

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

REHABILITACIÓN DE LA PLANTA LAS ILUSIONES  
PARA SU ÓPTIMO FUNCIONAMIENTO

TESIS  
PRESENTADA A LA JUNTA DIRECTIVA  
DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

OSCAR GIOVANNI JUÁREZ HERNÁNDEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE  
INGENIERO CIVIL

Guatemala, noviembre de 1,995



08

T(3609)


C 4

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de tesis titulado:

“REHABILITACION DE LA PLANTA  
LAS ILUSIONES PARA SU  
OPTIMO FUNCIONAMIENTO”.

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, en el mes de octubre de 1993.



Br. Oscar J. Juárez Hernández.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

MIEMBROS DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Julio Ismael González Podszueck.
VOCAL 1o.	Ing. Miguel Angel Sánchez Guerra.
VOCAL 2o.	Ing. Jack Douglas Ibarra Solórzano.
VOCAL 3o.	Ing. Juan Adolfo Echeverría Méndez.
VOCAL 4o.	Br. Fernando Waldemar De León Contreras.
VOCAL 5o.	Br. Pedro Ignacio Escalante Pastor.
SECRETARIO	Ing. Francisco Javier González López.

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN  
GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Jorge Mario Morales González.
EXAMINADOR	Ing. Carlos Enrique Antonio Garcia Rosa.
EXAMINADOR	Ing. Jorge Alfredo Baechli Alburez.
EXAMINADOR	Ing. José Eduardo Ramírez Saravia.
SECRETARIO	Ing. Edgar José Bravetti Castro.

ACTO QUE DEDICO A :

MI MADRE

Aida Hernández Romá Q.E.P.D. por sus enseñanzas y su entereza de carácter que fueron la principal motivación para la consecución de esta meta.

MI HERMANA

Telma Villavicencio por su amor, apoyo y paciencia.

LA EMPRESA MUNICIPAL  
DE AGUA (EMPAGUA)

Por la oportunidad de elaborar el presente trabajo.

LA FACULTAD DE  
INGENIERIA

Por haberme brindado sus sabias enseñanzas.

## A G R A D E C I M I E N T O

A Dios por darme la vida y la oportunidad de trabajar y prepararme para salir adelante.

Al Ingeniero Jaime Alvarado por su gran motivación y ayuda sin la cual este trabajo no hubiera sido posible.

Al Ingeniero Carlos Gálvez por su asesoría e interés demostrado en la realización de este trabajo.

Al Ingeniero Mario Figueroa por haberme apoyado moral y materialmente durante el tiempo que se elaboró la tesis.

SEPTIEMBRE 08, 1995

Ing. Hidráulico  
Marco Tulio Ventura  
Jefe Depto. de Hidráulica  
Facultad de Ingeniería  
USAC

Ingeniero Ventura:

Por medio de la presente, me permito comunicarle que luego de revisar detenidamente el trabajo de Tesis del estudiante OSCAR GIOVANNI JUAREZ HERNANDEZ, titulado "Rehabilitación de la Planta Las Ilusiones para su óptimo Funcionamiento", he constatado que la misma llena a cabalidad los objetivos planteados, por lo que no tengo ningún inconveniente en que sea aprobada.

Sin otro particular, me suscribo de usted atentamente,



ING. CARLOS GALVEZ M.  
ASESOR



**FACULTAD DE INGENIERIA**

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería  
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,  
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica  
y Regional de Post-grado de Ingeniería  
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12  
Guatemala, Centroamérica

Guatemala, 16 de octubre 1995

Ingeniero  
Jack Douglas Ibarra Solórzano  
Director de la Escuela de  
Ingeniería Civil  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos  
De Guatemala


Señor Director:

Después de haber analizado el Trabajo de Tesis titulado "REHABILITACION DE LA PLANTA LAS ILUSIONES PARA SU OPTIMO FUNCIONAMIENTO", del estudiante universitario Oscar Giovanni Juárez Hernández, con carnet número 84-10895 y actuando como Jefe del Departamento de Hidráulica, le informo que el mismo ha llenado todos los requisitos de índole técnica, en forma satisfactoria y a cabalidad.

El presente trabajo se considera de gran utilidad para el Abastecimiento de Agua Potable de las zonas 17 y 18, área de influencia de la Planta "Las Ilusiones".

Atentamente,

"DID Y ENSEÑAD A TODOS"

  
Marco Tulio Ventura Roldán  
Ingeniero Hidráulico  
JEFE DEPARTAMENTO DE HIDRAULICA



FACULTAD DE INGENIERIA

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería  
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,  
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica  
y Regional de Post-gradó de Ingeniería  
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12  
Guatemala, Centroamérica

El Director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Carlos Gálvez Menchú y del Jefe del Departamento de Hidráulica Ing. Marco Tulio Ventura Roldán, sobre el trabajo de tesis del estudiante Oscar Giovanni Juárez Hernández, titulado REHABILITACION DE LA PLANTA LAS ILUSIONES PARA SU OPTIMO FUNCIONAMIENTO, da por este medio su aprobación a dicha tesis.

  
Ing. Jack Douglas Ibarra Solórzano



Guatemala, octubre de 1,995.

JDIS/bbdeb.





**FACULTAD DE INGENIERIA**

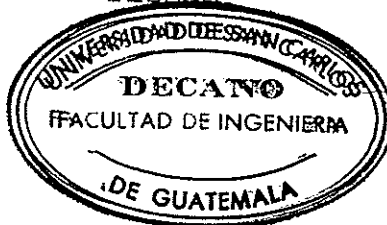
Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería  
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,  
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica  
y Regional de Post-grado de Ingeniería  
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12  
Guatemala, Centroamérica

El Decano de la Facultad de Ingeniería, luego de conocer la autorización por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, Ing. Jack Douglas Ibarra Solórzano, al trabajo de tesis REHABILITACION DE LA PLANTA LAS ILUSIONES PARA SU OPTIMO FUNCIONAMIENTO, del estudiante Oscar Giovanni Juárez Hernández, procede a la autorización para la impresión de la misma.

IMPRIMASE:

Ing. Julio Ismael González Podszueck  
DECANO



Guatemala, octubre de 1,995

/bbdeb.

# INDICE

INTRODUCCION.....	I
GLOSARIO.....	III
OBJETIVOS.....	IV
JUSTIFICACION.....	V
HIPOTESIS.....	VI
ANTECEDENTES.....	VII
CAPITULO I.....	1
DEFINICION DE PLANTAS DEGREMONT.....	1
I.1 Plantas tipo DEGREMONT.....	2
I.2 Generalidades sobre el diseño de la Planta Las Ilusiones.....	3
I.2.1 Decantación.....	4
I.2.2 Filtración.....	5
I.2.3 Reactivos.....	7
I.2.4 Sistemas de recuperación de agua.....	8
I.2.5 Servicios.....	9
I.2.6 Tanque de Distribución.....	10
I.3 Operación de la planta y su equipo.....	11
I.4 Experiencias de la planta LAS ILUSIONES tipo DEGREMONT.....	13
CAPITULO II.....	16
Tratamiento de Agua y Funcionamiento actual de la Planta.....	16
II.1 Floculación.....	16
II.1.1 Teoría de la floculación.....	16
II.1.2 Floculación en la Planta Las Ilusiones.....	19
II.1.3 Funcionamiento actual del proceso de Floculación.....	21
II.2 DECANTACION.....	23
II.2.1 Teoría de la Decantación.....	23
II.2.2 Decantación en la Planta Las Ilusiones.....	25
II.2.3 Funcionamiento actual de la Decantación.....	27

II.3	Filtración.....	28
II.3.1	Teoría de la filtración.....	28
II.3.2	Filtración en la Planta Las Ilusiones....	33
II.3.3	Funcionamiento actual del proceso de filtración.....	35
II.4	Cloración	36
II.4.1	Teoría de la Cloración.....	36
II.4.2	Cloración en la Planta Las Ilusiones....	38
II.4.3	Funcionamiento actual del proceso de cloración.....	38
CAPITULO III		39
Resultados del mal funcionamiento en la planta Las Ilusiones.....		39
III.1	Flóculación.....	42
III.2	Decantación.....	42
III.3	Filtración	43
III.4	Cloración:	46
CAPITULO IV.....		59
Programa de rehabilitación de la planta.....		59
IV.1	Procesos unitarios.....	59
IV.1.1	Mezcla rápida.....	59
IV.1.2	Coagulación.....	60
IV.1.3	Floculación.....	60
IV.1.4	Decantación.....	61
IV.1.5	Extracción de fangos.....	61
IV.1.6	Filtración.....	62
IV.1.7	Neutralización.....	63
IV.1.8	Cloración.....	63
IV.2.	Instalaciones Electromecánicas.....	63
IV.2.1	Motores.....	63
IV.2.2	Bombas.....	64
IV.2.3	Compresores.....	64
IV.2.4	Otros.....	65
IV.3.	Obra Civil.....	65
IV.3.1	Construcciones existentes.....	65
IV.3.2	Obras a construir.....	66

CAPITULO V.....	67
Mantenimiento Propuesto.....	67
V.1 Mantenimiento Preventivo.....	67
V.1.1 Instalaciones Mecánicas.....	67
V.1.2 Instalaciones Eléctricas.....	68
V.1.3 Instalaciones Hidráulicas.....	70
V.1.4 Obra Civil.....	71
V.2 Mantenimiento correctivo.....	72
V.2.1 Instalaciones mecánicas.....	72
V.2.2 Instalaciones eléctricas.....	72
V.2.3 Instalaciones hidráulicas.....	73
V.2.4 Obra civil.....	73
CONCLUSIONES.....	74
RECOMENDACIONES.....	76
BIBLIOGRAFIA.....	78
ANEXOS	

## **INTRODUCCIÓN**

El área metropolitana de la ciudad de Guatemala viene sufriendo desde hace varias décadas, un crecimiento poblacional desmedido y desorganizado, abarcando en la actualidad, alrededor de 110 kilómetros cuadrados de superficie, los cuales son habitados por cerca de 2 millones de personas. Las autoridades municipales tienen que redoblar esfuerzos para poder atender a una población que aumenta día con día y que requiere que sus necesidades de transporte, agua potable, drenajes, etcétera, sean atendidas con prontitud.

Con relación al agua potable, la Empresa Municipal de Agua de la ciudad de Guatemala, EMPAGUA, haciendo uso de 6 plantas de tratamiento y mas de 60 pozos, abastece aproximadamente a 1,070,000 habitantes. En la zona norte de la ciudad, específicamente para las zonas 17 y 18, EMPAGUA cuenta con la Planta de tratamiento Las Ilusiones además de pozos mecánicos.

Después del terremoto de 1976, el BANVI construyó en el sector, un sin número de colonias, pero no las dotó de servicio de agua, heredándole dicha responsabilidad a EMPAGUA. La demanda de agua superó a la producción, y actualmente las zonas 17 y 18 son las que mayor déficit de servicio de agua presentan.

La planta Las Ilusiones fue diseñada y construida para tratar 25,000 metros cúbicos de agua diarios, sin embargo, de 1987 a 1994, ha producido en promedio sólo 20,400 metros cúbicos por día, además que la calidad del agua es baja aunque sin dejar de ser potable, tomando como base los límites establecidos por la Comisión guatemalteca de normas COGUANOR, para las características físicas, químicas y bacteriológicas del agua potable. Esta reducción en la cantidad y calidad del agua ha agravado el problema del abastecimiento en el sector.

En el presente trabajo se analizarán las razones fundamentales de la disminución de la producción y la calidad del agua de la Planta Las Ilusiones, así como opciones de solución para resolver dicha problemática.

## **GLOSARIO**

- a. Aerobio: Organismo que se reproduce solamente en presencia de oxígeno.
- b. Bacilo: Forma morfológica de numerosas especies bacterianas en forma de bastón.
- c. Esporulado: Que tiene esporas como mecanismo de defensa.
- d. Facultativa: Bacteria que se reproduce en presencia de oxígeno o sin él.
- e. Flóculo: Agrupación de las partículas suspendidas en el agua por medio de un agente externo.
- f. Lactosa: Azúcar de leche.
- g. Sedimentación: Separación gravitatoria del flóculo y del agua clara.
- h. Trihalometanos: Compuestos dañinos a la salud, que se producen al aplicar cloro a aguas con alto contenido de materia orgánica.

Con la elaboración del presente trabajo, se persiguen básicamente los 3 objetivos enunciados a continuación:

- a. Determinar las razones de la disminución del caudal producido y del paulatino deterioro en la calidad del agua de la Planta Las Ilusiones.
- b. Proponer una serie de soluciones técnicas que logren hacer operar la planta a su máxima capacidad cumpliendo en todo tiempo con las normas existentes que rigen la calidad del agua potable.
- c. Brindar al profesional, al estudiante o a cualquier persona interesada en el tratamiento de agua para consumo humano, una guía práctica y sencilla donde pueda comprender en qué consiste, cómo funciona y cómo opera una planta con tecnología europea, como la patentada por la compañía francesa DEGREMONT, responsable de la construcción de la planta Las Ilusiones.



## JUSTIFICACIÓN

Tomando en cuenta que después del aire, el agua es el segundo elemento imprescindible para la subsistencia de los seres humanos, cualquier esfuerzo que se realice por dotar a más personas de agua sanitariamente segura, es trascendental.

En un momento como el actual en el que las fuentes naturales de agua están siendo contaminadas por las mismas poblaciones que habitan sus alrededores y además por la proliferación de epidemias de enfermedades gastrointestinales en los países del tercer mundo, las cuales pueden ser fácilmente transmitidas a través del agua, cualquier inversión encaminada a aumentar la cobertura del servicio de agua así como garantizar su potabilidad, está plenamente justificada.

De ahí la importancia de rehabilitar la Planta Las Ilusiones, la cual según la información proporcionada por la Unidad de Instalaciones de Agua y Alcantarillado de la Dirección de Servicios al Usuario de EMPAGUA, abastece aproximadamente a 210,000 personas.

## HIPÓTESIS

Es posible operar la planta Las Ilusiones de EMPAGUA de acuerdo a como fue diseñada y construida, a través del mantenimiento, la reparación o bien la sustitución de equipo e instalaciones y realizando las modificaciones necesarias para adaptarla a las condiciones actuales requeridas.

## **ANTECEDENTES**

En octubre de 1,967, la Dirección de Aguas y Drenajes de la Municipalidad de Guatemala, presentó el proyecto Atlántico ante la necesidad de ampliar el servicio de agua en la parte no oriente de la ciudad.

El proyecto constaba de una estación de bombeo con su respectiva presa derivadora, ubicada en el kilómetro 13 de la ruta al Atlántico, la planta Las Ilusiones, situada en la parte superior de la colonia del mismo nombre, en la zona 18, un tanque de regulación ubicado bajo la superficie de la cúspide del Cerro del Carmen zona 1, además de la línea de conducción de agua cruda y la línea de Distribución de agua potable respectivas.

En 1971, la compañía francesa DEGREMONT montó la planta Las Ilusiones gracias al financiamiento del Banco de Guatemala, la supervisión técnico-financiera del Instituto de Fomento Municipal INFOM y la supervisión general de la Dirección de Aguas y Drenajes Municipales.

El funcionamiento básico del sistema consistía en elevar el agua cruda desde la estación Atlántico, situada a una altura de 1135 m.s.n.m., conducirla por medio de una tubería de hierro fundido dúctil y acero, de diámetro uniforme de 500 milímetros, con una longitud de 6.1 kilómetros, hasta la planta Las Ilusiones, situada a una altura de 1565 m.s.n.m., donde se procedería a su purificación, luego se conduciría al tanque de regulación Cerro del Carmen por medio de 8 kilómetros de tubería, de hierro fundido dúctil, de diámetro variable de 700, 600, 500 y 400 milímetros, la cual en su trayecto distribuía el agua a las colonias del camino. En la actualidad, debido al aumento de la población, el agua producida por el sistema, únicamente se distribuye a las zonas 17 y 18. Ver listado de colonias en el anexo número 5.

## **CAPITULO I**

### **DEFINICIÓN DE PLANTAS DEGREMONT**

La compañía francesa DEGREMONT<sup>1</sup> con base en la teoría relativa al tratamiento del agua, realizó múltiples estudios que le permitieron definir nuevos procesos, para los cuales se vio en la necesidad de diseñar instalaciones y fabricar equipos diversos.

La tecnología desarrollada por DEGREMONT fue debidamente patentada y la ha aplicado en todas las plantas que ha construido en varios países del mundo. A diferencia de las plantas con tecnología convencional, en las DEGREMONT la floculación no se realiza en un canal de mezcla lenta, sino poniendo en contacto el agua a tratar con fangos resultantes del tratamiento anterior dentro del decantador.

Una planta de tratamiento de agua potable DEGREMONT consta básicamente de un vertedero de entrada, una instalación para floculación-decantación, verificada simultáneamente en un decantador acelerado de flujo vertical, con lecho de fangos tipo PULSATOR, una batería de filtros rápidos de arena tipo AQUAZUR, instalaciones para desinfección y tanque de almacenamiento, todo lo cual será tratado ampliamente a lo largo de este trabajo.

---

<sup>1</sup> DEGREMONT es el apellido de la familia que fundó dicha compañía. Sus oficinas centrales se encuentran en París Francia, y cuenta con representaciones en los 5 continentes.

## **I.1 Plantas tipo DEGREMONT**

Son plantas diseñadas bajo la tecnología DEGREMONT y a diferencia de las plantas con tecnología convencional, únicamente pueden ser construidas por la DEGREMONT, por ser la propietaria legal de las patentes de los equipos, instalaciones, etcétera.

Entre otras, se considera que la mayor diferencia entre una planta convencional y una DEGREMONT, estriba en que en esta última los procesos de floculación y decantación, se realizan ambos dentro del decantador.

Tomando en cuenta que la diferencia básica es el proceso de floculación y decantación, se presenta la clasificación de decantadores DEGREMONT :

### **a) Decantadores Estáticos**

La decantación estática consiste en llenar un depósito en el que el agua permanezca en reposo durante varias horas, vaciando a continuación la capa superior de agua hasta un nivel por encima del de los fangos depositados.

### **b) Decantadores acelerados**

La floculación se facilita considerablemente agitando el líquido, además las posibilidades de que las partículas se encuentren, aumentan con su concentración en el agua y ello se consigue conservando en el líquido un elevado porcentaje de los fangos formados en el tratamiento anterior.

La agitación necesaria para que se mezclen el agua a tratar, el reactivo y los fangos, debe ser tan lenta que no rompa el flóculo.

Para lograr que los flóculos se mezclen con el líquido pueden utilizarse 2 métodos:

b.1) Aparatos de circulación de fangos. Los fangos se separan del agua clara en la zona de decantación, luego se recirculan haciéndolos pasar a una zona de mezcla provista de un sistema de agitación mecánica llamado "AQUAZUR B" o de agitación hidráulica denominado "CIRCULATOR". Ver esquema en anexo número 6.

b.2) Aparatos de lecho de fangos. En este caso, no se pretende hacer circular el fango, sólo mantenerlo en forma de una masa en expansión que el agua puede atravesar de abajo hacia arriba de forma regular y uniforme. Estos aparatos se denominan "PULSATOR". Ver esquema en anexo número 4.

En consecuencia, la Planta Las Ilusiones es una planta DEGREMONT con decantación acelerada tipo "PULSATOR".

## **1.2 Generalidades sobre el diseño de la Planta Las Ilusiones**

La planta Las Ilusiones fue construida para tratar el agua de los ríos Bijagüe, Los Ocotes y Teocinte (ver su ubicación en el anexo número 7), la cual es elevada desde la estación de bombeo El Atlántico ubicada en el kilómetro 13 de la carretera al Atlántico.

Para realizar el diseño de la planta, se tomaron como base los siguientes datos, medidos en período de lluvia:

Turbiedad	200 unidades
Temperatura	18.5 grados
Color	22.5 unidades
Ph	7.2
Cloruros	15 mg/litro
Flúor	0.6 mg/litro
Hierro	7 mg/litro

Además se estableció que el caudal en el período de estiaje sería de 25,000 metros cúbicos diarios<sup>2</sup>.

### 1.2.1 Decantación

Es realizada por medio de 2 tanques floculadores de lecho de fangos tipo, PULSATDR, cada uno de 11.80 metros por 16.70 metros, es decir, 394 metros cuadrados entre ambos.

El agua que se trata en Las Ilusiones es elevada por 3 unidades motor-bomba, produciendo caudales y velocidades de acuerdo al cuadro siguiente:

Unidades de bombeo	Caudal de diseño L/s	Velocidad ascensional (m/h)	Caudal actual L/s	Velocidad ascensional (m/h)
1	96	0.88	22.57	0.21
2	182	1.66	104.38	0.95
3	289	2.64	199.13	1.82

Tabla 1

<sup>2</sup>Fuente: Manual de Operación y Mantenimiento de la Planta Las Ilusiones, elaborado por la compañía DEGREMONT.

Cada decantador cuenta con 3 concentradores de lodos de 6.4 metros cúbicos cada uno, haciendo un total de 19.2 metros cúbicos y su función es almacenar temporalmente el exceso de material en el lecho de fangos, para después de un tiempo que varía según su concentración, eliminarlos definitivamente.

La campana de vacío donde se controlan las pulsaciones, mide 2.50 metros por 1.35 metros, es decir, 3.40 metros cuadrados, tiene una tubería de drenaje de 5 pulgadas.

En el fondo del decantador existe un canal que lo comunica con la campana de vacío, del cual salen 26 tubos de asbesto-cemento cada uno con 27 agujeros de 32 milímetros de diámetro que reparten el agua cruda en forma uniforme. Ver plano constructivo del decantador y la campana en el anexo número 8.

Para recolectar el agua clarificada, cada decantador cuenta con 3 canaletas provistas de 263 agujeros de 35 milímetros de diámetro.

### **I.2.2. Filtración**

La filtración en la planta es realizada por medio de 4 filtros rápidos de gravedad del tipo AQUAZUR, cuyas dimensiones son 10.5 metros por 4.0 metros, es decir, 42 metros cuadrados por filtro.

