

T.UES
1506
R689n
2001
Ej.2

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA



“Redimensionamiento de una Planta de Tratamiento
de Agua para la Industria de Papel”

PRESENTADO POR:

DINA MARÍA RODEZNO ESCOBAR

15101062
15101062

PARA OPTAR AL TITULO DE:

INGENIERA QUÍMICO



5077

CIUDAD UNIVERSITARIA. MAYO DEL 2001.

Recibida el 18 de Mayo 2001

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR



RECTORA :

Dra. María Isabel Rodríguez

SECRETARIA GENERAL :

Licda. Lidia Margarita Muñoz Vela

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

DECANO :

Ing. Álvaro Antonio Aguilar Orantes

SECRETARIO :

Ing. Saúl Alfonso Granados

ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

DIRECTORA :


Ing. Eugenia Salvadora Gamero Rodríguez



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:

INGENIERA QUÍMICO

Título:

"Redimensionamiento de una Planta de Tratamiento de Agua
para la Industria de Papel"

PRESENTADO POR:

DINA MARÍA RODEZNO ESCOBAR

Trabajo de Graduación aprobado por:

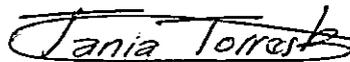
Coordinador : ING. TANIA TORRES RIVERA

Asesor : ING. FERNANDO TEODORO RAMÍREZ

SAN SALVADOR, MAYO DEL 2001

TRABAJO DE GRADUACIÓN APROBADO POR:

Coordinador . :



ING. TANIA TORRES RIVERA



Asesor . :



ING. FERNANDO TEODORO RAMÍREZ

AGRADECIMIENTO

Al personal Técnico que labora en el Departamento de Medio Ambiente, Manufactura y Aseguramiento de Calidad de Kimberly-Clark de C.A.

Al Lic. Vicente Bolaños por su acertada colaboración y asesoría.

Al Ing. Teodoro Ramírez Y A la Ing. Tania Torres por su valiosa asesoría y constante apoyo durante este trabajo de graduación.

A todas aquellas personas que de una u otra manera me brindaron su colaboración.

Dedicatoria:

Este Trabajo lo dedico a :

- ❖ Dios Todopoderoso por brindarme las fuerzas necesarias para poder realizarlo.
- ❖ A mis Padres: Juan Ernesto Rodezno y Dina de Rodezno, que siempre me apoyaron en todo momento.
- ❖ Mi Hija Beatriz Elena Rodezno y a Jair Edgardo Herrera, fuente de amor e inspiración.
- ❖ Mis Hermanos: Bertha Alicia y Julio Eduardo por su apoyo incondicional.
- ❖ A la Familia Herrera Reyna, por todo el apoyo y comprensión que siempre me han brindado
- ❖ A mis compañeras de trabajo de Kimberly-Clark por ayudarme a la realización de este trabajo

Demás Familiares y Amigos.

Dina María

RESUMEN

El presente estudio consta de 8 partes las cuales resumen los aspectos más importantes del tratamiento y/o acondicionamiento de aguas, así como las pruebas de laboratorio desarrolladas para determinar las condiciones que caracterizan este proceso para, sobre esta base, evaluar alternativas de redimensionamiento de plantas de tratamiento constituidas por estos sistemas.

Se describen todas las generalidades sobre los tratamientos de agua que incluyen conceptos básicos y definiciones de las operaciones y procesos unitarios involucrados, sus ecuaciones de diseño y las aplicaciones de cada uno de las etapas representativas de la mayoría de plantas de tratamiento de agua de proceso para la Industria Química .

Luego de realizarse la parte teórica se continua con una parte experimental sustentada por sistemas de muestreo y análisis químico que permiten evaluar y determinar las condiciones y requerimientos actuales del proceso para finalizar con el redimensionamiento propiamente dicho, sobre la base de la factibilidad económica y de distribución en planta.

INDICE

CONTENIDO	PAGINA
Introducción-----	1
1. Industria de la Pulpa y el Papel-----	2
1.1 El agua como materia prima en la manufactura del papel-----	4
1.2 El Blanqueado de la pulpa-----	4
1.3 Recuperación de Fibra Secundaria-----	5
1.4 Remoción del agua de la pulpa -----	6
1.5 Máquina de Cilindro -----	7
1.6 Actividad Microbiana en el procesamiento del papel -----	9
1.7 Problemas que produce el agua dentro de la Industria de papel-----	10
2. Acondicionamiento del agua para la Industria de Papel-----	11
2.1 Coagulación-----	11
2.1.1 Prácticas usuales de la Coagulación -----	12
2.1.2 Compuestos de Aluminio-----	13
2.1.3 Sílice Activada -----	14
2.1.4 Efecto del pH sobre la Coagulación -----	14
2.1.5. Efecto de la temperatura sobre la Coagulación -----	15
2.2 Oxidación-Reducción -----	15
2.2.1 Remoción de Hierro -----	16
2.2.2 Remoción de Manganeseo-----	16
2.2.3 Remoción de la materia Orgánica -----	16

2.2.4 Aplicación de la Coagulación y la Oxidación-reducción en una planta de acondicionamiento de agua para la manufactura de papel-----	18
2.3 Floculación -----	20
2.3.1 Productos químicos Floculantes -----	19
2.3.2 Polímeros Orgánicos o polielectrólitos -----	19
2.3.3 Tipos de Floculadores -----	21
2.3.4 Aplicación de la Floculación en una Planta de acondicionamiento de agua para la Industria de Papel -----	23
2.3.5 Ecuación de Diseño -----	23
2.4 Sedimentación -----	25
2.4.1 Tanques de sedimentación -----	25
2.4.1.1 Tiempo de Retención -----	25
2.4.2 Sedimentación de Alta Tasa -----	26
2.4.3 Aplicación del Proceso de sedimentación en una planta de Acondicionamiento de agua para la Industria de Papel-----	26
2.4.4 Ecuación de Diseño-----	27
2.5 Filtración -----	29
2.5.1 Mecanismo de remoción -----	30
2.5.2 Descripción de la Filtración-----	32
2.5.3 Sistemas de Filtración -----	33
2.5.3.1 Dirección del flujo -----	33
2.5.3.2 Tipo de Lecho Filtrante -----	33
2.5.3.3 Fuerza Impulsora -----	34
2.5.3.4 Tasa de Filtración -----	34
2.5.4 Selección del Medio Filtrante -----	37
2.5.4.1 Arena -----	38

2.5.4.2 Antracita -----	38
2.5.4.3 Arena-antracita -----	38
2.5.5 Aplicación de la Operación de Filtración en una Planta de acondicionamiento de agua en la Industria de Papel-----	39
2.5.6 Ecuación de Diseño -----	39
3. Teoría de Proceso de la Planta de Acondicionamiento de Agua-----	45
3.2 Descripción de las Etapas del proceso-----	46
3.2.1 Teoría de Proceso-----	46
3.3 Operación Mecánica de la planta -----	52
3.4 Operación Química de la Planta de Acondicionamiento de agua actual-----	53
3.5 Controles Químicos que se efectúan en la planta-----	55
3.6 Cálculo de dosificación de Químicos -----	67
3.7 Ensayos de Tratamiento de nivel de Laboratorio para la determinación correcta que se debe aplicar -----	69
3.8 Análisis químicos de control de Planta -----	69
3.9 Consumos Aproximados de productos químicos por mes -----	72
4 Técnicas de Muestreo -----	74
4.1 Objetivos del Muestreo -----	74
4.2 Muestreo -----	75
5. Características Físicoquímicas de las aguas a la Entrada y a la Salida de la Planta de Acondicionamiento de Agua.-----	78
5.1 Metodología del Trabajo Experimental -----	78
5.1.1 Puntos de Muestreo-----	78

