO FLUID MECHANICS
FOX & McDONALD
- .- MANUAL DEL INGENIERO AZUCARERO
HUGOT
- .- ENERGIA
REVISTA DE INGENIERIA ENERGETICA
- .- MANUAL CRANE: FLOW THROUGHT VALVES, FITTINGS AND PIPE
CRANE
- .- SELECCION DE VENTILADORES
CHICAGO BLOWER CORP.
- .- INFORME DE LA MISION DE HAWAI (1961)
- .- COMUNICACIONES INTERNAS Y CON PROVEEDORES.
- .- APUNTES DE ANALISIS DE PLANTAS
ING. RAUL LASCANO

CALDERA N° 2
B & W S-9966 CL32 SP.LDL #60

CARACTERISTICAS	DATOS DE DISEÑO	DATOS DE TRABAJO
Fecha de Montaje	1.956	
Producción Vapor (Bogazo) Lbs/Hr.	122.000	90.000
Producción Vapor (Petróleo) Lbs/Hr.	60.000	
Presión de Trabajo PSI.	225 (Diseño)	225
Presión vapor a la salida Domo #/ps2	125	225
Superficie de Calentamiento Pie2	16.890	16.414
Bras de Vapor/Superficie Calórica	7,22	5,48
Temperatura de Vapor Calentado	550°F	525°F
Temperatura de Agua de Alimentación	212°F	205°F
Número de Tubos de la Caldera	1.320	1.273
Número de Hornos, Tipo	4 WARD	4 WARD
Superficie de Hornos Pie2	208	208
Área Vapor / Superf Hornos	586,5	432,7
Presión STD LB	1400	4000
CALENTADOR DE AIRE		
Número de Tubos	Vertical	Vertical
Superficie de Calentamiento Pie2	672	672
Temperatura Gases Entrada Recalentador	8.790	8.790
Temperatura Gases Salida Recalentador	655°F	600°F
Temperatura Aire Entrada Calentador	460°F	475°F
Temperatura Aire Salida Calentador	80°F	80 °F
Área Vapor/Pie2 Superf Calentador	395°F	425°F
CO2 Gases	11.70	10.23
		14-16%
VENTILADOR de TIPO INDUCIDO		
Uso de Gas #/Hr requerido	251.000/5,7"H2O/460 °F	173.721/aire 80°F/ 4-5,5"H2O gas
Temperatura de Gas °F (Chimenea)	460 °F	475 °F
Uso Total Requerido "H2O	5,7"H2O/251.000 #/Hr	10,2"H2O/ 173.721 #/Hr
Velocidad	1.181/251.000 #/Hr	1.181/173.721 #/Hr
	225/251.000 #/Hr	225/173.721 #/Hr
	Recinto-Recinto	Recinto-Recinto
	1 Dices/K	1 Dices/K
	140	140
	55254	55254
	1.770	1.770
	460/250	460/250
VENTILADOR de TIPO FORZADO		
Uso Total Requerido "H2O	7,0"H2O/184.000#/Hr	5,9"H2O/92.605#/Hr
Uso de Gas Requerido (Lb/Hr)	184.000#/Hr/7,0" H2O °F	92.605#/Hr/5,9/H2O°F
Marca	Sturtevant	Sturtevant
Modelo	# 95 TV-10 DISE	# 95 TV-10 DISE
Tamaño	Mont 3 Clase 2	Mont 3 Clase 2
Velocidad	1110/97	1233/101
Compuerta de Tipo	Exterior	Exterior
(Motor Transmisión)	150	150
M (Motor Transmisión)	1.770	1.770



Compuerta 100% abierta
Chimenea - Ventilador



Compuerta 75% abierta
141.454 #/hr compuerta
100% abierta

CALDERA N° 3
B & W S-9670 CLSZ SPL.LDL #40

CARACTERISTICAS	DATOS DE DISEÑO	DATOS DE TRABAJO
Costo de Montaje	1.950	
Producción Vapor (Pagado) Lbs/Hr.	61.000	39.000
Producción Vapor (Retenido) Lbs/Hr.	61.000	
Costo de Trabajo PSI.	225 (Diseño)	225
Superficie de Calentamiento Pie2	10.510	10.510
Presión de Vapor/Superficie Calórica	5,90	3,71
Temperatura de Vapor Calentado	550 °F	585 °F
Temperatura de Agua de Alimentación	212 °F	205 °F
Diámetro de Tubos de la Caldera	840	840
Diámetro de Hornos, Tipo	3 WARD	3 WARD
Superficie de Hornos Pie2	176	176
Ar Vapor/Superf Hornos	448.53	296.76
Costo ETU/Lb	4.400	4.000
CALENTADOR DE AIRE		
Diámetro de Tubos	Vertical 392	Vertical 392
Superficie de Calentamiento Pie2	5.130	5.130
Temperatura Gases Entrada Recalentador	627 °F	600 °F
Temperatura Gases Salida Recalentador	438 °F	450 °F
Temperatura Aire Entrada Calentador	80 °F	80 °F
Temperatura Aire Salida Calentador	371 °F	425 °F
Ar Vapor/Pie2 Superf Calentador	11,69	7,60
Costo Gases		14-16%
VENTILADOR de TIPO INDUCIDO		
Costo de Gas \$/Hr Requerido	127.000/5,1"/430 °F	77.431/4"H2O
Temperatura de Gas °F (Chimenea)	430	/Aire 80°F 450
Costo Total Requerido °H2O	5,1"/127.000	3,5"-4,0"H2O
Ventilador	1.170	1.185
	100 HP	63
	Pratt-Daniel	Pratt-Daniel
	Thermix	Thermix
	#110 Design K	#110 Design K
	1.185	1.185
	220/100	110/100
VENTILADOR de TIPO FORZADO		
Costo Total Requerido (°H2O)	6,5"/51.702 \$/Hr	6-6,5"/51.702\$/Hr
Costo de Gas Requerido (LB/Hr)	51.000/6,5"/60 °F	51.702/6-6,5/60 °F
	Sturtevant	Sturtevant
	8481 ABR3	8481 ABR3
	440	440
	6A-17308	6A-17308
	1.180/50	1.400/42
Costo de Tipo	Exterior	Exterior
(Motor Transmisión)	50	50
(Motor Transmisión)	1.180	1.180



