

T
621-315
F56



D-14656

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL
Facultad de Ingeniería en Mecánica



**"DEPOSITOS INDESEABLES"
EN EL CONDENSADOR DE LA UNIDAD
Nº 4 DE LA PLANTA DE GENERACION
TERMICA DE LA EMPRESA
ELECTRICA DEL ECUADOR INC.**

INFORME TECNICO

Prevía a la obtención del Título de:
INGENIERO MECANICO

Presentado por:
FREDDY DAVID ENDARA RAMIREZ



GUAYAQUIL

AÑO
1994

ECUADOR



AGRADECIMIENTO

Al ING. ERNESTO MARTINEZ,
Director de Informe Técnico e
ING. JORGE DUQUE, miembro del
Tribunal, por su ayuda y
colaboración para la reali-
zación de este trabajo.

DEDICATORIA

A MIS PADRES

A MIS HIJOS

DECLARACION EXPRESA

Declaro que:

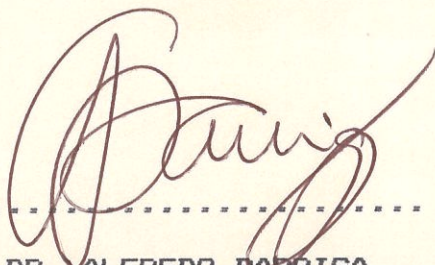
"Este informe técnico corresponde a la resolución de un problema práctico relacionado con el perfil profesional de la Ingeniería Mecánica".

(Reglamento de graduación mediante la elaboración de informe técnico de la ESPOL).



.....

Freddy Endara Ramírez



DR. ALFREDO BARRIGA

Decano F. I. M.



ING. ERNESTO MARTINEZ

Director Inf. Tec.



ING. JORGE DUQUE

Miembro del Tribunal



R E S U M E N

El condensador utilizado en la unidad #4 de la planta de generación de la Empresa Eléctrica del Ecuador Inc., ubicada en Guayaquil en las calles Eloy Alfaro y General Gómez, es un equipo que tiene como función principal servir como sumidero de calor, transferir el calor de condensación desde el ciclo de vapor al agua de enfriamiento y actuar como una barrera entre ellos.

El condensador de esta Planta utiliza para cumplir con su trabajo grandes cantidades de agua de enfriamiento, la misma que es tomada del Río Guayas.

El mayor problema al que se enfrenta este condensador es su estanqueidad, debido a que éste opera como una cámara al vacío y al presentarse los escapes se produce la contaminación del agua condensada y la presencia de mecanismos de corrosión en los tubos de la caldera provocando su falla.

Las continuas fallas en los tubos del caldero como resultado del problema existente en el condensador, representa para la Empresa un rubro muy importante en pérdidas económicas, en donde podemos citar las pérdidas por la imposibilidad de generar de la unidad, costos de materiales, mano de obra y otros.

Debido a estos motivos realicé una investigación con el fin de determinar las causas que inducían a que los tubos

del condensador se picaran y de igual forma, presenté las posibles soluciones tendientes a solucionar o minimizar el problema.

Las soluciones planteadas en este informe permitirán alargar la vida útil de los tubos del condensador y minimizar las pérdidas económicas.

Estas soluciones no se han podido llevar a la práctica por cuanto la Empresa ha restringido sus inversiones, dado que se encuentra en un proceso de nacionalización.

INDICE GENERAL

	Pág.
Resumen	VI
Indice general	VIII
Antecedentes	10
 Cap. I DESCRIPCION DEL PROBLEMA	 14
1.1. Consideraciones generales del condensador.	14
1.2. Antecedentes del problema.	21
1.3. Determinación del problema.	29
1.4. Análisis de costos.	34
 Cap. II ALTERNATIVAS DE SOLUCION	 39
2.1. Dragado de bocatoma.	39
2.2. Mejoras en el sistema de filtrado.	43
2.3. Instalación de equipo de limpieza en línea.	44
2.4. Utilización de agua potable.	48
 Cap. III IMPLEMENTACION DE LAS ALTERNATIVAS DE SOLUCION.	 52
3.1. Dragado	52

	Pág.
3.2. Mejoras en el sistema de filtrado.	52
3.2.1. Bocatoma de entrada del agua del río.	55
3.2.2. Parrilla de la cámara de entrada de la bomba de circulación.	56
3.2.3. Rejilla continua.	56
3.3. Estudio de costos.	66
 Conclusiones y recomendaciones.	 71
 Indice de figuras y tablas.	 73
 Bibliografía.	 76

A N T E C E D E N T E S

La Empresa Eléctrica del Ecuador Inc. es una empresa dedicada a la producción de la energía eléctrica, para la ciudad de Guayaquil, desde el año 1925.

Esta energía que consume el usuario, tiene que pasar por los procesos que le permitan llegar hasta su utilización.

El primer paso es la generación de la electricidad, luego viene la distribución y por fin su utilización. Ver fig.1

La generación, es decir la producción misma de la energía, tiene su origen en las unidades generadoras que pueden ser hidráulicas o térmicas según el principio que las accione.

La Empresa Eléctrica del Ecuador Inc. genera energía eléctrica mediante el empleo del sistema térmico usando unidades a vapor y a gas, teniendo al momento una capacidad de generación propia de 184.5 MW.

La "Planta a Vapor Guayaquil" localizada a orillas del Río Guayas cuenta con cuatro unidades a vapor y una unidad a gas, teniendo un total de generación propia de 43.5 MW.

La unidad a vapor #4 con una capacidad de generación de 10 MW. cuenta entre los elementos más importantes de su sistema de generación; una caldera del tipo acuatubular, un turbogenerador, un condensador, bomba de circulación, de condensado, de agua de alimentación, calentadores de

agua, desaerador, evaporador, etc.

En esta unidad, a inicios de 1985 se comenzó a notar que los tubos de su caldera fallaban reiteradamente, lo cual ocasionaba que la unidad se parara totalmente con la consiguiente pérdida económica para la empresa por la falta de generación, más los gastos en que se incurría para la reparación de la falla.

Paralelamente a las fallas ocurridas en el caldero, en los análisis de laboratorio del agua de alimentación se encontraba una alta concentración de cloro, lo cual era indicativo de que esta agua se estaba contaminando en alguna parte del sistema, siendo la más probable en el condensador.

Luego de realizar trabajos de reparación con el fin de solucionar este problema, la tendencia a seguir fallando el condensador continúa durante los años subsiguientes.

Ante este problema en el año 1989 me fue encomendado tomar las medidas correctivas necesarias para eliminar o minimizar las causas que producían las fallas en los tubos del condensador, logrando de esta manera detener el deterioro paulatino del tubo y alargar la vida útil del mismo.

Como justificativo principal para realizar este trabajo tenemos:.

- 1.- Se eliminarían las paradas no-programadas de la unidad, las cuales dan lugar a pérdidas económicas



para la empresa.

- 2.- Se mejoraria la eficiencia de la unidad dando lugar a un mejor aprovechamiento del vapor y a un menor consumo de combustible.
- 3.- Se tendria un equipo mucho mas confiable en donde se puede programar paradas para su mantenimiento.

DIAGRAMA SIMPLIFICADO DE UNA UNIDAD Y SISTEMA DE DISTRIBUCION TIPO

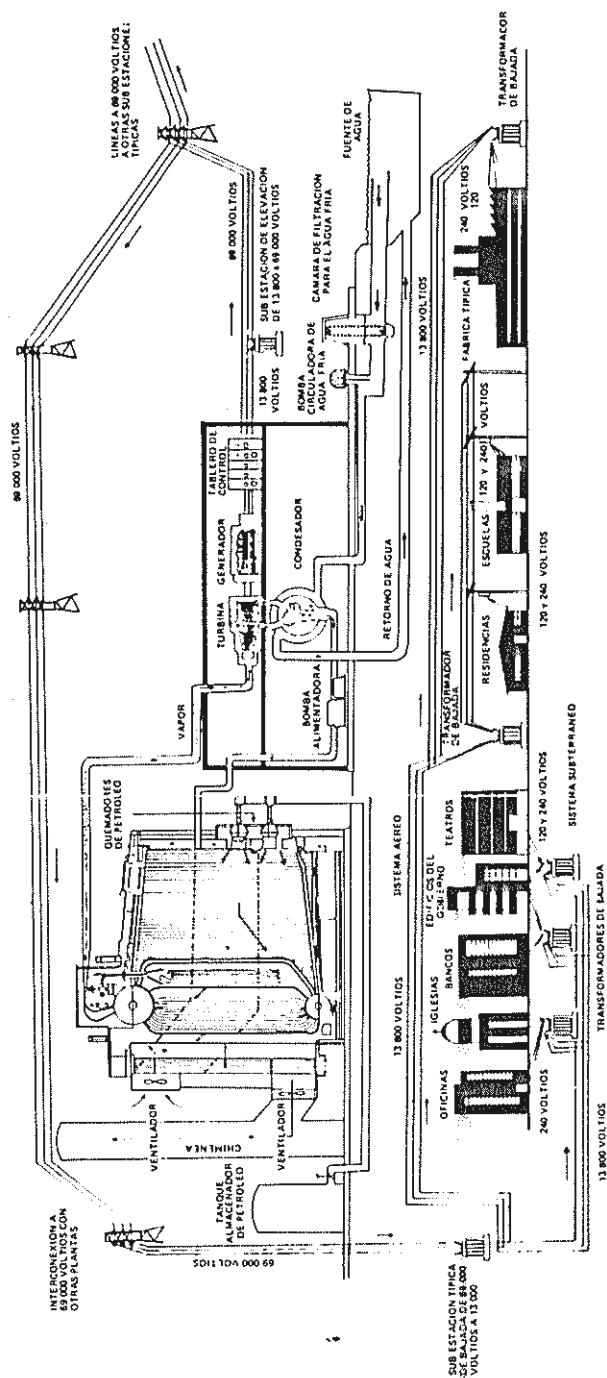


Fig. 1

OFFSET ABAD - GUAYAGUIL

C A P I T U L O I

DESCRIPCION DEL PROBLEMA

1.1. CONSIDERACIONES GENERALES DEL CONDENSADOR

El condensador que se utiliza en la unidad #4 es de marca Ingersoll Rand del tipo rectangular de dos pasos, este es un condensador de superficie el cual está acoplado a la caja de escape de la turbina con el fin de realizar su función principal, la de condensar el vapor que sale de la turbina para su posterior reutilización en el ciclo de la Planta.

Los componentes más importantes de este condensador son; la cámara de vapor o carcaza, el banco de tubos, los espejos y las cajas de agua.

Este condensador tiene 3001 tubos que representan un área de transferencia de 11.000 pies² (1.020 m.²), sus tubos son de acero inoxidable del tipo 316 de un diámetro de 7/8 plg. y BWG 18; y como característica de diseño tenemos que puede condensar 11.000 lbs. de vapor/hr (49.940 kg. vapor/hr), trabaja con una presión absoluta de 2.5 pulg. de Hg. (63.5 mm de Hg), una temperatura del agua de circulación de 85 F (30 C) con una capacidad de 15.000 GPM (57.720 lt/min) y una velocidad del agua de enfriamiento de 6.8 pies/s (2.1 m/s).

Ciertos detalles de construcción son dignos de mencionarse, la caja de agua es hecha de hierro

fundido y unida a la carcaza por medio de una brida empernada. Los espejos son instalados entre las bridas de las cajas de agua y la brida de la carcaza.

Estos espejos son hechos de Muntz laminado (60% de cobre, 40% de zinc); platos de soporte son colocados a intervalos periódicos del tubo para asegurarlos y para prevenir la vibración, producto del choque del vapor, en una distribución uniforme dentro de la carcaza, estos platos son de Muntz ya que tienen la ventaja de no cortar a los tubos cuando existe vibración.

El tubo que utiliza este condensador es de acero inoxidable del tipo 316 el cual es expandido en ambos extremos a sus respectivos espejos y acampanados, para ofrecer la menor resistencia posible a la entrada del agua al tubo, formando una junta totalmente sellada que reducirá escapes de agua de enfriamiento hacia la cámara de vapor. Ver figura 2.

En este condensador de superficie el agua de enfriamiento circula dentro de los tubos, se utiliza el agua del Río Guayas la misma que la suministra una bomba de circulación, y el flujo de vapor pasa alrededor de ellos; por lo que se produce una transferencia de calor desde el fluido más caliente

al más frío (vapor al agua), con lo cual se logra condensar el vapor de escape de la turbina.

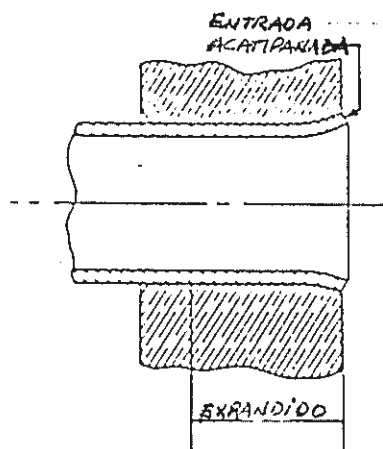


FIGURA # 2

La figura 3A muestra el diseño del condensador y el nombre de varias de sus partes, está constituido por una carcasa con cámaras de ambos lados, llamadas "cajas de agua".

El espejo separa las cajas de agua de la cámara de vapor, el banco de tubos conecta las cajas de agua atravesando los espejos, por lo que los tubos ocupan esencialmente la cámara de vapor.

