

27/1/1972

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA



SISTEMAS DE BOMBEO Y TRATAMIENTO DE AGUA
PARA SERVICIOS Y PROCESOS DE LA SIDERURGICA
LAZARO CARDENAS "LAS TRUCHAS"

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
P R E S E N T A
CARLOS ENRIQUE AHUMADA GUEVARA
MEXICO, D. F. 1982



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

INDICE

	<u>Página No.</u>
I. <u>INTRODUCCION</u>	1
I.1 Propósito y Definiciones	1
I.2 Antecedentes	2
I.3 Clasificación de la Industria Siderúrgica	6
I.4 Descripción del Proceso Siderúrgico	7
II. <u>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</u>	19
II.1 La Infraestructura Hidráulica de la Desembocadura del Río Balsas en Relación con el Complejo Siderúrgico Lázaro Cárdenas, Las Truchas, S.A.	19
II.2 Principales Obras de Infraestructura Hidráulica.	26
II.3 Problemas Actuales de Indole Hidráulica - en el Delta del Río Balsas	34
III. <u>NECESIDADES DE BOMBEO PARA EL FUNCIONAMIENTO DEL PROCESO SIDERURGICO</u>	40
III.1 Posibles Fuentes de Suministro	40
IV. <u>ANALISIS DEL EQUIPO DE CARCAMO Y ELEMENTOS DE CONDUCCION EN EL SISTEMA DE BOMBEO PARA EL PROCESO</u>	49
IV. 1 Obra de Toma y Sistemas Auxiliares	49
IV. 2 Bombas Principales y Sus Sistemas Auxiliares	56

V.	<u>PROCESO DE TRATAMIENTO DE AGUA: PLANTA POTABILIZADORA, SUAVIZADORA Y DESMINERALIZADORA</u>	63
	V.1 La Planta de Tratamiento de Agua	63
	V.1.1 Planta Potabilizadora	64
	V.1.2 Planta Suavizadora	73
	V.1.3 Planta Desmineralizadora	83
VI.	CONCLUSIONES	94
VII.	BIBLIOGRAFIA	102

1. INTRODUCCION

1.1 Propósito y Definiciones

El objeto de este Capítulo es definir y ofrecer un panorama general del proceso que sigue una industria siderúrgica para obtener productos terminados de acero.

Para efectos de información únicamente, considero oportuno definir las palabras siderurgia e industria, para luego dar una definición de industria siderúrgica.

La palabra siderurgia proviene de las raíces griegas SIDEROS (hierro) y ERGOS (obra).

Por lo que respecta a la palabra industria, no se tiene la certeza si se origina en las raíces griegas o latinas; lo único que se puede afirmar es que en la antigüedad la utilizaban para señalar a un conjunto de actividades productivas con fines de señalar a un conjunto de actividades productivas con fines de lucro. Sin embargo, en los últimos tiempos se ha convenido que la palabra industria define actividades más específicas tales como: obtener o elaborar productos y/o suministro de servicios a cambio de una remuneración.

Por lo tanto, se puede definir el término industria siderúrgica como si-

que:

Es una empresa que cuenta con equipo e instalaciones adecuadas para la producción y transformación de artículos intermedios o terminados de acero con miras a obtener una utilidad en su comercialización.

1.2 Antecedentes

La industria siderúrgica en México se inició a principios de este siglo, cuando en 1903, Fundidora Monterrey, S.A., instaló un alto horno de 350 toneladas diarias de capacidad para producir arrabio o fierro primario, teniendo su primera colada ese mismo año y constituyéndose con esto en la primera precursora de la industria de este ramo en México y América Latina. Contaba con hornos de aceración y trenes de laminación siendo sus primeros productos arrabio, acero, perfiles estructurales, comerciales, rieles y piezas de fundición.

En 1922 se creó "La Consolidada", que con dos hornos eléctricos empezó la fabricación de varilla corrugada.

A raíz de la expropiación petrolera en 1938 y la Segunda Guerra Mundial de 1939 a 1945, la siderurgia en México cobró gran auge, ya que fue en esa época cuando surgieron aspectos muy importantes para el desarrollo industrial del país;

- a) Petróleos Mexicanos, se convirtió en el proveedor de energéticos para la industria en general.
- b) Simultáneamente se instituyó en importante consumidor de los productos de la industria mexicana, así como de la propia siderurgia.
- c) En la Segunda Guerra Mundial, hubo necesidad de que la producción siderúrgica del mundo se canalizara hacia la fabricación de armas y municiones, ocasionando con esto gran escasez de los productos de acero, lo cual aceleró el desenvolvimiento de la industria nacional en México.
- d) Lo anterior, obligó a los Industriales nacionales a un máximo esfuerzo para impulsar el desarrollo de una industria siderúrgica menos dependiente del exterior, lo cual se ha logrado paulatinamente, superándose etapas muy difíciles.

Fueron variados los problemas que tuvieron que enfrentar y solucionar los Industriales del acero para ofrecer productos que cumplieran con las normas de calidad y abastecimiento adecuado, requeridos por las industrias petroleras, de la construcción, la metal-mecánica y otras.

Pero gracias a esos esfuerzos y sentido de superación, la siderurgia mexicana ha logrado sortear los problemas y salir adelante.

A consecuencia de la construcción de numerosas vías férreas e instrumentos bélicos, la industria siderúrgica del país tuvo que incrementar su capacidad de producción, y en 1941 el Gobierno Federal a través de la Nacional Financiera, S.A. (NAFINSA), decidió crear Altos Hornos de México, S.A. (AHMSA) en colaboración con banqueros e inversionistas privados.

De 1942 a la fecha, México ha continuado con un ritmo de crecimiento y desarrollo casi continuo, razón por la cual han sido fundadas otras acerías tales como Hojalata y Lámina, S.A. (HYLSA), y Tubos y Acero de México, S.A. (TAMSA), con el propósito de satisfacer la demanda de acero del país.

Sin embargo, lo anterior no ha sido suficiente y se ha tenido la necesidad de importar acero de otros países para cubrir el déficit de éste producto, ocasionando fuga de divisas.

En el Cuadro No. 1, se muestra lo que se afirma en el párrafo anterior. Asimismo, se podrá apreciar en el mencionado Cuadro, que siempre ha existido déficit en la producción de acero, excepción hecha de los años 1971 y 1972 en que se ve superávit. Estos dos años de superávit, los economistas lo atribuyen a un fenómeno denominado por ellos "atonía" o pereza económica.

Por lo anterior, en 1971 el Gobierno Federal emprendió la obra más importante en materia siderúrgica al autorizar el proyecto de la Siderúrgica Lázaro

CONSUMO Y PRODUCCION DE ACERO EN MEXICO,
1940 - 1979
(Miles de Toneladas)

<u>Años</u>	<u>Consumo</u>	<u>Producción</u>	<u>Déficit ó Superavit</u>
1940	276.1	149.4	(126.7)
1941	312.1	144.1	(168.0)
1942	299.1	172.6	(126.5)
1943	356.7	166.0	(190.7)
1944	535.8	174.8	(361.0)
1945	580.2	230.0	(350.2)
1946	680.0	258.3	(421.8)
1947	749.3	290.7	(458.6)
1948	577.4	291.3	(286.1)
1949	654.0	370.7	(283.3)
1950	788.0	390.4	(397.6)
1951	1 070.0	466.7	(603.3)
1952	1 011.8	533.3	(478.5)
1953	864.2	523.1	(341.1)
1954	872.1	600.5	(271.6)
1955	1 059.9	713.0	(346.9)
1956	1 457.7	881.9	(575.8)
1957	1 651.7	1 028.9	(622.8)
1958	1 535.7	1 082.8	(452.9)
1959	1 481.7	1 328.1	(153.6)
1960	1 921.2	1 491.8	(429.4)
1961	1 812.2	1 693.1	(119.1)
1962	1 829.2	1 710.7	(118.8)
1963	2 063.1	2 026.0	(37.1)
1964	2 506.1	2 326.5	(179.6)
1965	2 733.5	2 454.7	(278.8)
1966	2 986.6	2 787.5	(199.1)
1967	3 196.2	3 039.6	(156.6)
1968	3 438.4	3 256.1	(182.3)
1969	3 629.0	3 467.0	(162.0)
1970	3 965.5	3 881.2	(84.3)
1971	3 734.7	3 820.8	86.1*
1972	4 276.4	4 430.6	154.2**
1973	5 350.6	4 759.9	(590.7)
1974	6 204.8	5 137.6	(1067.2)
1975	6 444.3	5 272.4	(1171.9)
1976	5 951.1	5 298.1	(653.0)
1977	7 018.8	5 601.3	(1417.5)
1978	8 055.9	6 775.4	(1280.5)
1979	9 170.3	7 117.0	(2053.3)

Fuente: Informes estadísticos, Cámara de la Industria del Hierro y del Acero.

ro Cárdenas - Las Truchas, S.A., (SICARTSA), con la cual se vendría a satisfacer en buena medida la demanda de acero.

El mencionado proyecto fué realizado conforme a las conclusiones del Estudio de Factibilidad Técnica, Económica y Financiera, en el cual en términos generales incluyó un análisis del mercado del acero y su probable demanda futura; un estudio cuantitativo y cualitativo de las reservas de mineral de fierro y demás materias primas.

Con el informe anterior se llegaron a las siguientes conclusiones:

Localización:

La planta siderúrgica debía localizarse en la desembocadura del Río Balsas, por las siguientes razones:

- a) Cercanía a los importantes yacimientos de mineral de fierro que hay en la región de Lázaro Cárdenas, Michoacán y el propio Río Balsas.
- b) Suficiencia de agua y energía eléctrica.
- c) Disponibilidad del Puerto Lázaro Cárdenas, construído por la Secretaría de Marina, el cual es indispensable en la operación de la empresa por las facilidades en la importación de materias primas, principalmente carbón, así como de la exportación de productos terminados.

- d) Buscar una mayor integración de esa zona, que hasta entonces estaba marginada al desarrollo del país.

Capacidad:

SICARTSA debía ser construida en cuatro etapas: la primera, que inicio operaciones en noviembre de 1976, con una capacidad instalada de 1.3 millones de toneladas de acero anuales para fabricar aceros no planos, (varilla corrugada, alambρόn, perfiles y barras); la segunda, complementaría a la primera, produciría planos (laminados y planchón), con la que se elevaría la capacidad a 3.5 millones de toneladas anuales; la tercera etapa, elevaría la capacidad instalada a 6.5 millones de toneladas anuales; y la cuarta etapa podría realizarse hacia los años noventa, permitiéndolo alcanzar una capacidad instalada de 10 millones de toneladas anuales.

Para ilustrar la magnitud de los yacimientos en la región de Truchas, se presenta el Cuadro No. 2, indicando las reservas de que se dispone,

1.3 Clasificación de la Industria Siderúrgica

En México y otros países productores de acero se conviene en clasificar a las industrias siderúrgicas de acuerdo al grado de complejidad que siguen en la obtención de acero.

Cuando nos referimos a la industria siderúrgica es interesante distinguir

CUADRO No. 2

RESERVAS DE MINERAL DE FIERRO EN EL AREA LAS TRUCHAS

(Millones de Toneladas)

Depósito	Reservas Geológicas			Contenido de Fe (%)
	Total	Medidas	Minables	
<u>Zona Sur</u>				
Ferrotepec 1	9.9	9.9	8.2	48.8
El Venado	6.5	6.5	5.5	40.0
Ferrotepec 2	3.0	3.0	2.5	40.0
Valverde	3.0	3.0	1.0	N.D.
<u>Zona Norte</u>				
El Volcán	43.9	43.9	42.9	53.0
El Mango	28.1	28.1	23.2	55.0
Sta. Clara	10.0	10.0	4.0	N.D.
<u>Mineral Rodado y Fragmentos</u>				
El Mango y Volcán	3.2	3.2	3.2	N.D.
Sta. Clara	2.7	2.7	2.7	N.D.
Campamento	0.55	0.55	0.55	N.D.
Truchas	0.75	0.75	0.75	N.D.
Depósitos menores	5.5	5.5	0.0	N.D.
	117.1	117.1	94.5	

N.D. No disponible el dato.

Fuente: Departamento de Estudios Económicos,
Siderúrgica Lázaro Cárdenas-Las Truchas, S.A.

esta clasificación; ya que puede ser que se esté hablando de empresas integradas, semi-integradas, no integradas o relaminadoras.

La diferencia más substancial consiste en el punto de partida para la fabricación de acero o sea las materias primas que son utilizadas en el proceso productivo.

La industria siderúrgica integrada inicia su proceso mediante la extracción del mineral de hierro llegando hasta la obtención de sus productos terminados como varilla, alambrón, etc.

Las empresas semi-integradas son las que parten de chatarra (desperdicio de acero) como materia prima básica para elaborar sus productos, como las que las empresas integradas obtienen a partir del mineral de hierro.

Las fábricas no integradas o relaminadoras parten del material relaminable como palanquilla, ejes de desecho, rieles para producir principalmente varilla corrugada y perfiles comerciales. Cabe añadir que a estas empresas se les llama relaminadoras porque someten sus materias primas a un proceso de relaminado y estirado para obtener sus productos.

1,4 Descripción del Proceso Siderúrgico

La descripción del proceso se hará en base a una planta siderúrgica integrada, como la de SICARTSA, sin entrar en tecnicismos, ya que hacerlo -

implicaría un estudio por separado. Sin embargo, la finalidad consiste en la importancia que representa para la realización de éste estudio:

a) Extracción del Mineral de Hierro

El proceso se inicia con la extracción del mineral de hierro de las minas, mediante el procedimiento de "tajo a cielo abierto" que consiste en abrir la mina de arriba hacia abajo en forma de bancos. Para desprender el fierro de los bancos se utilizan cargas explosivas que se colocan en barrenos, para que al detonarles quiebre y desprendan el material.

b) Beneficio del Mineral

El mineral es transportado del lugar donde se extrae hacia la trituradora primaria, para reducirlo de tamaño.

El mineral ya triturado pasa a otra trituradora secundaria y luego a los patios de homogeneización con el fin de que la calidad del mineral recibido sea uniforme.

A continuación el mineral se tritura por tercera ocasión para reducirlo a un tamaño de 1,5 cm, aproximadamente. El mineral triturado terciario se mezcla con agua, formándose una pulpa que es llevada a un molino para reducirla a un tamaño menor a 1 cm.

La pulpa obtenida es enviada a separadores magnéticos para eliminar algunas impurezas que contiene tales como piedra, tierra y minerales no magnéticos. Después se vuelve a moler la pulpa para regular el granulado a unos 47 micras aproximadamente, poniéndose a continuación a unos hidrociclones donde se efectúa la separación de partículas gruesas de los finos, retornando las partículas gruesas al molino.

Toda esta mezcla es enviada a una separadora magnética secundaria donde se eliminan el resto de las impurezas que contiene. El concentrado de mineral se envía a unos espesadores que regulan la densidad de este lodo.

El mineral concentrado es bombeado a través de un ferroduto a la planta peletizadora. La longitud de este ferroduto es de 25 kilómetros.

La capacidad de esta planta concentradora en primera y segunda etapa es de 3 millones de toneladas anuales.

c) Aglomeración o Peletización del Mineral

La planta peletizadora tiene como función filtrar el concentrado de mineral de fierro, mezclarlo con otros materiales de retorno, aglomerar la masa y endurecerla en forma de pellet con el fin de

utilizarlo como carga principal del alto horno.

El mineral concentrado que llega por el ferroaducto es pasado a un tanque espesador que tiene por función eliminar buena parte del agua que la mezcla contiene.

Del espesador, el concentrado se envía a unos depósitos agitadores donde es mezclado con otros materiales misceláneos de retorno; el lodo obtenido se alimenta a una banda que pasa por debajo de aditivos tales como cal hidratada, que es agregada al concentrado, pasándose después a una mezcladora para homogeneizarlo.

A continuación se envía a tolvas almacenadoras para surtir posteriormente a los discos peletizadores.

El proceso de peletización se basa en el principio de la bola de nieve. Lo anterior, explicado de otra manera es como sigue: al girar los discos peletizadores van recibiendo la mezcla de concentrado de fierro formándose poco a poco las esferas o pelets de mineral, éstos una vez alcanzado cierto peso abandonan el disco peletizador debido a la fuerza centrífuga.

Los pelets producidos caen en una banda transportadora y son enviados a un cernidor o criba cuya función es clasificar los pelets. Los

pelets pequeños retornan a las mezcladoras hasta alcanzar el tamaño adecuado.

Una vez clasificados los pelets se pasan al proceso de endurecimiento mediante flujos de aire caliente y frío que oscilan entre -1250° y 100° C. Finalmente, los pelets quedan cocidos y pueden ser utilizados para cargar el alto horno.

La capacidad de producción de esta planta es de 1.85 millones de toneladas por año.

Existen otros procesos en los que intervienen grandes cantidades de cal, cal hidratada, caliza y carbón coquizado, que son usados -- como aditivos en el proceso siderúrgico. Por eso es necesario describir como se procesan por separado antes de llegar al alto horno y los pasos de aceración y laminación.

d) Trituración de Caliza, Calcinación e Hidratación de Cal

La caliza se recibe en tamaño menor a 80 cm. de las canteras y se tritura a un tamaño menor de 20 cm. y se envía a la estación de cribado o cernido en donde se clasifica en tres tipos de acuerdo a su tamaño para usarse en el alto horno, la planta de cal o en el proceso de peletización.

La caliza que se emplea en la planta de cal, previamente es calcinada en hornos especiales para que alcance el grado de cal para usos siderúrgicos.

Una parte de la cal es enviada al proceso de aceración y la otra para la planta hidratadora donde se le añade agua.

e) Coquización del Carbón

Para la reducción de los óxidos de fierro, el reductor más económico es el carbón, por esta razón se utiliza en los altos hornos - en forma de coque. El carbón está compuesto principalmente por los restos de materia vegetal que ha sido parcialmente descompuesta en presencia de humedad, ausencia de aire y sujeto a variaciones de presión y temperatura. Los principales elementos orgánicos que los integran son: carbón, hidrógeno y pequeñas cantidades de oxígeno, nitrógeno y azufre. También contiene algunos compuestos inorgánicos que ayudan a la formación de cenizas.