Compuerta 100% abierta
Chimenea modificada

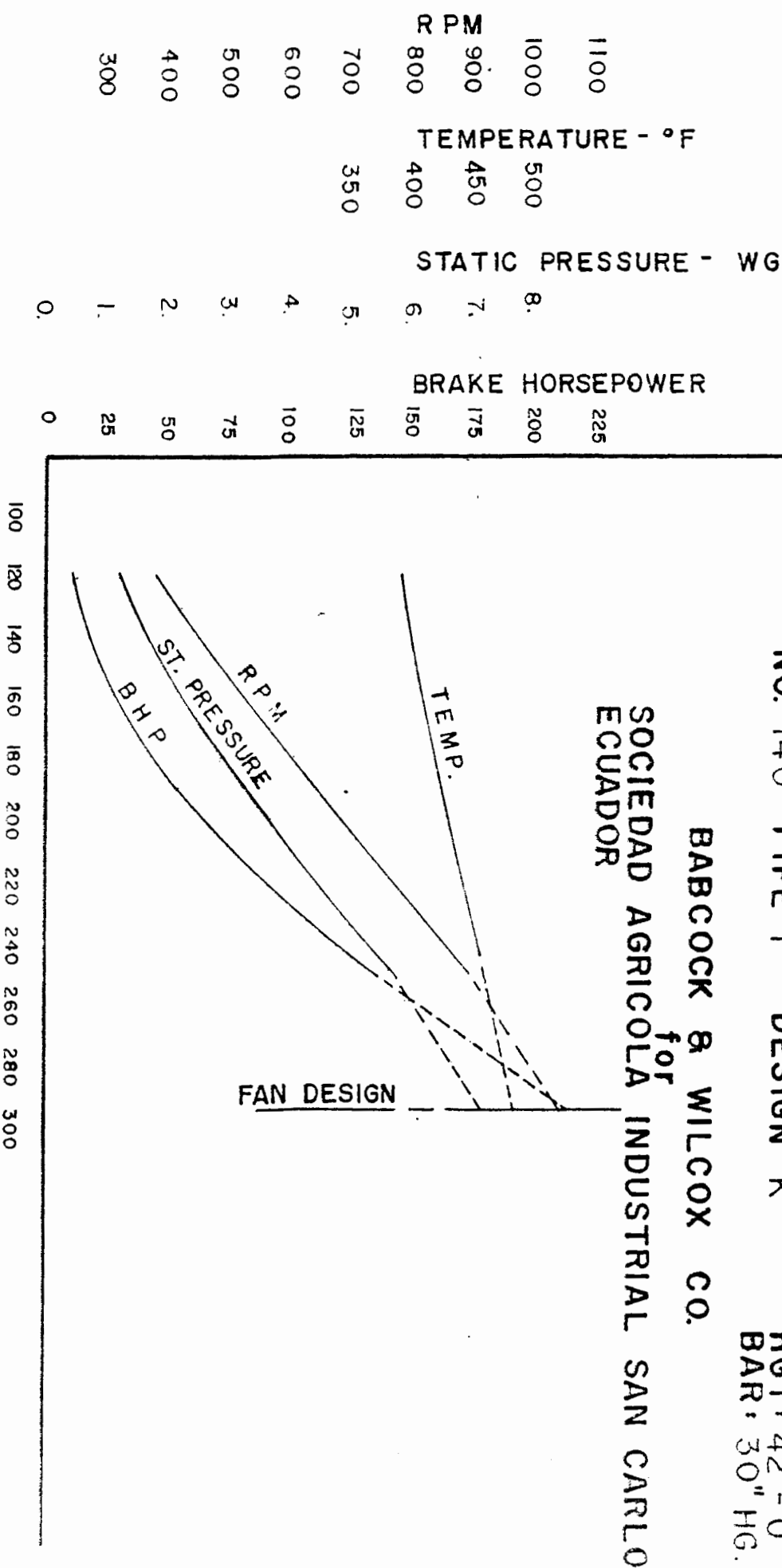
Compuerta 75% abierta
57046 Lb/Hr compuerta
100% abierta

TIPO INDUCIDO CALDERON #2

PRAT - DANIEL INDUCED DRAFT FAN STACK
 CHARACTERISTIC CURVES
 NO. 140 TYPE 1 DESIGN K

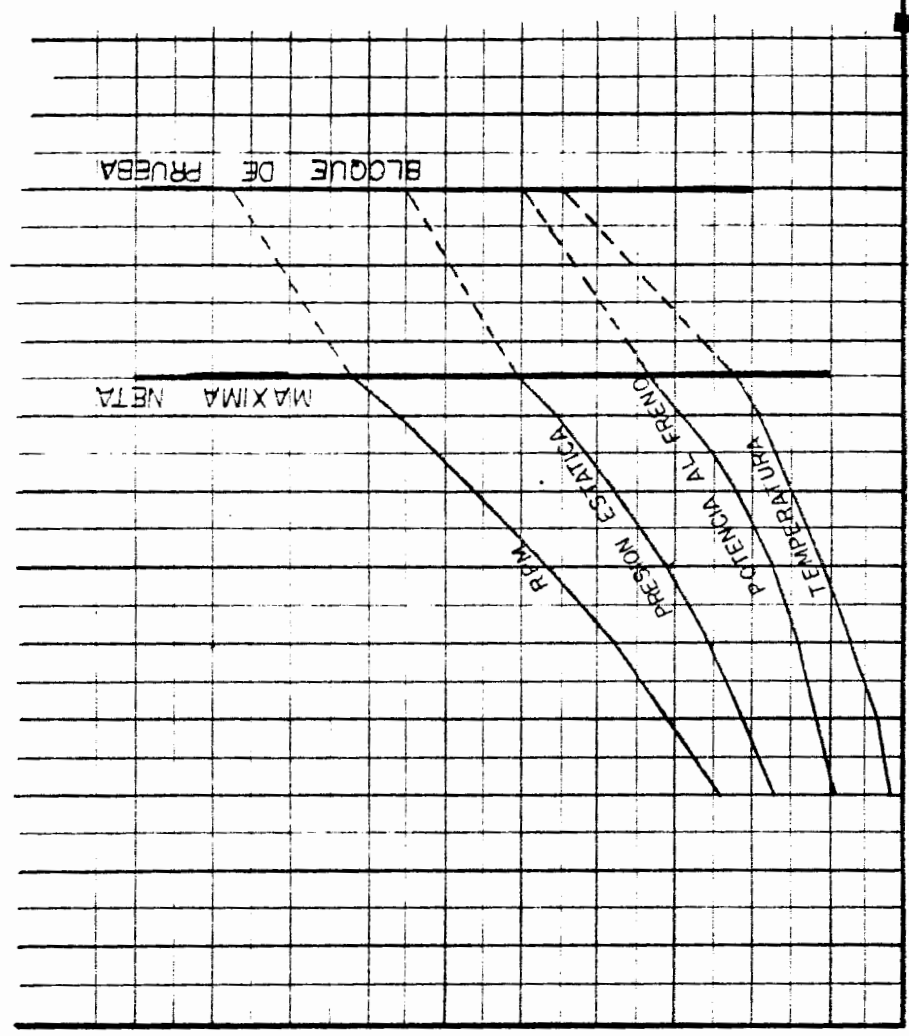
HGT. 42'-0"
 BAR. 30" HG.