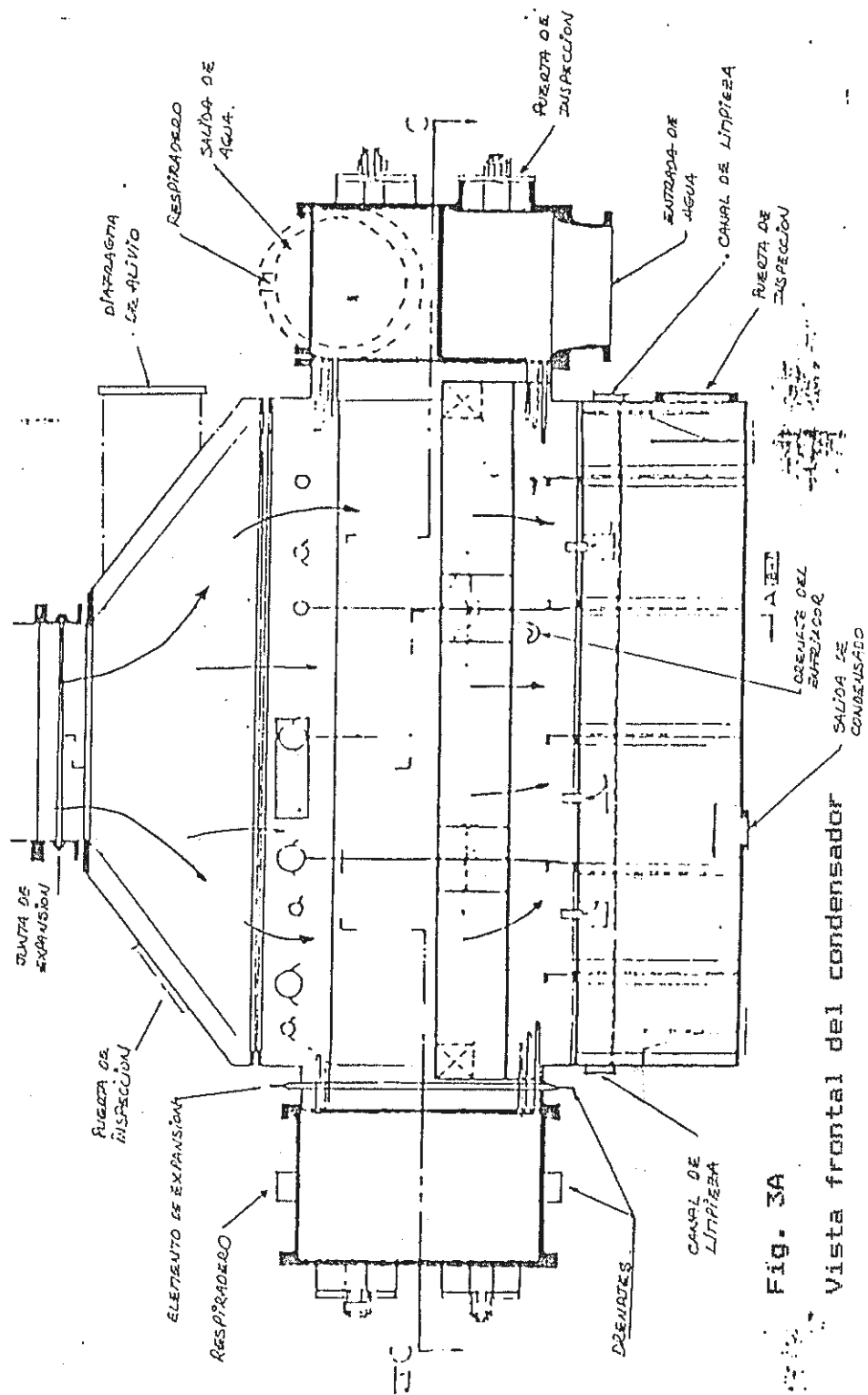
La bomba de circulación fuerza el agua de enfriamiento a través de las cajas de agua y los tubos. Este condensador es de dos pasos, en donde el agua fluye a través de la mitad inferior de los

tubos en una dirección, cambiando su dirección en la caja de agua del otro extremo, y retornando por la mitad superior de los tubos.

El agua de enfriamiento entra y sale por la misma caja de agua, la cual está dividida en dos cámaras por una plancha horizontal.

La figura 38 muestra la sección transversal del condensador en donde vemos que el vapor que entra encuentra la primera fila de tubos con un gran espacio entre ellos para permitir el acceso del mismo a los tubos subsiguientes y al pozo caliente con el fin de "recalentar" el mismo. A medida que el vapor avanza en el condensador, éste se va condensando con lo que gotas de agua caen al fondo en forma de cascada de un tubo a otro, este condensado fluye a través de un sifón y entra a una cubeta que se encuentra dentro del pozo caliente; desde aquí éste cae al pozo caliente, propiamente dicho, a través de unos agujeros y por rebose sobre el filo de la cubeta, con el fin de que esta agua se desintegre en pequeñas gotas que se mezclan con el vapor que viene de la salida de la turbina para recalentarla a la temperatura de saturación. La combinación de la desintegración del agua en pequeñas gotas y el calentamiento de ésta a la temperatura de saturación ayudan a desaerear el condensado.

Siempre que el vapor es condensado, indiferentemente de la presión, siempre habrá gases no condensables presentes; estos gases no condensables que son liberados en el pozo caliente, son conducidos a una sección denominada "enfriamiento de aire", la cual utiliza la misma agua de enfriamiento y en donde mucho del vapor que aún lleva es condensado, luego de pasar por esta sección los gases se dirigen a las tomas de aire donde son recogidos por los equipos removedores de aire.



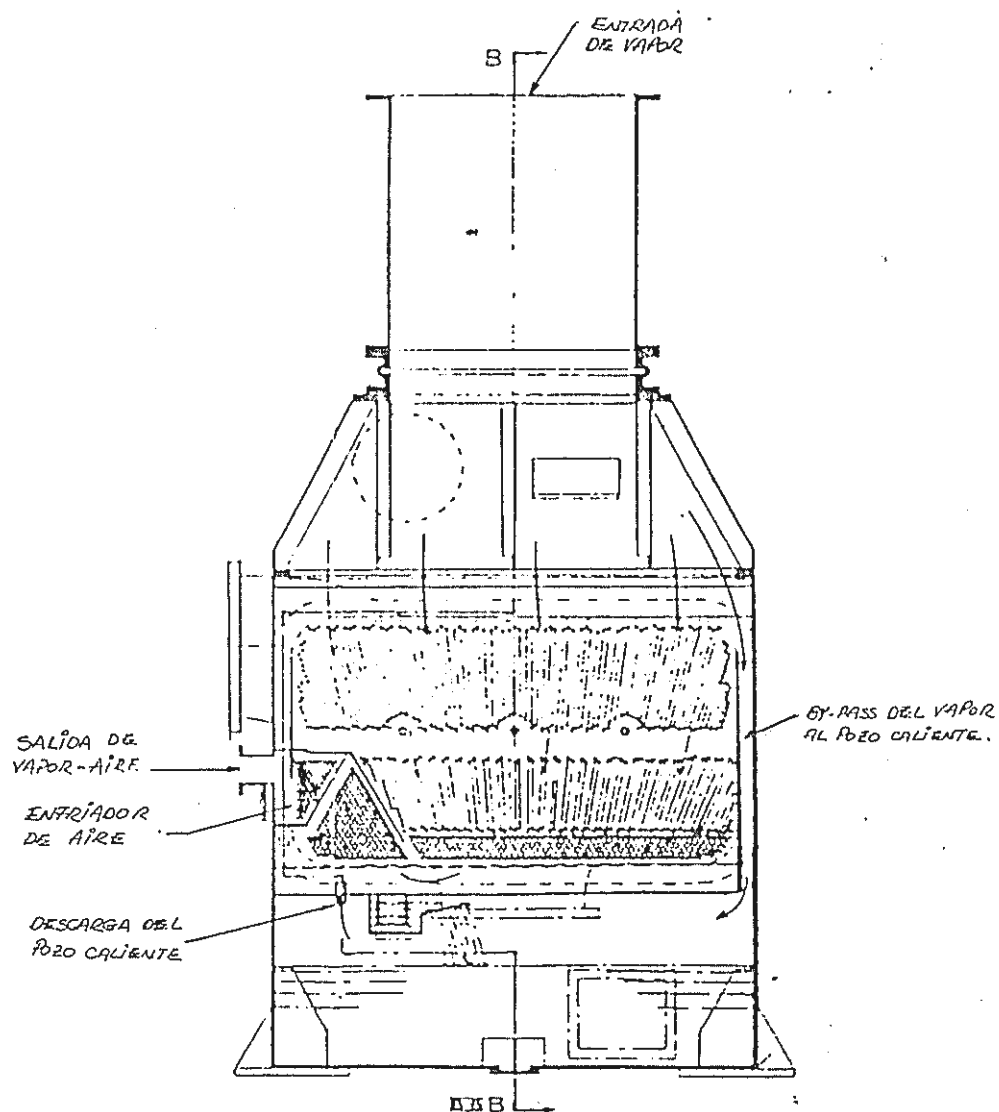


Fig. 3B

Sección transversal del condensador

1.2. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA

En la unidad #4, a inicios de 1985, se comenzó a notar que los tubos de su caldera fallaban reiteradamente, lo cual ocasionaba que la unidad se parara totalmente con la consiguiente pérdida económica para la empresa por la falta de generación más los gastos en que se incurría para la reparación de dicha falla.

Para fines de 1985, el sitio donde se producía la mayor cantidad de fallas era en la sección inferior de los tubos de generación, ubicados entre el segundo y tercer paso de gases; por lo que se debió retubar parcialmente esta sección. Ver figura 4.

Se cambió una sección de 1.2 m. a un total de 15 tubos, este trabajo fue realizado en junio de 1986.

Paralelamente a las fallas ocurridas en el caldero, en los análisis de laboratorio del agua de alimentación se encontró una alta concentración de cloro, indicativo de que el agua se estaba contaminando en alguna parte del sistema, siendo la más probable en el condensador.

Con esta consideración se llevó a efecto pruebas hidrostáticas a los tubos del condensador, dando como resultado la necesidad de taponar 80 tubos, posteriormente se continúan realizando dichas pruebas en forma periódica y de igual manera se

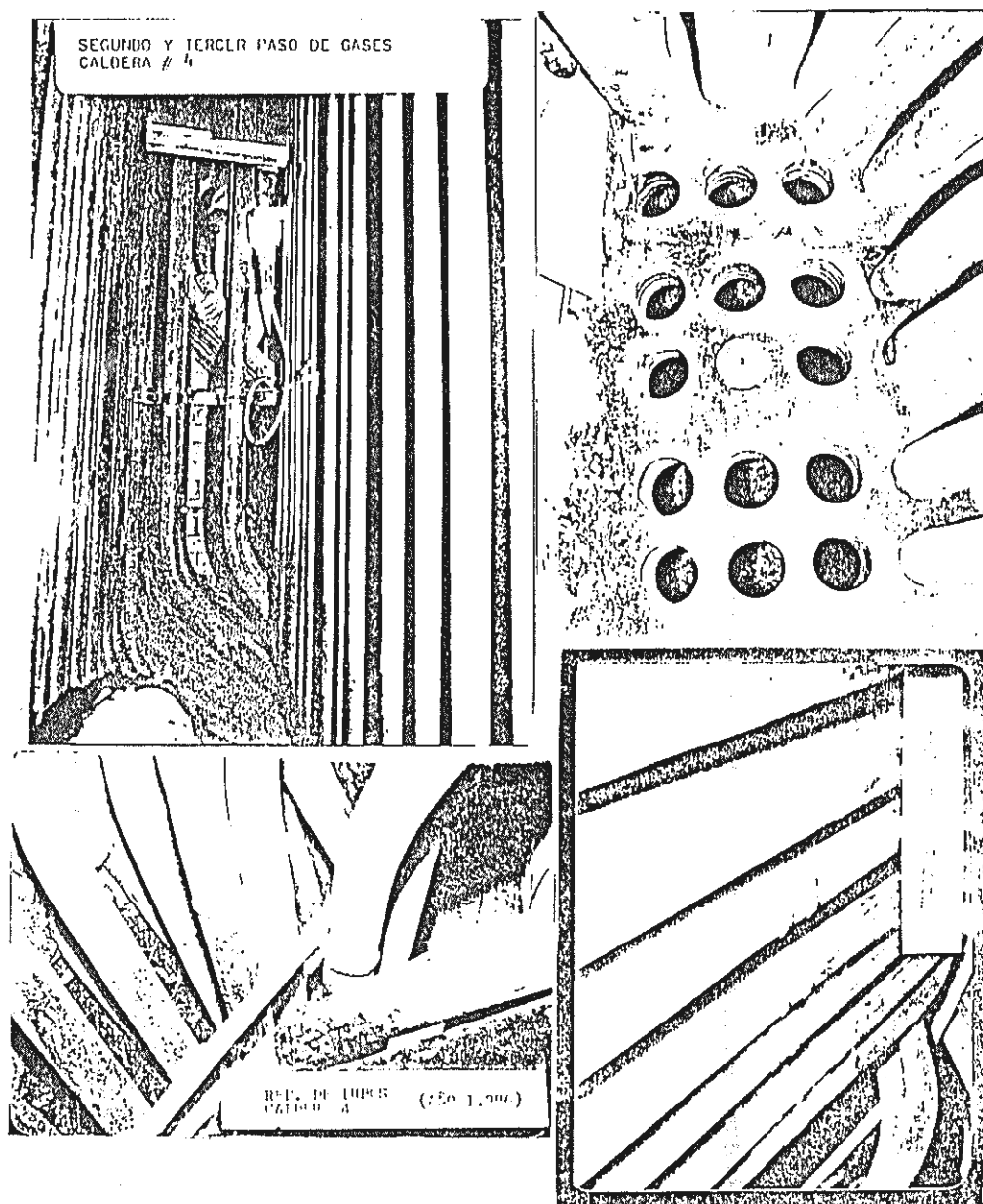


Fig. 4

Cambio de tubos en el segundo y tercer paso de gases



continúa taponando más tubos.

Teniendo el porcentaje de tubos taponados desde enero hasta noviembre de 1986, una tendencia a seguir aumentando se decide en noviembre de este año cambiar 510 tubos que representan el 17% del total de tubos. Luego de realizar este trabajo se presenta un período de aparente calma, donde la unidad vuelve a trabajar a toda su capacidad.

Es así como a mediados de 1987 se comienza a detectar una alta concentración de cloro en el agua de alimentación, lo que nos obliga a realizar prueba hidrostática al condensador dando como resultado nuevos tubos dañados que son necesariamente taponados. A partir de este momento hasta fines de 1987 se produce una tendencia a seguir dañándose los tubos en una forma muy rápida; dando como resultado que en octubre y diciembre del mismo año se produzcan fallas en los tubos del caldero, continúa durante el año 1988 y es así como en septiembre de este mismo año un tubo de la pared Este del caldero explota ocasionando serios daños a las paredes, pisos y techos del hogar, lo que obliga a realizarle un mantenimiento extraordinario a la unidad. Ver figura 5.

Como consecuencia de este problema, se efectúa una prueba por ultrasonido a todos los tubos que



Fig. 5

Tubo explosionado en el hogar

conforman las paredes del hogar para determinar el espesor de su pared y así poder tomar alguna medida correctiva; habiéndose cambiado 10 metros de tubería y corregido varias protuberancias en los tubos.

Luego de estos trabajos la unidad entró en servicio; pero en el mes de febrero de 1989 nuevamente salió de servicio por producirse una falla en un tubo de su caldera.

Debido a la gravedad de la situación se toma la determinación de cambiar el 50% del total de tubos del condensador y además reparar los espejos del mismo por encontrarse muy erosionados. Ver figuras 6 ,7 y 8.

Paralelamente se efectuó otra prueba por ultrasonido a los tubos del hogar, siendo necesario realizar un cambio de 55 metros de tubería.

Esta unidad al momento se encuentra en servicio y generando en toda su capacidad.

