



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA REGIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA Y  
RECURSOS HIDRÁULICOS

**PROPUESTA PARA LA REDUCCIÓN DE LA TURBIEDAD DEL CAUDAL  
BOMBEADO A LA PLANTA DE TRATAMIENTO LAS ILUSIONES**

ING. MANUEL ALBERTO AVILA

Asesorado por Msc. Ing. Felix Alan Douglas Aguilar Carrera

Guatemala, junio de 2005

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**PROPUESTA PARA LA REDUCCIÓN DE LA TURBIEDAD DEL CAUDAL  
BOMBEADO A LA PLANTA DE TRATAMIENTO LAS ILUSIONES**

ESTUDIO ESPECIAL  
PRESENTADO A LA ESCUELA REGIONAL  
DE INGENIERÍA SANITARIA Y RECURSOS HIDRÁULICOS  
POR

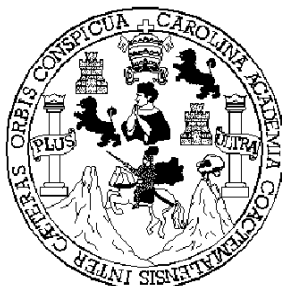
**ING. MANUEL ALBERTO AVILA**

ASESORADO POR: MSC. ING. FELIX ALAN DOUGLAS AGUILAR

COMO REQUISITO PREVIO A OPTAR EL GRADO ACADÉMICO  
MAESTRO EN INGENIERÍA SANITARIA  
(MAGISTER SCIENTIFICAE)

GUATEMALA, JUNIO DE 2005

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



### NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	ING. SYDNEY ALEXANDER SAMUELS MILSON
VOLAL I	ING. MURPHY OLIMPO PAIZ RECINOS
VOCAL II	LIC. AMAHAM SÁNCHEZ ALVAREZ
VOCAL III	ING. JULIO DAVID GALICIA CELADA
VOCAL IV	BR. KENNETH ISSUR ESTRADA RUIZ
VOCAL V	BR. ELISA YAZMINDA VIDES LEIVA
SECRETARIO	ING. PEDRO ANTONIO AGUILAR POLANCO

DIRECTOR DE ERIS MSc. PREDRO SARAVIA CELIS

### TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN DE ESTUDIO ESPECIAL

EXAMINADOR	MSc. ING. ZENON MUCH SANTOS
EXAMINADOR	MSc. ING. GUILLERMO GARCIA OVALLE
EXAMINADOR	MSc. ING. ALAN FELIX DOUGLAS AGUILAR CARRERA

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 graduación titulado:

**PROPUESTA PARA LA REDUCCIÓN DE LA TURBIEDAD DEL CAUDAL  
BOMBEADO A LA PLANTA DE TRATAMIENTO LAS ILUSIONES**

Tema que me fuera asignado por la Comisión de Admisión y Otorgamiento de grado de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos con fecha 22 de julio de 2004.

Manuel Alberto Avila

Guatemala, 1 de junio de 2005

**Ingeniero**

Julio García Ovalle  
Coordinador maestría  
Ingeniería Sanitaria  
Universidad de San Carlos

Estimado Ingeniero:

Por este medio me dirijo a usted, informándole que he revisado el estudio especial titulado **PROPUESTA PARA LA REDUCCIÓN DE LA TURBIEDAD DEL CAUDAL BOMBEADO A LA PLANTA DE TRATAMIENTO LAS ILUSIONES** del estudiante **Manuel Alberto Avila** el cual cumple satisfactoriamente con los requisitos exigidos por la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria -ERIS- y la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Agradeciendo su atención a la presente, se suscribe de usted.

Atentamente,

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

## DEDICATORIA

A Dios:

Por amarme tanto y haberme permitido alcanzar esta meta.

A mi madre:

+Elva Oralia Avila, por la educación, el esfuerzo, el trabajo y el amor que me brindó mientras estuvo con vida.

A mis tías:

Gladis, Clarisel, Roxana por su apoyo en realizar mis proyectos y apoyarme siempre

A mis tíos:

Estuardo Avila y Melvin Jarquin, por sus consejos y ayuda para realizar este sueño.

A mis primos:

Elías José Manuel, Cristell María, Melvin Natanielle, Diego Estuardo, Nadia Alejandra, Fatima Geovana.

A mi abuela:

Por aguantarme, apoyarme y estar todavía con nosotros.

A mi familia en general:

Por su cariño y respeto.

A la Facultad de Ingeniería y especialmente a ERIS.

## **AGRADECIMIENTOS**

A la doctora Alba Tabarini Molina:

Por sus consejos, tiempo y ayuda para la realización de este estudio.

Al Ingeniero Félix Aguilar:

Por la asesoría, tiempo y dedicación brindados.

A los trabajadores de la Estación de Bombeo El Atlántico:

Por su ayuda al realizar las pruebas.

A mis amigos universitarios:

Por su apoyo incondicional.

A Carolina Aguirre: Por su apoyo y ayuda para realizar este estudio.

A mi familia:

Por la ayuda brindada para la realización de este estudio.



## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	VI
LISTA DE SÍMBOLOS	X
RESUMEN	XI
OBJETIVOS	XIII
HIPÓTESIS	XIV
SUPUESTO DE INVESTIGACIÓN	XIV
INTRODUCCIÓN	XV
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	XVI
JUSTIFICACIÓN	XVII
1. MARCO TEORICO	01
1.1 Turbiedad	01
1.1.1 Antecedentes de la turbiedad	01
1.1.2 Unidades nefelométricas de turbiedad	03
1.1.3 Principios del Turbidímetro	04
1.1.4 Interferencias en la turbiedad	06
1.1.5 Efectos en la turbiedad	06
1.1.6 Presencia de la turbiedad	08
1.1.7 Relación de la turbiedad con otros parámetros de la calidad de agua	08
1.1.8 Aspectos de salud	09

1.2 Remoción de la turbiedad	09
1.2.1 Remoción química por medio de sulfato de aluminio en mezcla rápida	09
1.2.2 Sedimentación	09
1.2.3 Decantación	09
1.2.4 Tipos de sedimentación	10
1.2.5 Decantador laminar	11
1.2.5.1 Parámetros y recomendaciones generales de diseño	16
1.2.6 Polímeros	17
1.2.6.1 Dosificación de polímeros	18
1.2.7 Floculadores	18
2. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA	
2.1 Generalidades	19
2.2 Sistema atlántico-Ilusiones	20
2.2.1 Planta de producción	22
2.3 Infraestructura	23
2.3.1 Estación de bombeo	23
2.3.2 Presa	25
2.3.3 Aliviaderos	26
2.3.4 Desarenador	26
2.3.5 Tanque de compensación	27

2.3.6 Fosa de succión	28
2.3.7 Canal de demasías	29
2.3.8 Sistema contra golpe de ariete	30
2.4 Descripción administrativa	31
2.5 Beneficiarios	31
3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	
3.1 Turbiedad de la planta las ilusiones	34
3.2 Determinación del tiempo de retención en el tanque	34
3.3 Prueba de jarras	35
3.4 Determinación de la velocidad para ubicar el dosificador	35
3.5 Determinación de la velocidad de sedimentación de las partículas en suspensión	36
3.6 Porcentaje de horas de bombeo	37
3.7 Producción de la planta las ilusiones	37
3.8 Pruebas con sulfato de aluminio	37
3.8.1 Dosificador Instalado	38
3.9 Pruebas con polímero	41
3.10 Prueba de cono imhoff	42
3.11 Algunos tratamientos a proponer	42
3.12 Examen físico químico sanitario	43

4. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	
4.1 Turbiedad de la planta las ilusiones	45
4.2 Determinación del tiempo de retención en el tanque	50
4.3 Prueba de jarras con sulfato de aluminio	51
4.4 Determinación de la velocidad para ubicar el dosificador	55
4.5 Determinación de la velocidad de sedimentación de las partículas en suspensión	55
4.5.1 Prueba de la columna de sedimentación	55
4.6 Porcentaje de horas de bombeo	57
4.7 Producción de la planta las ilusiones	61
4.8 Pruebas con sulfato de aluminio	63
4.9 Pruebas con polímero	64
4.10 Prueba de cono imhoff	66
4.11 Examen físico químico sanitario	67
5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	
5.1 Turbiedad de la planta las ilusiones	69
5.2 Determinación del tiempo de retención en el tanque	69
5.3 Prueba de jarras	69
5.4 Determinación de la velocidad para ubicar el dosificador	70
5.5 Determinación de la velocidad de sedimentación de las partículas en suspensión	70
5.6 Porcentaje de horas de bombeo	70
5.7 Producción de la planta Las Ilusiones	71

5.8 Pruebas con sulfato de aluminio	71
5.9 Pruebas con polímero	71
5.10 Prueba de cono imhoff	72
CONCLUSIONES	73
RECOMENDACIONES	74
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	75
BIBLIOGRAFÍA	77
ANEXOS	81

# ÍNDICE DE ILUSTACIONES

## FIGURAS

1. Decantador convencional y laminar en serie	13
2. Decantador convencional y laminar en serie	13
3. Módulos de decantación de fibra de vidrio	15
4. Decantador convencional y laminar en serie	15
5. Zona de decantación mediante módulos de asbesto cemento	16
6. Estación de bombeo el atlántico	21
7. Planta potabilizadora las ilusiones	21
8. Localización planta y estación de bombeo	22
9. Bombas en la estación de bombeo el atlántico	24
10. Presa en la estación de bombeo el atlántico	26
11. Desarenador del tipo Swirl o grid chamber	27
12. Tanque de compensación	28
13. Canal de demasías	29
14. Interior del canal de demasías	29
15. Campana de aire y agua	30
16. Cobertura del sistema atlántico Ilusiones	31
17. Dosificador de sulfato de aluminio	38
18. Prueba de jarras	39

19. Primer sitio de dosificación	39
20. Segundo sitio de dosificación	40
21. Grafico de turbiedades de agua cruda 2004	46
22. Grafico de turbiedades de agua cruda 2003	48
23. Promedio mensual anual de turbiedades 1999	49
24. Gráfico de turbiedad vrs. Tiempo en columna de sedimentación	56
25. Prueba de Columna de sedimentación	57
26. Equipos de laboratorio utilizados	57
27. Porcentaje anual de horas de bombeo 2002	58
28. Porcentaje anual de horas de bombeo 2003	59
29. Porcentaje anual de horas de bombeo 2004	60
30. Producción de agua de planta las ilusiones 2003	61
31. Producción de agua de planta las ilusiones 2004	62
32. Punto de toma de muestras para pruebas	63
33. Gráfico turbiedad en jarras con polímero	64
34. Pruebas de jarras	66
35. Planta conjunto estación de bombeo El atlántico	81
36. Decantador laminar	81
37. Fondo para la extracción de lodos de decantador laminar	82
38. Corte de decantador laminar	82
39. Dosis de coagulante vrs. Turbiedad	84
40. Velocidad de sedimentación vrs. turbiedad residual	85

## TABLAS

	PÁGINA
I. Conversiones de unidades turbidimétricas	05
II. Resumen de la turbiedad en la estación de bombeo 2004	45
III. Resumen de la turbiedad en la estación de bombeo 2003	47
IV. Turbiedad promedio anual 1999	49
V. Resumen de turbiedades de la planta las ilusiones 1999	50
VI. Determinación del tiempo de retención	50
VII. Determinación de dosis optima de coagulante	51
VIII. Determinación de concentración optima de coagulante	52
IX. Determinación de los parámetros de floculación	53
X. Determinación de los parámetros de decantación	54
XI. Prueba de la columna de sedimentación cada minuto	55
XII. Prueba de la columna de sedimentación cada 5 minutos	56
XIII. Prueba de la columna de sedimentación cada 10 minutos	56
XIV. Porcentaje anual de horas de bombeo 2002	58
XV. Porcentaje anual de horas de bombeo 2003	59
XVI. Porcentaje anual de horas de bombeo 2004	60
XVII. Producción de agua de la planta las ilusiones 2003	61
XVIII. Producción de agua de la planta las ilusiones 2004	62
XIX. Prueba de sulfato de aluminio	63
XX. Jarras con Polímero	64
XXI. Potencial hidrógeno del polímero	64



XXII. Datos iniciales de la prueba de polímero	65
XXIII. Prueba de polímero en la estación de bombeo	65
XXIV. Prueba del cono Imhoff	66
XXV. Examen físico químico sanitario	67
XXVI. Determinación de la carga superficial de sedimentación	83

## LISTA DE SÍMBOLOS

$\mu\text{m}$	Micrómetro
$V_s/V^\infty$	Parámetro de adimensional de sedimentación
NR :	Número de Reynolds
n :	Eficiencia
D :	Diámetro
$\text{m}^3/\text{s}$ :	metro cúbico por segundo
$\text{s}^{-1}$ :	Gradiente de velocidad
hf:	Pérdida de carga
$\beta$ :	Coefficiente de pérdida de carga en orificios
UTN:	Unidades turbidimétricas Nefelométricas para medición de Turbiedad

## RESUMEN

Este estudio se sustenta en la necesidad de Empagua por mantener un caudal constante durante la época de invierno y verano. Durante la época de invierno la turbiedad se convierte en un gran problema, dado que esta se incrementa a valores mayores a las 800 UTN, que es la turbiedad máxima que puede tratar la planta de tratamiento de agua potable Las Ilusiones. Esta situación provoca que durante este lapso el agua no se bombee a la planta de tratamiento, perdiendo un caudal que podría ser utilizado por aproximadamente 85,000 personas/día. Todo esto conlleva como objetivo a buscar procesos ya sean físicos y/o químicos que ayuden a la reducción de la turbiedad en la estación de bombeo El Atlántico y no restringir o mantener su caudal por motivo de lluvia o cualquier otra índole que lleve a tener turbiedad en la estación de bombeo.

Los resultados de este estudio especial, se darán a conocer a las autoridades de Empagua para que se beneficien del mismo, principalmente las personas que diariamente utilizan el vital líquido y ayuden a mejorar el suministro de agua de las zonas 17 y 18 de la ciudad capital.

La metodología, pruebas y diseño a utilizar serán los métodos del Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS).

Los resultados obtenidos son propuestas de solución para que Empagua se beneficie de ellas, siendo las siguientes: tanque de retención, tanque de retención y ayuda de químicos, decantadores laminares y ayudantes de floculación en las instalaciones.

## OBJETIVOS

### Objetivo General

- Estudiar la forma de reducir la turbiedad que se bombea en época de invierno en la estación del atlántico en un 35% para lograr la continuidad del caudal de impulsión en la época de invierno en 21,600 m<sup>3</sup>/día.

### Objetivos Específicos

- Mantener la producción de verano en invierno en la planta las ilusiones en 21,600 m<sup>3</sup>/día.
- Proponer un tratamiento para reducir la turbiedad en la estación de bombeo el atlántico en un 35%.
- Determinar los costos del tratamiento a proponer.

## **HIPÓTESIS**

Es posible lograr la reducción de la turbiedad en la estación de bombeo las Ilusiones en 35% con procesos físico químicos o dilución del agua a bombear en el área disponible en la estación de bombeo.

## **SUPUESTO DE INVESTIGACIÓN**

La elaboración de este estudio especial requiere de muchos factores técnicos, desde estudios topográficos, hasta pruebas de jarras.

Empagua es la encargada de realizar este proyecto; en sus respectivas unidades dieron la autorización de realizar este proyecto a un corto plazo y dar el financiamiento de este estudio especial, así como los recursos que se utilicen en su elaboración.

Este proyecto mejorará la calidad y reducirá la turbiedad de entrada en la planta Las Ilusiones, y manteniendo un caudal constante de impulsión en la estación de bombeo.