5.1.2 Toma de Muestras -----	79
5.1.3 Identificación de Muestras Ensayadas-----	79
5.1.4 Preservación de las Muestras -----	80
5.1.5 Metodología del Análisis -----	80
5.1.6 Obtención de Resultados Experimentales -----	81
5.2 Resultados y Discusión de Resultados -----	89
5.2.1 Resultados Experimentales -----	89
5.2.2 Discusión de Resultados-----	113
6. Redimensionamiento de la Planta de Acondicionamiento de Agua ----	115
6.1 Diseño y Cálculo Correspondiente a Opción A -----	116
6.1.1 Diseño de un Tercer Módulo -----	116
6.1.2 Cálculo correspondiente a Opción A -----	117
6.1.3 Inversion Total de un tercer Módulo -----	118
6.2 Diseño y Cálculo Correspondiente a Opción B-----	119
6.2.1 Diseño correspondiente a Opción B -----	119
6.2.2 Inversion Total de elevación de 1 m lineal sobre Planta de Acondicionamiento de agua actual-----	120
6.3 Cálculo de Dosificación de Químicos-----	121
6.4 Consumo Aproximado de Productos Químicos por mes-----	122
7. Tecnologías Anaerobicas de Tratamiento-----	124
7.1 Metabolismo Anaerobico -----	125
7.2 Ventajas del Tratamiento Anaerobico -----	126
7.3 Tecnologías Anaerobicos-----	127
7.3.1 Lagunas de Estabilización-----	127

7.3.1.1 Lagunas Anaerobicos-----	127
7.4 Aplicación de Lagunas Anerobicos de estabilización a la Industria de Pulpa y papel -----	128
7.5 Diagrama de Flujo de Lagunas Anaerobicos de Estabilización-----	130
7.6 Control Cualitativo y Cuantitativo de las Lagunas de Estabilización a la Entrada y Salida-----	131
8. Conclusiones y Recomendaciones-----	134
9. Glosario de términos empleados en la revisión Bibliográfica -----	136
10. Bibliografía -----	138

INDICE DE FIGURAS

CONTENIDO	PAGINA
Figura 1.1 Diagrama de una Planta Manufacturera de papel-----	3
Figura 1.2.Hidropulpadora-----	5
Figura 1.3.La Flotación por aire dispersado separa el lodo de la tinta Liberada de la fibra recuperada por productos químicos destintadores-----	6
Figura 1.4. El material en cinco tanques es recogido por el fieltro inferior de Esta máquina de cilindro. El agua se quita por succión, prensado Y secado. El cartón terminado es de 5 hojas y frecuentemente se Distingue por la variación en las pulpas de cada tanque de formación-----	7
Figura 1.5. Secador Yanquee-----	8
Figura 1.6 El batidor Holándes es un dispositivo primitivo para refinar pulpa Y todavía se usa en muchas plantas para el tratamiento de la Pedacería-----	9
Figura 2.1. Floculador Hidráulico de flujo horizontal-----	22
Figura 2.2. Floculador Hidráulico de flujo Vertical-----	22

Figura 2.3. Descripción del Sistema de Alta Tasa-----	26
Figura 2.4 .Esquema Indicativo de la Operación de un Filtro rápido convencional de arena-----	32
Figura 2.5 Tipos de Filtros-----	33
Figura 2.6 Tipos de lechos Filtrantes-----	34
Figura 2.7 Filtro Lento de Arena-----	35
Figura 2.8 Filtro Rápido de Arena-----	35
Figura 2.9 Corte Através de un Filtro a Presión-----	36
Figura 2.10 Esquema de un Filtro rápido Convencional-----	36
Figura 3.1 Planta de Acondicionamiento de agua actual-----	45
Figura 6.1 Diseño de un Tercer Módulo-----	116
Figura 6.2 Diseño de Elevación de un metro lineal-----	119
Figura 7.1 Diagrama de flujo de Lagunas Anaerobicas de Estabilización-----	130

INDICE DE GRAFICOS

CONTENIDO	PAGINA
Gráfico 5.1 Sólidos Disueltos a la Entrada de la Planta de Acondicionamiento De agua-----	90
Gráfico 5.2. Sólidos Suspendidos a la Entrada de la Planta de Acondicionamiento de agua-----	91
Gráfico 5.3. pH a la Entrada de la Planta de Acondicionamiento de agua----	92
Gráfico 5.4 Dureza Total a la Entrada de la Planta de Acondicionamiento de agua-----	93
Gráfico 5.5. DBO a la Entrada de la Planta de Acondicionamiento de agua-----	94
Gráfico 5.6. DQO a la Entrada de la Planta de Acondicionamiento de agua-----	95
Gráfico 5.7. Turbidez a la Entrada de la Planta de Acondicionamiento de agua-----	96
Gráfico 5.8. Sólidos Disueltos a la Salida de la Planta de Acondicionamiento De agua-----	97

Gráfico 5.9. Sólidos Suspendidos a la Salida de la Planta de Acondicionamiento de agua-----	98
Gráfico 5.10. pH a la Salida de la Planta de Acondicionamiento de agua-----	99
Gráfico 5.11. Dureza Total a la Salida de la Planta de Acondicionamiento De agua-----	100
Gráfico 5.12. DBO a la Salida de la Planta de Acondicionamiento de Agua-----	101
Gráfico 5.13. DQO a la Salida de la Planta de Acondicionamiento de Agua-----	102
Gráfico 5. 14. Entrada a la Planta de Acondicionamiento de Agua-----	104
Gráfico 5.15. Salida de la Planta de Acondicionamiento de Agua-----	106
Gráfico 5.16. Resultados del % de Remoción Vrs Sólidos Disueltos-----	108
Gráfico 5.17. Resultados del % de Remoción Vrs Sólidos Suspendidos-----	109
Gráfico 5.18. Resultados del % de Remoción Vrs Dureza Total-----	110
Gráfico 5.19. Comparación entre DBO y DQO a la Entrada de la Planta De Acondicionamiento de agua-----	111
Gráfico 5.20. Comparación entre DBO y DQO a la Salida de la Planta De Acondicionamiento de agua-----	112

INDICE DE TABLAS

CONTENIDO	PAGINA
Tabla 2.1. Sedimentación de Partículas de Sílice de Densidad relativa de 2.65-----	12
Tabla 2.2. Algunas Características de Polimeros Orgánicos-----	21
Tabla 2.3. Variables Principales en el Diseño de Filtros-----	31
Tabla 2.4. Principales Características de Filtros-----	37
Tabla 3.1 Soluciones Químicas empleadas en la Planta de Acondicionamiento de agua-----	55
Tabla 3.2 Características de las Soluciones Químicas utilizadas en el Arranque de la Planta-----	62
Tabla 3.3 Resumen del consumo de Productos Químicos por mes-----	73
Tabla 4.1. Recipientes para Muestreo preservantes de componentes en agua-----	77
Tabla 5.1. Características del afluente antes de entrar a la Planta de Acondicionamiento de agua-----	82
Tabla 5.2. Características del efluente a la Salida de la Planta de	