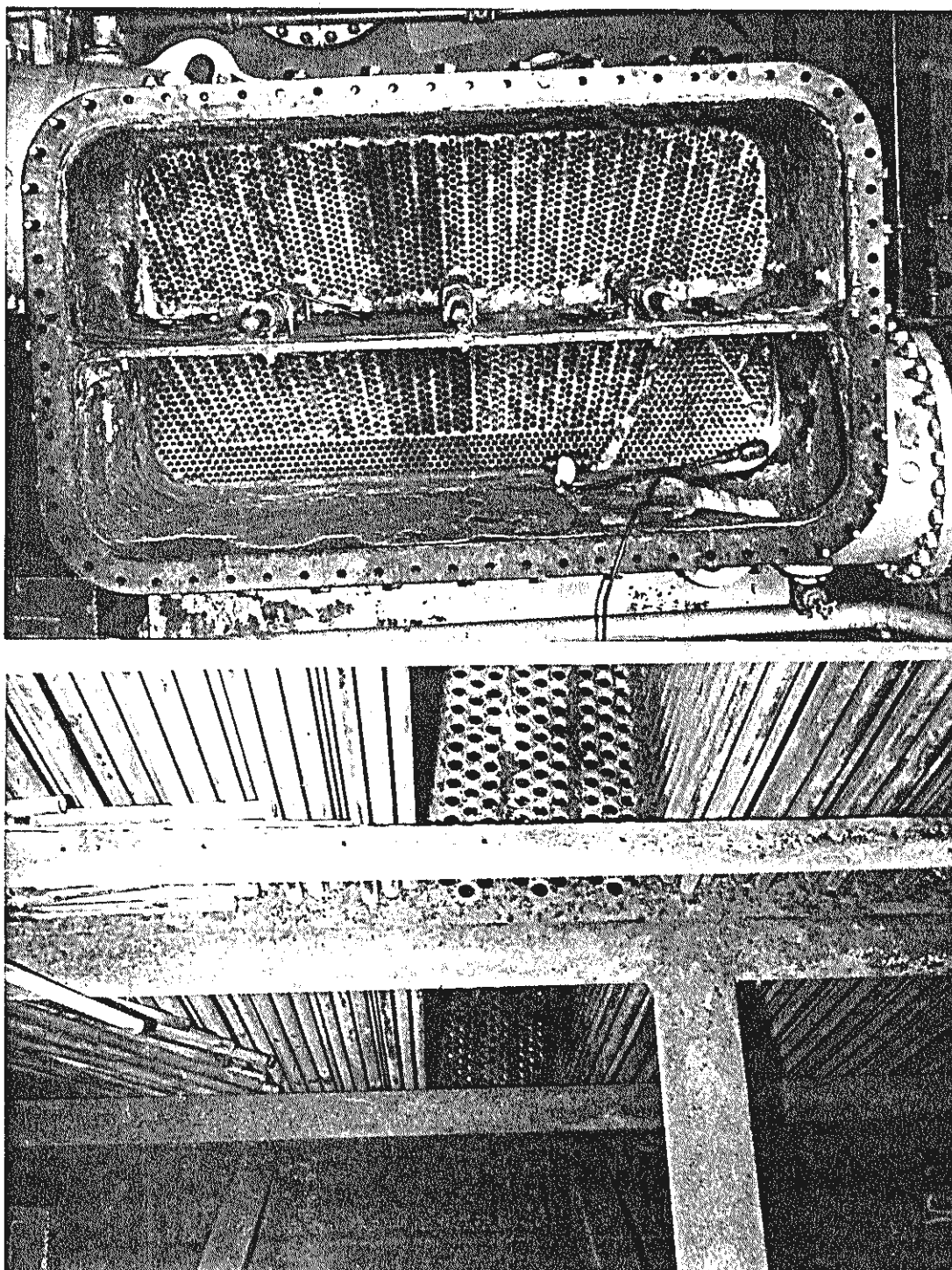


Fig. 6

Cambio del 50% de tubos en el condensador

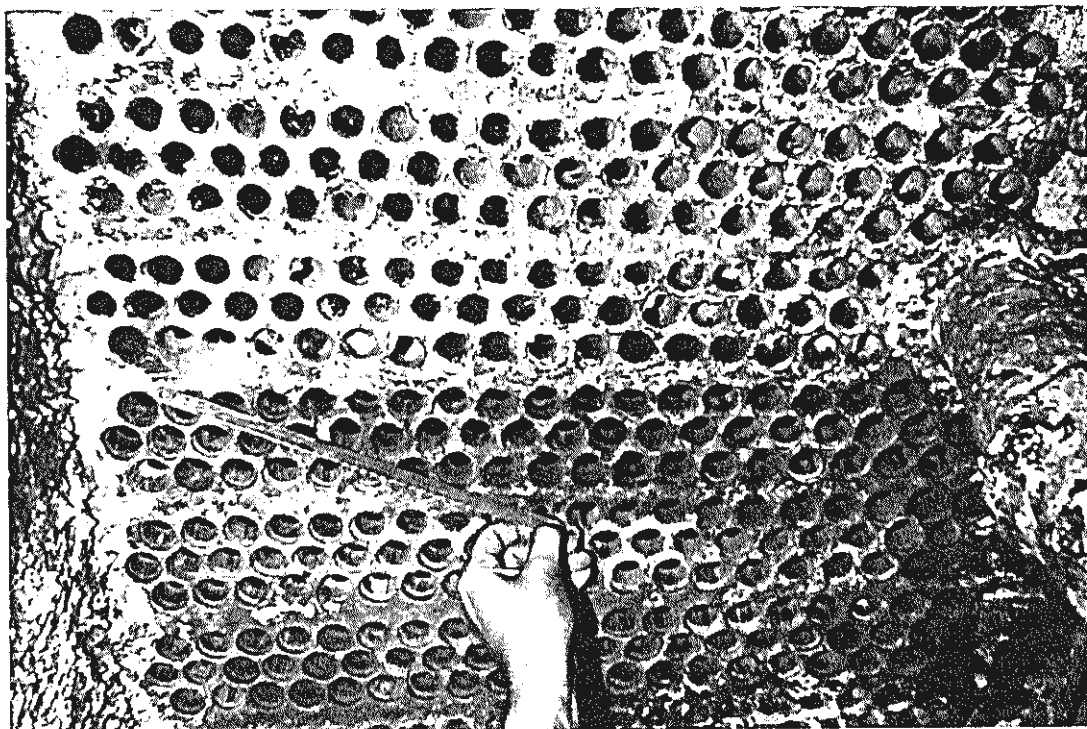


Fig. 7

Reparación de los espejos en el condensador

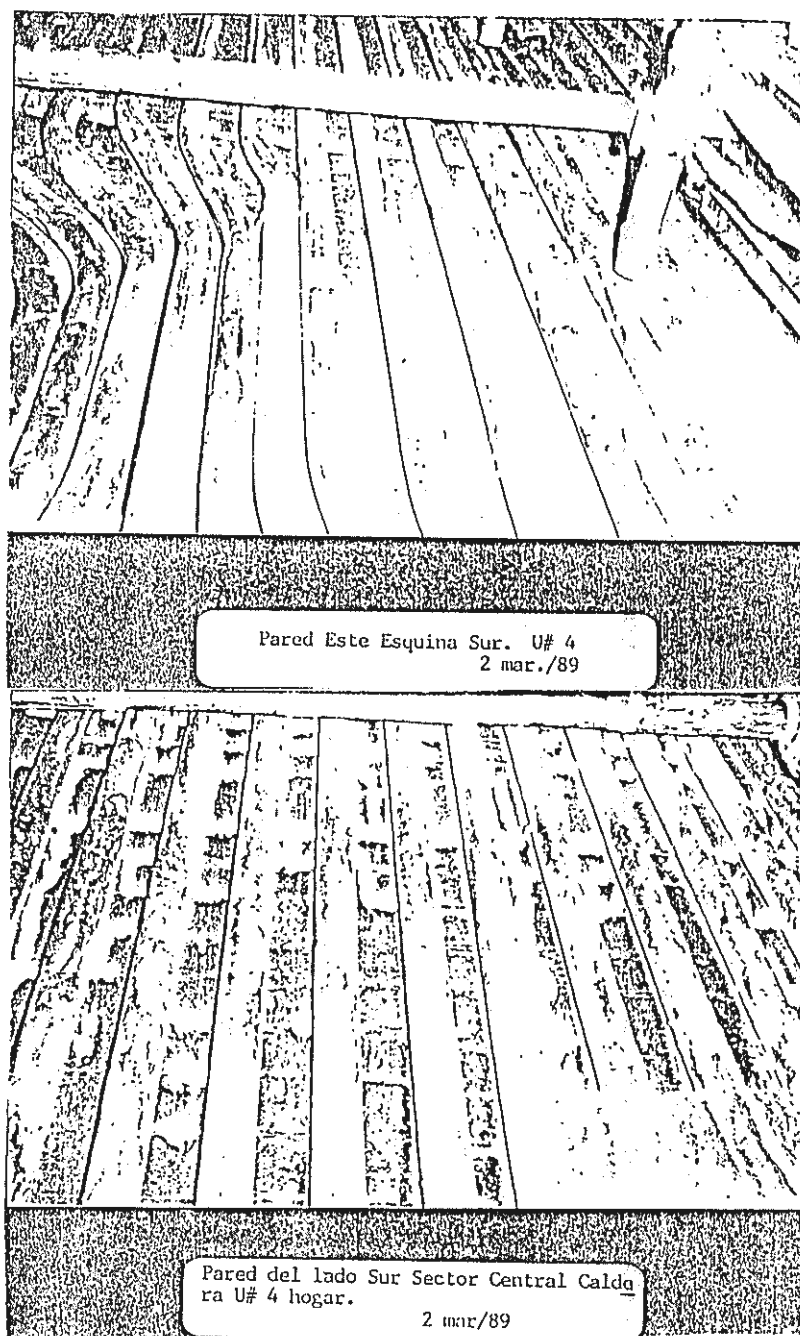


Fig. 8

Cambio de tubos en el hogar

1.3. DETERMINACION DEL PROBLEMA

De los tubos del condensador de la unidad #4 que fueron cambiados en febrero de 1989, se tomaron varios de ellos para inspeccionarlos y así poder determinar cual era el motivo para que estos fallaran.

El agua de enfriamiento utilizada en el condensador es la del Río Guayas, la cual es ligeramente salada y ácida con un PH de 6.6 y una concentración de cloro de 1.000 a 5.000 PPM; su temperatura durante todo el año va desde 29 grados a 32 grados centígrados y además contiene una gran cantidad de materiales orgánicos e inorgánicos como: Madera, plásticos, vegetación, especies marinas, restos de agua servidas, etc.

Esta agua del Río Guayas contiene además abundante cantidad de finas partículas suspendidas, compuestas principalmente de arcilla color gris oscuro.

Con estos datos y de la inspección visual de los tubos podemos señalar las siguientes conclusiones:

- 1.- La superficie exterior del tubo está cubierta por una fina capa de óxido castaño oscuro, pero no presenta señales de ningún ataque corrosivo.
- 2.- La superficie interior está cubierta con una fina capa de lodo, esta superficie presenta un aspecto lizo y un desgaste uniforme de sus

paredes (aproximadamente un 30%); además no se observan rajaduras o pitting.

- 3.- Las fallas encontradas en los tubos se hallaban en promedio a una distancia de dos a ocho pulgadas del extremo de entrada del tubo.
- 4.- Las fallas que se presentan en los tubos es debido principalmente a corrosión por erosión, en donde las partículas suspendidas en el agua actúan en forma abrasiva, esta acción se ve intensificada por el incremento de la velocidad del agua como consecuencia del bloqueamiento con grandes desechos de algunos tubos y por la parcial obstrucción de otros, con pequeños depósitos, en la caja de entrada de agua del condensador.
- 5.- Producto de este tipo de obstrucción se produce una alta turbulencia localizada que erosiona las áreas alrededor de los depósitos y de esta forma desgasta las paredes del tubo hasta llegar a producir la falla. Ver figura 9A, 9B y 9C.

2

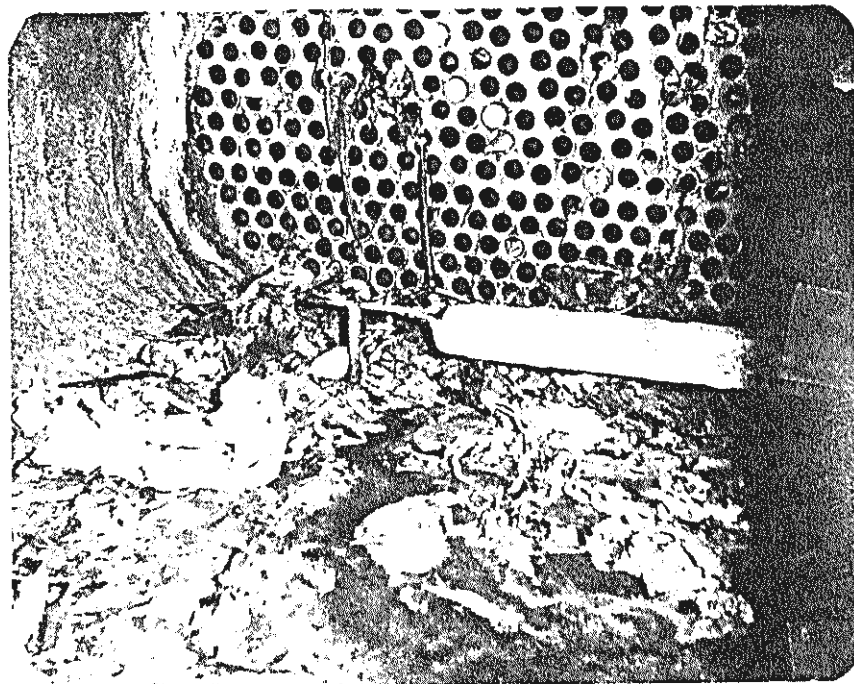


Fig. 9A

Desechos en la caja de entrada de agua del
condensador

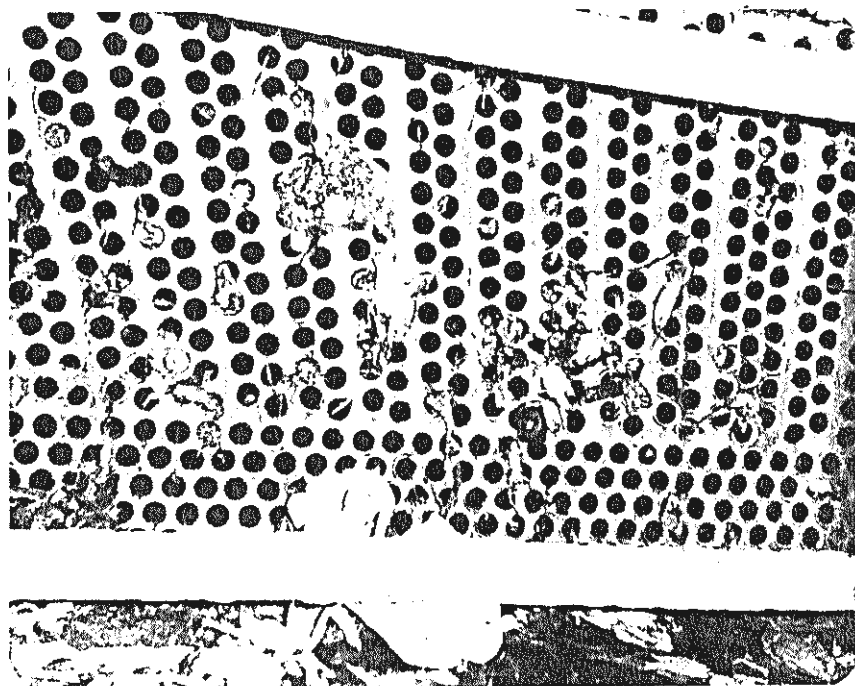


Fig. 9B

Espejo del condensador obstruido

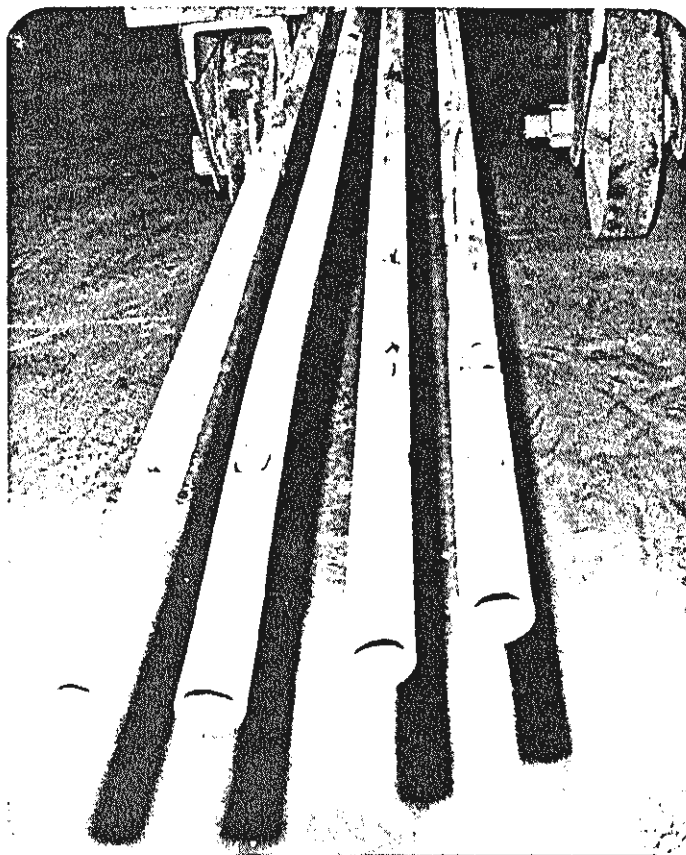


Fig. 9C

Tubos perforados del condensador

1.4. ANALISIS DE COSTOS

En esta sección presentaremos por medio de tablas y diagramas como se ven afectados económicamente los diferentes rubros de la Empresa como consecuencia de las continuas fallas de la unidad.