Su velocidad de filtración teórica, varía dependiendo del número de unidades de bombeo que estén conectadas en la estación Atlántico, de la siguiente forma:



No. de unidades	Vel. filtración normal (m/s)	Vel. filtración con un filtro en lavado (m/s)
1	2.02	2.70
2	4.04	5.40
3	6.06	8.10

Tabla 2

Cada filtro cuenta con un falso fondo, constituido por 44 losetas de hormigón, provista cada una de 49 boquillas plásticas de cola larga. Por debajo del falso fondo, se recolecta el agua filtrada, y en período de lavado del filtro, por acá ingresan tanto el agua como el aire con los cuales se realiza el retrolavado.

Sobre el falso fondo, se encuentra una capa de grava de 4 cm. de altura, con una talla efectiva de 4 a 5 mm. la cual sirve de capa soporte del material filtrante, constituido por una capa homogénea de arena de 80 cm. de altura, la cual cuenta con una talla efectiva nominal de 0.95 mm. En total se requiere de 6.72 metros cúbicos de grava y 135 de arena para toda la batería filtrante.

La altura de agua sobre la arena de 0.50 metros y la pérdida de carga disponible o máxima es de 2.0 metros, que corresponde a la diferencia de nivel entre la superficie del agua dentro del filtro y la de la superficie del agua dentro del cisterna bajo los sifones concéntricos, utilizados para regular el funcionamiento del filtro. Ver esquema del filtro en el anexo número 2.

La limpieza de los filtros se realiza por retrolavado, mediante la aplicación simultánea de agua y aire y consta de las 3 fases siguientes:

- a) Desatascamiento. Consiste en la aplicación durante aproximadamente minuto y medio, de un caudal de agua de 5 a 8 metros cúbicos/hora/m<sup>2</sup>, es decir, de 210 a 336 metros cúbicos/hora.
- b) Insuflación. Consiste en la aplicación de aire y agua durante 8 a 10 minutos. El caudal de agua utilizado es de 5 a 8 metros cúbicos/hora/m<sup>2</sup>, o sea de 210 a 336 metros cúbicos/hora. El caudal de aire necesario es de 50 a 60 metros cúbicos/hora/m<sup>2</sup>, o sea, de 2100 a 2520 metros cúbicos/hora.
- c) Enjuague. Durante 5 a 6 minutos, se aplica un caudal de 20 metros cúbicos/hora/m<sup>2</sup>, o sea 840 metros cúbicos/hora.

De esta forma, la cantidad de agua necesaria para un lavado es de aproximadamente 155 metros cúbicos durante un tiempo que varia entre 14.5 y 17 minutos y medio.

### 1.2.3 Reactivos

Dentro del diseño original, se dotó a la planta, de dosificadores para sulfato de aluminio, cal hidratada, sílico fluoruro de sodio y cloro, los cuales se describen a continuación:

- a. Sulfato de aluminio: Para este químico, se cuenta con 2 dosificadores en seco provistos de tanque de dilución, con agitador, regulador de entrada de agua y tolva. La capacidad máxima del aparato es de 150 Kg/hora o sea 144 mg/litro a caudal máximo.

La tolva tiene un volumen de 5 metros cúbicos y el caudal de agua necesario a la capacidad máxima del aparato produciendo una dilución al 10% es de 1.5 metros cúbicos/hora.

- b. Cal hidratada: Fueron instalados dos dosificadores en seco, para la aplicación de cal, provistos de tanque de dilución con agitador, regulador de entrada de agua y tolva con una capacidad máxima de 50 Kg/hora, o sea 48 mg/litro a caudal máximo. El caudal de agua necesario a la capacidad máxima del aparato a una concentración de la dilución del 5%, es de 1.00 metro cúbico/hora.
- c. Sílico floruro: Se cuenta también con un dosificador en seco para dosificación de sílico floruro de sodio, el cual consta de un tanque de dilución, agitador, regulador de la entrada de agua y tolva. La capacidad máxima del dosificador es de 2.4 Kg/hora es decir 2.3 mg/litro a máximo caudal. La tolva tiene un volumen de 0.28 metros cúbicos. El caudal de agua necesario a la capacidad máxima del aparato produciendo una dilución del 0.1% es de 2.4 metros cúbicos/hora.
- d. Cloro gaseoso: Inicialmente se instalaron 3 cloradores de solución y una bomba para cada cual. Tienen una capacidad máxima cada uno de 200 libras/24 horas, es decir 3.8 Kg/hora o 3.6 mg/litro.

#### **I.2.4 Sistemas de recuperación de agua.**

La planta fue provista de un tanque de recuperación de agua de lavado de filtros ya que si se asume que los 4 filtros se lavan al menos una vez al día, se desperdiciarían 640 metros cúbicos diarios de agua sedimentada.

Dicho tanque mide 110 metros de largo, 7 metros de ancho y 3 metros de profundidad o sea 210 metros cúbicos de capacidad.

Fue dotado de 2 bombas que elevan el agua desde el tanque hasta el vertedero de entrada para ser tratada nuevamente.

Varios años después de haber entrado en operación la planta, la experiencia demostró que los fangos evacuados de los concentradores ubicados en los decantadores, contenían un alto porcentaje de agua, por lo que considerando que la planta se ubica en uno de los sectores de la ciudad con mayor déficit de servicio, se construyó un tanque que permite almacenar los fangos, dejarlo sedimentar y obtener en la superficie, agua con baja turbiedad, la cual es elevada mediante una bomba hacia el vertedero de entrada a la planta.

#### **1.2.5 Servicios**

La planta fue equipada con un sistema de agua a presión capaz de suplir el caudal necesario para los dosificadores de sulfato de aluminio, cal y flúor así como servicios sanitarios, etc.

El sistema consta de dos bombas equipadas con una válvula en la succión, una válvula de by-pass entre la succión y la impulsión, una válvula manual, una de retención horizontal y una de seguridad en la impulsión, además se cuenta con un depósito que contiene aire y agua. De acuerdo a su compresión, el colchón de aire se encuentra a presión y varía entre 2 y 4 Kg/cm<sup>2</sup>, valores a los cuales arrancan y paran las bombas respectivamente. Ver esquema de instalación en el anexo número 9.

Para maniobrar las válvulas de los filtros, la de by-pass y las válvulas de extracción de fangos, se requiere de aire a presión que debe fluctuar entre 4 y 6 Kg/cm<sup>2</sup>.

Para dicho fin, se cuenta con 2 compresores equipados cada uno con una caja de retención, una válvula de retención

horizontal y una manual sobre la impulsión, entre la salida del cilindro y la caja de retención.

La planta cuenta con una bodega la cual puede almacenar aproximadamente 3,500 sacos de 50 kilogramos, ya sea de sulfato de aluminio, cal, flúor o cualquier otro producto químico que sea necesario. Dentro de la bodega se instaló un monorriel con capacidad 1,000 kilogramos para facilitar la movilización de los químicos de cualquier punto de la bodega, hacia el ascensor que también tiene capacidad de 1,000 kilogramos y que permite elevar los sacos de sulfato de aluminio o de cal, desde el nivel de la bodega hasta la sala donde se llenan las tolvas de los dosificadores de dichos químicos.

Existe en la planta una sala para almacenar los cilindros de cloro gaseoso utilizado para la desinfección del agua, la cual cuenta con un puente grúa de 2,000 kilogramos de fuerza que permite sin mayor esfuerzo descargar los cilindros desde el vehículo que los transporta, hacia el punto de conexión con el sistema de cloración de la planta o viceversa.

#### **I.2.6 Tanque de Distribución**

Se cuenta con un tanque enterrado, de 36 metros de largo, 30 metros de ancho y 4 metros de profundidad, es decir, 4320 metros cúbicos de capacidad de almacenamiento. La tubería que une el cisterna de agua filtrada con el tanque de distribución es de 450 mm. de hierro fundido, la tubería de salida hacia la red y la de drenaje del tanque son ambas de 500 mm. de hierro fundido.

Algunas viviendas aledañas a la planta tenían servicio deficiente debido a la escasa diferencia de nivel, por lo que fue construido un tanque elevado metálico con una capacidad de 190 metros cúbicos, el cual además de dar servicio a la red de distribución, está conectado con la tubería interna de la planta

convirtiéndose en la alternativa para el sistema de agua a presión en caso de producirse un desperfecto en el sistema actual o bien un corte de energía eléctrica. Sus tuberías de entrada y salida son ambas de 6" de P.V.C.

### **I.3 Operación de la planta y su equipo.**

Van a ser enumeradas en su orden las operaciones básicas que deben realizarse para llevar a cabo la potabilización del agua en la planta Las Ilusiones.

Como ejemplo se asumirá para mayor claridad, que se va a reiniciar el tratamiento, después de una suspensión que pudiera haberse debido a, una interrupción del fluido eléctrico en la estación de bombeo El Atlántico o un desperfecto en la misma, el lavado rutinario de alguna de las instalaciones de la planta, una reparación, etcétera.

En vista que la única fuente de abastecimiento con que cuenta la planta es el agua que bombea la estación El Atlántico, lo primero que debe hacerse es comunicarse con el personal de la estación y solicitarles que conecten el equipo de bombeo.

Ya con el agua entrando a la planta, ejecutar las siguientes operaciones:

- a) Realizar los análisis de laboratorio necesarios para determinar las características físico-químicas del agua cruda y seguirlo haciendo al menos 1 vez por hora.
- b) Verificar que las tolvas de sulfato de aluminio y cal contengan químicos y que un cilindro de cloro gas esté conectado a los clorinadores.

- c) Abrir las válvulas de entrada de agua al tanque de dilución de los dosificadores.
- d) Poner a funcionar el agitador.
- e) Regular el mecanismo del dosificador para que aplique la cantidad de sulfato y/o de cal requerida de acuerdo a los resultados de las pruebas de laboratorio realizadas.
- f) Cuando el agua ingresa a la campana de vacío del decantador, fijar los topes del interruptor que la pone en contacto con la atmósfera, de modo que el nivel máximo del agua dentro de la misma, sea de 0.70 metros por encima del nivel estático de la lámina de agua dentro del decantador.
- g) Activar los compresores que provoca el vacío en la campana.
- h) Ajustar el tiempo de llenado de la campana de vacío entre 25 y 40 segundos y que el de abertura sea entre 5 y 7 segundos.
- i) Cuando el lecho de fangos dentro del decantador, se haya formado, y principie a introducirse en los concentradores, poner en marcha el dispositivo que automáticamente controla las extracciones, de manera que la misma dure entre 10 y 30 segundos y su frecuencia sea de 20 a 30 minutos.
- j) Antes que el agua llegue a los filtros verificar que las válvulas de drenaje y filtración estén cerradas.
- k) Verificar que el lecho filtrante esté cubierto de agua antes que ingrese la proveniente de los decantadores porque si el chorro de agua cae directamente sobre la arena creará agujeros en el lecho.
- l) Abrir las compuertas de entrada de agua decantada a los filtros.

- m) Cuando el nivel del agua sobre la arena sea de 0.50 metros, fijar el centro del flotador que permite en combinación con los sifones concéntricos mantener la tasa de filtración constante, accionando hacia arriba o abajo el eje y fijándolo en medio de los 2 topes.
- n) Anotar la pérdida de carga con que se inicia el ciclo de filtración, la turbiedad y el color inicial del agua de entrada y salida y seguirlo haciendo cada hora.
- o) Determinar la duración del ciclo de filtración de cada filtro, midiendo el tiempo desde la puesta en marcha hasta que se alcanza la pérdida de carga máxima previo a lavar el filtro.
- p) Cuando el agua filtrada llegue al cisterna donde se reúne la producida por los 4 filtros, poner en marcha las bombas de agua de dilución para la desinfección.
- q) Abrir la válvula del cilindro de cloro gas a utilizar.
- r) Anotar el peso inicial del cilindro de cloro gas.
- s) Ajustar la dosis de cloro gaseoso requerida por el agua según el laboratorio.

Ver esquema del funcionamiento en el anexo número 10.

#### **1.4 Experiencias de la planta LAS ILUSIONES tipo DEGREMONT.**

La planta LAS ILUSIONES fue diseñada para trabajar en invierno con una turbiedad de hasta 200 unidades y 22.5 unidades de color. Sin embargo, se han registrado turbiedades de 2,300 unidades y color de hasta 6,000 unidades, agua que no ha sido



tratada por supuesto, ya que se puede producir agua que cumpla con las normas de potabilidad, admitiendo únicamente 2/3 del caudal disponible, siempre y cuando no tenga una turbiedad mayor a 500 unidades.

Debido a que en invierno se trabaja con una turbiedad mucho mayor a la de diseño, los concentradores de fango resultan insuficientes, por lo que parte del mismo principia a acumularse en el fondo de los decantadores y por su peso provoca la fractura de las canaletas tranquilizadoras originalmente construidas de asbesto-cemento, de manera que el flujo ascendente en unos sectores del decantador se suspende y en otras partes se produce un efecto de chorro que destruye el manto de fangos.

El manto de fangos, imprescindible para el tratamiento dentro del proceso de potabilización, requiere entre otras cosas, que el caudal de entrada sea constante, o bien que varíe en forma mínima. Sin embargo, en la realidad, el caudal sufre innumerables variaciones, e inclusive llega a suspenderse totalmente, debido entre otras, a las siguientes causas:

- a) En invierno, por ejemplo, por las altas turbiedades que se producen o debido a que el río arrastra sedimentos, es necesario cerrar la entrada al tanque de compensación en la estación de bombeo EL ATLANTICO.
- b) En verano por falta de caudal.
- c) En cualquier época del año en ocasiones se suspende el bombeo por falta de fluido eléctrico o por fallas en los equipos.

Al momento de suspenderse la entrada de agua cruda, por acción de la gravedad, el manto de fango cae al fondo del sedimentador. Después de una suspensión, no basta con reanudar la entrada de agua a la planta para que el manto vuelva a su

sitio, pues el que existía antes de la suspensión es arrastrado hacia arriba por el flujo ascendente, haciéndose necesario formar un nuevo manto, el cual necesita para su maduración, de dos a tres días.

Cuando se trata agua con alta turbiedad, es necesario apagar el PULSATOR, ya que las pulsaciones que produce, generan la formación de espuma en su interior, la que a medida que aumenta su volumen, levanta las tapaderas de los accesos al PULSATOR y cae sobre la superficie del agua en los sedimentadores, ingresa a las canaletas de recolección de agua sedimentada y va a parar a los filtros, reduciendo el ciclo de filtración de los mismos.

Por otra parte, la planta LAS ILUSIONES emplea para su funcionamiento una serie de equipos eléctricos que no se utilizan en las plantas convencionales, por lo que requiere que sus operadores tengan alto nivel de preparación para garantizar que la planta opere adecuadamente, además necesita de un mantenimiento preventivo constante, sobre todo en la parte electromecánica.

## **CAPITULO II**

### **Tratamiento de Agua y Funcionamiento actual de la Planta**

Van a ser enumeradas las cuatro fases principales de la purificación del agua que se llevan a cabo en la planta Las Ilusiones.

En cada caso se iniciará con la teoría básica del proceso, a continuación se describirá la instalación de la planta donde se realiza el mismo y su funcionamiento de acuerdo al diseño original, para finalmente citar la forma como está funcionando en la actualidad.

#### **II.1. Floculación**

##### **II.1.1 Teoría de la floculación**

El objetivo de la floculación es reunir a las partículas contenidas en el agua ya desestabilizadas<sup>3</sup>, para formar aglomeraciones de mayor peso y tamaño que sedimente con mas eficacia.

Para obtener una floculación adecuada, debe producirse durante pocos segundos o fracciones de éstos, una fuerte agitación en el momento que se introducen los reactivos, con el fin de mezclarlos íntimamente con el agua.

Dicha agitación puede producirse por medio de agitadores de hélice, turbinas, la caída de un vertedero o de una canaleta Parshall.

---

<sup>3</sup> Partículas desestabilizadas: son las partículas sujetas a fuerzas de atracción como la gravedad.

A continuación se procederá a una agitación lenta durante un período de tiempo que debe determinarse. Dicha agitación puede producirse en un floculador propiamente dicho, o bien, dentro de un decantador, donde pueden utilizarse turbinas de recirculación, o simplemente la acción del propio lecho de fangos.

El coagulante aplicado al agua, genera la formación del flóculo, pero para optimizar el proceso, es necesario aumentar su volumen, su peso y sobre todo su cohesión.

El espesamiento del flóculo se verá favorecido por medio de:

- a) Una difusión rápida y completa del coagulante al momento de su introducción en el agua.
- b) Incrementar la cantidad de flóculo en el agua, poniendo ésta en contacto con los precipitados ya formados por el tratamiento anterior, como en la unidad de lecho de fangos, para conseguir la mayor concentración posible.
- c) Una agitación lenta con la finalidad de aumentar las posibilidades de que las partículas coloidales eléctricamente descargadas choquen con los flóculos.
- d) Emplear productos ayudantes de coagulación, ya sean éstos naturales o sintéticos.

La floculación suele describirse como un proceso causado por la colisión entre partículas, en la cual intervienen tres mecanismos de transporte:

- a) Floculación pericinéctica o Browniana, debida a la energía térmica del fluido.
- b) Floculación orto cinética o gradiente de velocidad, producido en la masa del fluido en movimiento.

- c) Sedimentación diferencial, debida a las partículas grandes, las cuales al precipitarse colisionan con las más pequeñas que van descendiendo lentamente y las aglomeran.

Al dispersarse el coagulante en la masa de agua, se necesita de la floculación pericinetica para que las partículas coloidales, de tamaño menor a una micra, comiencen a aglutinarse. Es el movimiento Browniano el que actúa dentro de este rango de tamaño de partículas, formando el microfloculo inicial. Cuando éste alcanza el tamaño de 1 micra, empieza a actuar la floculación ortocinética, promoviendo su mayor desarrollo.

La floculación se ve afectada por diversos factores, entre los cuales se pueden mencionar.

- a) La naturaleza del agua: La coagulación y por ende la floculación son sumamente sensibles a las características físico-químicas del agua cruda, tales como la alcalinidad, el ph, la turbiedad, etcétera. En todos los modelos matemáticos de floculación, la velocidad de formación de flóculos es proporcional a la concentración de partículas.

Por regla general es más fácil flocular aguas con elevada turbiedad y que presenten una amplia distribución de tamaños de partículas, mientras los de mayor tamaño que podrían removerse en sedimentadores simples, tales como arena fina, interfieren con la floculación inhibiendo o impidiendo el proceso.

- b) Las variaciones del caudal: Es obvio que al variarse el caudal de operación de la planta se modifican los tiempos de retención y gradientes de velocidad de las unidades.

En un floculador hidráulico existe cierta flexibilidad a estas variaciones, ya que al disminuir el caudal, aumenta el tiempo de retención y disminuye el gradiente de velocidad,

mientras que si el caudal aumenta, disminuye el tiempo de retención y aumenta el gradiente.

En un floculador mecánico, el efecto es más perjudicial, debido a su poca flexibilidad ya que la velocidad de su agitación permanece constante, así que el tiempo de retención variará con relación al caudal.

- c. La intensidad de agitación: En todas las ecuaciones que caracterizan la velocidad de aglomeración de las partículas en la floculación orto cinética, aparece el gradiente de velocidad como un factor de proporcionalidad. A mayor gradiente, más rápida es la velocidad de aglomeración. Mientras tanto, a medida que los flóculos aumentan su tamaño, también crecen las fuerzas de cizallamiento ejercidas sobre ellos. Los flóculos crecerán hasta un tamaño máximo, encima del cual las fuerzas de cizallamiento alcanzan una intensidad que los rompe en partículas menores.
- d. Tiempo de floculación y número de compartimientos de la unidad: En todos los modelos propuestos para la floculación, la velocidad de aglomeración de las partículas es proporcional al tiempo. Bajo determinadas condiciones, existe un tiempo óptimo para la floculación. La experiencia ha demostrado que para llevar a un floculador a tener un tiempo de retención real lo más próximo al teórico, deben hacerse más compartimientos en su interior a base de pantallas deflectoras.

### II.1.2.Floculación en la Planta Las Ilusiones.

Aprovechando la turbulencia que se produce en la caída de los dos vertederos de entrada a la planta, se realiza la mezcla rápida del agua con el sulfato de aluminio, utilizado como

coagulante principal y en dado caso con la cal que se emplea como ayudante de coagulación.

La agitación lenta y por ende la floculación, se realizan dentro del decantador "PULSATOR" el cual está constituido de un depósito de fondo llano, provisto en su base de una serie de tubos perforados que permiten introducir el agua cruda uniformemente por toda la superficie del decantador.

Para alimentar al colector inferior de manera discontinua, primero se introduce el agua cruda en una campana en cuyo interior se aspira el aire por medio de una máquina que extrae un caudal de aire sensiblemente igual al caudal medio de agua a tratar. La campana lógicamente se encuentra en comunicación con el colector inferior del decantador. Ver esquema de funcionamiento en el anexo número 4.

Bajo estas condiciones, el agua no penetra en el decantador, si no que su nivel sube progresivamente en la campana. Cuando el nivel ha alcanzado una altura aproximada de 0.70 metros por encima del nivel del agua en el decantador, a una presión negativa de aproximadamente 100 g/cm<sup>2</sup>, se efectúa la apertura brusca de una válvula de comunicación de la campana con la atmósfera mediante un relevador eléctrico.

La presión atmosférica actúa entonces inmediatamente sobre el agua previamente almacenada dentro de la campana, la cual penetra en el decantador a gran velocidad. El aparato se regula de modo que de 5 a 10 segundos sean suficientes para proceder al vaciado de la campana, mientras que la duración del llenado de la misma se realiza de 15 a 30 segundos.

La velocidad de vaciado puede regularse fácilmente por medio de una válvula manual colocada en la tubería de comunicación entre la campana y la atmósfera. El colector general situado en la parte inferior del decantador, es de gran sección, con el

objeto de reducir su pérdida de carga y los orificios de todas las ramificaciones están dispuestos de forma que sea absolutamente uniforme el reparto del agua sobre toda la superficie, durante cada vaciado de la campana. Por lo tanto, se forma en la mitad del decantador, una capa homogénea animada de movimientos alternos, de abajo hacia arriba durante cada vaciado de la campana y de arriba hacia abajo durante cada período consecutivo.

Esta capa de fango asegura el contacto de los mismos con el agua, a la que se ha agregado el coagulante y realiza una verdadera filtración, reteniendo las impurezas coloidales contenidas en el agua. Una ventaja de la disposición adoptada en el decantador, consiste en la ausencia de algún sistema de agitación mecánica de los fangos, ya que dicha agitación puede romper los flóculos ya formados. La agitación que resulta de las pulsaciones es, por el contrario, muy suave.