## INTRODUCCIÓN

Actualmente, el agua potable de la ciudad de Guatemala es administrada por la empresa municipal de agua (EMPAGUA) que provee aproximadamente el 95% del servicio.

La planta potabilizadora las Ilusiones está ubicada en la 4ª. avenida final de la colonia Kennedy zona 18, y su fuente de abastecimiento es la estación de bombeo El Atlántico ubicada en el kilómetro 13.5 carretera a El Atlántico zona 25, a la cual se accede por medio de un camino asfaltado de 2 kilómetros construido para este propósito.

El objetivo principal de este trabajo será la reducción de la turbiedad en 35% en la estación de bombeo el atlántico en las diferentes condiciones de calidad del agua, para poder tener producción de 21,600 m<sup>3</sup>/día en la planta potabilizadora Las Ilusiones.

## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

La planta de tratamiento de agua potable Las Ilusiones puede trabajar agua cruda con turbiedades hasta de 800 UNT; a mayores turbiedades se tiene que tirar al tanque de recuperación de agua tratada un 35% del caudal total impulsado por las tres unidades de bombeo, por lo que mejor se opta por trabajar solo con dos unidades de bombeo y tener una en stand by hasta que pasa la turbiedad o la crecida del río, puesto que si se trata ese porcentaje de agua, se desperdiciaría químico y electricidad.



## JUSTIFICACIÓN

Durante el tiempo que la estación de bombeo ha funcionado no ha habido tantos problemas de escasez de agua hasta 1995, año en que se incremento el crecimiento poblacional en las zonas 17 y 18 de la ciudad de Guatemala, que va de 40,000 habitantes a 170,000 habitantes en dichas zonas para el 2004.

Esto conlleva a la perdida de recursos económicos, en el año 2002 se perdió 11.52% del caudal total anual representando un costo de Q.2,179,768.30; en el año 2003 se perdió 7.29% del caudal total anual teniendo un costo aproximado de Q.1,379,384.65; en el año 2004 se perdió 7.13% del caudal total anual con un costo aproximado de Q.1,349,110.25.

Los afectados son aproximadamente 55,000 usuarios, el tiempo sin servicio calculado, en el 2002 son 42 días, si los contabilizamos seguidos, en el 2003 son 27 días y en el 2004 son 26 días seguidos sin servicio de agua potable.

Esta propuesta conlleva a satisfacer la demanda de agua de los usuarios que es de 21,600 m<sup>3</sup>/día en la época de invierno, y, así mismo que la empresa de agua a cargo, en este caso EMPAGUA, no pierda aproximadamente Q. 1000,000 al año, teniendo continuidad y calidad del agua a bajo costo y así poder minimizar el uso de químicos en la planta de tratamiento.

# 1. MARCO TEORICO

## .1 TURBIEDAD

La turbiedad en el agua se debe a la presencia de partículas suspendidas y disueltas. Materia en suspensión como arcilla, cieno o materia orgánica e inorgánica finamente dividida, así como compuestos solubles coloridos, plancton y diversos microorganismos. La transparencia del agua es muy importante cuando está destinada al consumo del ser humano, a la elaboración de productos destinados al mismo y a otros procesos de manufactura que requieren el empleo de agua con características específicas, razón por la cual, la determinación de la turbiedad es muy útil como indicador de la calidad del agua, y juega un papel muy importante en el desempeño de las plantas de tratamiento de agua, formando como parte del control de los procesos para conocer cómo y cuándo el agua debe ser tratada. Es una expresión de la propiedad óptica de una muestra, que origina que al pasar un haz de luz a través de ella, la luz se disperse y se absorba en vez de transmitirse en línea recta.

### 1.1.1 ANTECEDENTES DE LA TURBIEDAD

La turbiedad en el agua puede ser causada por la presencia de partículas suspendidas y disueltas de gases, líquidos y sólidos tanto orgánicos como inorgánicos, con un ámbito de tamaños desde el coloidal hasta partículas macroscópicas, dependiendo del grado de turbulencia. En lagos la turbiedad es debida a dispersiones extremadamente finas y coloidales, en los ríos, es debido a dispersiones normales.

La reducción de la turbiedad en la estación de bombeo El Atlántico, ha sido un serio problema desde su inicio en funcionamiento por lo que se construyo por medio de JICA un desarenador circular para reducir arenas que lograría reducir en un 35% la turbiedad, pero el resultado no es el esperado por ello es necesario encontrar un proceso que remueva la turbiedad en la estación de bombeo utilizando nuevos métodos que sean técnicamente aplicables y que tengan una eficiencia alta en la reducción de lo antes mencionado.

Durante el invierno, las altas turbiedades que se generan por arrastre de partículas presentes en el agua que ingresa a la estación de bombeo El Atlántico y el caudal obtenido por el funcionamiento de las tres unidades de bombeo que impulsan el agua hacia la planta de tratamiento, imposibilitan la correcta aplicación de los procesos necesarios para obtener agua potable que cumpla con la norma guatemalteca vigente COGUANOR NGO 29001.

La turbiedad ha generado una escasez del vital líquido en los meses de mayo a octubre en los últimos tres años, lo que ha generado una pérdida del caudal total anual de 11.52% en el año 2002, de 7.29% en el año 2003 y de 7.13% en el año 2004.

Esta pérdida de caudal se puede recuperar si se reducen las condiciones de turbiedad del agua captada en la época de invierno.

### **1.1.2 UNIDADES NEFELOMÉTRICAS DE TURBIEDAD (UNT)**

Son las unidades en que se expresa la turbiedad cuando ha sido determinada por el método nefelométrico. La turbiedad de una suspensión de formacina de concentración específica se define como el equivalente a 40 unidades nefelométricas.

La medición de la turbiedad, en una manera rápida que nos sirve para saber cuando, como y hasta que punto debemos tratar el agua para que cumpla con la especificación requerida.

La turbiedad es de importante consideración en las aguas para abastecimiento público por tres razones:

a) Estética: Cualquier turbiedad en el agua para beber, produce en el consumidor un rechazo inmediato y pocos deseos de ingerirla y utilizarla en sus alimentos.

b) Filtrabilidad: La filtración del agua se vuelve más difícil y aumenta su costo al aumentar la turbiedad.

c) Desinfección: Un valor alto de la turbidez, es una indicación de la probable presencia de materia orgánica y microorganismos que van a aumentar la cantidad de cloro u ozono que se utilizan para la desinfección de las aguas para abastecimiento de agua potable.

El límite máximo permisible en el agua potable es de 15 NTU (unidades nefelométricas de turbiedad) regido por la norma COGUANOR NOG 29001

### **1.1.3 PRINCIPIOS DEL TURBIDÍMETRO**

Algunos de estos instrumentos dependen de comparaciones visuales, otros utilizan una celda fotoeléctrica que miden la luz dispersada a  $90^\circ$  a la trayectoria del rayo de luz en la muestra (nefelometría). Dichos aparatos son los que actualmente se están usando, por su mayor precisión.

El turbidímetro de Hellige, que es el utilizado en este método es del tipo nefelométrico, se basa en el efecto de Tyndall. Se compara un rayo de luz que se hace pasar hacia arriba por la muestra, con la luz dispersada hacia arriba por las partículas suspendidas de la solución turbia, la cual es iluminada lateralmente a  $90^\circ$ .

La unidad de turbiedad, fue definida "como la obstrucción óptica de la luz, causada por una parte por millón de sílice en agua destilada",

1 unidad nefelométrica de turbiedad (NTU) = 7.5 ppm de SiO<sub>2</sub>  
Actualmente, la unidad utilizada es la NTU, Unidad Nefelométrica de Turbiedad y que equivale a:

1 unidad nefelométrica de turbidez (NTU) = 1 ppm de formazina estándar

Los valores de turbiedad pueden variar desde cero hasta varios miles de unidades en aguas altamente turbias, consecuentemente no hay un método de determinaciones que abarque tan amplio intervalo. Existen tres métodos comúnmente empleados.

- a) Método del Turbidímetro Hellige.
- b) Método del Nefelómetro Fotoeléctrico.
- c) Método Turbidimétrico de Bujía de Jackson .

La unidad utilizada normalmente es la NTU (Unidades nefelométricas de turbidez), otras unidades que aún se usan se pueden transformar utilizando la siguiente tabla:

TABLA I CONVERSION DE UNIDADES DE TURBIEDAD

Unidad	JTU	NTU	SiO <sub>2</sub> mg/l
JTU	1.0	19	2.5
NTU	0.053	1	0.3
SiO <sub>2</sub> mg/l	0.4	7.5	1

#### 1.1.4 INTERFERENCIAS EN LA TURBIEDAD

La determinación de turbiedad es aplicable a cualquier muestra de agua que este libre de basuras y partículas gruesas que puedan asentarse con rapidez.

Se obtienen resultados falsos por material de vidrio sucio, por la presencia de burbujas y por los efectos de vibración que puedan alterar la visibilidad en la superficie de la muestra de agua.

#### 1.1.5 EFECTOS DE LA TURBIEDAD

Una desinfección eficaz depende del contacto entre el agente desinfectante y los microorganismos que han de ser inactivados durante un período de tiempo adecuado. Diversos estudios bacteriológicos y virológicos han demostrado que existe una marcada diferencia en cuanto al grado en

que los diversos tipos de partículas que hay en el agua protegen a los microorganismos de los efectos de los desinfectantes. En general, las partículas orgánicas -como puede ser la arcilla y los agentes de floculación en el agua parecen tener poco o ningún efecto protector. Por otra parte, las partículas inorgánicas -sean desechos celulares, sólidos en aguas servidas, organismos vivos o muertos como nematodos o crustáceos- pueden ofrecer una protección destacada a los microorganismos asociados a ellas. En gran medida, el grado de protección que proporcionan se determinará por la naturaleza de las partículas y no por la cantidad que estén presentes, según lo atestiguan las mediciones de turbiedad.

En todos los métodos donde se practica la desinfección, la turbiedad siempre deberá ser baja, de preferencia menos de 1 unidad de turbiedad nefelométrica (UTN) y, siempre, menos de 5 UTN; en caso contrario, las partículas interferirán con la eficiencia del método de desinfección, ejerciendo, en parte, una demanda de desinfectante y, en parte, defendiendo a los microorganismos, aun en presencia de un desinfectante residual que, bajo otras condiciones, bastaría para garantizar su exterminio.

La turbiedad excesiva del agua puede también interferir en los exámenes bacteriológicos, especialmente en los que se utiliza la filtración con membranas. La turbiedad baja, sobre todo en los sistemas de tratamiento que dependen de la coagulación, sólo puede lograrse mediante un control y operación cuidadosos que aseguren que la dosis de coagulante y el pH sean óptimos, que los mantos de floc sean estables, y que las carreras



de los filtros estén en estado óptimo, lo que se logra con la vigilancia y el control cuidadosos de la pérdida de carga y de la turbiedad. Es importante el lavado a contra- corriente de los filtros a fin de asegurarse de que no se produzca una irrupción de turbiedad. Cuando la coagulación, la sedimentación y la filtración son esenciales para asegurar la remoción de partículas, deberá aplicarse invariablemente algún método de desinfección a fin de garantizar la seguridad microbiológica del agua. Cuando están presentes partículas orgánicas en el agua potable durante su distribución, demandan más cloro, lo que aminora el cloro residual libre disponible, especialmente en los puntos terminales del sistema. Por eso, con objeto de evitar las acumulaciones de esas partículas es deseable efectuar, de manera regular, una purga en las tuberías. La turbiedad orgánica también puede servir como fuente de nutrientes, que pueden contribuir al crecimiento de bacterias dentro de la red de distribución, especialmente en las partes donde el flujo es lento. El crecimiento de bacterias puede aumentar la acumulación de hierro por la biofloculación; formándose nódulos de limo, carbonato de calcio y otros desechos que se adhieren a las paredes de las tuberías, deteriorando la calidad del agua. Los subproductos originados por el metabolismo o la descomposición de las bacterias contenidas en el limo pueden dar lugar a problemas de sabor y olor. Asimismo las elevaciones repentinas en la presión del agua pueden también desprender acumulaciones de limo y sedimentos.

#### **1.1.6 PRESENCIA DE LA TURBIEDAD**

Las partículas que producen la turbiedad en el agua varían en tamaño desde dimensiones coloidales (aproximadamente 10 nm) hasta diámetros del orden de 0.1 nm.

### **1.1.7 RELACIÓN DE LA TURBIEDAD CON OTROS PARÁMETROS DE LA CALIDAD DEL AGUA**

La turbiedad del agua tiene relación con otros parámetros de la calidad del agua, o afecta a, muchos indicadores de la calidad del agua potable. La materia particulada puede ser también una fuente de nutrientes y servir de protección para algunos microorganismos.

### **1.1.8 ASPECTOS DE SALUD**

Una turbiedad que exceda el valor guía de 5 UTN es generalmente objetable para los consumidores.

## **1.2 REMOCIÓN DE LA TURBIEDAD**

### **1.2.1 REMOCIÓN QUÍMICA POR MEDIO DE SULFATO DE ALUMINIO EN MEZCLA**

#### **RÁPIDA**

Formula química:  $Al_2(SO_4)_3$

Sal formada por la reacción entre ácido sulfúrico y un material rico en aluminio, como el hidróxido de aluminio, bauxita o arcillas gibsíticas.

En el tratamiento es uno de los principales usos del Sulfato de Aluminio, para consumo humano y para fines industriales.

### 1.2.2 SEDIMENTACIÓN

Separación de un líquido de sólidos o de un líquido de mayor densidad mediante el trasiego de la capa superior después de que la materia más pesada ha sedimentado.

### 1.2.3 DECANTACIÓN

Es un proceso mediante el cuál se consigue la separación de la materia sólida no disuelta en el agua bruta, mediante la acción de la gravedad. A veces este proceso no es posible físicamente y hay que recurrir a métodos químicos que permiten la separación de las partículas para ser decantadas.

El fenómeno de la sedimentación está basado en el movimiento browniano en un campo de fuerzas externo (campo gravitatorio), y está descrito desde el punto de vista macroscópico por la ecuación de Smoluchowski, que es semejante a la que describe el fenómeno de la difusión

$$v \frac{\partial n}{\partial x} + D \frac{\partial^2 n}{\partial x^2} = \frac{\partial n}{\partial t}$$

Donde  $n$  es la concentración de partículas de soluto en un punto  $x$  del medio, en un instante  $t$  determinado,  $D$  es el coeficiente de difusión, y  $v$  se denomina velocidad de arrastre.

Las partículas brownianas se mueven bajo la acción de su propio peso y de los choques con las partículas térmicas.

#### **1.2.4 TIPOS DE SEDIMENTACIÓN**

La sedimentación es el proceso de acumulación de materiales después de haber sido erosionados y transportados. Es el último proceso de la morfogénesis. Las características de los depósitos dependen de la naturaleza del agente de transporte. En el caso de los de los ríos, mares o viento el material se deposita cuando el movimiento en el medio se reduce por debajo de la velocidad de deposición de la carga. En el caso del hielo la deposición se produce cuando encuentra un obstáculo o cuando la masa de hielo alcanza su máxima extensión espacial

En geomorfología consideramos dos tipos de sedimentación en virtud de las características de los materiales que se depositan la sedimentación continental y la sedimentación marina.

Los sedimentos continentales se caracterizan por ser gruesos y angulosos. La fragmentación y la pérdida de ángulos depende la cantidad de golpes que recibe el fragmento, y este es menor en un medio continental que en un medio marino. Los procesos morfogenéticos que depositan derrubios continentales son: glaciar, fluvial, eólica y lacustre.

