

10
24



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
"ACATLAN"

FUNCIONAMIENTO Y CONSTRUCCION DE UN
MODULO POTABILIZADOR DEL SISTEMA
CUTZAMALA

T E S I S

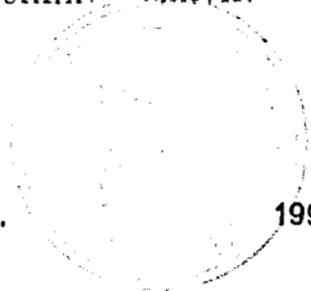
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO CIVIL
P R E S E N T A :

ALFREDO FLORIAN SERVIN



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Acatlán, Edo. de Méx.



1991



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 está 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.

I N D I C E

Págs.

INTRODUCCION

8

CAPITULO PRIMERO

10

ANTECEDENTES

10

CAPITULO SEGUNDO

DESCRIPCION DEL SISTEMA

16

- 1.- Etapas constructivas 16
 - a) Primera etapa 16
 - b) Segunda etapa 17
 - c) Tercera etapa 18
- 2.- La planta potabilizadora 19

CAPITULO TERCERO

F L O C U L A D O R E S

26

- 1.- Coagulación y floculación 26
- 2.- Propiedades de los coloides..... 27
- 3.- Tratamiento de floculación 29
- 4.- Equipo para realizar la floculación 30

CAPITULO CUARTO

SEDIMENTADORES

1.- Clasificación de los Sedimentadores	37
2.- Sedimentadores de alta velocidad	38
3.- Relación Angulo-Eficiencia	43
4.- Relación Profundidad-Eficiencia	47
5.- Manejo de Lodos	49
6.- Sistema de entrada	51
7.- Sistema de salida	52

CAPITULO QUINTO

F I L T R O S

1.- Generalidades	58
2.- Principios de la filtración del agua	61
3.- Características generales de la unidad - - - de filtración	63
4.- Lavado de la unidad de filtración	66

CAPITULO SEXTO

PROCESO CONSTRUCTIVO

1.-	Proceso Constructivo	75
2.-	Recursos y limitantes	75
3.-	Programación del Proceso Constructivo	77
4.-	Fases de la Programación	79
5.-	Diagrama de Barras (Método de Gant).....	80
6.-	Diagrama de flechas (Método de la Ruta Crítica)	82

CAPITULO SEPTIMO

DESARROLLO DE LA OBRA

1.-	Excavación	89
2.-	Cimentación	91
3.-	Acero de refuerzo	92
4.-	Cimbra	93
5.-	Concreto	95

COMENTARIOS Y CONCLUSIONES

98

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

102

I N T R O D U C C I O N

Esta tesis tiene como objetivo mostrar la concepción, de sarrollo técnico y realización del Sistema Cutzamala; explicar el proceso de tratamiento en un módulo potabilizador; así como las bases teóricas, el funcionamiento y la construcción de la obra civil de dicho módulo.

El presente trabajo incluye seis capítulos con los cuales se pretende hacer el análisis del tema que se ha propuesto, a saber:

En primer lugar, se dan los antecedentes que dieron origen al proyecto ante una problemática existente. Se contemplan además las soluciones alternas considerando las necesidades actuales y futuras de abastecimiento de agua en el Valle de México.

En segundo término se hace una descripción más detallada del Sistema Cutzamala, se mencionan sus elementos que lo conforman y se explica el proceso de potabilización utilizado.

En el tercer capítulo se muestra la teoría que da origen al proceso de tratamiento llamado floculación; asimismo, se dan las características y los principios de funcionamiento de los floculadores.

posteriormente, en el capítulo llamado Sedimentación, se analiza el diseño de las placas sedimentadoras y su eficiencia demostrada con una inclinación de 60°; también se explica el funcionamiento de los sedimentadores en conjunto.

En el capítulo correspondiente al tema de los filtros se exponen los elementos teóricos que permiten entender el funcionamiento de los mismos, así como el proceso de lavado mediante el retorno de agua e inyección de aire.

Finalmente, en los capítulos sexto y séptimo se detalla el proceso constructivo del módulo potabilizador desde los trabajos preliminares, hasta la conclusión de la obra civil de dicho proyecto.

CAPITULO PRIMERO

ANTECEDENTES

Cuando se inicia la etapa independiente de México, no se contaba con los recursos que permitieran la construcción de nuevas obras para la captación y conducción de agua potable, lo que motivó la perforación de pozos a cielo abierto, como una solución inmediata al problema del abastecimiento de agua; dicha medida se popularizó rápidamente, a tal grado de contar en la capital del País con más de mil pozos, a finales del siglo XIX.

Debido a que la población crecía rápidamente, el Ayuntamiento de la Ciudad de México, realizó los estudios para determinar las posibles fuentes que cubrieran las necesidades de agua que había en ese momento, así, en 1901 se presentó el "Proyecto de Abastecimiento y Distribución de Aguas Potables para la Ciudad de México", donde se proponía el empleo de los manantiales de Xochimilco mediante la construcción de un acueducto de 26 Km. de longitud, y un sistema de bombeo que permitía captar 2,100 litros por segundo. En 1908 se terminó la construcción de dicha obra.

Cuando en los años veintes se conoció el hecho de que la Ciudad de México se hundía, debido a la sobreexplotación de sus acuíferos subterráneos; se determinó disminuir la extracción del agua en el valle, y por lo tanto, recurrir a fuentes externas. Se consideró un proyecto estudiado tiempo atrás: -- Conducir el agua desde los pozos en la cuenca del Río Lerma. En 1941 se iniciaron las obras de este proyecto, con la construcción de un acueducto y el túnel Atarasquillo-Dos Ríos, de 15 Km. de longitud, necesarios para atravesar la Sierra de las Cruces. El Sistema entró en operación en 1951, aportando en ese entonces un gasto de $4 \text{ m}^3/\text{S}$.

Es importante hacer notar, que uno de los más grandes -- problemas de la Ciudad de México, ha sido siempre su crecimiento demográfico, sobrepasando con amplitud los pronósticos de crecimiento. Por tal motivo se tuvo la necesidad de construir la segunda etapa del Sistema Lerma, la creación del Sistema Chiconautla, y algunos otros, todos basados en la extracción por medio de pozos, fig. 11. Pero a pesar de los esfuerzos realizados, en 1972 el problema de abastecimiento de agua era aún crítico, pues el área metropolitana ya no se limitaba al Distrito Federal, sino que municipios del Estado de México ya se habían unido a éste, así que era necesario considerar también

a Atizapán, Ciudad Nezahualcoyotl, Coacalco, Cuautitlán Izcalli, Chimalhuacán, Ecatepec, Huixquilucan, Los Reyes, Naucalpan, Tlalnepantla y Tultitlan en los planes de suministro de agua. La solución inmediata era: Continuar perforando pozos en el D.F. y en los municipios mencionados, pero esto ya no era aceptable, ya que además de no satisfacer la demanda, el hundimiento de la Ciudad se incrementaría provocando mayores dificultades.

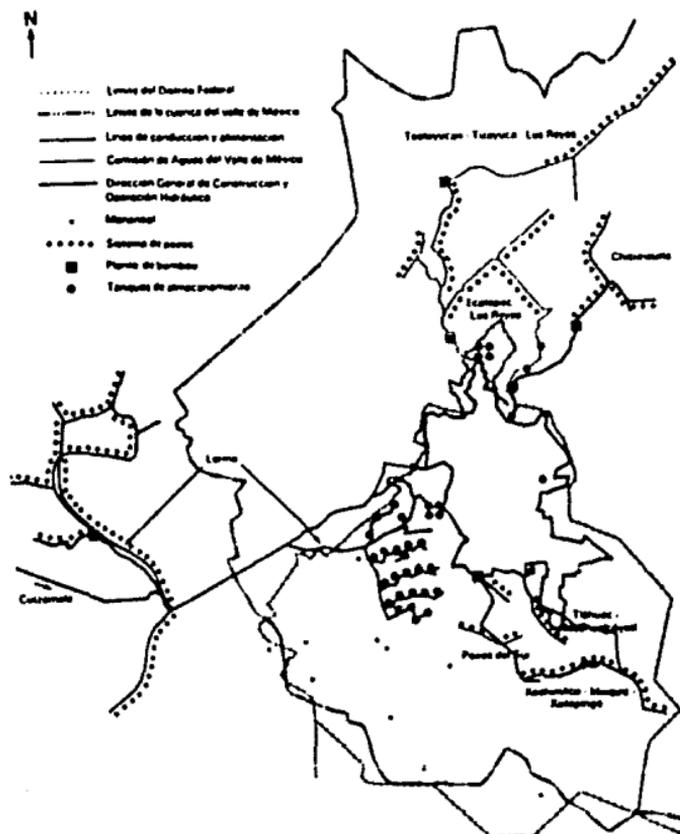
Ante este serio problema, el Gobierno Federal constituyó en 1972 la Comisión de Aguas del Valle de México, cuya finalidad era programar, proyectar, construir y operar las obras necesarias para aprovechar los recursos hidráulicos no solo de la Cuenca del Valle de México, sino también de aquellas que - en caso necesario pudieran aportar un caudal suficiente para cubrir la demanda exigida por la población. A partir de ese momento, se continuaron los estudios que previamente se habían iniciado y que incluían diversas alternativas, desde captaciones cercanas, hasta captaciones en cuencas tan lejanas - como la del Río Papaloapan, considerando en los estudios la factibilidad económica y política, los caudales disponibles, longitud de recorrido, desniveles de captación y entrega, - energía para su operación, topografía, así como la calidad --

del agua.

Las regiones de mayor factibilidad para lograr el propósito de abastecer a la Capital del País con fuentes externas son: Cutzamala al Oeste, Tecolutla y Oriental al Este, Amacuzac al Sur y Tula al Norte, con una aportación de 19,15,7,11 y 2.5 m³/s respectivamente, (fig.1.2) caudales que se estima podrán cubrir las demandas para el año 2000, siempre y cuando se combinen con el tratamiento de aguas negras. Al utilizar el agua de estas cuencas, no debe pensarse que su uso es exclusivo para el abastecimiento de la Ciudad de México sino que deben atenderse las necesidades actuales y futuras del líquido desde su origen y a lo largo de la conducción. Por lo tanto, se requiere del cuidado de las zonas de captación y de la calidad del agua de la región; también se deben tomar en cuenta los problemas sociopolíticos debidos al cambio en el uso del agua entre habitantes de una o más entidades federativas, así como entre dependencias que manejan distintos usos del agua. *

En la actualidad se construye el Sistema Cutzamala. Dicho sistema garantiza el abastecimiento de agua a los habitantes de la Ciudad de México y los municipios vecinos. Esta obra proporcionará 19,000 litros por segundo una vez concluida. Para llevar a cabo la construcción de este proyecto, se ha -

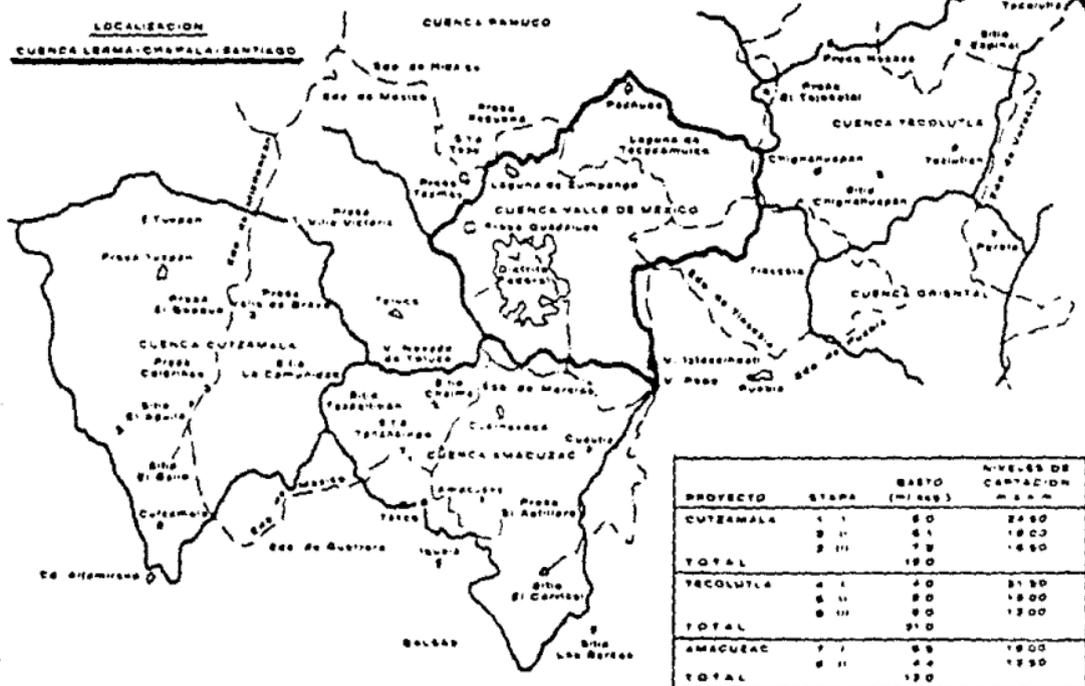
planeado realizarlo por etapas, con el propósito de racionalizar la inversión de costo y tiempo, conforme al incremento de la demanda de agua en el área metropolitana.



Sistemas actuales de abastecimiento de agua

fig. 1.1

LOCALIZACIÓN
CUENCA LABAMA-CHAPALA-SANTIAGO



Cuencas que circundan el Valle
de México.

fig. 1.2

CAPITULO SEGUNDO

DESCRIPCION DEL SISTEMA

El sistema Cutzamala consiste en el aprovechamiento de siete presas de almacenamiento y derivación, correspondientes a la Cuenca del Rfo Cutzamala; la construcción de un acueducto de 120 kilómetros de longitud; la construcción de una planta potabilizadora con capacidad de $24 \text{ m}^3/\text{seg.}$ y seis plantas de bombeo para vencer un desnivel de 1,100 metros. Estas - - obras permitirán introducir a la Ciudad de México y su área metropolitana, un total de $19 \text{ m}^3/\text{seg.}$ en tres etapas, de 4, 7 y 8 m^3 respectivamente, (fig. 2.2 y 2.3).

1.- Etapas Constructivas.

a) Primera etapa:

La primera etapa, totalmente construída y en operación desde 1982, capta 4,000 litros por segundo de la presa Villa Victoria. Estas aguas son conducidas a través de 13 kilómetros del canal Martínez de Meza, a la planta potabilizadora. Posteriormente, desde la planta de bombeo No. 5, el agua tratada es bombeada para vencer una carga de 174 metros hasta -- una torre de oscilación de 46 metros de altura; a partir de este sitio, el agua inicia su recorrido por gravedad hasta la Ciudad de México, por medio de una tubería de concreto presforzado de 2.50 metros de diámetro y 91 kilómetros de longitud, pasando por dos cajas rompedoras de presión, hasta el tu

nel Atarasquillo-Dos Rfos, el cual permite atravesar la Sierra de las Cruces en la parte noroeste del área metropolitana. Es en Dos Rfos donde se inicia la distribución de las aguas - de esta primera etapa.

b) Segunda etapa:

La segunda etapa, en operación desde 1985, permitió incrementar el abastecimiento a la zona metropolitana en seis metros cúbicos por segundo, obtenidos de la presa de Valle de Bravo y cuya conducción a la planta potabilizadora incluye - las plantas de bombeo 2, 3 y 4, para vencer cargas de 120, - 350 y 350 metros respectivamente.

Cada planta de bombeo cuenta con una torre de sumergencia y una de oscilación. La primera tiene como función proporcionar la carga y volumen de agua que requieren los equipos de bombeo para su arranque; la segunda reduce el golpe de arfete, tanto en los equipos como en la tubería de acero que va de la planta a la torre de oscilación. Las torres citadas, son estructuras cilíndricas de concreto reforzado que tienen hasta 50 metros de altura, con diámetros interiores de 10 metros y espesores en sus paredes de hasta 1.80 metros.

La conducción desde la presa de Valle de Bravo, se realiza mediante una tubería de concreto presforzado de 2.50 metros de diámetro en una longitud de 14 kilómetros; un canal

revestido de concreto de 7.5 kilómetros; y el túnel Agua Escondida revestido de concreto, sección herradura de 3.85 metros de diámetro y tres kilómetros de longitud.

Las plantas de bombeo 2, 3 y 4 funcionan solo durante 20 horas al día, permitiendo la generación de energía eléctrica en las horas de mayor demanda. Por tal motivo, se construyó el Vaso Donato Guerra que funciona como regulador del gasto, ya que permite enviar, por gravedad, hasta 19 metros cúbicos por segundo a la planta potabilizadora para asegurar en esta un suministro continuo durante las 24 horas.