El vaciado de la campana debe ser suficientemente violento para evitar que se depositen fangos en el fondo del decantador pero no debe ser excesiva ya que se producirían turbulencias de efectos negativos para el lecho de fango. La aspiración en la campana la lleva a cabo un grupo electro-compresor que actúa cual bomba de vacío. La válvula de comunicación de la campana con la atmósfera se abre y cierra en función de los niveles alto y bajo del agua contenida en la misma, mediante un aparato de relojería, el cual actúa sobre el electroimán de accionamiento de la válvula por medio de un relevador eléctrico. Ver esquema de funcionamiento en el anexo número 4.

### **II.1.3. Funcionamiento actual del proceso de Floculación.**

En la actualidad, el proceso de floculación en la Planta Las Ilusiones es deficiente, debido principalmente a la siguientes causas:



- a. El caudal que actualmente está siendo tratado en la planta es menor al de diseño, debido a que sobre la línea de conducción entre la estación de bombeo y la planta de tratamiento existen derivaciones fraudulentas, las que dependiendo de el caudal instantáneo que utilicen, reducen el que llega a la planta en esa misma cantidad. A pesar de esto, en Las Ilusiones se utilizan tres valores fijos de caudal, correspondientes a una, dos y tres unidades de bombeo, consecuentemente la dosificación de reactivo se calcula para cada uno de esos valores, sin embargo, el caudal que realmente se está tratando en un momento dado, puede ser un valor intermedio a los establecidos, traduciéndose en una sub o sobre dosificación que afecta el proceso de floculación.
  
- b. Debido a problemas como alta turbiedad, asolvamiento de la presa derivadora de caudal o constantes cortes de energía eléctrica en la Estación de bombeo El Atlántico, se suspende por completo o bien se reduce el caudal. Como se mencionó en su oportunidad, un decantador como el de Las Ilusiones, requiere un caudal constante para mantener una alta concentración de su lecho de fangos y así producir una adecuada floculación.
  
- c. La estación de bombeo El Atlántico y la Planta Las Ilusiones están ubicadas en distintos circuitos de la red de abastecimiento de energía eléctrica de la ciudad, por consiguiente en gran número de ocasiones la estación de bombeo está operando normalmente mientras que en la planta se ha suspendido el fluido eléctrico y no se cuenta con planta emergente de generación, por lo que, o se sigue tratando el agua sin pulsaciones o bien se suspende el tratamiento, perjudicando a los usuarios y además afectando la floculación, ya que se necesitan varios días para que se forme y madure un nuevo manto de fangos.

- d. Los rotámetros de los dosificadores de sulfato de aluminio están deteriorados, la cantidad de agua que ingresa al tanque de dilución no se puede regular, es constante. Al variar la turbiedad del agua o el caudal, aunque se ajuste la dosis de reactivos, la concentración de la dilución cambia porque la cantidad de agua no varió. La concentración de la dilución de reactivo es uno de los factores que determinan una buena o mala coagulación, si no se usa la óptima, la floculación es deficiente.
  
- e. Una gran cantidad de placas tranquilizadoras de las que recubren parcialmente las tuberías de repartición de agua cruda en los decantadores, originalmente construidas de asbesto-cemento, se quebraron y no han sido reemplazadas. Su función es impedir que la turbulencia creada por las pulsaciones se propague hacia el lecho de fango. Al no existir tranquilizadores, en esos puntos se produce un efecto de chorro que modifica la concentración del lecho e incluso llega a romperlo y arrastrarlo hacia los filtros.
  
- f. La frecuencia y duración de las pulsaciones no se están ajustando en el momento en que cambian las características físico-químicas del agua cruda. El tiempo de llenado de la campana de vacío varía de 15 a 30 segundos y el de vaciado, entre 5 y 10 segundos. Los tiempos elegidos deben ser acordes a las condiciones del agua y por lo tanto deben variar conforme éstas se modifican, para que la floculación sea correcta.

## **II.2. DECANTACIÓN**

### **II.2.1. Teoría de la Decantación.**

Decantación también llamada sedimentación, no es mas que la separación gravitatoria del flóculo previamente formado y del agua clara.

Cuando las impurezas se separan de un fluido que las mantiene en suspensión sólo mediante la acción de las fuerzas naturales, por ejemplo, por la gravitación, y la agregación natural de las partículas asentadas, la operación recibe el nombre de sedimentación simple. Cuando se agregan productos químicos o de otra naturaleza para provocar o favorecer la agregación y asentamiento de la materia finamente dividida, sustancias coloidales y moléculas grandes, la operación se denomina coagulación.

Los tanques de sedimentación pueden ir precedidos de cámaras de reacción y floculación, pero en ocasiones no se observa la rígida separación de las funciones de floculación y de sedimentación. En estos casos, el mismo tanque sirve para ambos propósitos.

Los tanques de clarificación de flujo ascendente, son ejemplos de este procedimiento de doble propósito. La decantación acelerada permite mejorar la floculación y por ende la decantación, aumentando la concentración del flóculo en aparatos que combinan las dos funciones, como los decantadores tipo "PULSATOR", el cual produce un manto de fangos en cuyo seno la concentración de materia en suspensión es elevada, de esta forma puede aumentarse considerablemente la velocidad de circulación del agua.

Cualquier proceso de decantación puede verse afectado si la densidad del agua no es constante, lo que sucede cuando su temperatura o salinidad varían. Una variación de un grado centígrado en la temperatura del agua cruda basta para reducir el rendimiento del decantador. En un decantador tipo "PULSATOR" no se pretende que circule el fango, se trata solamente de mantenerlo en forma de una masa en expansión que el agua puede atravesar de abajo hacia arriba, de manera regular y uniforme. La agitación lenta tiene lugar en el punto de introducción del agua a sedimentar.

En el seno del lecho de fango, éste se encuentra en suspensión y ocupa un volumen aparente que varía según su densidad y la velocidad ascensional del agua. Al cabo de cierto tiempo de funcionamiento, el fango no permanece en suspensión en el líquido. Al contrario, va concentrándose progresivamente, empezando por una pared y finalmente se observa una masa compacta de fango, en cuyo seno el agua ha creado un paso. Es evidente que, en estas condiciones, no se produce un contacto eficaz entre el agua que atraviesa el lecho de fango.

En cambio, si la entrada de agua se realiza de una forma intermitente, introduciendo un fuerte caudal durante un tiempo muy corto seguido de un período de reposo prolongado, se comprueba que la masa de fango se mantiene en suspensión regular. Todo el fango es arrastrado hacia arriba durante la introducción de agua, pero a continuación, durante el período de reposo siguiente, se deposita de una forma regular, como lo haría en una probeta de agua fangosa que se dejara en absoluto reposo.

#### **II.2.2. Decantación en la Planta Las Ilusiones.**

En la sección correspondiente a la floculación se explicó detalladamente el funcionamiento del decantador, ya que ambas operaciones (sedimentación y floculación) se realizan en él. Cabe resaltar que la decantación en sí, es decir, la separación gravitatoria del agua clara y del flóculo previamente formado, se realiza gracias al manto de fango que existe dentro del decantador, el cual retiene los flóculos y permite que el agua ascienda hasta las canaletas de recolección del agua decantada y sea trasladada a los filtros.

Por lo tanto, es imprescindible mantener un estricto control de las pulsaciones dentro del decantador y de la frecuencia y duración de las extracciones de fango, ajustando ambos parámetros de acuerdo a las características del agua que se está tratando y de los resultados del proceso.

Se denomina pulsación al efecto causado en el decantador al almacenar el agua por un periodo de 10 a 30 segundos y luego hacerla ingresar brusca mente desde la campana de vacío al decantador, volver a almacenarla, hacerla ingresar y así sucesivamente.

Las pulsaciones tienen 3 características muy importantes, las cuales deben variar con el fin de homogenizar el manto de fango y aumentar su concentración:

- a. Altura de caída; constituye el ajuste con más consecuencia, se hace variar alejando o acercando el tope que corresponde al nivel de agua máximo dentro de la campana de vacío, del otro instalado en el cable del interruptor de flotador.
- b. Tiempo de caída; Es el segundo ajuste más importante y se consigue estrangulando más o menos las válvulas manuales cercanas a las válvulas automáticas que permiten o impiden el ingreso de aire hacia la campana de vacío.
- c. Frecuencia de las pulsaciones: Constituye el ajuste fino y se realiza cuando el manto de fango está casi homogéneo, se logra cerrando o abriendo la válvula manual de 40 milímetros instalada sobre la pared exterior de la campana de vacío.

Con relación a las extracciones de fango, cada decantador cuenta con 3 tuberías de 125 milímetros de diámetro para dicho fin. Un extremo de cada tubo se encuentra muy cerca del fondo del concentrador correspondiente y el otro extremo descarga en el canal de recolección de lodos y de aquí pasan al tanque de recuperación, donde luego de dejarlos sedimentar, el agua poco turbia de la superficie es enviada a través de bombas, hacia el vertedero de entrada de agua cruda para iniciar nuevamente el proceso. La presión del agua del decantador o carga de agua, es la que hace subir el lodo por el tubo de extracción y lo lleva hasta la salida como un sifón.

En el extremo que da al canal de drenaje, cada tubo cuenta con una válvula automática, normalmente cerrada y una válvula manual, normalmente abierta, la cual evita que se vacíe el decantador cuando no hay aire a presión o bien permite desmontar la válvula automática en caso requiera mantenimiento.

Las extracciones normalmente se efectúan con una frecuencia que varía entre 10 y 30 minutos, el hacerlas manualmente requeriría de una persona cuya única función fuera esa, ya que se trata de 6 válvulas. Por este motivo en Las Ilusiones se cuenta con un aparato de relojería que automáticamente abre y cierra las válvulas accionadas por aire a presión colocadas en los tubos de extracción de acuerdo a como se le programe.

El dispositivo permite realizar una extracción con una frecuencia entre 10 a 30 minutos manteniendo abiertas las válvulas mediante una señal eléctrica desde 5 hasta 45 segundos. Las extracciones deben ajustarse constantemente, ya que idealmente los concentradores deben trabajar entre los  $2/3$  y  $3/4$  de su altura ocupada por fango, es decir que el nivel de éste debe oscilar entre 40 centímetros y 55 centímetros abajo del nivel del vertedero del concentrador. Es obvio que a mayor altura del fango, mas concentrado estará el fondo, donde se hace la extracción.

### II.2.3. Funcionamiento actual de la Decantación.

Por lógica, teniendo una floculación deficiente, no es posible realizar correctamente la decantación, por las mismas razones descritas en la sección correspondiente a floculación y por algunas otras. Como se indicó en la parte relativa al funcionamiento del decantador, la frecuencia y duración de las extracciones de fango, deben adecuarse a la altura del fango dentro de los concentradores, actualmente en Las Ilusiones sólo se utilizan dos valores para estos parámetros:

- a. En invierno se realizan extracciones de 35 segundos a cada 10 minutos.
- b. En verano se realizan extracciones de 20 segundos a cada 20 minutos.

Obviamente, dentro de la época lluviosa existen innumerables cambios en la concentración y el volumen de fangos. Cuando se trata agua con alta turbiedad, el volumen de fangos que se genera es muy elevado, si no se aumenta la frecuencia de las extracciones, los concentradores resultan insuficientes, son rebalsados por el fango que cae al fondo del decantador obstruyendo los agujeros de las tuberías de repartición de agua cruda en los sectores donde no existen placas tranquilizadoras y donde las hay, se acumula el fango sobre ellas, produciendo su fractura.

## **II.3. Filtración**

### **II.3.1. Teoría de la filtración**

La filtración no es más que la remoción de partículas suspendidas y coloidales presentes en una superficie acuosa que escurre a través de un medio poroso. La filtración es la responsable en gran parte de la producción de agua de calidad, coincidente con los patrones de potabilidad.

Ya que las fuerzas que mantienen a las partículas removidas de la suspensión, adheridas a la superficie de los granos del medio filtrante son activas para distancias relativamente pequeñas, la filtración es considerada como el resultado de dos mecanismos distintos, pero complementarios, transporte y adherencia. Las partículas son transportadas de la suspensión a la superficie de los granos del medio filtrante, permanecerán

adheridas si resisten las fuerzas de cizallamiento debidas a las condiciones hidrodinámicas del escurrimiento.

El transporte de partículas es un fenómeno físico e hidráulico, afectado por los parámetros que gobiernan la transferencia de masas. La adherencia entre partículas y granos es básicamente un fenómeno de acción superficial, influenciado por parámetros físicos y químicos. Entre los principales mecanismos de transporte se pueden citar:

- a. Impacto inercial: Dentro del flujo, las líneas de corriente divergen al estar cerca de los granos del medio filtrante, de modo que las partículas suspendidas, con suficiente cantidad de movimiento para mantener su trayectoria, colisionan con los granos. Para caracterizar la eficiencia de este mecanismo, fueron propuestas dos fórmulas:

$$II = \frac{\rho_s * d^2 * V}{18 * \mu * D}$$

$$\frac{F_i}{F_g} = \frac{2 * V_i^2}{g * D}$$

donde,

II = Parámetro adimensional que representa la eficiencia del mecanismo.

$\rho_s$  = Densidad de las partículas suspendidas.

d = Diámetro de las partículas suspendidas.

D = Diámetro de los granos del medio filtrante.

V = Velocidad de aproximación.

$\mu$  = Viscosidad absoluta del agua.

F<sub>i</sub> = Fuerza centrífuga inercial



$F_g$  = Fuerza de gravedad.  
 $V_i$  = Velocidad intersticial.  
 $g$  = Gravedad

- b. Intercepción: Normalmente el régimen de escurrimiento durante la filtración es laminar, por lo tanto, las partículas se mueven a lo largo de las líneas de corriente. Debido a que las partículas suspendidas tienen densidad aproximadamente igual a la del agua, ellas serán removidas de la suspensión cuando, en relación a la superficie de los granos del medio filtrante, las líneas de corriente están a una distancia menor que la mitad del diámetro de las partículas suspendidas. La siguiente ecuación fue desarrollada para partículas suspendidas y granos del medio filtrante en forma esférica.

$$I = \frac{d}{D}$$

donde,

$I$  = parámetro adimensional de intercepción.  
 $d$  = diámetro de las partículas suspendidas.  
 $D$  = diámetro de los granos del medio filtrante.

- c. Sedimentación: Este mecanismo es debido a la acción de la gravedad sobre las partículas, este efecto fue sugerido hace mas de 70 años cuando se consideraron los poros de los filtros lentos de arena como pequeñas unidades de sedimentación. La velocidad de sedimentación de las partículas puede calcularse mediante la siguiente ecuación.

$$V_s = \frac{g (p_s - p_a) d^2}{18 \mu}$$

donde,

$V_s$  = Velocidad de sedimentación de las partículas.

$\rho_s$  = Densidad de las partículas.

$\rho_a$  = Densidad del agua.

$d$  = Diámetro de las partículas.

$\mu$  = Viscosidad absoluta del agua.

$g$  = Gravedad.

- d. **Difusión:** Se ha observado que las partículas relativamente pequeñas presentan un movimiento errático cuando se encuentran suspendidas en un medio líquido. Este fenómeno, resultado de un bombardeo intenso a las partículas suspendidas por las moléculas de agua, es conocido como movimiento Browniano, y es debido al aumento de la energía termodinámica y a la disminución de la viscosidad del agua. El número de Peclet es un parámetro importante en los procesos difusivos.

$$Pe = \frac{3\pi * \mu * d * D * V}{K T}$$

donde,

$Pe$  = Número de Peclet.

$\mu$  = Viscosidad absoluta del agua.

$d$  = Diámetro de las partículas.

$D$  = Diámetro de los granos del medio filtrante.

$V$  = Velocidad de aproximación.

$K$  = Constante de Boltzmann.

$T$  = Temperatura.

$\pi$  = 3.1416.

- e. **Acción Hidrodinámica:** La remoción de partículas floculentas de tamaño relativamente grande, es atribuida a la acción hidrodinámica.

Se facilita su comprensión si se considera un flujo donde el gradiente de velocidad es constante. Una partícula suspendida en un flujo que escurre en estas condiciones, estará sometida a velocidades tangenciales variables en dirección perpendicular a la del escurrimiento. La única fórmula que la caracteriza es:

$$V_t = C$$

donde,

$V_t$  = Velocidad tangencial.

$C$  = Constante.

Por otra parte, la adherencia está gobernada básicamente por las características de las superficies de las partículas suspendidas y de los granos del medio filtrante. Las partículas pueden adherirse directamente tanto a la superficie de los granos como a partículas previamente retenidas. A continuación se describen los mecanismos de adherencia:

- a. Interacción combinada de las fuerzas electrostáticas y las de Van der Waals: De forma general, las partículas sólidas sumergidas en agua presentan cargas eléctricas en sus superficies. En la interfase sólido-líquida, existe una capa de iones de carga opuesta a la del sólido, conocida como capa estacionaria o compacta, y otra de iones esparcidos, también de carga opuesta denominada capa difusa. Esta capa electroquímica doble, establece un potencial de repulsión entre las partículas de la suspensión con cargas eléctricas semejantes. La magnitud de este potencial de repulsión y la distancia a la cual actúa su campo de acción, son afectadas por la composición química de la suspensión.
- b. Puente químico: A pesar que el modelo de la doble capa es muy importante, éste sólo puede aplicarse para coloides liófilos y electrolitos simples. Esta restricción resulta

del hecho de que dicho modelo no considera las fuerzas químicas que interfieren con la adherencia.

La adherencia de partículas coloidales en la interfase sólido-líquida que se produce en los filtros, puede deberse a una serie de mecanismos físicos y químicos que dependen de las características de ambas interfases. Cuando las partículas suspendidas y los granos del medio filtrante son de cargas opuestas, la fuerza electrostática de atracción se considera como base de la adherencia. No obstante, las fuerzas químicas pueden muchas veces, sobrepasar a las electrostáticas.

La adsorción de polímeros aniónicos sobre las superficies negativas es un ejemplo de la presencia de fuerzas químicas. Los enlaces químicos entre los coágulos y la superficie de los granos pueden hacerse de diversas maneras, destacándose el intercambio iónico, los enlaces de hidrógeno y la adsorción mútua.

### II.3.2. Filtración en la Planta Las Ilusiones.

El agua clara es transportada por las canaletas de agua decantada hacia un canal que distribuye el agua a los 4 filtros. El agua ingresa a los filtros a través de dos válvulas de batiente, el cual incluye un flotador que hace que la válvula se cierre cuando el nivel del agua sube en el filtro como en el caso de un lavado por ejemplo, además dirige el flujo hacia la superficie del agua dentro del filtro para no perturbar la parte superior de la arena en este punto.

Los cuatro filtros son AQUAZUR; con baja altura de agua sobre el lecho; tipo T; equipados con falso fondo de hormigón, en el cual se enroscan boquillas plásticas tipo D20, las cuales son de cola larga para una perfecta equirrepartición de aire y agua

durante el lavado del filtro; además su regulación es aguas arriba, por medio de sifón y caja parcializadora.

Se trata de filtros de nivel casi constante y compensación de atascamiento, ya que el nivel de agua varía poco o nada y el agua filtrada se restituye a un nivel situado 2 metros mas abajo y a un caudal igual al que llega a la instalación. Ver esquema del filtro en los anexos 2 y 3.

Para evitar que se descubran los lechos filtrantes y mantener el nivel del plano de agua a la entrada, están equipados de un órgano regulador que crea una pérdida de carga auxiliar cuando el filtro está limpio, pérdida que se anula cuando el filtro se encuentra totalmente atascado, el regulador compensa el atascamiento del lecho filtrante.

La regulación del filtro entonces, la realizan el sifón concéntrico y su caja de parcialización, con este conjunto, en el cual la caja es el órgano de detección y mando y el sifón el órgano regulador, se ajusta el nivel de agua dentro del filtro.

El sifón está constituido por dos tubos concéntricos, efectuándose la circulación del agua desde el tubo interior hacia el exterior. Su funcionamiento es idéntico al de un sifón ordinario, pero su estabilidad es mucho mejor. Si se introduce aire en su parte superior, el mismo es arrastrado por el agua en el conducto de salida, donde la densidad de la mezcla aire-agua decrece, disminuyendo así el vacío que se produce en el cuello.

Sin la introducción del aire de parcialización, el vacío en el cuello es igual a la pérdida de carga en el ramal de salida, es decir, la altura de caída entre el nivel de agua en el filtro y el plano de agua en el canal recolector de agua filtrada.

Por otra parte, la caja de parcialización es el órgano que regula el caudal de aire que se introduce en la parte superior

del sifón. Puede idealizarse como una válvula suspendida en un resorte fijo en un punto.

El filtro se atasca poco a poco, su caudal decrece dando lugar a una disminución de la densidad de la mezcla aire-agua en el sifón, por tanto, del vacío en el cuello del mismo, así como en el recinto de la caja de parcialización, el resorte actúa, entonces, reduciendo la sección y el caudal de entrada de aire, la densidad de la mezcla aire-agua aumenta y el valor del vacío se hace superior al que tenía antes del atascamiento. Cuando el filtro está totalmente atascado, no penetra más aire, el filtro trabaja utilizando su máxima caída geométrica; si en ese momento no se lava, el caudal comenzará a disminuir.

### II.3.3. Funcionamiento actual del proceso de filtración.

A continuación se describen algunas de las causas que producen una baja eficiencia del proceso.