Acondicionamiento de agua-----	83
Tabla 5.3. Características del efluente antes de entrar a la Planta de Acondicionamiento de agua-----	84
Tabla 5.4. Características del efluente a la Salida de la Planta de Acondicionamiento de agua-----	85
Tabla 5.5. Características del afluente antes de entrar a la Planta de Acondicionamiento de agua-----	86
Tabla 5.6 Características del efluente a la Salida de la Planta de Acondicionamiento de agua-----	86
Tabla 5.7 Características del afluente antes de entrar a la Planta de Acondicionamiento de agua-----	87
Tabla 5.8 Características del efluente a la Salida de la Planta de Acondicionamiento de agua-----	88
Tabla 6.1 Dimensiones correspondientes a Planta de Acondicionamiento Actual-----	117
Tabla 6.2 Cálculos correspondientes a dosificación de químicos con Nuevo caudal-----	122
Tabla 6.3 Consumos de químicos durante un mes para un caudal de 510 m ³ /hra-----	123

Tabla 7.1 Características del afluente a la Entrada del sistema de
Lagunajes anaerobicos de estabilización-----131

Tabla 7.2 Características del efluente a la Salida del sistema de
Lagunajes anaerobicos de estabilización-----132

Tabla 7.3 Características del afluente a la Entrada del sistema de
Lagunajes anaerobicos de estabilización-----133

Tabla 7.4 Características del efluente a la Salida del sistema de
Lagunajes anaerobicos de estabilización-----133

INTRODUCCION

El agua es una sustancia indispensable para la vida, de aquí que el recurso hídrico de un país es uno de los recursos naturales más valiosos, por tanto su conservación y defensa respecto de las actividades del hombre es , en muchas sociedades, un programa de primordial importancia.

Dependiendo de la calidad de la fuente de suministro de agua, ésta puede ser usada de inmediato para algún propósito determinado pero, por lo general, se hace necesario modificar algunas características físico-químicas y biológicas antes de ser utilizadas.

Así, las aguas provenientes de mantos subterráneos, puede muchas veces, ser consumidas por el hombre sin previo tratamiento, pero no así por la industria cuyos requerimientos son más exigentes.

Las aguas superficiales, por otra parte, pocas veces pueden consumirse por el hombre sin previo tratamiento, ya que estas aguas están más expuestas a la contaminación que las de origen subterráneo.

Es evidente que, debido al hecho de las aguas superficiales están sujetas a amplias variaciones en su calidad, la investigación de laboratorio debe empezar antes de diseñar y construir una planta de tratamiento y/o acondicionamiento de agua, esto hace que su operación y control se simplifique si la planta se diseña específicamente para tratar determinado tipo de agua.

1. Industria de la Pulpa y El Papel

En las culturas antiguas las personas se comunicaban entre sí a través de sonidos o por medio de símbolos en piedras y maderas. Según progreso la sociedad, los sonidos y signos se desarrollaron hasta formar un lenguaje, los símbolos se transformaron en alfabetos y todos los registros de hechos trascendentales pudieron ser escritos por en diversas maneras.

En el año 3000 Antes de Cristo los egipcios simplificaron la conservación de los registros con la introducción de hojas de papiro, que es precisamente donde se deriva la palabra papel.

Luego, la comunicación escrita apareció por primera vez con el nacimiento de la imprenta hace mas o menos 500 años. Esto creo una demanda de papel, por lo que se investigaron tanto las diversas maneras de fibras como los métodos de procesamiento para ser usados en su manufactura.

En los primeros días de las colonias Norte Americanas, las fibras se obtenían de trapos, pero en el siglo XIX la demanda de papel aumento y fibras de maderas empezaron a hallar uso en la pulpa de papel.

La industria de la pulpa y el papel ha crecido no solo para producir papel para el registro, documento y libros sino también papel de grado mas pesado para empaque y envases de embarque.

Casi todo el papel se deriva de la madera y puesto que solo aproximadamente la mitad del peso de la madera llevada a la planta de pulpa es celulosa, se han buscado a través de los años otras opciones.

Para una mejor visualización de los procesos involucrados en el procesamiento de la pulpa y el papel, se muestra el diagrama de flujo de una planta manufacturera de papel(Ver Figura 1.1)

DIAGRAMA PLANTA DE MANUFACTURA

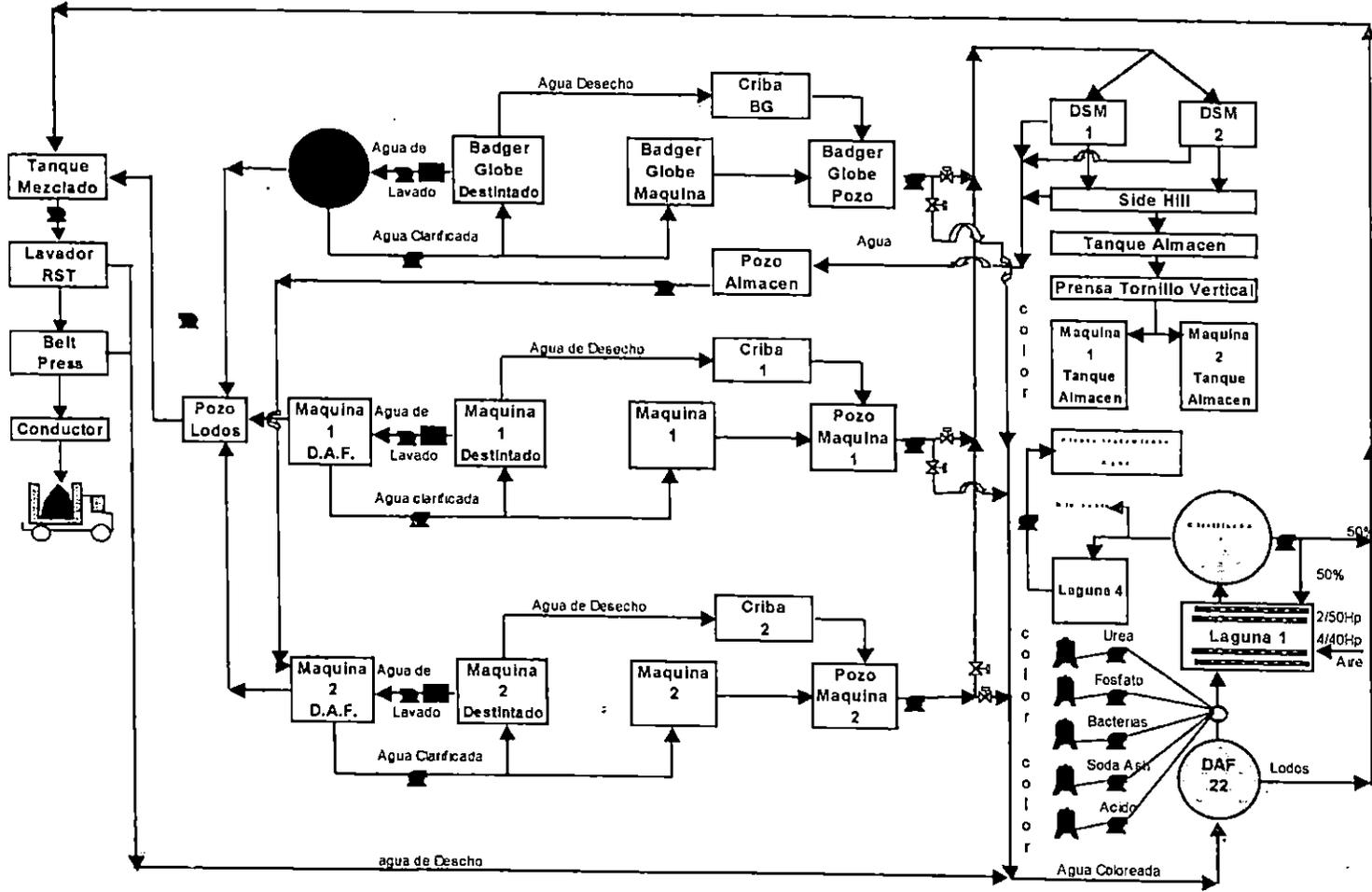


Figura 1.1 Diagrama de una Planta Manufacturera de Papel

1.1 El Agua como Materia Prima en la manufactura de Papel

Desde sus inicios como la industria del papel se ha localizado a lo largo de los ríos más importantes. En las primeras plantas se utilizaba para hacer pulpa y papel, si no también para producir energía hidráulica y la carga necesaria para accionar las ruedas hidráulicas que operaban la piedra del molino donde se convertía la madera en pulpa.