El túnel Analco-San José, de 16 kilómetros de longitud, sección de 4.60 metros de diámetro y capacidad de 34 metros cúbicos por segundo, permite atravesar la Sierra de las Cruces. Por este túnel se conducen los caudales de la primera y segunda etapas y a la terminación de las obras de la tercera etapa, la conducción por este túnel será de 19 metros cúbicos por segundo.

c) Tercera etapa:

Esta etapa permitirá captar, de la presa derivadora de Colorines ocho metros cúbicos por segundo, procedentes de las presas Tuxpan, El Bosque e Ixtapan del Oro, para lo cual será necesario construir la planta de bombeo No. 1 con una capacidad para vencer una carga de 160 metros. Se construirá la -

conducción Colorines-Valle de Bravo de 5.5 Kilómetros de longitud y 2.50 metros de diámetro.

También se terminará la construcción de la presa derivadora Chilesdo, que permitirá enviar a la planta potabilizadora hasta 5 metros cúbicos por segundo durante la época de avenidas mediante la planta de bombeo No. 6, cuya capacidad permite vencer una carga de 213 metros, disponiendo de sus respectivas torres de oscilación y sumergencia y tubería hasta la planta con una longitud de 11.5 kilómetros. Con esta obra se reducen los costos de operación al evitar que las aguas del Rfo San José Malacatepec escurran hasta la presa Colorines, ya que la carga de bombeo de la Presa Chilesdo a la planta es de 213 metros y desde Colorines de 980 metros.

Finalmente, entre Valle de Bravo y el túnel Analco-San José, se construirá una segunda tubería de 90 kilómetros de longitud así como la instalación de los equipos de bombeo faltantes en las plantas 2, 3, 4 y 5.

2.- La planta potabilizadora. (fig. 2.4.)

El agua captada por el Sistema Cutzamala es en general poco turbia, coloreada, escasamente mineralizada, con gran cantidad de algas, y no presenta ninguna contaminación particular: Por ello es indispensable un tratamiento que permita cumplir con la calidad establecida por las normas nacionales.

Para cumplir con este propósito, se construye la planta potabilizadora del Sistema ubicada en Los Berros, Municipio de Villa de Allende, en el Estado de México.

El proyecto de la planta contempla la construcción de seis módulos potabilizadores, cada uno con capacidad de 4 metros cúbicos por segundo, cuyos procesos de tratamiento son: clarificación, (floculación, sedimentación acelerada por medio de placas paralelas y filtración rápida en lechos de arena), así como desinfección (precloración aplicada en el interior de la planta y postcloración que se realiza en las proximidades de la Ciudad de México).

La operación de la planta potabilizadora se lleva a cabo de la siguiente manera: El agua cruda llega a un tanque de recepción de 6,500 metros cúbicos; De aquí el agua fluye por los medidores parshall (conductos donde se mide el caudal, - permitiendo además la mezcla rápida), donde se agrega sulfato de aluminio como reactivo, y cloro para evitar el desarrollo de algas durante el proceso, (precloración).

Los canales parshall son una de las formas más comunes de producir una mezcla hidráulica. Debido a su forma, la velocidad del flujo aumenta en la sección de aproximación y pa

sa por la profundidad crítica al comienzo de la garganta. El incremento brusco de la pendiente acelera el agua creando un régimen supercrítico, el cual se convierte en un salto hidráulico al encontrar la pendiente negativa de la sección G (ver figura siguiente), en la que el régimen es subcrítico. Este salto hidráulico es el que se puede usar como sistema de mezcla:

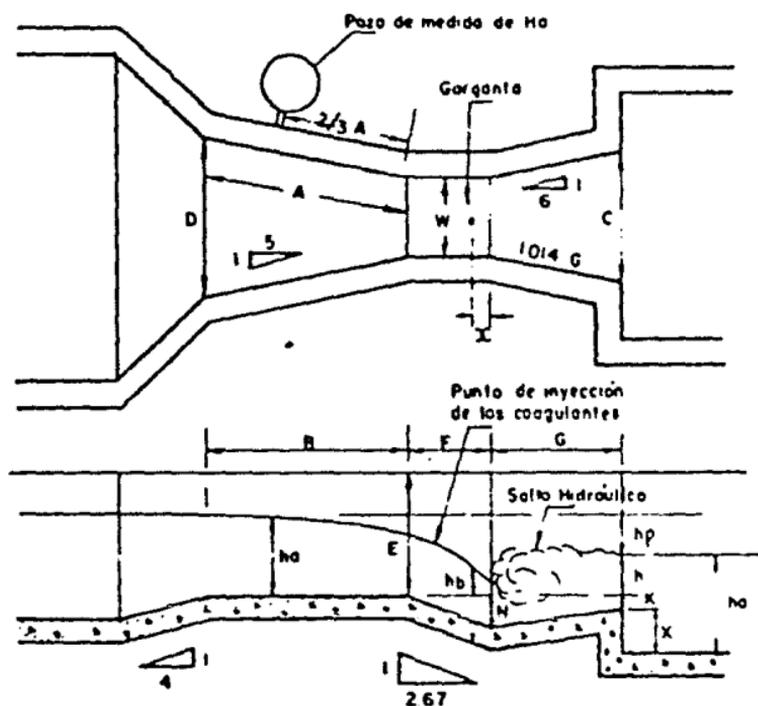


fig. 2.1

La clarificación continua cuando el agua es conducida al módulo de tratamiento, iniciando el proceso con la floculación; esta se realiza con ayuda de paletas agitadoras, de eje horizontal, de alta y baja velocidad.

Concluida la floculación el agua pasa a los tanques sedimentadores, que cuentan con un dispositivo de placas paralelas de asbesto-cemento, separadas 5 centímetros y con una inclinación de 60 grados, aceleran la precipitación de los floculos en suspensión, depositándolos en forma de lodos en el fondo del tanque para ser extraídos mediante un sistema de succión que recorre el tanque en sentido longitudinal, suspendido de un flotador.

El agua, una vez sedimentada, pasa a la sección de filtros que contienen lechos de arena y grava apoyados en un falso fondo, que consta de un conducto de losas con boquillas microanuradas, por donde pasa el agua ya filtrada.

Finalmente, el agua pasa a un tanque de recepción de aguas claras, con una capacidad de 45,000 metros cúbicos que es al mismo tiempo, el tanque de sumergencia para las bombas de la planta de bombeo no. 5, que envían el agua al Area Metropolitana.

Para entender mejor el proceso de clarificación de la planta potabilizadora, a continuación se exponen con más detalle los conceptos teóricos y de funcionamiento de los procesos de coagulación y floculación, de sedimentación, así como de filtración; capítulos tercero, cuarto y quinto respectivamente.

CROQUIS DEL SISTEMA CUTZAMALA

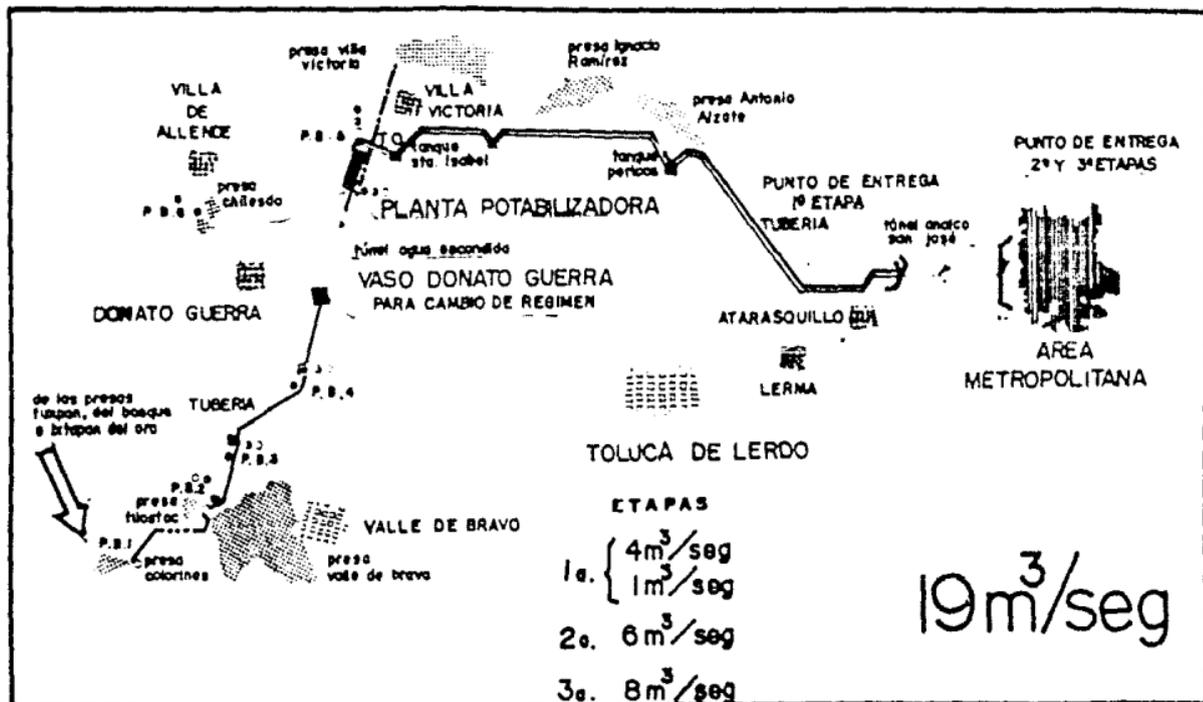


fig. 2.2

PERFIL DEL SISTEMA CUTZAMALA

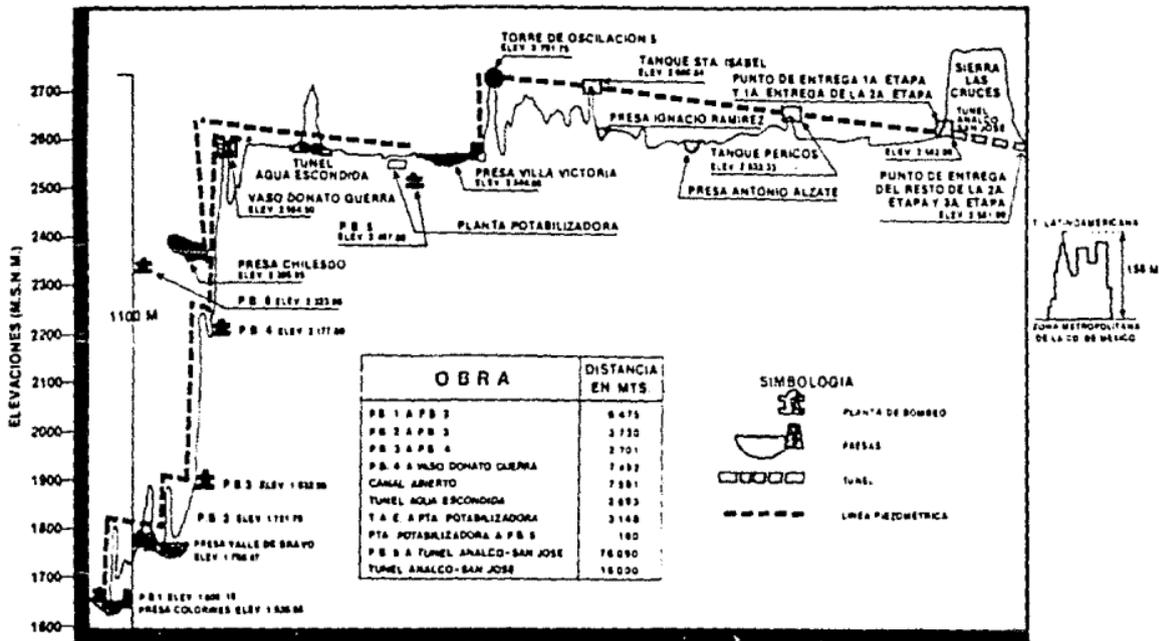
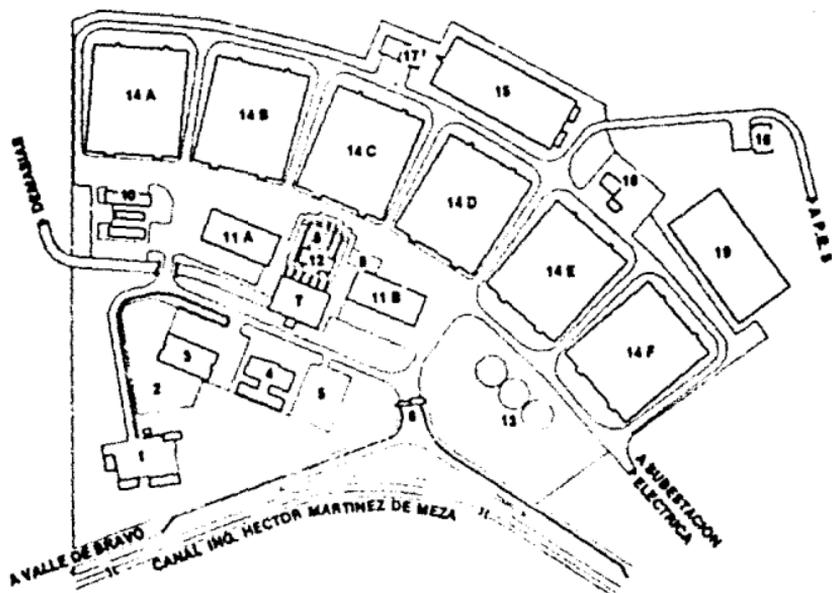


fig. 2.3

PLANTA POTABILIZADORA



NOMENCLATURA

- | | |
|--|---|
| 1. CAMPAMENTO DE CONSTRUCCION | 11. ALMACEN Y DOSIFICACION DE REACTIVOS |
| 2. ALMACEN DESCUBIERTO | 12. CLORACION |
| 3. ALMACEN CUBIERTO | 13. HELIPUERTO |
| 4. OFICINAS CENTRALES | 14. MODULO DE POTABILIZACION |
| 5. ESTACIONAMIENTO | 15. TANQUE SEPARADOR DE Lodos |
| 6. PORTICO | 16. ESTACION DE BOMBEO DE AGUA POTABLE |
| 7. TANQUE DE RECEPCION DE AGUAS CRUDAS | 17. ALMACEN DE ARENA Y ANTRACITA |
| 8. PATIO DE MEDIDORES | 18. ALMACEN DE DOSIFICACION DE CAL |
| 9. ALMACEN DE CLORO | 19. CANCAMO DE AGUAS CLARAS |
| 10. TALLERES | |

fig. 2.4

CAPITULO TERCERO

FLOCULADORES

Las aguas superficiales requieren de un tratamiento, - que permita eliminar la materia orgánica e inorgánica disuelta antes de ser distribuidas al consumidor. Toda esa materia que provoca la turbiedad del agua está constituida por - microorganismos y minerales de diversos tamaños, algunos tan grandes que se sedimentan con facilidad, y otros tan pequeños que permanecen en suspensión durante mucho tiempo, impidiendo su remoción en un tiempo razonable. Para este tipo - de partículas, se requiere de un tratamiento químico, llamado floculación, donde se consigue agrupar las partículas más finas contenidas en el agua, dando lugar a flóculos voluminosos, capaces de sedimentar; la floculación marca el inicio del tratamiento dentro del módulo potabilizador.

1.- Coagulación y Floculación.

En general, se emplean indiferentemente los términos - coagulación y floculación, aunque se hacen algunas distinciones según los diferentes criterios. Se define a la coagulación como un proceso en el cual se adiciona un producto químico a una solución coloidal, agua en este caso, originando una desestabilización de las partículas y una reducción de -

las fuerzas que las mantienen separadas para atraerlas unas con otras. La floculación, es la segunda fase en la formación de las partículas sedimentables.

Antes de describir el mecanismo de la floculación, es conveniente referirse a las propiedades de los coloides.

2.- Propiedades de los coloides.

Generalmente, se designa con el nombre de partículas coloidales a todos los elementos muy finos que se encuentran en el agua. Sin embargo, una partícula puede tener una dimensión muy pequeña, sin que por ello se encuentre en estado coloidal. Lo que caracteriza realmente el estado coloidal de una partícula, no es su tamaño, sino su gran superficie específica.