BABCOCK & WILCOX CO.
 for
 SOCIEDAD AGRICOLA INDUSTRIAL SAN CARLOS
 ECUADOR



ALTITUD 42'-0"
PRESION ATMOSF 30" HG
DIAM. SUPERIOR 6'-3"
ELEVACION 160'-0"

CURVA CARACTERISTICA



LIBRAS DE GAS POR HORA (x 1000)

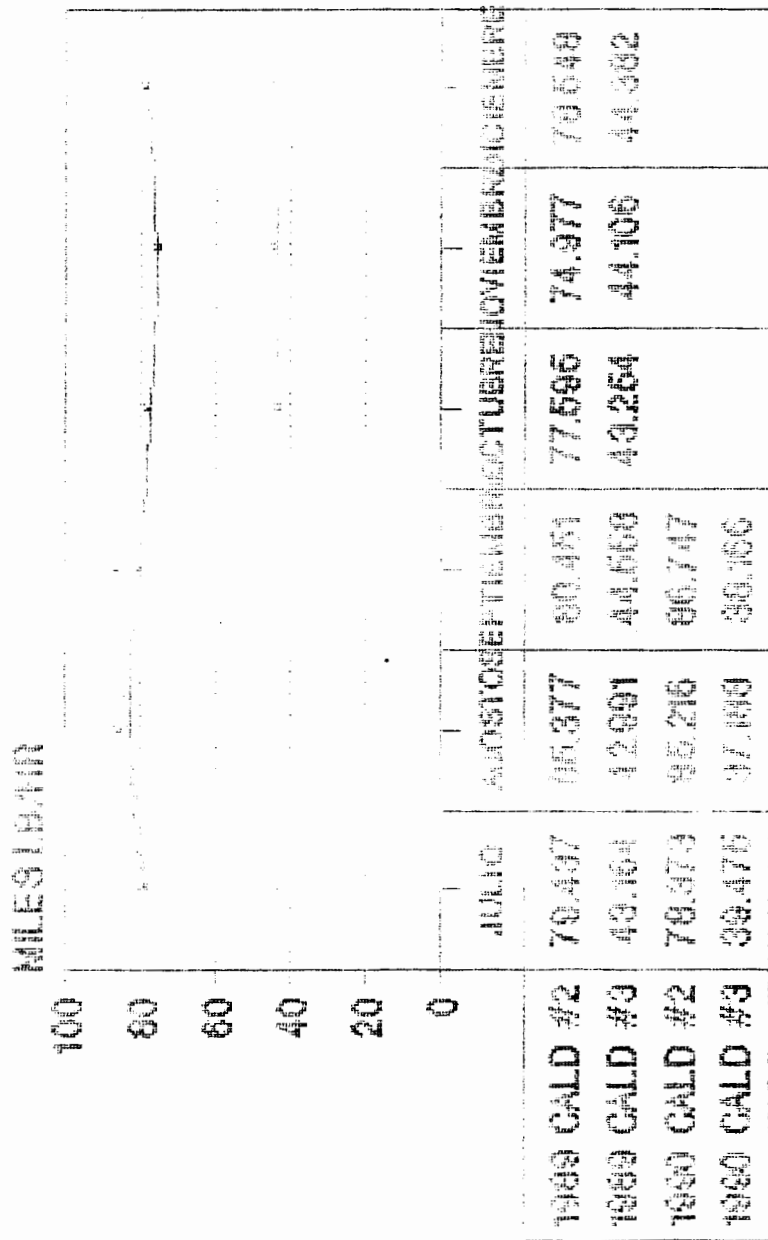


PRESION ESTATICA - "W"