El agua requerida por una planta moderna varía considerablemente según el proceso, la disponibilidad del agua, la secuencia de blanqueado de las restricciones para la descarga del agua de desecho.

La industria papelera es una gran consumidora de agua, debido a que la pulpa es lavada en los diversos puntos dentro del proceso ya que el agua se utiliza para transformar la fibra de la pulpa en forma de LECHADA en una concentración de un 99% que es agua y solamente 1% de fibra.

1.2 El Blanqueado de la Pulpa

El cloro y algunos de sus compuestos son los agentes mas utilizados para blanquear la pulpa. En general, el blanqueado se efectúa en varias etapas, extrayéndose de la pulpa, entre cada una de ellas, los residuos de operación del blanqueado.

Entre otros agentes blanqueadores están el hidrosulfuro de Zinc (H_2S) que se usa para blanquear pulpa de madera molida, el dióxido de azufre (SO_2) solo, o la cloración seguida por el dióxido de azufre.

1.3 Recuperación de Fibra Secundaria

El papel y el cartón de desperdicios constituyen una fuente de materia prima para la industria papelera. Estos desperdicios son clasificados según los diversos grados y precios y así su reprocesamiento para producir determinada hoja, determina su costo.

La materia prima se reduce a una lechada, con agua caliente en un tanque de mezclado (ver fig. 1.2)

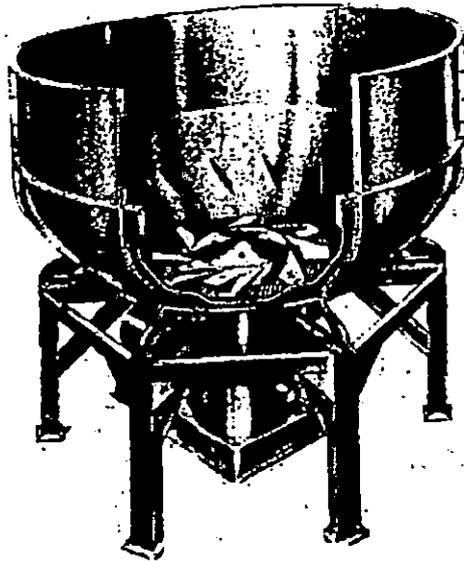


Figura 1.2 Hidropulpadora

Las cuerdas, alambres, pinzas para papel y desechos varios se separan en este punto. Si el material es papel impreso y la pulpa terminada debe ser equivalente a la pulpa virgen, debe distinguirse. Esta operación incluye el calentamiento del material alrededor 150° F. Y la adición de agentes químicos que liberan la tinta de la fibra. Después de esto el material es terminado y lavado, ya sea por flotación (ver fig. 1.3)

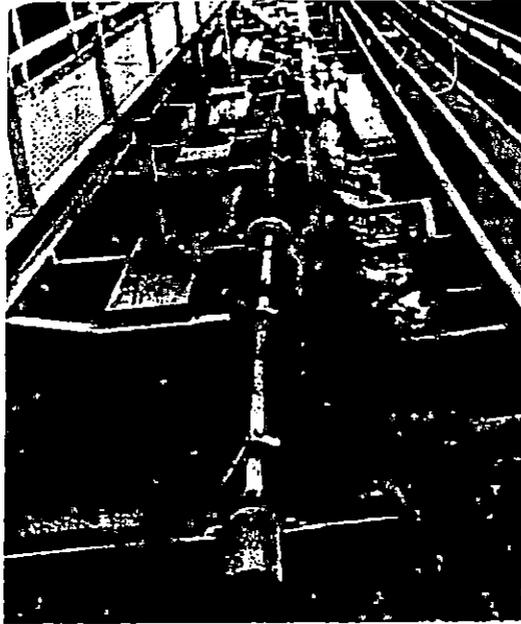


Figura 1.3 . La flotación por aire dispersado separa el lodo de tinta liberada de la fibra recuperada por productos químicos destintadores.

En este punto, la arcilla y otro relleno que puedan constituir el 15% del peso de la materia prima, se separan y se sacan del sistema con la tinta. Estos desechos separados presentan un difícil problema de destacar.

La pulpa secundaria puede ir directamente en una maquina de CILINDRO para su manufactura, se puede ser blanqueada y teñida para su manufactura de pañuelos y toallas(producción de papel TISSUE)

1.4 Remoción del Agua de la Pulpa

La pulpa terminada se manda a la planta de manufactura de papel. El agua de dilucion, que en su mayoría proviene de foro de alamburada de la

maquina de papel, reduce la consistencia de la pulpa hasta menos de un 1% y con frecuencia hasta del 0.5% adelante de la maquina de papel.

Para convertir estos en la hoja terminada debe reducirse entre 99% y el 99.5% del agua para producir una hoja que contenga, por lo general, menos del 6% de agua.

La madera menos costosa de quitar agua de la pulpa es por drenaje a través de un TAMIZ o ALAMBRADA y esto forma la parte básica de la mayor parte de los diseños de maquinas de papel.

1.5 Máquina de Cilindro

Otro tipo común de maquina de papel es la de cilindro(ver fig. 1.4)

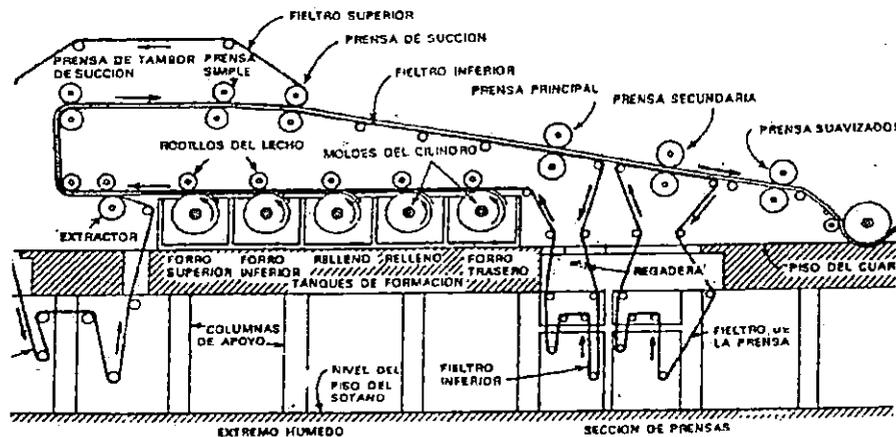


Figura 1.4. El material en cinco tanques de formación es recogido en el fieltro inferior de está máquina de cilindro. El agua se quita por succión, prensado y secado. El cartón terminado es de 5 hojas y frecuentemente se distingue por la variación en las pulpas de cada tanque de formación.

Acá la hoja terminada que sale de la máquina de cilindro se procesa por una máquina de rodillos secadores calentados por vapor, como el secador Yanquee(Ver Fig. 1.5)



Figura 1.5. Secador Yankee

La hoja debe recortarse a un ancho exacto de acuerdo con las necesidades del cliente y los recortes se juntan para reprocesarse, hasta convertirlo en pulpa.

Este material se alimenta de un batidor (ver fig1.6) Donde se mezclan con agua blanca para producir una pulpa de consistencia tal que pueda regresar a la planta, o mantenerse almacenada hasta que pueda retornar al sistema de la maquina de papel.