Los sedimentos marinos se caracterizan por ser más finos y redondeados, producto de continuo golpeo entre los fragmentos,

particularmente en las zonas del litoral. Distinguimos los procesos: litoral, nerítico, batial y abisal.

Por otra parte los sedimentos pueden depositarse de manera concordante, en el mismo sentido o discordante, en diferente sentido, con las estructuras a las que cubre.

### **1.2.5 DECANTADOR LAMINAR**

Unidades de decantación de flujo laminar o de alta tasa. Los decantadores laminares pueden tratar caudales mayores en un área y estructura menor de la que requieren los decantadores convencionales y su eficiencia es superior. Comparándolos con las unidades de contacto de sólidos o decantadores de manto de lodos, que también son de alta tasa, no requieren energía eléctrica para su operación. Por todas estas ventajas, esta unidad es considerada como tecnología apropiada para países en desarrollo y para todo programa de mejoramiento de la calidad del agua que tenga como meta conseguir la mejor calidad al menor costo de producción; esto es, para la sostenibilidad de los proyectos.

Es un equipo que por un procedimiento físico separa los sólidos del agua, en un espacio de un tercio de lo que lo hace un clarificador convencional. Después de la floculación, estos sólidos reposan en las placas inclinadas y por gravedad resbalan al fondo. Pueden ser con fondo cónico o cilíndrico. Su construcción es acero al carbono con recubrimientos epóxicos internos y externos, o bien, acero inoxidable.

Un Clarificador por gravedad, es el método más económico para separar sólidos de los líquidos, debido a que la gravedad es una fuente de energía natural y es gratis. Un clarificador simple provee una zona no turbulenta, donde a los sólidos suspendidos en el líquido se les da el tiempo suficiente para que reposen en las placas y se resbalen al fondo.

Figura No. 1 Decantador convencional y laminar en serie



*FUENTE: Sedimentadores laminares. Programa Regional OPS/HPE/CEPIS de Mejoramiento de la Calidad del Agua. Lima, CEPIS/OPS, 1981.*

Figura No. 2 Decantador convencional y laminar en serie



*FUENTE: Sedimentadores laminares. Programa Regional OPS/HPE/CEPIS de Mejoramiento de la Calidad del Agua. Lima, CEPIS/OPS, 1981.*

Al utilizarse el  $Nr$  en el límite máximo del rango laminar, se consigue ampliar la separación de las placas o la sección de los módulos, lo cual se refleja en una gran economía, al disminuir el número de placas o módulos empleados en la construcción de la unidad. La velocidad longitudinal media ( $V_0$ ) en los elementos tubulares comúnmente se adopta entre 10 y 25 cm/min. En cada caso, es posible determinar la velocidad máxima del flujo mediante la expresión:

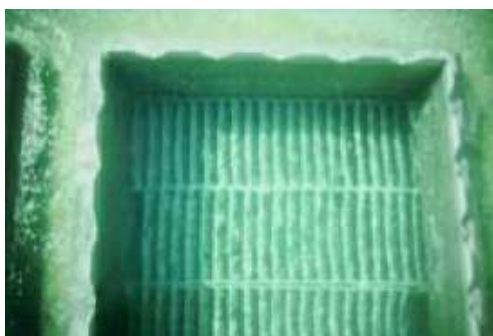
$$V_0 \text{ máx.} = [Nr / 8]^{0,5} \cdot V_{sc}$$

Donde  $V_{sc}$  = velocidad de sedimentación de las partículas dada la gran cantidad de módulos que se precisan, es deseable que el material sea de bajo costo y muy resistente a la permanencia bajo el agua. Los materiales que se usan para este fin son las lonas de vinilo reforzadas con poliéster, el asbesto-cemento, el plástico y la fibra de vidrio.

Las lonas de vinilo reforzadas con hilos de poliéster de alta tenacidad son el material más usado actualmente por sus grandes ventajas: no producen pérdidas por rotura, el sistema de instalación es más sencillo y su duración es muchísimo mayor. Es un material muy confiable en zonas de alto riesgo sísmico.

Tradicionalmente, en este tipo de unidades se han venido utilizando las planchas de asbesto-cemento por su alta disponibilidad, bajo costo y resistencia a la corrosión, con las siguientes dimensiones: 1,20 metros de alto por 2,40 metros de largo, con espesores de un centímetro o de 6 y 8 milímetros, siempre y cuando hayan sido fabricadas con fibras largas de asbesto.

Figura No. 3 Módulos de decantación de fibra de vidrio

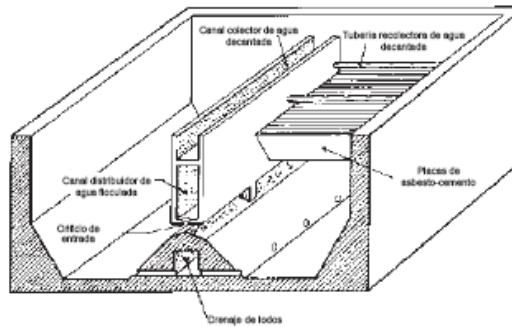


*FUENTE: Sedimentadores laminares. Programa Regional OPS/HPE/CEPIS de Mejoramiento de la Calidad del Agua. Lima, CEPIS/OPS, 1981.*

Mediante la colocación de placas paralelas o módulos de diferentes tipos en la zona de sedimentación, se obtiene en estas unidades una gran superficie de deposición para los lodos, con lo cual se logra disminuir apreciablemente el área superficial de los tanques.



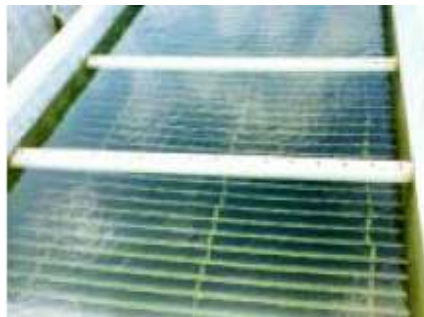
Figura No. 4 Decantador de placas paralelas de flujo ascendente



FUENTE: *Sedimentadores laminares. Programa Regional OPS/HPE/CEPIS de Mejoramiento de la Calidad del Agua. Lima, CEPIS/OPS, 1981.*

La diferencia básica entre los decantadores laminares o de alta tasa y los decantadores convencionales reside en que los primeros trabajan como su nombre lo indica con flujo laminar (número de Reynolds,  $Nr < 500$ ) y los últimos con flujo turbulento ( $Nr$  entre 10.000 y 250.000). Esta diferencia teórica fundamental debe reflejarse en la forma como se diseñan unos y otros.

Figura No. 5 Zona de decantación mediante módulos de asbesto cemento



FUENTE: *Sedimentadores laminares. Programa Regional OPS/HPE/CEPIS de Mejoramiento de la Calidad del Agua. Lima, CEPIS/OPS, 1981.*

### 1.2.5.1 PARÁMETROS Y RECOMENDACIONES GENERALES DE DISEÑO

El parámetro de diseño más importante en las unidades de decantación es la velocidad de sedimentación de los flóculos, que depende fundamentalmente de las características del agua cruda y de la eficiencia del pretratamiento. Por esta razón, la velocidad de diseño debe determinarse experimentalmente para cada caso.

Las cargas superficiales utilizadas en América Latina normalmente varían entre 120 y 185 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/d, con eficiencias de remoción por encima del 90%. En cada caso, es necesario efectuar un estudio de tratabilidad del agua, para determinar la tasa de decantación con la cual se podrán obtener 2 UN de turbiedad residual en el efluente.

Este criterio obedece a recomendaciones de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) para que los filtros puedan brindar un efluente exento de microorganismos patógenos y de huevos de *Giardia lamblia* y *Cryptosporidium*, habida cuenta de que solo el filtro puede eliminar a estos últimos cuando recibe un afluente de la calidad indicada.

De acuerdo con investigaciones es realizada en prototipos, las unidades se pueden diseñar con Nr de hasta 500, sin que se obtengan disminuciones apreciables en la eficiencia alcanzada.

En los decantadores laminares, el  $Nr$  es una consecuencia de la geometría de los elementos tubulares y de la velocidad del flujo en el interior de estos, y no una condición del proyecto. De acuerdo con este criterio que se va corroborando con la experiencia práctica indicada en el ítem anterior no es necesaria la obtención de un flujo laminar puro para mejorar la eficiencia del proceso.

### **1.2.6 POLÍMEROS**

Pertenecientes a la familia de coagulantes-floculantes inorgánicos y compuestos de sales polinucleares recomendado para el tratamiento de clarificación de agua cruda de pozo, industria de alimentos y bebida, aguas municipales e industriales.

#### **1.2.6.1 DOSIFICACIÓN DE POLÍMEROS**

Se deben realizar pruebas de precipitados (jarras) para determinar cantidad a dosificar, después se procede a la prueba piloto en planta. Se dosifica puro o se prepara una solución madre al 10%, por medio de bombeo automático utilizando bombas de diafragma resistente para ácidos débiles.

No requiere de agitación continua para preparar la solución, los tanques de preparación de solución y bombas podrán ser de Polietileno, Acero Inoxidable o Polipropileno.

### **1.2.7 FLOCULADORES**

Los floculadores de pantallas son los mas utilizados en nuestro medio; existen de flujo horizontal y de flujo vertical, en el presente estudio se analizaran los floculadores de flujo horizontal, en los cuales el agua circula con la corriente simulando un zigzag, contorneando las diversas pantallas.

## 2. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

### 2.1 GENERALIDADES

La historia del abastecimiento de agua potable en la Ciudad de Guatemala data desde el traslado de la Ciudad al Valle de la Ermita. En 1774 se realizó un estudio de la introducción de las aguas de Mixco, Pansalique, Pancochá, Belén, Pinula, Acatán y Agua bonita. El sistema se suministraba sin presión y sin un sistema de medida.

En 1782 por decreto surgió La Dirección de Aguas como dependencia de la Municipalidad de Guatemala.

En 1918, se inicia la aplicación del cloro a las aguas que surten la capital, en 1950 la Municipalidad de Guatemala dispuso medir el uso de agua por medio de medidores. Cuando el Gobierno central toma la decisión de realizar por su cuenta el Acueducto Nacional Xayá pixcayá, obtiene el financiamiento del Banco interamericano de Desarrollo y promueve ante la municipalidad citadina la transformación de la Dirección de Aguas y Drenajes municipales en la empresa especializada en la prestación del servicio de agua potable, creándose para el efecto la Empresa municipal de Agua de la Ciudad de Guatemala (EMPAGUA), por acuerdo municipal del 28 de noviembre de 1972.

## 2.2 SISTEMA ATLÁNTICO-ILUSIONES

El sistema Atlántico-Las Ilusiones, consta de la estación de bombeo Atlántico y de la planta potabilizadora Las Ilusiones. Se encuentra ubicado en la 4ª Avenida Final de la colonia Kennedy de la zona 18 de la ciudad capital.

Inaugurado en 1972, este sistema fue diseñado para captar las aguas de los ríos Teocinte, Bijagüe, Canalitos y Ocotés, para posteriormente tratarlas en la planta potabilizadora Las Ilusiones. En 1996 este sistema fue rehabilitado con el apoyo técnico y financiero de la Agencia Japonesa de Cooperación Internacional (JICA).

La estación de bombeo El Atlántico ubicada en el kilómetro 13.5 carretera al El Atlántico, se accede por medio de un camino asfaltado de 2 kilómetros de longitud, construido especialmente para el propósito. Consta de una presa de captación, un desarenador, una casa de mandos, cuatro unidades de bombeo de 800 Hp, una bodega, dos compresores, una campana de aire, una subestación y un by pass.

La potabilizadora Las Ilusiones, es una planta de tratamiento tipo Degrémont, de tecnología francesa. Consiste en un canal de entrada, un clarificador pulsator, dos sedimentadores, cuatro filtros, dos tanques de distribución (uno elevado y otro semi enterrado).

Figura No. 6 Estación de Bombeo dEl Atlántico



Fuente: FOLLETO HITACHI PLANT ENGINEERING

Figura No. 7 Planta potabilizadora Las Ilusiones



Fuente: FOLLETO HITACHI PLANT ENGINEERING

Figura No. 8 Localización de la planta potabilizadora



### 2.2.1 PLANTA DE PRODUCCIÓN:

El sistema esta compuesto de una planta tipo DEGREMONT de manufactura francesa.

Compuesto de un vertedero de entrada donde se aplica la dosificación de Sulfato de Aluminio, luego pasa al sistema del pulsator que es donde se realiza la mezcla rápida para luego ser distribuida a los sedimentadores donde se distribuye uniformemente a través de tubos perforados que se encuentran distribuidos en el fondo de los sedimentadores, de aquí el agua es recolectada en las canaletas para pasar a los Filtros de arena los cuales



suman cuatro, el agua filtrada es recolectada en los Sifones los cuales la vierten a un canal que recolecta el agua de los cuatro filtros. En este canal se le aplica Cloración para luego almacenarse en el Tanque de Aguas Claras.

## **2.3 INFRAESTRUCTURA**

### **2.3.1 ESTACIÓN DE BOMBEO**

La estación de bombeo Atlántico consta de una presa derivadora que permite formar el embalse necesario y derivar el agua del río, un desarenador circular, un desarenador rectangular, un tanque de compensación, una fosa de succión, un canal de demasías, un sistema contra el golpe de ariete, una casa de mandos, y cuatro unidades de bombeo vertical accionadas por motores eléctricos de 800 Hp.

Alimentados por una línea de alta tensión de unos ocho kilómetros de longitud, construida específicamente para la estación de bombeo; en la estación de bombeo se cuenta también con una subestación eléctrica que transforma la energía a la tensión necesaria en los motores. Además se cuenta con una bodega y un taller.

De la estación de bombeo se conduce el agua cruda hacia la planta potabilizadora Las Ilusiones por medio de una tubería de 6.1 kilómetros de longitud, cuya instalación requirió la excavación de varios cientos de metros de túneles (algunos con pendientes de hasta 45°) y zanjas de diversas

profundidades; fue preciso construir un puente, bastiones, anclajes, cajas para válvulas de diverso tipo, cajas de registro, etc.

El sistema Atlántico Ilusiones fue construido en el año 1971 e inaugurado en 1972.

En 1995 se realizó una remodelación, la cual culminó en el año 1996 habiendo realizado este trabajo la empresa Hitachi Plant de Japón.

A la fecha el caudal que llega a la planta es de 222 lts/seg debido a extracciones ilícitas en la línea de conducción.

Figura No. 9 Bombas en la estación de bombeo El Atlántico



### 2.3.2 PRESA

El río Teocinte ha sido llevado hacia el río Bijagüe por medio de una presa derivadora y una tubería que cruza la montaña que separa los dos ríos, por medio de un túnel excavado a unos 250 metros de profundidad, con una longitud de 300 metros aproximadamente

La presa de la estación de bombeo, es una barrera artificial construida en el punto principal de la captación, ubicada sobre el río Bijagüe, para embalsarlo y retener su caudal. Sirve para regular el agua y dirigirla hacia los canales del sistema de abastecimiento, así como para controlar el caudal de agua durante los periodos de inundaciones y sequía. Se diseñó para una crecida máxima de 1000 m<sup>3</sup>/s.

Las presas de gravedad, como la de la estación de bombeo El Atlántico, son estructuras de hormigón de sección triangular; la base es ancha y se va estrechando hacia la parte superior; la cara que da al embalse es prácticamente vertical. Vistas desde arriba son rectas o de curva suave. La estabilidad de estas presas radica en su propio peso. Es el tipo de construcción más duradero y el que requiere menor mantenimiento. Su altura suele estar limitada por la resistencia del terreno.