TEMPERATURA - °F

1000 P.M.
900
800
700
600
500
460
440
420
400
380
360

PRODUCCION DE VAPOR



1989 CALD #2	1989 CALD #3
1989 CALD #2	1989 CALD #3

AL 10 DE SEPTIEMBRE 1990

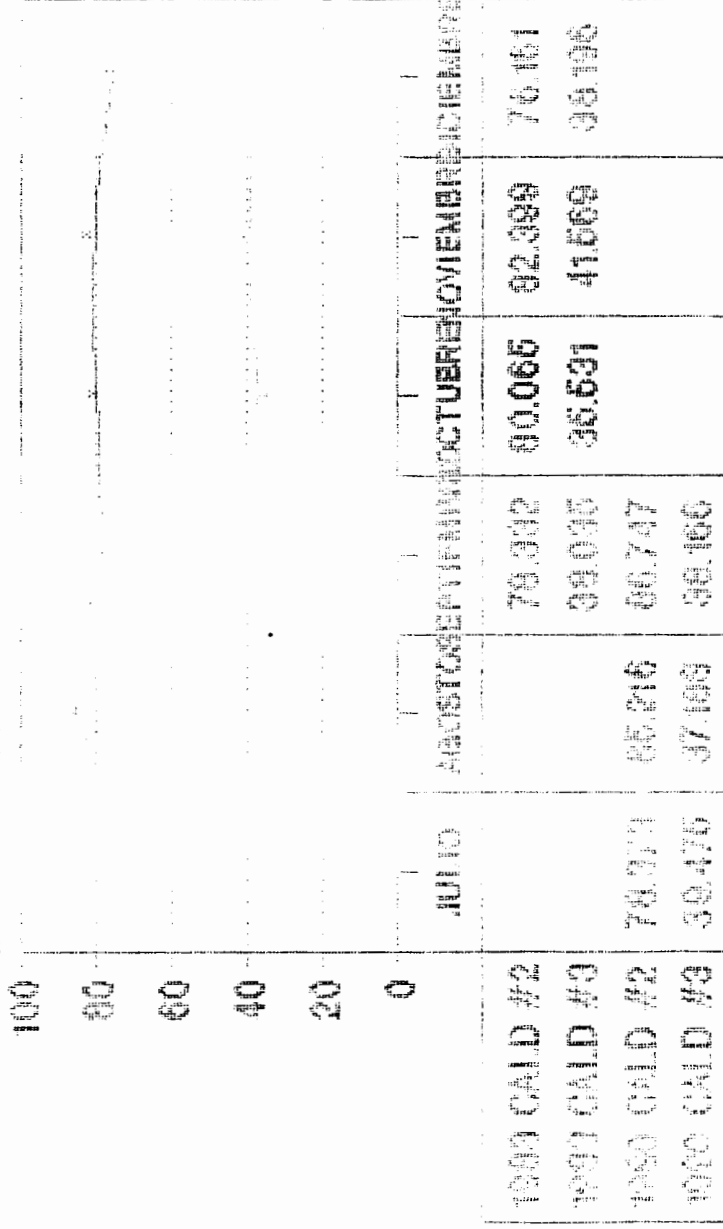
PRODUCCION DE VAPOR

ALESIUM		VALORES			
		100	80	60	40
		20			
		0			
		100	80	60	40
1995 CALD #2	72.002	79.01	03.737	69.906	66.649
1995 CALD #3	72.027	79.06	41.679	41.092	40.469
1995 CALD #2	78.079	79.50	05.717		
1995 CALD #3	78.176	79.59	00.166		

1995 CALD #2	79.01	03.737	69.906	66.649
1995 CALD #3	79.06	41.679	41.092	40.469

PRODUCTION OF VAPOR

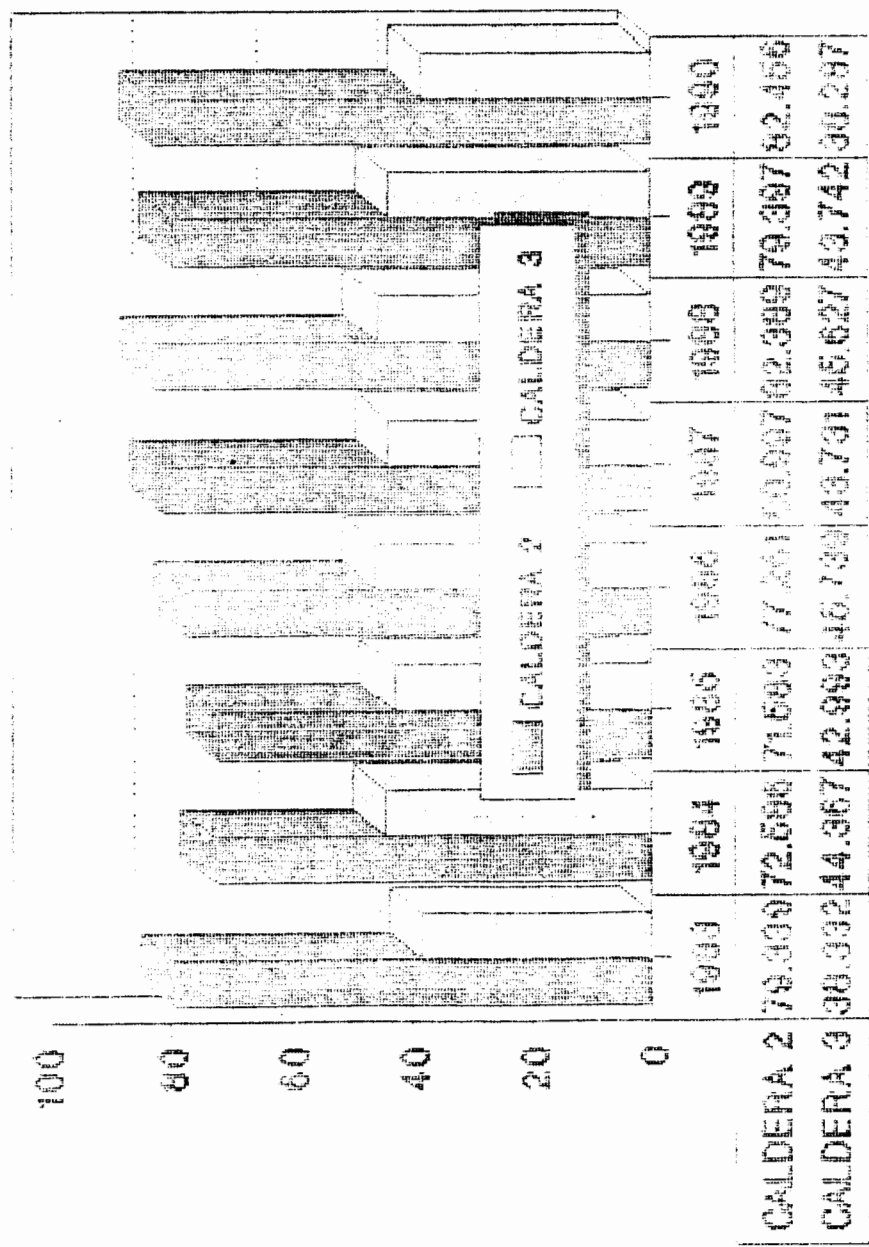
WATER



1000 CALD #2	78.312	80.065	92.399	76.161
1001 CALD #3	39.095	36.531	41.559	38.196
1002 CALD #2	85.216	80.747		
1003 CALD #3	37.109	39.106		