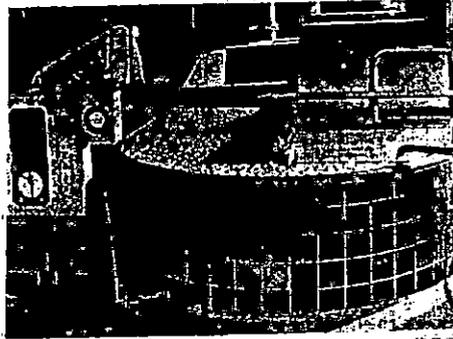
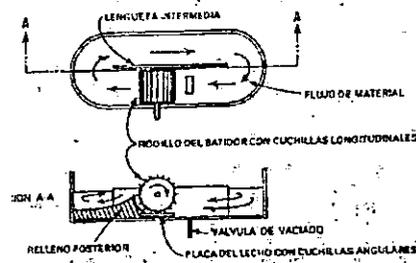


Figura 1.6. El Batidor Holandes es un dispositivo primitivo para refinar Pulpá y todavía se usa en muchas plantas para el tratamiento de la Pedacería.

1.6 Actividad Microbiana en el procesamiento del Papel

Dadas las condiciones de las fibras, celulosa producto orgánicos residuales y el agua caliente y oxigenada dentro del circuito de agua blanca, el crecimiento bacteriano se convierte en uno de los problemas de la manufactura del papel. Si estos crecimientos no se controlan, se forman lamas en el sistema de la maquina del papel las que se sueltan periódicamente para entrar en el circuito abriéndose paso a través de la caja de cabecera de la máquina y de papel y se desarrolla con imperfecciones de la hoja terminada, de igual importancia resulta el que estos crecimientos conducen a un ataque corrosivo en los sistemas con aleaciones de acero inoxidable. Por lo tanto uno de los mayores

problemas en la manufactura de papel, es el control microbiológico con productos químicos que sean efectivos y que al mismo tiempo sean seguros en su manejo.

Por lo tanto, la calidad del agua que se requiere en el procesamiento del papel varía con los grados de papel que se este produciendo y con las especificaciones de los mismos.

1.7 Problemas que produce el agua dentro de la Industria de Papel

Existen diversos problemas relacionados con el agua de una planta de papel dentro de estos esta la contaminación del condensado de vapor, la descarga de desechos concentrado que no pueden recuperarse , el agua irrecuperable que contiene materia orgánica y otros agentes reductores que producen una carga sobre la planta de tratamiento de desechos, uno de los problemas principales es la formación de espuma inducida por la naturaleza tensoactiva de parte de la materia orgánica extraída de la pulpa.

Otro problema difícil de controlar es la producción de incrustaciones en los evaporados, donde aumento gradual en la concentración de los sólidos tanto inorgánicos como orgánicos hacen que se excedan los limites de solubilidad del sulfato de calcio y otros materiales además la corrosión es una amenaza constante, después una gran parte de los equipos son aleaciones de acero inoxidable y están expuestas a la actividad microbiana.

2. Acondicionamiento del agua para La Industria de Papel

El método de purificación de agua más antiguamente conocido es la remoción de sólidos suspendidos mediante sedimentación. La clarificación de agua lodosa por sedimentación fue practicada, hasta cierto grado, por los pueblos antiguos, particularmente por los chinos, muchos siglos antes de la Era Cristiana.

Prácticamente todas las aguas superficiales contienen alguna materia en suspensión que requiere remoción antes de que el agua sea satisfactoria para usos industriales.

Para depurar el agua, tanto el proveniente de los efluentes industriales como el que se utiliza en el acondicionamiento de aguas de uso industrial, es necesario combinar varios tratamientos elementales cuyas bases pueden ser físicas, químicas y biológicas; y cuyo efecto es el de eliminar en primer lugar las materias en suspensión, a continuación las sustancias coloidales y después las sustancias disueltas (orgánicas e inorgánicas) .

En cada etapa y dependiendo de los objetivos que se pretenden alcanzar pueden aplicarse diversos principios de los cuales se clasifican en dos grandes áreas que son :

A) Tratamiento Físicoquímico

B) Tratamiento Biológico

A continuación se irá detallando las operaciones unitarias involucradas en el acondicionamiento de las aguas para la Industria de Papel, así como un ejemplo de aplicación de la misma en nuestro país.

2.1 Coagulación

Las aguas superficiales que normalmente se encuentran en la naturaleza, contienen proporciones variables de sólidos suspendidos relativamente gruesos,

sólidos más finos que aparecen como turbidez y color, y algunos otros materiales coloidales. La coagulación en el tratamiento del agua reducirá las concentraciones de estos materiales límites que pueden ser tolerados.

Las especies coloidales halladas en agua cruda incluyen arcilla, sílice, hierro y otros metales pesados, color y sólidos orgánicos como los residuos de organismos muertos. Los coloides también pueden producirse en los procesos de precipitación, como el ablandamiento con cal.

Entre la gran variedad de materiales coloidales en el agua, existen una distribución grande en el tamaño de las partículas. En la Tabla No 2.1. se muestra como el tamaño de partícula afecta la tendencia al asentamiento en agua tranquila. Los coloides siempre necesitan coagularse para alcanzar un tamaño efectivo y una rapidez de asentamiento, pero aún partículas mayores, que no son realmente coloides y que se asentarían si se les diera tiempo suficiente, requieren de coagulación para formar un floculo mayor que se asiente con más rapidez.

Tabla No 2.1 Sedimentación de Partículas de sílice densidad relativa 2.65

Típico	mm	Micras	Área de superficie (Total)	Tiempo de asentamiento 1 m caída
Grava	10	10 000	3.14 cm ²	1 seg
Arena gruesa	1	1 000	31.4 cm ²	10 seg
Arena Fina	0.1	100	314 cm ²	125 seg
Limo	0.01	10	0.314 m ²	108 min
Bacteria	0.001	1	3.14 m ²	180 hrs
Materia coloidal	0.0001	0.1	31.4 m ²	755 días

NOTA: Las partículas mayores de 100 micras pueden observarse a simple vista y son consideradas como sólidos aceptables. En el intervalo de 10 a 100 micras se les considera turbidez. Por debajo de 10 micras se les considera coloidales. Las partículas mayores de 0,1 micras son visibles con el microscopio óptico; para menores de 0,1 micras se usa el microscopio electrónico para detectarlas.

2.1.1 Prácticas usuales de la Coagulación

Cuando se adicionan ciertas sales metálicas solubles a aguas naturalmente alcalinas, artificialmente acondicionadas que contienen materia suspendida y

coloidal, se desarrollan cambios físicos y químicos y se producen sustancias gelatinosas.

La función primordial del coagulante consiste en suministrar iones fuertemente cargados capaces de neutralizar efectivamente las cargas eléctricas de la mayor parte del material coloidal existente en el agua y causar su precipitación. Adicionalmente, el producto químico coagulante soluble, también sufre reacciones químicas bastante complicadas con varios compuestos definidos presentes o adicionales al agua. Estas reacciones producen otros compuestos insolubles en forma de partículas diminutas cargadas eléctricamente. Estos compuestos acarrearán la precipitación de una porción adicional de la materia coloidal. El material así precipitado, se aglomera para formar los coágulos gelatinosos anteriormente descritos.