Algunas de las propiedades más importantes de los coloides son:

- 1) Propiedades cinéticas (movimiento Browniano)
- 2) Propiedades ópticas (coloración)
- 3) Propiedades de superficie (adsorción)
- 4) Propiedades electrocinéticas (carga eléctrica)

Desde el punto de vista de la ingeniería sanitaria, son

dos las propiedades coloidales de especial interés: las propiedades de superficie y las propiedades electrocinéticas. Las primeras se refieren a la tendencia de las materias coloidales a concentrar otras sustancias en sus superficies, dando lugar al fenómeno de adsorción. En la siguiente tabla se muestra como aumenta la superficie de un cubo de 1 cm., por lado si se divide en cubos de menor dimensión, es decir, entre más pequeños sean los cubos, mayor será la superficie total, con esto se comprueba la capacidad de adsorción de las partículas coloidales debido a su gran superficie específica que poseen.

AUMENTO DE SUPERFICIE DE UN CUBO AL AUMENTAR
SU SUBDIVISION

LARGO DE UN LADO	CANTIDAD DE CUBOS	SUPERFICIE TOTAL
1 cm.	1	6 cm ²
1 mm.	10 ³	60 cm ²
0.1 mm.	10 ⁶	600 cm ²
0.01 mm.	10 ⁹	6000 cm ²
1 μ	10 ¹²	6 m ²
0.1 μ	10 ¹⁵	60 m ²
0.01 μ	10 ¹⁸	600 m ²
1 μ m.	10 ²¹	6000 m ²

Las propiedades electrocinéticas, se refieren a la tendencia de las superficies coloidales a adquirir cargas. Se ha observado que las partículas de una dispersión coloidal, se mueven hacia un polo u otro, al estar sometidas a un campo eléctrico, lo que demuestra que las partículas poseen una carga electrostática.

3.- Tratamiento de floculación

La floculación consiste en la adición en el agua bruta, de los reactivos químicos llamados coagulantes, capaces de neutralizar la carga de las partículas coloidales. Estos reactivos deberán estar ionizados, su acción floculante dependerá de los iones que contengan, de signo contrario a los de las partículas coloidales, y la capacidad floculante en función de su valencia y concentración.

Experimentalmente se observan dos fases sucesivas en el proceso de floculación: la primera corresponde a la neutralización de las cargas eléctricas de las partículas, bajo la acción del floculante; la segunda corresponde a la formación de los flocúlos por agrupamiento de las partículas previamente neutralizadas. Durante la primera fase, puede verse lo translúcido del medio crecer en función del tiempo; este cre

cimiento, lento al principio, se hace cada vez más rápido - hasta llegar a un límite que marca el inicio de la segunda - fase, donde se forman los flóculos, cada vez más numerosos y voluminosos.

Entre los factores principales que influyen en la floculación, están la temperatura y el Ph. La temperatura favorece el proceso debido a la aceleración del movimiento de las partículas en suspensión. Las variaciones del Ph del agua - bruta repercuten en la cantidad de reactivo químico necesario para la floculación, así como en el tiempo para la formación de los flóculos.

4.- Equipo para realizar la floculación

Después de la adición y mezcla de reactivos, si se deja el líquido en reposo, la floculación se produce siempre espontáneamente, pero requiere de mucho tiempo; sin embargo, - si se acelera el movimiento, agitando el líquido, se mejora el resultado. Esta agitación no debe ser demasiado rápida, ya que permitiría la dispersión de la suspensión coloidal en lugar de facilitar su precipitación; este cambio de estado - es a veces irreversible, lo que ocasionaría que no se obten-

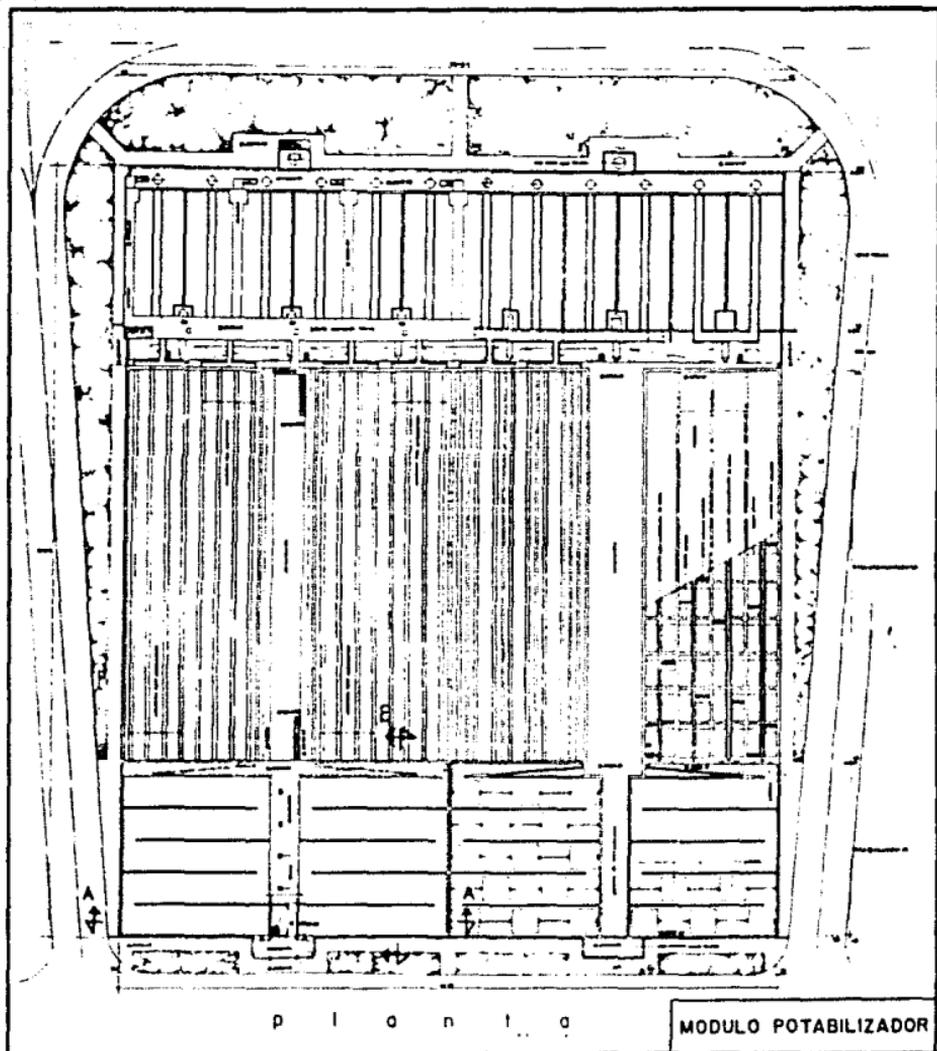
ga de nuevo la coagulación; por lo tanto, deberá evitarse -- una agitación inadecuada.

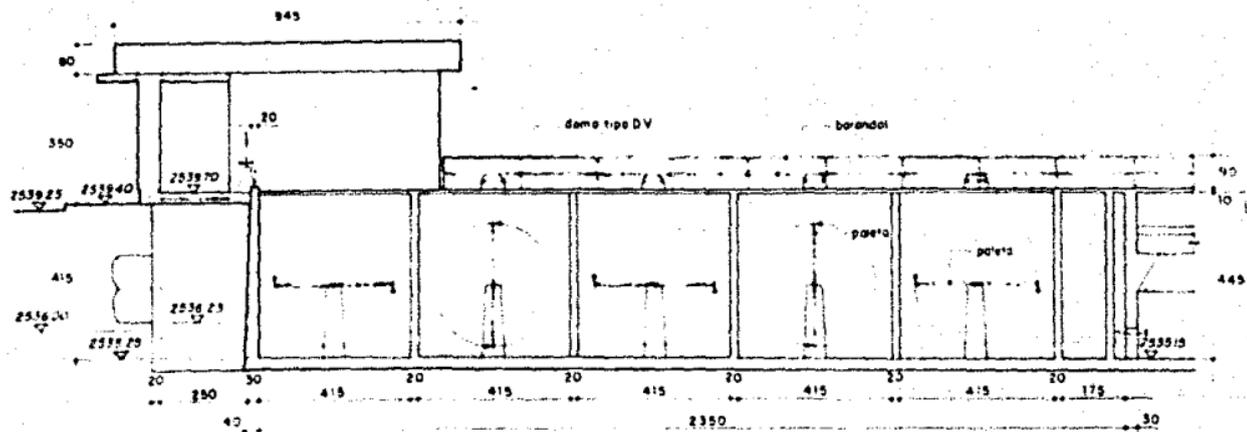
La agitación tiene por objeto aumentar las probabilidades de encuentro entre las diferentes partículas en suspensión del agua. Se aconseja en primer lugar, agitar energicamente para mezclar, de una forma homogénea, el reactivo con el agua; después, la velocidad de mezclado se reduce a una fase intermedia, donde se inicia la formación de los flóculos; finalmente, la agitación se transforma en un movimiento moderado y lento, que fomenta aún más la formación de los flóculos, quedando listos para el siguiente proceso llamado sedimentación.

El equipo empleado en cada módulo de la planta potabilizadora del Sistema Cutzamala, consta de un tanque floculador con deflectores para flujo horizontal, permitiendo que el agua se desplace hacia adelante y hacia atrás, alrededor de las extremidades de dichos deflectores (fig.3.1 y 3.2). Entre las paredes deflectoras están colocadas unas paletas que giran alrededor de un eje central en dirección perpendicular al flujo (fig.3.3). La superficie de las paletas disminuye en el sentido del flujo para proporcionar una agitación cada vez menor, a medida que el agua fluye. Las paletas son impulsadas por un motor de ve-

locidad constante, provisto de una transmisión de cadena que lo conecta al eje horizontal; dicha transmisión permite variar la velocidad de agitación y hacerla adecuada a las necesidades que se tengan en la operación de la planta.

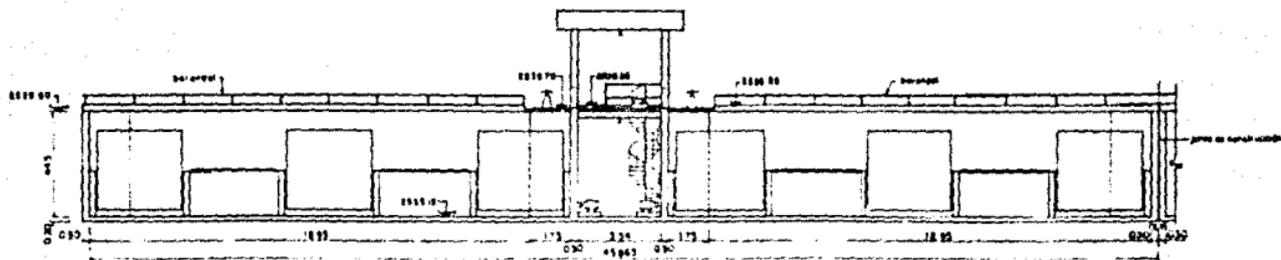
Los motores y elementos de transmisión están instalados en una galería seca, situada entre los depósitos por donde circula el agua; así, los ejes se prolongan a través de la pared, desde la galería hasta el depósito donde se realiza la agitación. Este tipo de instalación permite un mantenimiento constante y más adecuado, que no se lograría, si por ejemplo, la transmisión estuviera sumergida.





m - m
 f l o c u l a d o r c o r t e
 1:100

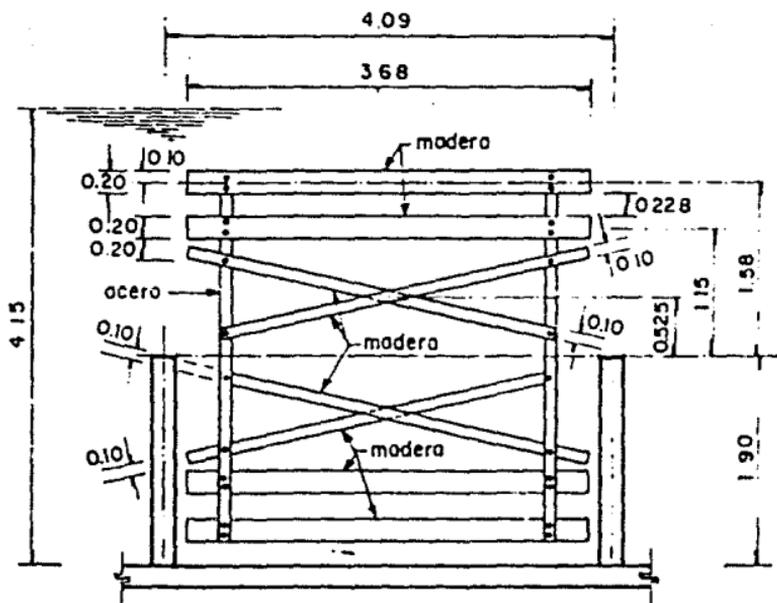
Fig. 3.1



CORTE A - A

ESC 1:100

Fig. 3.2



DETALLE PALETA
ESC. 1 : 50

Fig. 3.3

CAPITULO CUARTO

SEDIMENTADORES

Una vez que el agua pasa el proceso de floculación, el problema radica en separar los sólidos en suspensión del medio en que se encuentran; esto se logra mediante un proceso llamado sedimentación. La sedimentación permite separar las partículas suspendidas en el agua, aprovechando la acción de la gravedad.

1.- Clasificación de los sedimentadores.

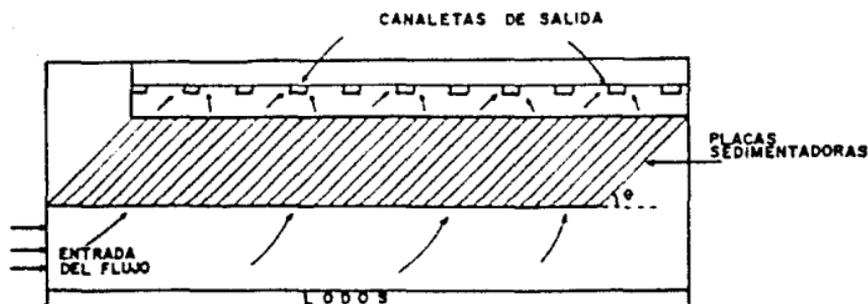
Para lograr la sedimentación, el agua se pasa por tanques de gran capacidad, ya sea anulando su velocidad, o bien, reduciéndola a valores pequeños; es la velocidad el factor que permite clasificar a los sedimentadores en dos tipos: de baja velocidad y de alta velocidad. Los primeros pueden ser de flujo horizontal ó de flujo vertical, también llamados de manto de lodos; los segundos pueden ser de placas ó celdas.

VELOCIDAD DEL FLUJO	CLASE	CARGA SUPERFICIAL ($m^3/m^2/dfa$)
B A J A	HORIZONTAL	15-30
	VERTICAL	30-60
A L T A	PLACAS O CELDAS	60-200

Considerando que los sedimentadores del Sistema Cutzama-
la son de alta velocidad, se analizan a continuación los conceptos
teóricos y funcionales de sus elementos.

2.- Sedimentadores de Alta Velocidad.

Este tipo de sedimentadores, básicamente están formados
por una serie de láminas planas paralelas con cierta inclinación,
colocadas en un tanque con determinadas características. (fig. 4.1).



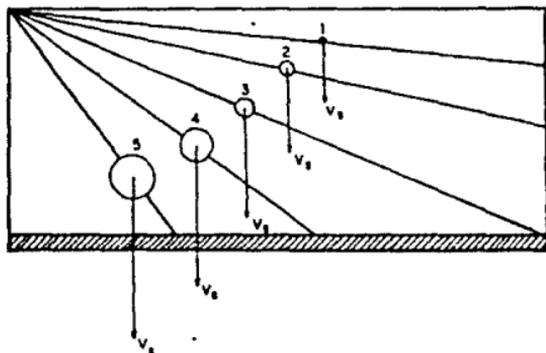
SISTEMA DE SEDIMENTACION

Fig. 4.1

El agua, al entrar al tanque, tiene un flujo ascendente a través del conjunto de placas; la función de éstas es acelerar la sedimentación, de tal forma que el período de retención sea mínimo, (fig. 4.7 y 4.8).

En un sedimentador horizontal, se define como partícula crítica a aquella que entra en la zona de sedimentación al nivel de la superficie, y toca el fondo cuando el flujo sale de dicha zona. La velocidad con la cual desciende dicha partícula es la velocidad crítica V_{sc} , que suele expresarse como

carga superficial Q/A . Según este concepto toda partícula con velocidad mayor que la crítica resulta removida en el proceso, y la que tiene velocidad menor que ella escapa con el flujo, (fig. 4.2).