Figura No. 10 Presa en la estación de bombeo El Atlántico



### **2.3.3 ALIVIADEROS**

Aseguran que el embalse no rebase la presa, los desagüaderos o vertederos son necesarios para extraer de modo constante agua del embalse, son canales o conductos cuyas entradas se encuentran a la altura del nivel mínimo del embalse. Estas tomas poseen unas compuertas o válvulas que regulan la entrada de agua.

### **2.3.4 DESARENADOR**

El desarenado tiene por objeto extraer del agua bruta la grava, arena y partículas minerales más o menos finas, con el fin de evitar que se produzcan sedimentos en los canales y conducciones, para proteger las bombas y otros aparatos contra la abrasión, y para evitar sobrecargas en las fases de tratamiento siguientes.

En la estación de bombeo, existen dos desarenadores. El primero es uno circular del tipo "Swirl" o "Grid chamber", construido en 1996, de alimentación lateral o periférica y tiene la función de eliminar la arena y sólidos gruesos del agua cruda.

El segundo, es un desarenador rectangular, construido en 1971 y parcialmente rehabilitado en 1996, funciona para eliminar la arena fina del agua cruda.

Figura No. 11 Desarenador del tipo "Swirl" o "Grid chamber"



### 2.3.5 TANQUE DE COMPENSACIÓN

Tanque de retención el cual se utiliza para aportar a la unidad de tratamiento un caudal constante de 240 l/s, con volumen de 6000m<sup>3</sup> de medidas de 20 metros de ancho 40 metros de largo y con profundidad de 9.70 del lado mas profundo y 7.20 del lado mas alto y composición razonablemente uniformes; también denominado cámara o estanque de compensación (ecualización).

Un tanque de este tipo sirve para compensar las variaciones en el consumo a lo largo del día mediante almacenamiento en horas de bajo consumo y descarga en horas de consumo elevado, brindar un nivel de energía estática adecuado (en caso de detenimiento del sistema) y además puede acotar las ondas de sobrepresión durante un fenómeno transitorio.

Figura No. 12 Tanque de compensación



### 2.3.6 FOSA DE SUCCIÓN

Las Estaciones de Bombeo están integradas por un conjunto de equipos e instalaciones electromecánicas montadas en una obra civil. Las fosas de succión son pozos húmedos por medio de los cuales se bombea el agua del tanque de compensación. En este caso, las bombas están dentro de la masa líquida de la fosa de succión y los motores, por su parte se encuentran a la intemperie.

### 2.3.7 CANAL DE DEMASÍAS

Cuando el nivel del embalse supera condiciones normales, hay que establecer los procedimientos que aseguren la integridad del sistema. Para ello se utiliza el canal de demasías, cuya función primordial es la de descargar el excedente de agua y evitar que se produzcan daños en la presa.

Figura No. 13 Canal de demasías



Figura No. 14 Interior del Canal de Demasías



### 2.3.8 SISTEMA CONTRA EL GOLPE DE ARIETE

El golpe de ariete es un fenómeno que ocurre cuando se interrumpe súbitamente la energía que propulsa la columna de agua en la línea de impulsión o por el cierre rápido de la válvula de regulación de flujo a la salida de la bomba ocasionando una presión interna a todo lo largo de la tubería, la cual es recibida como un impacto. En la estación de bombeo, el sistema contra el golpe de ariete consiste en una campana de aire, la cual tiene la función de reducir la contra presión para proteger las bombas de toma de agua.

Figura No. 15 Campana de aire y agua





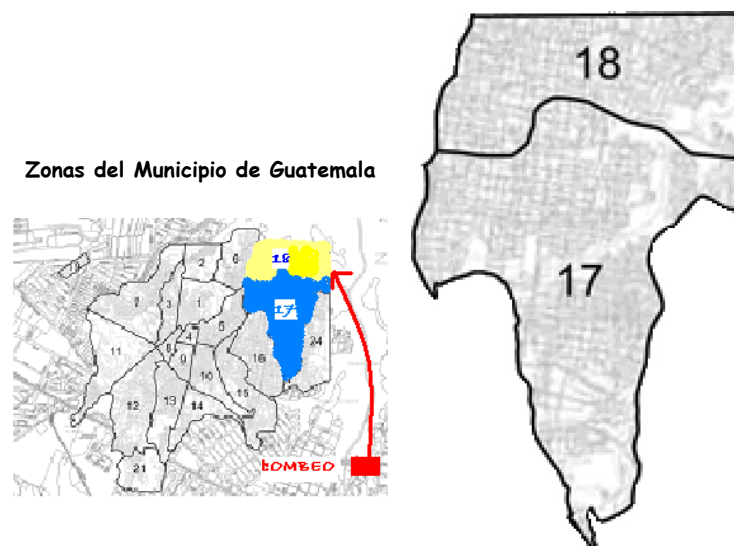
## 2.4 DESCRIPCIÓN ADMINISTRATIVA DE LA ESTACION DE BOMBEO

Está a cargo de un superintendente, un operador y un jefe de turno, Estos últimos a tiempo de 24 \* 48 horas y un suplente, quienes operan el sistema, utilizan Hipoclorito de Calcio y desasolvan la presa y el desarenador.

## 2.5 BENEFICIARIOS DEL SISTEMA ATLANTICO ILUSIONES

Todas las personas del área de cobertura del servicio por parte del sistema Atlántico-Ilusiones, es decir, 27000 habitantes de las zonas 17 y 18 de la ciudad capital.

Figura No. 16 Cobertura del sistema Atlántico Ilusiones



Las zonas 17 y 18 conforman el área de cobertura del servicio por parte del sistema Atlántico-Ilusiones

### 3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

La metodología que se pretende a continuación, se encuentra estructurada para determinar la forma como lograr reducir la turbiedad en la estación de bombeo El Atlántico.

En principio se buscó establecer la calidad de agua, enfocándose a la turbiedad y característica de las partículas que la provocan, por lo que se determino necesario realizar prueba de turbiedad utilizando la metodología propuesta por el Standard Methods; asimismo se realizó la prueba de Cono Imhoff. Una vez realizadas estas pruebas, se procedió a la fase experimental de campo, la cual consistió en instalar un dosificador de sulfato de aluminio al ingreso del caudal en la estación de bombeo con un resalto hidráulico para provocar la mezcla rápida, determinación del tiempo de retención de agua en los tanques, realizar pruebas de dosificación y concentración óptima de sulfato de aluminio, realizar pruebas en columnas de sedimentación y prueba de polímeros.

Con los resultados obtenidos se procedió a analizarlos para proponer la solución.

### **3.1 TURBIEDAD DE ENTRADA DE LA PLANTA LAS ILUSIONES**

Se tabularon los datos más significativos de los últimos años y fueron escogidos los años 1999, 2003 y 2004 para hacerlo y se realizó solamente los meses de invierno, se tabuló primero por día y luego se hizo un promedio de la turbiedad más alta y más baja por mes para sacar la tabla anual.

### **3.2 DETERMINACION DEL TIEMPO DE RETENCION**

#### **OBJETIVO**

- Definir el tiempo de retención de agua en el tanque actual de la estación de bombeo El Atlántico.

#### **EQUIPO NECESARIO**

Cronómetro digital.

Colorímetro.

Beakers de 2000 ml.

Pipetas

Pizetas

Agua destilada

Colorante para ver tiempo de retención.

## PROCEDIMIENTO

Se obtienen una muestra representativa del agua entrada a la estación de bombeo

### 3.3 PRUEBAS DE JARRAS

Se realizaron pruebas de jarras para la determinación de dosis optima de coagulante, concentración optima de coagulante, determinación de los parámetros de floculación, determinación de parámetros de decantación - turbiedad.

### 3.4 DETERMINACION DE LA VELOCIDAD PARA UBICAR EL DOSIFICADOR

#### OBJETIVO

Determinar la velocidad para encontrar el área de dosificación.

#### EQUIPO REQUERIDO

Muestreador de plástico

Área

Cronómetro

#### PROCEDIMIENTO

Se introduce el muestreador plástico antes del desarenador.

Se mide el tiempo en que le toma llegar de un punto a otro.

### **3.5 DETERMINACION DE LA VELOCIDAD DE SEDIMENTACION DE LAS PARTICULAS EN SUSPENSION**

#### **OBJETIVO**

Determinar la velocidad de sedimentación de partículas para determinar la altura del tanque de compensación.

#### **EQUIPO REQUERIDO**

Treinta muestreadores de plástico

Turbidímetro

Cronómetro

Columna de sedimentación

#### **PROCEDIMIENTO**

Se agrega agua a la columna de sedimentación hasta el tope de los tres metros.

Se toma 5 muestras cada minuto y se le mide la turbiedad

Se toman 5 muestras cada 5 minutos se le mide la turbiedad

Se toman 3 muestras cada 10 minutos se le mide la turbiedad

Se realizó la columna de sedimentación para ver el tiempo de sedimentación y la altura a la que debe poner la tubería en el tanque si este se construye para que se haga una dilución. Se utilizó la columna de sedimentación de ERIS; ésta columna de sedimentación se encontraba en las instalaciones del laboratorio pero en malas condiciones pues tenía demasiadas fugas, no tenía chorros y se le compraron; luego de realizar las pruebas con ella se instaló en la planta piloto aurora II para que cualquier investigador pueda hacer uso de la misma.

### **3.6 PORCENTAJE DE HORAS DE BOMBEO**

Se tabularon datos de todas las horas de bombeo realizadas desde enero del 2002 hasta diciembre del año 2004, y se realizó un porcentaje de horas reales que se tendrían que bombear entre las horas que realmente se bombearon.

### **3.7 PRODUCCIÓN DE AGUA DE LA PLANTA LAS ILUSIONES**

Se tabularon los datos de producción de agua del 2003 y 2004.

### **3.8 PRUEBAS CON SULFATO DE ALUMINIO**

Se instaló un dosificador de tornillo sin fin en las instalaciones de la estación de bombeo El Atlántico. Luego, se introdujo agua de buena calidad, que es el agua de servicio de los operadores jefes de turno de la Estación; se instaló la tubería de agua de servicio desde el sanitario hasta el canal de entrada, donde se puso junto con unas láminas para cubrir el dosificador; se le puso corriente al dosificador junto con un arrancador, se le puso también tubería donde se dosificaría la solución y se pensó de primero ponerla donde la compuerta de entrada hacía un resalto hidráulico, para que allí se hiciera una buena mezcla y utilizar el desarenador como floculador.

### 3.8.1 DOSIFICADOR INSTALADO

Anteriormente a esta instalación, se midió que porcentaje de solución o concentración y dosificación serían las óptimas y cuantos costales de solución le cabrían al tanque de solución que tenía el dosificador.

Figura No. 17 Dosificador de sulfato de aluminio



Figura No. 18 Prueba de jarras



Al realizar las pruebas no funcionó pero se llegó a la conclusión que la mayor parte de sulfato de aluminio se perdía en el desfogue del canal de demasías que se encuentra en el centro del desarenador, y ya no pasaba a la siguiente fase.

Entonces, cambió la tubería de dosificación de lugar y se colocó en la cresta de salida del desarenador donde se forma otro resalto hidráulico, y en ese lugar funcionó mejor el producto según los análisis de laboratorio que se realizaron con un Turbidímetro portátil.

Figura No. 19 Primer sitio de dosificación





Figura No. 20 segundo sitio de dosificación



La semana siguiente a la puesta del sulfato de aluminio en ese lugar se observaron problemas en las unidades de bombeo, por lo que se suspendió la dosificación pues no se sabe todavía la razón beneficio/costo para mantener o no el químico o mantener o no caudal constante.

Luego se realizaron pruebas para ver el tiempo de retención de agua con trazadores, el trazador utilizado fue el Permanganato de Potasio y para medirlo se utilizó el color aparente, se introdujo el químico en el canal de entrada y se esperó se tomaron constantes muestras en las fosas y hasta ver el resultado.

Las pruebas fueron realizadas en el periodo del 30 de agosto al 24 de septiembre del 2004.

Las pruebas realizadas desde el 30 de agosto no tienen diferencias para las bajas turbiedades es hasta el día 08 de septiembre que se da una gran diferencia para una alta turbiedad, la dosificación fue realizada al azar, por no ser una planta de tratamiento solo para ver su funcionamiento la primer semana se coloco en la entrada donde la compuerta genera un resalto hidráulico, pero no funciona como lo podemos observar en las pruebas realizadas en miércoles 1 de septiembre en donde la turbiedad era mas alta en la entrada al tanque que en la salida al desarenador. Luego cambie de lugar la tubería de dosificación y empezó a dar mejores resultados como lo demuestran los resultados del 6 y 8 de septiembre, el 10 de septiembre no es significativo pues la turbiedad del agua es baja.

Estas pruebas tienen una duración de 4 horas, se toma el tiempo desde la dosificación, luego se esperan 20 minutos de tiempo de retención en el desarenador, luego 30 segundos al llegar al tanque y luego 3 horas con 25 minutos de tiempo de retención en el tanque de compensación, puede variar depende de cuanto bien estén funcionando las bombas, pues cuando funcionan al 100% pueden impulsar hasta 260 l/s que es su capacidad máxima y la media es de 225 l/s, esto fue medido el 30 de agosto en la prueba con un trazador que fue el permanganato de potasio.

### **3.9 PRUEBAS CON POLIMERO**

Se realizaron pruebas en planta con un polímero el 4, 5 y 6 de mayo de 2005, pruebas de laboratorio para observar como se desenvuelve dicho polímero en corrosividad de acuerdo a su Potencial Hidrógeno.

### **3.10 PRUEBA DE CONO IMHOFF**

La prueba se realizo con una turbiedad de 3287 UTN.

Esta prueba se realiza en una hora de duración dejándose reposar 45 minutos un litro de agua cruda y luego se raspan las paredes, se mide lo sedimentado en una hora en centímetros cúbicos.

### **3.11 ALGUNOS TRATAMIENTOS A PROPONER**

Estos tratamientos a proponer son dependiendo de la caracterización del tipo de turbiedad por ejemplo con el resultado del Cono Imhoff y de la columna de sedimentación se verá si es sedimentable o no y si es sedimentable se tratará con procesos físicos y sino es sedimentable se tratará con procesos químicos o bien la combinación de ambos.

- a) Lograr hacer procesos de tratamiento ya sean químicos, físicos o la combinación de ambos, como por ejemplo decantador de placas paralelas o de tasa alta con aplicación de algún coagulante floculante de rápida floculación, inorgánico y sin corrosividad alta.

- b) Aplicar solamente alguna clase de polímetro sin ningún tratamiento y utilizar las actuales instalaciones para mezcla y sedimentador.
- c) Construir un tanque de compensación de una hora y media máximo de retención y aplicación de químicos utilizando el desarenador como floculador al momento de utilizar el proceso, pues solo se utilizaría hora y media después cuando se haya utilizado toda el agua del tanque de compensación.
- d) Construir un tanque de compensación nuevo de 3 a 4 horas de tiempo de retención y llenarlo con agua de buena calidad o agua de calidad aceptable menor que 800 UTN para que al utilizarlo sean cerradas las entradas de agua y dejar pasar la crecida y así poderlo utilizar para hacer dilución con el tanque de compensación existente.

**Nota:** No se tomo en cuenta la prefiltración por el caudal que se maneja.

### **3.12 EXAMEN FISICO QUIMICO SANITARIO**

Se realizó ésta para ver qué parámetros de calidad contiene el agua cruda.