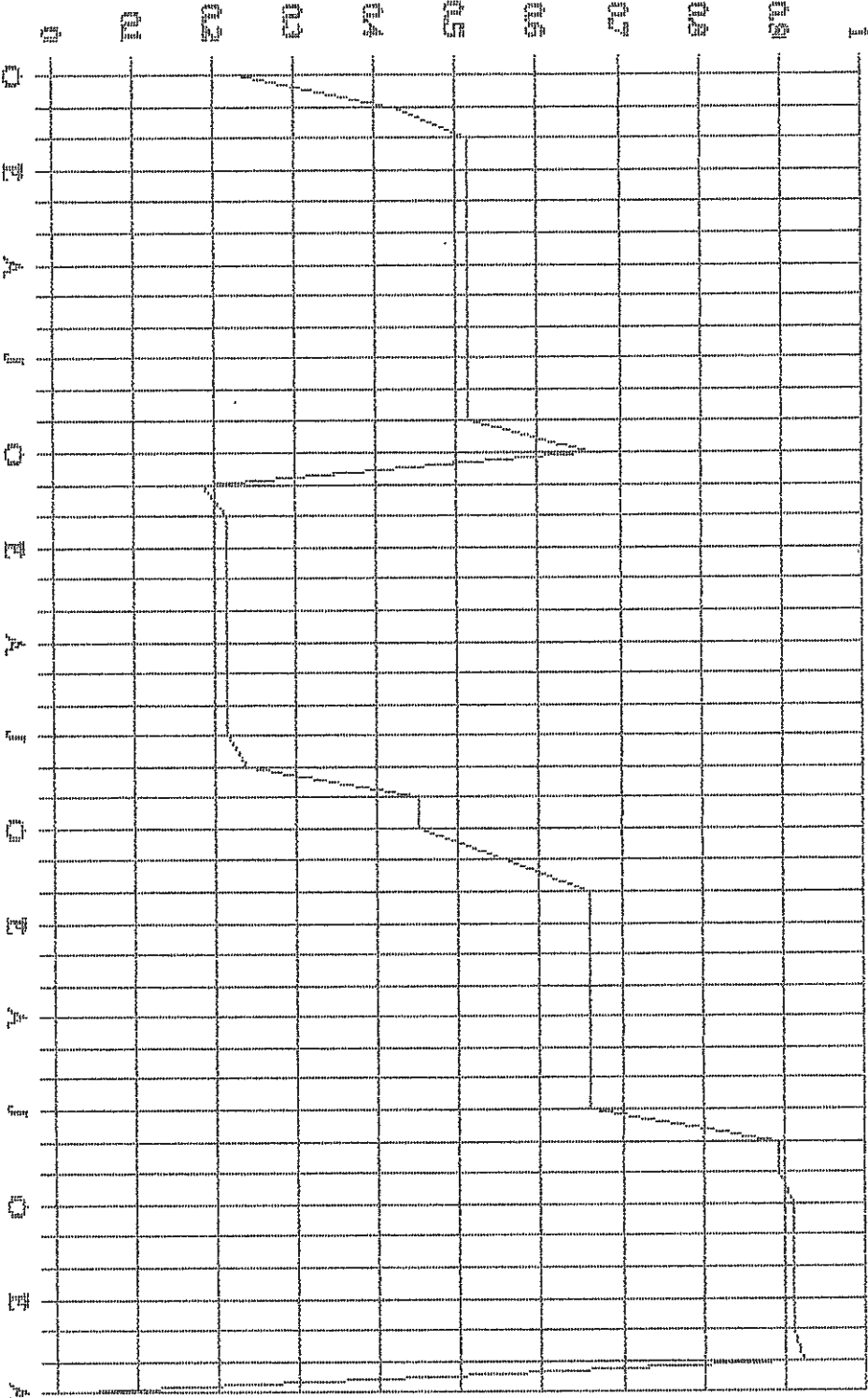
A continuación se mostrarán varios diagramas en los que se podrá apreciar como los tubos del condensador fueron taponándose a medida que el problema se agravaba, también se muestra el porcentaje de tubos taponados del condensador, y otro en que se nota como el problema afectó a la capacidad de generación de la unidad y produjo horas muertas; por la imposibilidad de generar mientras se corregía la falla. Ver figuras 10A, 10B y 10C.

En estos diagramas se ve fácilmente que en la época en que se incrementan los tubos con picaduras, contaminando de esta manera el agua de alimentación, se presentan las fallas en los tubos del caldero ocasionando fuertes pérdidas para la Empresa como lo demostraremos más adelante.

En la TABLA I se puede observar como afectó económicamente a la empresa el no haber podido generar.



【一】 關於「中華民國」之解釋



100-443887-100

HOPAS

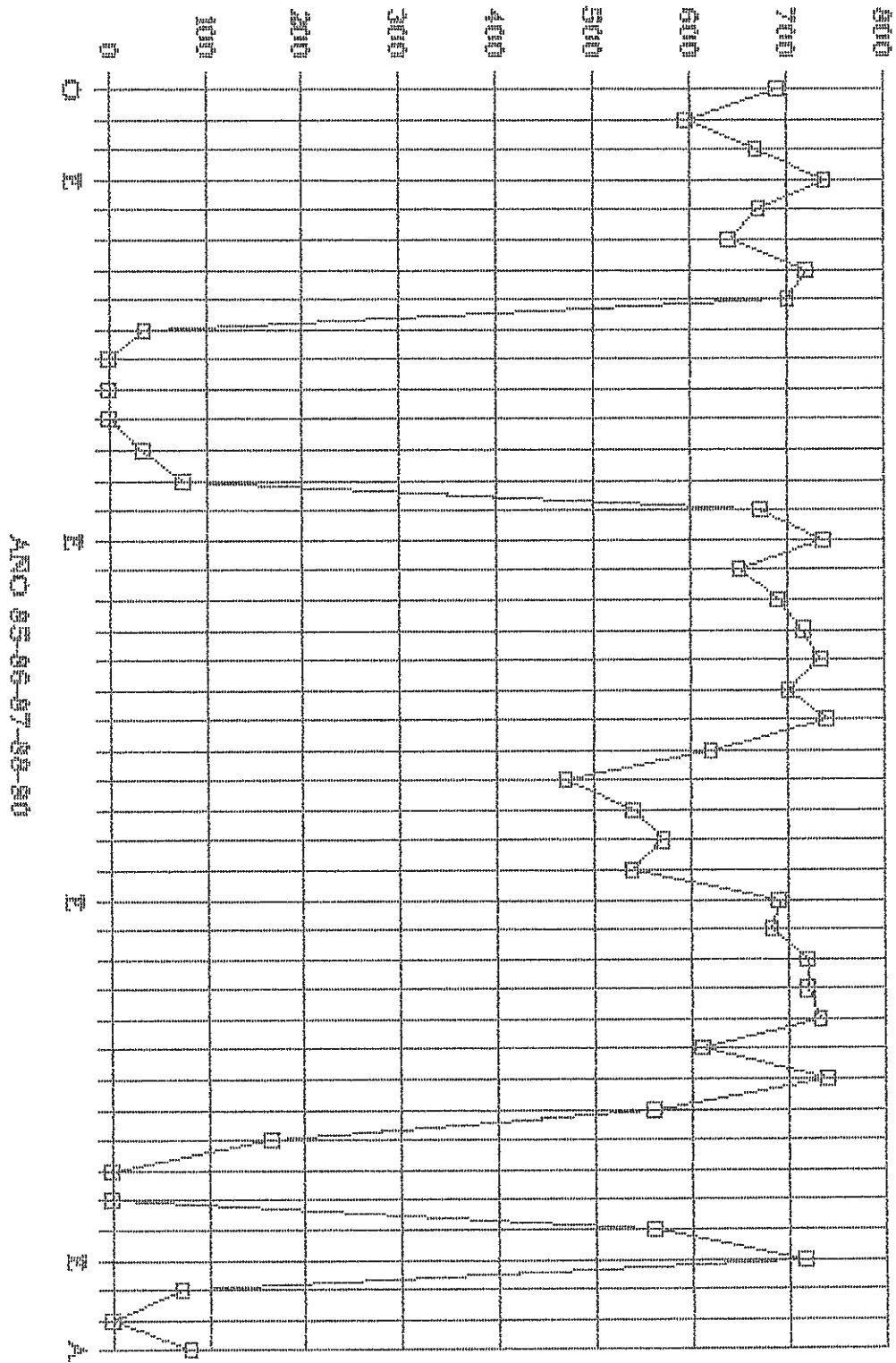


FIGURA 10 B
HORAS SIN GENERAR

TABLA I

AÑO	HORAS SIN GENERAR *	\$/kwhn	PERDIDA PARA LA EMPRESA
1985	703	4.03	\$ 26'914.355
1986	1431	5.08	\$ 69'060.060
1987	934	7.28	\$ 64'595.440
1988	2398	8.33	\$189'765.730
1989	3139	15.43	\$460'130.315

* Solo se tomaron en cuenta las horas muertas producto de las fallas en los tubos del condensador-caldero, y no por otros motivos.

En la TABLA II se puede observar los gastos en que incurrió la Empresa para reparar dichas fallas.

Con estos datos nos podemos dar cuenta que las pérdidas producto de las fallas en los tubos del condensador son cuantiosas, y por lo tanto justifican los trabajos e inversiones que tengan que realizarse para superar el problema.

TABLA II

AKO	1986	1986	1988	1989	1989
TRABAJO	cam. tubo	cam. tubo	mant-no	cam.tubo	retub.
	caldero.	conden.	program.	conden.	cald.
REPA.	QM971;	QM978;	QT-5349	QM1021;	QM1027;
	233	234		234	233
MATER.	8'851.353	631.895	32'601.912	3'789.667	485.220
M. OBRA	1'523.686	659.546	169.439	5'226.522	641.623
VARIOS	3'586.855	755.432	4'583.759	2'050.390	1'194145
TOTAL	13'961.895	2'046.875	28'187.592	11'066.581	2'320989

C A P I T U L O I I

ALTERNATIVAS DE SOLUCION

La excesiva entrada de desechos al condensador es perjudicial para la operación misma de la unidad. El bloqueamiento por desechos de los tubos causa altas velocidades del agua, reducción de la transferencia de calor, pérdida del cabezal en el sistema, incremento de la presión del condensador, reducción del flujo de agua de enfriamiento, erosión en la entrada de los tubos, etc. Este capítulo presenta varias alternativas, las cuales tienden a reducir o eliminar la excesiva entrada de desechos y de partículas suspendidas en el agua de enfriamiento.

2.1. DRAGADO DE BOCATOMA

La operación de dragado consiste básicamente en la remoción de material asentado en el fondo del río, en el área de la bocatoma de entrada de la unidad (este material principalmente consiste de arena, lodo, arcilla, etc.) Ver figura 11A y 11B.

Para realizar esta operación se utiliza una draga mecánica como es la grúa "cuchara de almeja" ya que es un equipo que se ajusta a nuestras necesidades y condiciones en la planta, entre las que podemos enumerar:

- 1.- El material a removerse es suave (arena, lodo, arcilla).

- 2.- La profundidad del dragado no es mayor de dos metros.
- 3.- La zona de descarga de este material se encuentra al alcance de su pluma (dentro de la vía de navegación del río)

Entre las ventajas que obtendremos de la utilización de este método de limpieza están:

- 1.- Mejorar la capacidad de entrada de flujo de agua a la unidad.
- 2.- Disminuir el porcentaje de arena-arcilla que entra al condensador, reduciendo la posibilidad de erosión a los tubos.
- 3.- Para realizar este trabajo no es necesario sacar a la unidad fuera de servicio.
- 4.- Para la ejecución de este trabajo no se necesita contratar ningún otro equipo adicional a más de la draga, y se lo realiza en un tiempo relativamente corto, por lo que resulta económico.