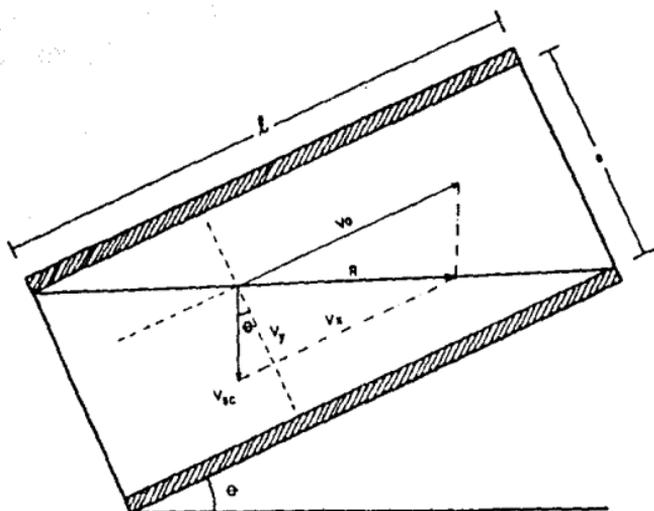


V_{sc} Seleccionada	Partículas removidas	Partículas que escapan
3	3-4-5	1-2
4	4-5	1-2-3
5	5	1-2-3-4

Entre mayor V_{sc} se escoja, mayor número de partículas más finas que la crítica escapan.

fig. 4.2

Ahora bien, cuando estas ideas son aplicadas al caso de un sedimentador con flujo inclinado, los conceptos deben replantearse; esto se logra empleando sencillas relaciones geométricas como se observa a continuación:



RELACIONES GEOMETRICAS DE UN SEDIMENTADOR INCLINADO

Fig. 4.3

Cuando una partícula asciende con una velocidad media V_0 , arrastrada por el flujo entre dos placas planas paralelas, que forman un ángulo θ con la horizontal y con una velocidad de sedimentación V_{sc} , se puede determinar la trayectoria de la partícula cuya velocidad resultante puede descomponerse en dos componentes V_x y V_y . En este caso si $\theta=0$, V_y es igual a V_{sc} que es la velocidad teórica de descenso de la partícula crítica en un sedimentador horizontal. Si en cambio θ tiene algún valor, la velocidad V_y no es igual a

la velocidad V_{SC} que actúa en el sentido de la gravedad.

La velocidad V_{SC} puede determinarse si se consideran los triángulos semejantes BCD y EFG

$$\frac{e}{V_y} = \frac{L}{V_x} \quad (1)$$

Donde $V_y = \frac{a}{L} V_x$ (2)

6 $L V_y = V_x$ si $L = \frac{L}{a}$ (3)

Así mismo $V_y = V_{SC} \cos \theta$ (4)

$$V_x = V_C = V_{SC} \sin \theta \quad (5)$$

Donde V_x es la velocidad de traslación de la partícula que depende del ángulo θ . Reemplazando las expresiones (4) y (5) se obtiene:

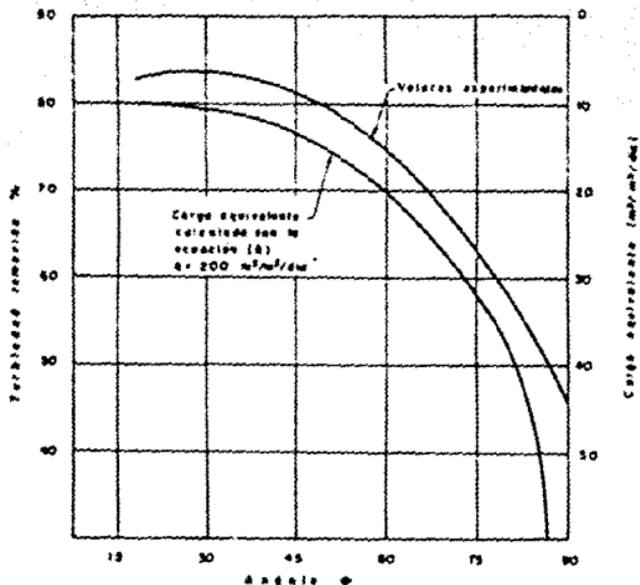
$$V_{sc} = \frac{V_0}{\text{Sen } \theta + L \cos \theta} \quad (6)$$

Que es la fórmula para encontrar la velocidad crítica en los sedimentadores de placas paralelas.

3.- Relación Angulo-Eficiencia.

En la ec. (6) se observa que para la misma carga superficial, por ejemplo: ($V_0 = Q/A = 200 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{dla}$ y $L = l/e = 1/0.05 = 20$), - las cargas equivalentes V_{sc} aumentan al incrementar el ángulo θ .

Esto significa que aunque se tenga el mismo flujo Q entrando al sistema y el mismo tamaño del tanque con solo variar la inclinación de las placas, se cambia la eficiencia - del sedimentador; esto se puede comprobar al comparar la - curva teórica con los valores experimentales, mostrados en - la siguiente gráfica.



COMPARACION ENTRE LA CARGA EQUIVALENTE CALCULADA CON LA ECUACION (8) Y LA TURBIEDAD REMOVIDA (Valores tomados de: Yoo, K.M., Theoretical Study of High-Rate Sedimentation, Jour. AWWA, vol. 64, 1972).

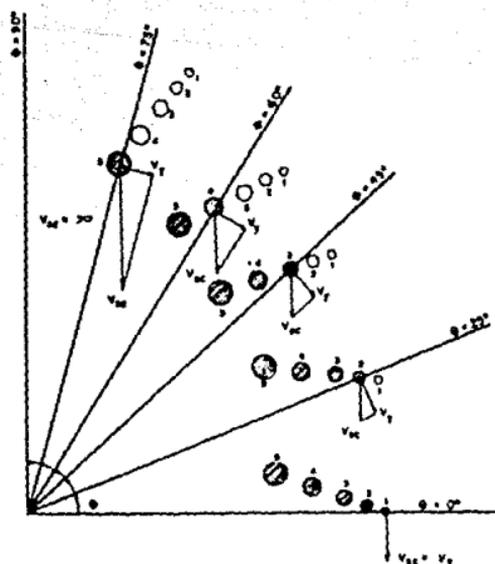
Como se observa, la mayor eficiencia en cuanto a la turbiedad removida se logra con un ángulo de 0° , sin embargo, no es posible en la práctica colocar las placas horizontalmente ($\theta = 0^\circ$), por la imposibilidad de mantenerlas limpias debido al poco espaciamiento que existe entre ellas; por lo tanto, se les tiene que dar una inclinación que sea lo sufi-

cientemente grande para que los lodos escurran hacia el fondo por su propio peso, pero no tan pronunciada que disminuya el rendimiento del sedimentador.

A partir de un ángulo de 45° , el porcentaje de turbiedad disminuye con mayor rapidez. Cuando se tiene una inclinación de 60° , la disminución alcanza un 6% con respecto a la calidad producida con un $\theta = 45^\circ$, y si llega a 75° , la disminución alcanzaría el 19%.

Se ha observado experimentalmente que un ángulo de 60° es suficiente para provocar la autolimpieza de las placas, ya que los lodos sedimentados en las mismas, se deslizan hacia el fondo del tanque, mezclándose con los que ascienden, lo que ayuda a la desestabilización de las partículas aún no coaguladas.

Para entender mejor la forma como influye el ángulo θ en el rendimiento de las placas de un sedimentador, se tiene la siguiente figura.



RELACION EFICIENCIA vs. ANGULO

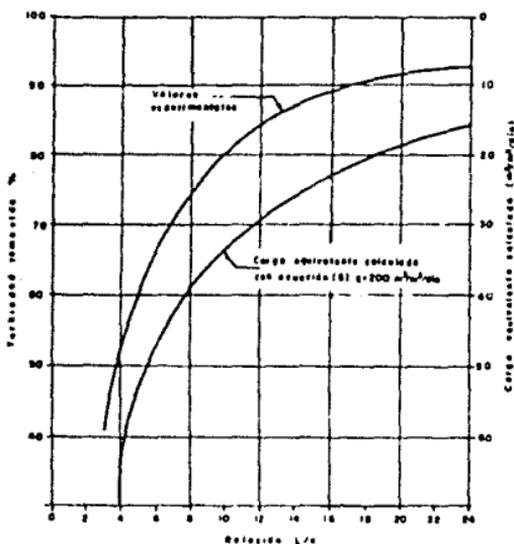
Particula removida 
 Particula no removida 

fig. 4.4

Se observa que al aumentar θ , V_{SC} se hace cada vez mayor que V_y ; la partícula crítica, es decir, la más pequeña - que el sedimentador puede remover, se hace progresivamente - más grande, lo que ocasiona que el sistema vaya perdiendo la capacidad de retener partículas finas, pues sólo las gruesas sedimentarán. Por lo tanto, la inclinación de las placas debe variar entre 45 y 60 grados, con tendencia a este último - valor, debido a que garantiza un mejor escurrimiento de lodos.

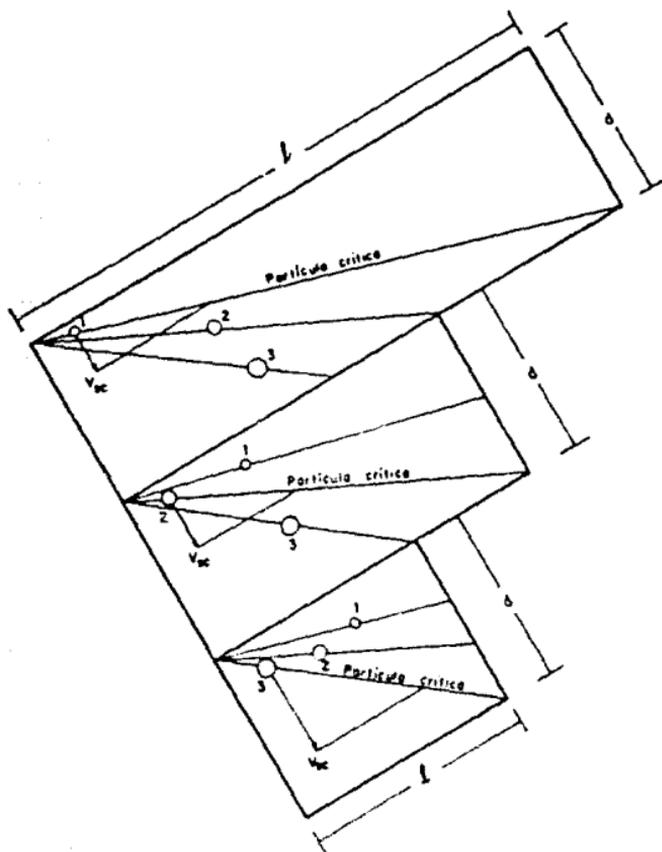
4.- Relación Profundidad-Eficiencia.

Al variar el espaciamiento e entre las placas ó la longitud L de ellas, se cambia la eficiencia del sedimentador. En la siguiente gráfica se observa que al disminuir la relación L/e , para la misma carga superficial $V_0 = 200 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{día}$, pero ahora con un valor constante $\theta = 60^\circ$; las cargas equivalentes (velocidades críticas) aumentan, lo que indica que el sedimentador pierde su capacidad para retener partículas finas.



COMPARACION ENTRE LA CARGA SUPERFICIAL CALCULADA CON LA ECUACION (6) Y LA TURBIEDAD REMOVIDA AL VARIAR L/e (Valores tomados de Yoo, K.M. "Actas del Simposio sobre Nuevos métodos de Tratamiento del agua", Asunción - Paraguay, 1972.)

Este fenómeno puede explicarse esquemáticamente con mayor facilidad, como se muestra a continuación. Se consideran tres partículas que caen en un sedimentador que tiene la misma profundidad d , pero tres diferentes longitudes.



RELACION EFICIENCIA vs. l/d

fig. 4.5

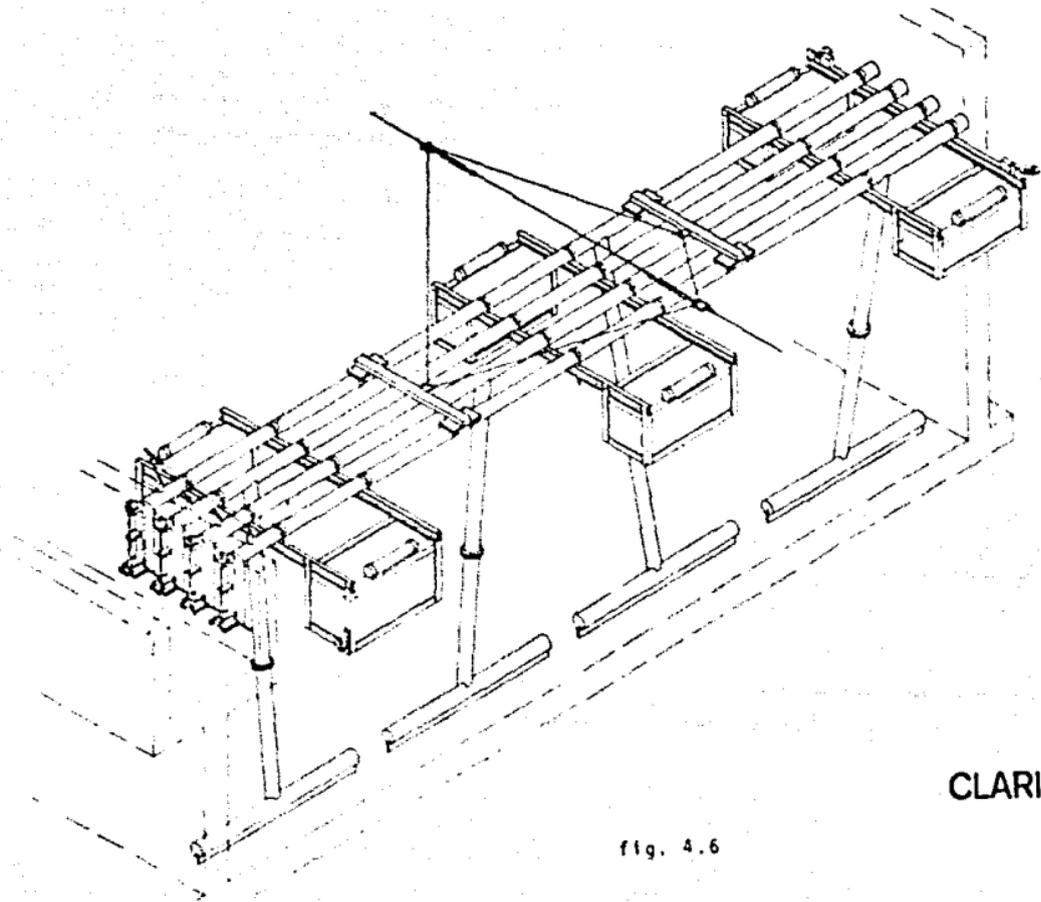
Es notorio que la partícula crítica que se puede captar en dichas unidades, se hace cada vez más grande a medida que la longitud se recorta, aunque la velocidad V_0 de avance del flujo entre las placas permanezca constante en los tres casos.

5.- Manejo de Lodos.

En un sedimentador de placas existen dos zonas de lodos: la que se forma en las placas y la formada en el fondo del tanque. Las características de estas dos zonas son muy diferentes.

Para el caso de las placas, la inclinación es suficiente ($\theta = 60^\circ$) como para que los lodos no se adhieran a la placa, sino que ruedan libremente en sentido contrario al flujo, impulsadas por su propio peso.

El fondo del tanque ó zona de recolección tiene características muy diferentes al caso anterior. La dificultad principal en el diseño de esta zona está en conseguir que la velocidad de transporte del agua bajo las placas, no sea mayor que la de arrastre de las partículas, para evitar que sean removidas del fondo del tanque. Esto implica la necesidad de instalar un sistema apropiado de recolección de lodos.



CLARI-VAC

fig. 4.6

Considerando que el fondo del sedimentador es horizontal y de forma rectangular, se requirió la instalación de un sistema de extracción llamado clarivac (Fig.4.6). Este sistema consiste en un conjunto de extractores que llegan al fondo del tanque recorriéndolo en toda su longitud mediante un sistema electro-mecánico. Los lodos extraídos con el clarivac son depositados en un canal recolector, el cual se encarga de llevarlos a un canal colector principal, mismo que los transporta hacia el tanque espesador de lodos, donde se les aplica un tratamiento para recuperar parte del agua acarreada en el proceso, así como parte del reactivo que pudiera volver a usarse; los lodos se depositaran (en el futuro), en una presa que será construída para tal fin, en las proximidades de la planta.

6.- Sistema de Entrada.

Se considera como zona de entrada a aquélla que permite el paso del agua hacia el sedimentador, mediante un sistema que evite la posible rotura del flóculo, debido a la energía del agua que proviene del floculador. Para tal efecto, se deben diseñar estructuras adecuadas que permitan el buen funcionamiento del sedimentador de placas, considerando que el agua floculada debe entrar directamente por abajo de las placas. Por lo tanto, se requiere tener un sistema de entrada que permita:

- Evitar velocidades que produzcan la rotura del flóculo.
- Distribuir el caudal lo más uniformemente posible en toda el área del sedimentador.
- Evitar chorros que provoquen movimientos rotacionales.
- Disipar la energía del agua
- Evitar altas velocidades que perturben los sedimentos del fondo.