Todos estos compuestos que se encuentran en el carbón, son inestables cuando se someten a calentamientos elevados; si este tratamiento térmico se realiza en ausencia de aire, algunos compuestos orgánicos se desprenden en forma de gases y otros en forma líquida y sólida. Por esta razón se dice que el coque es un residuo de

la destilación del carbón.

El flujo del proceso de coquización del carbón empieza cuando el carbón se trae por barco y se descarga en el muelle para ser enviado por medio de bandas o los patios de almacenamiento de donde también por medio de bandas se pasa a los patios de homogeneización con el propósito de mezclar adecuadamente los diferentes tipos de carbón.

Para efectuar la homogeneización se requiere que el material no sea mayor de 1 cm. el que no cumple con este requisito se envía a una trituradora primaria.

Después de obtener la mezcla homogénea de carbón, se efectúa otra trituración secundaria para reducir el tamaño del carbón a 0,3 cm., la cual es una buena medida para la producción de coque, dicho carbón se lleva a través de una banda transportadora y se mezcla con polvos finos de coque y aceite.

Después de lo anterior, el carbón se almacena en unas tolvas para alimentar a los hornos de cocimiento para la obtención del coque. Estos hornos están distribuidos en forma de batería.

El proceso de coquización, propiamente dicho, empieza cuando -

un carro cargador deposita el carbón en los hornos y el calor de las paredes del horno hacen contacto con la carga de carbón comenzando a escapar los gases generados en este proceso; la coquización termina cuando todos los gases se han desprendido, lo cual sucede cuando el centro de la carga de carbón alcanza una temperatura de 1000° C., a continuación el coque es extraído de las estufas en estado incandescente y se recibe en un carro especial que lo lleva a la torre de enfriamiento. El coque obtenido se deposita en una banda transportadora que lo envía a una trituradora y criba, con el objeto de reducir el tamaño del coque a un tamaño entre 6 y 2 cm. y posteriormente enviarlo a los silos que alimentaron el alto horno.

Cabe señalar que dentro del proceso metalúrgico el coque es usado como agente reductor en la transformación del mineral de fierro, en arrabio o fierro primario, lo cual se lleva a cabo en el alto horno.

La capacidad de la planta coquizadora es de 600 mil toneladas anuales de coque.

f) Gases Obtenidos en el Proceso de Coquización

Los gases obtenidos en este paso son almacenados en unos depósitos

especiales, con el objeto de enviarlos a la planta de subproductos para un tratamiento. Este combustible puede utilizarse como energético en otras plantas de la siderúrgica tales como: alto horno, planta de cal, peletizadora, hornos de recalentamiento, etc.

g) Planta de Subproductos

La función de esta planta, es la recuperación de algunas impurezas que se derivan del proceso de coquización, y que pueden ser utilizadas en otros procesos propios de la siderurgia, o bien en otros tipos de industrias.

Los subproductos que se obtienen son alquitrán crudo, sulfato de amonio, benzol, naftaleno, ácido sulfhídrico, azufre y gas que se puede utilizar como combustible en la planta, según se mencionó anteriormente.

h) Reducción del Hierro

El alto horno es cargado previamente al proceso de reducción con pellets, coque y los fundentes necesarios para el proceso de reducción del hierro.

Este proceso consiste principalmente en dos pasos. El primero es la reducción de los óxidos del hierro, y el segundo, es la fusión de los metales reducidos. El mineral de hierro fundido se deposita en

un crisol en el fondo del horno y se extrae del mismo sin detener el funcionamiento de éste. Al mineral de hierro fundido se le llama arrabio o fierro de primera fusión.

El alto horno puede producir 1,110,000 toneladas de arrabio -- anuales.

i) Aceración

El proceso de aceración se basa esencialmente en la oxidación - de los metales contenidos en la carga del convertidor, por medio de la inyección a presión de oxígeno.

El proceso mencionado se inicia al recibirse el arrabio líquido -- que proviene del alto horno. El arrabio al salir del crisol del alto horno, es depositado en unos carros "termo" que son jalados por una locomotora. Estos carros son volcados en las ollas receptoras de arrabio que están montadas en unos carros de transferencia. Las ollas con arrabio son llevadas a la plataforma de desescoriado,

El arrabio libre de escorias se vierte en el convertidor de oxígeno y se efectúa un primer análisis físico-químico de sus propiedades, con el objeto de determinar que cantidades de chatarra y arrabio sólido deben agregarse a la carga del convertidor.

A continuación se efectúa un segundo análisis y se calcula que - cantidad de fundentes, aditivos y oxígeno se requieren en este -- proceso. Después se coloca el convertidor en posición de soplado y se introduce una lanza que inyectará a presión el oxígeno en - el perol del convertidor, difundiéndose éste en toda la carga. Al término de este proceso, el acero está listo para pasar al departamento de colada contínua.

La capacidad de la planta de aceración es de 1, 300,000 toneladas anuales de acero líquido.

f) Calada Contínua

Este proceso de colada contínua consiste en hacer pasar el acero líquido por unos moldes refrigerados donde se le reduce la temperatura, saliendo en forma contínua los lingotes de acero o palanquilla que -- posteriormente se laminarán.

El acero obtenido en el proceso de aceración alcanza temperaturas - que oscilan entre los 1580° y 1620° C, mismo que es vaciado en - una olla o perol para ser transportado por medio de grúas al área de colada contínua,

Una vez en esta área, el acero es vaciado en un distribuidor que lo reparte a una salida provista con 6 moldes cuadrados, obtenién

dose así lo polonquilla o ocero en lingotes.

k) Laminación

El proceso de laminación es el último en la secuencia de procesos de una siderúrgica integrada, y consiste en la forma de producto terminado al ocero.

Esto se efectuó recalentando las polonquillos o ocero en lingotes - en unos hornos especiales a cierto temperoturo, para después posarla por uno serie de rodillos que modifican su formo hasta obtener el producto deseado.

Es decir, la polanquilla se recibe de colado confnua y se recaliento poro elevar su temperoturo de 1200° a 1250° C, dependiendo de lo colidad del acero. Cuondo lo polonquillo ha olcanzado lo temperotura deseodo, se olimento ol laminodor que consto de una serie de rodillos que finalmente, darán el producto terminado deseodo y lo dejarán listo para su comercialización.

II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

II.1 La Infraestructura Hidráulica de la Desembocadura del Río Balsas en Relación con el Complejo Siderúrgico Lázaro Cárdenas, Las Truchas

Primeramente describiré los antecedentes que llevaron a la construcción de la infraestructura hidráulica necesaria para el desarrollo siderúrgico de las Truchas y la forma como se utiliza en la actualidad dicha infraestructura hidráulica, indicando algunos problemas que por falta de coordinación, -- afectan a la planta siderúrgica y a la región de Lázaro Cárdenas. Al mismo tiempo, se señalaran las posibles soluciones que podrían adoptarse para resolver los problemas que en la actualidad afrontan.

a) Características del Río Balsas y su Cuenca

La cuenca hidrográfica del Río Balsas se ubica abarcando porciones de las regiones geoeconómicas del Pacífico Sur, Centro-Occidente y Centro-Sur de la República Mexicana, entre los paralelos 17°00' y 20°00' de latitud norte y los meridianos 97° 30' y 103° 15' de longitud oeste de Green-Wich.

Sus límites son, por el norte, el Eje Neovolcánico, desde el Cerro de la Malinche hasta el límite de los Estados de Jalisco y Michoacán; por el este, la Sierra Madre del Sur. Este último sistema orográfico circunda la depresión austral o del Balsas, la que en el

pasado alojó un gran lago, hasta que al permitirlo la Sierra Madre del Sur, dicha depresión se convirtió en la cuenca hidrográfica del Río Balsas, que corresponde a la vertiente del Océano Pacífico.

Su cuenca tiene una extensión de 112 320 km.² y se caracteriza por una geografía muy accidentada y montañosa con pocas superficies planas. De la superficie total de los municipios localizados en la cuenca (123 609 Km²) se censó una superficie de labor de - - 2,792,415 ha. que corresponde al 27.3% del área total considerada. Las superficies cubiertas con bosques maderales y no maderales y con pastizales en llanuras y cerros, equivalen al 24.3% y al 38.5% del área total.

Los sistemas montañosos y las lluvias determinan la existencia de una gran variedad de climas dentro de la cuenca, que van desde el semiseco con invierno y primavera secos, al cálido sin estación invernal y hasta los climas fríos y húmedos que se tienen en las faldas de la Sierra Nevada. La precipitación media anual es de 978 mm, con límites de 525 y 2 317mm; valores mínimos para Tlacotepec, Pue., y máximo en Tetela del Volcán, Mor., respectivamente.

El Río Balsas esta formado por los Ríos Atoyac, Mixteco, Nexapa

y Tlapaneco.

Los dos primeros confluyen en las inmediaciones de San Juan del Río, Pue., reciben por la margen al Río Nexapa, al Sur de Coetzala, de la misma entidad y 10 km aguas abajo de esa confluencia por la margen izquierda, se les incorpora el Río Tlapaneco. Desde San Juan del Río hasta el mar, el río tiene un recorrido de 720 km. recibiendo en su trayecto los nombres de Grande, Mezcala y Balsas. Sus afluentes más importantes son los de la margen derecha, que son los Ríos Amacuzac, Tepecoacuilco, Iguala, Polihutla, Cutzamala, Tacámbaro y Tepalcatépec. Las corrientes afluentes por su margen izquierda son de menor importancia, siendo las principales los Ríos Ajuchitlán, Amuco, Culrio y Placeres del Oro que drenan áreas de la Sierra Madre del Sur en el Estado de Guerrero.

Con el importante escurrimiento del Río Balsas, se podrán regar - 456 000 hectáreas susceptibles de ello, de las cuales ya se beneficiaban 296 000 has. Además, tiene un potencial hidroeléctrico de - 2 626 000 kw.

La cuenca del Balsas comprende porciones de los Estados de Oaxaca, Tlaxcala, Puebla, Guerrero, México, Michoacán y Jalisco, así como la totalidad del Estado de Morelos. En la actualidad --

tiene un población estimada de 8 521 416 habitantes, lo que significa una densidad de 68.9 habitantes por km².

El grado de desarrollo de las diferentes zonas de la cuenca es muy irregular, concentrándose los servicios en las zonas cercanas a las ciudades y encontrándose que, en lo general, las zonas más desarrolladas son las cercanas a la Ciudad de México.

b) La Operación de las Presas "Infiernillo" y "José María Morelos", en Relación con la zona del Río Balsas.

El Río Balsas tiene un régimen de corriente de tipo torrencial. Su escurrimiento medio anual es de 15 000 millones de m³ con fuertes desviaciones anuales. Este escurrimiento, en gran parte, es regulado por la Presa "El Infiernillo" que tiene capacidad total de - - 10,51 x 10⁹ m³ hasta el nivel de aguas máximas extraordinarias. La Presa "El Infiernillo" utiliza el agua regulada para fines de generación. El grado de utilización del agua depende, fundamentalmente, de los gastos de la corriente durante la época de avenidas y de la operación de la presa, en especial del manejo de las compuertas de la obra de excedencia. Esta operación depende de la demanda del sistema nacional, de la posibilidad de predecir los escurrimientos en la cuenca y de la necesidad en el futuro de políticas de operación congruentes con los requerimientos y limitaciones

nes de escurrimientos que se tienen en la zona baja del río. Estas políticas, por desgracia, no han sido establecidas.

La avenida máxima registrada ocurrió a fines de octubre de 1967 y se estimó que el gasto máximo de entrada a "El Infiernillo" fue del orden de 26 000 m³/seg. en el pico. En aquella ocasión la Presa de "La Villita" se encontraba en construcción, por lo que el manejo de la avenida tuvo que hacerse tomando en consideración la seguridad de las presas "El Infiernillo" y "José María Morelos". El gasto máximo descargado por "El Infiernillo", durante algunas horas fue de 9 000 m³/seg., de acuerdo con la política de operación que entonces tenía la Comisión Federal de Electricidad.

Debido a que la Presa de "La Villita", no podía manejar dicho gasto sin sufrir una falla en la cortina, se redujo el gasto máximo de descarga primero a 7 000 m³/seg. y después de aproximadamente 10 horas a 6 000 m³/seg., que se mantuvo durante varios días. Así la Presa de "La Villita" en construcción, manejó un gasto máximo de 7 000 m³/seg. en condiciones sumamente difíciles, ya que la cortina y el vertedor no se encontraban terminados. Aproximadamente 3 000 m³/seg., pasaron por los túneles de desvío diseñados para 2 000 m³/seg., la diferencia se derramó por el vertedor en proceso de construcción.

Debe señalarse que en los 15 años anteriores al evento antes señalado, el gasto máximo de entrada a "El Infiernillo" había sido de 11 000 m³/seg.

En el año de 1976, ocurrió otra avenida con un pico estimado de 24 000 m³/seg., a la entrada de "El Infiernillo". En dicha ocasión, la Presa "Jose María Morelos" derramó 7 000 m³/seg.

La política de operación durante la época de avenidas de la Presa "El Infiernillo", es de vital importancia para el desarrollo de la región del bajo Río Balsas. Los gastos que descarga el vertedor de la Presa "José María Morelos" hacia la zona baja del río, crean problemas de inundaciones, erosiones y azolves en el puerto y debido a lo reducido de su vaso, son iguales o mayores a los que descarga "El Infiernillo".

La forma en que hasta ahora se han operado las compuertas de "El Infiernillo", ha sido fundamentalmente tendiente a llenar el embalse, salvo durante el período de construcción de la Presa "La Villita", se han tomado muy poco en cuenta los daños que con las descargas de las presas pueden producirse aguas abajo.

Actualmente, con el desarrollo de la zona del delta alrededor de la siderúrgica, es una situación que no puede seguirse en la misma

forma. Una mejor operación de las compuertas durante las avenidas, no sólo evita el riesgo de una catástrofe en las propias obras de la Comisión Federal de Electricidad, sino que les permite tener un nivel de conservación en la presa más elevado, aumentando las posibilidades de tener un mayor almacenamiento al final de la época de lluvias.

En este mismo estudio señalaremos que la operación actual de las compuertas de "El Infiernillo" es menos eficiente que si el vertedor fuese de cresta libre y no existieran compuertas. Una mejor operación de "El Infiernillo" está sujeta a disponer de un sistema de predicción de avenidas. Al pasar de una operación como si no hubiera compuertas (que inclusive es mejor que la operación actual), a una operación óptima de generación, el nivel de aguas máximas extraordinarias podría subir en 4.00 m. Ello permitiría tener niveles de conservación por lo menos de 2.00 m más alto que los actuales, con el consiguiente aumento en generación.

En 1973, derrames de la Presa "José María Morelos" de 2 500 m³/seg, y con el bajo Río Balsas en estado virgen, produjeron azolve con un volumen de 700 000 m³ en el Puerto Lázaro Cárdenas. Dicho azolve, además de representar un fuerte costo de conservación, puede cerrar la entrada al puerto e interrumpir el funciona-

miento de la siderúrgica. Con la operación actual de "El Infiernillo", la probabilidad de ocurrencia en un año es del 75%. Debido a lo anterior fue que durante el año de 1974, en que la construcción de la siderúrgica dependía en gran parte, de los suministros que se recibían por el puerto, se decidió construir los diques provisionales que se describen más adelante y cuyo objetivo era - reducir el gasto y el arrastre de sólidos por la rama del río que - llega al Puerto Lázaro Cárdenas. Estas obras, sin embargo, aumentaron el gasto por la rama de San Francisco. Ello incrementó los procesos de erosión de las márgenes que se venían observando frente a las poblaciones de Zacatula, El Naranjillo y San Francisco, así como los niveles de inundación.

11.2 Principales Obras de Infraestructura Hídrica

La primera y más importante obra que se pensó debía servir a la zona del bajo Río Balsas fue la Presa de "El Infiernillo". La Presa de "El Infiernillo" con una capacidad total de 10 510 millones de m³, capta el 70% de los escurrimientos del Río Balsas y genera con una carga máxima estática de 103 m. El escurrimiento medio hasta "El Infiernillo" es de - - - 14 000 millones de m³/año. Este escurrimiento, la cercanía del Distrito Federal y la gran capacidad del vaso, aunada con la magnitud de la caída de esta presa conforman la planta hidroeléctrica "Ideal" para surtir los

picos del sistema nacional, cuyo principal consumidor es el área Metropolitana. Otras características son: la capacidad de la obra de excedencias es de 13 886 m³/seg., la avenida máxima probable a la entrada de "El Infiernillo" se calculó en 37 800 m³/seg., siendo la capacidad para controlar avenidas de 1 260 millones de m³; la capacidad para generar es de 6 950 millones de m³ y la capacidad para retener azolves es de 2 300 millones de m³. La capacidad instalada con 4 unidades era de 624 000 kw. dando una generación media anual de 2 650 millones de kw/hora. Para aprovechar mejor las instalaciones y suplir en forma más conveniente los picos del sistema nacional, se sobre instaló "El Infiernillo" con dos unidades adicionales, así la capacidad total quedó en 936 000 KW.

Debido a las características especiales de "El Infiernillo", la generación de esta planta se destinó primero al sistema central y después al sistema Interconectado nacional. En el año de 1964 se decidió la construcción de la Presa y Planta "José María Morelos", que, de acuerdo con la memoria de la Comisión del Río Balsas sobre la Presa de "La Villita", de marzo de 1964, que tenía los siguientes fines:

"Los beneficios derivados de la construcción de la obra de usos múltiples de "La Villita" se dejaron sentir, muy particularmente, en la zona de los estados de Guerrero y Michoacán inmediatos a la desembocadura del Balsas, ya que la energía aprovechada preferentemente por la siderúrgica --

que se proyecta erigir en Las Truchas, el riego de 24 000 hectáreas transformará radicalmente la economía de la región y ésta se integrará al desarrollo general del país con la carretera, el ferrocarril y los ya citados -- aprovechamientos de agua del Balsas para riego y generación hidroeléctrica".