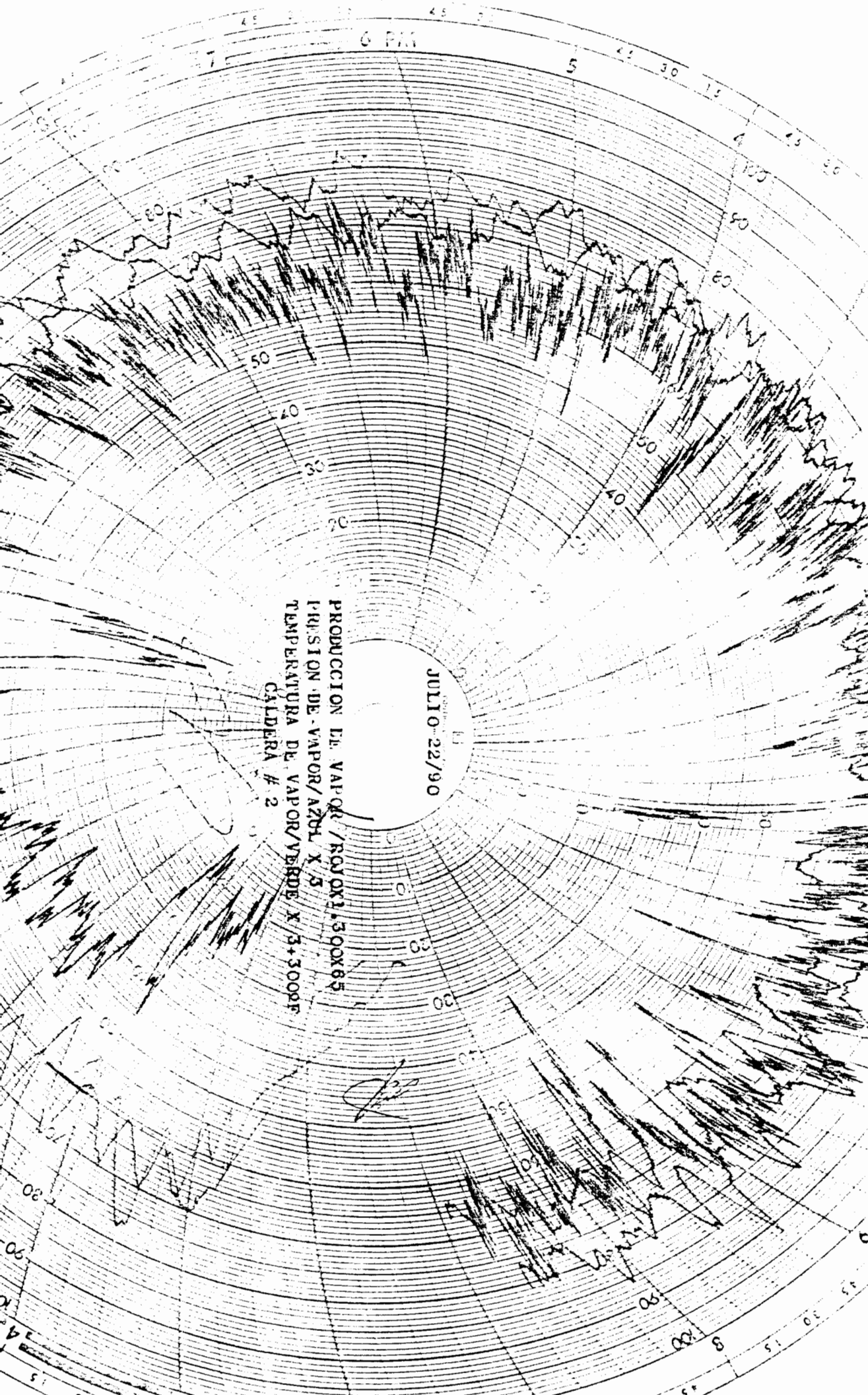
CALDERAS 2 Y 3

MILES LB/HR VAPOR



JULIO 12/90

PRODUCCION DE VAPORES/ROJO X1.500X65
PRESION DE VAPORES/AZUL X 3
TEMPERATURA EN VAPORES/VERDE X 3+5000F
CALDERA # 2

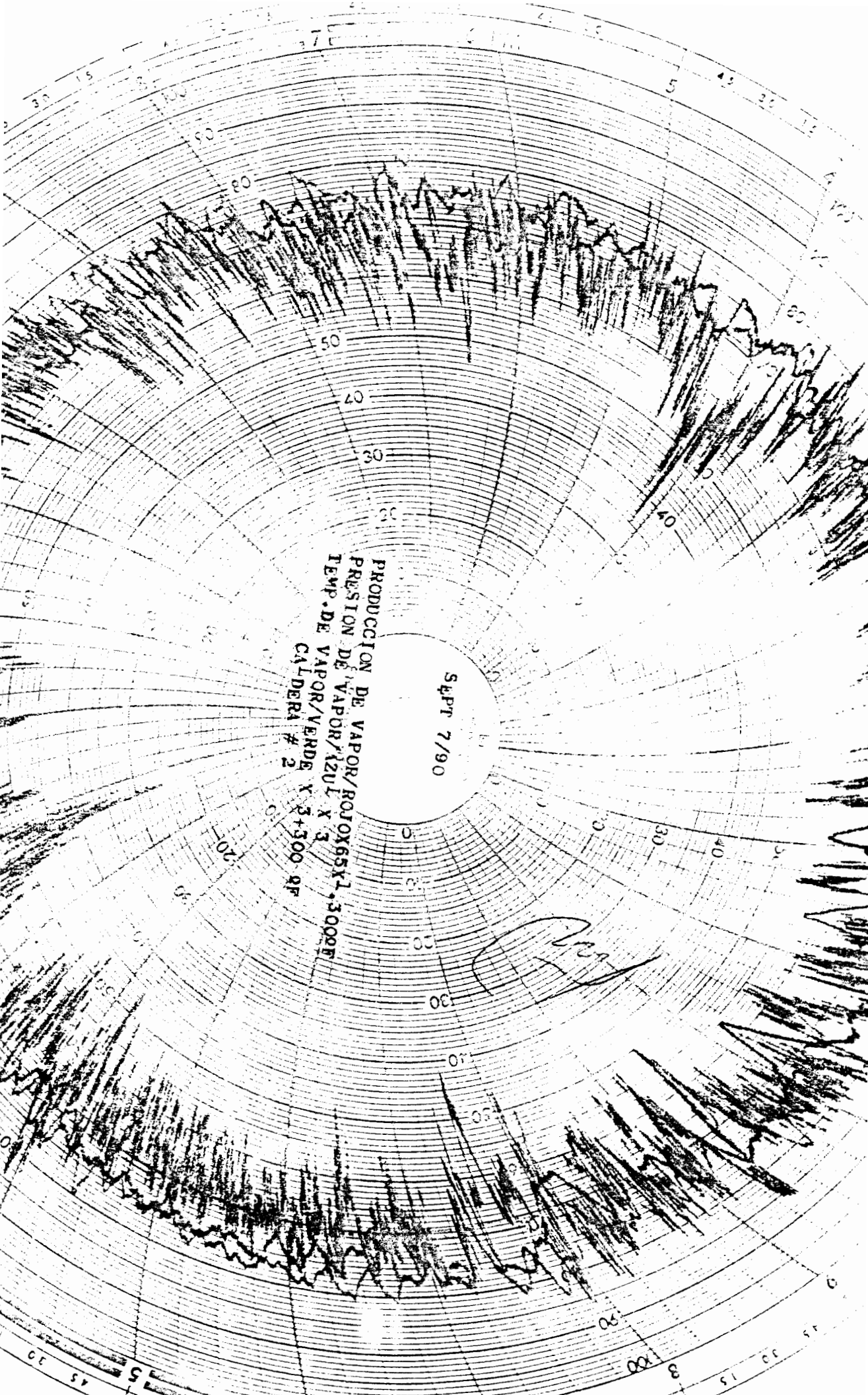