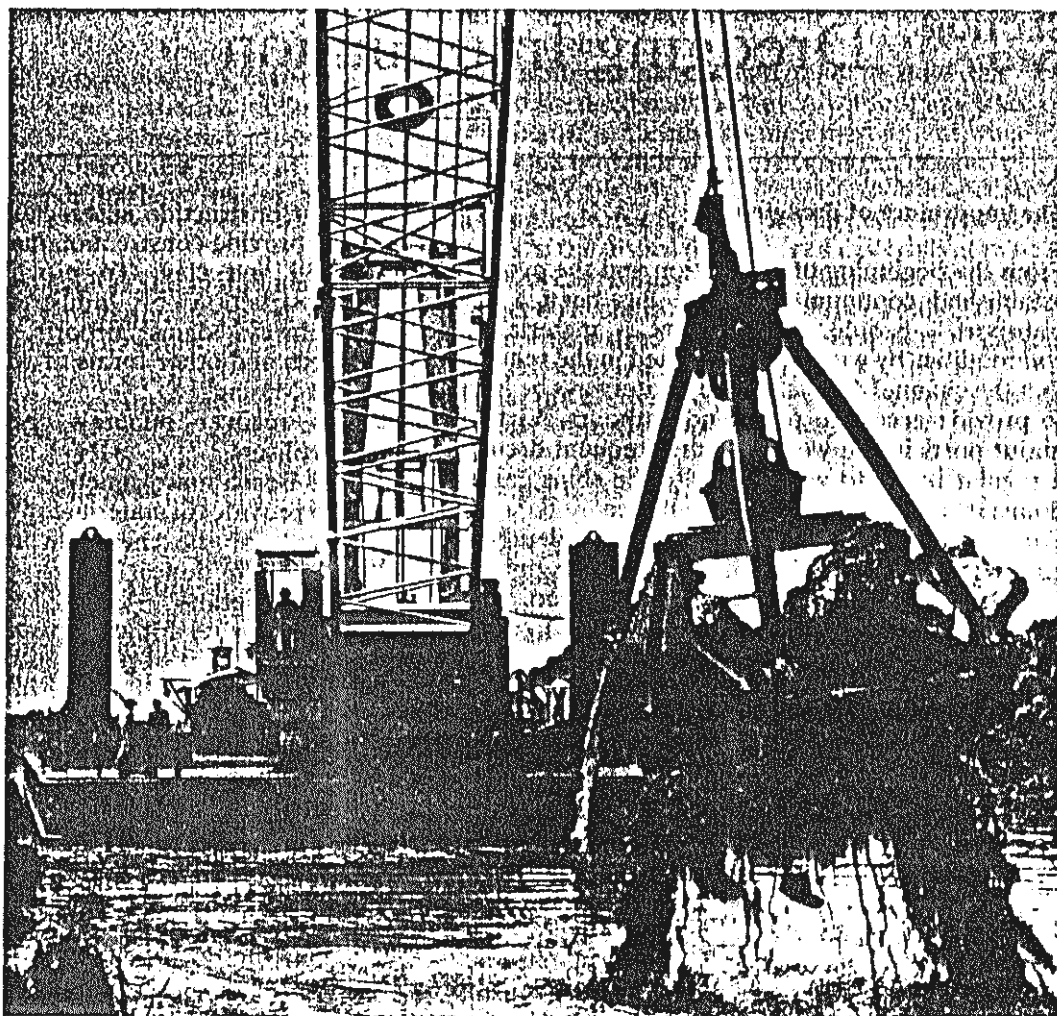


Fig 11A

Draga "Cuchara de almeja"





Fig. 11B

Material sedimentado en la bocatoma de la unidad

2.2. MEJORAS EN EL SISTEMA DE FILTRADO

Los dispositivos de filtrado que tiene el sistema de circulación del agua de enfriamiento en la unidad son susceptibles a ser modificados con el fin de mejorarles su capacidad de retención de los macrodepósitos.

El sistema de circulación del agua de enfriamiento consta de tres dispositivos de filtrado, las cuales son:

- 1.- Bocatoma de entrada del agua del río.
- 2.- Parrilla de cámara de entrada de la bomba de circulación.
- 3.- Rejilla continua.

Las mejoras que se implementarían en estos tres dispositivos de filtrado nos permitirán obtener las siguientes ventajas:

- 1.- Reducir en un alto porcentaje la entrada de macrodepósitos, evitando de esta manera que los tubos de la caja de entrada de agua del condensador sean obstruidos.
- 2.- Como consecuencia de lo anterior no se daría un incremento de velocidad ni turbulencia del agua que pasa por los tubos, disminuyendo así el poder abrasivo que tienen las partículas suspendidas en el agua.
- 3.- Se mejora la capacidad de transferencia de

calor en el condensador, lo que representa un ahorro de combustible.

- 4.- La pérdida de cabezal a través del condensador se verá disminuida, como consecuencia de la no obstrucción de los tubos, representando un ahorro de la potencia consumida por la bomba de circulación.

Como desventaja podemos citar:

- 1.- Ligera reducción en el flujo de agua de enfriamiento.
- 2.- Aumento en las frecuencias de limpieza de las parrillas,, por cuanto estas se bloquearían más continuamente. Ver figura 12A y 12B.

2.3. INSTALACION DE EQUIPO DE LIMPIEZA EN LINEA

Al momento el condensador de la unidad #4 dispone de un sistema de limpieza en línea que trabaja en forma periódica denominado "retrolavado".

Este sistema de limpieza remueve la acumulación de desechos en las cajas de agua y en los espejos de los tubos del condensador, cambiando la dirección del flujo de agua de circulación para lo cual cuenta con las válvulas y tuberías adecuadas.

Adicionalmente a este método de limpieza se puede instalar cualquiera de estos dos sistemas.

- 1.- Limpieza continua: Limpia la superficie del lado del agua de los tubos en forma automática

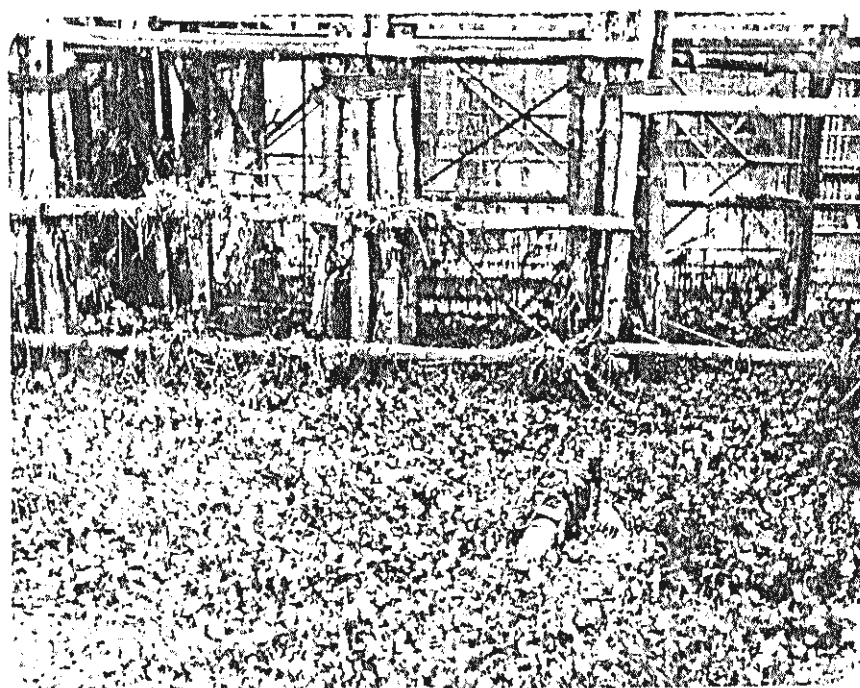


Fig. 12A

Bocatoma de entrada de la unidad

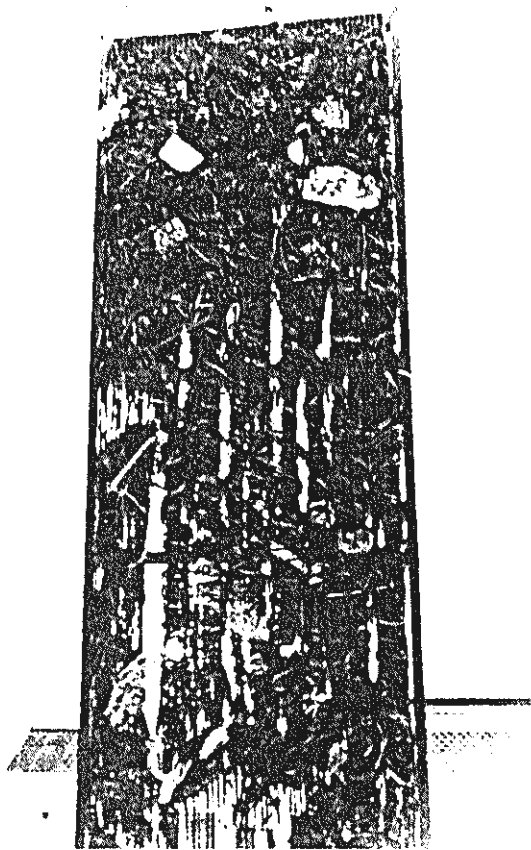


Fig. 12B

Parrilla de entrada a la bomba de circulación

y continua, utilizando esponjas de caucho recirculando constantemente desde la entrada a la salida de las cajas de agua.

- 2.- Limpieza intermitente: Limpia la superficie del lado del agua de los tubos en forma intermitente lanzando cepillos de nylon a través de los tubos individualmente, cambiando la dirección del flujo de agua.

La implementación de cualquiera de estos dos sistemas nos daría las siguientes ventajas:

- 1.- Los depósitos y sólidos suspendidos son barridos constantemente, manteniendo la superficie interior de los tubos limpia evitando de esta forma posibles picaduras.
- 2.- Se mejora la capacidad de transferencia de calor del condensador, ahorrando combustible.
- 3.- La operación de limpieza se puede realizar en todas las condiciones de carga de la unidad.
- 4.- Se eliminaría el sistema de limpieza manual, ahorrando el costo de la Hr/hombre, y por lo tanto la necesidad de parar la unidad para realizarlo.
- 5.- Estos equipos de limpieza pueden trabajar en forma continua durante un año sin necesidad de realizarles mantenimiento.

Como desventajas podemos enumerar:

- 1.- Se adiciona una pérdida de cabezal al sistema producto de los varios componentes del sistema.
- 2.- El éxito de estos sistemas depende del mínimo grado de macrodepósitos que bloqueen el espejo del condensador.
- 3.- La instalación de estos equipos en sistemas ya existentes demandan un gran costo, por cuanto hay que rediseñar sus líneas.
- 4.- Se necesita un mayor espacio físico para la instalación y montaje de sus componentes.

2.4. UTILIZACION DE AGUA POTABLE

La alternativa del agua potable para ser utilizada en el sistema de agua de enfriamiento del condensador representa una de las mejoras para solucionar nuestro problema.

Entre las ventajas que obtendríamos tenemos:

- 1.- Se eliminaría en su totalidad los dispositivos de filtrado del agua de enfriamiento.
- 2.- Esta agua de enfriamiento, con un debido tratamiento, estaría libre de macro-microdepósitos y partículas suspendidas, evitando toda posibilidad de corrosión, erosión, formación de depósitos, etc.
- 3.- Se prolongaría la vida útil de los tubos del condensador.
- 4.- La eficiencia de la transferencia de calor en

el condensador mejoraría trayendo como consecuencia un ahorro de combustible.

- 5.- Se eliminaría el sistema de limpieza manual, ahorrando el costo de la Hr/hombre.
- 6.- La unidad trabajaría en forma continua sin necesidad de sacarla fuera de servicio para realizarle mantenimiento al condensador.

Como desventaja principal tenemos que para implementar esta solución en nuestra planta tendríamos que construir un reservorio de agua con una capacidad de 350 m³ lo cual representa un área de 50 m²; además se tendría que instalar una torre de enfriamiento con una capacidad de 3.463,2 m³ de agua/Hr. la misma que ocuparía un área de 225 m².

Como podemos ver necesitaríamos un área total de 275 m², espacio físico del cual no se dispone en las inmediaciones del condensador. Ver fig. 13.

Otra de las desventajas que tendríamos sería la adquisición de una bomba con una capacidad de 18.000 GPM. la misma que por su capacidad no la conseguiríamos localmente sino que tendríamos que importarla.

Con la nueva posición de la bomba se tendría que reubicar su tubería de descarga; así mismo se reubicaría la tubería de salida del condensador para



conectarla a la torre de enfriamiento y reservorio.

Otra de las desventajas que tendríamos para implementar esta alternativa es la falta de agua que adolece el sector en el cual está ubicada la planta, lo que nos obligaría a traer agua por tanquero para reponer el agua que se pierde en el sistema, sea por escapes, evaporación, etc.

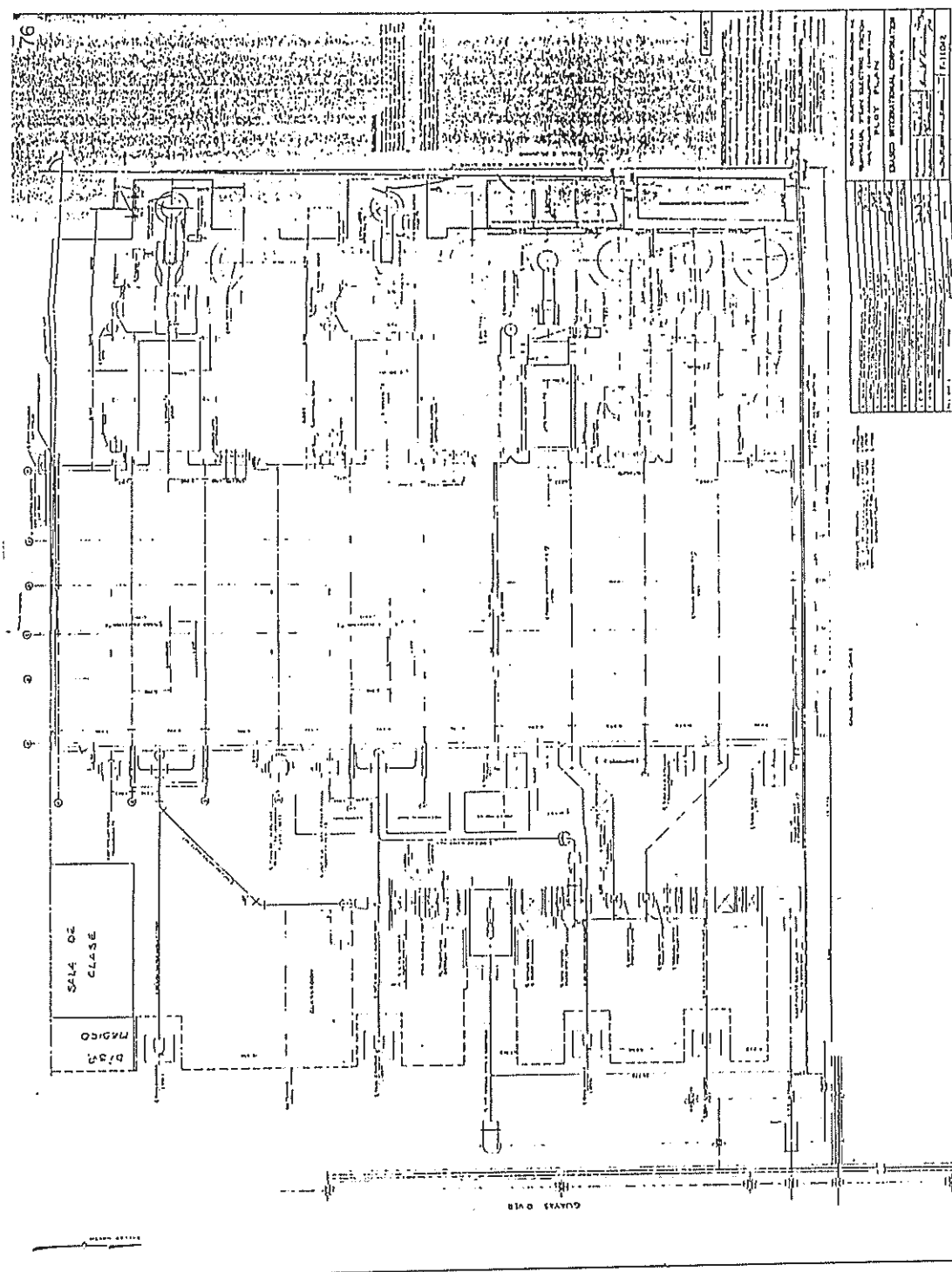


Fig. 13

Plano de la Planta a Vapor Guayaquil

C A P I T U L O I I I

IMPLEMENTACION DE LAS ALTERNATIVAS DE SOLUCION

3.1. DRAGADO

Como lo indicamos en el capítulo anterior el trabajo de dragado consiste en remover el material asentado en el fondo del río, en el área de la bocatoma. Ver figura 14A y 14B.