"La interconexión de la planta "La Villita" con la de "El Infiernillo" se considera conveniente para lograr una operación más estable de la planta de "La Villita", con lo cual se hace innecesario un pozo de oscilación, previsto inicialmente en el proyecto no interconectado. Además, la interconexión permitirá suplir deficiencia y colocar los excedentes de energía de "La Villita", lo cual ofrece perspectivas de una operación de la planta en mejores condiciones, también desde el punto de vista económico.

Debe señalarse que cuando se inició el proyecto de la planta de "La Villita", se consideraba que la siderúrgica tendría hornos eléctricos y -- que su funcionamiento, desde el punto de vista económico, dependía de -- contar con energía barata de una fuente cercana que pudiera surtir las -- fuentes cargadas en arranque de los hornos. La planta de "La Villita" -- cumplía con los anteriores requisitos, ya que su capacidad instalada es de 304 000 KW, se encontraba a escasos 10 km de la siderúrgica y el -- precio del KWH arrojaba en 1964, un costo de ocho centavos.

Si se toma en cuenta que la Presa "José María Morelos" funciona con las extensiones de "El Infiernillo" y que el vaso de "La Villita" tiene solo una capacidad total de 700 millones de m³, resulta que la operación de la planta de "La Villita" se realiza prácticamente con los gastos descargados por "El Infiernillo". La corona de la presa se encuentra a 59.73 m.s.n.m., el nivel de aguas máximas extraordinarias a la elevación 56.73 m.s.n.m., y el nivel máximo y normal de operación 49.73 m.s.n.m., que corresponde a un nivel de 30 cm abajo del labio superior de las compuertas de la obra de excedencias. Esta tiene una capacidad máxima de 15 000 m³/seg y su cresta es controlada por medio de siete compuertas de 10.50 m de altura por 14 m de ancho. Debe mencionarse que esta obra ha trabajado en forma sumamente satisfactoria, con gastos altos y tiempos muy prolongados. El gasto máximo descargado ha sido de 7 000 m³/seg. Cuando se construyó la casa de máquinas fue necesario pasar, durante cuatro años todo el caudal del Rfo Balsas por la obra de excedencias. La obra no sufrió daño alguno a pesar de las condiciones en que ha funcionado. El nivel mínimo con que puede operar la presa es la elevación 41.73. Con esta elevación las tomas de riego del margen derecho y margen izquierdo pueden descargar un gasto de 15 m³/seg, cada una y las máquinas trabajar con una eficiencia del 85%.

La cortina es de materiales graduados, del tipo flotante. Está cimentada

sobre acarreos de grava-arena, con un espesor máximo de 80,00 m. El flujo por los acarreos de la cimentación es interceptado por medio de una pantalla de concreto simple de 60 cms. de espesor y 85 m de altura máxima. Esta pantalla de 20 000 m² fue la más profunda del mundo y fue colocada en el lugar por medio del sistema de desplazamiento de lodo bentonítico. La pantalla empotra en la parte inferior en roca y en la superior en el corazón central de arcilla de la cortina.

La cortina se encuentra perfectamente instrumentada, se pueden medir aceleraciones inducidas por temblor en la roca, en el cuerpo de la cortina, en su desplante sobre los acarreos del lecho del río y en la corona. Durante el sismo de octubre 11 de 1975, la magnitud de 6.3 Richter, -- con epicentro a 50 km, se midieron aceleraciones máximas de 0,073 g en la roca, 0,12 g en el desplante y 0,37 g en la corona.

Es conveniente mencionar que la cortina fue diseñada estáticamente para aceleraciones de 0,15 g, pero que el tipo de cortina puede soportar aceleraciones mucho mayores, como ha quedado demostrado. Además se puede medir presiones piezométricas en el corazón impermeable de la cortina y en el lecho de grava-arena abajo del desplante, así como presiones de poro y presiones efectivas. También es factible medir giros y deformaciones horizontales y verticales en el cuerpo de la cortina.

El comportamiento de la cortina y el pantallo impermeable ha sido completamente satisfactorio. Las mediciones realizadas han servido de base a numerosos estudios teóricos y han proporcionado elementos para diseñar otras cortinas de este tipo en forma más racional durante los últimos años, como en el caso de la Presa Nurek en Rusia y Chicoasén en México que son de las más altas del mundo.

El Puerto Lázaro Cárdenas se localiza sobre la rama derecha del delta del bajo Río Balsas, aguas abajo de la población del mismo nombre y está conectado con el mar por medio de un canal de acceso de dos km de longitud. En la actualidad, el muelle siderúrgico tiene 600 m de longitud, cuenta con servicios y está terminada la abra en cuanto a: dársena principal, canal de acceso, obras exteriores (escolleras de acceso), faro y sistema de enfilación. Con 14.00 m de colado, permite la entrada de barcos hasta de 95 000 toneladas. En el futuro, podrá dragarse a 16.00 m y permitir la entrada a barcos de 130 000 toneladas.

Su ubicación obedeció fundamentalmente a la cercanía con la planta siderúrgica y a la presencia de una fosa oceánica frente al canal de acceso, que permite tener una entrada libre de azolves, con obras exteriores muy económicas que desvían el acarreo litoral hacia la fosa. Estas obras al cortar la continuidad del transporte litoral, han incrementado el proceso de erosión de la costa de la Isla Grande, al NE del acceso portugués.

rio. Esta erosión que se estimó en 1 000 m en los últimos 100 años se ha incrementado a unos 200 m en los últimos cuatro.

Además de las obras portuarias señaladas y que fueron construídas por la Secretaría de Marina, SICARTSA inició el dragado de la dársena para astilleros en la Isla Grande. Este dragado, con un volúmen de 1 000 000 m³, a 14.00 m de profundidades, obedeció a la necesidad que tenía la siderúrgica de grava-arena para rellenos en el área de la planta.

Cuando funcionaba la obra de excedencia de la Presa "José María Morelos" con gastos mayores de 2 500 m³/seg. y con el río en estado vírgen, aproximadamente el 30% del gasto escurría por la rama derecha del delta, hacia el puerto. Gastos del orden de 700 m³/seg. por esta rama arrastran material del lecho del río hacia el puerto. El depósito de este material obstruyó parcialmente el puerto en 1974. Es por ello que, en ese año, se decidió construir los diques 1 y 2, el dique uno con su corona a la elevación -- 13.00 m.s.n.m., obtura totalmente el cauce, El dique 2 fué un dique sumergido de enrocamiento, de carácter provisional. La longitud original de la cresta de este dique era de 100 m, su elevación + 8.00 m.s.n.m., restringía el escurrimiento por el brazo derecho al 20% del total, con lo que se reducía la frecuencia con que se azolvaba el puerto ya que aún para descargas de 3 500 m³/seg. se evitaba el arrastre de grava-arena. En marzo de 1976 se acortó la cresta del dique a 60 m con lo que la protec

ción era aún para gastos de 5 500 m³/seg y durante el estiaje de 1976 permitió el funcionamiento del dique tres al restringir los gastos a un máximo de 150 m³/seg para descargas de 750 m³/seg. de la planta.

El dique 3 tuvo por objeto principal permitir el paso de camiones hacia la Isla Grande, con el objeto de transportar grava-arean de la isla a los terrenos de Segunda Etapa de SICARTSA.

Adicionalmente permitiría elevar los niveles en el cárcamo de bombeo de la obra de toma de SICARTSA y embalsar agua de reserva cuando la planta de "La Villita" salta de operación.

Este dique de 300 m de longitud y corona a la elevación + 3,00 m.s.n.m., permitía el paso de hasta 150 m³/seg. a través de 120 tubos de 28" colocados sobre la elevación 0,00 m.s.n.m., y que atravesaban el cuerpo del dique. Fue diseñado con carácter provisional y a sabiendas de que un derrame de la obra de excedencia de la presa produciría la falla, como ocurrió en octubre de 1976 en que se descargaron 7 000 m³/seg.

Se han construido espigones y cortes frente al Naranjito para aliviar erosiones frente a este poblado, con resultados negativos.

La primera etapa de la siderúrgica requiere de agua cruda con un gasto de 6 m³/seg.; este gasto se suministra por medio de una planta de bom-

beo localizada sobre la margen derecha del brazo derecho del delta.

La planta de bombeo se localizó a tres km. al norte de la planta siderúrgica para evitar succionar agua salobre, ya que en la desembocadura del río se tiene la presencia de una cuña salina.

11.3 Problemas Actuales de Indole Hidráulica en el Delta del Río Balsas

Los principales problemas de naturaleza hidráulica son, en orden de importancia los siguientes:

- Escasez de agua para el suministro de SICARTSA cuando la presa descarga gastos muy bajos.
- Azolve en la zona portuaria por descargas altas del vertedor de la presa.
- Erosión de las márgenes en la rama izquierda del delta.
- Erosión de la costa entre la entrada al puerto y la boca de San Francisco.
- Inundaciones cuando ocurren fuertes descargas del vertedor de la presa.
- Contaminación de la rama derecha.

El problema más crítico que se afronta en la actualidad es el de suministrar a SICARTSA el agua en forma continua, sin poner en peligro el equipo de la planta de bombeo. Como ya se mencionó el nivel mínimo de operación de la planta es la elevación 0.20 m.s.n.m., sin embargo, cuando la planta hidroeléctrica deja de funcionar o lo hace con gastos muy bajos durante un período excesivamente largo, el agua en el río alcanza niveles inferiores al mínimo de operación, con los consiguientes problemas de cavitación o vibración de bombas.

Debe señalarse que en la actualidad el dique No. 2, se encuentra parcialmente destruido y el agua ha abierto un cauce a través de su empotramiento de margen derecha. El dique No. 3 también fue destruido al igual que el No. 2 durante la gran avenida de 1976. El porcentaje de gasto que pasa por la rama derecha es el indicado en la Figura No. 2. El porcentaje disminuye a medida que baja el gasto descargado por la planta. Por otro lado, no se cuenta con el efecto de remanso que producía el dique No. 3 a lo cual hay que añadir el efecto de la marea baja que influye en los niveles de la toma.

De acuerdo con los objetivos que perseguía la construcción de la Presa "José María Morelos", se sugiere que una solución definitiva al problema mencionado sea imponer condiciones a la operación de la presa y planta para asegurar que por la rama derecha del río, siempre pase suficiente

caudal.

Como solución alternativa se ha proyectado la construcción de un dique - que embalse suficiente agua para asegurar la operación de la planta de bombeo durante el tiempo en que la planta hidroeléctrica opere con gasto bajo. El dique se construiría en la misma posición que el dique No. 3, - tendría compuertas para desalajar un gasto mínimo de 50 m³/seg. necesario para evitar contaminación y un máximo de 700 m³/seg. limitativo para evitar problemas de azolve en el puerto. Serviría además de paso a la Isla Grande donde se piensa desarrollar una zona industrial. También podría utilizarse para alojar tuberías a presión para el suministro de agua a la zona industrial o a SICARTSA en caso de que esta ruta fuese conveniente.

En caso de optarse por un sistema de bombeo, para las etapas posteriores de SICARTSA, éste podría alojarse sobre el dique, ya que se evitara la intrusión, con el consecuente ahorro de conducción.

Para lograr la limitación de gastos antes mencionados, sería necesario construir una obra de control de donde ahora se encuentra el dique No. 2. - Dicha obra de control consistiría en una cortina de concreto con una escolladura que limitara los gastos hacia la rama derecha a un mínimo de 150 m³/seg. y a un máximo de 700 m³/seg.

La obra de control agravaría el problema en erosiones e inundaciones en

las márgenes del río en su rama izquierda. Para evitar dichos problemas, se ha proyectado una rectificación de esa rama mediante dragados, bordos y espigones.

Los beneficios derivados de asegurar el suministro de agua a SICARTSA, evitar el azolve en el puerto, evitar las erosiones en las márgenes del río y disminuir los niveles de inundación pagan con relaciones beneficio-coste superiores a 1,5 las obras antes mencionadas.

Independientemente a los problemas de erosión de las márgenes del río se han detectado erosiones en la costa de la Isla Grande, debidas a la acción del oleaje, y la falta de alimentación de arena originada por la posición de las desembocaduras e incrementada con la construcción de las escolleras. Esta erosión en la actualidad no se ha tratado de controlar, debido aparentemente a que el valor del terreno erosionado no lo justifica; en el futuro podrá cambiar dicha situación si la Isla Grande se dedica a zona industrial, se piensa que la erosión puede controlarse mediante la construcción de espigones, aunque ello pueda no ocurrir. La experiencia demuestra que en casos similares la mejor protección es la alimentación artificial de arena mediante dragas fijas, que tomaría arena por el lado sur-oeste de las escolleras y los alimentaría por el noroeste.

El único estudio que se conoce en relación con el problema de contami-

nación del agua del bajo río balsas, es el realizado por el Instituto de Ingeniería por encargo de la Comisión del Río Balsas. Para ese estudio se realizaron campañas de mediciones por medio de muestreo de agua en ocho secciones, tanto en la rama derecha como en la izquierda del delta. Se determinaron tres descargas principales, la primera no puntual a la altura de la población Guacamayas con un gasto aproximado de 330 lts/seg. de aguas residuales provenientes del pueblo de Guacamayas, Campamento Obrero y Campamento de "La Orilla". La segunda de tipo puntual y proviene del Fideicomiso Lázaro Cárdenas con un gasto de 25 lts/seg. de aguas municipales residuales, la tercera procede de la población Lázaro Cárdenas, es de tipo puntual con un gasto de 120 lts/seg y descarga a la altura de la población directamente del río y al igual que las dos anteriores sin ningún tratamiento.

Durante los muestreos que se realizaron en cinco días diferentes, se pudo constatar que en la rama izquierda del delta, la calidad del agua es aceptable y que puede ser utilizada para usos domésticos, industriales o agrícolas. En la rama derecha del Río Balsas, la calidad del agua puede ser aceptable para los tres usos si se realiza un tratamiento del agua residual y se potabiliza el agua para su uso. En esta rama también es necesario que se asegure un flujo de cuando menos 50 m³/seg., para lograr suficiente dispersión.

Los problemas de contaminación podrán ser graves en el futuro, si el agua residual no es convenientemente tratada antes de ser vaciada al cuerpo receptor. Si en la actualidad el problema no es grave con 100 000 habitantes que tiene la región, sí lo será para el año 2000 en que se estima pueden sostenerse en la región 600 000 habitantes. Debe de preverse también el no descargar aguas contaminadas cerca de la toma de SICARTSA.

Debe señalarse que si bien desde el punto de vista físico-químico el agua de la rama derecha es aceptable, no lo es desde el punto de vista bacteriológico, ello trae como consecuencia que, en la actualidad, el agua no es utilizable para usos domésticos y que siendo el río el alimentador del acuífero, éste se encuentra con un grado de contaminación de tipo bacteriológico inaceptable para el uso antes señalado.

III. NECESIDADES DE BOMBEO PARA EL FUNCIONAMIENTO DEL PROCESO SIDERURGICO

Como todos los grandes complejos industriales, SICARTSA requiere de un suministro constante y garantizado de agua cruda para los distintos fines a que ésta se destine dentro de la planta.

Esta agua es indispensable para el correcto funcionamiento de las plantas de proceso, ya sea en su condición natural, tratada para cumplir con los requerimientos específicos de la planta o sistema al que se alimentará. SICARTSA cuenta con una planta integrada de triple propósito para la producción de agua desmineralizada, suave y potable, misma que será motivo de un artículo aparte. En este artículo nos ocuparemos de las alternativas que se presentaron para la determinación del bombeo a la planta.

III.1 Posibles Fuentes de Suministro

La siderúrgica se localiza en una zona que no dispone de un sistema de distribución de agua instalado que pudiese servir de fuente de suministro; por lo tanto, es necesario recurrir a fuentes naturales locales para la obtención del fluido. Las fuentes de suministro son: el Rfo Balsas, y el manantio acuífero local.

La fuente de suministro en la que inmediatamente se piensa y que es suficiente para abastecer cualquier posible demanda de la planta es el Rfo Balsas. El utilizar el mar como fuente de suministro representaría utilizar

equipo que fuese adecuado para manejo de agua salada y la instalación de una pequeña planta desaladora que suministrase agua para patabilización y tratamiento. El acuífera que se localiza en la zona de la planta se encontró contaminada y su utilización también se desechó.

El Rfo Balsas tiene caudal aproximada de 2 000m³/seg., a la descarga de la presa "José María Morelos (La Villita), misma que se distribuye en dos ramales, en una proporción aproximada de 3 a 1, para su desembocadura al mar. La planta de SICARTSA se encuentra en la desembocadura del ramal de menor caudal, sobre la margen derecha, estando adecuadamente situada para la instalación de una abra de toma en alguna parte del mismo. La máxima demanda prevista para la planta siderúrgica, cuando ésta opere a su máxima capacidad (10 millones de toneladas anuales) es de 50 m³/seg., misma que se ve ampliamente satisfecha con el caudal disponible en la rama local del río.

Una vez decidida la fuente de suministro, era necesario determinar la localización de la obra de toma. Existían tres alternativas: 1) La desembocadura del ramal, 2) Un punto localizado entre la desembocadura y la presa, y 3) La presa misma.

Un análisis detallado de las condiciones de cada lugar propuesto, así como de las características físico-químicas del agua en dichos puntos llevó

a las siguientes conclusiones:

- a) La desembocadura del río no era apta, ya que la concentración de sal se elevaba hasta 15 000 ppm., en la localización propuesta para la obra de toma. Además, la cercanía con el Puerto Lázaro Cárdenas daba lugar al peligro de contaminación del agua con combustible y materias flotantes procedentes del tráfico marítimo existente.