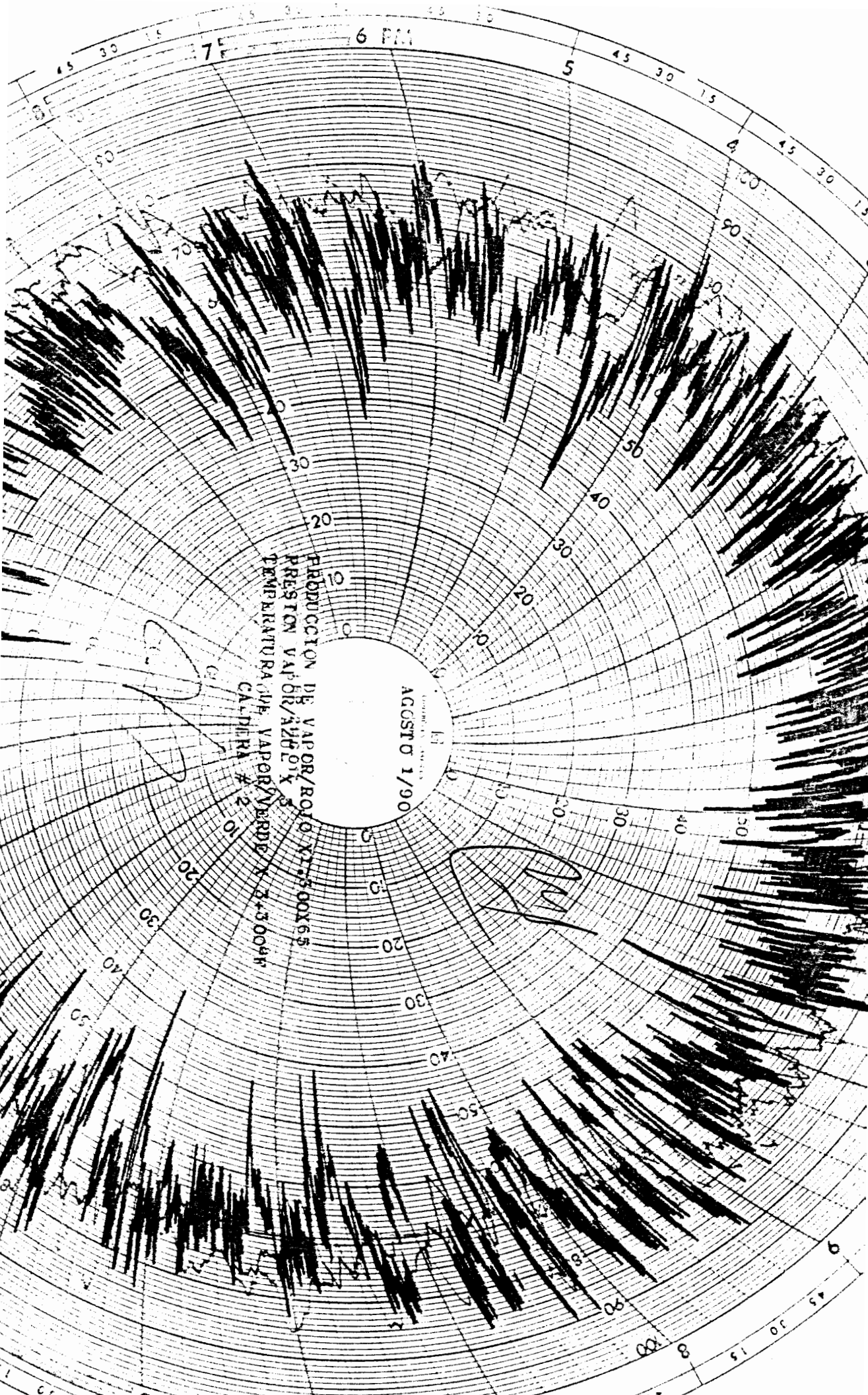
JULIO 22/90

PRODUCCION EL VAPOR / ROJO X 1.500X65
PRODUCCION DE VAPOR / AZUL X 5
TEMPERATURA DE VAPOR / VERDE X 3+3000F
CALDERA # 2

SEPT 7/90

PRODUCCION DE VAPOR/ROJOX65X1.3009F
PRESION DE VAPOR/IZUL X 3