## 4. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

### 4.1 TURBIEDAD DE ENTRADA DE LA PLANTA LAS ILUSIONES

Tabla II Resumen turbiedad de agua cruda en estación de bombeo 2004

Resumen de turbiedades 2004														
					AGUA CRUDA MAXIMA					AGUA CRUDA MINIMA				
	AGUA CRUDA		AGUA TRATADA		Rango		Frecuencia			Rango				
	MAX	MIN	MAX	MIN	de	a	Frec.	Acum.	Frec %	de	a	frec.	acum	Frec %
enero	18	14	9	7	0	199	3	3	42,86	0	49	3	3	27,27
febrero	195	20	8,2	3,3	200	399	0	3	42,86	50	99	0	3	27,27
marzo	400	300	3	2	400	599	1	4	57,14	100	149	0	3	27,27
abril	1200,00	500,00	3,00	3,00	600	799	0	4	57,14	150	199	0	3	27,27
mayo	2510,00	358,00	8,00	3,00	800	999	0	4	57,14	200	249	0	3	27,27
junio	4040,00	1500,00	9,50	4,00	1000	1199	0	4	57,14	250	299	0	3	27,27
Julio	2241,00	936,00	53,00	4,70	1200	1399	1	5	71,43	300	349	1	4	36,36
Agosto	3500,00	900,00	8,00	3,70	1400	1599	0	5	71,43	350	399	1	5	45,45
Septiembre	4000,00	1500,00	6,90	4,50	1600	1799	0	5	71,43	400	449	0	5	45,45
octubre					1800	1999	0	5	71,43	450	500	6	11	100,00
Noviembre					2000	2199	0	5	71,43				11	100,00
diciembre					2200	2399	1	6	85,71				11	100,00
MAXIMA	4040,00	1500,00	53,00	7,00	2400	2599	1	7	100,00				11	100,00
MINIMA	195,00	20,00	3,00	2,00	2600	2799	0	7	100,00				11	100,00
					2800	2999	0	7	100,00				11	100,00
					3000	3199	0	7	100,00					
					3200	3399	0	7	100,00					
					3400	3799	4	11	157,14					

Figura No. 21 Gráfico de turbiedades de agua cruda año 2004

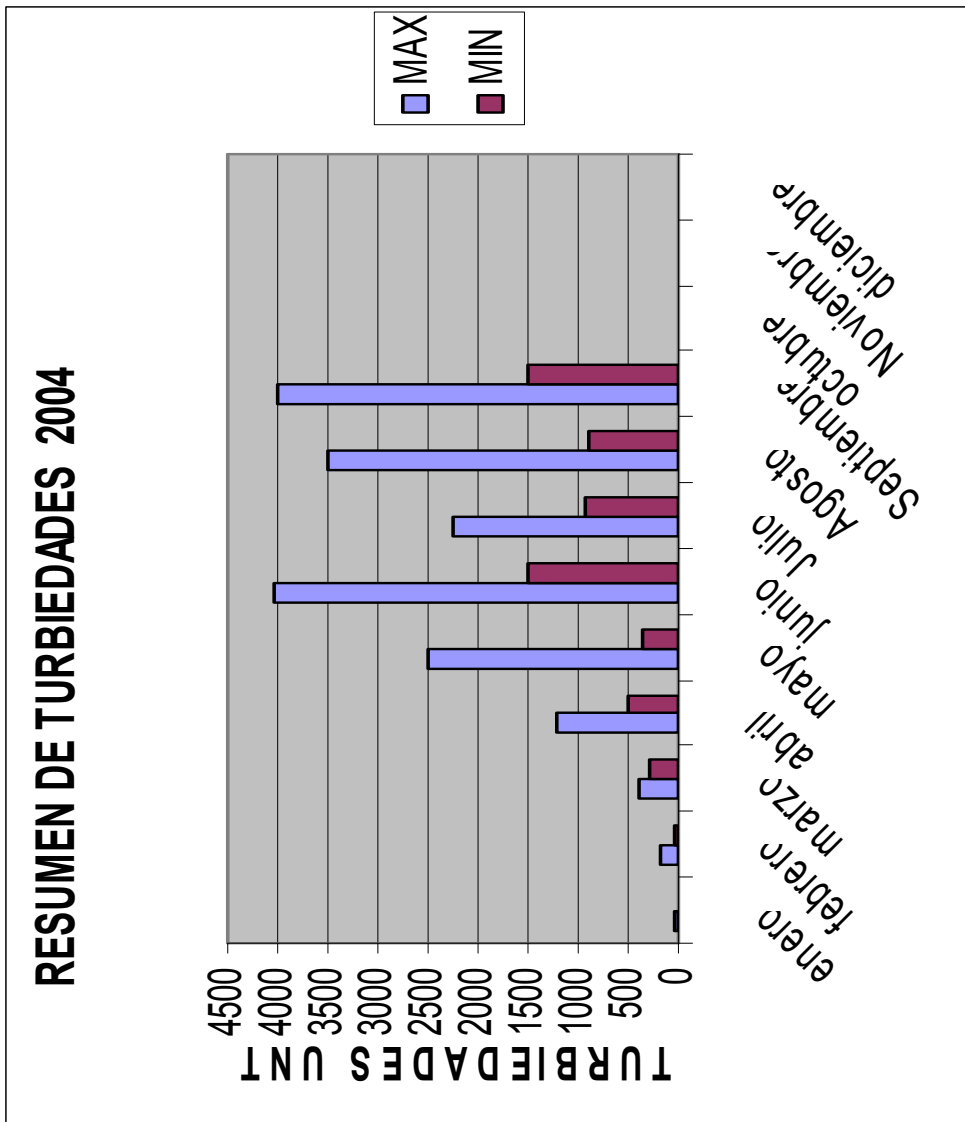


Tabla III Resumen turbiedad de agua cruda en estación de bombeo 2003

<b>Resumen de turbiedades 2003</b>														
------------------------------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

					AGUA CRUDA MAXIMA					AGUA CRUDA MINIMA				
	AGUA CRUDA		AGUA TRATADA		Rango		Frecuencia			Rango				
	MAX	MIN	MAX	MIN	de	a	Frec.	Acum.	Frec %	de	a	frec.	acum	Frec %
enero	20,27	11,52	2,59	1,55	0	199	6	6	42,86	0	49	8	8	57,14
febrero	27,87	10,9	2,69	1,75	200	399	4	10	71,43	50	99	2	10	71,43
marzo	47,6	24,57	3,31	1,94	400	599	1	11	78,57	100	149	0	10	71,43
abril	580,13	59,07	3,49	1,63	600	799	0	11	78,57	150	199	2	12	85,71
mayo	1502,29	186,33	3,58	1,63	800	999	0	11	78,57	200	249	0	12	85,71
junio	1786,33	308,20	7,47	1,74	1000	1199	0	11	78,57	250	299	0	12	85,71
Julio	321,56	89,34	6,04	2,16	1200	1399	0	11	78,57	300	349	2	14	100,00
Agosto	314,78	48,24	3,53	2,18	1400	1599	1	12	85,71	350	399	0	14	100,00
Septiembre	281,97	191,55	5,74	2,40	1600	1799	2	14	100,00	400	449	0	14	100,00
octubre	239,20	20,33	3,21	1,21	1800	1999	0	14	100,00	450	500	0	14	100,00
Noviembre	43,53	19,07	3,11	1,47	2000	2199	0	14	100,00				14	100,00
diciembre	15,93	11,63	4,71	1,69	2200	2399	0	14	100,00				14	100,00
MAXIMA	1786,33	308,20	7,47	2,40	2400	2599	0	14	100,00				14	100,00
MINIMA	15,93	10,90	2,69	1,21	2600	2799	0	14	100,00				14	100,00
					2800	2999	0	14	100,00				14	100,00
					3000	3199	0	14	100,00					
					3200	3399	0	14	100,00					
					3400	3799	0	14	100,00					

Figura No. 22 Gráfico de turbiedades de agua cruda año 2003

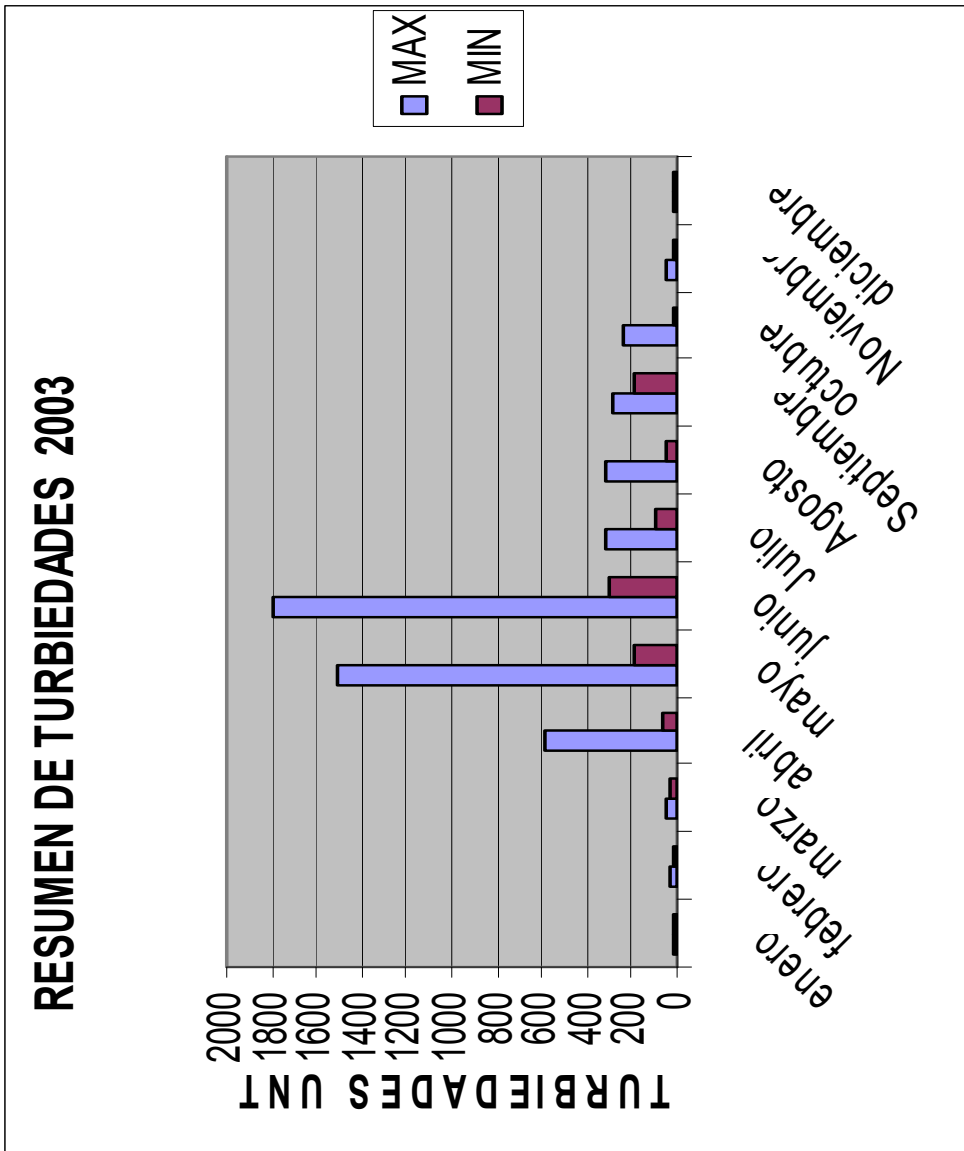




Tabla IV Turbiedad promedio anual año 1999

TURBIEDAD PROMEDIO ANUAL 1999		
Mes	Agua Cruda	
	Máxima	Mínima
Abril	209.7	82.3
Mayo	678.9	61.4
Junio	1528.6	316.3
Julio	716.7	185.4
Agosto	1187.4	302.5
Septiembre	815.8	277.8
Octubre	519.0	274.7
Noviembre	38.5	23.5
Diciembre	37.8	26.4
<b>Promedio</b>	<b>636.9</b>	<b>172.2</b>

Figura No. 23 Promedio mensual de turbiedad del año 1999

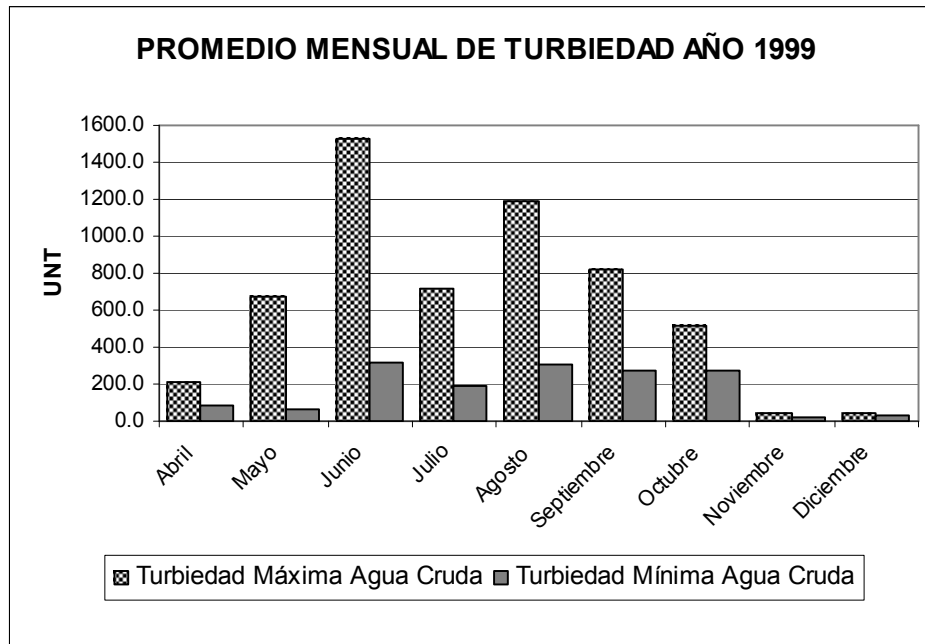


Tabla V resumen de turbiedades de la planta Las Ilusiones año 1999

Resumen de turbiedades 1999, Planta Las Ilusiones

MES	AGUA CRUDA		AGUA CRUDA MAXIMA						AGUA CRUDA MINIMA					
			Rango		Frecuencia			Rango		Frecuencia				
			de	a	Frec.	Acum.	Frec %	de	a	frec.	acum	Frec %		
enero			0	199	3	3	27.27	0	49	3	3	27.27		
febrero			200	399	1	4	36.36	50	99	2	5	45.45		
marzo			400	599	1	5	45.45	100	149	0	5	45.45		
abril	209.73	82.27	600	799	2	7	63.64	150	199	1	6	54.55		
mayo	678.90	61.40	800	999	1	8	72.73	200	249	0	6	54.55		
junio	1528.60	316.25	1000	1199	1	9	81.82	250	299	2	8	72.73		
Julio	716.65	185.35	1200	1399	0	9	81.82	300	349	3	11	100.00		
Agosto	1187.39	302.48	1400	1599	2	11	100.00	350	399	0	11	100.00		
Septiembre	815.83	277.78												
octubre	519.00	274.67												
Noviembre	38.47	23.53												
diciembre	37.82	26.41												
MAXIMA	1528.60	316.25												
MINIMA	37.82	23.53												

## 4.2 DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE RETENCION

Tabla VI Determinación del tiempo de retención

LUGAR	Estación de Bombeo El Atlántico
AÑO	2004
MES	Agosto
DÍA	30
COLOR ENTRADA	55
COLOR FOSAS	50
TIEMPO DE RETENCIÓN	3 horas 25 min