- b) Considerando el hecho de la existencia comprobada de la cuña salina en el río, se pensó en colocar la obra de toma aguas arriba a una distancia tal que la aproximación del agua salada fuera nula. Se decidió entre varias alternativas por un punto localizado aproximadamente a 6 km, aguas arriba sobre la margen del río, entre dos diques submarinos que se construirán para reducir el arrastre de material de aluvión a la desembocadura, problema que afecta seriamente al calado del puerto. Los problemas que presentaba esta localización eran la distancia hasta el sitio de la planta, la necesidad de adquirir terrenos y en general, el costo de la obra.

La posición quedó definida por las mediciones de salinidad realizadas en el estudio y que sirvieron para determinar la posición de la cuña de intrusión salina. Esta cuña salina se localizó hasta 4 km aguas arriba del muelle a cuya altura se definió la estación 0 + 00.

Para definir esta cuña salina, se utilizó un aparato portátil que indica conductividad, temperatura y salinidad del agua y se establecieron parámetros que permitieron estimar la posición de la cuña cuando existen condiciones diferentes a las que tenía en el momento de la observación.

En base a modelos teóricos que dan la posición de la cuña, se aplicarán 2 teorías, una debida a Kwuligan y otra debida a Ippen; de éstas se llegó a la conclusión que si se llegara a dragar el cauce actual a una profundidad similar a la del canal de acceso a la dársena, serían necesarios gastos de 1000 m³/seg., para asegurar que se tendría agua dulce en la posición de la obra de toma.

En caso de no dragarse al cauce, el gasto necesario para evitar la intrusión de la cuña salina hasta la obra de toma sería del orden de 300 m³/seg.

Se determinaron curvas de remanso en distintas secciones del río para diferentes gastos, variando desde 100 hasta 2000 m³/seg., los cuales corresponden a los caudales que pasan por la Presa "José María Morelos", y considerando también que por el brazo que alimenta la obra de toma ocurre el 30% del gasto total.

Haciendo simplificaciones tales como no considerar la propagación de la marea en el río y considerar secciones no erosionables; y para elevacio-

nes del mar calculadas por el Instituto de Geofísica de la UNAM, se obtuvieron las curvas de remando de las cuales se anexa una gráfica (Figs. 1 y 2).

De estas curvas, y para la sección que correspondía a la localización de la obra de toma, se fijaron los siguientes niveles de operación:

Máximo extraordinario	Elev. + 4.25 con frecuencia de 10 años
Máximo	Elev. + 3.25
Medio de operación	Elev. + 0.75
Mínimo de operación	Elev. + 0.25
Todas con respecto al nivel medio del mar	Elev. + 0.00

La tercera opción era tomar el agua directamente desde la Presa de "La Villita", situada a aproximadamente 17 kms. de distancia sobre el río. Dentro de esta opción, se presentaban a su vez varias alternativas, entre las cuales la de mayor consideración era el traer el agua hasta la planta de presión, aprovechando la carga estática propia de la presa, o por un canal hasta la estación de bombeo que alimtaría a la planta.

Considerando que el disponer de agua a presión en la planta, aún cuando existiese una falla en el suministro eléctrico general, era una ventaja con

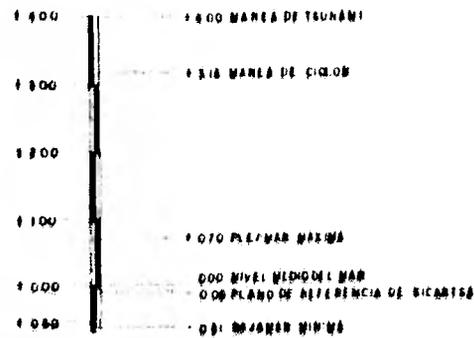
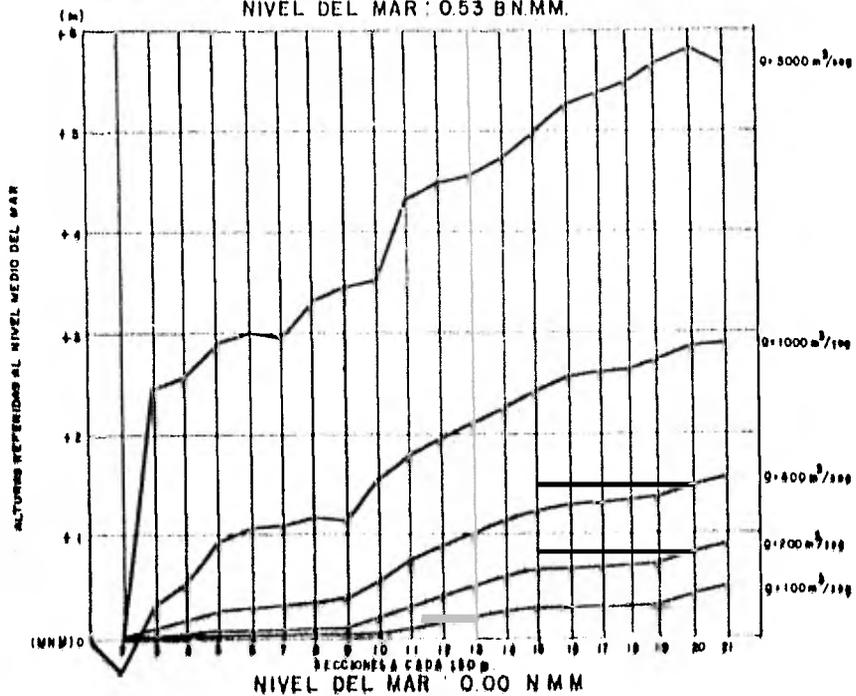
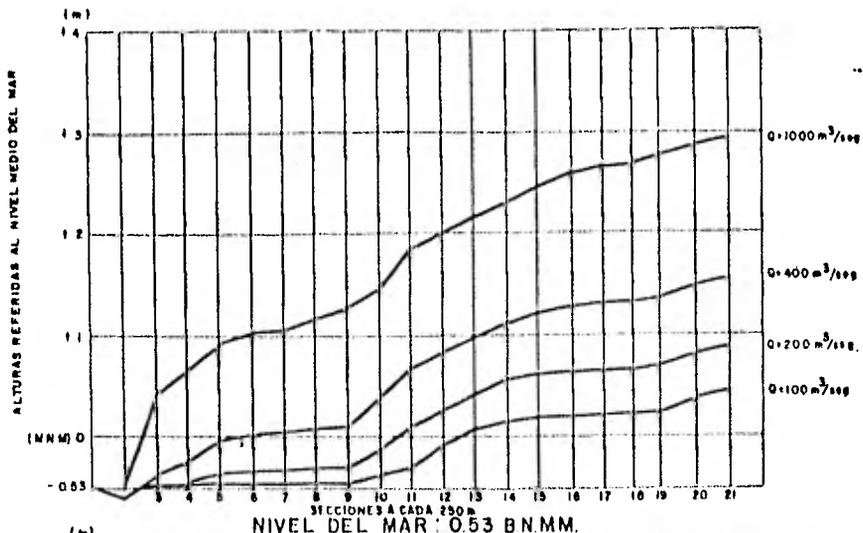
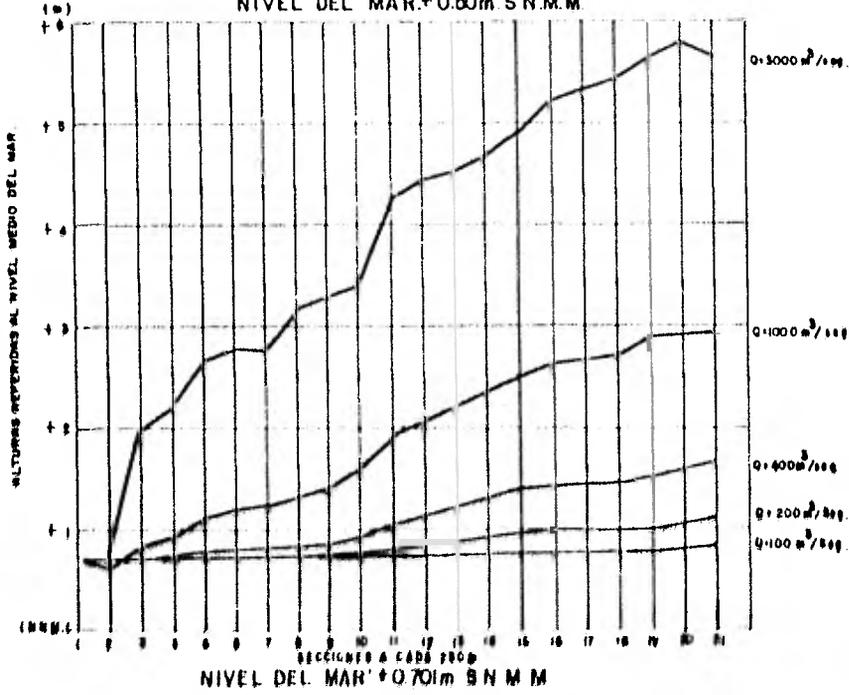
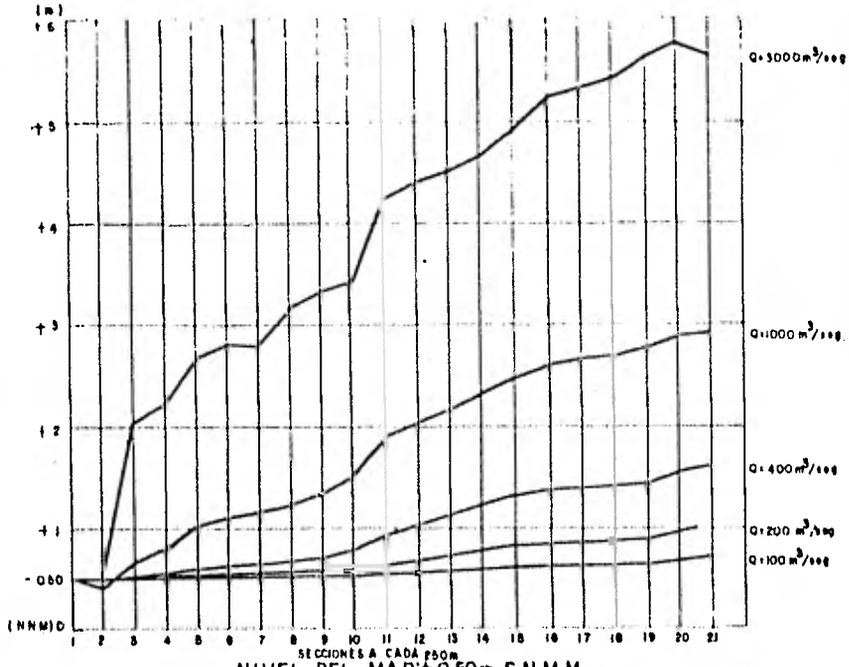


FIGURA No. 1

PLANO DE MAREAS REFERIDOS AL NIVEL MEDIO DEL MAR

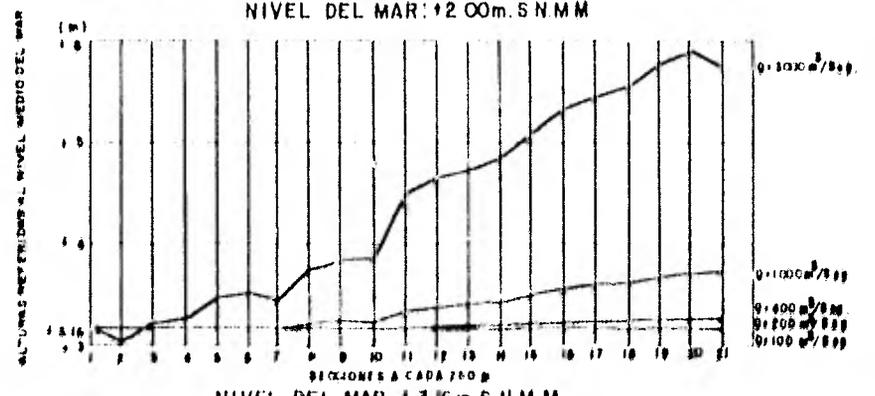
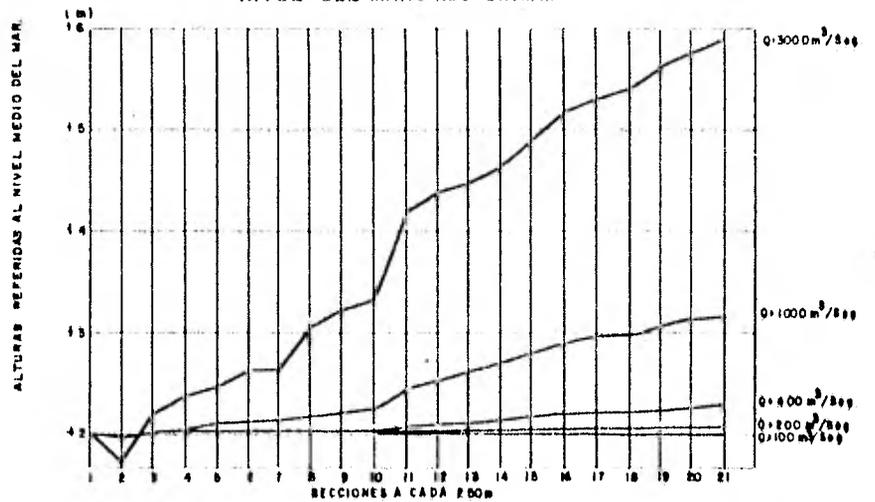
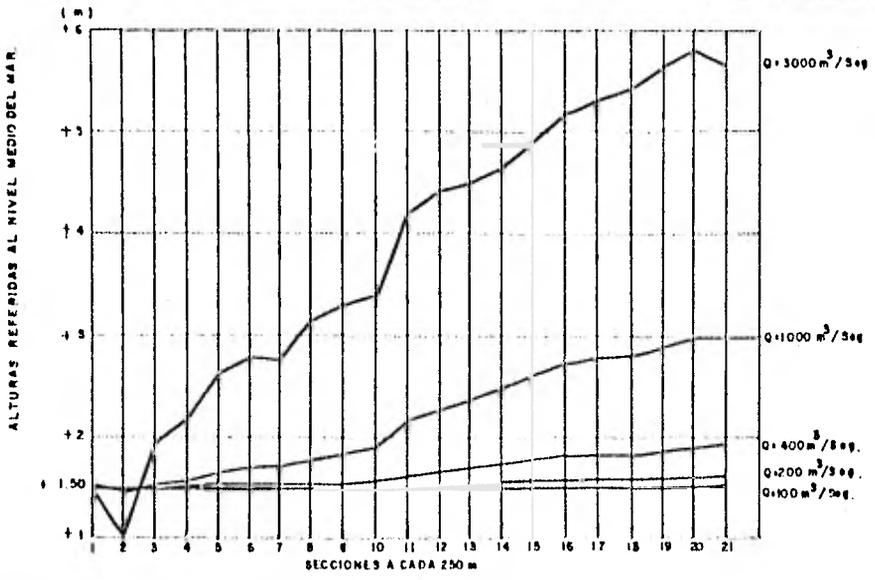
ALTURAS REFERIDAS AL NIVEL MEDIO DEL MAR



NOTAS :

- LAS CURVAS DE REMANEO SE CALCULAN APLICANDO EL SISTEMA DE BERNOULLI ENTRE CADA DOS SECCIONES, SIN TOMAR EN CUENTA LA INFLUENCIA DE LA MAREA, ERUSION DE LAS SECCIONES Y EFECTOS DE INUNDACION EN ZONAS BAJAS
- LA LOCALIZACION DE LAS SECCIONES ESTUDIADAS SE MUESTRA EN EL PLANO ANEXO
- LOS BASTOS DEL RIO ANALIZADOS FUERON 100, 200, 400, 1.000 Y 3.000 m³/seg EXCEPTO PARA EL NIVEL + 0.50 m EN QUE SE OMITIO EL DE 3.000 m³/seg

CONTINUACION
FIGURA No.1



LOS PLANOS DE MAREAS FUERON ELABORACIONES POR INSTITUTO GEOFISICO DE LA U.M.A.M.
 LAS MAREAS DE CICLONES FUERON CALCULADAS ANTERIORMENTE POR C.F.S.A. EN EL ESTUDIO
 RESPECTIVO

FIGURA No. 2

siderable pues los sistemas de enfriamiento de emergencia de las plantas de proceso nunca se verían en peligro de quedarse sin suministro (a menos que ocurriese una falla en las líneas de conducción, posibilidad que se hacía más remota al instalar dos líneas en paralelo), se optó por la alternativa de una tubería de presión entre la presa y la planta.

Comparando ahora las dos alternativas definidas para el sistema de captación de agua cruda, la más aceptable desde el punto de vista técnico y de seguridad, es la de ir directamente a "La Villita"; pero consideraciones económicas inclinaron la balanza seriamente en dirección a la estación de bombeo sobre la margen del río.

Se obtuvieron presupuestos para ambas alternativas, y la opción de colocar una estación de bombas sobre el río resultó tener un costo de aproximadamente la mitad del costo de traer agua desde la presa, así como evitaba el interferir con los sistemas de riego de la región y con la operación de la presa, cosas que podrían ocurrir de haberse optado por la segunda. Se decidió en base a esto, colocar la Obra de Toma sobre el río,

IV. ANALISIS DEL EQUIPO DE CARCAMO Y ELEMENTOS DE CONDUCCION EN EL SISTEMA DE BOMBEO PARA EL PROCESO

Para cubrir las necesidades de agua cruda y agua tratada en las instalaciones de SICARTSA, en la primera etapa, se construyó un sistema de captación u obra de toma aproximadamente a cuatro kilometros de la Siderúrgica sobre la margen derecha de uno de los brazos del delta del Río Balsas en el Estado de Michoacán. La construcción de la obra de toma en este lugar fue una de las tres posibilidades que se analizaron originalmente, razones técnicas y económicas sirvieron de base para la selección de esta posibilidad. Las otras posibilidades se analizaron más detalladamente en el anterior capítulo.

Una vez decidida la alternativa a seguir se procedió el diseño de la obra de toma y su sistema de conducción hasta la planta.