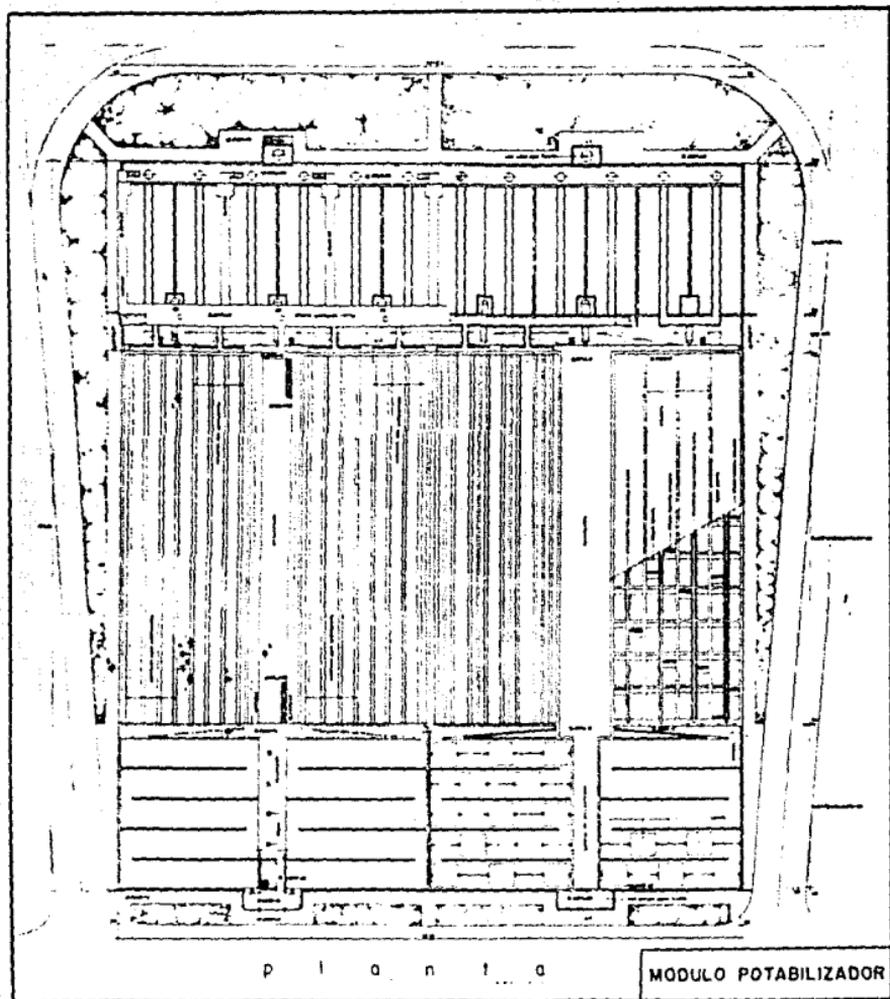
7.- Sistema de Salida.

La uniformidad con la cual el agua asciende por entre las placas, depende más del sistema de salida que del sistema de entrada, por lo tanto, debe ponerse gran cuidado en el proyecto de esta parte del sedimentador.

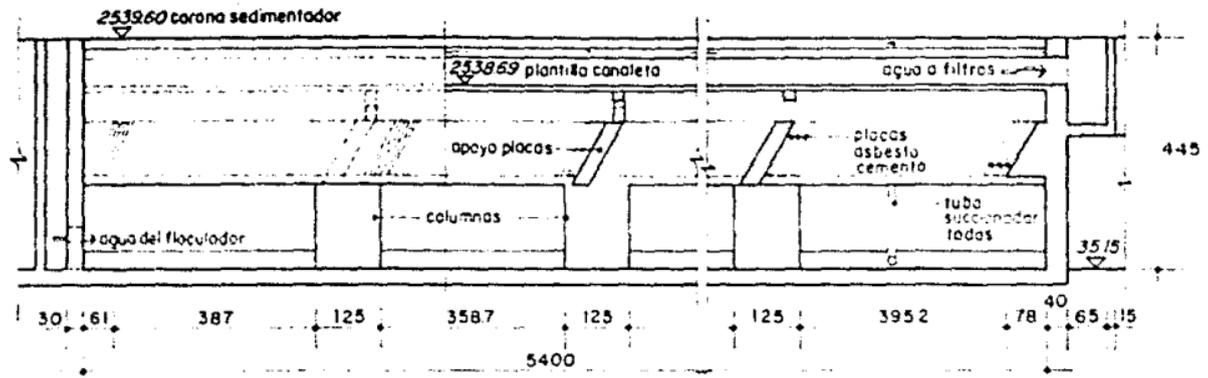
Se ha observado que cuando se construyen vertedores de salida solamente al final del tanque, como en el sistema tradicional la eficiencia del sedimentador de placas disminuye considerablemente, debido a que no trabaja toda el área cubierta por ellas, solo la que se aproxima a los vertedores, actuando el resto como zona muerta.

Para conseguir una mayor eficiencia del sistema de salida se emplean una serie de canaletas colectoras, distribuidas lon-

gitudinalmente y cuya finalidad es lograr una extracción un_
forme del flujo en toda el área del sedimentador.



55



i - i j - j k - k

c o r t e s

ESC. 1:100

fig. 4.7

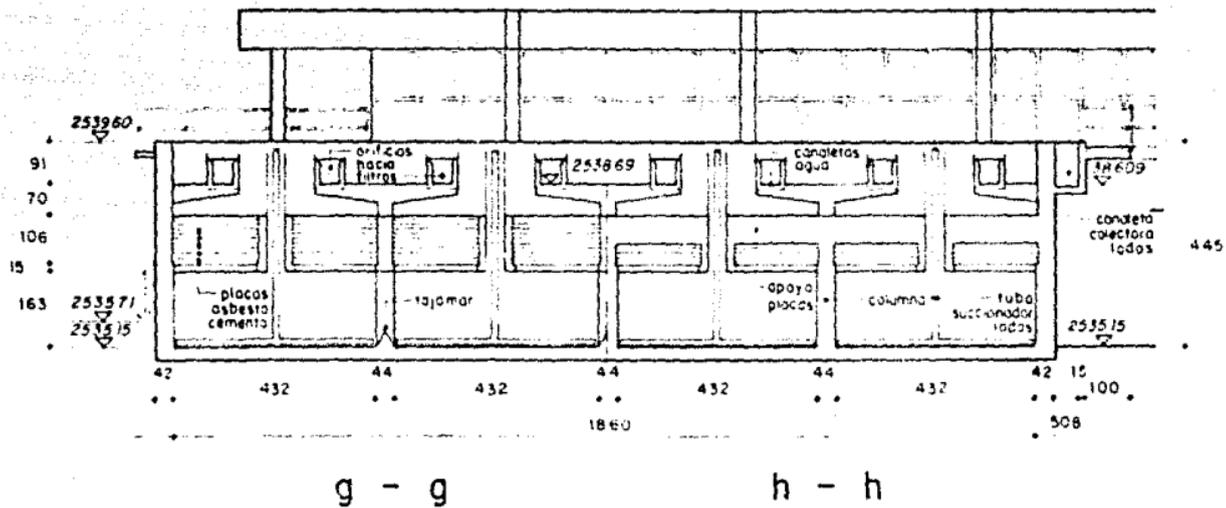
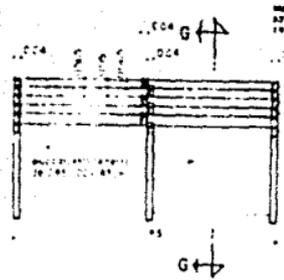


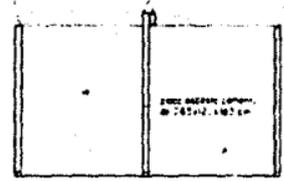
fig. 4.8

57



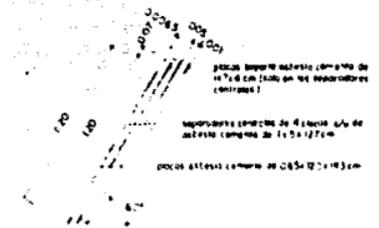
PLANTA
esc. 1:20

separadores interiores de 4 piezas, cada con dimensiones
de 125x125x125 cm. en el centro de las placas.



ELEVACION
esc. 1:20

separadores exteriores de 4 piezas, cada con dimensiones
de 125x125x125 cm. en el centro de las placas.



CORTE G-G
esc. 1:20

DETALLE DE PLACAS Y SEPARADORES

fig. 4.9

CAPITULO QUINTO

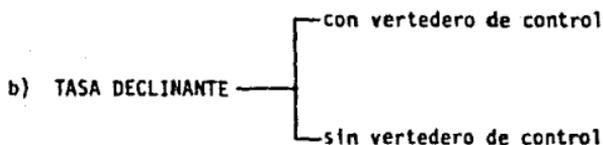
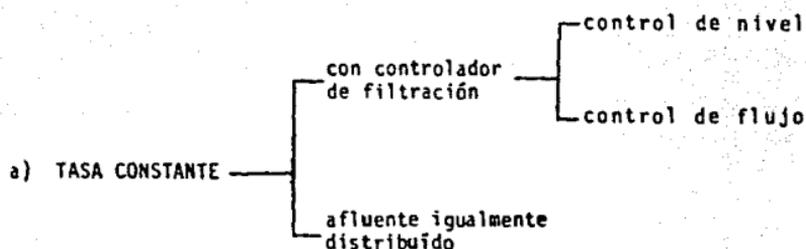
FILTROS

1.- Generalidades:

Las materias en suspensión no pueden eliminarse en su totalidad por simple sedimentación; el agua que sale de un sedimentador contiene siempre pequeñas partículas en suspensión - que será necesario eliminar si se desea una clarificación total, para tal fin se recurre a un proceso llamado filtración.

La filtración puede efectuarse en diversas formas: con - baja carga superficial (filtros lentos) o con alta carga superficial (filtros rápidos), en medios porosos (papel filtro) o en medios granulares (arena, antracita o combinados), con - flujo ascendente o descendente, y por último, el filtro puede trabajar a presión o por gravedad, según sea la carga hidráulica que exista sobre el lecho filtrante.

Los filtros rápidos requieren de algún sistema de control para regular la hidráulica del proceso, es decir, controlar el nivel del agua en proporción a la pérdida de carga que se produzca, por lo tanto, estos pueden dividirse en filtros de:



Si no se cuenta con el sistema de regulación, se notará cuando el filtro está limpio que todo el flujo que entra, sale, y el nivel de agua en el filtro no se restablece, quedando la superficie del lecho descubierta. Conforme transcurre el tiempo, la velocidad de filtración decrece lentamente y - el nivel de agua en el filtro va subiendo según la pérdida - de carga que se produzca hasta rebosarlo por completo si no

se toman medidas a tiempo, es decir, la necesidad de lavar la unidad. Esta es la razón por la cual se debe integrar un controlador de tasa de filtración; las unidades de filtración del Sistema Cutzamala quedan definidas como filtros rápidos de tasa declinante con vertedero de control.

En los procesos de filtración del agua se llevan a cabo diversas acciones, según el tipo de filtración de que se trate. En primer lugar, cualquier tipo de filtro tiene una acción inicial de colado de agua, reteniendo en su superficie las partículas en suspensión cuyo tamaño es superior al de los poros de la superficie filtrante; las partículas retenidas van formando, a su vez, un manto sobre la superficie, o en las capas inmediatas del filtro, que aumenta la eficacia del colado; en los filtros formados por una capa de material granular se dan además acciones de absorción de actividad biológica en el interior de la masa del filtro.

2.- Principios de la filtración del agua:

En las primeras instalaciones de filtración que se construyeron, se utilizó una masa de arena como medio filtrante, imitando lo que sucede en la naturaleza cuando las aguas se depuran al pasar a través del suelo. Se comprobó entonces - que la arena constituía el medio más apropiado para la filtración de agua.

Si se quiere eliminar la materia suspendida por filtración sobre un lecho de poca porosidad, el filtro se atascará rápidamente y no permitirá el paso del agua debido a la formación, en la superficie, de una capa impermeable resultante de la acumulación de las partículas retenidas.

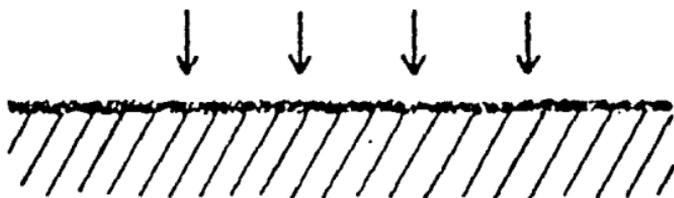


fig. 5.1

Por lo contrario, cuando se efectúa la filtración a través de una masa de arena, las impurezas penetran más o menos profundamente en esta masa.

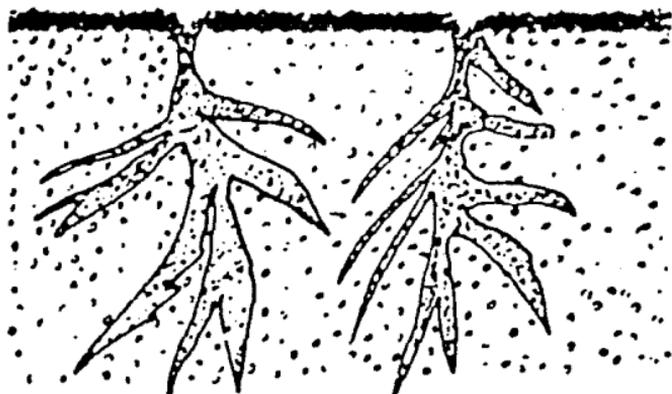


fig. 5.2

Al principio, cuando el filtro está limpio, estas impurezas quedan retenidas por las primeras capas; pero durante el funcionamiento del filtro, las impurezas van penetrando - cada vez más profundamente y puede llegar un momento en el - que se encuentren en el agua filtrada. Igualmente, este - - atascamiento progresivo de la masa de arena, que contribuye a reducir las secciones de paso libres entre los granos, pro - duce como consecuencia un aumento de la pérdida de carga del filtro. Llega el momento en que, ya sea porque la pérdida - de carga es excesiva, o bien porque la calidad del agua fil-

trada no es satisfactoria, es necesario proceder al lavado - de la masa de arena.

Un filtro de arena puede retener impurezas de dimensiones mucho menores que las de los espacios que se encuentran - entre los granos de arena. Esto se debe a que las impurezas pueden ser retenidas por adherencia a la superficie de los - granos (adsorción). En este fenómeno interviene la calidad de las materias en suspensión que se encuentran en el agua, - por ejemplo cuando se trata de sustancias coloidales, las impurezas pueden atravesar una masa de arena si no se neutraliza previamente su carga electrostática, por la adición de un producto floculante.

3.- Características generales de la unidad de filtración:

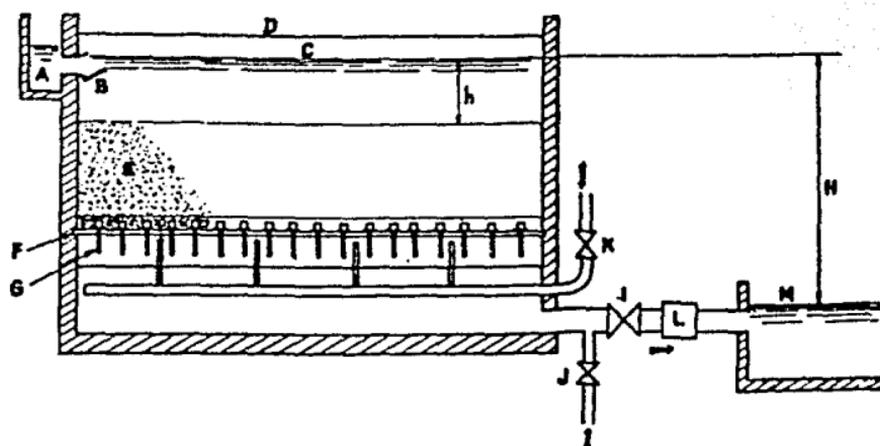
Esta unidad está constituida por un tanque rectangular de concreto, provisto de un falso fondo sobre el cual van sujetas numerosas boquillas colectoras de material plástico, - con finas hendiduras; estas boquillas están cubiertas por un lecho de grava y arena de 1.0 m. de altura. En el período de filtración, la altura del tirante de agua sobre la arena es del orden de 50 cm.