Para obtener mejores resultados se dragará el área de las bocatomas de entrada del agua del río a la planta, que corresponde a un área de 320 m².; la profundidad del dragado será de 2 m. con lo cual dejaremos despejada la boca de la tubería de entrada a la cámara de la bomba de circulación y con lo que estaremos desalojando aproximadamente 640 m³ de material sedimentado.

Este trabajo se debe realizar cada año con la finalidad de tener siempre libre la tubería de entrada, como dato complementario tenemos que, el valor de sedimentación que tiene el río Guayas en el sector de la Planta es de aproximadamente 45 a 65 cm. en un tiempo de 10 meses (Este valor fue proporcionado por el Instituto Oceanográfico de la Armada, el mismo que puede variar de acuerdo a las circunstancias o accidentes del medio).

3.2. MEJORAS EN EL SISTEMA DE FILTRADO

En el capítulo anterior indicamos que el sistema de

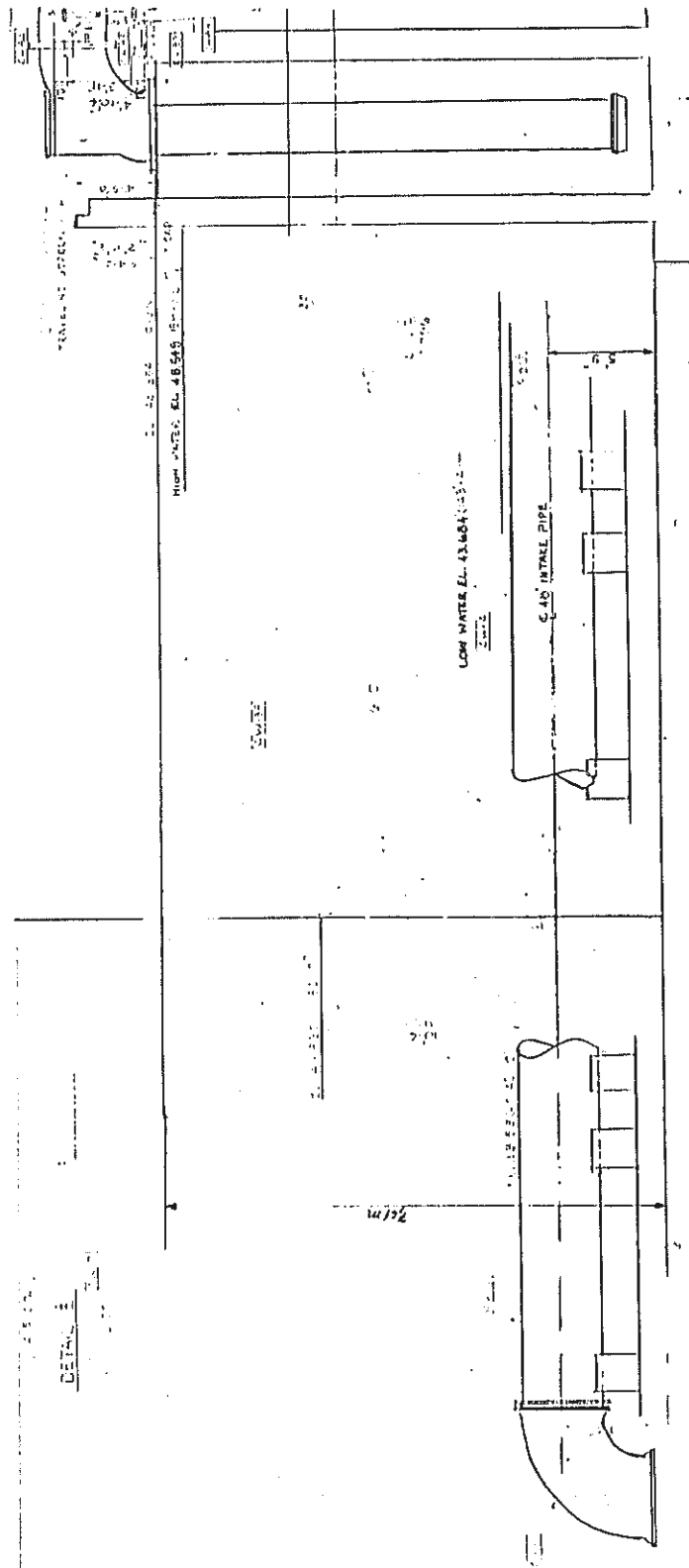


Fig. 14A

Area de la bocatoma a ser dragada

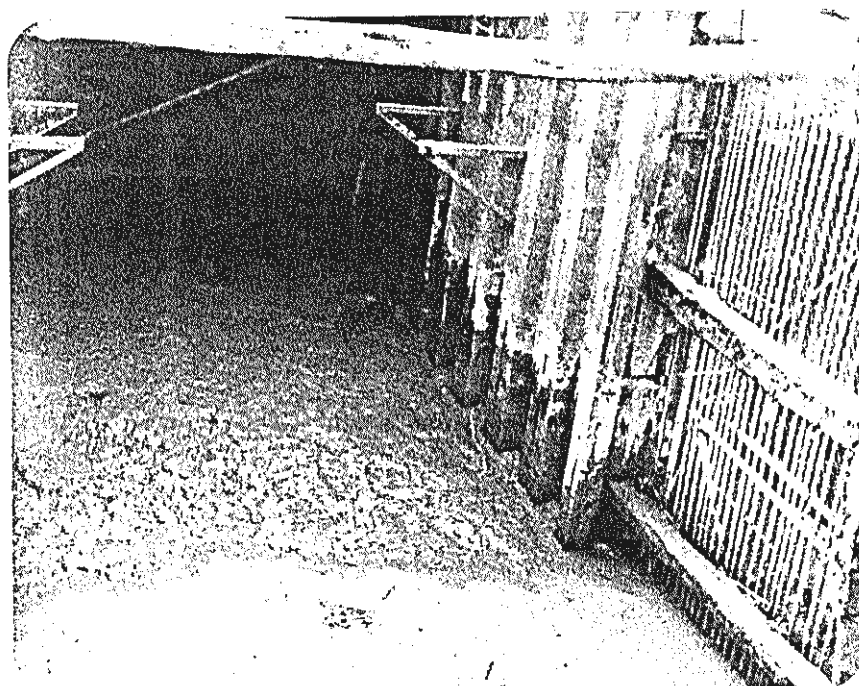


Fig. 14B

Material sedimentado a ser dragado

filtrado, del agua de enfriamiento, que utiliza el condensador de la unidad #4 consta de tres etapas y en cada una de ellas se implementará mejoras con el fin de aumentar su capacidad de retención de los macro y microdepósitos.

3.2.1. Bocatoma de Entrada del Agua del Río

El sistema existente de filtrado de la bocatoma consiste de parrillas colocadas al costado y delante de la tubería de entrada a la cámara de la bomba de circulación, estas parrillas protegen un área de 52 m² y una profundidad de 7,6 m. Ver figura 15.

En estas parrillas se realizará los siguientes cambios:

- 1.- Se cambiará su malla actual con un ojo de 2 pulg. a una de 1 pulg.
- 2.- Cada parrilla será cambiado su marco y reforzada con tubería de 2 pulg. que la cruzará de un extremo a otro, para evitar que la malla se rompa o deforme por acción del empuje de maderos grandes o gran cantidad de lechuguines.
- 3.- El mantenimiento a estas parrillas será una vez al año y consistirá en reparar o cambiar la malla o tubería dañada y pintar su estructura con pintura

antifouling. Ver figuras 16 y 17.

3.2.2. Parrilla de la Cámara de Entrada de la Bomba de Circulación.

Esta etapa de filtrado consta de dos parrillas verticales con platinas espaciadas a 1 pulg.

En estas parrillas se harán las siguientes modificaciones:

- 1.- Se reducirá el espacio entre platina a $\frac{3}{4}$ pulg.
- 2.- Se cambiará su marco y estructura.
- 3.- Se reforzará con cuatro nervios adicionales.

Con estas modificaciones se aumentará la frecuencia de limpieza y se le dará mantenimiento dos veces al año, el mismo que consistirá en cambiar las platinas desgastadas y reubicar las desprendidas; como protección se la pintará con pintura antifouling. Ver figuras 18 y 19.

3.2.3. Rejilla Continua.

La tercera etapa de filtrado en el sistema de agua de enfriamiento la constituye la rejilla continua.

Esta es una rejilla vertical conformada por 32 canastillas y en la cual el flujo de agua

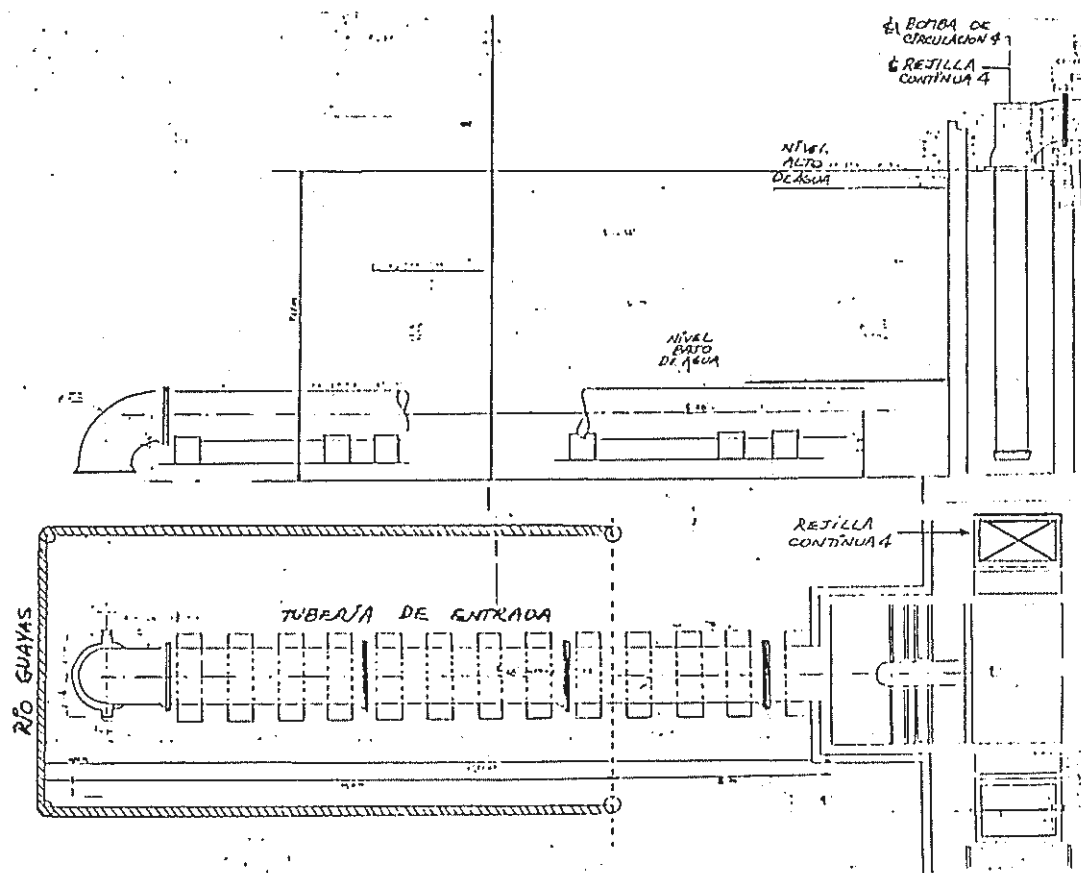
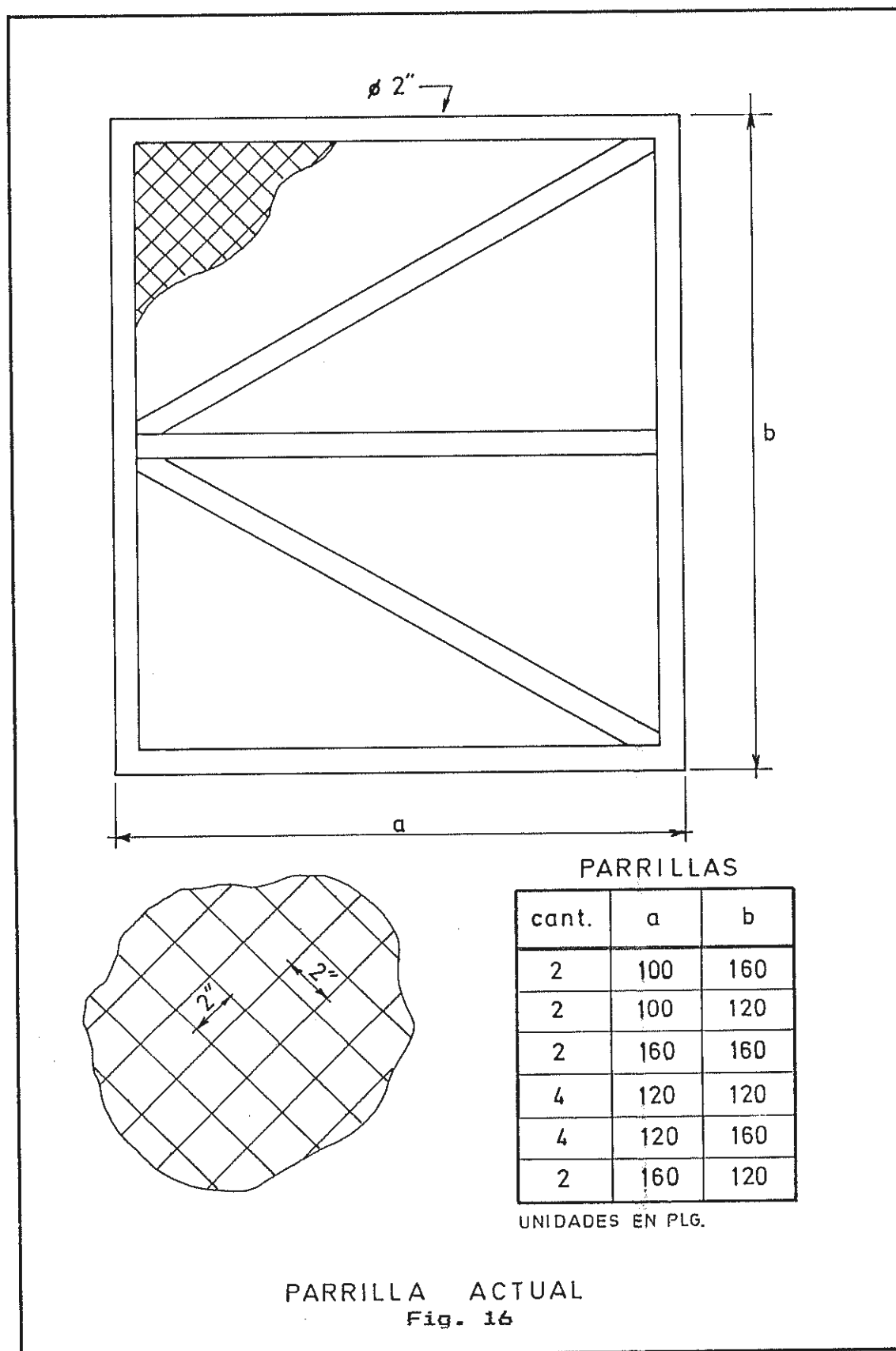
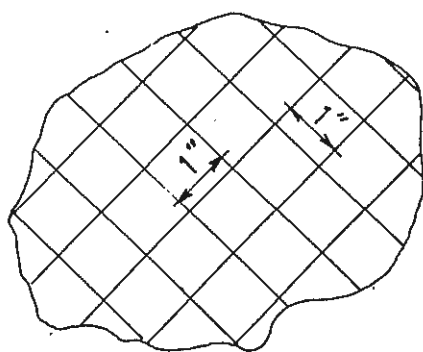
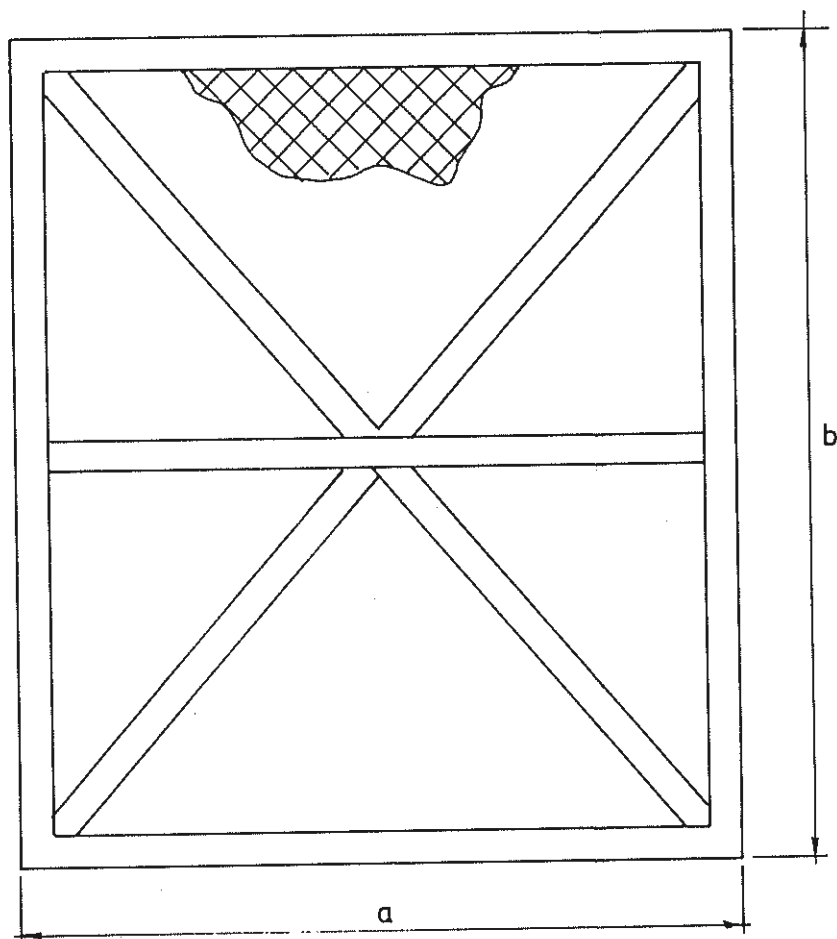