IV.1 Obra de Toma y Sistemas Auxiliares

La obra de toma consiste en : cuarto de bombas, subestación, bodega, cuarto de control, pozo de oscilación y dos líneas de conducción que en sus primeros dos kilómetros, son de concreto hasta el cabezal de distribución en donde continúa la tubería de acero.

El primer paso fue definir el gasto total requerido en función de las demandas individuales de cada consumidor. Lo anterior resultó en un total de 20 400 m³/hr. (Ver Fig. 1).

DIAGRAMA DE DISTRIBUCION DE AGUA — PRIMERA ETAPA

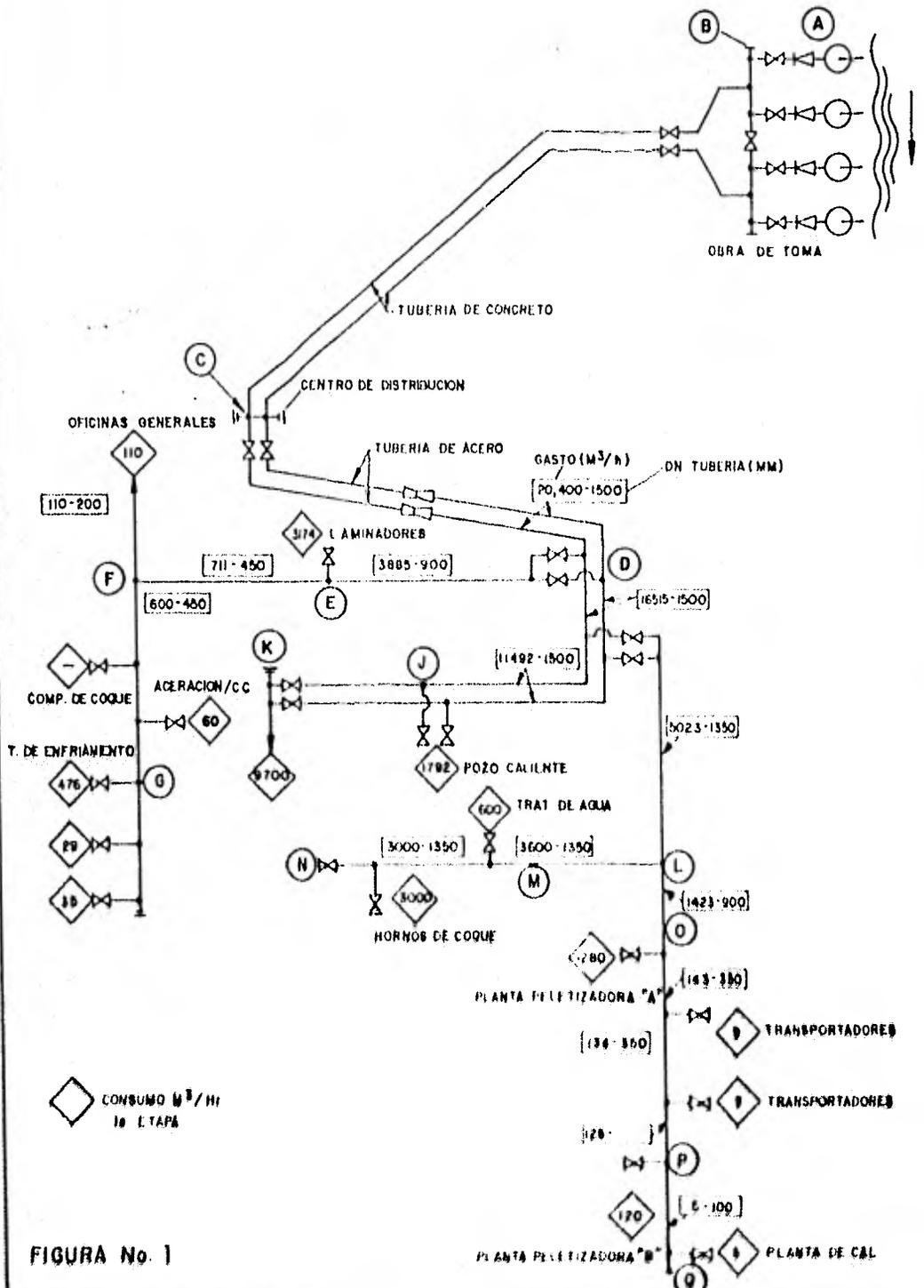


FIGURA No. 1

El agua se tomaría a través de un par de canales cortos de captación los cuales descargarían a un cárcamo del cual succionan cuatro bombas verticales del tipo de flujo mixto, cada una con capacidad nominal de 6800 m³/hr. Las bombas son impulsadas por motores eléctricos de inducción de 110 HP cada una.

En la descarga de cada canal se colocó una criba rotatoria de flujo - bifurcado, las cuales detienen el pasode material flotante hasta de 10 mm., y se dejaron previstas preparaciones en la obra civil para poder - instalar en un futuro rastras móviles, en caso de encontrarse durante - la operación que abundara material flotante de tamaño mayor.

Durante la operación normal del sistema operan tres bombas, estando una de reserva, mismas que descargan a un cabezal que alimenta a su vez a las líneas de conducción a la planta.

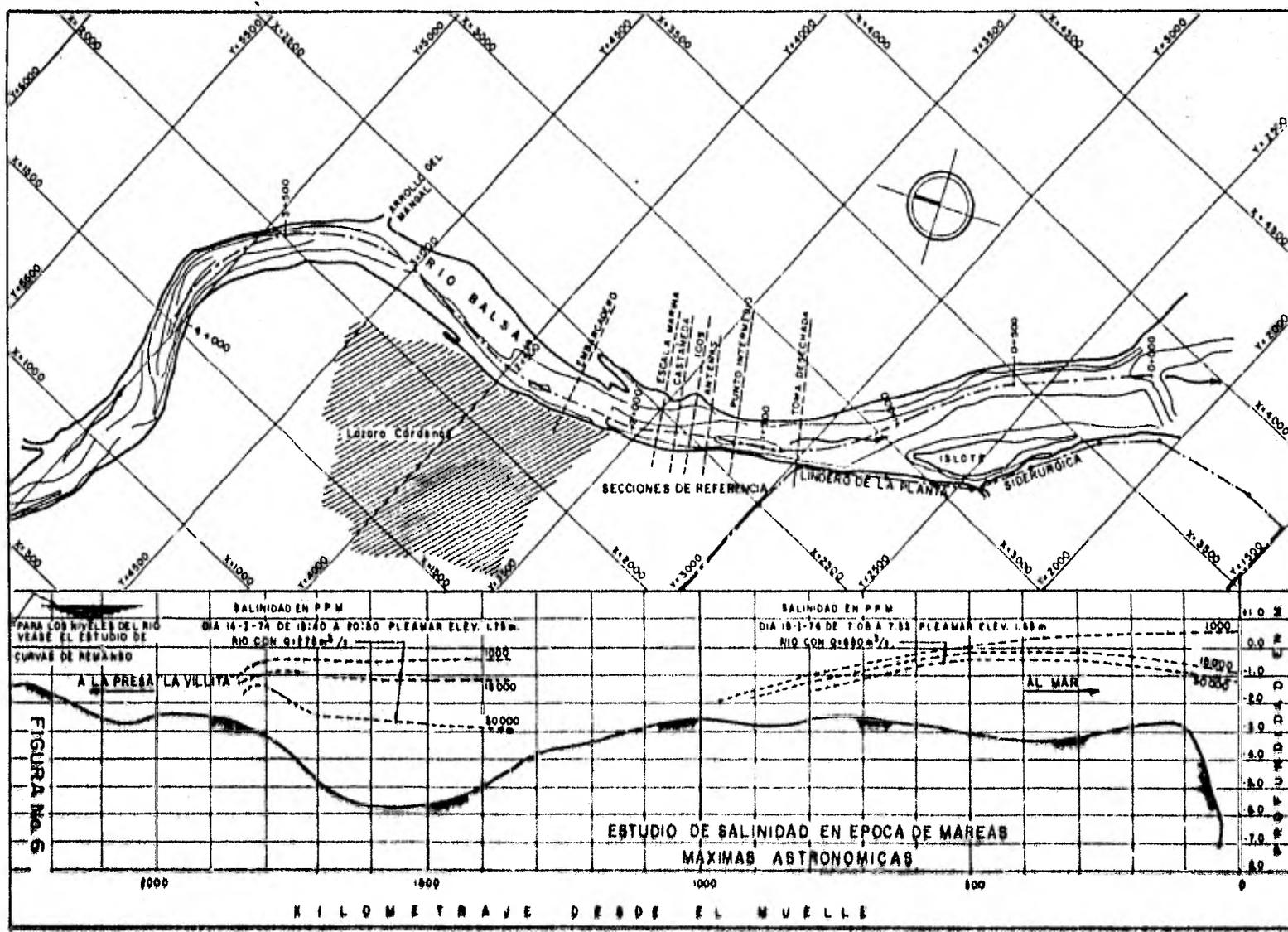
Se cuenta con dos líneas de conducción de 1500 mm., de diámetro y con una longitud de aproximadamente 8 kms., cada una. Estas líneas son en parte de concreto reforzado (entre la toma y el pedido de la planta) y - en parte de acero (dentro de la planta). En la totalidad de su recorrido son enterradas, estando protegida la tubería de acero con una cubierta de alquitrán de hulla y fibra de vidrio.

Para la determinación de los diámetros de las líneas, se realizó un estu-

dio basado en la cantidad de agua a conducir, posibles ampliaciones al sistema y los costos óptimos de materiales, instalación energía de bombeo consumida, etc., a fin de llegar a un diámetro económico. El valor resultante fue de 1500 mm. (60").

La carga dinámica total de las bombas se calculó en función del gasto requerido, las pérdidas por fricción en las líneas y una velocidad adecuada del agua. El parámetro base fue a presión de agua requerida a la entrada de la planta de fuerza, presión que se requería para vencer la resistencia a través de los condensadores. Esta presión era de 10 metros columna de agua mínimo. Tomando como base este valor, y calculando las pérdidas por fricción y por carga estática se obtuvo en las descargas de las bombas una presión requerida de 34 metros columna de agua, sin tomar en cuenta las pérdidas en la bomba misma (éstas son consideradas por el fabricante durante el diseño). Ver figuras 3 y 4. Se utilizaron datos del Instituto de Hidráulica.

Por la importancia que revista el equipo existente en el sistema de captación y conducción del agua, analizaremos el funcionamiento en forma general de los pasos más importantes que se deben de considerar para el conocimiento del mismo, que son: Obra Civil, Bombas Principales y sus Sistemas auxiliares, Instrumentación y Control, Subestación, que a continuación describiremos.



Obra Civil

En su parte más cercana al río se tiene una estructura (bocatoma), con rejillas a base de solera metálica con una separación de 10 cm., inmediatamente a continuación se tiene la zona de compuertas deslizantes y después se encuentra el cárcamo bajo el edificio de bombas, mismo que aloja a éstas y a las cribas rotatorias.

Por su proximidad al río y como el nivel inferior de la losa del fondo está a la elevación -6.40, fue necesario aislar la zona construyendo un muro Milán perimetral para permitir el colado de los muros interiores, tanto del cárcamo como de los canales de entrada. Una vez colado el muro Milán y que se llevó a cabo la excavación hasta el nivel de desplante inferior de la losa, se procedió a calar una losa Tremi para el fondo, (bajo 7 m, de agua). El espesor de esta losa se calculó de manera que con su peso la fricción contra el muro Milán se venciera a la fuerza de sub-presión que tendía a hacerla flotar.

Una vez que el concreto de la losa tremi hubo fraguado, se procedió a abatir el nivel del agua mediante bombeo y a colar los muros laterales.

Todas las instalaciones de la Obra de Toma se han diseñado en forma de módulos independientes para facilitar su ampliación en la Segunda Etapa.

IV.2 Bombas Principales y sus Sistemas Auxiliares

Las bombas principales son unidades verticales de flujo mixto, con impulsores cuyas aspas están maquinadas a un perfil esférico. El diseño requiere de tolerancias muy exactas, como por ejemplo de 9 milésimas entre el impulsor y los tazones. Las aspas de los impulsores son de ángulo ajustable a fin de variar la carga dinámica total de las bombas. Cada impulsor cuenta con seis aspas.

Las bombas cuentan con chumaceras lubricadas y enfriadas por agua a presión. Cada bomba cuenta con una chumacera de empuje, lubricada por aceite y enfriada por agua a presión.

Para evitar deflexiones y esfuerzos en las flechas de las bombas, se requiere mantener el flujo de agua de lubricación y enfriamiento a las mismas durante 30 min. después de haber dejado de operar. Para garantizar esto, se han dispuesto sistemas redundantes de suministro de agua; uno de los cuales opera sin necesidad de fuente de energía eléctrica.

El sistema de lubricación normal consta de un grupo de bombas centrífugas horizontales que toman succión de un tanque de almacenamiento. Estas bombas tienen cada una capacidad de 100% de los requerimientos de las cuatro bombas principales; y una de ellas está siempre conectada al sistema de alimentación de energía eléctrica de emergencia, que depende de

la Planta de fuerza de SICARTSA.

En el caso de llegar a existir una condición de falla total de energía eléctrica, se ha previsto un sistema automático a base de un tanque a presión y un par de botellas de nitrógeno. Un sistema detector permitirá (al haber falla de energía eléctrica) que el nitrógeno presurice el tanque y el agua almacenada en el mismo lubrique y enfríe las chumaceras de las bombas. Este tanque tendrá una capacidad suficiente para alimentar a las cuatro bombas principales con su flujo máximo requerido durante 30 minutos. Como no se espera que operen las cuatro bombas a la vez, se cuenta con una reserva de agua aceptable, para seguridad.

Estas bombas fueron fabricadas por Worthington de México, S.A. y son del tipo 28 MS436-1, y las características principales son las siguientes:

- Velocidad 705 RPM
- Carga nominal 34,1 Mts.
- Gasto nominal 6800 m³/hr.
- Eficiencia 87%

Cada bomba descarga por un tubo de 900 mm (36") de diámetro en un tubo distribuidor (manifold) de acero de 1524 mm (60"); el distribuidor a su vez descarga en dos tuberías principales, de 152 mm de diámetro cada una. Entre las bombas y el distribuidor cada tubería de descarga está equipada con una válvula de mariposa con motor, junta de expansión y una válvula

de retención (check) con resortes de ayuda.

Tuberías

El sistema de tubería consiste en dos líneas enterradas, de 1524 mm (60") de diámetro cada una. En cada línea hay dos secciones, cada una de 3 Km. de largo aproximadamente; la primera sección es de concreto y la segunda de -- acero. La sección de concreto que se extiende desde el distribuidor de la -- planta de bombeo hasta el cabezal de distribución cerca del lindero del sitio de la Planta, está construida de tubo de cilindro preesforzado Lock Joint -- Prestressed Concrete Cylinder Pipe que tiene presión máxima de trabajo de 53 metros de columna de agua. El sistema continua desde el cabezal de distribución en la forma de tubos gemelos de acceso de 1524 mm de diámetro - (tambien enterrados) hasta el cabezal de entrada en la planta de fuerza, que es de 1829 mm (72") de diámetro. La sección de acero de la tubería tiene - como 3 km de longitud. Hay varios ramales que parten de esta sección, sin embargo, durante la operación normal cerca de la mitad del caudal se envía a través de los condensadores de la planta de fuerza.

Se han instalado válvulas de aire de 4" de diámetro en los puntos altos de la sección de tubería de concreto reforzado y también en los puntos altos -

NOTA: Las válvulas de retención y mariposa fueron instaladas en forma - contraria a la práctica normal, es decir la válvula de retención está instalada aguas abajo de la válvula de mariposa para permitir reparaciones o mantenimiento de la válvula de retención sin - tener que cerrar todo el sistema, la mariposa se debe instalar -- aguas abajo de la válvula de retención en otras palabras, el orden de instalación sucesiva debe ser: bombas, válvulas de retención, válvulas de mariposa, tuberías.

del cabezal de distribución.

OPERACION DEL SISTEMA

Normalmente el sistema operará con tres bombas que descargan a dos tuberías. La cuarta bomba es de reserva. El gasto total de las tres bombas es de - - - $20\ 400\ \text{m}^3/\text{hr}$. El gasto por cada tubería es de $2.83\ \text{m}^3/\text{seg}$. y la velocidad normal es de $1.55\ \text{m}/\text{seg}$.

Durante el período de arranque de la planta solo operarán dos bombas, descargando en dos líneas. Durante este período, una tubuladora de paso (bypass) de 900 mm de diámetro, regresará un 25% del gasto hacia el río. Existe la posibilidad de que una línea pueda ser cerrada y entonces dos bombas alimentarán una sola línea. Es posible también que operen las cuatro bombas descargando en dos líneas. Cualquiera de estos modos de operación resultaría en flujos y presiones más altos en las tuberías y ello se debe evitar antes de que se instale la protección permanente contra golpe de ariete recomendado aquí.

SICARTSA tiene la intención de utilizar dos fuentes de energía independientes para reducir la posibilidad de falla de energía. La planta de fuerza de SICARTSA debe ser otra fuente adicional de energía de reserva y apoyo.

Instrumentación y Control

El control de arranque y paro de las bombas principales, así como del equipo auxiliar se hace en forma manual. Las cribas rotatorias cuentan con la posi-

bilidad de arrancar y parar automáticamente en función del nivel diferencial a través de las mismas y al hacerlo arrancar y parar también a sus bombas de lavado.

En operación normal operan tres bombas principales, una bomba de agua de lubricación y dos cribas rotatorias, éstas en modo automático.

De las tres bombas principales, una de ellas se encuentra conectada mediante un dispositivo selector como carga esencial a la planta de fuerza de - - SICARTSA; lo anterior para garantizar que cuando menos una bomba se mantenga en operación al presentarse una falla en el sistema de la Comisión Federal de Electricidad.