- a. Indiscutiblemente la deficiencia en los procesos anteriores, afecta el funcionamiento de los filtros. Lo recomendable es que el agua que ingresa a los filtros no tenga más de 10 unidades de turbiedad, sin embargo, esto es difícil lograrlo en las condiciones actuales.
- b. El lecho filtrante, inicialmente de 80 centímetros de espesor, ahora es de 6 o menos, esta disminución ha reducido la eficiencia de los filtros y además redujo considerablemente la duración del ciclo de filtración de los mismos, necesiéndose lavados mas constantes. La pérdida del lecho se debe principalmente a:
  - b1. El frotamiento de los granos de arena unos con otros, durante los constantes lavados a lo largo de los años que lleva operando la planta, ha causado la fragmentación de los granos; y por consiguiente

reducción de peso específico, con lo cual fácilmente la corriente de aire y agua que ingresa al filtro durante el retrolavado, ha ido arrastrando la arena hacia afuera del filtro, lo cual se comprueba observando la cantidad de arena que hay en el tanque de recuperación.

b2. La pérdida de arena es mayor a medida que pasa el tiempo, pues al reducirse el volumen y peso del lecho en su conjunto, es menor la acción gravitatoria de éste, opuesta a la fuerza que ejerce la combinación aire-agua de retrolavado. Este efecto es equivalente a que cada día se incrementara el caudal de retrolavado.

c. Otro factor que hace que el funcionamiento de los filtros sea deficiente son las compuertas que comunican el canal general de agua decantada con los filtros. Cada filtro tiene 2, del tipo batiente, algunas ya no están instaladas, otras están suspendidas de una sola bisagra, sin funcionar. En general no proveen el cierre hermético requerido cuando se lava un filtro, por lo que el agua sucia sale de él e ingresa a los otros, su alta turbiedad reduce el ciclo de filtración.

## **II.4. Cloración**

### **II.4.1. Teoría de la Cloración.**

La desinfección del agua es un proceso unitario de tratamiento que tiene como objetivo garantizar la potabilidad de la misma desde el punto de vista microbiológico, asegurando la eliminación de microorganismos patógenos. Este proceso es fundamental dentro de la tecnología del tratamiento del agua, debido a que es conocido el hecho de que los otros procesos de tratamiento, como la sedimentación y la filtración, no remueven el 100% de los microorganismos patógenos presentes en las aguas

sujetas a tratamiento. Las aguas de consumo pueden estar expuestas a contaminación, al ser distribuidas a la población, a causa de deterioro en los tanques de almacenamiento y redes de distribución, por lo que la desinfección también debe actuar como seguro contra estas situaciones posteriores al tratamiento. El cloro es, sin duda alguna, el desinfectante más importante que existe, debido a que reúne todas las ventajas requeridas, además de ser de fácil utilización y menos costoso que la mayoría de los otros productos o agentes desinfectantes disponibles.

El cloro es el elemento número 17 de la tabla periódica de los elementos, en condiciones normales de presión y temperatura, es un gas verde, poderoso oxidante, dos y media veces más pesado que el aire.

El cloro puede aplicarse también utilizando alguna de sus sales. Entre las más conocidas están el hipoclorito de calcio y el hipoclorito de sodio, cuya eficiencia bactericida es idéntica a la del cloro, produciendo reacciones similares en el agua. Se suele emplear en plantas pequeñas, piscinas o pozos y en las plantas grandes en situaciones de emergencia.

Para que la desinfección sea más eficiente, se requiere que el afluente sea de la mejor calidad posible, es decir baja turbiedad y color cero, así como pH bajo, de lo contrario se requerirán dosis más altas para obtener el valor de cloro residual exigido por las normas. Debe determinarse constantemente el cloro residual, no sólo para verificar la eficiencia del proceso si no para evitar la sobre dosificación, porque puede ser perjudicial a la salud, es altamente corrosivo, puede producir en el agua un olor y sabor rechazable por la población. Una pequeña inyección de cloro como precloración, mejora generalmente la coagulación del agua y ayuda a eliminar problemas de sabor y olor.



#### II.4.2. Cloración en la Planta Las Ilusiones.

El agua filtrada es recolectada por un canal que la transporta hacia un depósito que tiene varias funciones:

- a. De él succiona la bomba seleccionada el agua utilizada para el retrolavado de los filtros.
- b. De aquí toman las bombas el caudal necesario para proveer el agua de dilución de químicos.
- c. El sistema hidroneumático que abastece a la planta, está conectado a este canal.
- d. En él se realiza la aplicación de la dosis de cloro para desinfección, sirve como cámara de contacto.

El agua clorada ingresa al tanque de Distribución, donde completa el tiempo de contacto. La planta cuenta además con una sala donde se almacenan y se conectan al sistema de cloración los cilindros de cloro de 2,000 libras de contenido utilizados, existe aquí una grúa viajera que permite movilizarlos con facilidad.

#### II.4.3 Funcionamiento actual del proceso de cloración

Este proceso es el que mejor se está realizando en la actualidad, se cuenta para el efecto con dos equipos de cloración, cada cual con su bomba y su rotámetro dosificador. Lo que no se hace constantemente es preclorar, a pesar de los beneficios ya descritos. El gran inconveniente que existe es que debido a la baja eficiencia general de la planta, el agua que se está desinfectando aunque se encuentra dentro de las normas, su calidad reduce consecuentemente la eficiencia de la desinfección, traducida en un aumento del consumo de cloro.

## CAPITULO III

### Resultados del mal funcionamiento en la planta Las Ilusiones

Por todos los factores enumerados en el capítulo anterior, el agua producida por la planta no siempre tiene la calidad deseada, y esto puede ser analizado en los distintos procesos por los que el agua pasa o bien al final de los mismos.

Para efectos del presente trabajo, se tomarán como resultados del mal funcionamiento de la planta, los casos en que la eficiencia del proceso analizado sea baja o negativa, o bien cuando los valores de las características del agua estén fuera de la norma establecida.

En nuestro país existe la Comisión guatemalteca de normas, dependencia del Ministerio de Economía, la cual elaboró un conjunto de normas que fueron publicadas en el diario oficial el día 18 de Octubre de 1985, teniendo carácter de ley desde esa fecha, para todo el territorio nacional.

Con relación al agua potable, la COGUANOR elaboró la norma NGO 29 001, la cual se va a emplear como marco de referencia para establecer la calidad del agua producida por la planta Las Ilusiones, se citarán algunas definiciones contenidas en la norma y que serán de utilidad:

- a. Agua Potable: Es aquella que por sus características de calidad especificadas en esta norma, es adecuada para el consumo humano.
- b. Límite máximo aceptable (LMA): Es el valor de la concentración de cualquier característica de calidad del agua, arriba de la cual el agua pasa a ser rechazable por los

consumidores, desde un punto de vista sensorial, pero sin que implique un daño a la salud del consumidor.

- c. Límite máximo permisible (LMP): Es el valor de la concentración de cualquier característica de calidad del agua, arriba de la cual, el agua no es adecuada al consumo humano.
- d. Grupo coliforme total: Comprende todas las bacterias en forma de bacilos, aerobios y anaerobios facultativos, Gram negativos<sup>4</sup>, no esporulados que fermentan la lactosa con producción de ácido y de gas a 35°C ± 0.5°C en menos de 48 horas, cuando se investigan por el método de los tubos múltiples de fermentación.

Resumen de los límites para las características físicas, químicas y bacteriológicas analizadas en el presente trabajo:

Característica	L.M.A.	L.M.P.
Color	5 unidades	50 unidades
Olor	No rechazable	No rechazable
ph	7.0 - 8.5	6.5 - 9.2
Sabor	No rechazable	No rechazable
Turbiedad	5 utn	25 utn
Detergentes	0.2 mg/l	1.0 mg/l
Aluminio	0.05 mg/l	0.1 mg/l
Cloro res. libre	0.3 - 0.5 mg/l	0.6 - 1.0 mg/l

Tabla 3

Según la norma, el límite máximo aceptable, seguro y deseable de cloro residual libre, en los puntos mas alejados del sistema de distribución es de 0.3 mg/l a 0.5 mg/l, después de 30 minutos de contacto, con el propósito principal de reducir en un 99.99 por ciento la concentración de virus entéricos.

<sup>4</sup> Gram negativas: bacterias que no son teñidas por el colorante de Gram. Los organismos de las aguas negras son predominantemente negativos, los organismos del suelo son regularmente positivos.

En aquellas ocasiones en que amenacen o prevalezcan brotes de enfermedades de origen hídrico, el residual de cloro debe mantenerse en un límite máximo permisible de 0.6 mg/l a 1.0 mg/l, en todas las partes del sistema de distribución, haciendo caso omiso de los olores y sabores en el agua de consumo. Deben tomarse medidas similares en los casos de interrupciones o bajas en la eficiencia de los tratamientos para potabilizar el agua.

Los límites aceptables y permisibles de estas especificaciones están sujetos a modificarse cuando se pueda emplear un método analítico sencillo y exacto para determinar la presencia de las sustancias denominadas trihalometanos (THM) en el agua de consumo, siempre que no sobrepasen el límite de 0.1 mg/l.

Las características bacteriológicas para certificar la calidad del agua potable, en casos para los cuales ya se tiene un historial, son analizadas por el método de los tubos múltiples de fermentación, se examinan cinco porciones de 10 centímetros cúbicos cada una, la ausencia de gas en todos los tubos se expresa como número más probable menor que 2.2 coliformes en 100 centímetros cúbicos o sea NMP/100 centímetros cúbicos, lo cual se interpreta comúnmente como un indicador de que esa muestra aislada satisface la norma de calidad y el agua es adecuada para consumo humano.

Para el análisis de la eficiencia de cada proceso expresado como porcentaje de remoción, se empleará la fórmula:

$$\text{Eficiencia} = \frac{\text{valor al inicio} - \text{valor al final}}{\text{valor al inicio}} * 100$$

Ejemplo: Si en el proceso de decantación se calcula la eficiencia del proceso con relación a la eliminación de turbiedad.

$$\% \text{ remoción de turbiedad} = \frac{120.67 - 8.69}{120.67} * 100 = 93\%$$

Tanto para control de la norma como para eficiencia, se analizaron resultados de los exámenes físico, químico sanitario y bacteriológico, del Laboratorio de Química y Microbiología Sanitaria del Centro de Investigaciones de Ingeniería de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos, desde 1990 a la fecha, utilizando sólo los análisis realizados durante la época de invierno por ser la más crítica.

### **III.1. Floculación**

Debido a que en la planta la floculación y la sedimentación se realizan dentro del decantador, la eficiencia de ambos procesos se determinará tomando los valores para el agua decantada. La planta fue diseñada para tratar agua con un ph de entrada de 7.2; de las tablas se desprende que en promedio, los últimos 5 años el ph ha sido 7.25, es decir, que no es un factor influyente en el mal funcionamiento de este proceso.

### **III.2. Decantación.**

Aunque los resultados se expresarán como eficiencia de la decantación, deberá entenderse que se trata realmente del proceso floculación-decantación que tiene lugar en el interior de los decantadores.

Si se toman los datos de la tabla número 6, página 56 se obtiene:

$$\% \text{ remoción de turbiedad} = \frac{120.67 - 8.69}{120.67} * 100 = 93\%$$

Si se toman los datos de la tabla número 5, página 55 se obtiene:

$$\% \text{ remoción de color} = \frac{680.79 - 44.0}{680.79} * 100 = 94\%$$

Si se toman los datos de la tabla número 7, página 57 se obtiene:

$$\% \text{ remoción de coliformes} = \frac{2,015,857 - 201,593}{2,015,857} * 100 = 90\%$$

Si se considera que los valores analizados fueron obtenidos durante el período de invierno, lo ideal sería que la remoción de color y turbiedad fueran superiores al 95%, sin embargo la eficiencia general del proceso indica que la decantación contribuye en alto grado a que se produzca agua de buena calidad, según norma 29001 COGUANOR.

### **III.3. Filtración**

El análisis de este proceso se dividirá en 4 partes:

- a.- Eficiencia del proceso de filtración.
- b.- Discrepancia entre los resultados del agua filtrada y del agua del tanque de distribución.
- c.- Eficiencia general de la planta.
- d.- Comparación de resultados contra las normas.

a.- Eficiencia del proceso de filtración: Si se toman los datos de la tabla número 6, página 56 se obtiene:

$$\% \text{ remoción de turbiedad} = \frac{8.69 - 6.19}{8.69} * 100 = 29\%$$

Si se toman datos de la tabla número 5, página 55 se obtiene:

$$\% \text{ remoción de color} = \frac{44.0 - 33.64}{44.0} * 100 = 24\%$$

Si se toman los datos de la tabla número 7, página 57 se obtiene:

$$\% \text{ remoción de coliformes} = \frac{201,593 - 26,915}{201,593} * 100 = 87\%$$

La eficiencia general del proceso de filtración es excesivamente baja

b.- Discrepancia entre los resultados del agua filtrada y de los del agua del tanque de Distribución.

Si se toman los datos de la tabla número 6, página 56 se obtiene:

$$\% \text{ incremento de la turbiedad} = \frac{6.19 - 8.0}{6.19} * 100 = -29\%$$

Si se toman los datos de la tabla número 5, página 55 se obtiene:

$$\% \text{ incremento del color} = \frac{33.64 - 43.29}{33.64} * 100 = -29\%$$

Definitivamente, resulta ilógico que los valores de turbiedad y color en el tanque de distribución sean mayores que los de la salida de filtros, siendo que el único proceso que sufre el agua entre ambos, es la desinfección. Sin embargo los resultados así lo indican, y no se trata de uno o dos que podrían haacer pensar en un error en el análisis de las muestras por parte del laboratorio.

Se trata de la mayoría de ellos. Las dos explicaciones posibles son, que el tanque de distribución tenga una gran cantidad de sedimento, o bien que el filtro del que se tomó la muestra en cada ocasión fue el que menor turbiedad tenía, la mezcla de ésta con el agua de los restantes 3 filtros, resulta de una turbiedad mayor.

c.- Eficiencia general de la planta. Si se toman datos de la tabla número 5, página 55 se obtiene:

$$\% \text{ remoción de color} = \frac{680.79 - 43.29}{680.79} * 100 = 94\%$$

Si se toman los datos de la tabla número 6, página 56 se obtiene:

$$\% \text{ remoción de turbiedad} = \frac{12.67 - 8.0}{12.67} * 100 = 93\%$$

Si se toman los datos de la tabla número 7, página 57 se obtiene:

$$\% \text{ remoción de coliformes} = \frac{2,015,857 - 2.2}{2,015,857} * 100 = 99\%$$

La eficiencia de toda la planta con relación a los tres parámetros analizados es muy buena, del análisis de los procesos aisladamente, se deduce que el proceso de floculación-decantación, está sacando adelante la mayor parte del proceso, juntamente con la desinfección. Cabe destacar que se observa claramente la degradación de la fuente que abastece a la planta, pues el número más probable de coliformes en 1990 era >24,000 mientras que en junio de 1995 es >24,000,000 .

d.- Comparación entre resultados y normas:

Característica	valor promedio	observaciones
Color (u c)	43.29	está en el L.M.P.
ph	6.07	fuera de norma
turbiedad utn	8.0	está en el L.M.P.
detergentes mg/l	0.11	en el L.M.A.
aluminio mg/l	0.53	fuera de norma



cloro residual mg/l	1.8	*
Coliformes nmp/100 c.c.	< 2.2	dentro de norma

\* este valor no se puede comparar, pues la norma se refiere a puntos más lejanos en la red y el valor que se tiene es en el tanque de distribución, aún dentro de la planta.

Tabla 4

### III.4 Cloración:

Si se toman como base los datos de la tabla número 9, página 62 se obtiene:

$$\% \text{ reducción de coliformes} = \frac{26,915 - 2.2}{26,915} * 100 = 99\%$$

El proceso de desinfección es el más eficiente de la planta. El análisis de coliformes se expresa como una probabilidad, donde el valor NMP < 2.2 significa ausencia de coliformes.

**Análisis de los procesos de tratamiento  
en la Planta Las Ilusiones**

Característica: COLOR (uc)

Fecha	Canal de entrada	Salida sedimentador	Salida de filtros	Tanque de distribución
11/05/90	345	23	3	12
28/09/90	310	48	22	27
16/08/91	68	20	38	19
18/10/91	310	40	29	18
12/06/92	1,120	30	52	62
28/08/92	185	90	70	72
13/11/92	93	63	38	60
09/07/93	1,500	61	42	35
03/09/93	450	14	50	42
13/05/94	650	59	28	34
16/06/94	2,200	46	25	55
19/08/94	950	47	29	40
28/10/94	250	30	11	30
26/06/95	1,100	45	34	100
Promedio	680.79	44.00	33.64	43.29

Fuente: Informes de exámenes Físico, Químico, Sanitario, Bacteriológico del Laboratorio de Química y Microbiología Sanitaria. Centro de Investigaciones de Ingeniería, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos

Tabla 5

Análisis de los procesos de tratamiento  
en la Planta Las Ilusiones

Característica: TURBIEDAD (utn)

Fecha	Canal de entrada	Salida sedimentador	Salida de filtros	Tanque de distribución
11/05/90	110	6.60	1.20	3.90
28/09/90	88	12.00	6.50	8.00
14/06/91	220	4.00	2.30	2.00
16/08/91	10	4.00	7.40	3.50
18/10/91	53	8.00	5.60	4.00
12/06/92	120	6.00	6.30	9.10
28/08/92	35	20.00	16.00	15.00
13/11/92	16	12.00	6.90	12.00
09/07/93	310	14.00	9.00	7.00
03/09/93	75	3.50	9.00	7.80
13/05/94	93	8.00	4.00	3.50
16/06/94	320	10.00	7.50	12.00
19/08/94	140	6.30	3.50	5.00
28/10/94	60	8.00	2.70	6.20
26/06/95	160	8.00	5.00	21.00
Promedio	120.67	8.69	6.19	8.00

Fuente: Informes de exámenes Físico, Químico, Sanitario, Bacteriológico del Laboratorio de Química y Microbiología Sanitaria. Centro de Investigaciones de Ingeniería, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos

Tabla 6

**Análisis de los proceso de tratamiento  
en la Planta Las Ilusiones**

**Característica: COLIFORMES FECALES nmp**

Fecha	Canal de entrada	Salida sedimentador	Salida de filtros	Tanque de distribución
11/05/90	>24,000	>24,000	>24,000	<2.2
28/09/90	>24,000	>24,000	4,600	<2.2
14/06/91	>24,000	>24,000	>24,000	<2.2
16/08/91	>24,000	430	>3.0	<2.2
18/10/91	>24,000	>24,000	>24,000	<2.2
12/06/92	>24,000	4,300	230	<2.2
13/11/92	>46,000	9,300	9,300	<2.2
09/07/93	>240,000	>24,000	>2,400	<2.2
03/09/93	>240,000	>24,000	93	<2.2
13/05/94	>240,000	>24,000	>24,000	<2.2
16/06/94	>240,000	43	43	<2.2
19/08/94	>240,000	230	150	<2.2
28/10/94	>2,400,000	>240,000	>240,000	<2.2
26/06/95	>2.4 E07	>2,400,000	>24,000	<2.2
Promedio	>2,015,857	>201,593	>26,915	<2.2

Fuente: Informes de exámenes Físico, Químico, Sanitario, Bacteriológico del Laboratorio de Química y Microbiología Sanitaria. Centro de Investigaciones de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Universidad de San Carlos

Tabla 7

**Análisis de los procesos de tratamiento  
en la Planta Las Ilusiones**

Característica: ph

Fecha	Canal de entrada	Salida sedimentador	Salida de filtros	Tanque de distribución
11/05/90	7.10	6.80	6.70	6.60
28/09/90	6.70	6.50	6.60	6.50
14/06/91	6.80	5.80	5.90	5.70
16/08/91	7.60	6.70	6.60	6.60
18/10/91	7.30	7.10	6.20	6.30
12/06/92	6.80	6.00	6.00	6.00
28/08/92	7.00	5.70	5.50	6.00
13/11/92	7.90	6.80	6.90	7.10
09/07/93	7.50	4.80	5.00	4.80
03/09/93	7.20	6.70	5.30	4.20
13/05/94	7.60	6.50	6.60	6.60
16/06/94	7.20	5.60	5.70	5.70
19/08/94	7.30	6.10	6.10	6.30
28/10/94	7.50	6.60	6.70	6.80
26/06/95	7.30	7.30	6.10	5.90
Promedio	7.25	6.33	6.13	6.07

Fuente: Informes de exámenes Físico, Químico, Sanitario, Bacteriológico del Laboratorio de Química y Microbiología Sanitaria. Centro de Investigaciones de Ingeniería, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos

Tabla 8

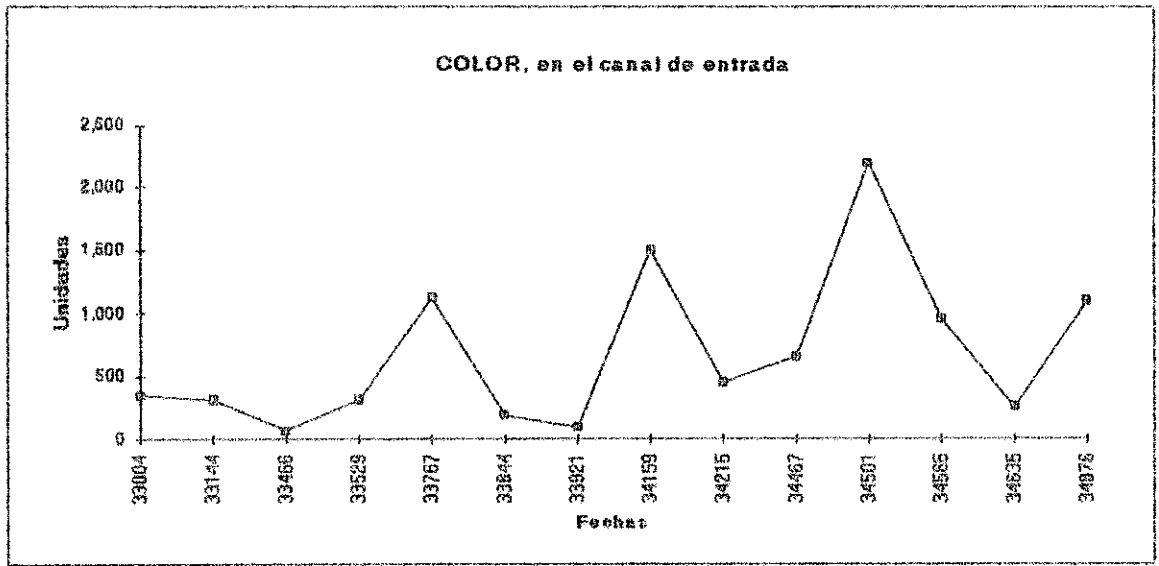


Gráfico 1

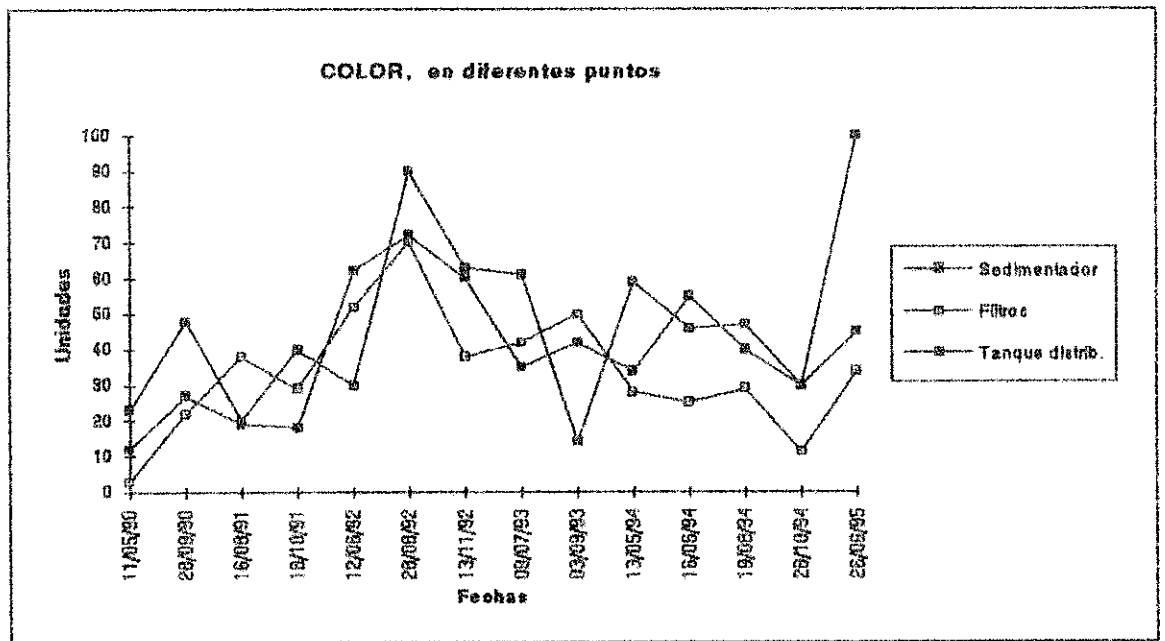
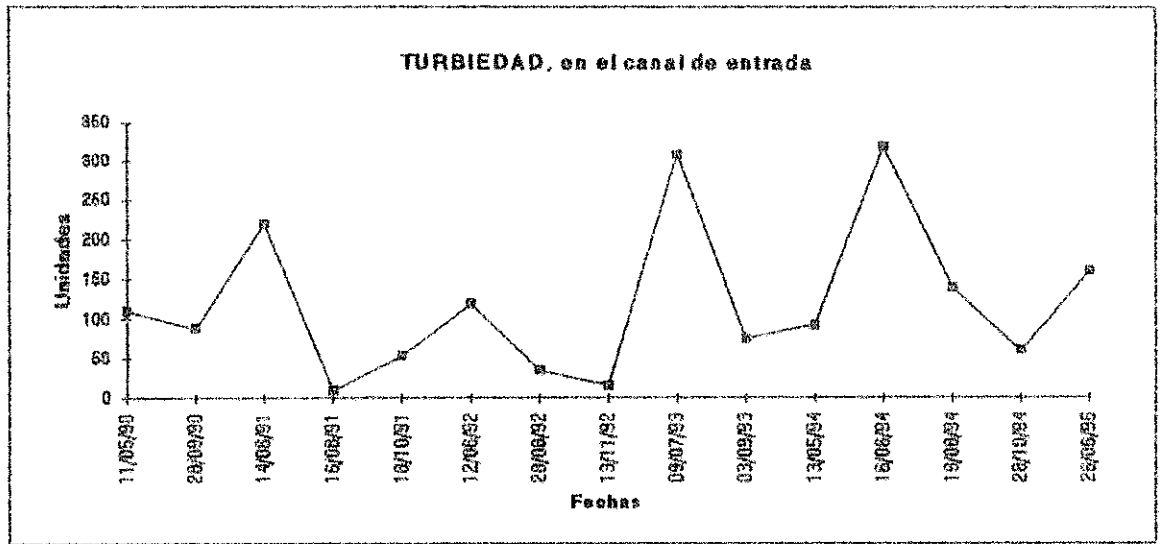
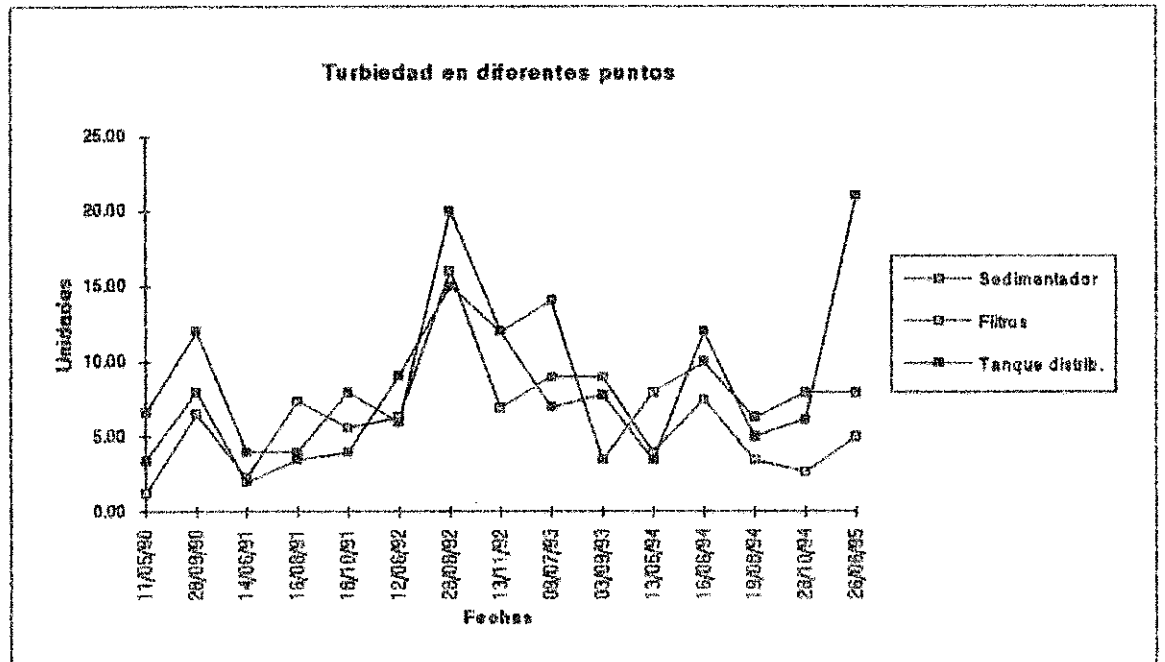


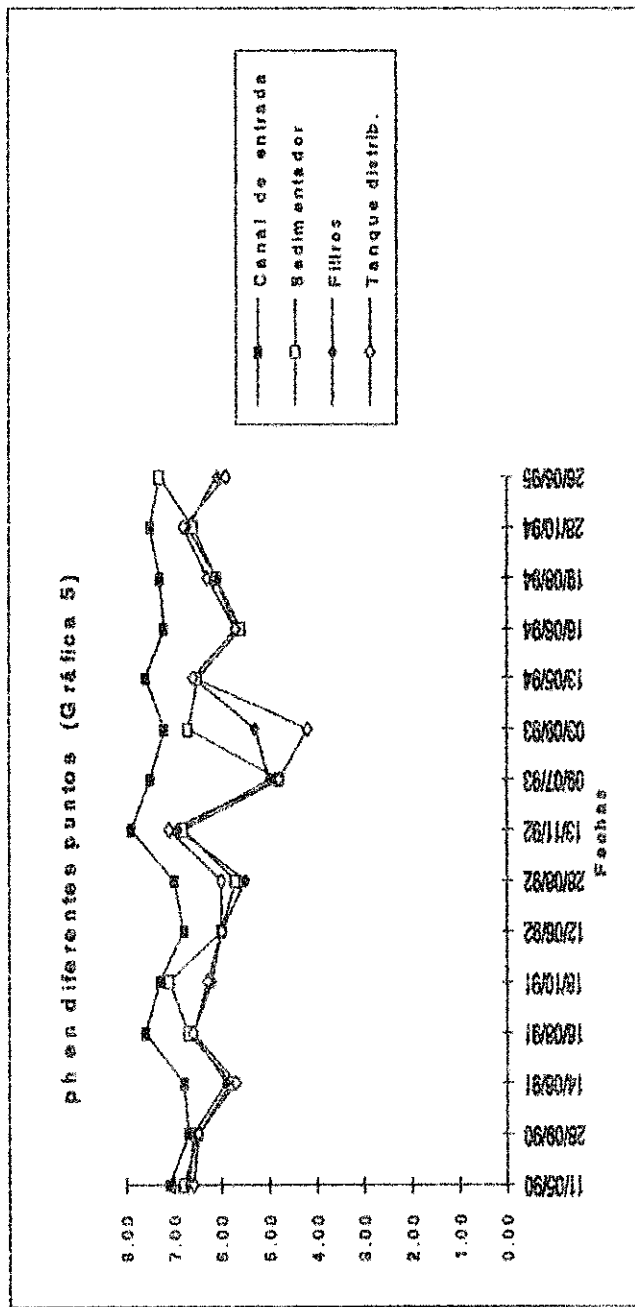
Gráfico 2



Gráfica 3



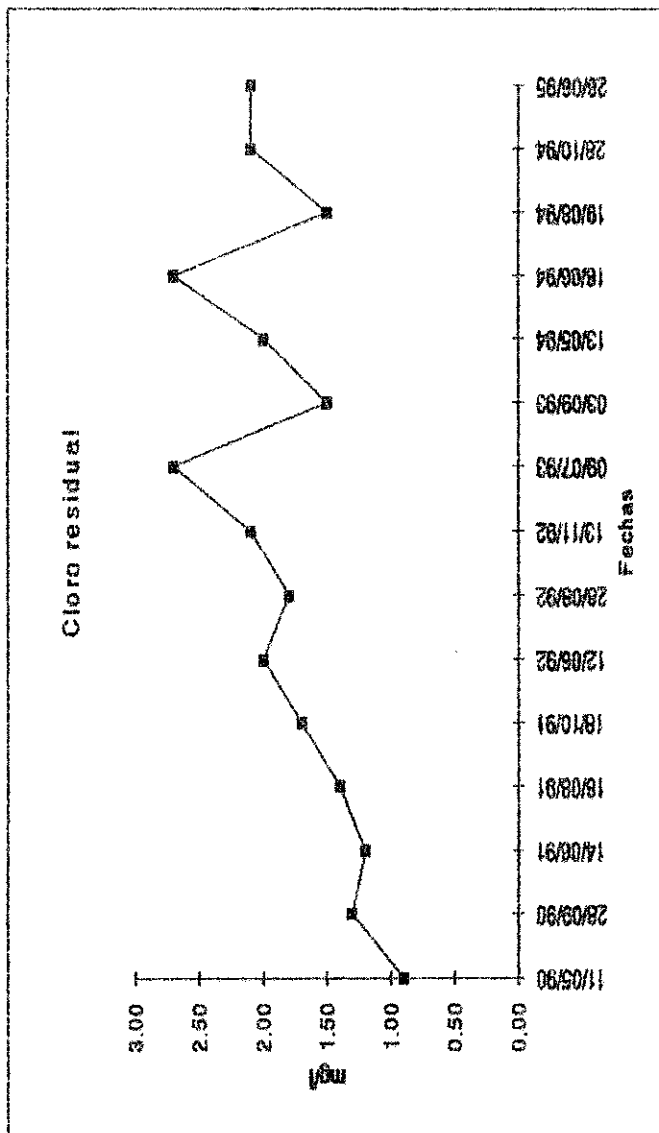
Gráfica 4



Fuente: Informe de exámenes físico, Químico, Sanitario, Bacteriológico del Laboratorio de Química y Microbiología Sanitaria.  
 Centro de Investigaciones de Ingeniería, Universidad de San Carlos



Análisis de los Procesos de Tratamiento  
 Planta LAS ILUSIONES  
 Característica: CLORO RESIDUAL (mg/l)



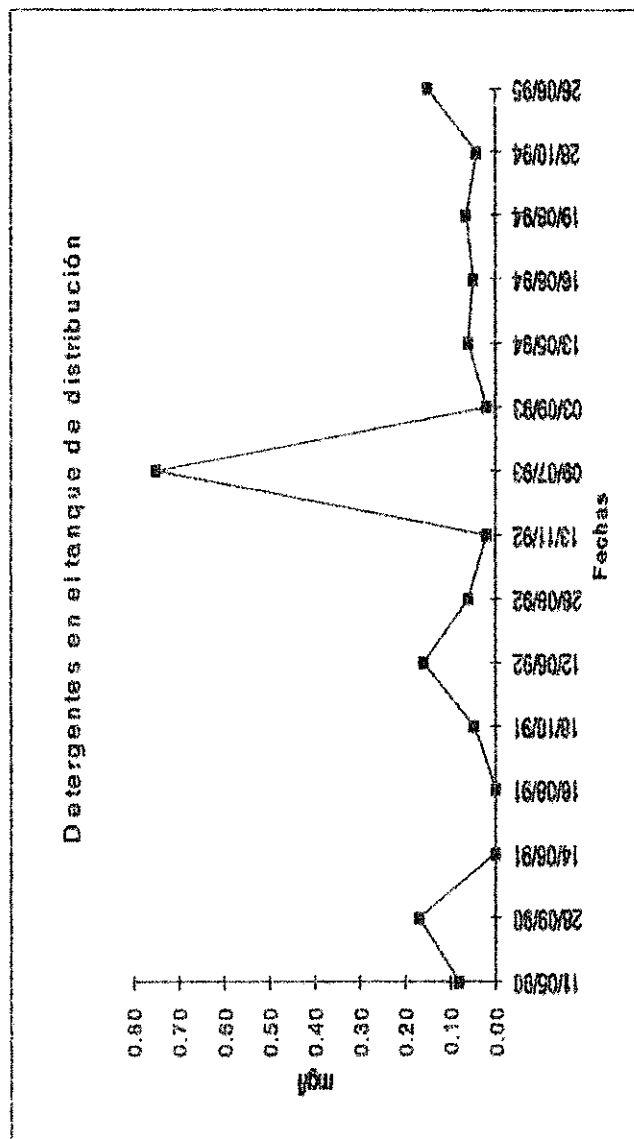
Fecha	Tanque de distribución
11/05/90	0.90
28/09/90	1.30
14/06/91	1.20
16/08/91	1.40
18/10/91	1.70
12/06/92	2.00
28/08/92	1.80
13/11/92	2.10
09/07/93	2.70
03/09/93	1.50
13/05/94	2.00
16/06/94	2.70
19/08/94	1.50
26/10/94	2.10
26/06/95	2.10
Promedio	1.80

Tabla 9

Fuente: informes de exámenes Físico, Químico, Sanitario, Bacteriológico del Laboratorio de Química y Microbiología Sanitaria.  
 Centro de Investigaciones de Ingeniería, Universidad de San Carlos

Gráfica 6

Análisis de los Procesos de Tratamiento  
 Planta LAS ILUSIONES  
 Característica: DETERGENTES (mg/l)



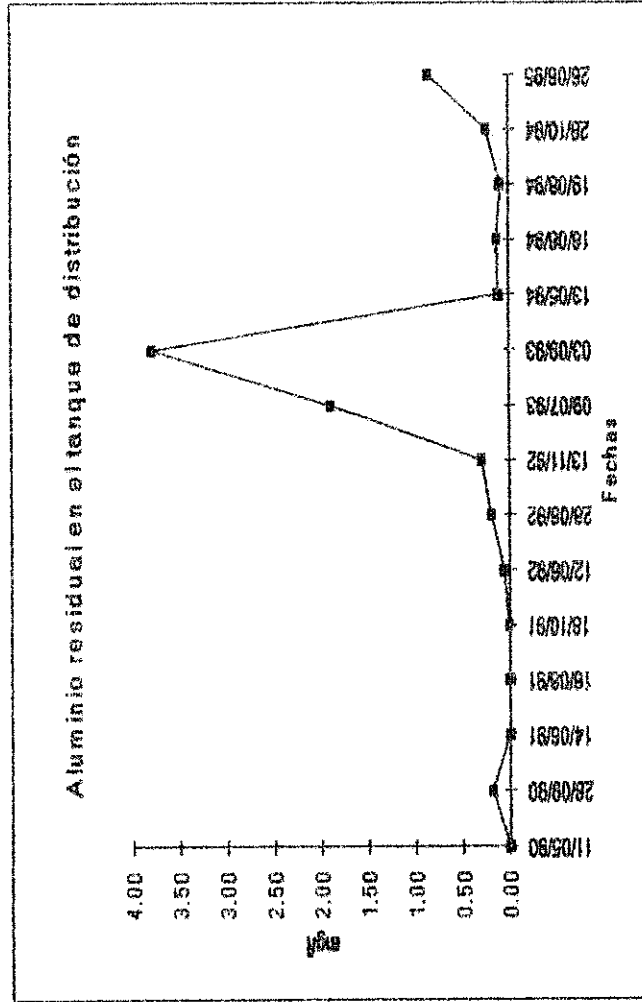
Gráfica 7

Fecha	Tanque de distribución
11/05/90	0.08
28/09/90	0.17
14/06/91	0.00
16/08/91	0.00
18/10/91	0.05
12/06/92	0.16
28/08/92	0.06
13/11/92	0.02
09/07/93	0.75
03/09/93	0.02
13/05/94	0.06
16/06/94	0.05
19/08/94	0.07
28/10/94	0.04
26/06/95	0.15
Promedio	0.11

Tabla 10

Fuente: Informes de exámenes Físico, Químico, Sanitario, Bacteriológico del Laboratorio de Química y Microbiología Sanitaria. Centro de investigaciones de Ingeniería, Universidad de San Carlos

Análisis de los Procesos de Tratamiento  
 Planta LAS ILUSIONES  
 Característica: ALUMINIO RESIDUAL (mg/l)



Gráfica B

Fecha	Tanque de distribución
11/05/90	0.00
28/09/90	0.19
14/06/91	0.00
16/08/91	0.00
18/10/91	0.01
12/06/92	0.06
28/08/92	0.20
13/11/92	0.30
09/07/93	1.90
03/09/93	3.80
13/05/94	0.11
16/06/94	0.13
19/08/94	0.09
28/10/94	0.24
26/06/95	0.86
Promedio	0.53

Tabla 11

Fuente: Informes de exámenes Físico, Químico, Sanitario, Bacteriológico del Laboratorio de Química y Microbiología Sanitaria. Centro de Investigaciones de Ingeniería, Universidad de San Carlos.

## **CAPITULO IV**

### **Programa de rehabilitación de la planta.**

En el presente capítulo se enumerarán las acciones sugeridas que permitan elevar la eficiencia de la planta, para alcanzar los valores establecidos por las normas para agua potable en algunos parámetros, y en otros, mejorar su calidad. Algunas de las acciones a seguir son iniciativa del autor del presente trabajo y las restantes fueron tomadas del informe del Proyecto de Rehabilitación de las Plantas de Tratamiento de agua potable en la ciudad de Guatemala, realizado con la cooperación financiera no reembolsable proporcionada por la Agencia de Cooperación Internacional de Japón ( JICA ) en cuyo caso se hará la observación respectiva.

### **IV.1 Procesos unitarios**

#### **IV.1.1 Mezcla rápida**

Conviene recordar que los factores más importantes para tener una mezcla efectiva son: que la distribución del coagulante sea lo más uniforme posible y que se produzca una agitación intensa. En los dos vertederos de entrada a la planta, existen sendas canaletas que constan de medios tubos de PVC de 4", con perforaciones a todo lo largo, para que la mezcla sea uniforme. Cada canaleta está fijada a las paredes laterales del vertedero. Cuando el caudal aumenta o disminuye, el punto de máxima turbulencia se traslada provocando que en ciertos momentos la mezcla no sea eficiente. Deben colocarse tres canaletas por vertedero en los lugares que correspondan a la caída del agua para una, dos o tres unidades de bombeo de la estación El Atlántico.

#### IV.1.2 Coagulación

Como resultado de una efectiva mezcla rápida, se obtiene una coagulación eficiente, por lo que se considera que con la modificación propuesta para aquella, se obtendrán buenos resultados. Es importante igualmente conocer con exactitud el caudal que se está tratando y la cantidad de coagulante que se aplica, esto se logrará instalando un sistema de medición y dosificadores en solución respectivamente, los cuales se especificarán en la sección de obras a construir.

#### IV.1.3.Floculación

Se considera que para mejorar la floculación, más que requerir de obras físicas, sólo debe operarse el "PULSATOR" como lo indica el manual de operación de la planta (Ver breve descripción en el anexo número II y ver esquema de funcionamiento en el anexo número IV). Deben evitarse a toda costa las paradas del "PULSATOR" para que se mantenga homogéneo y denso el manto de fango. Lo más importante es ajustar las pulsaciones modificando los 3 parámetros que las rigen, como lo son: altura de caída, tiempo de caída y frecuencia, para que se ajusten a las características del agua cruda o el caudal en todo momento. Con los datos que optimicen la operación del "PULSATOR", se construirá una tabla que para un caudal y una turbiedad dados, indique los valores de altura de caída, tiempo y frecuencia recomendados.

TURBIEDAD	CAUDAL	
	A	B
X	Altura	Altura
	Tiempo	Tiempo
	Frecuencia	Frecuencia
Y	Altura	Altura
	Tiempo	Tiempo
	Frecuencia	Frecuencia

#### IV.1.4. Decantación

En vista que tanto la floculación como la decantación se realizan dentro del decantador, operar el "PULSATOR" conforme lo indica el manual de operación de la planta beneficiará ambos procesos (Ver breve descripción en el anexo número 11 y ver esquema de funcionamiento en el anexo número IV).

Además, actualmente faltan aproximadamente el 40% de las placas tranquilizadoras de flujo del decantador.

Las originales eran de asbesto cemento, sin embargo en 1993 fueron fabricadas por personal de mantenimiento de la Planta Las Ilusiones, utilizando estructomalla y mortero de arena y cemento; puede hacerse lo mismo ahora, ya que el costo es bajo y las placas que se construyeron están funcionando eficientemente.

Ya sea que se construyan o se compren hechas, debe completarse el 100% de las canaletas tranquilizadoras.