La adición de coagulantes al agua cumple dos funciones: acelera el asentamiento de materia en suspensión y permite velocidades de filtración más altas no obtenibles con éxito por otros métodos. Cuando el agua que ha sido coagulada y asentada pasa por arena u otros materiales filtrantes, el material coagulante remanente en el agua es detenido y forma una capa gelatinosa sobre la superficie del medio filtrante. Debido a la estructura esponjosa, el agua pasa a través de él, pero el material suspendido es englobado y retenido. Aún cuando muchos materiales son capaces de coagular los sólidos contenidos en el agua, los más extensamente utilizados son las sales de aluminio y hierro.

2.1.2 Compuestos de Aluminio

El sulfato de aluminio se usa más extensamente en el tratamiento de agua que cualquier otro coagulante hasta ahora conocido.

Alumbre de Filtros:

Cuando se agrega una solución de sulfato de aluminio a un agua natural, pueden ocurrir una o más reacciones químicas. La composición de La sustancia

floculante dependerá de la alcalinidad o acidez relativa del agua. Si el agua se encuentra cercano al punto neutro, el floculo tendrá una composición probable $5 Al_2O_3 \cdot 3 SO_3$ pero cuando el agua es suficientemente alcalina se forma hidróxido de aluminio $AL(OH)_3$.

El alumbre en la forma que generalmente se utiliza tiene una fórmula química de $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$. El alumbre se aplica al agua mediante una variedad de equipos, ya sea en forma seca o después de ser disuelto. Cuando se incorpora en forma seca, debe encontrarse en forma de polvo o gránulos y debe ponerse en solución antes de ser mezclado con al agua a tratar.

2.1.3 Sílice Activada:

Aún cuando muchos investigadores han reconocido las propiedades coagulantes de ciertas formas de la sílice, su valor práctico y su preparación como ayuda a la coagulación de las aguas turbias fue establecido científicamente mediante los brillantes estudios efectuados por Baylis.

Como resultado de este trabajo, fue concedida una patente para un proceso de preparación de un sol de sílice activada el cual, al ser agregado al agua, mejoraba las características de asentamiento de los sólidos coagulados.

2.1.4 Efecto del pH sobre la coagulación

La cantidad de coagulante requerida para efectuar una buena coagulación varía con la naturaleza de sólidos suspendidos y en solución contenidos en el agua.

Aún cuando bajo condiciones controladas se puede obtener floculación máxima con alumbre a un pH de 5.5 existen factores que pueden acarrear

ciertas desviaciones de este punto. Además una floculación máxima no asegura la solubilidad mínima de los iones residuales que permanecen en el agua tratada.

Algunos estudios han reportado que la cantidad mínima de aluminio residual ocurrió en agua investigada aproximadamente a un pH 6.3 mientras que el mínimo de hierro residual en otra agua se encontró a un valor menor de pH alrededor de 5.4.

2.1.5 Efecto de la Temperatura Sobre la Coagulación

Es un hecho bien conocido que la efectividad de la coagulación y la velocidad de formación de flóculos están influidos grandemente por la temperatura del agua. Conforme disminuye la temperatura del agua, debe aumentarse la dosis de productos químicos usados para coagular con el objeto de asegurar la formación de flóculos adecuados.

2.2 Oxidación-Reducción

Los registradores redox se emplean industrialmente para controlar la adición de oxidantes o reductores a una solución acuosa, o para seguir el avance de la reacción del sistema.

Mediante el empleo de datos termodinámicos y fisicoquímicos, es posible predecir las especies de materia que son oxidables y las que son reducibles en el agua, basándose en el potencial redox y en el pH.

Es importante reconocer que aunque el ambiente sea fuertemente oxidante o reductor, el potencial de la reacción no tiene influencia sobre la velocidad de la reacción y muchas de estas reacciones en sistemas acuosos son muy lentas a menos que sean catalizadas.

Los agentes oxidantes más comunes empleados en el tratamiento del agua son el aire, el cloro y los compuestos que generan cloro, el oxígeno, el ozono, el

peróxido de hidrógeno, el permanganato de potasio, las sales de cromato y los compuestos de nitrato.

2.2.1 Remoción de Hierro

El hierro puede estar presente en el agua en forma coloidal como hierro ferroso o como un compuesto quelatado. La Forma coloidal puede removerse por coagulación, floculación, precipitación o filtración. La forma quelatada puede requerir oxidación del material orgánico que compone el quelato de modo que el hierro puede ser precipitado para su remoción. En la forma ferrosa, el hierro puede encontrarse en ciertas aguas de pozo a concentraciones tan elevadas como 25 mg/l en condiciones anaeróbicas. Las condiciones reductoras que permiten al hierro convertirse en soluble en agua de pozo también producen con frecuencia sulfuros.

2.2.2 Remoción del Manganeso

La remoción del manganeso del agua es semejante a la remoción del hierro. En la oxidación del cloro y del permanganato se producen diversos óxidos de manganeso, aunque estos son de poca importancia en la tecnología del tratamiento. En la mayor parte de sistemas industriales de agua, el manganeso puede ser más molesto que el hierro a concentraciones mucho más bajas, de manera que el proceso de filtración final es crítico para la remoción exitosa del manganeso. La efectividad de la remoción aumenta de modo considerable cuando el pH se eleva hasta alrededor de 9, y el tiempo es aún más crítico que en el caso de la remoción del hierro

2.2.3 Remoción de la Materia Orgánica

Rara vez se usan directamente el oxígeno y el aire para la oxidación de material orgánico, aunque por supuesto se usan en los sistemas de oxidación con

intermediario biológico, como en el proceso del lodo activado. A temperaturas elevadas y presiones elevadas, el aire o el oxígeno inyectado en el recipiente de reacción oxidará apreciablemente la materia orgánica.

Cuando el cloro se emplea para la oxidación, los resultados pueden ser decepcionantes, ya que el cloro forma productos de sustitución, en particular al reaccionar con fenoles que pueden ser más perjudiciales que la molécula orgánica original.

Por otro lado, pueden emplearse el ozono y el permanganato para destruir completamente el fenol y las moléculas orgánicas simples.

Aunque estas reacciones se llevan a cabo, su velocidad es pequeña y en consecuencia, es preciso un tiempo sustancial de residencia en el recipiente de reacción.

El fenol puede oxidarse con el permanganato, aunque la reacción requiere de dos horas a un pH de 7 para que avance hasta el 90%, aún si el pH es de 9 a 10, exige alrededor de 30 minutos para un avance del 90%.

2.2.4 Aplicación de la Coagulación y la Oxidación-Reducción en una planta de acondicionamiento de agua para la Manufactura de papel

El diseño de flujo de una planta de acondicionamiento de agua muestra como se aplican los principios generales. Generalmente, cuando menor sea la cantidad de sólidos suspendidos en la corriente de procesamiento, tanto más crítico será el mezclado para obtener los resultados finales. La cantidad de sólidos suspendidos en el agua superficial es relativamente baja y se requiere eliminarlos para reducir su concentración.

En nuestro Caso particular, la planta consta de 2 módulos, cada uno con su correspondiente tanque la cual se denomina ZONA DE PRECOAGULACION,

IGUALACIÓN Y OXIDACIÓN, en donde en periodo de retención de 1 hora para cada tanque se adicionan los siguientes químicos :

Alumbre-----	140 ppm
Acido Sulfúrico-----	50 ppm
Sulfato de Cobre-----	2.7 ppm
Cloro-----	8 ppm

El alumbre y el ácido sulfúrico neutralizan la alcalinidad bajando el pH hasta un valor de 4 a 5 óptimo para el efecto oxidante del cloro, además de una primera coagulación química del agua, iniciándose la clarificación de esta.

El sulfato de cobre, evita la formación de algas en todos los tanques de tratamiento de agua.