## 4.3 PRUEBA DE JARRAS CON SULFATO DE ALUMINIO

Tabla VII Determinación de dosis óptima de coagulante

**PRUEBA DE JARRAS**

**DETERMINACIÓN DE DOSIS OPTIMA DE COAGULANTE**

Muestra No. \_\_\_\_\_ 1

Fecha analisis \_\_\_\_\_ 16/09/2004  
Temperatura de analisis \_\_\_\_\_ 21°C

**1. EQUIPO DE PRUEBA DE JARRAS**

Volumen de jarras \_\_\_\_\_ 2 litros  
Paletas \_\_\_\_\_ cm  
Estatores \_\_\_\_\_ cm

**2. CALIDAD INICIAL DE LA MUESTRA**

Turbiedad \_\_\_\_\_ 1360 NTU  
Color aparente \_\_\_\_\_ 1200 Unidades Pt-Co  
Color verdadero \_\_\_\_\_ Unidades Pt-Co

**3. DATOS DE LA PRUEBA**

	Tiempo (minutos)	Velocidad (rpm)	Gradiente s <sup>-1</sup>
Mezcla rapida	1	70	100
Floculacion	10	40	60
Sedimentacion	10		

**4. DOSIS OPTIMA DE COAGULANTE**

Nombre y concentracion del coagulante: Sulfato de aluminio 10%

Jarra No.	Volumen Coagulante (ml)	Dosis Coagulante (mg/l)	Turbiedad (UNT)	Color aparente (unidades Pt-Co)	Color verdadero (unidades Pt-Co)
1	20.0	100	8.5	10	
2	25.0	125	8	9	
3	30.0	150	10.1	12	
4	35.0	175	5.5	6	
5	40.0	200	6.6	8	
6	45.0	225	8.4	11	

**5. OBSERVACIONES**

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Responsable \_\_\_\_\_





## Tabla X Determinación de parámetros de decantación

### PRUEBA DE JARRAS

#### PARAMETROS DE DECANTACION-TURBIEDAD

No. Laboratorio \_\_\_\_\_ Fecha de analisis: 16/09/2004  
 Temperatura de analisis (°C) 23

#### 1. EQUIPO DE PRUEBA DE JARRAS

Volumen de jarras 2 litro  
 Paletas \_\_\_\_\_ cm  
 Estatores \_\_\_\_\_ cm

#### 2. DOSIS OPTIMA

Dosis (mg/l) - Nombre - Concentracion (%)

Coagulante: 35 mg/l de sulfato de aluminio al 10%  
 Modificador de pH: \_\_\_\_\_  
 Auxiliar coagulacion: \_\_\_\_\_

#### 3. MEZCLA RAPIDA

Velocidad 100 rpm  
 Gradiente de mezcla 60 s<sup>-1</sup>  
 Tiempo de mezcla 30 min

#### 4. FLOCULACION

Velocidad (rpm)	Gradiente (s <sup>-1</sup> )	Tiempo (min)
45	25	9
85	55	18
70	45	27
110	75	

#### 5. SEDIMENTACION

Profundidad de la toma de muestra (h): 5 cm

Tiempo de sedimentacion T		Velocidad de sedimentacion Vs= h/T (cm/s)	TURBIEDAD (UNT)				Tf/To
			Inicial To	FINAL Tf			
				1	2	Promedio	
5	seg	1.000	945	848.00		848.00	0.8974
10	seg	0.500	945	820.00		820.00	0.8677
15	seg	0.333	945	745.00		745.00	0.7884
0.5	min	0.167	945	300.00		300.00	0.3175
1	min	0.083	945	115.00		115.00	0.1217
1.5	min	0.056	945	65.00		65.00	0.0688
2.5	min	0.033	945	30.00		30.00	0.0317
3	min	0.028	945	12.00		12.00	0.0127
4	min	0.021	945	11.00		11.00	0.0116
5	min	0.017	945	8.00		8.00	0.0085
8	min	0.010	945	4.00		4.00	0.0042
10	min	0.008	945	2.00		2.00	0.0021

#### 6. OBSERVACIONES

Sedimentacion en el cono imhoff despues de 10 minutos es igual a 30 ml/2l de lodos

\_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

Responsable: \_\_\_\_\_

#### **4.4 DETERMINACIÓN DE LA VELOCIDAD PARA UBICAR EL DOSIFICADOR**

Se midieron varios puntos para la prueba y se encontraron dos lugares: la entrada del caudal donde está la compuerta que da una velocidad de 50 m/seg, y la otra de 30 m/seg.

#### **4.5 DETERMINACIÓN DE LA VELOCIDAD DE LAS PARTÍCULAS EN SUSPENSIÓN**

##### **4.5.1 PRUEBA DE LA COLUMNA DE SEDIMENTACIÓN**

La prueba de sedimentación fue realizada el viernes 1 de octubre en horas de la mañana donde la turbiedad no era mayor a los 800 UTN pero esa es la calidad de agua que queremos que se introduzca al tanque de compensación.

Turbiedad Inicial: 248 UTN



Tabla XI Prueba de columna de sedimentación cada minuto

Número de muestra	Pruebas cada minuto en UTN				
1	245	240	235	228	215
2	245	242	238	236	221
3	246	242	240	238	235
4	248	246	245	240	244
5	248	248	248	250	251

Tabla XII Prueba de columna de sedimentación cada 5 minutos

Número de muestra	Pruebas cada 5 minutos en UTN				
1	180	161	148	118	109
2	192	173	170	135	126
3	200	188	185	160	154
4	222	225	220	208	189
5	254	251	245	230	198

Tabla XIII Prueba de columna de sedimentación cada 10 minutos

Número de muestra	Pruebas cada 10 minutos en UTN		
1	64	45	35
2	79	62	51
3	115	75	64
4	157	116	94
5	185	148	103

Figura No. 24 Turbiedad puntual vrs tiempo en la prueba de columna de sedimentación

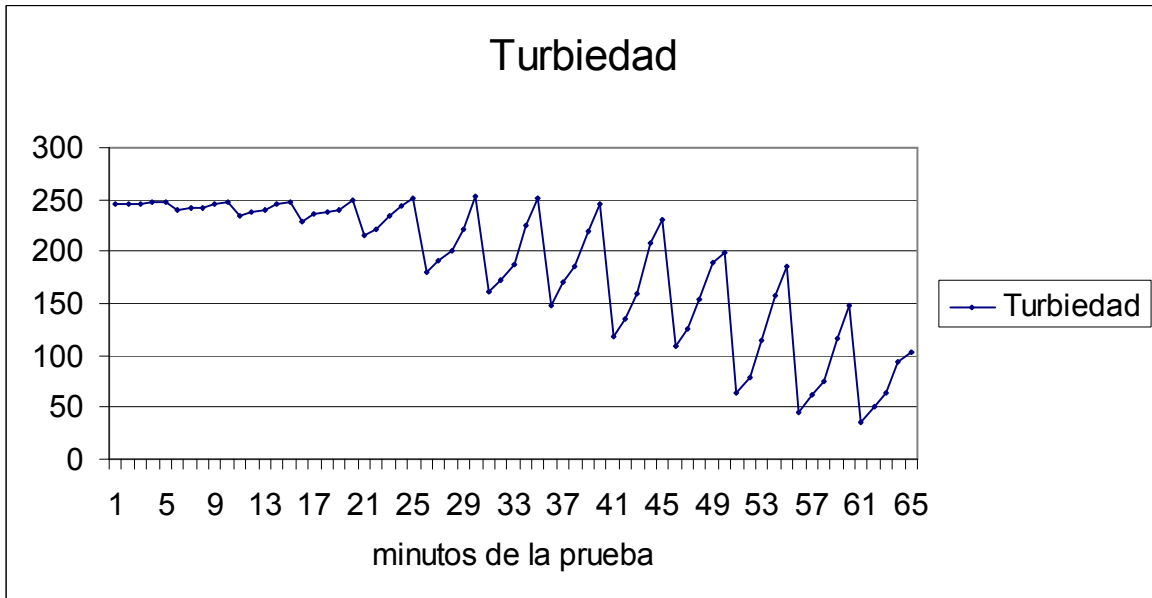


Figura No. 25 Columna de sedimentación



Figura No. 26 Turbidímetro de campo de laboratorio utilizado



#### 4.6 PORCENTAJE DE HORAS DE BOMBEO

TABLA XIV PORCENTAJE TOTAL ANUAL DE HORAS DE BOMBEO 2002

PORCENTAJE TOTAL ANUAL	
Enero	82.38
Febrero	75.12
Marzo	89.29
Abril	90.75
Mayo	86.28
Junio	85.71
Julio	90.51
Agosto	93.51
Septiembre	85.35
Octubre	95.33
Noviembre	92.69
Diciembre	94.89
porcentaje promedio de bombeo total 2002	88.48

Figura No. 27 Porcentaje anual de horas de bombeo 2002

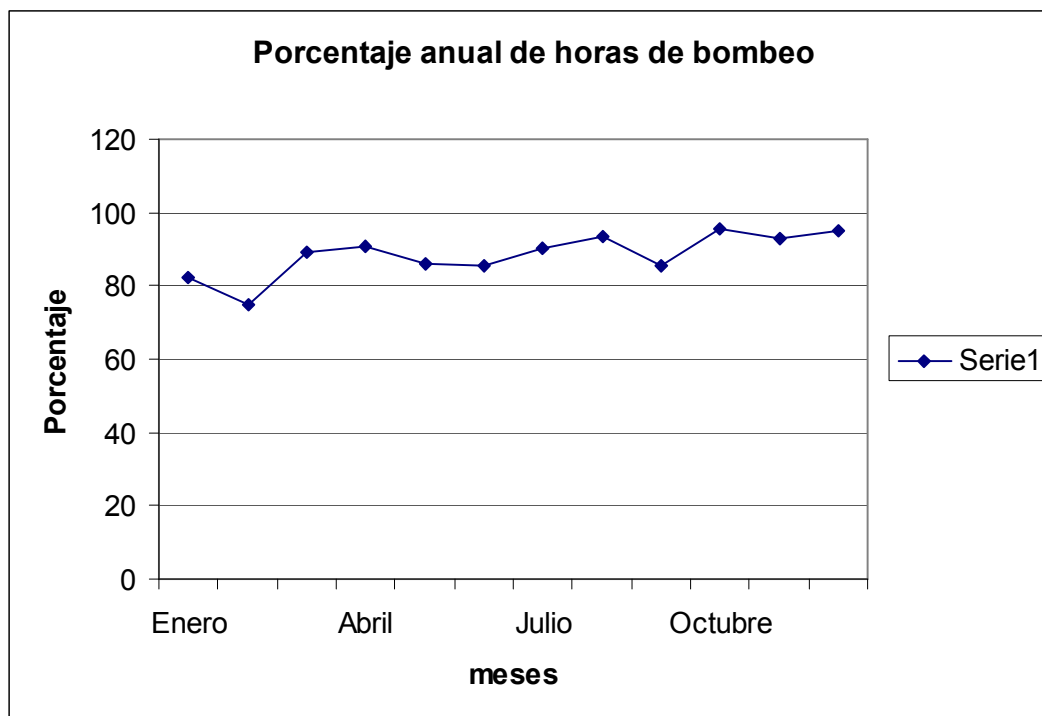


TABLA XV PORCENTAJE TOTAL ANUAL DE HORAS DE BOMBEO 2003

PORCENTAJE TOTAL ANUAL	
Enero	92.73
Febrero	90.07
Marzo	110.72
Abril	94.23
Mayo	90.67
Junio	80.22
Julio	96.77
Agosto	98.68
Septiembre	85.56
Octubre	81.86
Noviembre	92.25
Diciembre	98.77
Porcentaje promedio de bombeo total 2003	92.71

Figura No. 29 Porcentaje anual de horas de bombeo 2003

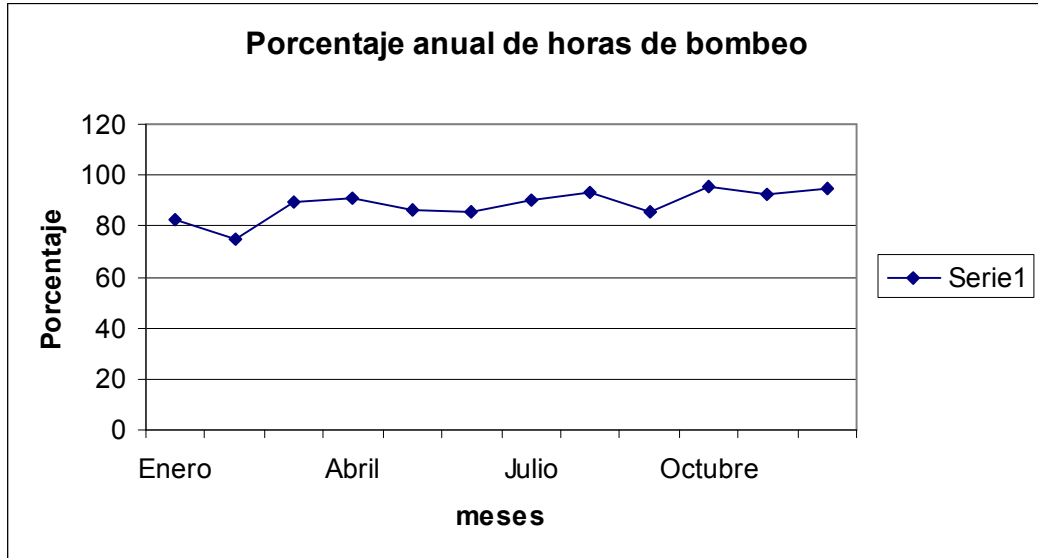
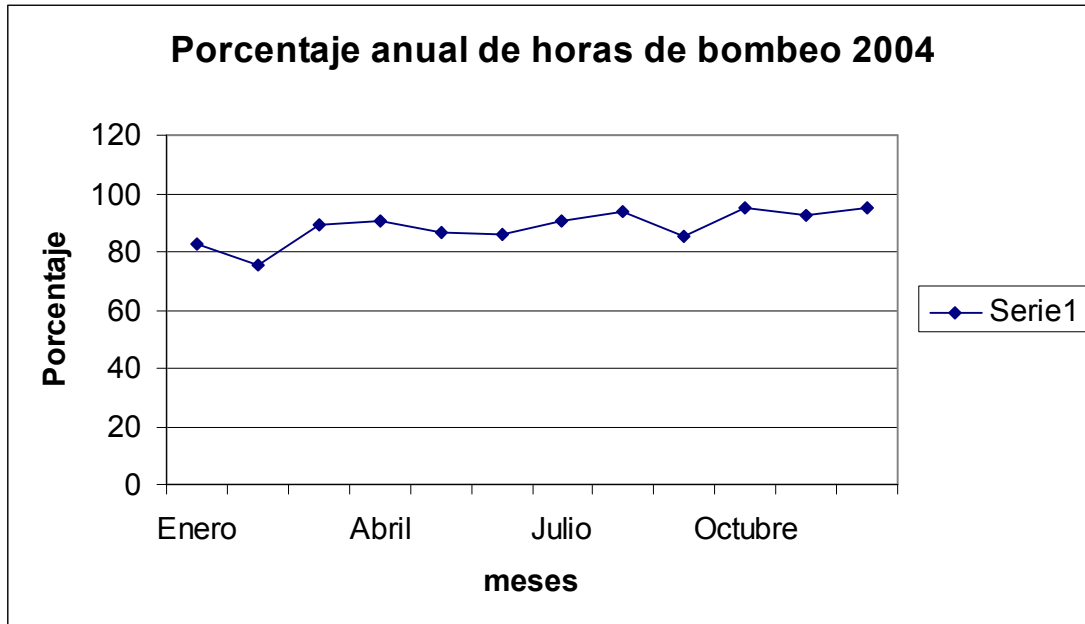