TEMP. DE VAPOR/VERDE X 3+300 9F
CALDERA # 2



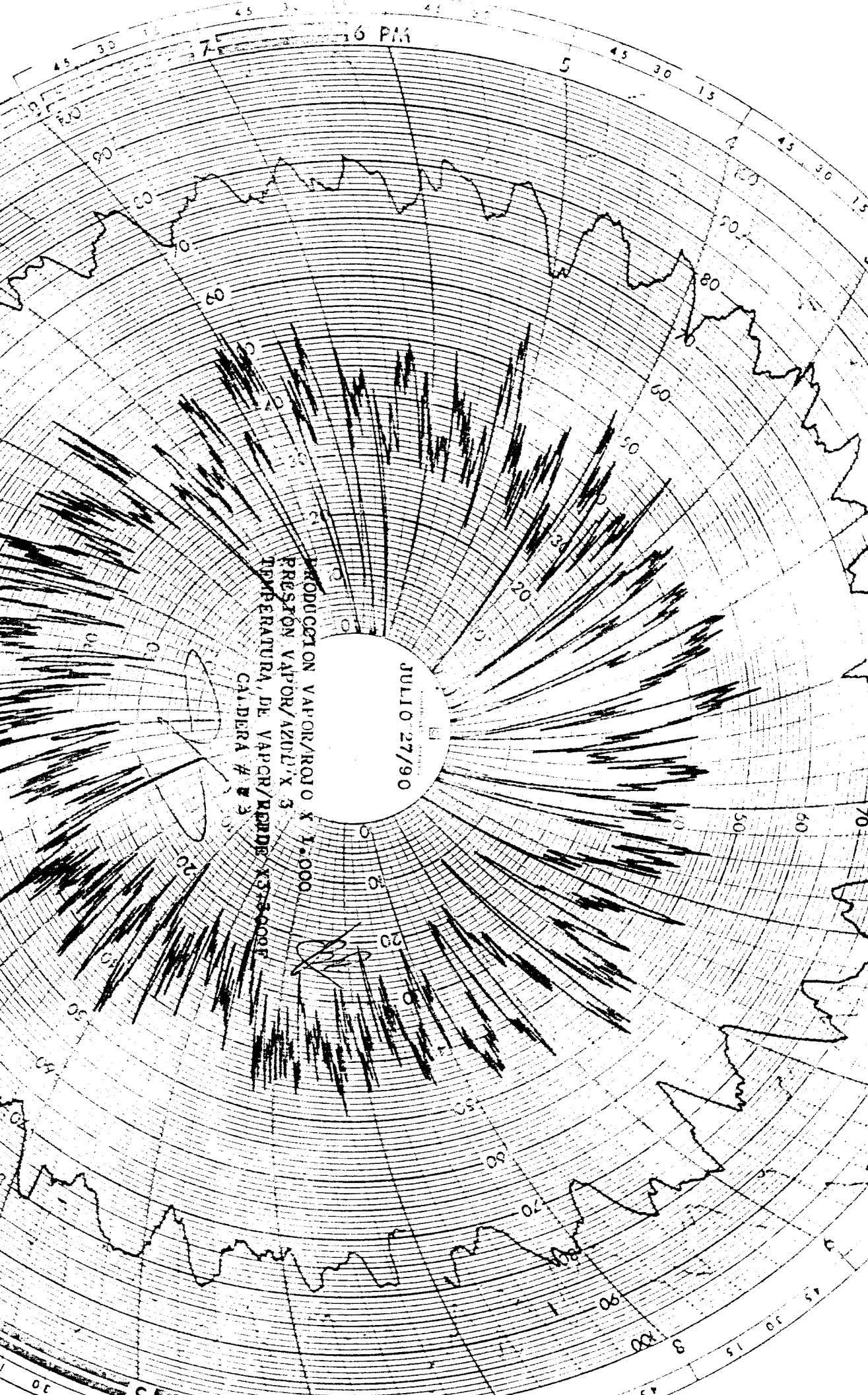


6 PM

75

AGOSTO 1/90

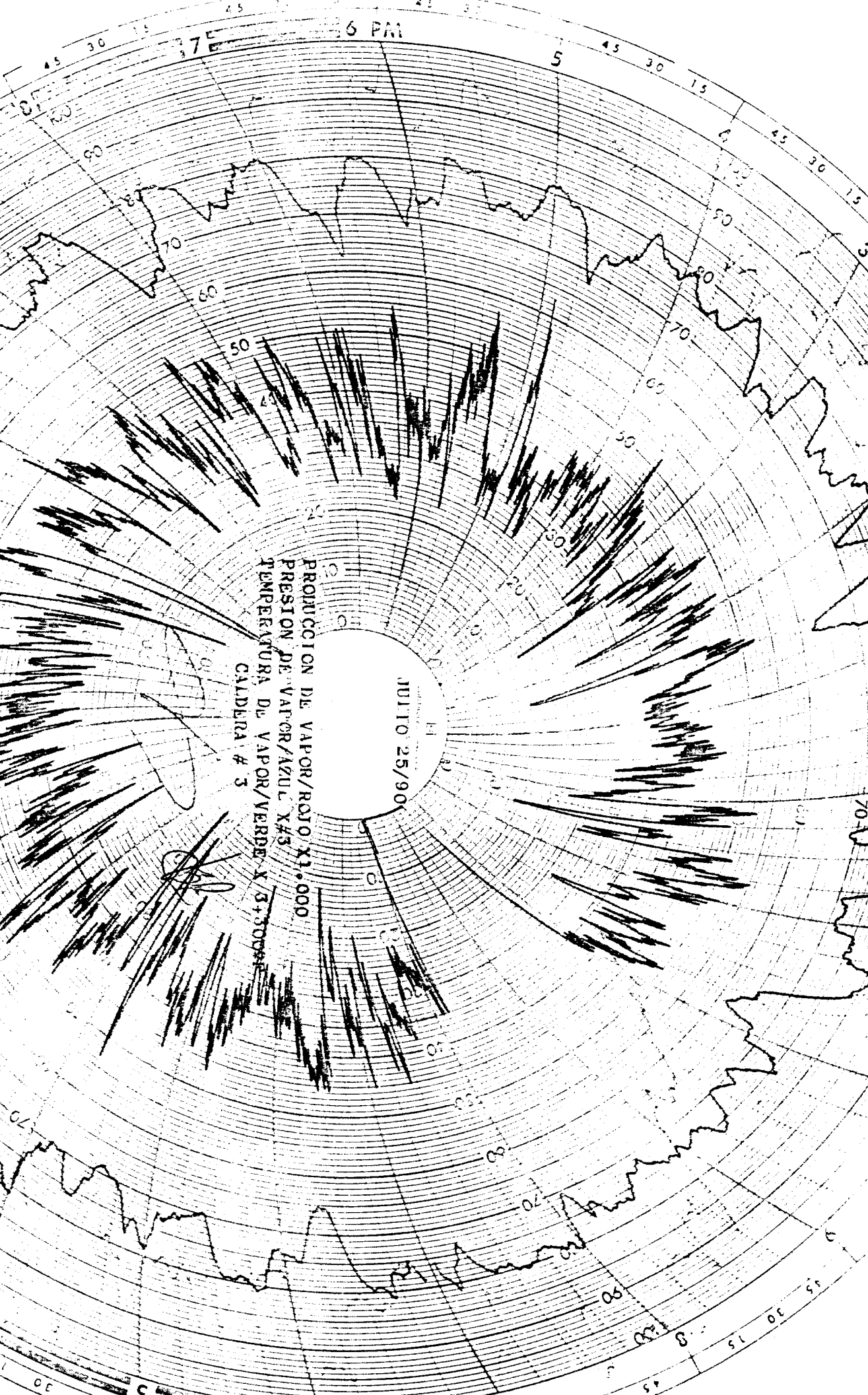
PRODUCCION DE VAPOR/BOJO N° 500X65
PRESION VAPOR/1260 X 2
TEMPERATURA DE VAPOR/VERDE X 2.5004R
CALDERA # 2 01