El cloro se adiciona para eliminar olores y sabores desagradables, destruir bacteria y microorganismos patógenos, oxidar el hierro, manganeso, sulfuros y nitritos, ayuda a la coagulación del alumbre, reduce la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y VP (valor al Permanganato de Potasio $KMnO_4$).

2.3 Floculación

La floculación se lleva a cabo generalmente como una etapa previa a la filtración al efectuar al acondicionamiento de las aguas.

Puede ser en algunos casos que el floculo formado por la aglomeración de varios coloides no sea lo bastante grande como para asentarse o desecarse con la rapidez deseada. Un floculante reúne partículas floculadas en una red, formando puentes de una superficie a otra y enlazando a las partículas individuales en aglomerados.

El alumbre, sales de hierro y polímeros de peso molecular alto son los floculantes mayormente utilizados.

La floculación es un proceso que es estimulado por un mezclado lento que junta poco a poco los flóculos; un mezclado demasiado vigoroso los rompe y raramente los vuelve a formar en su tamaño y fuerza óptimos. La floculación no solo incrementa el tamaño de las partículas del flóculo, sino que afecta su naturaleza física.

2.3.1 *Productos Químicos Floculantes*

Los floculantes metálicos que han sido mayormente utilizados a través de la historia son el alumbre y las sales de hierro. Estos compuestos al añadirse al agua forman especies cargadas positivamente en el intervalo de pH de 6 a 7.

Los floculantes metálicos son muy sensibles al pH y a la alcalinidad. Si el pH está dentro del intervalo adecuado, la clarificación es pobre y pueden solubilizarse el hierro o el aluminio y generar problemas. Cuando menor sea la dosis del floculante, tanto mayor será la sensibilidad del flóculo a cambios en el pH.

La introducción de sílice activada en la década de los 40's mejoró considerablemente el desempeño del alumbre y de las sales de hierro como coagulantes en la clarificación del agua. El desarrollo subsecuente de diversos polímeros orgánicos, denominados polielectrólitos, contribuyeron más espectacularmente en la tecnología del tratamiento del agua.

2.3.2 *Polímeros Orgánicos o polielectrólitos*

El uso de estos materiales puede modificarse de acuerdo a la naturaleza de la materia coloidal que debe extraerse del agua. Estas variaciones incluyen cambios en el peso molecular como en la capacidad de intercambio iónico.

La naturaleza iónica de los polielectrólitos es solo un factor que determina el desempeño de estos materiales como coagulantes y floculantes. Factores

como la naturaleza polar de los enlaces no iónicos en la molécula, el tamaño, la geometría moleculares, tienen una función importante, y en muchos casos, dominan a los efectos de la carga y de la densidad de carga. Así, los polímeros no iónicos de alto peso molecular son floculantes efectivos en muchos sistemas en virtud de su capacidad para atraer y mantener partículas coloidales en sitios polares de la molécula. Además, por su tamaño molecular, pueden encajar muchas partículas pequeñas.

Así como regla general, los polímeros catiónicos son diseñados para trabajar con valores bajos de pH y los aniónicos con valores altos. Los no aniónicos y cuaternarios solo son influidos débilmente por el pH.

Los polímeros orgánicos superan mucho los problemas inherentes al uso del alumbre o de las sales de hierro. Estos polímeros son moléculas orgánicas de cadena larga formadas por bloques llamados monómeros repetidos a lo largo de la cadena.

Los polímeros orgánicos empleados en el tratamiento del agua pertenecen a dos tipos principales; coagulantes y floculantes. Los coagulantes son moléculas positivamente cargadas de peso molecular relativamente bajo. Aunque muestran cierta tendencia a enlazar, no son particularmente efectivas como de floculantes. Los polímeros floculantes tienen peso molecular mucho más altos y proporcionan largos puentes entre los pequeños flóculos para promover el crecimiento de la partícula. Los floculantes pueden ser cationicos, anionicos o no iónicos. Los polímeros floculantes a diferencia de los coagulantes no son adecuados para la neutralización. En la tabla No 2.2 se listan algunas características de los floculantes y coagulantes orgánicos empleados en el tratamiento del agua.

Tabla No 2.2. Algunas Características de los Polímeros Orgánicos

Clase	intervalos PM	Forma y Disponibilidad
1. Coagulantes cationicos Poliaminas Policuaternarios Poli CDADMA Epi-DMA	Abajo de 100 000	Todos disponibles como soluciones acuosas
2. Floculantes cationicos Copolímeros de: Acrilamida y DMAEM Acrilamida y CDADMA Aminas Mannich	Arriba de 1 000 000	Polvos o Emulsiones
3. Floculantes no iónicos Poliacrilamidas	Arriba de 1 000 000	Polvos o Emulsiones
4- Floculantes Aniónicos Poliacrilatos Copolímeros de Acrilamida y acrilato	Arriba de 1 000 000	Polvos o Emulsiones

2.3.3 Tipos de Floculadores

La mezcla para la floculación puede efectuarse mecánicamente, usando rotores de paletas, o hidráulicamente, como resultado del movimiento del agua.

Los Floculadores hidráulicos más comunes son los de flujo horizontal y los de flujo vertical. El floculador de flujo horizontal consiste en un tanque de concreto dividido por tabiques, baffles o pantallas de concreto u otro material adecuado, dispuestos en forma tal que el agua haga un recorrido de ida y vuelta alrededor de los extremos libres de los tabiques.

En el floculador de flujo vertical el agua fluye hacia arriba y hacia abajo, por encima y por debajo de los tabiques, pantallas o baffles que dividen el tanque. En general, los Floculadores hidráulicos, con una velocidad de flujo adecuada y un número adecuado de baffles para asegurar suficientes curvas, producen una floculación efectiva. (Ver Figuras No 2.1 y Figura No 2.2)

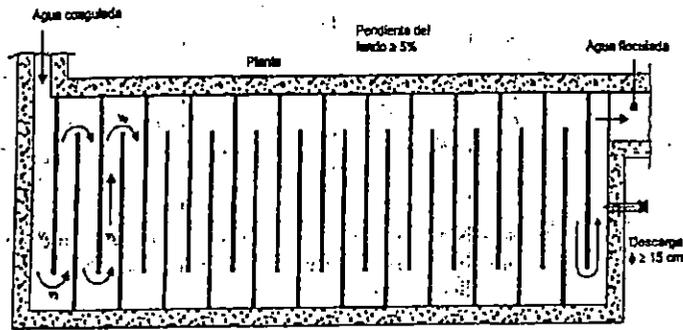


Figura No 2.1 Floculador Hidráulico de Flujo Horizontal

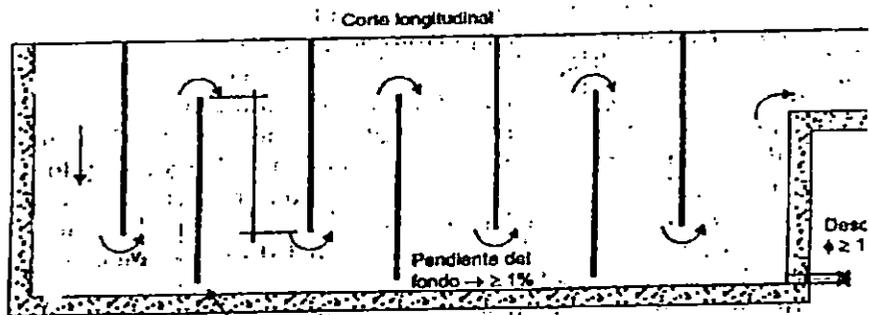


Figura No 2.2. Floculador Hidráulico de Flujo Vertical

En la práctica los Floculadores hidráulicos de flujo horizontal se usan para plantas pequeñas, caudales menores de 50 l/seg.; los de flujo vertical, que se construyen más profundos(2—3 m) para plantas grandes.