Fig. 15

Parrillas de protección de la bocatoma de
entrada

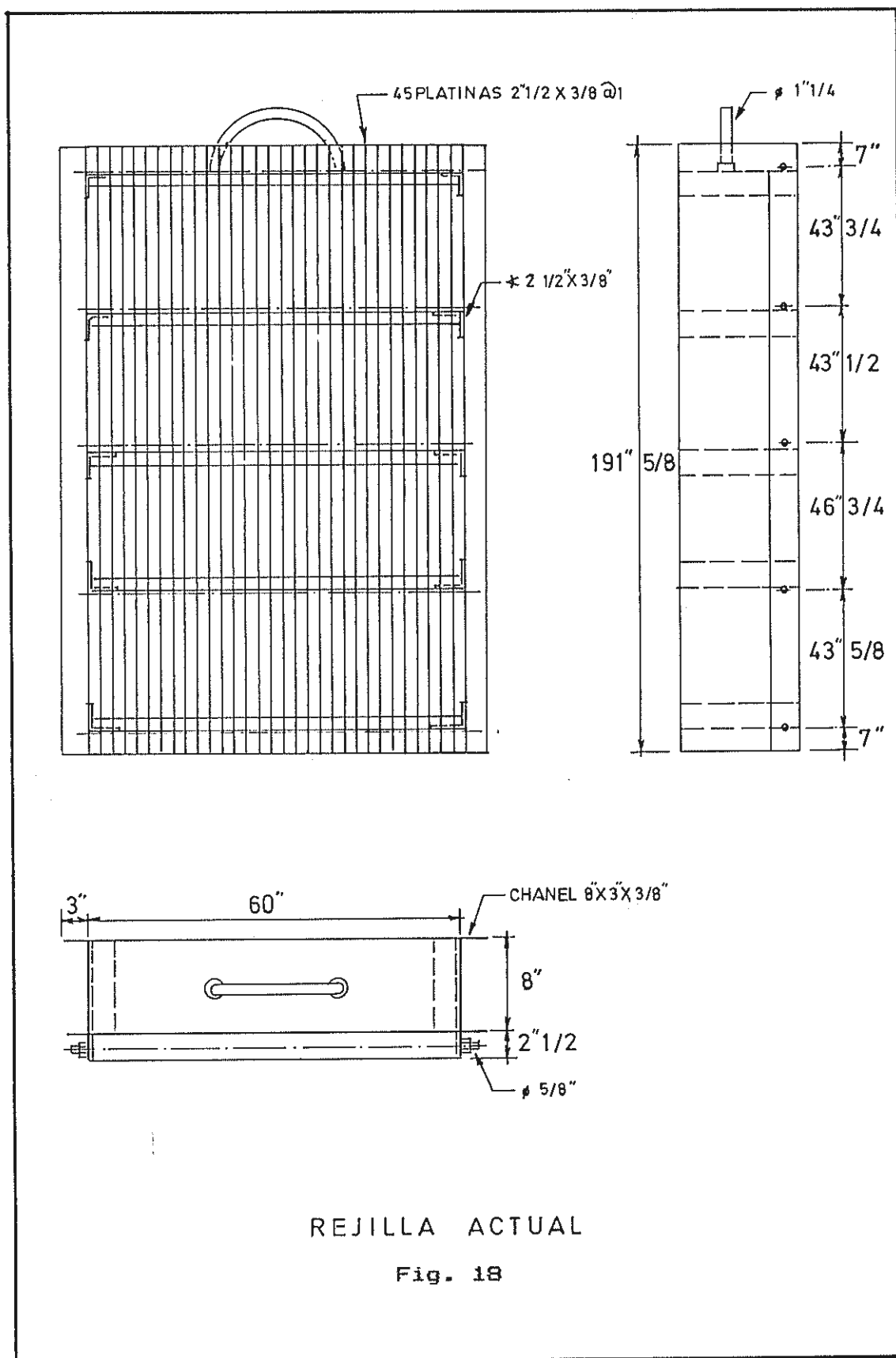


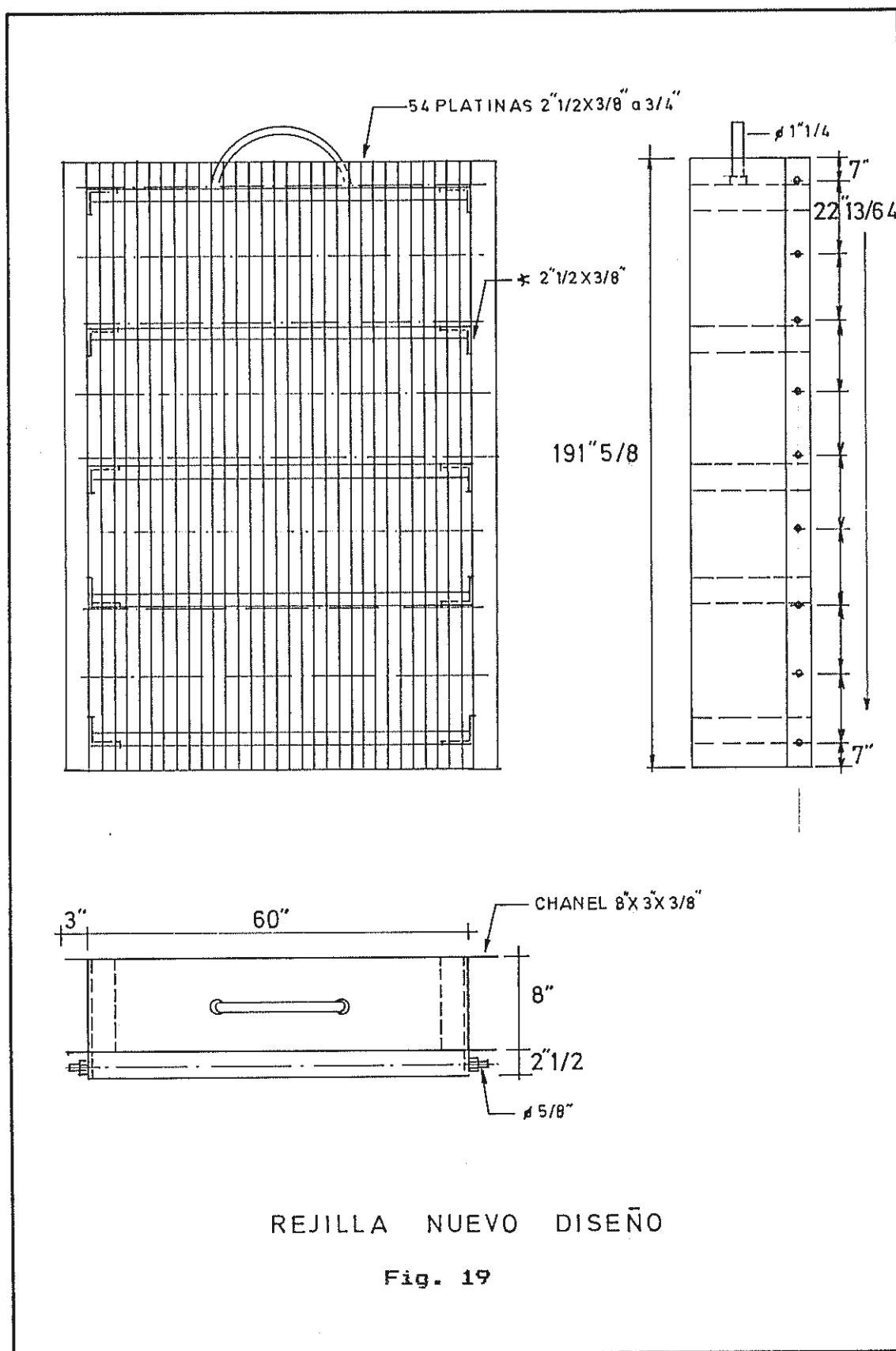


cant	a	b
2	100	160
2	100	120
2	160	160
4	120	120
4	120	160
2	160	120

PARRILLA NUEVO DISEÑO

Fig. 17





cruza a través de ellas. Estas canastillas viajan a una velocidad de 2,5 fpm. dichas canastillas impiden el paso de los desechos, los mismos que se adhieren a la malla para luego ser desprendidos utilizando un cabezal de agua de alta presión (70 psi).

Estos desechos caen en un canal para luego ser recogidos por el personal de limpieza.

La rejilla comunmente permite que algunos desechos sean trasladados o pasen a través de la malla; por lo que algunos cambios en el diseño de la misma serán aplicados para resolver estos problemas.

Los desechos que pasan o son trasladados en la malla de la canastilla serán eliminados colocando un deflector de desecho, un sistema de limpieza con cepillo en el cabezal de agua de las toberas y cambiando el tamaño del ojo de la malla.

El deflector de desechos será colocado como lo muestra la figura 20, con lo que reduciremos el claro entre la cara de la canastilla y la cubierta de concreto, permitiendo que el desecho que ha logrado trasladarse en la malla caiga al canal respectivo.

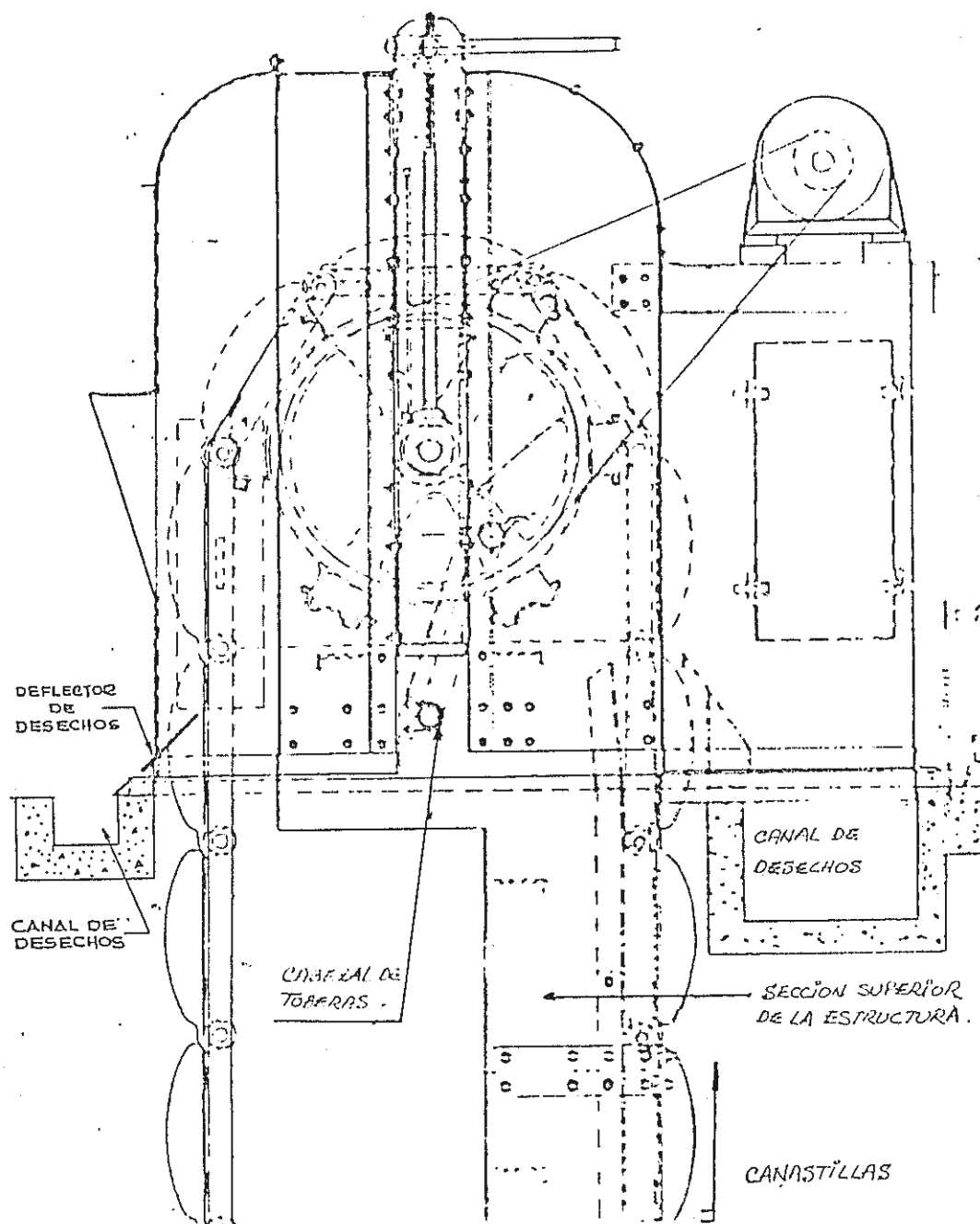


Fig. 20

Posición del deflector de desechos en la
rejilla continua

Otro de los motivos por el cual los desechos son trasladados en la malla es que las boquillas de las toberas se obstruyen; para evitarlo se usará cepillos instalados en una varilla larga localizada dentro del cabezal de las toberas y conectada a una rueda de mano, lo que permitirá a los cepillos ser manualmente rotados para la limpieza interna del cabezal, impidiendo así el obturamiento de las toberas.