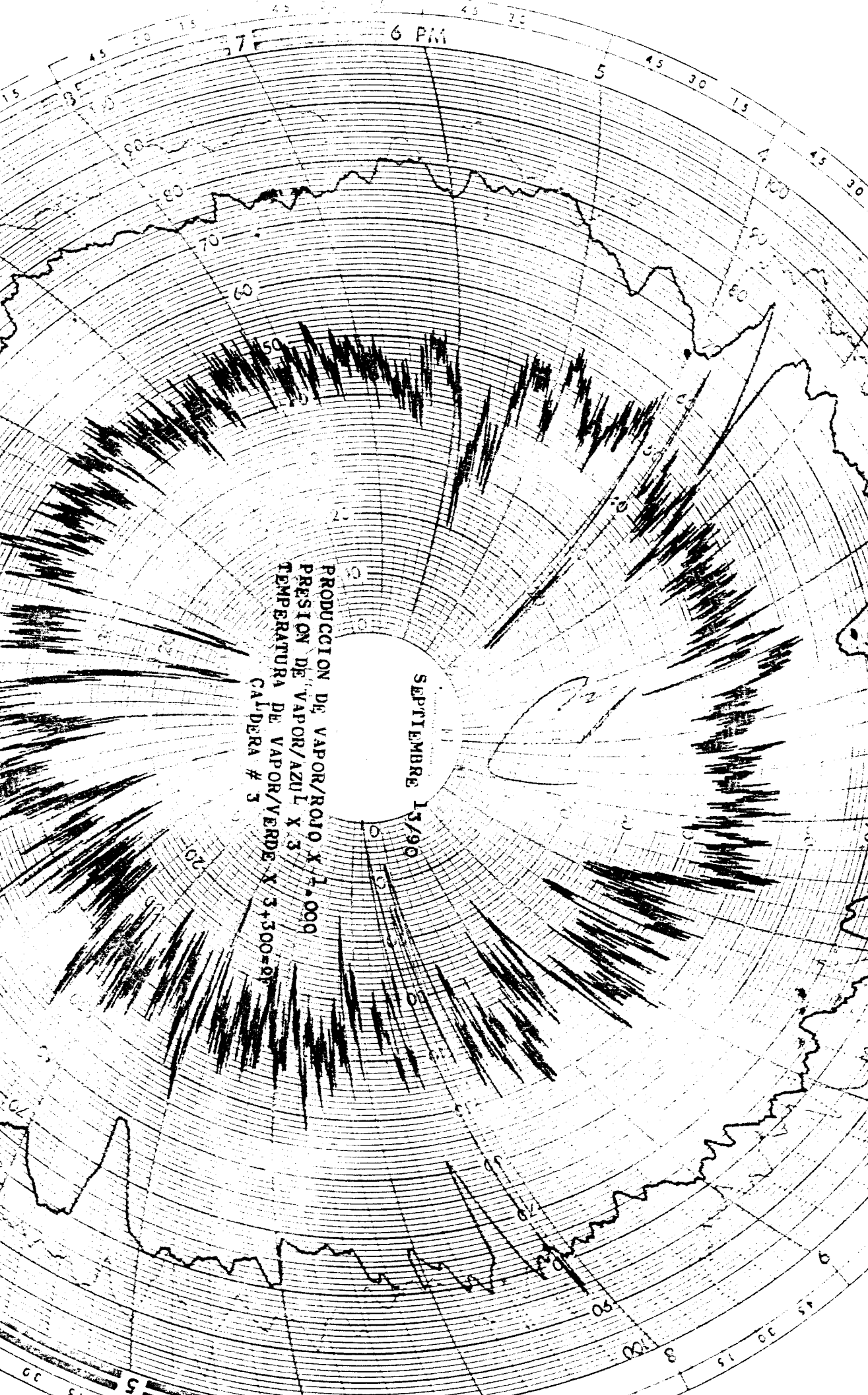


16 PM

JULIO 27/90

PRODUCCION VAPOR/ROJO X 1.000
PRESION VAPOR/AZUL X 3
TEMPERATURA DE VAPOR/VERDE X 3.000
CALDERA # 23





6 PM

SEPTIEMBRE 15/90

PRODUCCION DE VAPOR/ROJO X 1.000
PRESION DE VAPOR/AZUL X 3
TEMPERATURA DE VAPOR/VERDE X 3+300-0
CALDERA # 3