A cada lado de las paredes laterales del filtro va dis-

puesto un canal de evacuación de agua de lavado. También, debajo del falso fondo se encuentra la tubería de llegada de aire de lavado.

Durante el lavado del filtro, el nivel de agua se eleva hasta el canal de evacuación de lodos. En este momento, la altura de agua por encima de la arena se incrementa pocos centímetros, con lo que se consigue una evacuación muy rápida de los lodos y una economía muy apreciable en el consumo de agua de lavado. Debido a esta pequeña altura de agua, puede reducirse la altura total del filtro, y por lo tanto, se reduce también el costo de la instalación. También se reduce la duración de los lavados, que se realizan sin necesidad de eliminar previamente esta pequeña altura de agua.

Durante el funcionamiento del filtro, se debe mantener constante el nivel de agua para evitar que se descubra la arena o que desborde el agua en los canales de evacuación de lavado.



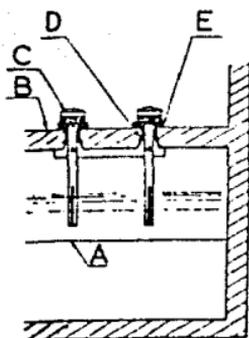
CARACTERÍSTICAS DEL FILTRO

A - Tubería de llegada de agua bruta
B - Válvula de entrada de agua bruta
C - Plano de agua en filtración
D - Vertedero de lodos
E - Lecho filtrante
F - Fondo
G - Boquillas colectoras

I - Válvula de salida de agua filtrada
J - Válvula de entrada de agua de lavado
K - Válvula de entrada de aire de lavado
L - Regulador
M - Plano de agua filtrada
H - Celda, 2 m aprox.
h - Altura de agua en filtración 0,35 m a 0,50 m.

fig. 5.3

El falso fondo está constituido por placas prefabricadas de concreto con algunos anillos que permiten la instalación de las boquillas colectoras mismas que se prolongan bajo el falso fondo mediante un tubo (cola de la boquilla). Este tubo tiene un orificio en la parte superior y una pequeña hendidura en la inferior.



A - Viga soporte
B - Fondo

C - Boquilla colectoras
D - Anillo empotrado

E - Junta de goma

fig. 5.4

En el momento del lavado, el aire introducido bajo el falso fondo, forma un colchón en toda su superficie inferior y penetra por los orificios de los colectores. Estos orificios, al encontrarse con una capa de aire a una presión uniforme, evacuan todos el mismo caudal de aire, que junto con el agua forman una mezcla que sube, uniformemente, a través de la masa filtrante.

4.- Lavado de la unidad de filtración:

Como ya se ha expuesto, el filtro está diseñado para tener un lavado por retorno de agua e inyección de aire; este proceso comprende las siguientes fases:

a) Un desatascamiento con un caudal pequeño de agua: Después de cerrar la válvula de agua filtrada, se pone en funcionamiento la bomba de lavado y se abre la válvula de entrada de agua de lavado, limitándose el caudal de retorno por debajo del fondo del filtro, a una velocidad de 6 a 8 m³/h por m². Este desatascamiento tiene por objeto crear una corriente ascensional que pueda arrastrar las impurezas de mayor tamaño que aparecen en el comienzo de la fase siguiente.

b) Un lavado con aire y un pequeño caudal de agua: Inmediatamente después, se pone a funcionar un grupo de compresores de aire, abriéndose la válvula de entrada de aire de lavado cuando el agua se encuentra próxima a alcanzar, sobre el filtro, el nivel de los vertedores de evacuación de lodos. Este lavado con aire y un pequeño caudal de agua de lavado, se mantiene durante 8 a 10 minutos, arrastrándose durante el mismo, a los canales de evacuación de lodos, la mayor parte de las impurezas que el aire consigue que se desprendan de la arena.

c) Un aclarado con mayor caudal: Se cierra la válvula de aire, se paran los compresores de aire, y al mismo tiempo se envía un caudal de agua de lavado mayor. El caudal de agua deberá ser aproximadamente de 20 m³/h por m². Esta operación -

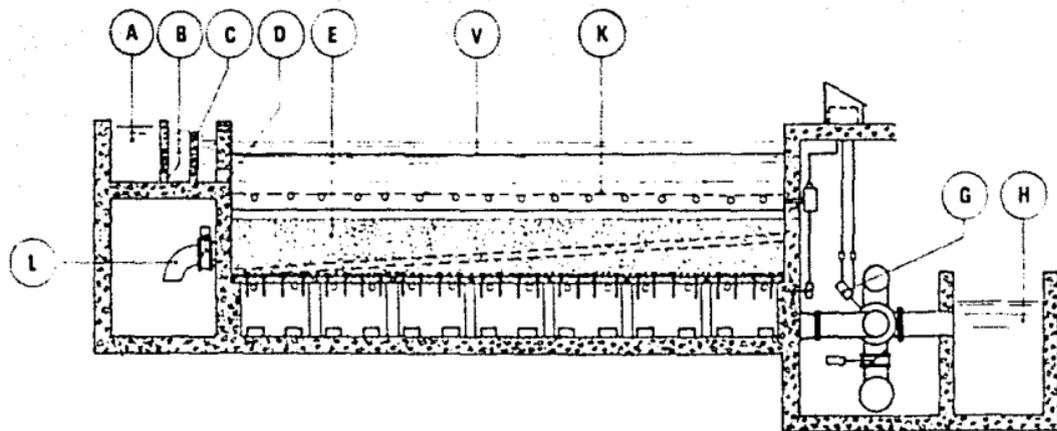
de aclarado dura de 5 a 6 minutos.

d) Cierre de válvula y paro de la bomba: Esta fase consiste en el cierre de la válvula de agua de lavado y en el paro de la bomba. El filtro, que en este momento solo contiene agua filtrada, se encuentra listo para entrar en servicio.

e) Puesta en servicio: Por simple apertura de la válvula de agua filtrada, el filtro se encuentra de nuevo puesto en servicio.

La duración normal del lavado de un filtro, teniendo en cuenta los tiempos de apertura y cierre de la válvulas, es de 15 a 20 minutos. La experiencia ha demostrado que respetando los tiempos indicados, se logra mantener el buen funcionamiento del filtro durante años, con seguridad absoluta.

UNIDAD DE FILTRACION



A.- CANAL GENERAL

B.- DIAFRAGMA

C.- VERTEDOR

D.- ORIFICIO DE LLEGADA

E.- LECHO DE ARENA

F.- CANAL DE AGUA FILTRADA

G.- SISTEMA DE REGULACION

H.- CANAL GENERAL DE AGUA FILTRADA

K.- CANAL DE LAVADO

L.- VALVULA DE AGUA DE LAVADO

M.- ORIFICIO DE LAVADO

V.- CAXALES EN V.

fig. 5.5

FASE DE FILTRACION

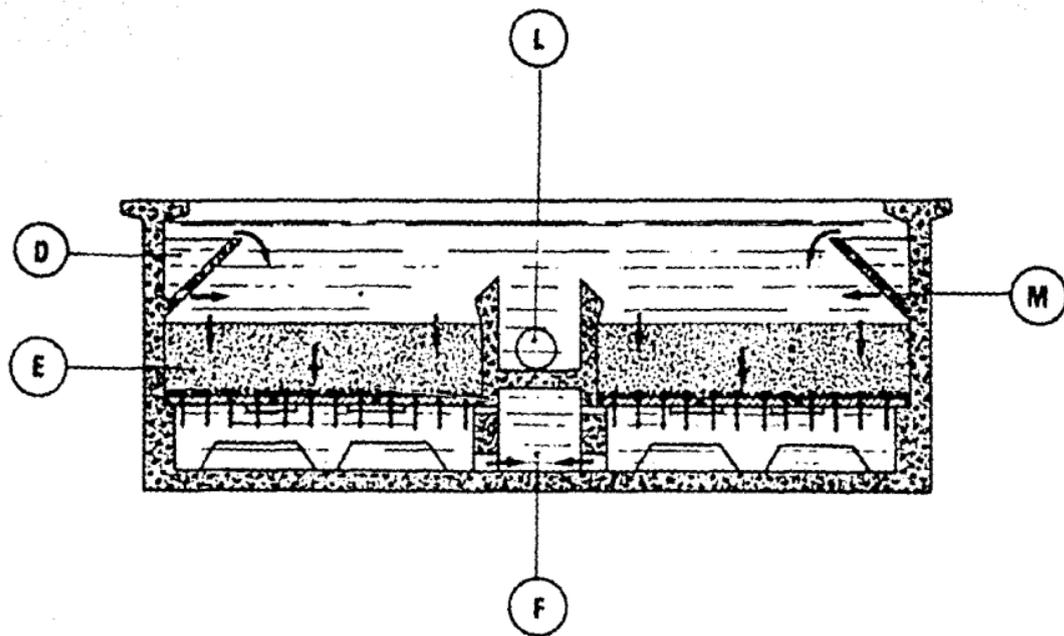


fig. 5.6

FASE DE LAVADO CON AIRE Y AGUA

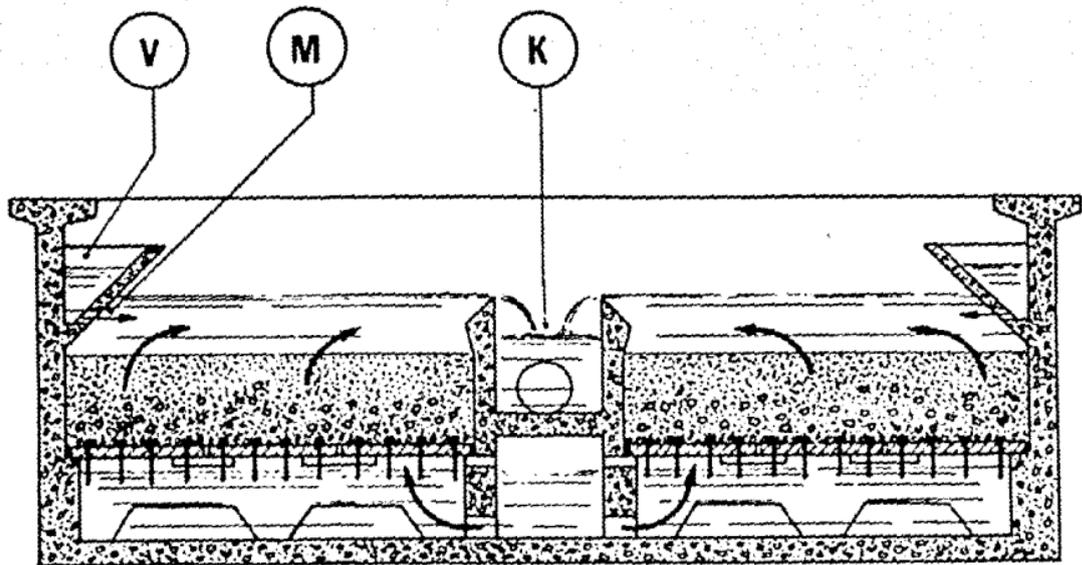
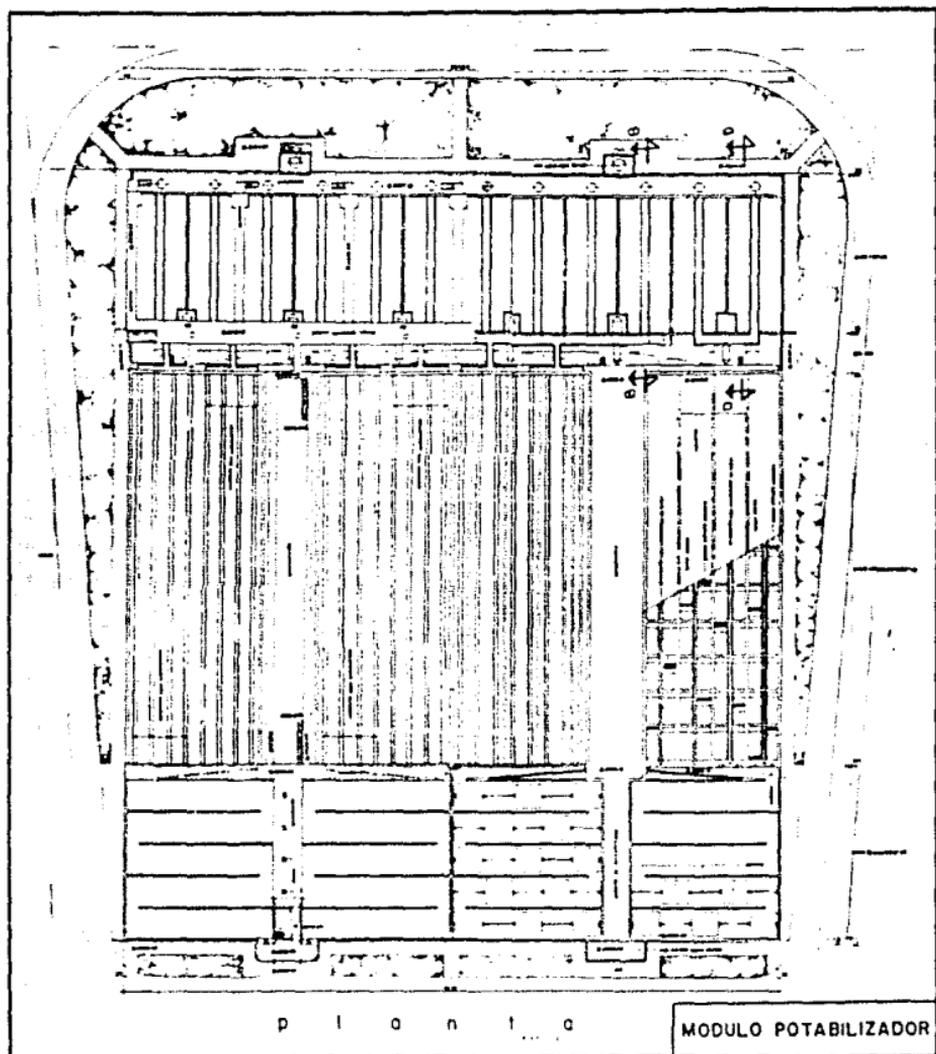
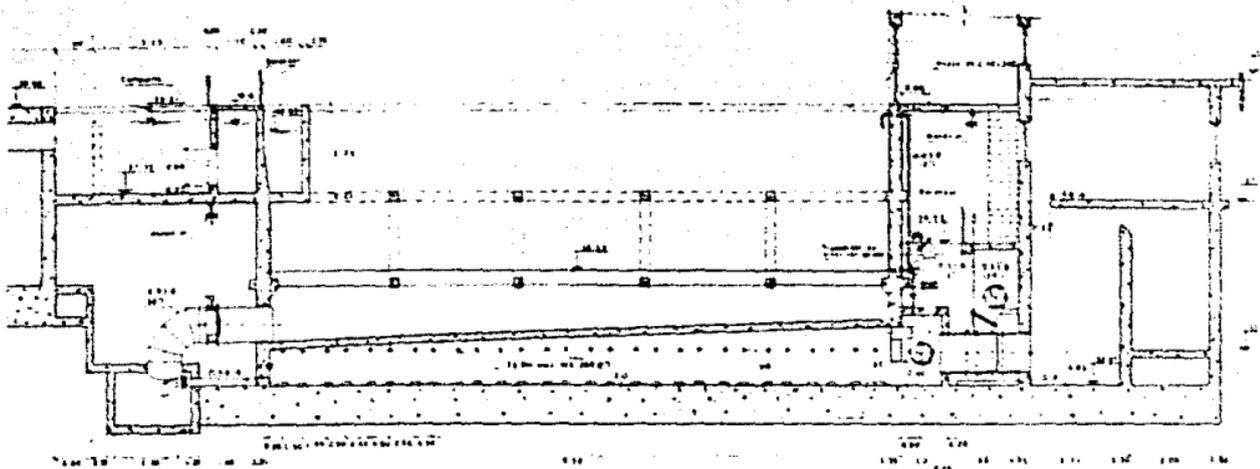


fig. 5.7





CORTE B-B

fig. 5.8

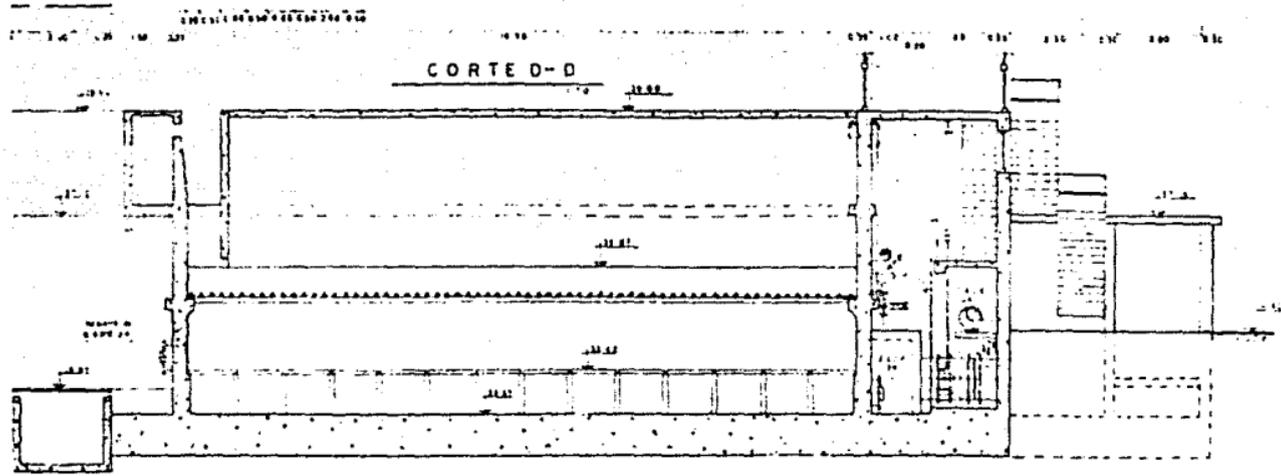


fig. 5.9

CAPITULO SEXTO

PROCESO CONSTRUCTIVO

1.- Proceso Constructivo:

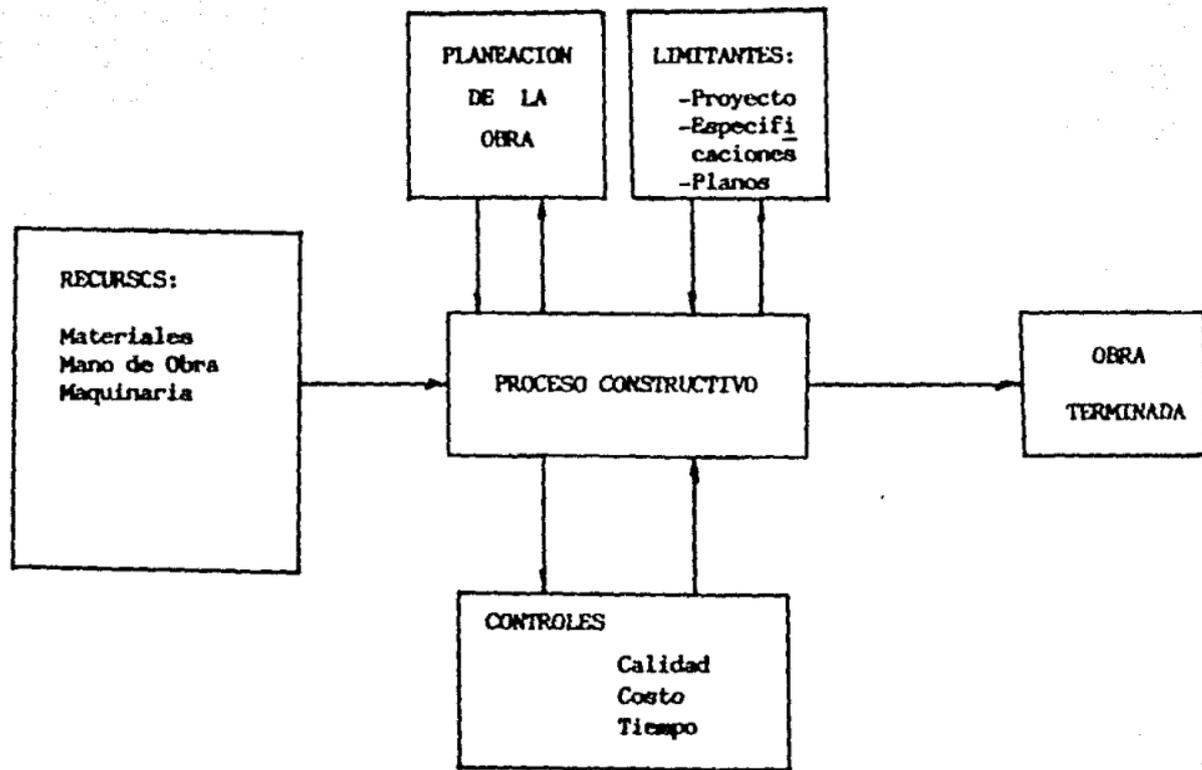
Se define al proceso constructivo como el conjunto de actividades que se ejecutan en forma ordenada a través del tiempo con el objeto de producir una obra con determinados objetivos. Estos objetivos varían de acuerdo a las características propias de la obra, siendo el más común el económico, aún cuando es factible que se presenten otros al mismo tiempo como pueden ser: el desarrollo de una zona, la obtención de márgenes razonables de seguridad, etc.

En la rama de la construcción, la ejecución física de una obra implica la realización de una serie de actividades, es por ello que la construcción de un módulo potabilizador del Sistema Cutzamala debe ser visto como un proceso constructivo.

2.- Recursos y limitantes (fig. 6.1):

La obra exige de la alimentación de elementos para llevarse a cabo, estos elementos se denominan recursos y se agru-

fig. 6.1



- pan en:
- a) Materiales
 - b) Mano de obra
 - c) Maquinaria y herramienta

Por otra parte, existen otros elementos que limitan la ejecución del proceso, estas limitantes son:

- a) Proyecto
- b) Planos y especificaciones
- c) Tiempo de ejecución
- d) Otros como son el costo, clima, etc.

La mejor combinación de estos recursos, tanto en cantidad como en calidad, el conocimiento de las limitantes y la definición de las relaciones entre ellos, permitirán el logro de un buen producto con el costo, tiempo y calidad deseados. Lo anterior muestra la necesidad de estudiar al proceso y a sus variables previamente a su ejecución, con el objeto de definir el grupo de decisiones que permitan el logro de los objetivos o dicho de otra manera, se tiene la necesidad de preveer lo que acontecerá en el campo.

3.- Programación del Proceso Constructivo:

Se entiende por programación de un proceso, al ordena-

miento a través del tiempo de sus actividades ya planeadas - en una forma lógica y racional, con el objeto de seguir tanto su desarrollo como el de las variables que lo afectan, tomando en cuenta siempre las restricciones, los recursos y los objetivos señalados.

Los programas serán por lo tanto herramientas para el control del proceso y existirán tantos de acuerdo al número y tipo de variables que se desee vigilar, por ejemplo: los costos por actividad o período de tiempo; las necesidades de recursos, etc. Estos programas tendrán diferente función y uso dependiendo de quien sea la persona que los utiliza - (constructor, supervisor, cliente, etc.)

Estas funciones pueden ser:

- Programar las necesidades de los diferentes recursos a usar en el proceso a través del tiempo.
- Evaluar en determinado instante el desarrollo del proceso.
- Detectar desviaciones en las decisiones planteadas originalmente, mediante su comparación con la realidad.
- Formular medidas de corrección de los efectos producidos por las desviaciones retroalimentando así el proceso.

ESTA TESIS DEBE SALIR DE LA BIBLIOTECA

4.- Fases de la Programación:

La programación de un proceso consta de las siguientes fases:

- a) Selección de la duración de cada actividad.
- b) Selección del tiempo de iniciación de cada actividad.
- c) Cálculo de los tiempos de terminación y holguras - de cada actividad.
- d) Representación gráfica del proceso en un diagrama de barras.

La selección de la duración de cada actividad deberá hacerse teniendo en cuenta la influencia de dicha duración en los siguientes factores:

- a) Duración del proceso
- b) Costo y recursos requeridos para realizar la actividad.
- c) Costo del proceso.

La selección del tiempo de iniciación de cada actividad depende de:

- a) Secuencia de la actividad respecto a las otras actividades del proceso, de acuerdo con el plan elaborado.

- b) Posibilidad de desplazar la terminación de la actividad sin retrasar la duración del proceso.
- c) Distribución eficiente en el tiempo de duración del proceso y de los recursos necesarios para efectuarlo.

Por último, teniendo en cuenta todos los tiempos anteriores, se procede a representar graficamente al proceso de tal forma que se pueda asignar fechas y recursos a cada actividad, como se muestra en los siguientes diagramas.

5.- Diagrama de barras (Método de Gant)

Ante la necesidad de preparar un programa de trabajo para la ejecución de un proceso, antes de iniciarlo, se ha ideado el método de Gant, mejor conocido como Diagrama de Barras. La finalidad del método es tener una representación grafica de las actividades que componen un proceso con la información de duración, inicio y termino de las mismas, y que esta información sea fácil de asimilar y de manejar.

Los pasos tradicionales para la aplicación de este método son los siguientes: a) se determinan las principales actividades del proceso, tratando de no omitir ninguna y de --

acuerdo con la experiencia en procesos similares.

b) se enlistan las actividades siguiendo un orden secuencial de realización.

La duración de las actividades se estima en relación a los recursos y restricciones, tanto del proceso como de quién los va a ejecutar, así como las condiciones del sitio de la ejecución y otros factores que la experiencia indique.

Para la elaboración del diagrama se considera una relación de actividades, las cuales son representadas, cada una, por una barra que a la debida escala, nos define sus tiempos de duración, de terminación y las holguras que se den, (fig. 6.3). El diagrama descrito puede estar referido a diversas unidades de tiempo como son: días, semanas, meses, etc., en función del proceso o programa por controlar.

Como se observa, este método puede ser interpretado sin problema, inclusive por personas sin conocimientos técnicos. Sin embargo, el diagrama de barras considerado como medida de planeación, programación y control, representa diversas deficiencias como son: a) Dificultad para representar la secuencia de ejecución de un gran número de eventos ya que solo es posible considerar actividades principales; b) El con-

trol de actividades menores se deja a juicio de los responsables de obra, siendo preciso supervisar continuamente el desarrollo del proceso para tener un control eficiente del mismo; c) También es difícil decidir y definir las actividades más importantes que controlan la duración del proyecto, es decir, aparentemente todos los eventos son de igual importancia; d) por la forma tan general en que se desglosan las actividades, no es posible asegurar la forma precisa de terminación de cada una de ellas. e) Así mismo, no es posible prevenir las demandas de recursos (materiales, humanos, equipo, capital, etc.), requeridos para realizarlo.

El diagrama de barras es un método bastante cualitativo pero que si se complementa con otro más racional como el método de la ruta crítica se vuelve una herramienta muy importante.

6.- Diagrama de Flechas (Método de la Ruta Crítica).

El método de la ruta crítica es un sistema de programación y control que permite conocer las actividades que definen la duración de un proceso y que se representa mediante un diagrama de flechas.

El primer paso para la elaboración del diagrama de flechas es definir el listado de actividades, considerando el -

orden de ejecución de las mismas así como su duración. Para asignar una duración a cada actividad, es necesario conocer los volúmenes de obra a ejecutar, el rendimiento por cuadrilla y el número de cuadrillas para obtener el tiempo de duración de cada actividad.

$$\text{Duración} = \frac{\text{volumen de obra a ejecutar}}{\text{Rend. cuadrilla} \times \text{No. de cuadrillas}}$$

Para la construcción de la grafica de flechas: a) se trasa una flecha por cada actividad, anotando su duración estimada; b) se analiza cada actividad y se determina cual o cuales se pueden hacer inmediatamente después de terminar la primera; c) se analizan nuevamente las actividades y se determina cual o cuales deben preceder inmediatamente antes de empezar la actividad en cuestión; d) se utilizan flechas y nodos que representen a las actividades precedentes y siguientes a la ya trazada; e) se numeran los nodos de la grafica.

Para calcular la red es necesario definir conceptos de - las fechas de inicio y termino de cada actividad:

I_p = fecha de inicio más próxima

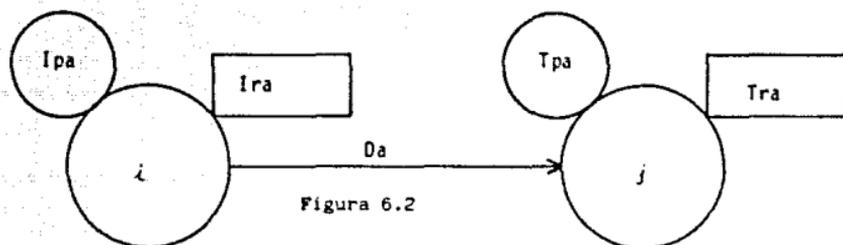
I_r = fecha de inicio más remota

Si a estas fechas le sumamos la duración de cada activi-dad, tendremos como resultado:

T_p = Fecha de terminación más próxima

T_r = Fecha de terminación más remota

A efecto de tener esta información en la red se usa la siguiente notación.



Para calcular la iniciación próxima de cada actividad, se considera que el inicio o el evento cero es el arranque de la red, de forma tal que si tenemos la actividad 1-2 y esta tiene una duración de dos unidades, la actividad que se puede iniciar inmediata a la 1-2 tendrá como $I_p=2$ y así sucesivamente.

Para el cálculo de la terminación remota, el proceso es inverso puesto que una vez que le dimos las duraciones a todas las actividades y que calculamos todos sus I_p 's, podemos ver que el evento final tiene un I_p que equivale al tiempo de duración total de la red; conviene aclarar que al efectuar el procedimiento del cálculo de los I_p 's, en el caso de que

a un evento llegue más de una actividad, el l_p que se anotará en dicho evento será el que tenga un valor mayor. Así, la Tr será calculada al inverso, pues partimos del evento final y se va descontando la duración de cada actividad y, en el caso de que de un evento salga más de una actividad, la Tr -- que se anote será la de menor valor.

A partir de la integración del diagrama de flechas y una vez establecida la duración de cada actividad, estas son representadas como la longitud de cada flecha en el diagrama. Considerando estas longitudes podemos encontrar la serie de flechas que sumadas darán la longitud máxima, cuyo valor es la representación de la duración del proyecto. Las actividades que forman la serie o sucesión de longitud máximas son llamadas actividades críticas, las que a su vez dan lugar a lo que conocemos como ruta crítica, (fig. 6.4).

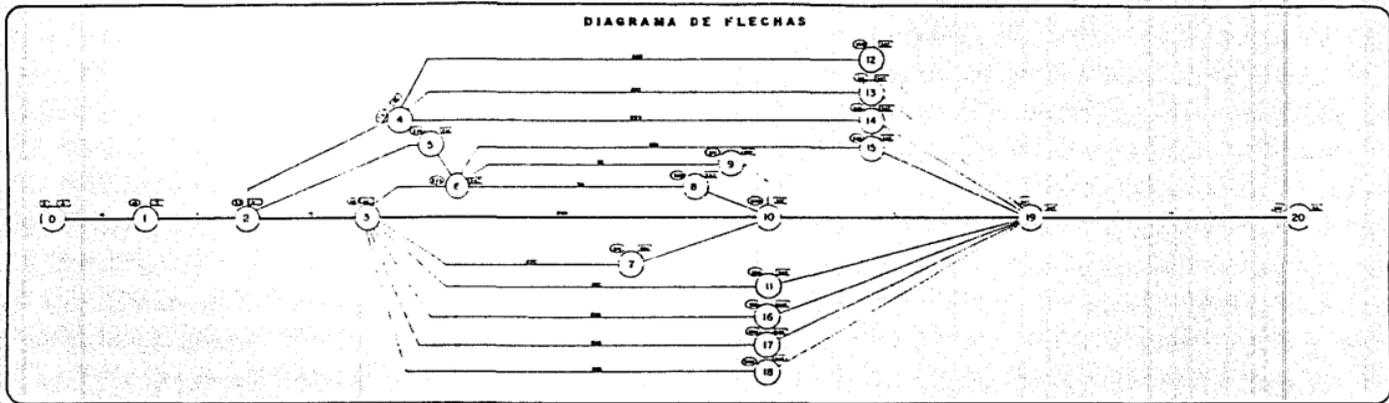
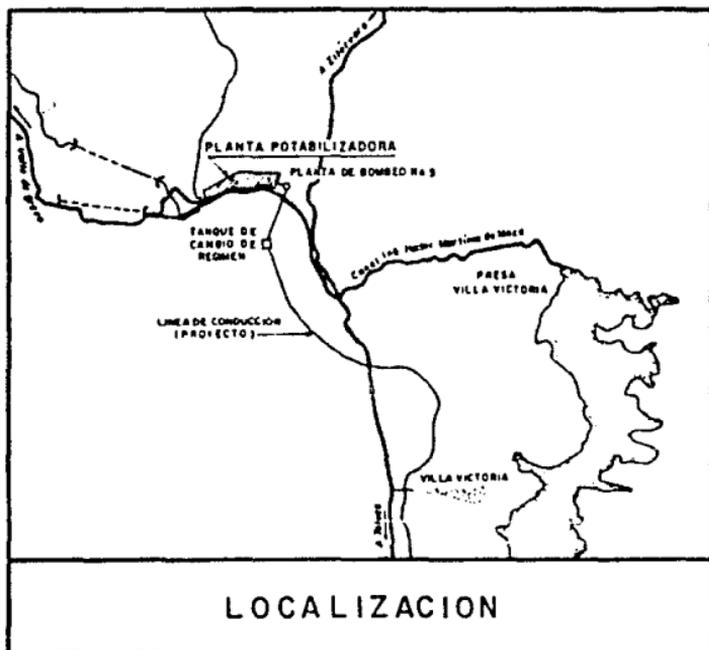


fig. 6.4

CAPITULO SEPTIMO
DESARROLLO DE LA OBRA

La planta potabilizadora del Sistema Cutzamala esta siendo construida en el sitio conocido como Los Berros, Municipio de Villa de Allende a 56 kil6metros de la Ciudad de Toluca en el Estado de M6xico, justo al borde de la carretera que conduce a Valle de Bravo. Este lugar est6 constituido b6sicamente por terrenos en lomerios, con tepetates de dureza media y -- con pendientes aproximadas al 4%.