La instrumentación existente es en su mayoría para fines de supervisión, habiéndose diseñado los sistemas en tal forma que existan el mínimo número de sistemas automáticos reduciendo así la complejidad y mantenimiento de los mismos, e incrementando su confiabilidad.

Las bombas principales cuentan con una serie de protectores, que causan el disparo de la bomba en caso de existir una falla que ponga en peligro la integridad de la misma.

Las condiciones que se supervisan constantemente y que pueden resultar en un disparo de la bomba son: temperatura del embobinado del motor, falla

en el sistema de alimentación eléctrica, presión y flujo en el sistema de lubricación, temperatura de las chumaceras de la bomba y motor, temperatura del aceite lubricante en las chumaceras del empuje y de la chumacera misma y vibración excesiva.

Todos los instrumentos indicadores y registradores de mas importancia así como los mandos de arranque, paro y modo de operación, y el enunciad~~or~~ de alarmas se encuentran centralizados en un tablero de control común a todos los equipos de la instalación. Este tablero se encuentra en el cuarto de la Obra de Toma.

Subestación

La subestación de la Obra de Toma es del tipo interior. El equipo de protección y control se encuentra alojado en tableros del tipo Metalclad y básicamente está compuesto de lo siguiente:

- Un tablero para voltaje 13.2 KV
- Un tablero para voltaje 4.16 KV
- Un tablero para 480 V
- Un centro de control de motores
- Un banco de baterías con cargador y tablero de corriente directa.

En la parte exterior se encuentran dos transformadores de 1 MVA y dos de 4 MVA con relaciones de voltaje de 13.2/489 KV y 13.2/4.16 KV respectivamente.

Las protecciones a los transformadores y alimentadores principales son a base de relevadores de sobrecorriente; en los motores se tiene a base de relevadores de sobre corriente, desbalanceo de fases y térmicas.

Para los alimentadores principales a los tableros se usan interruptores electromagnéticos en aire, con capacidad de 500 MVA para los tableros de 13.2 y 4.16 KV, y de 50 KV para los utilizados en los tableros de 480 V.

Para alimentar a la subestación, se cuenta con dos alimentadores provenientes de la Planta de Fuerza y se considera a esta instalación como parte de los servicios de la planta.

Las bombas están alimentadas del tablero de 4.16 KV que está conectada a los transformadores de 4 MVA y estos a su vez trabajarán en paralelo para garantizar la continuidad del servicio.

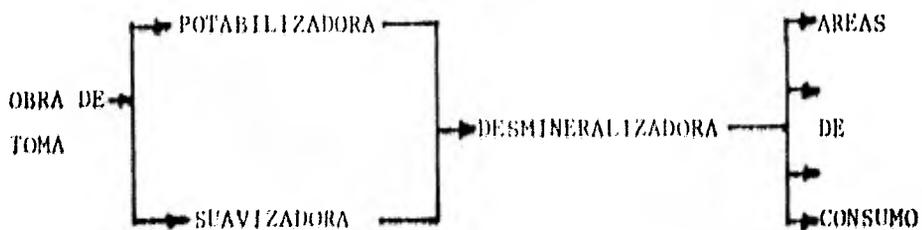
V. PROCESO DE TRATAMIENTO DE AGUA: PLANTA POTABILIZADORA, SUAVIZADORA Y DESMINERALIZADORA

V.1 La Planta de Tratamiento de Agua

Esta planta se divide en tres secciones en cada componente, se trata el agua en distinta forma y se obtiene:

- Agua potable
- Agua suave
- Agua desmineralizada

El agua que llega a la planta de tratamiento se trae por bombeo de la obra de toma, a esta agua se le denomina agua cruda, a la entrada de la planta de tratamiento tiene una presión de 0.8 kg/cm² con una temperatura de 30° C.



El agua cruda que llega a la planta de tratamiento (pozo caliente) se trata en dos secciones construidas en paralelo, como lo muestra la Figura No. 1, de donde se toma según se requiera agua para la sección desmineralizadora.

V.1.1 Planta Potabilizadora

Esta planta tiene una capacidad para tratar 100 m³/h de agua de río, para ello se subdivide a su vez en 4 partes principales:

- Planta de clorificación
- Almacén de floculantes y dosificación
- Filtros de arena tipo Gravity (hidroautomáticos)
- Manejo, clorinado, almacenado y equipo de inyección

La planta potabilizadora de SICARTSA opera a base de un sistema de dos clarificadores (de 50 m³/hr cada uno), acompañados de un sistema de filtros hidroautomáticos,

El agua antes de potabilizarse tiene una turbiedad de 2500 ppm y se reducirá a menos 10 ppm a la salida del sistema.

Para realizar el proceso de potabilización, esta planta cuenta con el siguiente equipo básico:

- Dos clarificadores pulsator tipo Pelletier Degremont, Pulsator con un flujo de diseño de 50 m³/hr cada uno, flujo máximo de 64 m³/hr,

la velocidad ascensional del agua en los clarificadores es de 0.00086 m/seg., tiene un rendimiento de 3.12 m³/m² hr, el tiempo de retención es de 77 min., las características físicas que tienen son las siguientes:

Ancho	-	4 mts.
Largo	-	4 mts.
Altura	-	4 mts.
Material del tanque	-	Concreto
Tuberías de entrada	-	100 mm.
Tuberías de salida	-	150 mm.
Tubería de sobreflujo	-	100 mm.
Tubería de purga	-	75 mm.

- Dos bombas especiales para lodos de impulsor abierto, motor cerrado, con base y coples de las siguientes características:

Capacidad (gasto)	-	6 m ³ /hr
Carga de trabajo	-	2 kg/m ²
Potencia del motor	-	1 HP
Marca	-	Worthington
Tipo	-	Centrífuga

Se incluye además un sistema de válvulas y dispositivos necesarios para realizar la operación de purga en forma automática o manual.

- Un sistema dosificador de reactivos para manejar cal hidratada y sulfato de aluminio (alumbre), que incluye dos tanques de preparación para el alumbre de 1.25 mts. de altura, 1.25 mts. de diámetro, de acero con recubrimiento interior de fibra de vidrio y resina poliéster.

Están provistos de agitadores mecánicos (con motor) con flecha y propela de acero inoxidable, la potencia de los motores es de 3/4 HP. Con estos dos tanques se asegura un servicio ininterrumpido, se trabajan alternadamente con períodos de 12 horas, estando siempre uno en reserva.

Para el manejo de la lechada de cal se cuenta con dos tanques de preparación con una capacidad volumétrica de 600 litros cada uno de 90 cm de diámetro y 122 cm de alto, provistos con agitadores mecánicos con potencia de 1/2 HP en el motor, comprende además 2 bombas para soluciones (manejan lechadas de cal de hasta un 30% de concentración), son bombas centrífugas con motores de 1/4 HP.

- Dos bombas para suministrar agua de lavado de las cribas rotatorias, estas bombas tienen las siguientes características:

r.p.m.	-	3 500
Gasto	-	47,2 litros/min.
Ø de descarga	-	6 pulgadas

Para los motores:

Volts	-	220/440 v.
Frecuencia	-	60 Hz
Corriente	-	95 amp.

- Cinco bombas de pozo profundo que auxilian a las cuatro bombas principales, el gasto de estas bombas es de 1 700 m³/hr cada una, trabajan a 2.2 Kg/cm² de presión y giran a 1 775 r.p.m., el motor que acciona las bombas es de inducción de 250 HP de 3 fases conectado en estrella - trabaja con 255 amps., y con 460 volts.
- Un sistema de cloración Wallace & Tiernance para matar las bacterias - y evitar su crecimiento dentro de las tuberías de transmisión, distribución y condensadores, se cuenta para esto con 8 tanques de cloro líquido de 1 470 kg., de peso bruto, el peso neto es de 908 kg., de cloro por cada cilindro, un evaporador, un clorador, un inyector y dos difusores de cloro, el suministro de agua requerido por el evaporador e inyector se toma del cabezal de descarga de las bombas principales.
- Una subestación con dos transformadores de voltaje de 13,8 kv a 4,16 kv. y dos transformadores de 13,8 kv a 480 volts (1 Mva) con todas las protecciones que aseguren una buena operación,
- Un banco de baterías de 94 celdas y un cargador para las mismas, esta -

batería suministra energía para el alumbrado cuando falle el suministro de la línea de la C.F.E.

- Un tablero de control y programador de las 4 bombas principales, incluyendo el control del sistema de lubricación y el sistema de emergencia que actuará desde la planta de fuerza, estando alimentado con energía de ésta.
- Dos tableros de control para la operación de los motores que accionan las cribas rotatorias.
- Dos tuberías de distribución. Las cuatro bombas descargan a un cabezal común de 1500 mm de diámetro (60") de este cabezal salen 2 líneas hacia la planta, estas líneas son también de 1500 mm de \varnothing , tienen una longitud de aproximadamente 4 km, hasta la entrada de la Planta de SICARTSA son de concreto, de allí al interior son de acero al carbón.
- Cuatro filtros de operación automática (hidroautomáticos) separados por placas de acero y de las siguientes características:

Flujo de diseño	-	6.2 m ³ /m ² /hr
Flujo máximo	-	8.3 m ³ /m ² /hr
Volumen por celda	-	10.0 M ³
No. de celdas	-	4

Longitud de las celdas	-	2.0 mts.
Ancho de las celdas	-	2.0 mts.
Profundidad de las celdas	-	2.5 mts.
Gasto operación	-	25 m ³ /hr/celda

Los filtros son de concreto y acero, como material filtrante se usa arena sílica y antracita en proporción 30/70, cada celda contiene 2 480 kg de material filtrante, el procedimiento para el lavado es automático y opera por pérdida de carga, para el lavado se requieren 36/m³/m²/hr con una frecuencia de 24 horas y un tiempo de duración de 10 minutos.

- Una sección de clorado compuesta por:

Un clorador

Un registrador de cloro residual

Un registrador de consumo

Un cilindro de una tonelada para cloro

Una grúa manual y gancho especial para manejo.

- Dos bombas de transferencia de agua potable con una capacidad de manejo de 200 m³/hr., cada una, con una carga de operación de 10kg/cm²
- Un sistema de control automático de la operación de la Planta Potabilizadora, compuesta por una sección en el tablero y otra sección en la consola

la de mando.

- Un tablero para centro de control de motores y de todos los equipos en movimiento.

Descripción del Proceso

El agua cruda llega directamente de la obra de toma al sifón hidráulico, este dispositivo está construido (de placa de acero con tuberías y conexiones de acero negro al carbón) de tal forma que al alimentar de agua al clarificador pulsator cierta cantidad se almacena durante un tiempo determinado para después enviarse a los clarificadores.

El agua entra a los clarificadores pulsator por la parte inferior procedente del sifón hidráulico. Los clarificadores son depósitos de fondo plano provistos en su base de una serie de tubos perforados que permiten la entrada al agua cruda y la distribuyen uniformemente por todo el fondo del clarificador. En la parte superior tiene una serie de canaletas de concreto a través de las cuales se recoge en forma uniforme el agua clarificada. Estas canaletas tiene distribuidas, asimismo, una serie de barrenos del mismo diámetro con lo que se evita la variación de velocidad del agua en las diferentes áreas del clarificador.

Arriba de los tubos distribuidores de agua cruda se encuentran instalados unos accesorios en forma de "V" invertida de material resistente a la corrosión denominados tranquilizadores, y su objetivo es lograr una eliminación más efectiva de la

turbiedad del agua clarificada, logrando de este modo un menor atascamiento por el lodo y una velocidad más uniforme de distribución.

Un medidor electro-volumétrico está colocado a la entrada de la tubería de agua potable, este medidor envía "pulsos" según un determinado volumen ingresado de agua. Estas pulsaciones son integradas en un control especial, el que envía señales a otro control cada cierto volumen. Este último, pone en operación a los dosificadores de cloro para que de este modo se obtenga una dosificación ininterrumpida y proporcional.

La dosificación también se puede hacer directamente a los clarificadores-pulsator, pero cuando se requiere agua potable para la planta desmineralizadora el cloro se inyecta después de la derivación de dicha planta.

En el fondo de los clarificadores y de los filtros se localizan depósitos de lodos, los cuales se extraen mediante un retrolavado y se mandan a un canal de desecho de lodos, los que los llevan directamente al mar.

De los filtros, el agua desborda a las cisternas o tanques de almacenamiento de agua potable, de donde son sacados por las dos bombas de transferencia y enviados a las redes de agua potable ó a la planta desmineralizadora de agua.

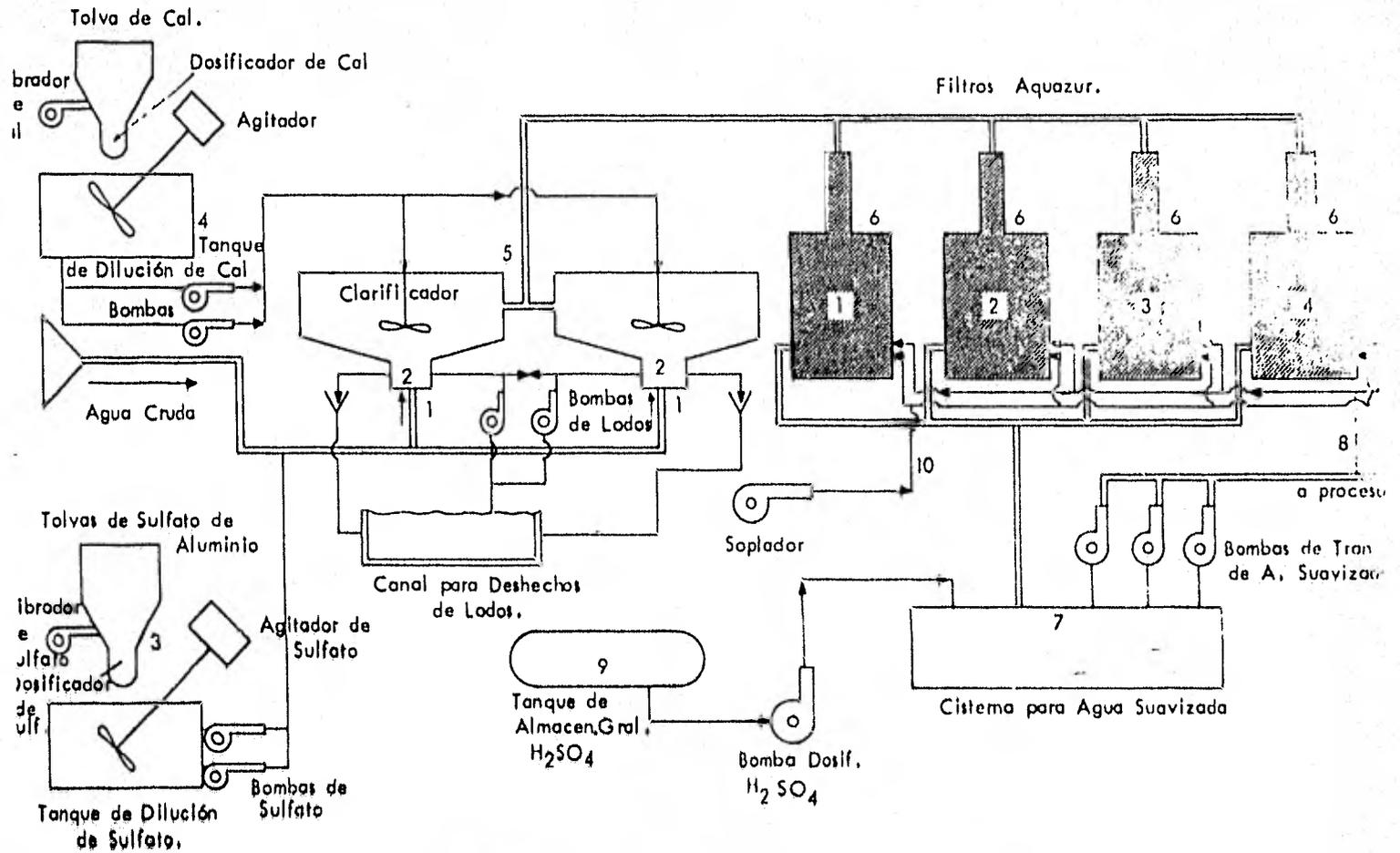


DIAGRAMA DE FLUJO PLANTA SUAVIZADORA

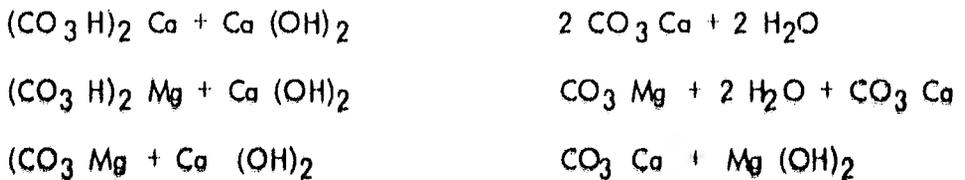
FIGURA

V.1.2 La Planta Suavizadora

Es otra de las plantas de las tres que constituyen lo que se denomina la Planta de Tratamiento de Agua y tiene una capacidad máxima de suavizar 600 m³/hr de agua cruda.

Las aguas naturales contienen en proporción variable carbonatos alcalinotérricos (calcio y magnesio), cuya presencia supone para los usuarios del agua una serie de inconvenientes, pues pueden ocasionar fuertes incrustaciones -- en las tuberías, válvulas y recipientes por los que circulan estas aguas -- cuando se calientan o se evaporan. De aquí, la necesidad de la descarbonatación de las aguas.

El procedimiento de descarbonatación más conocido y económico es el tratamiento con cal hidratada, las reacciones químicas que se presentan se expresan a continuación:



Después de la precipitación de los productos de la reacción, el agua sólo contiene una pequeña cantidad de carbonato de calcio y magnesio, que corresponde a la solubilidad en frío de estos productos.