Para reducir el porcentaje de desechos que pasan la malla de las canastillas, se cambiará el tamaño del ojo de la malla de $3/8$ a $3/16$ pulg. esta malla es de acero inoxidable y el alambre que utiliza tiene un espesor de 0,80 pulg. Ver figura 21.

La implementación de las alternativas aquí presentadas tienen la gran ventaja de que no necesitan que la unidad No. 4 sea sacada fuera de servicio para su construcción y posterior montaje.

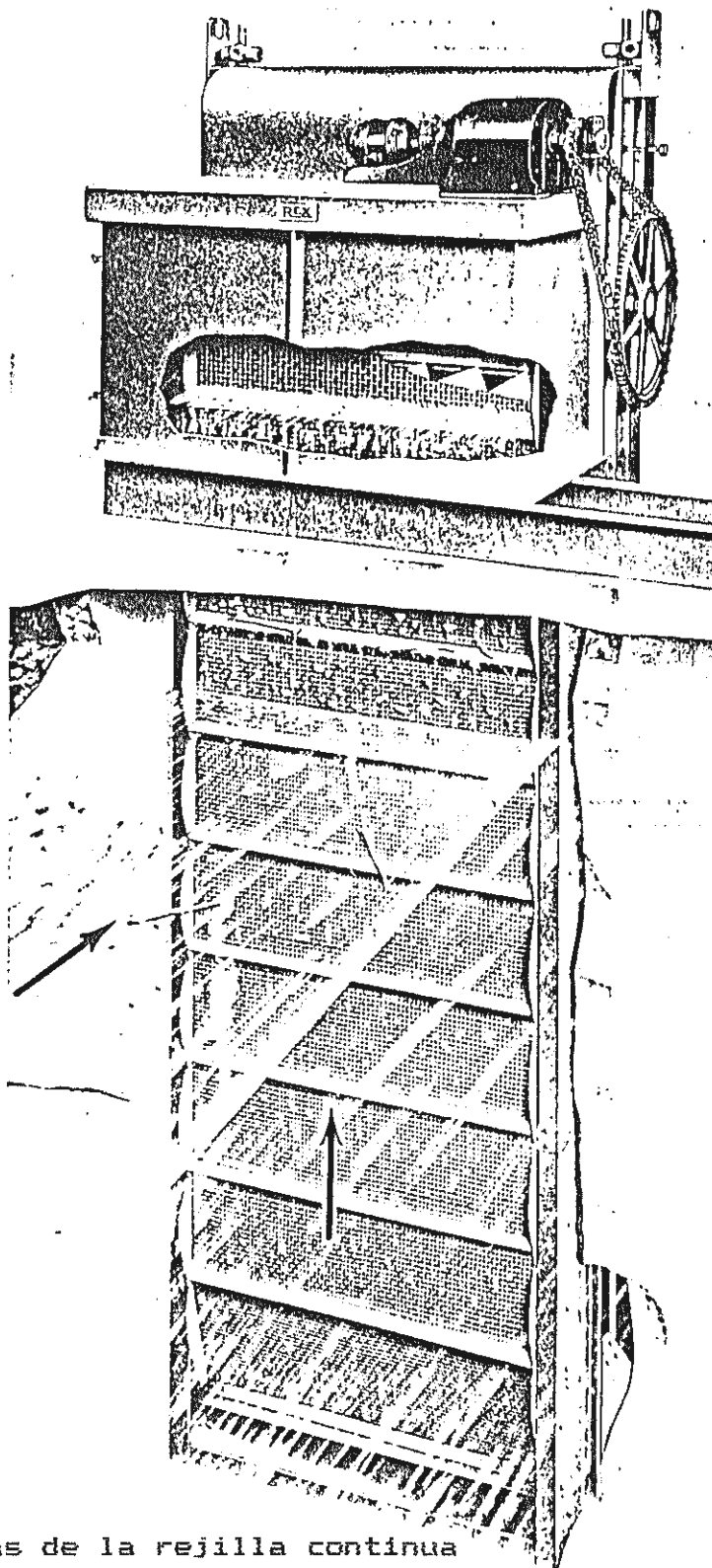


Fig. 21

Canastillas de la rejilla continua

con un ojo de malla reducido.

3.3. ESTUDIO DE COSTOS

En esta sección se indicará el costo de cada una de las mejoras o modificaciones que se realizará en las varias etapas de filtrado y de esta manera determinar el valor total que hay que invertir para implementar las alternativas de solución planteadas.

DRAGADO.- Para el dragado se utilizará una grúa "cuchara de almeja" la misma que tiene un alquiler de \$100.000 la Hr.

- Tiempo estimado de trabajo	
30 Hr. x \$100.000	\$3'000.000
- Herramientas y varios.....	" 80.000
- Personal (5 hombres).....	" 250.000
- Dirección técnicas.....	" 200.000
Subtotal.....	\$3'530.000
10% IVA	" 553.000
TOTAL.....	\$3'883.000

BOCATOMA DE ENTRADA DEL AGUA DEL RIO

En esta bocatoma se cambiará la malla y su estructura. Esta etapa de filtrado consta de dos mallas laterales y una delantera.

Area de malla lateral $70 \text{ m}^2 \times 2 = 140 \text{ m}^2$
 Area de malla delantera 35 m^2
 Area total de malla a cambiar 175 m^2
 - Malla a cambiar $175 \times \$5800 = \1015.000
 - Cada malla lateral está subdividida en seis partes las mismas que cambiado su marco y nervio con tubería galvanizada reforzada de 2 pulg. utiliza 15 tubos $\times 2 = 30$ tubos
 $30 \text{ tubos} \times \$58.660 = \$1759.800$
 - La malla delantera está subdividida en cuatro partes que utilizan 9 tubos.
 $9 \text{ tubos} \times \$58.660 = \527.940
 - Para la protección de la estructura y mallas utilizamos pintura antifouling.
 $16 \text{ glns.} \times \$63.800 = \$1020.800$
 - Varios (herramientas, soldadura, etc) $\$130.000$
 - Mano de obra (8 hombres) $\$320.000$
 - Dirección técnica $\$160.000$
 Subtotal $\$4933.540$
 10% IVA $\$493.354$
 TOTAL $\$5426.894$

PARRILLAS DE LA CAMARA DE ENTRADA DE LA BOMBA DE CIRCULACION.

A estas parrillas se le cambiará el marco de su estructura, sus platinas y nervios de refuerzo, además la protegeremos con pintura antifouling; para ello se utilizará:

- 57 platinas de 2 1/2 x 1/4"	
57 platinas x \$18.330 c.u....	\$1044.810
- 14 m. de viga en U de 8 pulg.	
14 m. x \$64.000 c/m	\$ 896.000
- 3 barras de acero de trans-	
misión de 1 pulg. x \$42.200..	\$ 126.600
- 3 tubos galv. reforzado de	
1 1/4 pulg. x \$37.490 c.u...	\$ 112.470
- 8 gln. de pintura antifouling	
8 gln. x \$63.800.....	\$ 510.400
- Varios (herramienta,	
soldadura, etc.....	\$ 130.000
- Valor de una parrilla.....	\$2820.280
- Como son dos parrillas.....	\$5640.560
- Mano de obra (4 hombres)....	\$ 160.000
- Dirección técnica	\$ 160.000
TOTAL.....	\$5960.560

REJILLA CONTINUA

En la rejilla se instalará un sistema de limpieza manual de su cabezal de agua de alta presión, se cambiará el tamaño del ojo de la malla en cada una de las canastillas y se colocará un deflector de desechos.

- Area de la malla en cada canastilla 0,97 m² como son
32 canastillas x 0,97=31 m²
31 m² x \$256.000.....\$7936.000
- Para la limpieza del cabezal de agua:
10 cepillos circulares de 4 pulg. de diámetro con cerda de bronce x \$16.000\$ 160.000
3 m. de varilla liza de 1/2".\$ 8.000
- Para el deflector de desechos;
2 m. de plancha de 9" x 3/8".\$ 60.000
- Varios (herramientas, soldadura, etc).....\$ 130.000
- Mano de obra (4 hombres).....\$ 160.000
- Dirección técnica.....\$ 160.000

Subtotal.....	\$8614.000
10% IVA.....	\$ 861.400
TOTAL.....	\$9475.400

Por lo tanto el costo total de la inversión será:

Dragado.....	\$ 3'883.000
Bocatoma.....	" 5'426.894
Parrilla de la cámara.....	" 5'960.560
Rejilla continua.....	" 9'475.400
Costo total.....	\$24'745.854



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Bajo las condiciones de operación a las cuales está expuesto el condensador es evidente que la gran cantidad de lodo, arcilla y desechos que logran pasar las varias etapas de filtrado representan nuestro principal problema.

Ningún método de control es la solución para todos los problemas de macro y micro depósitos; por lo tanto, se necesitará una combinación de dichos métodos.

La combinación de estos métodos de control es importante para minimizar los problemas del condensador con un mínimo impacto en la economía de la Empresa.

Teniendo en cuenta estas circunstancias se han escogido las alternativas más viables de ser aplicadas tanto porque pueden ser llevadas a cabo en el menor tiempo posible como por su costo con respecto a otras alternativas de un valor mucho mayor. Esta última limitante se fundamenta principalmente en que no es rentable hacer inversiones en un equipo que está próximo a terminar su vida útil; pero a pesar de esta última limitante si hacemos un análisis de los valores que la Empresa perdió, tanto por mantenimiento como por no generar y los comparamos con el costo total a invertir para implementar las alternativas aquí planteadas, sin duda representará para la compañía un ahorro importante

en sus divisas realizando una pequeña inversión, la misma que será recuperada casi en forma inmediata. Por lo que supera con creces cualquier desventaja que se presentase con las modificaciones implementadas.

El verdadero logro de las modificaciones se las podrá evaluar con el transcurso del tiempo; así mismo para poder hacer una evaluación completa de cuan efectivas fueron las alternativas planteadas se deberá cambiar todas las tuberías del caldero que se encuentren en mal estado; lo cual podría ser determinado con la ayuda de un ensayo no destructivo de los mismos, y luego se programará períodos de inspección a fin de determinar el estado del condensador y realizar cálculos de eficiencia del mismo como de la unidad.

INDICE DE FIGURAS

- 1.- Diagrama simplificado de una unidad y sistema de distribución típico.
- 2.- Sellado de un tubo de condensador a su espejo.
- 3A. Vista frontal del condensador.
- 3B. Sección transversal del condensador.
- 4.- Cambio de tubos en el segundo y tercer paso de gases.
- 5.- Tubo explosionado en el hogar.
- 6.- Cambio del 50% de tubos en el condensador.
- 7.- Reparación de los espejos en el condensador.
- 8.- Cambio de tubos en el hogar.
- 9A. Desechos en la caja de entrada de agua del condensador.
- 9B. Espejo del condensador obstruido.
- 9C. Tubos perforados del condensador.
- 10A Diagrama de tubos taponados en los años 1985, 1986, 1987, 1988 y 1989.
- 10B Diagrama de horas sin generar por fallas en el condensador en los años 1985, 1986, 1987, 1988 y 1989.
- 11A Draga "Cuchara de almeja".
- 11B Material sedimentado en la bocatoma de la unidad.
- 12A Bocatoma de entrada de la unidad.
- 12B Parrilla de entrada a la bomba de circulación.

13. Plano de la Planta a Vapor Guayaquil.
- 14A Area de la bocatoma a ser dragada.
- 14B Material sedimentado a ser dragado.
15. Parrillas de protección de la bocatoma de entrada.
16. Diseño actual de la parrilla en la entrada de la bocatoma.
17. Diseño nuevo de la parrilla en la entrada de la bocatoma.
18. Diseño actual de la parrilla de la cámara de entrada de la Bomba de Circulación.
19. Diseño nuevo de la parrilla de la cámara de entrada de la Bomba de Circulación.
20. Posición del deflector de desechos en la Rejilla continua.
21. Canastillas de la Rejilla continua con un ojo de malla reducido.

INDICE DE TABLAS

- I. Pérdidas de la Empresa por no poder generar en los años 1985-1989.
- II. Gastos generados por las fallas en el Condensador.

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

- 1.- A. L. Smith, R. A Muia, Cargon Corp., Organisms in Cooling Water Systems.
- 2.- B. Skrotzki, W. Vopat, Power Station Engineering and Economy, 2a. ed.
- 3.- D. Anson, Availability of Fossil-Fired (Steam Power Plants, EPRI FP-422-SR), june 1977.
- 4.- Faires, Termodinámica
- 5.- H. A. Toohunter, Condenser Tubes in Sea Water Service, (Department of Water and Power, Los Angeles).
- 6.- Ingersoll-Rand Co., Instructions for Maintenance and Operation of Surface Condenser and Auxiliary Equipment, (New York).
- 7.- J. Taborek, T. Aoki, R. B. Ritter and J. W. .Palen Fouling-The Major Unresolved Problem in Heat Transfer, (Heat Transfer Reasearch, Inc., Alhambra, California), part I and II.
J. G. Knudsen (Oregon State university, Corvallis, Oregón).
- 8.- J. W. Suitor, W. J. Marner, R. B. Ritter, The History and Status of Research in Fouling of Heat Exchangers in Cooling Water Service, (Heat Transfer Research, Inc., Alhambra, California).

- 9.- Marks, Manual del Ingeniero Mecánico.
10. Philip J. Potter, Power Plants Theory and Design,
2a. ed.
11. R. J. Bell, A.. M. Impagliazzo, J. G. Mussalli,
Failure Cause Analysis-Condenser and Associated
Systems (Stone & Webster Engineering Corporation,
EPRI CS-2378), june 1982.
12. Stone & Webster Engineering Corporation, High
Reliability Condenser Design Study (Electric Power
Research Institute EPRI CS-3200, Boston,
Massachusetts), july 1983.