TABLA XVI PORCENTAJE TOTAL ANUAL DE HORAS DE BOMBEO 2004

PORCENTAJE TOTAL ANUAL DE HORAS DE BOMBEO

Enero	99.68
Febrero	87.20
Marzo	98.01
Abril	89.58
Mayo	94.94
Junio	79.64
Julio	88.83
Agosto	96.97
Septiembre	86.64
Octubre	97.09
Noviembre	96.47
Diciembre	99.42
Porcentaje promedio de bombeo total año 2004	92.87

Figura No. 29 Porcentaje anual de horas de bombeo 2004



#### 4.7 PRODUCCIÓN DE AGUA DE LA PLANTA LAS ILUSIONES

Tabla XVII y Figura No. 30 producción de agua de la planta Las Ilusiones  
2003

mes	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	total
Produccion M3	651492	651492	649099	631935	541446	448240	543052	564708	460865	426324	612284	575054	6755991

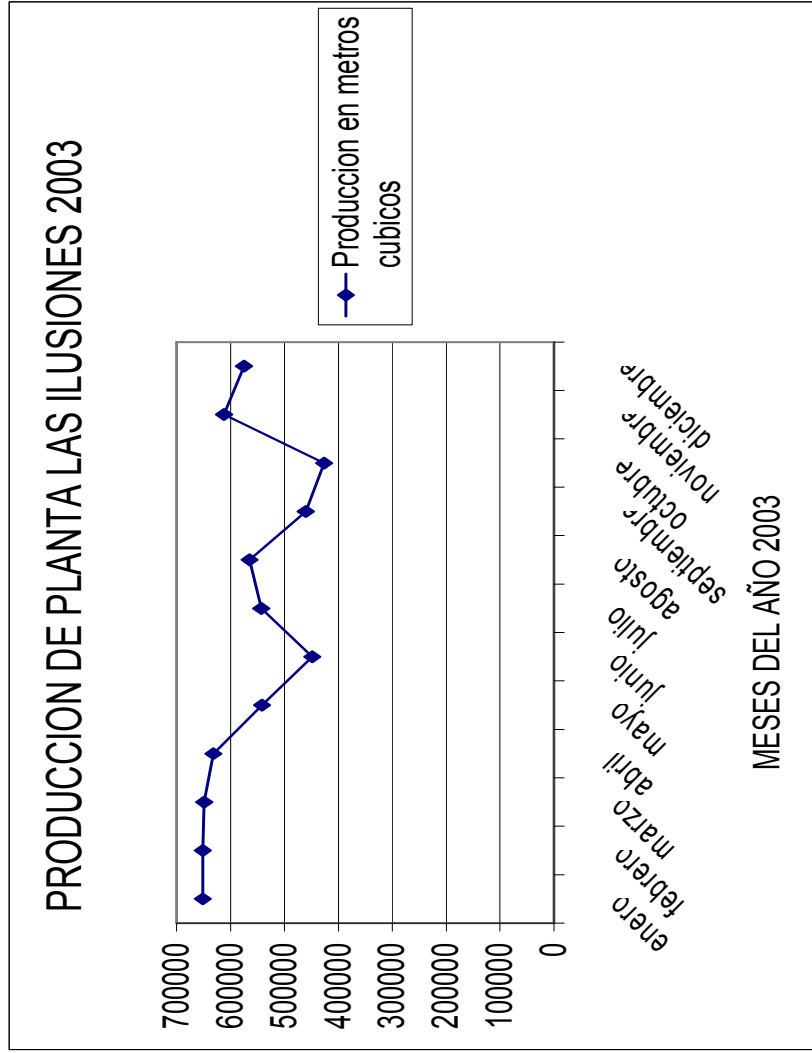
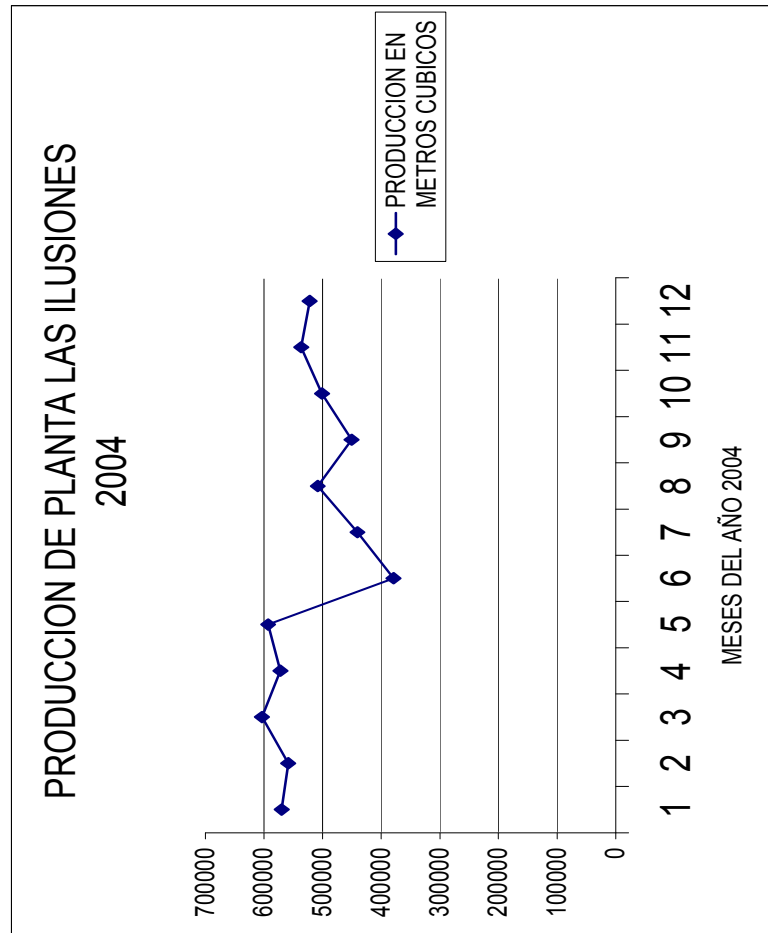


Tabla XVIII y Figura No. 31 producción de agua de la planta Las Ilusiones  
año 2004

AÑO 2004	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	Total
PRODUCCIÓN	569,526	558,879	603,575	572,020	592,879	378,863	440,619	508,497	450,857	500,766	536,625	522,327	6,235,433





#### 4.8 PRUEBAS CON SULFATO DE ALUMINIO

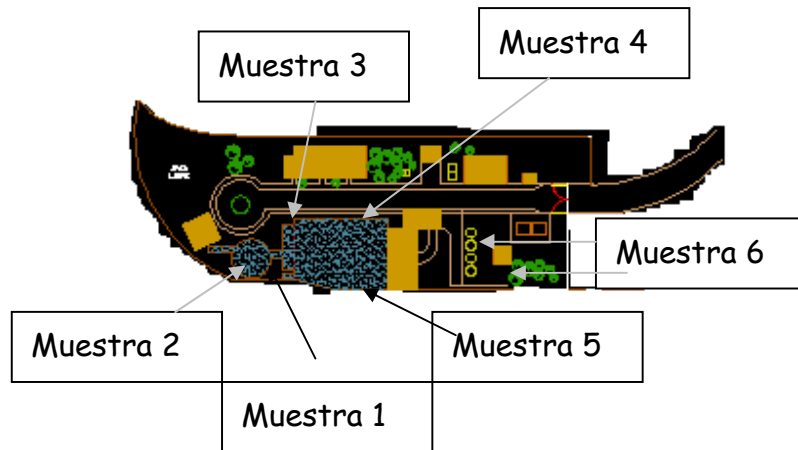


Tabla XIX Prueba de sulfato de aluminio

Año	2004				
	01-Sep	03-Sep	06-Sep	08-Sep	10-Sep
Dosificación en grs/seg	10	20	20	20	1.3
Muestra 1 en UTN	520	1350	1859	9870	55
Muestra 2 en UTN	512	1428	1725	5721	51
Muestra 3 en UTN	508	1580	1630	4301	45
Muestra 4 en UTN	515	1728	1564	3528	40
Muestra 5 en UTN	502	1523	1533	2987	38
Muestra 6 en UTN	525	1702	1598	2545	35
Muestra 7 en UTN	540	1584	1490	2010	35

## 4.9 PRUEBA CON POLIMERO

Tabla XX Jarras con polímero

Inicial	8407 UTN	RESULTADO					
Dosificación	mg/L	10	20	30	40	50	60
Turbiedad		84.1	19.1	16.1	13.2	4.5	3.91
Color		75	38	18	10	5	3
PH		7.3	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3

Figura No. 33 Turbiedad en jarras con Polímero

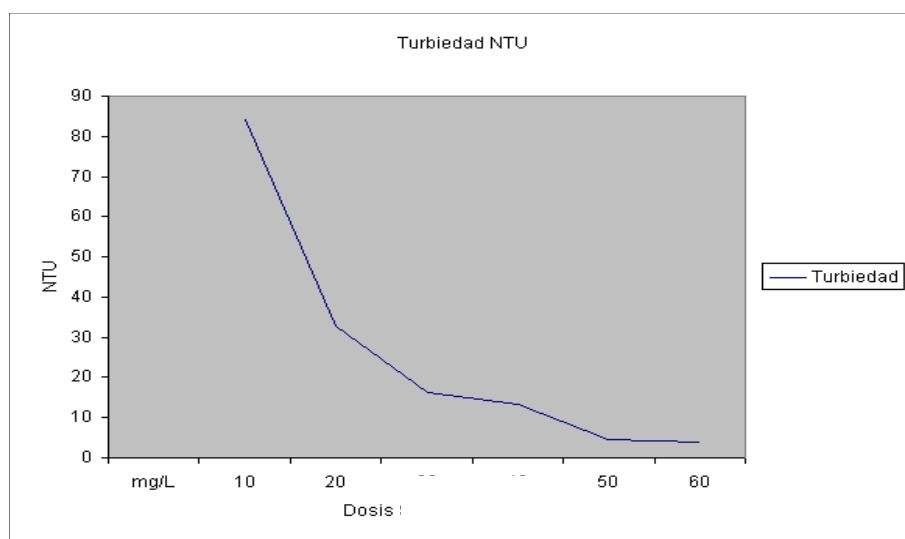


Tabla XXI Potencial Hidrógeno del Polímero

Temperatura agua	Temperatura Polímero	PH agua	PH polímero	PH mezcla con 100 ml de polímero en agua	PH mezcla con 250 ml de polímero en agua	PH mezcla con 250 ml de polímero en 1000 ml de agua
23.2	23	6.303	3.48	6.1	6.15	6.36

Tabla XXII Datos iniciales de la prueba del polímero

Datos iniciales de la prueba

Prueba con 300 ml de agua	
Turbiedad del agua	208 NTU
Color del agua	227 U
Apariencia	Leve amarillo
Olor	olor característico
Solubilidad	Soluble
Densidad relativa Agua a 20°C	1.33 - 1.35
PH de solución al 15%	4.0 - 4.4
AL <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	23 - 24

Tabla XXIII Prueba en la estación de bombeo

Año	2004		
	04-May	05-May	06-May
Dosificación en mg/l	60 al 20%	60 al 20%	60 al 20%
Muestra 1 en UTN	2560	1200	985
Muestra 2 en UTN	2545	1189	915
Muestra 3 en UTN	2206	1113	902
Muestra 4 en UTN	2198	1057	847
Muestra 5 en UTN	1315	890	755
Muestra 6 en UTN	1403	902	764
Muestra 7 en UTN	968	720	532

#### 4.10 PRUEBA DEL CONO IMHOFF

Los resultados obtenidos son los siguientes:

Tabla XXIV Prueba del Cono Imhoff

RECOLECCIÓN DE MUESTRA		TURBIEDAD (UTN)	SOLIDOS SEDIMENTABLES (cc/L/hr)
FECHA	HORA	AFLUENTE	AFLUENTE
30/08/2004	09:00	1800	180
01/09/2004	09:00	520	30
02/09/2004	09:00	2545	210
03/09/2004	09:00	1350	135
04/09/2004	09:00	2056	195
05/09/2004	09:00	1750	180
06/09/2004	09:00	1859	185

Figura No. 34 Pruebas de jarras



#### 4.11 EXAMEN FÍSICO QUÍMICO SANITARIO

Tabla XXV Examen físico químico Sanitario

FECHA	EXAMEN	UNIDADES	ESTACION DE BOMBEO
10/09/2004	QUIMICO SANITARIOS		
	COLOR	U	3700
	TURBIEDAD	UNT	2560
	PH		7.6
	TEMPERATURA	°C	20
	COND. ELECTRICA	umhms/cm	403
	NITROGENO ORGANICO	mg/l	
	AMONIACO	mg/l	2.78
	NITRITOS	mg/l	0.045
	NITRATOS	mg/l	7.26
	CLORO RESIDUAL	mg/l	
	MANGANESO	mg/l	0.04
	CLORUROS	mg/l	28
	FLORUROS	mg/l	0.29
	SULFATOS	mg/l	57
	HIERRO TOTAL	mg/l	0.6
	DUREZA	mg/l	104
	SOLIDOS TOTALES	mg/l	260
	SOLIDOS VOLATILES	mg/l	40
	SOLIDOS FIJOS	mg/l	220
	SOLIDOS EN SUSPENSIÓN	mg/l	39
	SOLIDOS DISUELTOS	mg/l	214
	HIDROXIDOS		0
	CARBONATOS		0
	BICARBONATOS		118
	ALCALINIDAD TOTAL		118
	DETERGENTES	mg/l	1.7
	ALUMINIO	mg/l	
	DBO	mg/l	
	DQO	mg/l	
	BACTERIOLOGICO		
	COLIFORMES TOTALES	nmp/100 cm <sup>3</sup>	1600
	COLIFORMES FECALES	nmp/100 cm <sup>3</sup>	1600

## 5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

### 5.1 TURBIEDAD DE LA PLANTA LAS ILUSIONES

En esta tabulación, se logra observar que en los meses de invierno se incrementa en gran forma la turbiedad; es por eso que se tabularon años distintos para observar su comportamiento.

### 5.2 DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE RETENCIÓN

Se utilizó el producto permanganato de potasio donado por EMPAGUA por resaltar el color inmediatamente; no se utilizó sal debido a que el lugar donde se mediría era difícil de tomar las muestras. Este resultado dio el tiempo de retención del líquido que fue de 3 horas con 25 minutos.

### 5.3 PRUEBAS DE JARRAS

Se realizaron las pruebas de jarras debidas para la concentración y dosificación óptima del sulfato de aluminio que se aplicó.

#### 5.4 DETERMINACIÓN DE LA VELOCIDAD PARA UBICAR EL DOSIFICADOR

Las velocidades obtenidas fueron calculadas con cronómetro digital y con una botella de soda plástica, por lo que los resultados no pueden ser exactos por el error humano.

#### 5.5 DETERMINACIÓN DE LA VELOCIDAD DE SEDIMENTACIÓN DE LAS PARTICULAS EN SUSPENSIÓN (COLUMNA DE SEDIMENTACIÓN)

En esta prueba se comprobó que los sólidos sedimentables en la prueba del Cono Imhoff no eran del todo ciertos pues tenemos más tiempo de retención que una hora que es la prueba del cono y ya que hay mas tiempo, tenemos más sólidos sedimentables y el rango va del 38% al 68% por lo cual se pueden utilizar procesos físicos, como pantallas laminares y con ayuda de químicos algún agente ya sea coagulante o floculante.