#### IV.1.5. Extracción de fangos

Este es otro factor importante para obtener una floculación y decantación adecuadas. Las tuberías de extracción fueron sustituidas por otras nuevas en 1993 y las válvulas de sus extremos funcionan bien, lo que debe mejorarse es su operación. La frecuencia y duración de la extracción, deben ser tales que permitan una alta densidad de los fangos y además, éstos deben ocupar entre  $2/3$  y  $3/4$  de la altura de los concentradores. De acuerdo al aumento o disminución de la turbiedad y del caudal tratado, deben modificarse los parámetros de la extracción, anotar los valores que optimicen y con ellos hacer una tabla que servirá de referencia rápida a emplearse cuando los valores de turbiedad y caudal varíen bruscamente.

A continuación se describirá la forma en que puede construirse la tabla mencionada.

		CAUDAL	
TURBIEDAD		A	B
X		Frecuencia	Frecuencia
		Duración	Duración
Y		Frecuencia	Frecuencia
		Duración	Duración

#### IV.1.6. Filtración

Este es el proceso con menor eficiencia en la planta, para el cual se proponen cuatro acciones.

- a. Según el informe del proyecto de Rehabilitación de Plantas EMPAGUA-Gobierno de Japón, en la batería filtrante faltan 2,600 boquillas del falso fondo, las cuales deben comprarse a la compañía DEGREMONT, dueña de la patente, e instalarse, para mejorar la calidad del agua filtrada, e impedir la pérdida del material filtrante.
- b. Sustitución de la arena de los cuatro filtros. Son necesarios 168 metros cúbicos de arena que tenga un diámetro nominal entre 0.9 y 1.0 milímetros y un coeficiente de uniformidad de 1.7.
- c. Sustituir las 8 compuertas de entrada de los filtros (2 de cada uno), ya que las actuales no sellan herméticamente y durante el lavado del filtro el agua turbia se sale de él, e ingresa a los otros.

d. Sustituir 2 cajas parcializadoras que se encuentran en mal estado y que no permiten una correcta regulación de los filtros, dificultando su operación.

#### IV.1.7. Neutralización

En vista que el ph del agua tratada es muy bajo, la neutralización es necesaria para reducir la agresividad del agua y evitar que forme incrustaciones en las tuberías de conducción y distribución.

La planta cuenta con dos dosificadores para flúor a los cuales sólo les faltan los motores de dosificación y de agitación, que con una mínima inversión pueden instalarse y emplear dichos dosificadores para aplicar la cal de neutralización, que sea necesaria, ya que cuentan con la instalación eléctrica e hidráulica necesaria.

#### IV.1.8. Cloración

Este proceso en la actualidad es el más eficiente, sin embargo, al implementar la neutralización debe tenerse el cuidado de verificar que el punto de aplicación de cloro esté antes que el de cal para aprovechar el ph bajo del agua de salida, el cual optimiza la desinfección.

### **IV.2. Instalaciones Electromecánicas**

#### IV.2.1. Motores

Deben colocarse los dos motores de dosificación y los dos de agitación a los actuales dosificadores de flúor, éstos serán empleados para aplicar la cal de neutralización.



#### IV.2.2. Bombas

- a. En la actualidad, en el tanque de recuperación de agua de lodos, donde se deposita el producto de las extracciones de fango, existe una bomba que presenta una gran vibración y además no es capaz de recircular el agua al mismo ritmo que ésta ingresa al depósito.

Deben instalarse dos bombas, una para uso constante y otra de reserva, que impulsen un caudal de 1.0 metro cúbico/minuto para una diferencia de altura de 12 metros columna de agua, de acuerdo a los cálculos realizados por el Proyecto de Rehabilitación de Plantas EMPAGUA-Gobierno de Japón.

- b. En el depósito donde se almacena el agua proveniente del lavado de filtros existe una bomba que es insuficiente para recuperar toda el agua que ingresa al depósito, sobre todo en invierno cuando los filtros en ocasiones se lavan dos veces en un día. Se recomienda instalar dos bombas, una para operar constantemente y otra de reserva, cuyas especificaciones sean, bomba sumergida de 5.5 Kw, con un caudal 0.9 metros cúbicos/minuto, para una diferencia de presión de 16 metros columna de agua y de 10 caballos de potencia, de acuerdo a datos calculados por el Proyecto de Rehabilitación de plantas EMPAGUA-Gobierno de Japón.

#### IV.2.3. Compresores

Para crear el vacío en las dos campanas del "PULSATOR" (una para cada decantador) existían en la planta tres compresores (uno de reserva), de ellos, ahora únicamente uno funciona y en forma irregular. Deben instalarse tres compresores recíprocos de apertura y cierre automático por presión, con capacidad de 150 litros/minuto a 4 Kgf/cm<sup>2</sup>, que cuente con medidor de presión entre 0 y 10 kgf/cm<sup>2</sup> del tipo de enfriado por agua. Cálculos efectuados por el Proyecto de Rehabilitación de plantas EMPAGUA-Gobierno de Japón.

#### IV.2.4.Otros

El sistema actual de medición del caudal a tratar consiste en 3 valores fijos ya descritos, correspondientes a contar con 1, 2 o 3 unidades de bombeo trabajando en la Estación El Atlántico, el cual es sumamente impreciso, además, para el agua tratada no existe medidor.

La medición se realizaba en los inicios de la planta por medio de dos medidores tipo Venturi, uno para la entrada y otro para la salida, los cuales se encuentran destruidos. El proyecto de Rehabilitación de Plantas EMPAGUA-Gobierno de Japón ha propuesto la instalación de dos medidores tipo ultrasonido, capaces de registrar hasta 1,050 metros cúbicos/hora, con un diámetro de 500 milímetros, los cuales resultan sumamente costosos, sin embargo, en vista que serán costeados por la cooperación financiera no reembolsable del gobierno de Japón, se consideran como una excelente decisión debido a su alta precisión.

### IV.3. Obra Civil

#### IV.3.1.Construcciones existentes

Básicamente se contempla la adecuación de los dosificadores de flúor para ser utilizados en la aplicación de cal. Existe una tendencia a nivel mundial a aplicar el flúor para la prevención de la caries dental en productos de consumo y no en el agua potable, ya que está comprobado que de toda el agua producida, es muy bajo el porcentaje que los humanos ingieren, el resto del agua es empleada para diferentes usos, para los que el flúor se estaría desperdiciando inútilmente.

Para adecuar los dosificadores únicamente se requiere instalar los motores de dosificación y de agitación, así como un flote que garantice un determinado nivel del agua dentro del

tanque de dilución para evitar que ingrese aire en la tubería de aplicación, pues esto da lugar a la formación de compuestos químicos que provocan que la cal se incruste en las paredes de los tubos y los obstruya.

#### IV.3.2.Obras a construir.

- a. Se considera importante la sustitución de los actuales dosificadores de sulfato de aluminio en seco, por dosificadores en solución que permiten una mayor exactitud en la aplicación de coagulante. Para tal efecto se construirán 2 depósitos de concreto de 5 metros cúbicos cada uno, en la bodega de la planta y desde allí se elevará la mezcla hacia los dosificadores que tendrán una capacidad máxima de 34.1 metros cúbicos/día según la experiencia existente. Cálculos realizados por el Proyecto de Rehabilitación de Plantas EMPAGUA-Gobierno de Japón. Ver esquema en el anexo 12.
  
- b. Construcción de una sala de 10 metros de largo, 6 metros de ancho y 4 metros de alto, donde se instalará una planta eléctrica de emergencia, capaz de suministrar la energía requerida por los equipos durante una suspensión del fluido eléctrico. Constará de un generador diesel trifásico, de 460 voltios y 80Kva, datos calculados por el Proyecto de Rehabilitación de Plantas EMPAGUA-Gobierno de Japón.

## CAPITULO V

### Mantenimiento Propuesto

#### **V.1.Mantenimiento Preventivo.**

Tomando en cuenta que el mantenimiento preventivo es el responsable en gran parte de que los equipos, instrumentos o estructuras operen eficientemente y evitar que se produzcan paradas forzadas o imprevistas, debe dársele la importancia que tiene, poniendo mucho interés en que se realice de acuerdo a un programa pre establecido.

##### V.1.1 Instalaciones Mecánicas.

La tabla número 12, contiene la programación propuesta para las instalaciones mecánicas.

<b>Equipo</b>	<b>Actividad</b>	<b>Frecuencia</b>
<b>Balanza de cloro</b>	<b>Comprobar que tenga grasa el engrasador de la carátula</b>	<b>Anualmente</b>
	<b>Verificar que el fluido especial del amortiguador no esté a mas de 1 cm. del borde del recipiente</b>	<b>Cada 3 meses</b>
	<b>Comprobar la exactitud de la balanza</b>	<b>Anualmente</b>
<b>Caja de parcialización de los filtros</b>	<b>Engrasar los resortes</b>	<b>Cada 6 meses</b>
	<b>Revisar el empaque del asiento de la válvula (obturador)</b>	
	<b>Chequear el juego entre el eje y los anillos de bronce</b>	
	<b>Limpiar el eje con un trapo ligeramente engrasado</b>	
	<b>Accitar las roscas de los "sombrosos" superior e inferior</b>	

Válvulas de mariposa de filtros y de by-pass	Cambiar la guarnición cuando se compruebe que está dañada	cuando sea necesario
	Limpiar el cárter donde se hace la unión entre el pistón y el eje de la válvula y agregar nueva grasa.	Cada 2 años
Válvula de seguridad de aire de lavado	Comprobar que el cilindro que recibe el eje de la válvula contenga 20 gramos de aceite para amortiguación	Cada 6 meses
Válvula de seguridad de bombas de vacío	Comprobar que el cilindro que recibe el eje de la válvula contenga 16 gramos de aceite para amortiguación	Cada 6 meses
Válvulas de volante	Engrasar el eje	
	Verificar la estanqueidad de la instalación que controlan	Cada 6 meses

Tabla Número 12

#### V.1.2 Instalaciones Eléctricas.

La tabla número 13, contiene la programación propuesta para las instalaciones eléctricas.

Equipo	Actividad	Frecuencia
Bombas de vacío del PULSATOR	Limpiar el cárter de la siguiente forma: - vaciar y enjuagar con petróleo, - limpiar con una jeringa y aceite puro, - vaciar nuevamente, - llenar al nivel del punto rojo del orificio para inspección.	Cada 6 meses
	Cambiar la grasa del cojinete	
	Agregar 5 gramos de grasa a los 2 cojinetes del motor	anualmente

Compresor de lavado de filtros	Cambiar el aceite del cárter	Cada 2 años
	Cambiar la grasa de los cojinetes	
	Agregar 18 gramos de grasa a los 2 cojinetes del motor	
	Limpiar el cartucho del filtro con agua tibia y detergente, enjuagar, secar y aceitar ligeramente antes de instalar	Cada 6 meses
Compresores de aire a presión	Limpiar con gasolina los filtros de aspiración	Cada mes
	Nivelar el aceite	cuando sea necesario
	Cambiar el aceite	Cada 6 meses
	Agregar 4 gramos de grasa a ambos cojinetes del motor	Anualmente
Dosificadores (de sulfato de aluminio de cal y flúor)	Cambio de aceite	Cada 2 años
	Limpiar los cojinetes del motor y aceitarlos	
	Inspeccionar los vibradores y limpiarlos	Cada mes
Montacargas (Ascensor)	Agregar grasa a la cadena y un poco a los rieles de la cabina	Cada 6 meses
	Cambiar el aceite del reductor	Cada 2 años
Tableros de control	Limpieza interna y externa	Cada mes
	Aplicar veneno contra roedores	Cada 3 meses

Tabla número 13

V.1.3. Instalaciones Hidráulicas.

La tabla número 14 contiene la programación propuesta para las instalaciones hidráulicas.

Equipo	Actividad	Frecuencia
Bombas de agua a presión	Agregar 5 gramos de grasa neutra al cojinete	Cada 6 meses
	Limpiar el cojinete y renovar la grasa	Cada años
	Agregar 5 grs. de grasa a cada cojinete del motor.	Anualmente
	Limpiar el cojinete del motor y renovar la grasa.	Cada 5 años
Bombas de lavado de filtros	Completar el nivel de aceite	Cuando sea necesario
	Limpiar los cojinetes y la silleta soporte.	Cada 2 años
	Agregar 6 gramos de grasa a ambos cojinetes del motor	
	Limpiar los cojinetes del motor y engrasar	Cada 10 años
Bombas de recirculación de agua de lavado y del tanque de lodos	Agregar 10 grs. de grasa al cojinete	Anualmente
	Limpiar el cojinete y engrasar.	Cada 2 años
	Agregar 65 grs. de grasa al cojinete del motor.	Anualmente
	Limpiar los cojinetes del motor y engrasar	Cada 5 años
Cloradores	Limpiar el rotámetro, el flotador, los asientos y el cuello del eyector	Cada 6 meses
Rotámetros de los dosificadores	Limpieza interna	Cada 3 meses

Tabla número 14

V.1.4. Obra Civil.

En esta sección, se incluyen actividades como lavado, pintura, chapeo y otras, relacionadas con los edificios y áreas verdes de la planta.

MESES

Actividad	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Lavado de decantadores				■							■	
Lavado de paredes de filtros		■			■		■		■		■	
Lavado de tanque de distribución						■						■
Lavado tanque de recuperación lavado de filtros	■			■			■			■		
Lavado de tanque de lodo			■		■		■		■			■
Inspección del lecho: boquillas y fondo falso de filtros					■				■			
Lavado tanque elevado						■						
Pintura de las instalaciones	■	■	■									
Chapeo general						■	■	■	■			
Inspección de decantadores				■							■	
Lavado campana de vacío				■			■				■	
Lavado de vertedero			■			■			■			■

TABLA 15



## V.2. Mantenimiento correctivo

Este mantenimiento consiste básicamente en la sustitución de equipos, aparatos y elementos de las instalaciones. Lo ideal es, por medio de un adecuado programa de mantenimiento preventivo, reducir el número de equipos que deben ser reemplazados. Sin embargo, en la Planta Las Ilusiones, se hace imprescindible sustituir equipos que ya han superado su vida útil, o que han caído en obsolescencia y que no existen repuestos en caso de una falla.

### V.2.1. Instalaciones mecánicas

Dentro de este grupo, se debe considerar:

- a. Sustituir dos cajas parcializadoras, ya que las actuales no permiten una correcta regulación de sus respectivos filtros, de marca DEGREMONT.
- b. Cambiar las ocho compuertas de entrada a los filtros, del tipo batiente, de marca DEGREMONT.

### V.2.2. Instalaciones eléctricas.

Dentro de este tipo de instalaciones, deben sustituirse:

- a. Tres nuevos compresores que funcionan como bombas de vacío del PULSATOR, dos para operación continua y el otro de reserva, con capacidad de 150 litros/minuto a 4 Kgf/cm<sup>2</sup> de presión negativa. Actualmente sólo un compresor está funcionando.
- b. Cambiar dos compresores de aire para mejorar el funcionamiento de las válvulas de extracción de fangos, en vista que actualmente solo uno opera y en forma muy deficiente.

COMUNIDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
CARRANZA, 2013

### V.2.3. Instalaciones hidráulicas

En este grupo, no debe dejar de considerarse:

- a. Instalar dos bombas, una para operación constante y otra de reserva, en el tanque de recuperación de agua de las extracciones de fango. Cada una con una capacidad de 1.0 metro cúbico/minuto. Actualmente está instalada una cuya capacidad y eficiencia son muy bajas.
- b. Instalar dos bombas, una para operar continuamente y la otra en reserva, para el tanque de recirculación de agua de lavado de filtros, con capacidad de 0.9 metros cúbicos/minuto o mejor. En la actualidad hay una instalada, pero su capacidad es insuficiente.

### V.2.4. Obra civil.

Las obras más importantes, son las siguientes:

- a. Sustituir el recubrimiento de paredes del decantador No. 2 que se está desprendiendo.
- b. Cambiar el recubrimiento de las paredes de los canales recolectores del agua de lavado de filtros, ya que se está desprendiendo.
- c. Sustituir la malla perimetral que está en malas condiciones alrededor de la planta y construir un muro ya sea de mampostería o prefabricado para brindar mayor seguridad a las instalaciones.
- d. Fabricar las placas tranquilizadoras de flujo que hacen falta en los decantadores y algunas adicionales para mantener una existencia fija, utilizando la tecnología empleada en las que se hicieron en 1993, es decir, mortero de cemento y arena y estructomalla.

## **CONCLUSIONES**

1. Las condiciones actuales de funcionamiento de la planta Las Ilusiones exigen que la misma sea rehabilitada urgentemente, a fin de que la Empresa Municipal de Agua, EMPAGUA pueda garantizar la calidad y continuidad del servicio de agua a las zonas 17 y 18.
2. El caudal producido por la planta Las Ilusiones se ha reducido en un 20% con relación al de diseño, lo que implica que está trabajando al 80% de su potencial, desaprovechando así parte de la capacidad instalada.
3. La calidad del efluente es baja en varias de sus características y en otras inclusive está fuera de las normas COGUANOR, poniendo en riesgo en ocasiones la salud de la población.
4. Gran parte los equipos electromecánicos que fueron instalados durante el montaje de la planta han superado su vida útil, requiriendo su inmediata sustitución.
5. El desfogue de numerosas descargas domésticas e industriales, sin ningún tratamiento previo, al cauce de los ríos que sirven de afluente a la planta Las Ilusiones, el descuido de las cuencas y la falta de una legislación en materia de agua, se han combinado para producir en los últimos 20 años, un grave deterioro en la calidad del agua de dichos ríos, modificando en forma negativa las condiciones de operación de la planta.
6. Además de los problemas de tipo electromecánico que existen en la planta, la baja eficiencia de algunos procesos se debe a defectos de operación.

7. La Empresa Municipal de Agua no cuenta con programas de mantenimiento preventivo para la planta Las Ilusiones que garanticen la calidad y continuidad del servicio que presta dicha planta, ya que en la actualidad se operan los equipos hasta la falla.
8. Actualmente La Planta Las Ilusiones está tratando agua cruda con diez o veinte veces más turbiedad que aquella para la cual fué diseñada. Tratándose de una planta tipo DEGREMONT es mucho menos flexible al incremento de la turbiedad que una planta de tecnología convencional, por lo que la eficiencia general de la Planta ha disminuido considerablemente.
9. De los datos de calidad del efluente analizados se puede concluir que la decantación y la desinfección son los procesos que contribuyen en mayor parte a que el agua producida por la Planta Las Ilusiones sea potable.
10. Ocasionalmente la Planta Las Ilusiones ha producido agua que no cumple con uno o más de los valores establecidos por las normas COGUANOR para agua potable, aunque ha sido en periodos de corta duración.
11. Debido a la gran cantidad de equipos eléctricos que integran una Planta DEGREMONT y considerando que en los países en vías de desarrollo, como el nuestro, no es posible garantizar que el cien por ciento del tiempo se cuente con electricidad o bien que el voltaje no varíe, se considera que fué una decisión poco acertada el haber construido una planta de ese tipo en el país.

## **RECOMENDACIONES**

1. Cuando la rehabilitación haya sido concluida, deberá anualmente hacerse una evaluación de su operación, para verificar que está funcionando adecuadamente y que el programa de mantenimiento implementado se está ejecutando conforme lo previsto, con ello se evitará que la planta alcance nuevamente el grado de deterioro actual.
2. Crear en la Planta Las Ilusiones un taller de mantenimiento propio, que se encargue al menos de la limpieza, lubricación y calibración de los equipos, el chequeo de la iluminación, etcétera, y dejar las reparaciones mayores a la Unidad de Electromecánica de EMPAGUA. Este sistema se implementó en la planta Lo De Coy con resultados satisfactorios.
3. Las autoridades de EMPAGUA responsables de elaborar anualmente el presupuesto de funcionamiento de la Planta Las Ilusiones deben velar porque en él se contemplen todos aquellos renglones que permitan adquirir los materiales, equipos y suministros en general, requeridos para operar eficientemente la planta.
4. Capacitar a un grupo de operadores poco experimentados con que cuenta la planta, sobre tratamiento de aguas en general, y específicamente sobre la operación de una planta tipo DEGREMONT como Las Ilusiones, ya que sólo cuentan con los conocimientos que los operadores antiguos les han podido transmitir como parte del trabajo cotidiano, y a estos últimos darles cursillos o talleres de actualización.
5. Poner en práctica un efectivo programa de mantenimiento preventivo general en la planta.
6. Llevar a cabo un plan de rehabilitación de la estación de bombeo El Atlántico, la cual se encuentra en condiciones de

funcionamiento similares a las de la Planta Las Ilusiones, ya que por ser la única fuente de agua cruda con que cuenta la planta, es vital, para el abastecimiento de las zonas 17 y 18, que su funcionamiento sea óptimo y que se tomen todas las previsiones posibles a efecto de reducir su grado de vulnerabilidad.

7. Realizar un exhaustivo control de las cuencas de los ríos Bijagüe, Ocotes y Teocinte, para evitar que sigan siendo contaminados, por medio de la legislación existente o bien haciendo propuestas de ley ante los organismos competentes a efecto de frenar el deterioro de dichos recursos.
8. Dotar a la planta Las Ilusiones del equipo, reactivos y del personal de laboratorio requerido, para realizar un efectivo control de procesos que permita hacer las correcciones y ajustes a los mismos en el momento oportuno.
9. Elaborar los estudios necesarios para dotar a los dos decantadores con que cuenta la planta, de placas que los conviertan en decantadores laminares, pues se comprobó que estos últimos tienen el doble de eficiencia que los primeros.
10. Debe dársele mayor importancia por parte de los operadores y el superintendente de la planta al Manual de Operación de la Planta y emplearlo como referencia para resolver los problemas cotidianos de la misma.
11. En futuros trabajos de investigación deben realizarse los ensayos necesarios para construir una tabla con su respectiva gráfica, la cual teniendo el caudal o la turbiedad del agua cruda, indiquen a.) la altura de caída, el tiempo y la frecuencia con que debe trabajar el decantador PULSATOR. b.) La frecuencia y la duración que deben tener las extracciones de fango del decantador para que el proceso de floculación-decantación sea eficiente.