Cuando el aparato está bien concebido y de dimensiones adecuadas, las

cantidades que quedan en el agua después de esta depuración, no sobrepasan los 30 ó 40 mg/litro. Las reacciones anteriores son lentas si se realizan en las condiciones de dilución y temperatura a las que se realizan los tratamientos de aguas naturales, por un lado, si se mezcla agua cruda con cal simple y pura, la reacción dura varios días, mientras que si se mezclan el agua y la cal en presencia de una cierta cantidad de carbonato de calcio finamente dividido, la reacción es rápida, casi instantánea. Se produce este mismo fenómeno si se utilizan como agentes los lodos procedentes de una depuración anterior de una cierta cantidad de agua, además de los carbonatos de calcio y magnesio.

Así, a medida que se van depurando cantidades crecientes de agua, crecen los precipitados y se decantan más fácilmente; este incremento en los precipitados se facilita más aún mediante la adición de un reactivo que ayuda a la coagulación; el mejor de estos es el sulfato de aluminio (alumbre). Este reactivo aglomera al mismo tiempo, el carbonato de calcio formado y las materias coloidales, minerales u orgánicas que contengan el agua bruta.

El equipo principal con el que cuenta esta planta es el siguiente:

- Dos clarificadores suavizadores del tipo circulator, cada uno de ellos diseñado con las siguientes características:

Gasto de diseño - 250 m³/hr.

Gasto máximo	-	300 m ³ /hr.
Velocidad ascensional del agua	-	3.168 m/h
Sobreflujo considerado	-	3.18 m ³ /m ² /hr
Tiempo de retención	-	76 min.
Diámetro interior	-	10 mts.
Profundidad media	-	4 mts.

Este circulator cuenta con un puente construido en acero estructural y equipado con rosquetas de fondo de las que tiene como objetivo coleccionar los lodos producidos durante las reacciones químicas en el circulator, la velocidad de rotación de este puente es de 10 revoluciones cada 80 minutos.

- Cuatro filtros Aquazur, con los siguientes parámetros de operación:

Longitud	-	6 mts.
Ancho	-	3 mts.
Profundidad	-	2.50 mts.
Gasto de diseño	-	6.9 m ³ /m ² /hr
Gasto máximo	-	9.2 m ³ /m ² /hr
Materia filtrante	-	Mármol tipo Marcoll con granulometría de 0.9 a 1.4 mm.
Volumen por celda (son 4 celdas)	-	38 m ³ /celda

Pesa del material
filtrante por celda - 22 000 kg.

- Un sistema de almacenamiento para cal, diseñada para contener - materia suficiente para un período de 3 días (4 000 kg de cal).

Este silo tiene un sistema de carga a base de unos transportadores neumáticos, con filtro a la salida del aire empleado para la transportación. Cuenta también con un indicador de nivel, el cual determina por medio de una alarma cuando el silo está casi vacío.

La descarga de la cal contenida en el silo se hace a un dosificador del tipo volumétrico, el cual a su vez descarga en un tanque la solución, este tanque cuenta con un agitador hidráulico.

Un sistema de bombeo para lechada de cal, el que selecciona la lechada del tanque antes mencionado y la inyecta a la tubería de agua cruda de los circulators.

- Un sistema dosificador de sulfato de aluminio, con el fin de lograr una adecuada floculación en el circulator, esta compuesto por:

Una tolva de almacenamiento con capacidad para 600 kg del -- reactivo,

Un dosificador de tipo volumétrico para sulfato de aluminio,

Un tanque de disolución equipado con agitador hidráulico.

Un sistema de bombeo a base de dos unidades dosificadores, las cuales succionan del tanque interior e inyectan a las tuberías de agua cruda de los circulators, las bombas tienen una capacidad de 6 m³/hr, los motores son de 1.5 HP y una presión de 2.5 kg/cm².

- Un sistema de bombeo de lodos, el cual está automatizado, incluye dos bombas especiales para manejo de lodos, de fierro fundido, de 30 m³/hr con una presión de descarga de 2.5 kg/cm² con motores de 5HP.

El equipo de purga de lodos consta de un sistema automático de lavado y soplado de líneas, el cual operará acorde a un programador de tiempo.

- Un sistema de lavado; es un sistema de control de presión para lavado de filtros mediante el uso de agua suavizada y estación de válvulas reductoras completa, con by-pass manual, instrumentación y accesorios, el cual tiene las siguientes características:

Capacidad	-	2000 G.P.M, por - válvula
Cantidad	-	2
Presión de entrada	-	10 kg/cm ²

Presión de salida - 1 kg/cm²

- Sistema de transferencia para agua suavizada, formado por tres bombas, con las siguientes características:

Capacidad por bomba - 200 m³/hr

Motor - 125 HP

- Un equipo de inyección, constituido por una bomba dosificadora de H₂SO₄ y Na OH (ácido sulfúrico e hidróxido de sodio)

Descripción del Proceso:

El agua cruda entra a los clarificadores circulatorios por la parte inferior - de los mismos, este clarificador es un decantador de tipo floculador acelerado con recirculación de lodos. En el centro del clarificador-suavizador-circulator se encuentra instalada una cámara de mezcla llamada cono-tobera, a través de la cual se desplaza y circula el agua cruda al entrar. El inyector o tobera de dicha cámara de mezcla tiene por objeto realizar una mezcla íntima del agua cruda con los reactivos (cal y alumbre), así como la aspiración o succión de los lodos que anteriormente han sido floculados, haciendo que éste vuelva a entrar en contacto con el agua flocular.

La floculación consiste en introducir en el agua un reactivo que neutralice las cargas eléctricas de las miscelas, partículas en estado de pseudo-solu-

ción, visibles únicamente al microscopio y en cuya forma están contenidas las materias coloidales. Cuando sus cargas eléctricas se neutralizan, estas partículas se aglomeran entre sí para formar un precipitado que adopta la forma de un gran número de pequeños flóculos, que se eliminan fácilmente por filtración o decantación.

La filtración simple es suficiente cuando el contenido de materia en suspensión, materias coloidales y la cantidad de reactivos utilizados son pequeños. En la mayoría de los casos, sin embargo esta eliminación no puede realizarse sin decantador.

A veces la floculación es espontánea, como en el caso de ciertas aguas ferruginosas por acción del oxígeno del aire, pero normalmente se hace necesaria la adición de reactivos como el sulfato de aluminio y el cloruro férrico que son los más utilizados.

La floculación nunca es muy rápida; se tiene por ello que acelerar en los clarificadores circulares y esto se consigue poniendo en contacto el agua cruda (a la que se le han adicionado previamente los reactivos), con fangos (lodos) procedentes de su misma floculación. Resultan así flóculos más voluminosos y pesados, obteniéndose más rápidamente entre los mismos un agua perfectamente clarificada. En la planta suavizadora la floculación se inició en el difusor cónico y en la parte central, cuya

forma se diseñó especialmente para crear una reducción progresiva, sin turbulencia, de la velocidad de la vena fluída. A la salida de la columna central, la floculación es completa gracias a la importante aportación de fangos que introduce la recirculación creada por el ejetor. Al desembocar a la zona de decantación, debido a su fuerte concentración, los fangos descienden rápidamente hacia el fondo del aparato, mientras que el agua clarificada se eleva hacia la superficie.

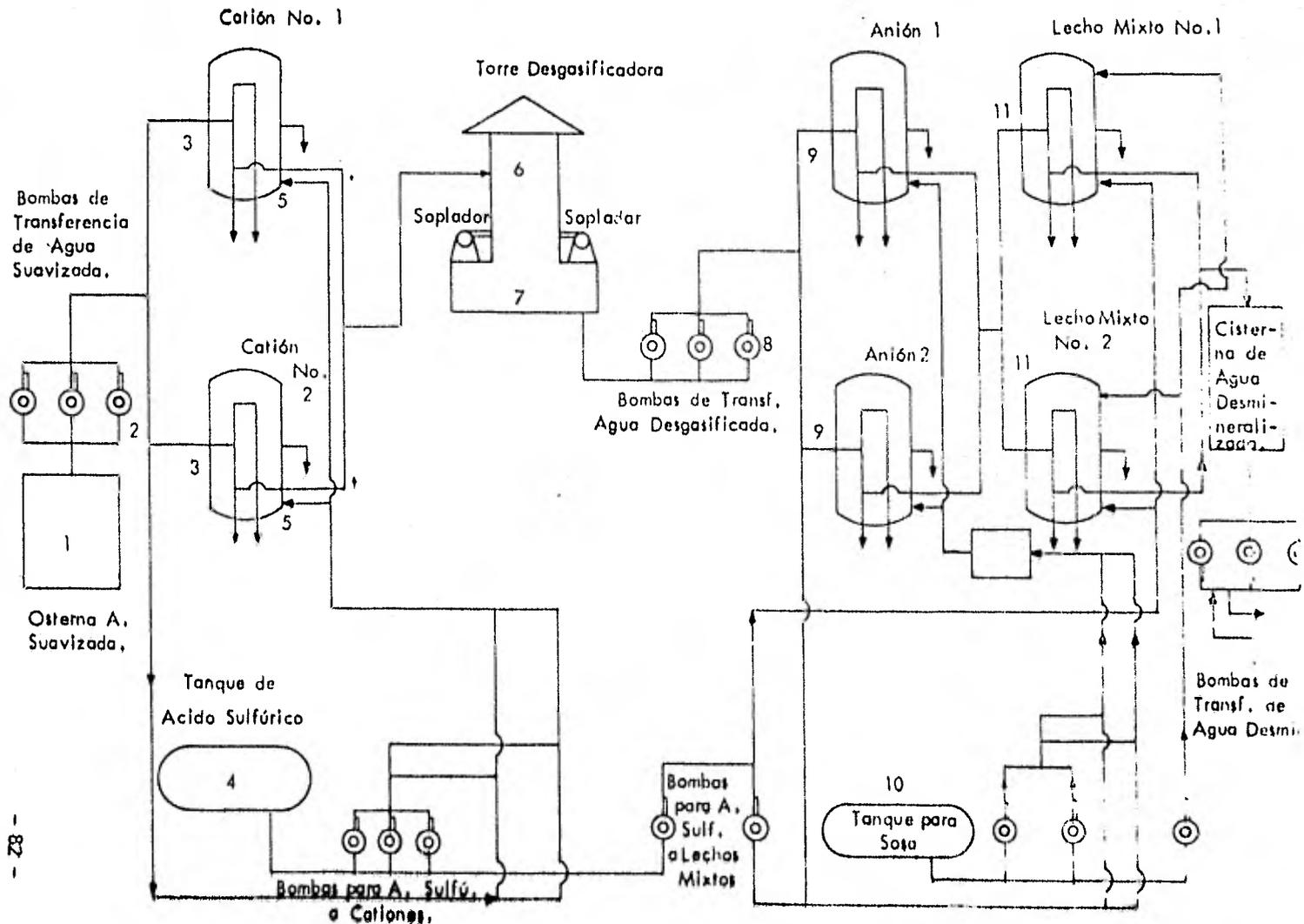
Al nivel superior del lecho de fangos viene fijado por los bordes del concentrador, que hace de vertedero, por tanto, el lecho de fangos tiene una altura constante y una concentración también prácticamente constante, debido a la fuerte recirculación que produce el ejetor. El exceso de fangos se elimina vertiéndose en el concentrador, en donde se van acumulando y del que son extraídos, de manera intermitente por una tubería de extracción, con válvula manual o automática, en la base del recipiente se tiene una válvula de vaciado que permite además, la evacuación de las partículas pesadas que se hayan depositado por abajo del ejetor. El agua decantada se recoge en la superficie vertiéndose en un canal circular situado en la periferia del depósito. De aquí el agua pasa a los filtros aquazur, los cuales están constituidos por depósitos rectangulares de concreto con un fondo falso, sobre el cual se coloca el material que constituye el lecho filtrante, que en este caso es el mármol tipo Marcoll. El

agua pasa a los filtros a través de una válvula con flotador (llamada clapet) y se distribuye a todo lo largo y ancho del lecho filtrante, se recolecta a través de unas espreas y pasa al sifón de regulación de gastos.

De aquí el agua se pasa a una cisterna de agua suavizadora, de donde -- tres bombas de transferencia la mandan a las áreas en donde se emplea; de una derivación de una tubería de descarga se toma agua a presión para el lavado de los filtros, en la misma cisterna se dosifica H_2SO_4 , el agua suavizada para controlar la acidéz.

Cuando el filtro (o los filtros) se encuentran totalmente saturados de flóculos que ha retenido el lecho filtrante, es necesario llevar a cabo el proceso de lavado del lecho filtrante, ésto se hace por retorno de agua e inyección de aire, a través de tuberías que van situadas en el muro que separa los dos filtros y por debajo del canal de evacuación de lechos, éstos lavados son completos, enérgicos, rápidos, y no precisan ningún cuidado especial; el consumo de agua de lavado es pequeño, no existiendo peligro de pérdida de mármol, ya que las aguas sucias vierten a dos canales de desague longitudinales y que delimitan al filtro.

Para aumentar la limpieza de los filtros, un compresor suministra aire a presión el cual pasa por el orificio de las espreas y origina una pequeña diferencia de presión, suficiente para mantener bajo el fondo un colchón de aire.



FIGURA

- DIAGRAMA DE FLUJO DE LA PLANTA DESMINERALIZADORA

V.1.3 La Planta Desmineralizadora

Las impurezas que contiene el agua pueden ser de tres tipos diferentes: - sólidos suspendidos, sólidos disueltos y sólidos coloidales, de estas impurezas solo los sólidos disueltos pueden eliminarse o removerse por el proceso de desmineralización; por lo que, si el agua trae consigo cantidades apreciables de sólidos suspendidos (tierra, arena) o sólidos coloidales (arcilla fina, materia orgánica, sílice coloidal), deberá ser sometida a pre-tratamientos para eliminar estas impurezas y prepararlo así para el proceso de desmineralización, en SICARTSA ésta preparación se realiza en la planta potabilizadora o bien en la planta suavizadora.

Los sólidos disueltos se encuentran en el agua bajo la forma de iones cargados positiva ó negativamente (cationes o aniones), los siguientes iones, están presentes prácticamente en todas las aguas naturales en concentraciones variables:

Cationes:

Calcio Ca ++

Magnesio Mg ++

Sodio Na +

Aniones:

Bicarbonato HCO₃⁻

Carbonato CO₃⁻

Cloruro Cl⁻

Sulfato SO₄⁻

Nitrato NO₃⁻

Cationes:

Potasio	K +
Hidrógeno	H +
Hierro *	Fe ++
Manganeso *	Mn ++

Silice S_i O_2

Bióxido de Carbono CO_2

Basado en las características anteriores, se construyó una Planta Desmineralizadora de agua, para la alimentación de las calderas de la Planta de Fuerza (reposición de pérdidas que no se logran recuperar en los condensadores). La operación de esta planta se basa en el intercambio de iones.

La planta desmineralizadora consta de dos trenes, cada uno con una capacidad de 76 m³/hr para producir 75 m³/hr de agua desmineralizada en forma continua estando un tren en regeneración y cuenta con el siguiente equipo:

- Un sistema de bombeo de agua de transferencia compuesto de tres bombas de 75 m³/hr., contra una carga total de 30 m de columna

* Estas son las formas diluidas, las formas oxidadas del hierro (Fe +++) y Manganeso (Mn +++), son iguales.

de agua giran a 3 500 r.p.m., con motores de 20 HP de potencia.

- Un sistema de regeneración ácida, cáustica y mixta. La regeneración es automática a contra corriente tanto en el lecho aniónico como en el catiónico.

El tiempo requerido en la regeneración:

Catión	2.4 h
Anión	2.75 h
Lecho mixto	4.0 h

La producción mixta a servicio entre generaciones es:

Catión	900 m ³
Anión	900 m ³
Lecho mixto	600 m ³

Los tanques de regeneración ácida tienen las siguientes características:

Capacidad	50 m ³
Largo	7,1 mts.
Diámetro	3,0 mts.
Materiales de construcción	acero A-283 B

Los tanques de regeneración cáustica tienen a su vez las características siguientes:

Capacidad (volumen)	30	m ³
Longitud	6.50	mts.
Diámetro	2.55	mts.
Material de construcción	Acero A-283-B	

- Las unidades de intercambio iónico reúnen las siguientes características:

Catlón:

No. unidades	2
Material de construcción	Acero A-285-C
Diámetro del tanque	3.40 mts.
Altura recta	3.05 mts.
Presión de diseño	5.0 kg/cm ²
Máxima presión de trabajo	4.5 kg/cm ²
Flujo nominal de diseño	0.13 m ³ /m ² /min.

- Las resinas de Intercambio Iónico tienen las siguientes características:

Catlónicas:

Tipo	Catlón fuerte
Capacidad de Intercambio	36 kg Ca CO ₃ /M ³
Volumen	14 m ³
Vida del material	10 años

Aniónicas:

Tipo	Aniónico estratificado
Capacidad de intercambio	46 kg Ca CO ₃ /m ³
Valumen	8.8 m ³
Vida de material	7 años

Lecho Mixto:

Tipo	Ca ²⁺ / anión fuerte
Capacidad de intercambio	34 kg Ca CO ₃ /m ³
Volumen	2,8 m ³
Vida del material	7 años

- Una torres desgasificadora. Aquí se elimina el oxígeno disuelto en el agua y el CO₂, esto es necesario, ya que el O₂ ionizado muestra gran avidéz por el fierro, es decir, es sumamente corrosivo, lo que causaría que en corto plazo, sufrieran grave daño todos los accesorios hidráulicos con los que se maneja esta agua, como válvulas, tuberías, depósitos, etc., tienen las siguientes características:

Material del cuerpo	Acero A-285-C
Diámetro	2,25 mts,
Altura	4.50 mts,

Presión de diseño 0.2 kg/cm²
Flujo de diseño normal 150 m³/hr

Incluye además dos ventiladores para la aereación del agua desgasificada con 7200 m³/hr de gasto a 50 mm de columna de agua de presión de entrada.

En la torres desgasificadora el agua entra con 133 mg/litro de CO₂ (bióxido de carbono) y sale con 5 mg/litro del mismo gas.