1.- Excavación:

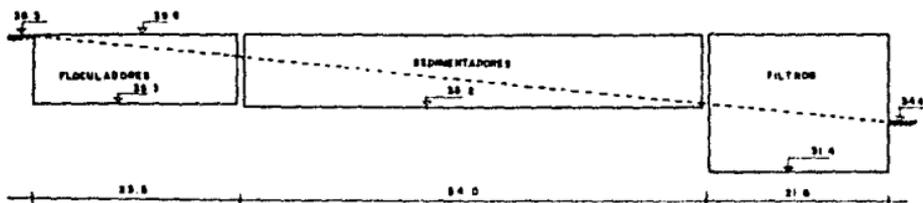
Los trabajos para la construcción de un módulo potabilizador dan inicio con el trazo de los ejes marcados en el proyecto, así como el establecimiento de diversos bancos de nivel, mismos que servirán durante todo el proceso constructivo.

Una vez que se tiene el trazo y los niveles, se procede a la excavación donde se alojará la estructura; ésta se realiza con equipo mecánico que permite la carga directa a los camiones que transportan el producto de la excavación a la zona elegida para su colocación; este sitio se localiza fuera del perímetro que comprende la planta, realizándose acarreos de hasta 3 kilómetros.

La excavación debió afinarse hasta el nivel marcado por el proyecto, debido a que recibiría el vaciado directo del concreto (plantilla). El afine se realiza con la menor anticipación posible al momento del vaciado de concreto, a fin de evitar que el terreno se debilite o altere por el intemperismo.

De las tres partes que conforman el módulo potabilizador

los filtros resultan ser las estructuras que mayor tiempo requieren para su construcción debido a lo complicado de sus elementos: (tuberías metálicas, falsos fondos, sistemas de bombeo para aire y agua, etc.), esto hace suponer que para equilibrar el programa de construcción de los tres sectores del módulo, los filtros serían quienes marcaran el inicio de la construcción; sin embargo, si se considera el perfil del terreno, con respecto a las excavaciones y después de realizar un estudio para optimizar recursos, resultó más conveniente iniciar los trabajos en los floculadores, a fin de evitar la excavación en contrapendiente; esta determinación estuvo apoyada en los análisis de costo-tiempo de la maquinaria requerida para la excavación del módulo, costo que hubiera aumentado considerablemente si no se tomaba la decisión antes mencionada.



PERFIL DE EXCAVACION

(LAS ELEVACIONES ESTAN EN METROS, LAS COTAS CORRESPONDEN AL PROYECTO ORIGINAL)

2.- Cimentación

Concluida la excavación, y por necesidades constructivas se coloca una plantilla de concreto simple, de 10 cm. de espesor y una resistencia $f'c = 100 \text{ kg/cm}^2$. Esta plantilla tiene como finalidad el servir de transición entre el terreno natural y la losa de cimentación, así como el permitir, en forma adecuada, los trabajos de suministro y colocación de acero de refuerzo de dicha losa.

La losa de cimentación está constituida por una estructura reticular de concreto armado de 100 cm. de espesor, aligerada con casetones de poliuretano de 80 x 80 x 80 cm. La losa tiene dos juntas constructivas que transversalmente lo dividen en tres secciones.

El colado de la losa se lleva a cabo en forma continua, sin permitir alguna junta fría, para obtener el elemento estructural monolítico marcado en el proyecto.

A partir de la losa de cimentación se inicia el desplante de los otros elementos estructurales que forman el módulo. Estos elementos están constituidos por muros de concreto armado con espesores y alturas diversas; losas y traveses de diferentes magnitudes y proporciones; columnas, castillos y contravientos; preparaciones para recibir tuberías e instalaciones electromecánicas; y finalmente, los detalles de la obra civil tales como: pequeños muros de tabique, firmes de concreto, escaleras, rampas, albañales, registros y otros más.

3.- Acero de Refuerzo:

Para la ejecución de esta obra, se tiene especial cuidado en el control de los materiales, ya que la calidad de los mismos debe cumplir, en todos sentidos, con las especificaciones del proyecto.

Todo el acero: varillas, alambres, cables, soleras, ángulos, rieles y otros elementos estructurales son transportados a la obra sin oxidación perjudicial, exentos de aceite o gra

sas, y sin quebres o deformaciones de la sección. Ya en obra, el acero se almacena para protegerlo de la humedad a fin de evitar su oxidación.

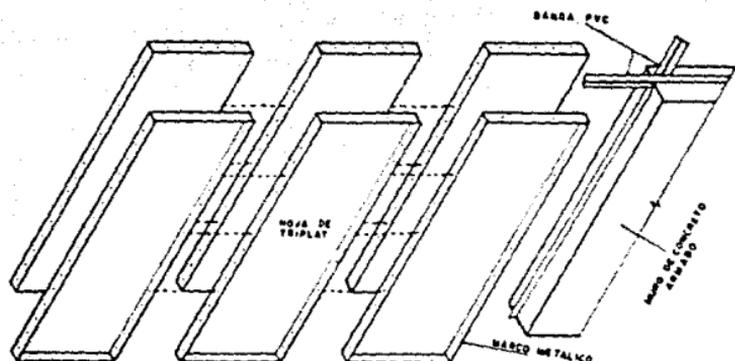
Se eligen sitios para el habilitado del acero, que no obstruyeran las actividades cercanas a la obra (excavaciones, zonas de acarreo, accesos, etc.), posteriormente se continua con el armado y colocación; se verifican sus dimensiones, separación, amarre, forma y posición según el proyecto; cuando se cumple con estas condiciones, se procede a la colocación de la cimbra.

4.- Cimbra

La cimbra empleada en la estructura es, básicamente, del tipo modular, ya que representa ventajas si se le compara con otro tipo de cimbra en cuanto al costo de la renta, tiempo de instalación, número de usos y el logro del acabado aparente especificado. Esta formada por hojas de triplay con un marco de acero, unida y fijada entre sus elementos por grapas y separadores.

Esta cimbra es lo suficientemente fuerte para resistir la presión resultante del vaciado y vibración del concreto,

lo suficientemente rígida para mantener su posición correcta y lo suficientemente impermeable para evitar la pérdida de la lechada.



CIMBRA MODULAR

Debido a que la cimbra permite un desplazamiento en toda la longitud del eje estructural, se requiere que ésta tenga un traslape adecuado con el concreto endurecido de manera que al hacer el siguiente colado, la cimbra no se abra, permitiendo la pérdida de lechada en las juntas.

Antes de armar la cimbra, se verifica que este libre de incrustaciones de concreto, lechada u otros materiales que pudiera contaminar el colado; asimismo, las superficies de contacto se lubrican con aceite para evitar en forma efectiva la adherencia y el manchado del concreto.

Al finalizar el colado, la cimbra se deja en su lugar hasta que el concreto frague y se autorice su remoción. El descimbrado se efectúa con todo cuidado para no dañar el concreto y tan pronto como sea posible para aplicar el compuesto sellador (curado) en las superficies y reparar los posibles desperfectos del concreto.

5.- Concreto

El concreto utilizado en la obra se elabora con cemento - Portland tipo II, agregados fino y grueso, agua y aditivos para obtener propiedades específicas del concreto.

Al llegar el cemento a la obra, se almacena en uno de los edificios que previamente se construyeron y que forma parte del conjunto de la planta; el local reúne las condiciones necesarias para evitar las alteraciones del cemento debido al intemperismo (viento, lluvia, humedad). El almacenamiento y manejo de los agregados se hace de manera que no se altere la composición granulométrica de los mismos, asimismo, se evita la contaminación con polvos u otras materias extrañas.

La dosificación necesaria para elaborar el concreto es la

que permita, una resistencia $f'c=250 \text{ kg/cm}^2$ fijado en el proyecto; en algunos casos dependiendo del elemento estructural, se agrega a la mezcla un aditivo impermeabilizante o un acelerante que permita reducir el tiempo de fraguado.

La hechura del concreto se realizó, predominantemente, - en una planta dosificadora instalada para satisfacer la demanda de concreto de todo el conjunto. Se disponía de cuatro camiones revolventoras para el transporte y una bomba de dos pistones de impulsión para colocarlo. También hubo necesidad de instalar una grúa-torre de 60 m. de longitud y 40 m. de altura, para llegar con una vagoneta hasta los sitios donde no se podía bombear por la dificultad del acceso. Así mismo se utilizaron, para el transporte y colocación de pequeños volúmenes, botes, carretillas y canalones.

Al efectuar el transporte por bombeo, se instaló el equipo fuera de la zona de colado de tal manera que no produjera - vibraciones que dañaran el concreto fresco.

Antes del colado de cualquier estructura, se solicitaba - la autorización del grupo supervisor quién daba su visto bueno después de inspeccionar las elevaciones, dimensiones y preparaciones de la cimbra; la correcta colocación y firmeza

del acero, el alineamiento y recubrimiento del mismo; la preparación de las tuberías y conducciones eléctricas; la banda de PVC que sirve como junta en la unión de dos concretos; y finalmente, la limpieza de los trabajos previos al colado. Al tener todos estos requisitos, se obtiene la autorización para el colado.

Durante el proceso del colado, el acomodo y compactación del concreto dentro de la cimbra, se logra mediante el uso de vibradores de inmersión, los cuales se utilizan en número suficiente para asegurar un correcto acomodo de la revoltura, de acuerdo al volumen correspondiente a la etapa que debiera colarse; con esto se logra un concreto compacto, de textura uniforme y una superficie tersa en sus caras visibles. Se evita el vibrado excesivo para impedir cualquier segregación, así como el contacto directo del vibrador con el acero de refuerzo, que afecta a las partes previamente coladas o modifica la posición del acero de refuerzo.

Finalmente, el curado necesario para lograr un fraguado y endurecimiento correcto, se logra conservando la humedad superficial, mediante la aplicación, a las superficies expuestas, de una membrana impermeable que impide la evaporación del agua contenida en el concreto.

COMENTARIOS Y CONCLUSIONES

Garantizar el abasto de agua potable a la población capitalina, ha sido posible gracias a una inversión de muchos millones de pesos y a un costo social muy elevado.

No hay duda de que la puesta en marcha del Sistema Cutzamal, constituye una de las obras más importantes de los últimos tiempos; en ella no se han escatimado esfuerzos ni recursos para contratar un gran número de personas, quienes durante muchos meses construyeron un acueducto de concreto de 95 - Km. de longitud y 2.50 m. de diámetro; seis plantas de bombeo; dos túneles de más de 18 Km.; 120 Km. de caminos de operación y una enorme planta potabilizadora con capacidad para tratar 24 000 litros de agua por segundo.

Sin embargo, todas esas cifras son fácilmente rebasadas por la misma magnitud de la obra, y sobre todo, por el enorme esfuerzo encaminado a satisfacer las necesidades de una creciente población, a la que hacer llegar los recursos naturales, como el vital líquido, resulta cada día más difícil y costoso.

El nuevo sistema, no solo significa un importante esfuerzo económico y humano sino también social, ya que para contar con más agua fué necesario acudir a las reservas naturales de

los pobladores de una amplia zona del Estado de México quienes ahora tendrán que compartir ese líquido, que antes fuera destinado exclusivamente a la agricultura y a la ganadería, con los habitantes de la Ciudad de México. Todo lo anterior solo podrá ser justificado mediante el adecuado aprovechamiento de un recurso que es de todos, de los presentes y por supuesto de las futuras generaciones.

La realización del presente trabajo tuvo como objetivo el mostrar los antecedentes y realización del Sistema Cutzamala, así como el funcionamiento y construcción de un módulo potabilizador; por lo tanto, se dan a continuación las siguientes conclusiones:

PRIMERA:

Ante la difícil situación que presenta la Ciudad de México - que por un lado se manifiesta como un incontrolado crecimiento demográfico y por otro como un hundimiento provocado por la sobreexplotación de los mantos acuíferos del D.F., se integra un plan de acción inmediata; este consiste en traer el agua de cuencas externas a la del Valle de México y poder satisfacer la demanda del Área Metropolitana. Sin embargo, este plan tiene un atraso de 6 años por lo que se deberán tomar medidas alternas, como disminución en el abastecimiento

de agua, para lograr una distribución adecuada.

SEGUNDA:

La primera etapa del Sistema Cutzamala entró en operación en 1982, la segunda en 1985, y por decisiones del Gobierno quedó detenida la obra durante cuatro años, por falta de recursos económicos; en este momento se continúa la construcción de la tercera etapa y se espera que entre en funcionamiento a finales de 1991.

TERCERA:

En lo referente al funcionamiento de la planta potabilizadora y al módulo potabilizador en particular, se puede decir que es adecuado ya que se obtiene agua con las características especificadas en las normas. Sin embargo, el costo de producción se eleva por el mal funcionamiento de algunos elementos - como el tanque separador de lodos y del almacén de dosificación de cal, los cuales se mantienen, aún, inertes; asimismo existen otros detalles de mantenimiento que determinan una - inadecuada operación: Canaletas colectoras pandeadas, paletas agitadoras en mal estado, motores descompuestos, etc., y por otro lado, un excesivo consumo de agua que no se recupera inmediatamente: agua de lavado de filtros, y el agua con lodos recolectada de los sedimentadores. Todo esto, como se dijo - eleva el costo de producción.

CUARTA:

En el capítulo sexto se presentaron los elementos que definen al proceso constructivo: recursos y limitantes, planeación, programación y desarrollo; todo esto como un instrumento para lograr una obra con determinados objetivos. También se resume en este capítulo el método de la ruta crítica que combinado con los diagramas de Gant se logra una herramienta poderosa puesto que permite una mejor visualización de la distribución de actividades y recursos a través del tiempo.

QUINTA:

En el último capítulo se describe la construcción de la obra civil del módulo potabilizador; la obra planteada, en realidad no ofrece la posibilidad de grandes y sofisticados estudios para su diseño y construcción, esto se debe a su magnitud y a su simplicidad constructiva. Sin embargo, se presentaron las fases más importantes en el desarrollo de la obra. Finalmente, del procedimiento de construcción elegido, es importante señalar que se tomó más en cuenta el aspecto económico, ya que el sistema constructivo fue fijado en base al factor tiempo (por razones políticas).

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

- 1.- TEORIA, DISEÑO Y CONTROL DE LOS PROCESOS DE CLARIFICACION DEL AGUA.
Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS)
Serie técnica No. 13
- 2.- CONTROL DE CALIDAD Y TRATAMIENTO DE AGUA
American Water Works Association, 1980
- 3.- MANUAL TECNICO DEL AGUA
Degrémont, 1976
- 4.- ESPECIFICACIONES DE CONSTRUCCION PARA PLANTAS POTABILIZADORAS
Comisión de Aguas del Valle de México
S.A.R.H. 1980.
- 5.- APUNTES DE INTRODUCCION AL PROCESO CONSTRUCTIVO
Ing. Ernesto Mendoza Sánchez
Facultad de Ingeniería, 1985

6.- APUNTES DEL CURSO "PROGRAMACION Y CONTROL DE OBRAS"

División de Educación Continua

Facultad de Ingeniería, 1988

7.- SISTEMA CUTZAMALA

Comisión de Aguas del Valle de México

S. A. R. H. 1987

8.- SISTEMA CUTZAMALA

Ing. Luis Robledo Cabello

Revista "Ingeniería Civil" No. 225

Colegio de Ingenieros Civiles de México, A.C. 1982

9.- AGUA PARA LA CIUDAD

Número especial

Revista "Obras", abril 1984.