## **BIBLIOGRAFÍA**

1. ANDIA, YOLANDA. Manual VI Operación, tomo III Tecnología Importada. Programa Regional HPE/DPS/Cepis de mejoramiento de la calidad del agua para consumo humano. Cepis enero de 1,992. 32 páginas.
2. ALPIZAR VILLEGAS, EMILIO. Manual VII Mantenimiento. Programa Regional HPE/DPS/Cepis de mejoramiento de la calidad del agua para consumo humano. Cepis mayo de 1,993. 32 páginas.
3. BERNATE, JESUS et. al. Manual IV Evaluación, tomo V operación. Programa Regional HPE/DPS/Cepis de mejoramiento de la calidad del agua para consumo humano. Cepis mayo de 1,993. 30 páginas.
4. DEGREMONT. Manual de operaciones de la Planta Las Ilusiones de EMPAGUA. DEGREMONT mayo de 1,971.
5. DEGREMONT (Buenos Aires). Manual Técnico del agua. 4a. edición Buenos Aires Argentina. DEGREMONT 1,979.
6. DE LEON ACUÑA, FULVIA ETELVINA. Aplicación de la prueba de jarras para la optimización de la dosis de sulfato de aluminio y los parámetros de floculación en el tratamiento de agua. Tesis de graduación de Ingeniería Química. Facultad de Ingeniería. Universidad de San Carlos de Guatemala. Noviembre de 1,985. 152 páginas.
7. DI BERNARDO, LUIZ. Manual III Teoría, tomo III filtración. Programa Regional HPE/DPS/Cepis de mejoramiento de la calidad del agua para consumo humano. Cepis julio de 1,992. 115 páginas.
8. FAIR, GORDON et. al. Purificación de aguas y tratamiento y remoción de aguas residuales. Editorial Limusa Wiley S.A. México 1,971. 764 páginas.
9. KYOWA ENGINEERING CONSULTANTS CO. LTD. Informe del estudio del diseño básico del Proyecto de Rehabilitación de las Plantas de Tratamiento de agua potable en la ciudad de Guatemala. Diciembre de 1,993.
10. RICHTER, CARLOS et. al. Manual III Teoría, tomo I Coagulación. Programa Regional HPE/DPS/Cepis de mejoramiento de la calidad del agua para consumo humano. Cepis julio de 1,992. 148 páginas.

## ANEXOS

ANEXO I: Plano de distribución de la planta

ANEXO II: Filtro rápido tipo AQUAZUR

ANEXO III: Dispositivo de regulación filtro AQUAZUR

ANEXO IV: Esquema de funcionamiento decantador PULSATOR

ANEXO V: Listado de las colonias abastecidas por Las Ilusiones

ANEXO VI: Aparatos de circulación de fangos

ANEXO VII: Ríos que abastecen a Las Ilusiones

ANEXO VIII: Plano constructivo del decantador y la campana

ANEXO IX: Esquema de instalación de las bombas que suministran el agua a presión para servicio de la planta

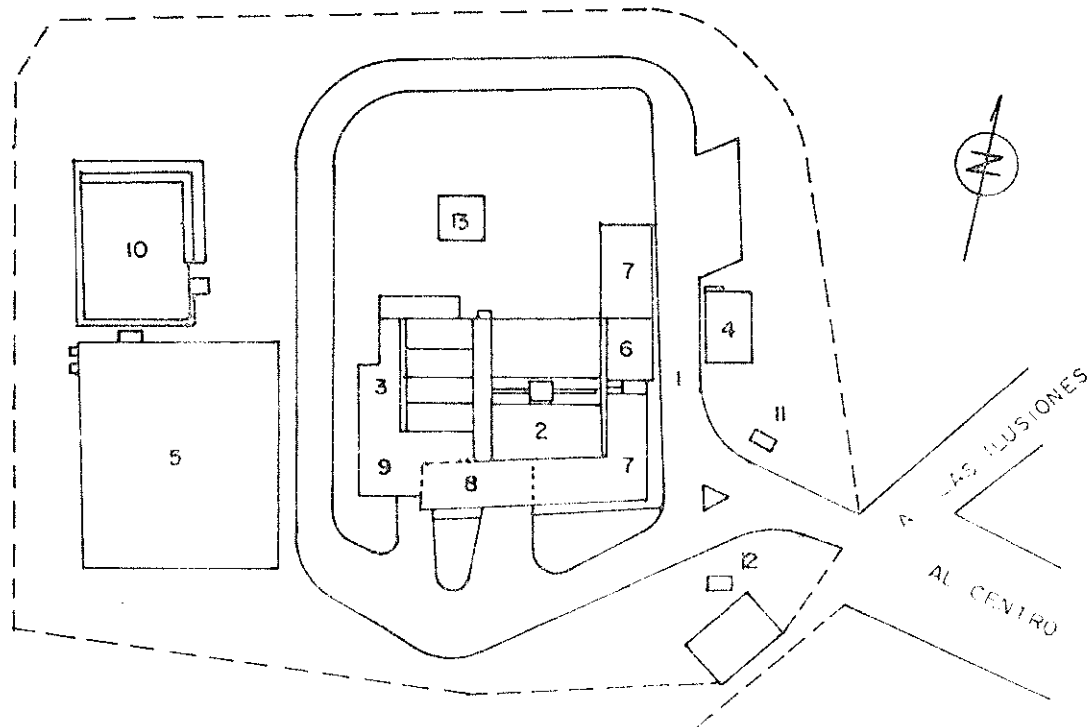
ANEXO X: Esquema de operación de la planta

ANEXO XI: Breve descripción del sistema de decantación PULSATOR

ANEXO XII: Esquema de construcción de los tanques de solución para aplicar sulfato de aluminio



# A N E X O I



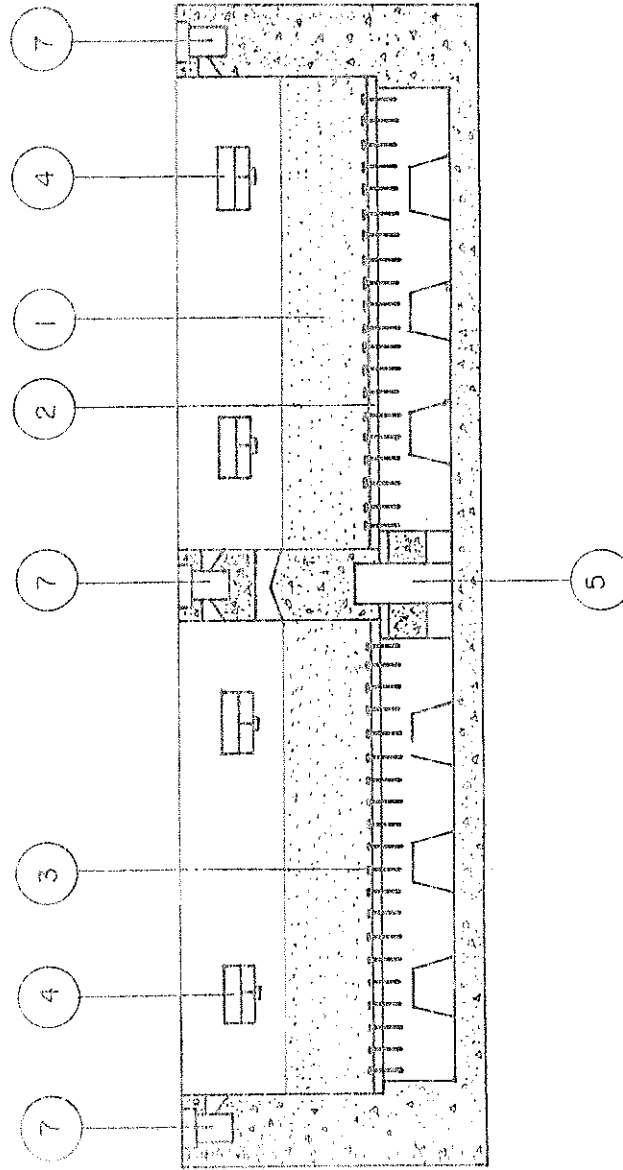
## PLANTA LAS ILUSIONES

SIN ESCALA

1. ENTRADA DEL AGUA CRUDA
2. DECANTADORES
3. AREA DE FILTRACION
4. TANQUE DE AGUA DE LAVADO
5. TANQUE DE DISTRIBUCION
6. SALA DE CONTROL
7. BODEGA DE QUIMICOS
8. SALA DE CLORO
9. SALA DE BOMBAS DE LAVADO
10. TANQUE DE LODOS
11. FOSA DE MEDIDOR DE AGUA CRUDA
12. FOSA DE MEDIDOR DE AGUA FILTRADA
13. TANQUE ELEVADO

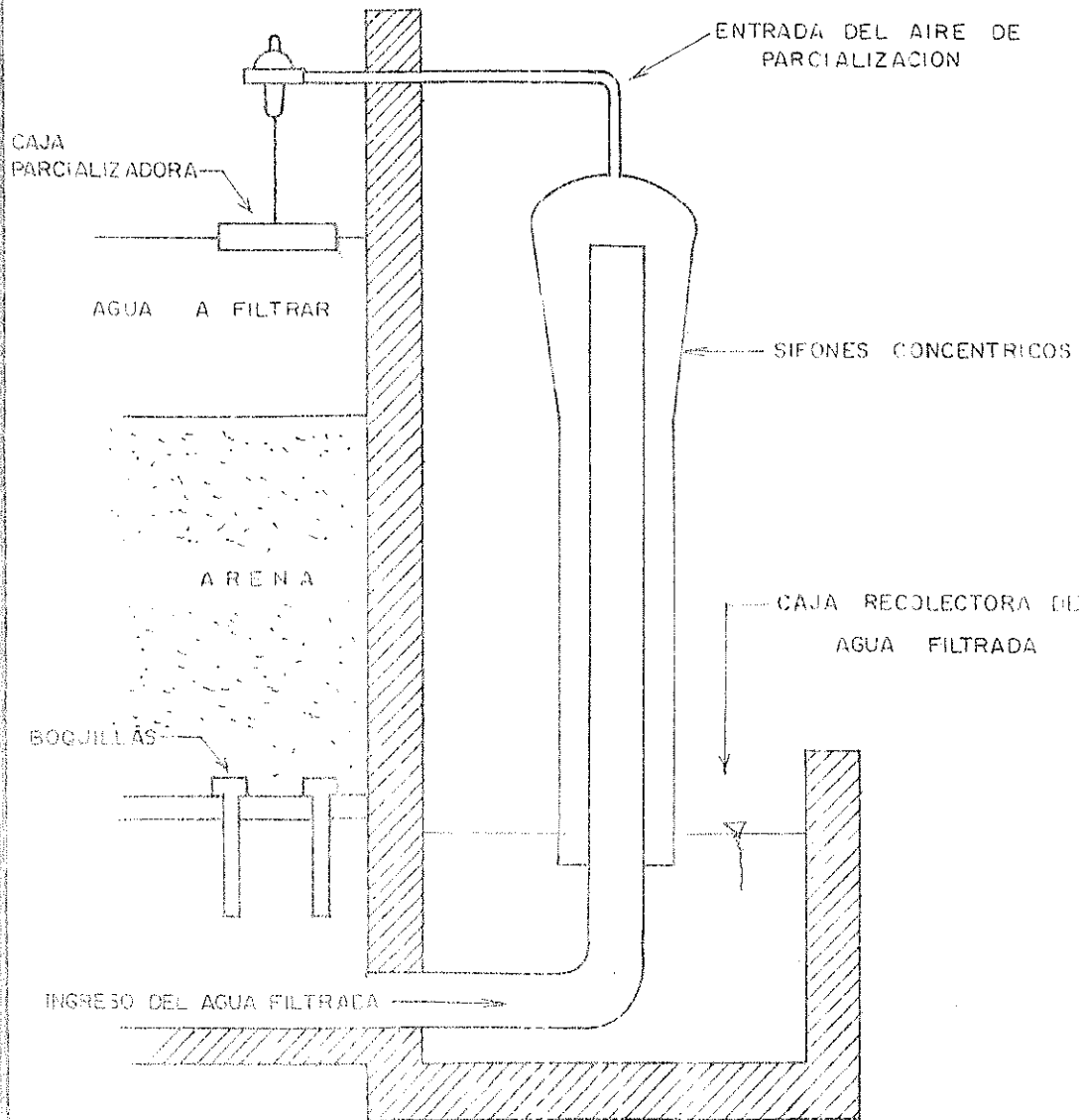
# A N E X O II

## FILTRO AQUAZUR



- 1. ARENA
- 2. FALSO FONDO
- 3. BOQUILLAS
- 4. BATEANTE DE ENTRADA DE AGUA
- 5. CANAL DE DISTRIBUCION DE AIRE Y AGUA DE LAVADO Y DE SALIDA DE AGUA FILTRADA
- 7. CANALES DE EVACUACION DE FANGOS

ANEXO III  
DISPOSITIVO DE REGULACION  
FILTRO AQUAZUR



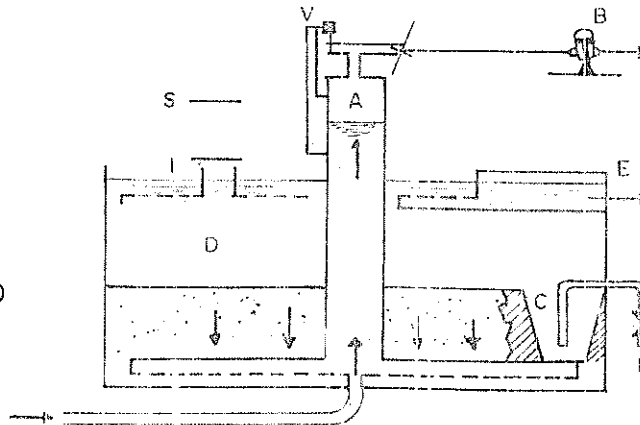
# ANEXO IV

## ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO DECANTADOR PULSOR

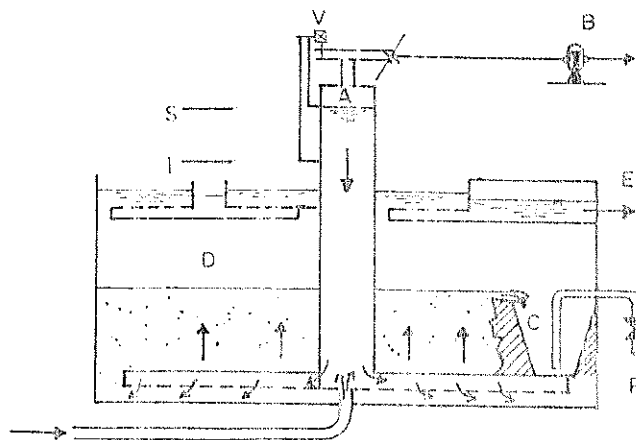
PRIMER TIEMPO:

- LA VALVULA DE AIRE V, DE COMUNICACION DE LA CAMPANA CON LA ATMOSFERA, SE ENCUENTRA CERRADA.
- EL AGUA ASCIENDE EN LA CAMPANA A
- EL AGUA ENTRA, A CAUDAL REDUCIDO, EN EL DECANTADOR D.
- EL FANGO SE CONCENTRA EN EL LECHO Y EN C.

PRIMER TIEMPO



SEGUNDO TIEMPO



SEGUNDO TIEMPO:

- CUANDO EL AGUA ALCANZA EN LA CAMPANA EL NIVEL DEL ELECTRODO SUPERIOR S, SE ABRE LA VALVULA DE COMUNICACION CON LA ATMOSFERA.
- EL AGUA DE LA CAMPANA A PENETRA EN EL LECHO DE FANGO, EL CUAL SE ELEVA CON AGUA.
- EL EXCESO DE FANGO PENETRA EN EL CONCENTRADOR C
- EL AGUA DECANTADA ES EVACUADA POR E.
- CUANDO EL AGUA ALCANZA EL NIVEL DEL ELECTRODO INFERIOR I, EN LA CAMPANA A, SE CIERRA LA VALVULA V.
- LA MASA DE FANGO ES EVACUADA DEL CONCENTRADOR C, POR LA VALVULA DE EXTRACCION AUTOMATICA F.

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
Biblioteca Central

A N E X O V

Listado de colonias de las zonas 17 y 18 que son abastecidas en la actualidad por la planta Las Ilusiones.

Z o n a 17

---

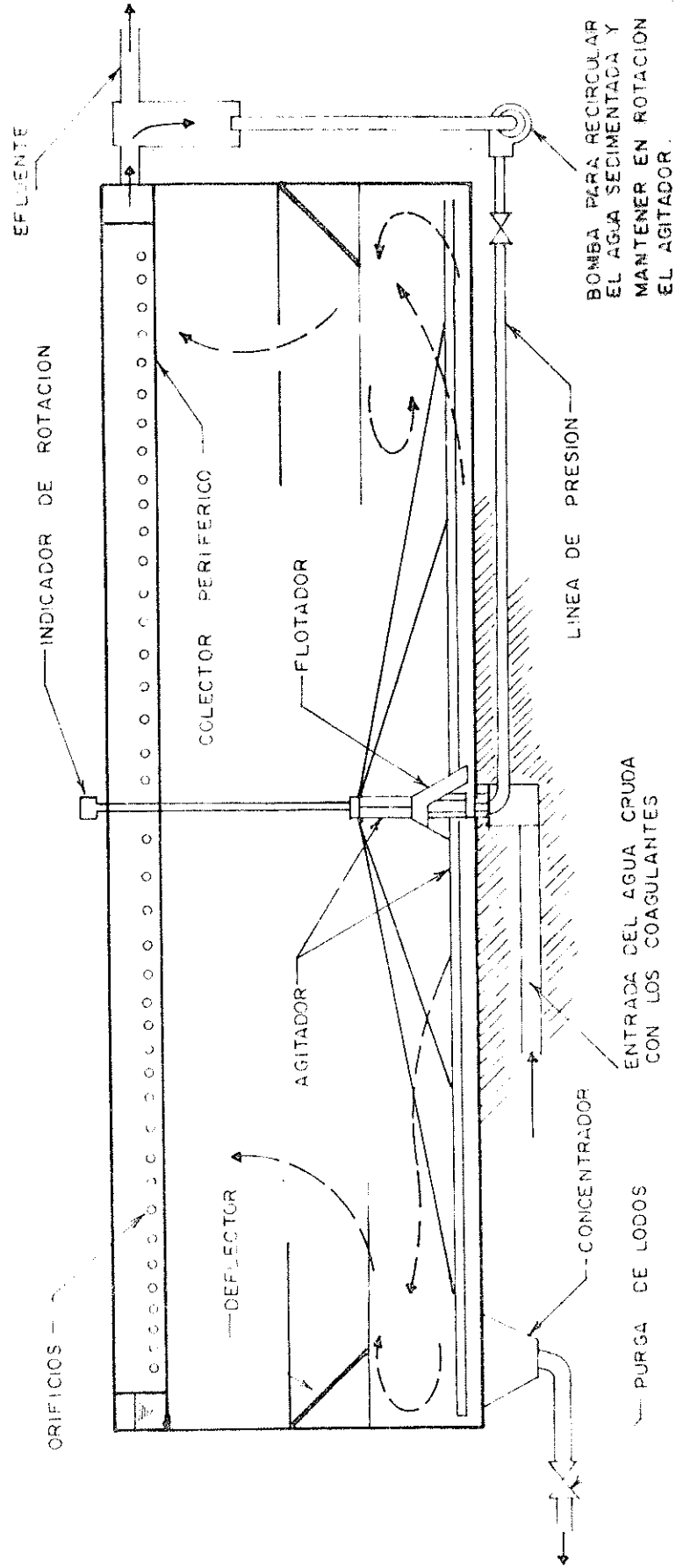
Colegio de Maestros  
COVITIGSS  
Residenciales del Norte  
Lomas de Norte  
San Agustín  
Casatenango  
Meyer  
El Carmen  
San Fernando

Z o n a 18

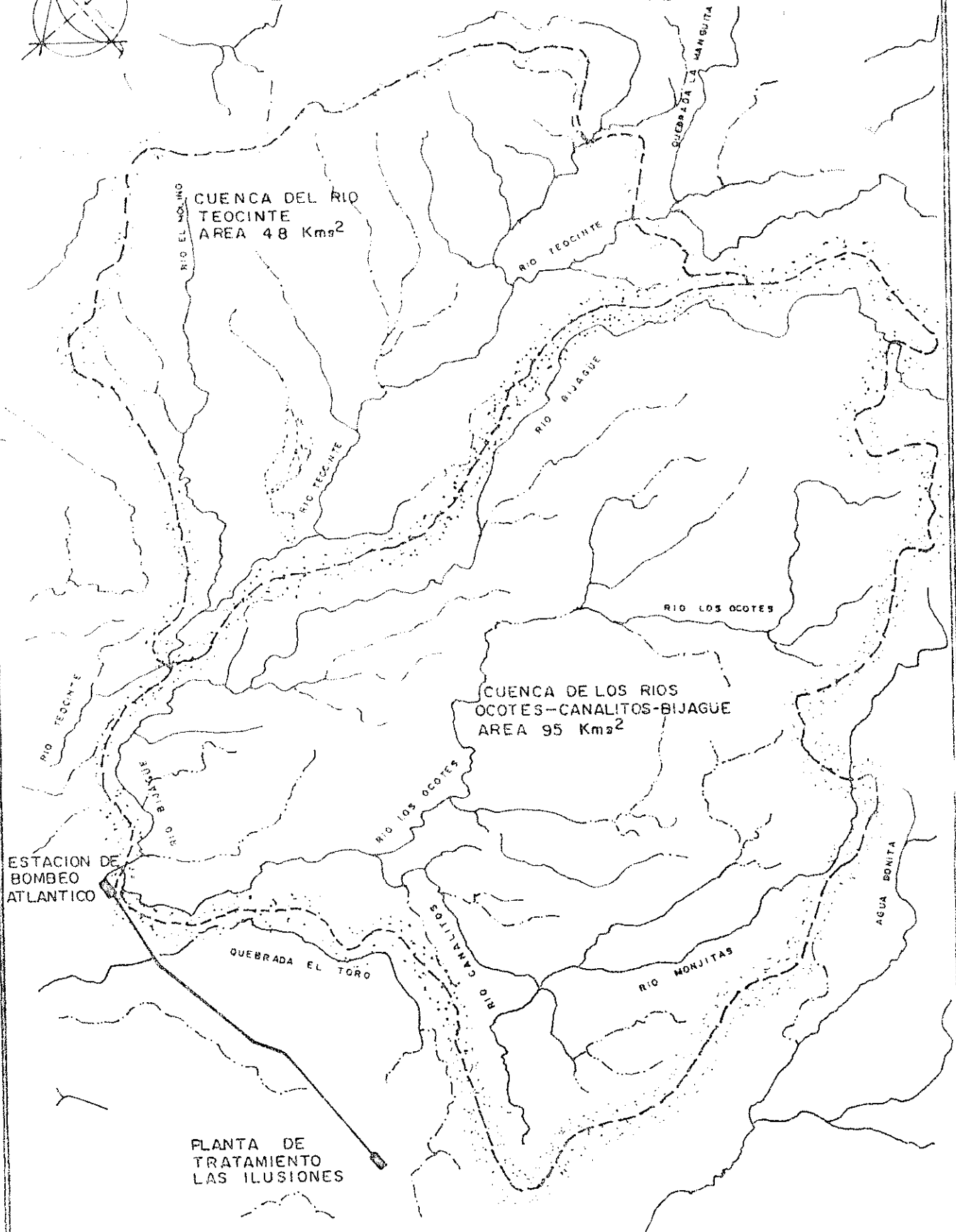
---

Kennedy  
Las Ilusiones  
San Rafael II y III  
La Alameda I II y III  
Barrio Colombia  
Atlántida  
Lomas de la Atlántida  
Quinta Ruiz  
Galilea I y II  
Residenciales Atlántico  
Los Pinos  
El Paraíso I II y III  
Covifiari