#### 5.6 PORCENTAJE TOTAL ANUAL DE HORAS DE BOMBEO

En esta tabulación de datos se pudo observar cuanto es el caudal perdido por no tener una turbiedad de salida de la estación de bombeo menor de 800 UTN. Ya que en el año 2002 fue de 88.48%, en el año 2003 fue de 92.71%, en el año 2004 fue de 92.87%.

## 5.7 PRODUCCIÓN DE LA PLANTA LAS ILUSIONES

En esta tabulación se logra observar que en los meses de invierno se disminuye grandemente la producción; por eso se ponen años distintos para corroborarlo, como se observó marzo 2004 con una producción de 603,575 m<sup>3</sup> y junio con 378,863 m<sup>3</sup> con un descenso de caudal de bombeo de 37.23%.

## 5.8 PRUEBAS CON SULFATO DE ALUMINIO

Esta prueba dio un resultado inesperado pues en los primeros días de prueba los resultados eran negativos pues aumentaba la turbiedad pero al seguir aplicándolo los resultados mejoraron; sin embargo, una semana después las bombas empezaron a presentar señales de corrosión, por lo que se decidió desechar la opción.

## 5.9 PRUEBA CON UN POLÍMERO

En esta prueba se lograron observar que los porcentajes de remoción del polímero son del orden del 40 al 55% tomando en cuenta que necesita alguna ayuda física como decantador de alta tasa para que sedimente, debido a que se observó que el flóculo se forma, pero no sedimenta.



## 5.10 RESULTADOS OBTENIDOS EN EL CONO IMHOFF

Se puede observar que mientras más turbiedad contenga el afluente, mayores son los sólidos sedimentables acumulados, pero su porcentaje es del rango del 12 al 27%, por lo tanto si se usara este resultado para determinar el rumbo de este estudio especial, sólo se podrían utilizar procesos químicos.

## CONCLUSIONES

1. La hipótesis fue comprobada, en vista que se removió el 68% de turbiedad aplicando sulfato de aluminio, con una concentración del 10%.
2. Se concluye que el químico coagulante floculante más adecuado es aquel el cual floccule rápidamente y cuyos valores de corrosividad sean bajos y que no afecten las unidades de bombeo.
3. En cuanto a los procesos de tratamiento físicos químicos, al aplicar sulfato de aluminio se observó que dicho químico corroe los equipos.
4. Se concluye que los polímeros necesitan ayuda para sedimentar como un decantador laminar.
5. Se determinó la calidad de agua de la estación de bombeo El Atlántico con turbiedades altas arriba de 800 UTN, que la planta de tratamiento Las Ilusiones no se puede potabilizar.

## RECOMENDACIONES

1. Se recomienda la opción de aplicar polímero con ayuda de proceso físico tal como decantador laminar; siempre y cuando haya una mezcla rápida y las condiciones hidráulicas sean las óptimas.
2. Colocar una mezcla rápida, un floculador y uno o varios decantadores laminares de alta tasa.
3. Continuar la investigación realizando estudios especiales que consideren lo relativo a la canalización del río para emergencias, o, que se haría cuando la Planta de tratamiento Santa Luisa lava y tira toda la materia orgánica diluida a la cuenca.

## REFERENCIAS

1. Manual I: El Agua-Calidad y Tratamiento Para Consumo Humano. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS). Julio, 1992. p. 45-46.
2. Manual I: El Agua-Calidad y Tratamiento Para Consumo Humano. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS). Julio, 1992. p.365 - 367.
3. Manual III: Teoría. Sedimentación. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS). Julio, 1992. p.1.
4. Teoría, Diseño y control de los procesos de Clarificación del Agua. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS). Lima, 1981. p. 297 - 298.
5. Fair, Geyer, Okun. Ingeniería Sanitaria y de Aguas Residuales. Volumen 3. primera edición: 1987. p. 59.
6. Id.- p. 59

7. Id.- p. 90.

8. Manual V: Diseño. Tomo II: Criterios de diseño para floculadores y decantadores. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS). mayo, 1992. p. 21.

9. Id.- p. 94 - 96.

10. Teoría, Diseño y control de los procesos de Clarificación del Agua. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS). Lima, 1981. p. 366.

11. Manual de Operación de Abastecimientos de Agua. Oficina Sanitaria Panamericana, Oficina Regional de la Organización Mundial de la salud (OPS). Washington, D.C. p. 66-79.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Fair, Geyer, Okun. Ingeniería Sanitaria y de Aguas Residuales. Volumen 3. Primera edición: 1987.
2. Manual I: El Agua-Calidad y Tratamiento Para Consumo Humano. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS). Julio, 1992.
3. Manual V: Diseño. Tomo III: Criterios de diseño. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS). Mayo, 1992.
4. Manual de Operación de Abastecimientos de Agua. Oficina Sanitaria Panamericana, Oficina Regional de la Organización Mundial de la salud (OPS). Washington, D.C.
5. Teoría, Diseño y control de los procesos de Clarificación del Agua. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS). Lima, 1981.

6. A.P.H.A., A.W.W.A., W.P.C.F. Methods 4500. Standard Methods for the examination of Water and Wastewater. 1198.
7. Cox Charlers R., Operation And Control Of Water Treatment Processes, WH.O., 1964.
8. Fair, G. M.; Geyer, J. y Okun, D. Water and Wastewater Engineering. Vol. 2. 1968.
9. Ministerio de Economía. Norma COGUANOR N.G.O. 29001, Agua potable.
10. Ministerio de Economía. Norma COGUANOR N.G.O. 1040, Uso del Sistema Internacional de Medidas.
11. Manual técnico del agua, Degrémont, Cuarta Edición, 1979.
12. Preparación teórica a la operación de la planta. Degrémont. Ing. J. Pionié Ing. Francisco Blanco, Guillermo Guzmán.
13. Guías Para la calidad del agua potable volumen 2, criterios relativos a la salud y otra información de base. Organización Panamericana de la Salud, 1987.

14. American Society for testing and Materials. Annual book of Standards 1994
15. Determinación de turbidez en agua. Metodo ASTM D1889-88a
16. Determinación de turbidez en agua. Standard methods for the examination of water and waste water publicado por la APHA. Método 2130 A-B/1995
  
17. Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos. Optimización de la producción de plantas de tratamiento de agua mediante el Programa de Corrección Compuesto. Lima, CEPIS/OPS, 1998.
  
18. Canepa de Vargas, L. Proyectos y fotos de archivo. Lima, CEPIS, 1990-2003.
  
19. Richter, Carlos. Dispositivos de entrada y salida para decantadores. Curitiba, SANEPAR, 1984.
  
20. Di Bernardo, L. Metodos e Tecnicas de Tratamento de Agua. Volume 1. Rio de Janeiro, ABES, 1993.
  
21. Programa HPE/CEPIS/OPS de Mejoramiento de la Calidad del Agua para Consumo Humano. Manual V. Criterios de diseño. Lima, CEPIS, 1992.



22. Arboleda Valencia, Jorge. Teoría y práctica de los sedimentadores de alta rata. Memorias del Seminario Internacional sobre tecnología Simplificada para Potabilización del Agua. Cali, ACODAL-Seccional Valle del Cauca, 1987.
23. Arboleda, J. Teoría, diseño y control de los procesos de clarificación del agua. Serie técnica 13. Lima, CEPIS/OPS, 1973.
24. Pérez Carrión, J. M. Submódulo: Sedimentadores convencionales. Módulo
25. Programa Regional OPS/HPE/CEPIS de Mejoramiento de la Calidad del Agua para Consumo Humano. Lima, CEPIS /OPS, 1981.

## ANEXOS

FIGURA No. 35 PLANTA CONJUNTO ESTACION DE BOMBEO EL ATLÁNTICO



FIGURA No. 36 DECANTADOR LAMINAR

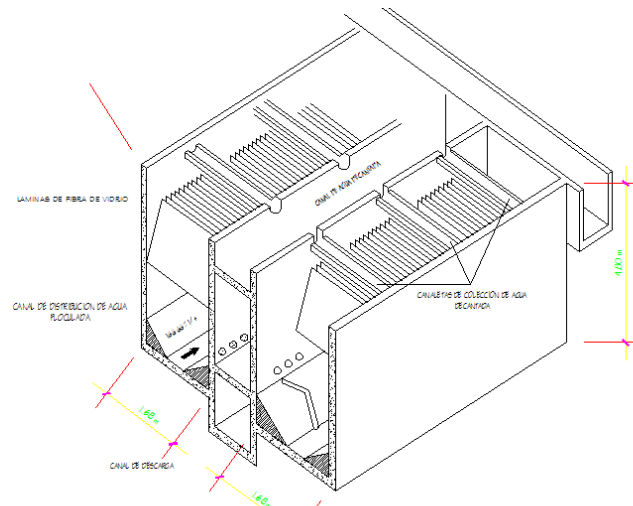


FIGURA No. 37 Fondo para extracción de lodos de decantador laminar

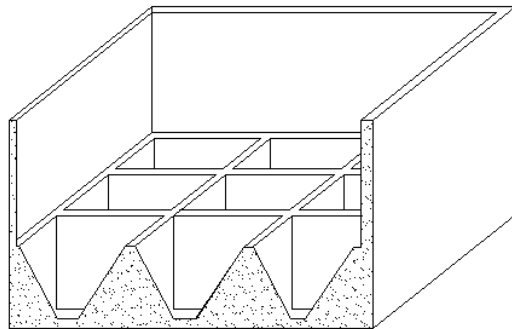
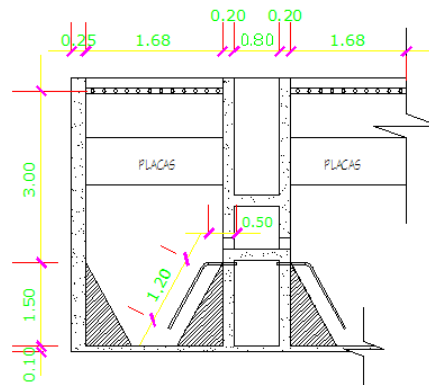


FIGURA No. 38 CORTE DE DECANTADOR LAMINAR



## Tabla XXVI Determinación de la carga superficial de sedimentación

### Determinación de la carga superficial de sedimentación

De la curva de sedimentación tenemos:

velocidad de la máxima eficiencia remocional  $V_s = 0.028 \text{ cm/s}$

$V_{s1} = V_s / C$  Coeficiente de seguridad  $1.3$

$V_{s1} = 0.0215 \text{ cm/seg}$

Velocidad media en el sedimentador

$V_o = V_s (\sin \theta + L \cos \theta)$  Suponemos alto de las láminas  $1.2 \text{ m}$   
separación entre láminas  $6 \text{ cm}$

$l = L / d$   
 $l = 20$

$V_o = 0.23 \text{ cm/s}$

$q = (V_o \cdot \sin \theta \cdot 86400) / 100$   
 $q = 175 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d}$

### SELECCIÓN DE LA TASA DE SEDIMENTACIÓN

$T_o = 65 \text{ UNT}$   $a = 0.024$   $C_f = 0.015$

q m/d	Vs cm/s	Co	1-(Co-Cf)	Rt	Tr	Tf
60	0.062	0.060	0.955	0.986	64.11	0.893
80	0.082	0.061	0.954	0.984	63.94	1.059
100	0.103	0.066	0.949	0.980	63.73	1.271
120	0.123	0.080	0.935	0.974	63.3	1.702
140	0.144	0.090	0.925	0.969	62.97	2.031
160	0.164	0.150	0.865	0.942	61.25	3.747
170	0.175	0.160	0.855	0.937	60.93	4.065
180	0.185	0.160	0.855	0.937	60.9	4.101
200	0.206	0.160	0.855	0.936	60.84	4.162

Para este caso seleccionaremos la carga superficial igual a  $60 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d}$

Los datos de  $C_o$  se sacaron de la curva de velocidad de sedimentación vs turbiedad residual para la  $V_s$  correspondientes

Figura No. 39 Dosis de coagulante vrs. Turbiedad

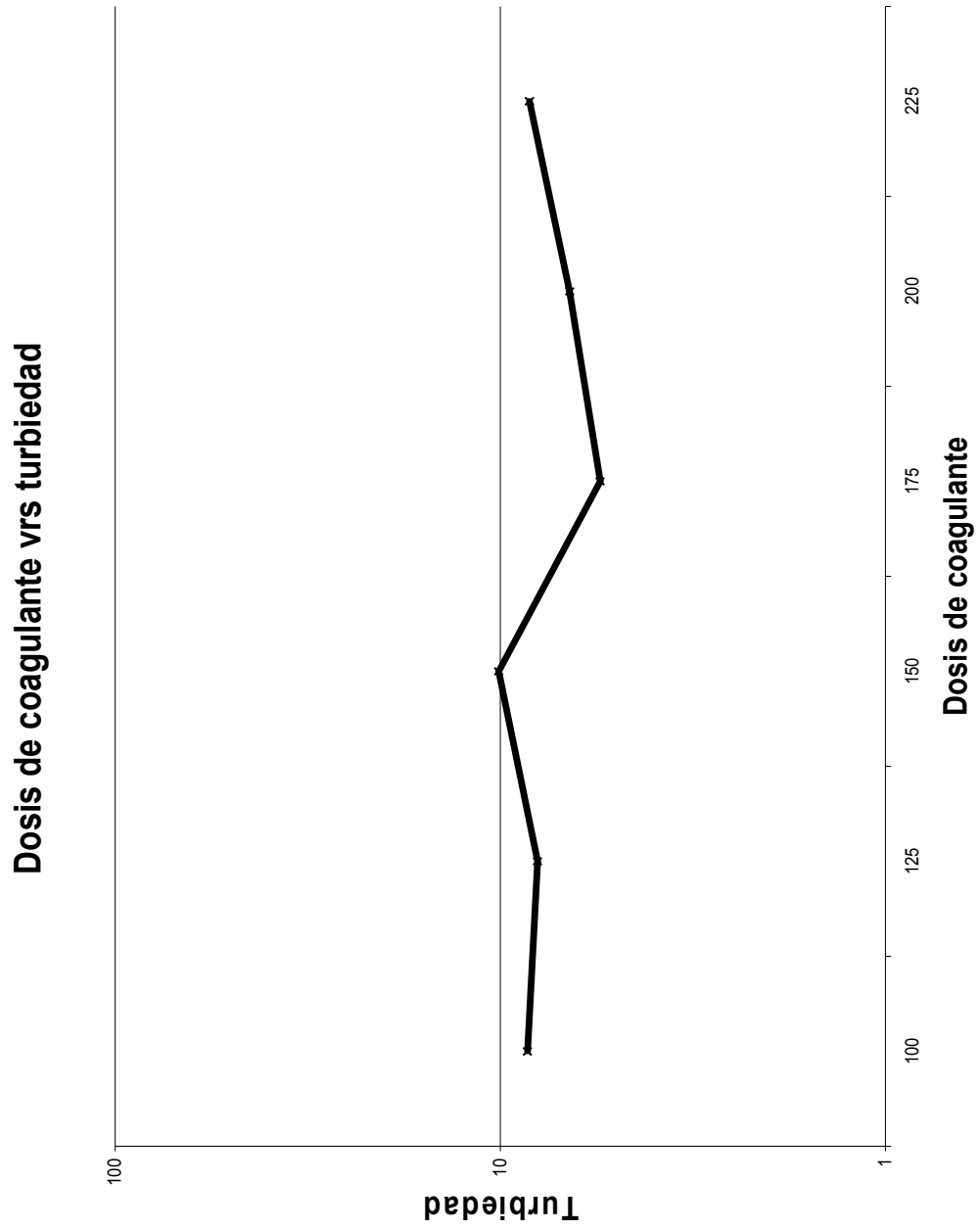


Figura No. 40 velocidad de sedimentación vrs. Turbiedad residual