- Un tanque de agua desgasificada de 4.0 mts. de longitud, 3.40 mts., de ancho y 3.0 mts. de profundidad.
- Un sistema de dosificación de H₂SO₄ y Na OH para transferencia del ácido concentrado a los sistemas de dilución ácida, además -- llevan ácido al tanque de neutralización de efluentes en caso de - que sea necesario reducir el PH del efluente mixto,

Tres bombas dosifican el ácido sulfúrico a los catiónes, dos bombas lo hacen a los lechos mixtos, dos de ellas dosifican sosa cáustica a aniónes y una bomba lo hace a lechos mixtos.

- Un sistema de control de agua de dilución de sosa,
- Un sistema de neutralización de efluentes. Los efluentes de las -

unidades de intercambio son conducidos a una fosa central con control automático de pH, el cual opera dos sodificadores; de ácido sulfúrico y el otro de sosa cáustica. Tanto el $H_2 SO_4$, como el $Na OH$, provienen de los tanques de almacenamiento general.

- Un sistema de bombas de transferencia de agua desmineralizada que está compuesto por 3 bombas construídas totalmente de acero inoxidable, complementadas con equipo eléctrico y tableros de alimentación de fuerza. Estas bombas tienen las siguientes características:

Gasto	75 m ³ /hr
Presión de descarga	5.5 kg/cm ²
Potencia del motor	30 HP

- Descripción del Proceso

El agua que se emplea en este proceso se toma de la cisterna de agua suavizada ó de la de agua potable, por medio de un sistema de bombeo, se envía el líquido a los tanques catiónicos, aquí, un intercambiador catiónico en el estado ácido, intercambia sus iones H^+ por cationes metálicos (Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+) presentes en el agua. Los aniones del agua no son afectados y pasan a través del intercambiador catiónico. El producto (efluente) de la unidad catiónica contiene ácidos cuyo tipo y cantidad depende de los aniones

presentes. Los ácidos fuertes HCL (ácido clorhídrico) H_2SO_4 y (ácido sulfúrico) HNO_3 (ácido nítrico), se forman por el hidrógeno intercambiado y por los aniones CL^- , SO_4^{--} y NO_3^{--} , presentes en el agua, a este conjunto se le llama acidéz mineral libre. Los ácidos débiles (ligeramente ionizados), se forman a partir de la alcalinidad y la sílice del agua, HCO_3^- y SiO_2 están presentes bajo la forma de ácido carbónico, H_2CO_3 , el agua lo descompone en H_2O y CO_2 . La sílice está presente como ácido silícico (H_2SiO_3). Los iones OH cuando están presentes en el agua, se combinan con el H^+ para formar más agua, neutralizándose de este modo.

Después de un período de operación de cada catión de 12 horas durante el cual se obtienen 75 m³/hr de agua, es necesario regenerar la resina, al perder ésta su capacidad de intercambio de iones. Esta regeneración se hace con ácido sulfúrico, para lo cual se tiene un tanque de almacenamiento de 50 m³, la inyección del H_2SO_4 diluido se hace en flujo ascendente, siendo ésta la 2da. fase en el proceso de regeneración, el primer paso es el retrolavado, que consiste en el suministro de agua a contra-corriente con el efluente del tanque, La tercera fase de la regeneración es el desplazamiento, que no es más que un flujo de agua limpia para limpiar las líneas de ácido sulfúrico, La cuarta fase es el enjuagado, para

extraer residuos de soluciones con alta concentración de H_2SO_4 .

Estas cuatro operaciones se describen a continuación con los tiempos de duración necesarios:

<u>Operación</u>	<u>Tiempo</u>
1. Retrolavado	10 min.
2. Regeneración	70 "
3. Desplazamiento	5 "
4. Enjuague	<u>60 "</u>
Total	2.25

En las condiciones actuales de producción de SICARTSA, operando un solo tanque proporciona el agua necesaria para la Siderúrgica, el otro tanque permanece en "stand-by".

De los tanques catiónicos, el agua que ha perdido sus cationes metálicos, pasa a la torre desgasificadora, la que tiene unas charolas perforadas, por donde el agua se precipita por gravedad y fraccionada. Por la parte inferior de la torre, dos ventiladores suministran aire en sentido contrario de la caída de agua, (hacia arriba), arrastrando así al CO_2 al exterior, además de aerear el agua. El agua que cae de la torre se deposita en una cisterna de agua desgasificada recubierta interiormente con un material adecuado para resistir

tir la corrosión. De este tanque de almacenamiento tres bombas - alimentan a los intercambiadores aniónicos, aquí se remueven los aniones presentes en el agua en forma de ácidos.

Similarmente cuando las resinas aniónicas pierden su capacidad de intercambio aniónico, es necesario regenerarlas, en este caso, la regeneración se realiza cada 12 horas (para cada anión) con sosa cáustica. El proceso que se efectúa incluye los siguientes pasos:

<u>Proceso</u>	<u>Tiempo</u>
1. Regeneración	60 min.
2. Desplazamiento	15 min.
3. Enjuague	50 min.
4. Separación de resinas	10 min.
5. Enjuague final	<u>30 min.</u>
Total	2.45

Durante la producción normal de agua desmineralizada, tanto de los cationes como de los aniones, hay fuga de iones, los que es preciso eliminar para obtener un agua de las características deseadas; por esta razón, el agua que sale de los aniones pasa a un depósito de lecho mixto en donde se termina el proceso de la desmineralización.

En la unidad de lechos mixtos se efectúan los siguientes procesos:

<u>Proceso</u>	<u>Tiempo</u>
1. Separación de lechos	30 min.
2. Regeneración	75 min.
3. Desplazamiento	15 min.
4. Enjuague	60 min.
5. Mezcla de resinas	30 min.
6. Enjuague final	<u>30 min.</u>
Total	4.00 horas

Del tanque de lechos mixtos, el agua ya desmineralizada pasa a una cisterna para posteriormente ser bombeada y distribuida. El consumo aproximado de las áreas principales es:

1. Planta de fuerza	50 m ³ /hr
2. Aceración y colada continua	15 m ³ /hr
3. Alto horno	<u>5 m³/h</u>
Total	70 m ³ /h

VI. CONCLUSIONES

Uno de los problemas principales es que se dé la posibilidad de que la tubería de abastecimiento de agua a la planta siderúrgica, pudieran sufrir daños por las presiones debidas al golpe de orlete hidráulico, por lo tanto se analizó el sistema y se determinó la magnitud y extensión del daño potencial y recomendar las soluciones que fuesen necesarias - utilizando los datos proporcionados por SICARTSA.

Se revisó el sistema existente y determinamos que en el caso de que - un paro repentino del abasto, como podría suceder durante un paro súbito de las bombas o debido a un cierre rápido de las válvulas en las tuberías, se podrían generar incrementos o decrementos de presión que podrían dañar la tubería.

Se encontró que el mayor incremento de presión tendría una magnitud de 200 m de columna de agua y el menor descenso de presión reduciría la presión interna de la tubería a doce lb/pulg.², estos aumentos y disminuciones, podrían causar la ruptura y el colapso, respectivamente en la tubería, la ruptura ocurriría en la sección de concreto y el colapso en la sección de acero.

Descripción de los Efectos Posibles en el Sistema

El que la tubería falle ó no por colapso depende de las siguientes causas:

- La magnitud de la presión de pandeo
- El punto de fluencia de la tubería
- El tipo de apoyo del tubo.

Generalmente una tubería de concreto es segura en contra de pandeo; - sin embargo, una tubería de acero es mas susceptible al colapso, dependiendo del espesor de la pared y del diámetro del tubo. Una tubería enterrada es mas segura marginalmente, porque la deflexión de la tubería - debido al pandeo queda restringida. La presión de pandeo se puede calcular por la fórmula $P_b = 50.2 \times 10^6 \left(\frac{t}{D} \right)^3$ en donde:

- P_b = Presión de pandeo en libras por pulgada cuadrada
- t = Espesor de la pared del tubo en pulgadas
- D = Diámetro del tubo en pulgadas.

En nuestro caso:

$$t = 3/8" = 0,375"$$

$$D = 60"$$

Por lo tanto:

$$P_b = 50,2 \times 10^6 \left(\frac{0,375}{60} \right)^3 = 12,2 \text{ lb/pulg.}^2$$

Que indica que este tubo sufriría colapso cuando la presión interior llegue a doce libras por pulgada cuadrada sobre el cero absoluto. Las secciones de tubería debilitadas por ramales (manifold) u otras irregularidades en la forma sufriría colapso a una presión interna aún más elevada que doce libras por pulgada cuadrada absolutas.

Estallido de la Tubería

Suponiendo que el límite elástico de la tubería de acero sea de 2500 Kg/cm², espesor de la pared 3/8" (1 cm) y el radio de la tubería R = 76 cm, obtenemos la fuerza de tensión en el punto de cedencia:

$$T = 2500 \text{ Kg/cm}^2 \times 1 \text{ cm}^2 = 2500 \text{ Kg, y la presión de estallido:}$$

$$p = \frac{2500}{76} = 32.0 \text{ Kg/cm}^2 = 329 \text{ m c.a. (columna de agua)}$$

Como la carga máxima estimada es solamente de 200 m, la sección de acero de la tubería no fallaría. Sin embargo, la sección de concreto reforzado tiene indicada una presión máxima de trabajo de 53 metros. Suponiendo un factor de seguridad de 2.5, la presión de estallido de la sección de la tubería de concreto sería igual a $53 \times 2.5 = 132.5 \text{ m}$.

Como se ha mencionado anteriormente, podemos anticipar ondas de presión positiva hasta de 200 m, o sea una y media veces la resistencia de la tubería,

En consecuencia, el curso de los eventos podría ser como sigue: Inme-

diatamente después de la falla de energía, el colector de acero (manifold) sufriría un colapso, también un posible colapso en los cambiadores de calor. Después de que se reúnen las columnas, la elevación súbita de presión o consecuencia de ello podría romper la tubería de concreto, probablemente en la cercanía de los pozos de visita. Por lo tanto, se recomienda que se tomen medidas que remedien esta situación como se discute en las siguientes páginas.

Se investigaron soluciones alternas para prevenir la posibilidad de daño a la tubería por variaciones en la presión. Se determinó que para protección positiva se deben llevar a cabo las siguientes modificaciones del sistema.

- Se debe construir un tanque de oscilación para absorber los transitorios y debe ser de 6.1 metros de diámetro y 42 metros de alto. Se debe conectar al tubo distribuidor (manifold) de la tubería, inmediatamente aguas abajo de las bombas de la toma.
- Se deben instalar redes de demora en las bombas para aminorar las oscilaciones extremas de presión causadas por el arranque o paro instantáneo del flujo de la tubería.
- Se deben instalar tubos verticales (stand pipes) en los cambiadores de calor para prevenir aumentos peligrosos de presión en las tuberías del cambiador de calor, en caso de un arranque de las bom-

bas cuando están cerradas las válvulas aguas abajo.

- Los dispositivos de operación de las válvulas motorizadas en el sistema se deben modificar para aumentar el tiempo de cierre de las válvulas y así disminuir las oscilaciones de presión causadas por un cierre rápido de válvulas.

Además de lo anterior, se debe llevar a cabo la práctica que ha sido propuesta, de emplear dos fuentes de energía independientes para - - abastecer el sistema.

Tanque de Oscilación de Doble Efecto

Análisis

Debido a las ventajas anotadas en las secciones previas, el tanque de oscilación de doble efecto se escogió como solución permanente del problema del golpe de ariete. Para determinar los efectos sobre la tubería de un paro súbito de bombas por falla de energía o por cierre de las válvulas motorizadas del sistema, se hizo un análisis gráfico del sistema, suponiendo como caso crítico, que las cuatro bombas estaban en operación y que se estaba bombeando a través de ambas tuberías. El análisis se basó en el método descrito por Parmakian.

El procedimiento comprende la solución gráfica de las siguientes ecuaciones:

$$H - H_0 = \frac{a}{g} (V - V_0) = 2P \left(t - \frac{X}{a} \right)$$

$$H - H_0 = \frac{a}{g} (V - V_0) = 2f \left(t + \frac{X}{a} \right)$$

Donde:

- H = Carga de presión para las condiciones transitorias (pies)
- a = Velocidad de la onda de presión (pies/segundos)
- g = Aceleración de la gravedad (pies/segundos²).
- V = Velocidad en las condiciones transitorias (pies/segundo)
- V₀ = Velocidad para las condiciones estables iniciales (pies/seg.)
- P = Onda de presión que viaja en la dirección + x (pies)
- f = Onda de presión que viaja en la dirección - x (pies)
- t = Tiempo (seg.)
- x = Distancia desde el extremo inferior del conducto que se toma como origen (pies).

Estas ecuaciones se derivan de las ecuaciones fundamentales del golpe de ariete tomando en cuenta las condiciones de equilibrio dinámico y continuidad.

El análisis resuelve las presiones en los puntos extremos y en varios intermedios de la tubería a intervalos de tiempo iguales al periodo de recorri-

do de la onda en la sección más corta de la tubería. El método es aproximado en el sentido de que es necesario hacer ciertas ampliificaciones del sistema para facilitar la solución del problema. Aplicando los factores calculados de la transmisión de la onda, los resultados se pueden modificar para acercarse a las condiciones reales estrechamente. Los resultados del análisis se reúnen en la Fig. 0, que muestra las presiones máximas y mínimas en la tubería por el efecto de la falla total de energía en las bombas.

Para estudiar las fluctuaciones del nivel del agua en el tanque de oscilación, se escribió un programa de computadora, utilizando la segunda ley del movimiento de Newton, con los términos que representan a la presión medida al nivel del agua en el tanque de oscilación, la aceleración del agua en movimiento, y la baja de presión debida a la tubería. El programa calculó la elevación, velocidad y aceleración en el tanque de oscilación usando incrementos finitos de tiempo.

Otras recomendaciones

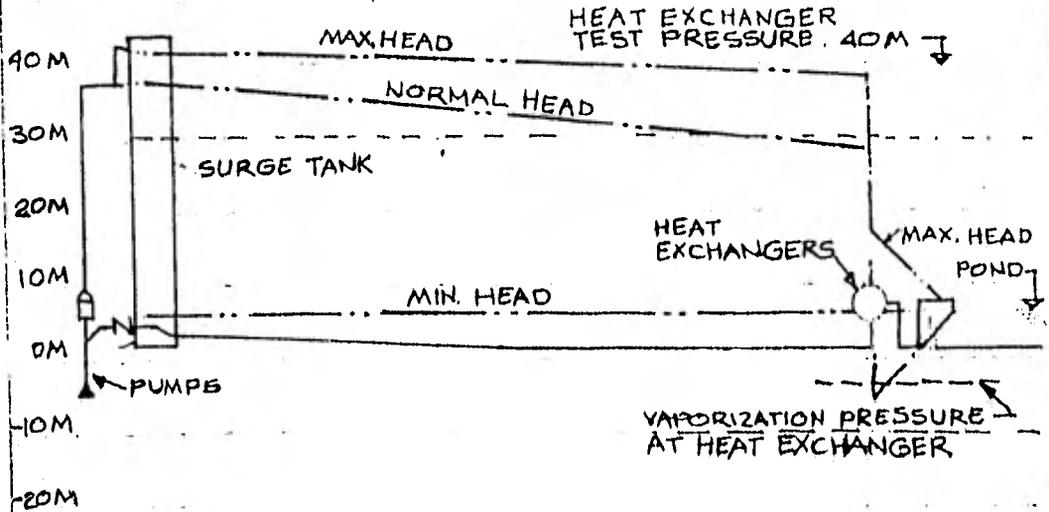
Además del tanque de oscilación, las siguientes modificaciones permanentes adicionales de diseño y de operación de sistema se recomiendan para reducir los daños o riesgos debido a ondas de presión:

- I. FUENTES DE ENERGIA INDEPENDIENTES
- II. TUBOS VERTICALES EN LOS CAMBIADORES DE CALOR
- III. RELES DE DEMORA EN LAS BOMBAS
- IV. MODIFICACIONES EN LOS CIERRES DE LAS VALVULAS

SICARTSA PIPE LINE

EXHIBIT 0

MAXIMUM AND MINIMUM PRESSURE IN PIPE LINE DUE TO POWER FAILURE AT PUMPS.



ASSUMPTIONS: TOTAL POWER FAILURE UNDER FOLLOWING CONDITIONS:

4 PUMPS OPERATING, PUMPING THROUGH BOTH PIPELINES

$$Q_0 = 21,600 \text{ M}^3/\text{HR}$$

$$H_0 = 37.5 \text{ M}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{STATIC HEAD} = 5.5 \text{ M} \\ \text{HEAT EXCHANGER } H_e = 22.2 \text{ M} \\ \text{PIPELINE } H_L = 9.8 \text{ M} \end{array} \right.$$

CHECK VALVES AT PUMPS CLOSE IMMEDIATELY WHEN $V=0$
SURGE TANK, 0.1M DIAMETER

PUMP BUMP CONSTANT WATER LEVEL AT 1.0M

DISCHARGE POND CONSTANT WATER LEVEL AT 0.5M

RESULTS: HEAD IN METERS OF H_2O
(REF. PUMP BUMP WATER LEVEL 1.0M)

LOCATION	INITIAL	MAX	MIN
PUMP CHECK VALVE	37.5	43.1	5.5
PUMP MANIFOLD	37.5	42.0	5.5
HEAT EXCHANGER	27.7	39.0	-5.2

BIBLIOGRAFIA

REVISTA TECNICA DE SICARTSA
VOLUMEN II

REVISTA TECNICA DE SICARTSA
VOLUMEN VI

REVISTA TECNICA DE SICARTSA
VOLUMEN VIII

MONOGRAFIA DESCRIPTIVA DE LAS PLANTAS PARA UN COMPLEJO
SIDERURGICO.

MANUALES DE INTERNATIONAL ENGINEERING COMPANY
(IECO)

HIDRAULICA DE SAMUEL TRUEBA CORONEL
EDITORIAL CECSA