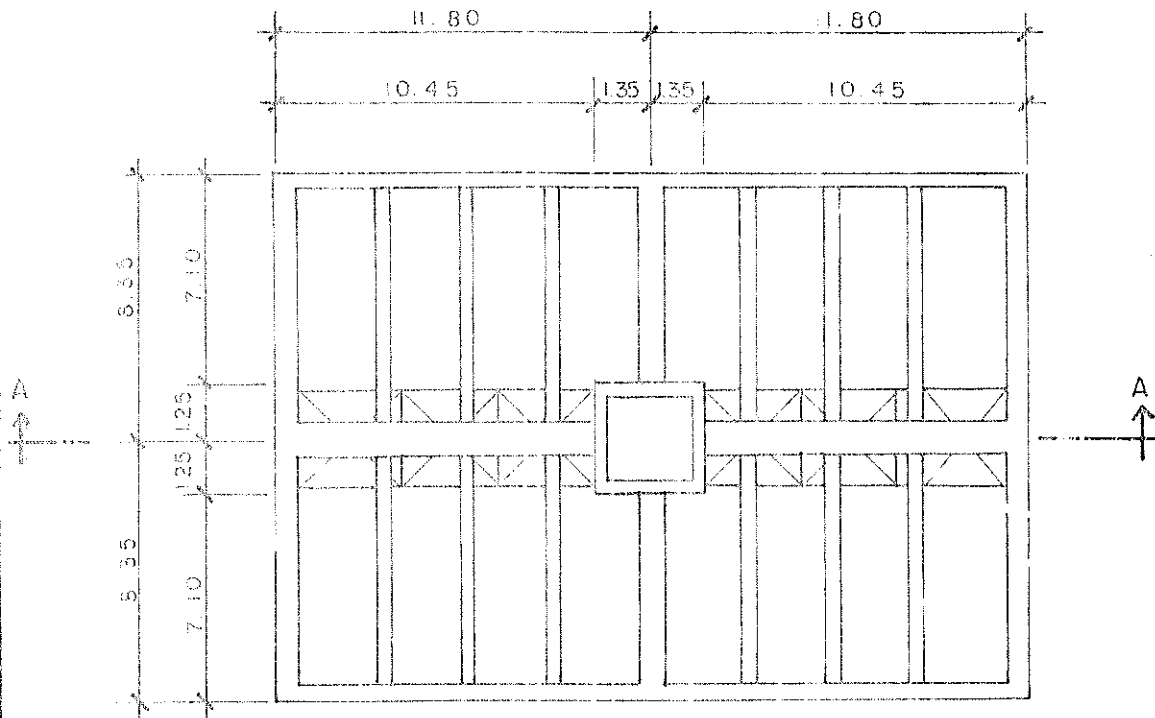
A N E X O VI  
APARATOS DE CIRCULACION DE FANGOS



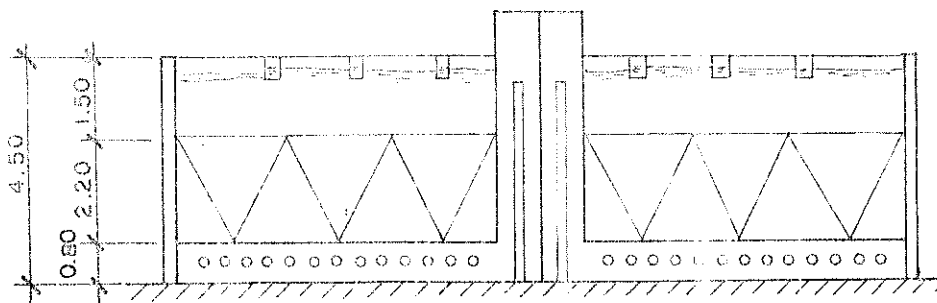
**A N E X O    V I I**  
**C U E N C A   D E   L O S   R I O S**  
**O C O T E S   T E O C I N T E   Y   B I J A G U E**



ANEXO VIII  
PLANO CONSTRUCTIVO  
DECANTADOR Y CAMPANA DE VACIO



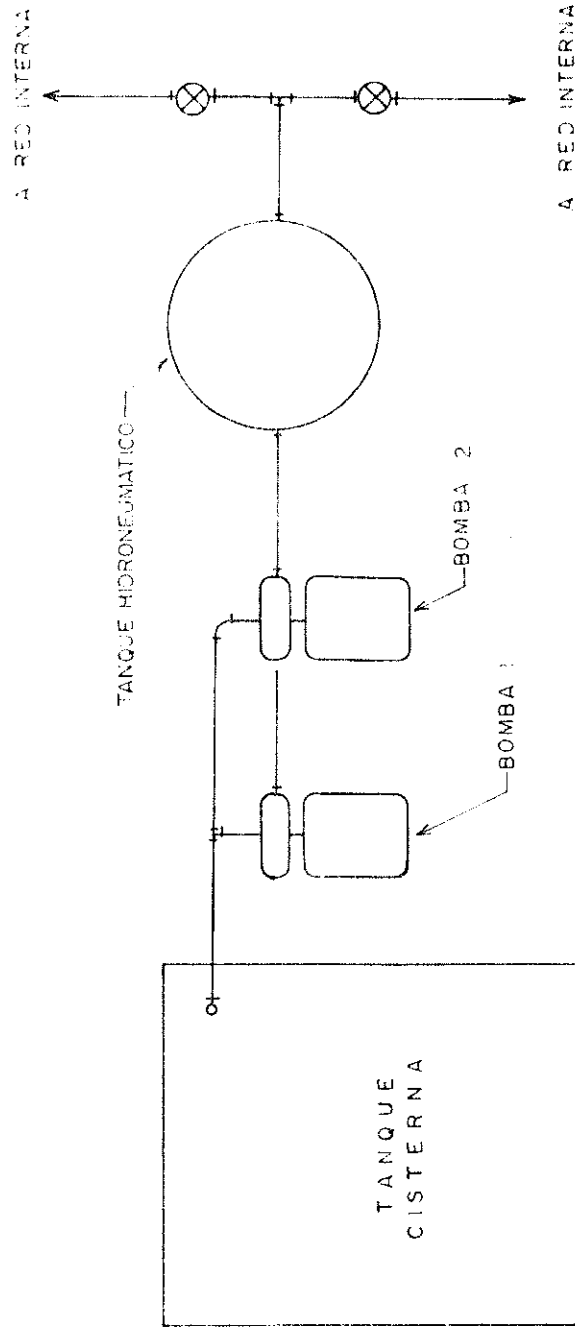
PLANTA  
sin escala



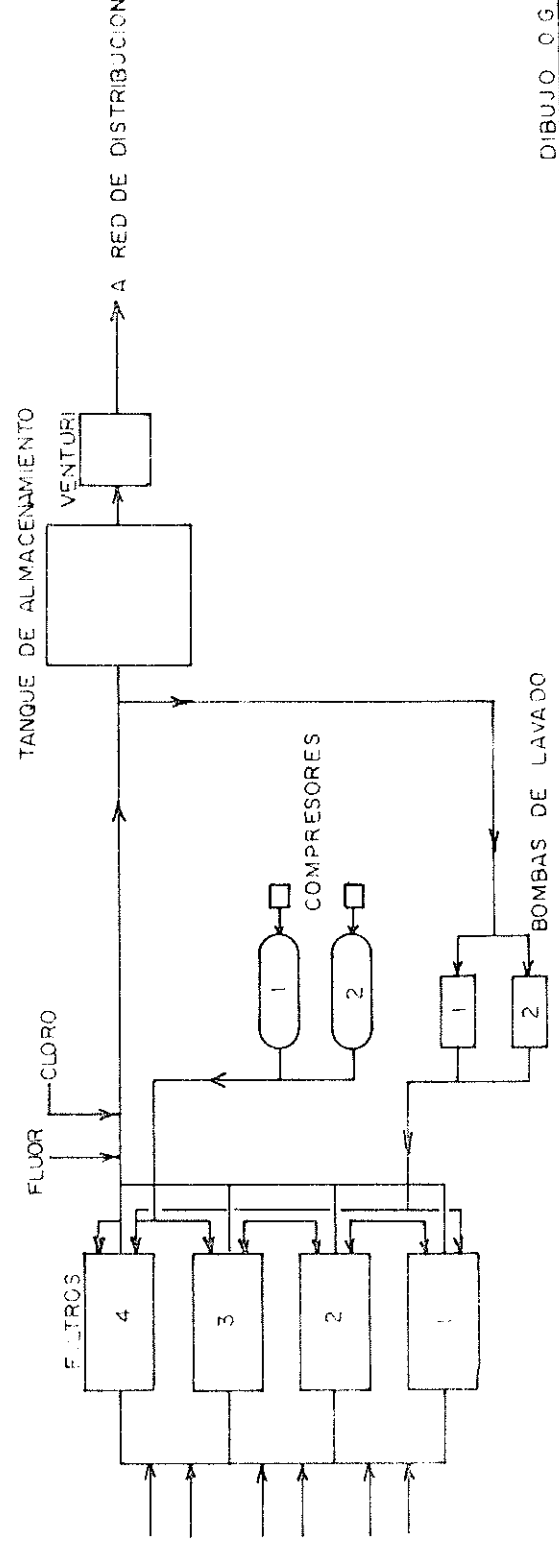
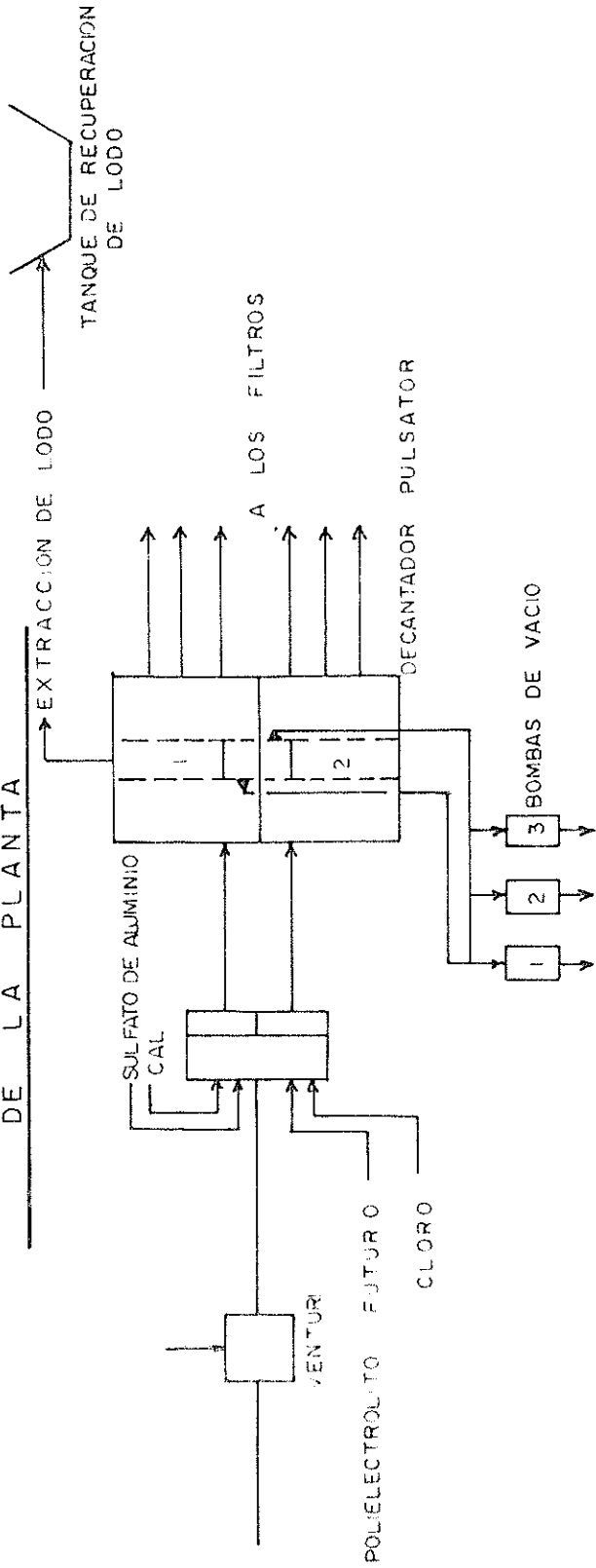
CORTE A-A  
sin escala



A N E X O IX  
ESQUEMA DE INSTALACION  
BOMBAS DE SERVICIO



# ANEXO X ESQUEMA DE OPERACION DE LA PLANTA



## A N E X O X I

### Breve descripción del sistema de decantación PULSATOR.

#### El Decantador PULSATOR:

El decantador está constituido por un depósito de fondo llano provisto en su base de una serie de tubos perforados que permiten introducir el agua cruda uniformemente por toda la superficie del decantador. En la parte superior, se dispone también de una canaleta perforada que recoge el agua decantada y evita las irregularidades de velocidad en las diferentes partes del aparato.

Para alimentar el colector inferior de manera discontinua, se puede valer de diferentes medios, pero todos ellos consisten en almacenar, durante un tiempo determinado, un volumen de agua cruda que, luego, se hace penetrar en el aparato, lo más rápidamente posible. El procedimiento más económico para efectuar dicha operación consiste en introducir el agua cruda en una campana en cuyo interior se aspira el aire por medio de una máquina que extrae un caudal de aire sensiblemente igual al caudal medio de agua a tratar. Esta campana se encuentra naturalmente en comunicación con el colector inferior del decantador.

Dadas estas condiciones, el agua no penetra en este último, sino que su nivel sube progresivamente en la campana. Cuando este nivel ha alcanzado una altura aproximada de 0.70 metros por encima del nivel del agua en el decantador, se efectúa la abertura brusca de una válvula de comunicación de la campana con la atmósfera mediante un relevador eléctrico. La presión atmosférica actúa, entonces inmediatamente sobre el agua previamente almacenada dentro de la campana, la cual penetra en el decantador a gran velocidad.

Dichos aparatos se regulan generalmente de modo que 5 a 10 segundos sean suficientes para proceder al vaciado de la campana del decantador, mientras que la duración del llenado de la misma es de 15 a 30 segundos. La velocidad de vaciado de la campana puede regularse fácilmente por medio de una válvula manual colocada en la tubería de comunicación con la atmósfera.

El colector general situado en la parte inferior del decantador es de gran sección, con el objeto de reducir su pérdida de carga y los orificios de todas las ramificaciones están dispuestas de forma que sea absolutamente uniforme el reparto del agua sobre toda la superficie, durante cada vaciado de la campana. Por lo tanto, se forma en la mitad del decantador, una capa homogénea animada de movimientos alternos, de abajo arriba durante cada vaciado de la campana, y de arriba abajo durante cada período consecutivo.

Esta capa de fangos asegura el contacto de los mismos con el agua, a la que se ha agregado en la campana un reactivo coagulante y realiza una verdadera filtración, reteniendo las impurezas coloidales en el agua. Las impurezas traídas por el agua cruda y los reactivos floculantes que se han introducido tienden, claro está, a incrementar el volumen de dicha capa de fangos, por consiguiente, asciende regularmente el nivel de ésta. Cuando ese nivel alcanza una altura determinada, conviene evacuar el exceso al drenaje. Se reserva, para ello una zona del decantador en la que se disponen unos compartimientos de fondo inclinado, donde se recogen y concentran los fangos. A partir de estos compartimientos, se efectuarán las purgas de manera intermitente mediante válvulas automáticas accionadas por un aparato de relojería.

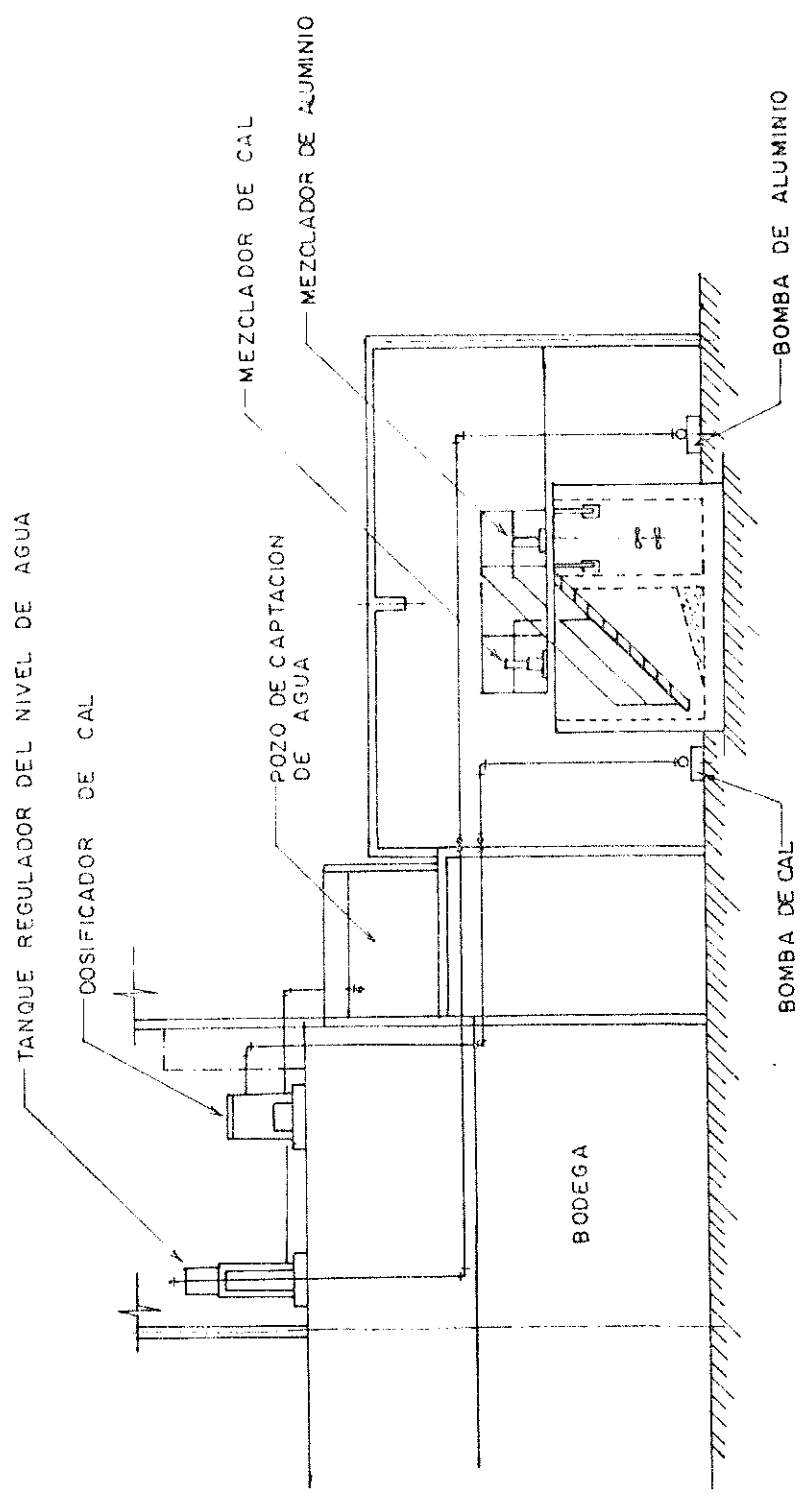
Es evidente que el fango no puede pasar a los compartimientos de concentración hasta que haya alcanzado un nivel determinado, de esta forma, aunque se efectuase un caudal de purga sucesivo, no se reduciría nada la concentración de fangos en el aparato. Otra ventaja de la disposición adoptada en este decantador, consiste en la ausencia de todo sistema de agitación mecánica de los fangos. Ya se sabe que esta agitación puede romper los flóculos ya formados, los cuales vienen a perder parte de su actividad.

La agitación que resulta de las pulsaciones es, por el contrario, muy suave y la decantación es prácticamente insensible a las variaciones de reactivo o de pH del agua cruda. Un mal ajuste de las dosis de tratamiento no tiene otra consecuencia que una variación de la turbiedad del agua decantada, pero nunca el escape en masa de los fangos contenidos en el decantador.

Por otra parte, cabe señalar con qué facilidad se realiza la regulación, con sólo actuar sobre la válvula manual que acciona la entrada de aire en la campana, se regula el tiempo de vaciado de ésta. La violencia de este vaciado debe ser suficiente para evitar que se depositen fangos en la grava del decantador, pero no debe ser excesiva, ya que se producirían turbulencias en la zona de agua decantada.

La aspiración en la campana, la efectúa un grupo electrocompresor que actúa regularmente cual bomba de vacío. La válvula de comunicación con la atmósfera se abre y cierra en función de los niveles alto y bajo del agua contenida en la campana, mediante un aparato de relojería, el cual actúa sobre el electroimán de accionamiento de la válvula por medio de un relevador eléctrico.

A N E X O XII  
ESQUEMA DE INSTALACION  
DOSIFICADORES DE QUIMICOS EN SOLUCION



VISTA INTERIOR DE LA BODEGA