En comparación con los Floculadores mecánicos, se pueden señalar como desventajas de los Floculadores hidráulicos la alta pérdida de carga (30 – 150 cm) y la poca flexibilidad de control en el grado de mezcla para caudales

variables. Entre las ventajas se hace notar la inexistencia de equipo mecánico y el mantenimiento mínimo.

2.3.4 Aplicación de la Floculación en una Planta de Acondicionamiento de Agua para la Industria de papel

El diseño de flujo de una planta de acondicionamiento de agua muestra como se aplican los principios básicos de la floculación. Ya que la cantidad de sólidos suspendidos en la corriente de procesamiento en el agua superficial es relativamente baja y se requiere eliminarlos para reducir su concentración. Por esta razón, en muchas plantas de agua se diseñan con mezclado instantáneo de floculación. En nuestro caso de interés, al salir la corriente de agua de los tanques de oxidación-reducción, el agua entra a un laberinto de floculación hidráulica donde experimenta un cambio de velocidad en forma alternada para variar su número de Reynolds y es aquí donde se produce la floculación hidráulica durante un período de 22 minutos aumentando su pH hasta un valor de 6.2 a 6.8 por medio de una neutralización con carbonato de Sodio ($NaCO_3$) y Silicato de Sodio activado, obrando este último como ayudante de la coagulación química. El tamaño de floc de Hidróxido de Aluminio ($Al(OH)_3$) formado depende de la cantidad de Sulfato de Aluminio soluble ($Al_2(SO_4)_3$) que viene en el agua y de la dosificación de Sílice activado, que aumenta su densidad.

2.3.5 Ecuación de Diseño

Sabiendo que la floculación depende de los siguientes factores:

- 1- Fuerzas químicas y Físicas
- 2- Tamaño de Partícula
- 3- Concentración del Flóculo
- 4- pH
- 5- Temperatura del Agua
- 6- Concentración de los Electrólitos

y conociendo las condiciones del proceso, en la etapa de la floculación para la fabricación de papel:

- ✓ Período de Floculación: 22 minutos= 1320 seg
- ✓ pH varía de 6.2 a 6.8
- ✓ Caudal=190 m³/hra = 52.77 l/seg

Y partiendo de la ecuación de Camp y Stein:

$$\frac{-dN_1}{dt} = \frac{G\theta V N_1}{n} \quad \text{Ecuación 2.1}$$

Integrando ente 0 y t , se tiene:

$$\frac{N_t}{N_0} = \exp(-\theta V G t / \Pi) \quad \text{Ecuación 2.2}$$

Donde:

- No= No partículas suspendidas originalmente
- Nt= No partículas suspendidas remanentes sin flocular
- Para un tiempo t
- Θ= Coeficiente o Factor de Adherencia
- G= gradiente de velocidad, que describe la intensidad de La mezcla
- T= período de floculación
- V= volumen del flóculo

Al sustituir valores, se obtiene:

$$G.t = (52.77\text{l/seg}).(1320 \text{ seg}) = 69656.4 \text{ l}$$

$$\checkmark \quad N_t = N_0.\exp(-69656.\theta.\Pi =) \quad \text{Ecuación 2.3}$$

La ecuación 2.3 indica la importancia del volumen del flóculo y de la relación Gt en el proceso de floculación, ya que la floculación es proporcional al

volumen del floculo V y al producto Gt , sin embargo no tiene en cuenta que a valores muy grandes de Gt el floculo se puede romper y se daña la floculación, impidiéndose que se adquiriera un tamaño adecuado para una sedimentación rápida.

2.4 Sedimentación

La sedimentación es la eliminación de sólidos suspendidos en el agua por asentamiento gravitacional. Para que se efectúe la sedimentación, la velocidad del agua debe reducirse a un valor tal que los sólidos se asienten por gravedad si es suficientemente grande el tiempo de retención en el recipiente de sedimentación.

2.4.1 Tanques de Sedimentación

Los dispositivos para sedimentación caen dentro de dos clasificaciones principales: 1) Tanques convencionales de sedimentación permitiendo un mínimo de retención de 2 hrs (usualmente más) y 2) Tanques de tratamiento de flujo rápido que proporciona de 1 a 1 ½ hrs de retención. El primer grupo incluye tanques de flujo horizontal y el segundo que es para plantas relativamente pequeñas, comprende unidades redondas o cuadradas de flujo ascendente.

2.4.1.1. Tiempo de Retención

El tiempo que el agua deberá ser retenida en los tanques de sedimentación durante su recorrido desde la entrada hasta la salida, variará con las características del agua cruda. Los diseños de los tanques requieren de 2 a 6 u 8 hrs. Si se emplea sílice activada, los períodos de retención pueden disminuirse a causa de las altas velocidades de asentamiento de los floculos.

2.4.2 Sedimentación de Tasa Alta

Por sedimentación de tasa alta, sedimentadores de poca profundidad, se entiende sedimentación en elementos poco profundos, en módulos de tubos circulares, cuadrados, hexagonales, octagonales, de placas planas paralelas, de placas onduladas o de otras formas, en tanques poco profundos con tiempos de retención menores de 15 minutos. La característica principal de un sedimentador de tasa alta es su poca profundidad, usualmente del orden de centímetros. En los pequeños conductos usados como sedimentadores de alta tasa se puede desarrollar flujo laminar. La distribución de velocidad dista mucho de ser uniforme; por lo tanto, las trayectorias de las partículas no son líneas rectas como el modelo ideal de Camp. (Ver figura No 2.3).

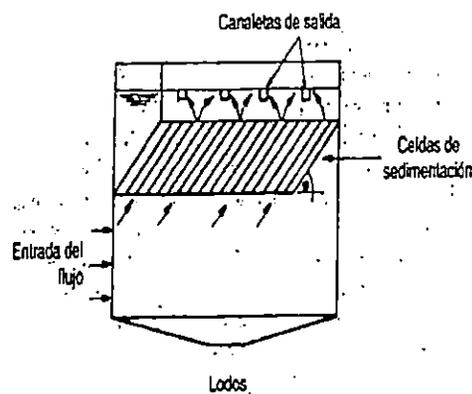


Figura 2.3 Descripción del Sistema de Alta Tasa

2.4.3 Aplicación del proceso de sedimentación en una Planta de acondicionamiento de agua para la Industria de papel

En nuestro de Caso particular, es necesario transformar el flujo de agua de turbulento (entre 10,000 y 50,000) a flujo laminar durante un período de

presedimentación de 50 minutos , antes de entrar a los módulos de sedimentación de alta tasa.

Luego de haberse producido el cambio en el Numero de Reynolds, se pasa a la etapa de sedimentación de Alta Tasa, la cual se realiza en un tanque con volumen total de 96 m^3 y un área de 38.4 m^2 .

En cada módulo de sedimentación, van colocadas 86 placas planas en eternit de 5.76 m^2 cada una , para un área total de 495 m^2 , lo que representa un aumento de área de 1.19% (12.8 veces) con relación al área del tanque). Estas placas están separadas 2 pulg. Entre sí y van inclinadas 60° con la horizontal. Al ascender el agua de abajo hacia arriba, su flujo turbulento es cambiado a flujo laminar, ya que el numero de Reynolds es reducido de 50,000 hasta 64.5 y es sedimentada durante un tiempo de 18.5 minutos, con un tiempo de asentamiento o de retención en las celdas de 62 segundos.

El fondo de cada módulo se sedimentación es en forma de tolva y va acondicionada con un múltiple de PVC de diámetro de 8 pulg que lleva 32 orificios de diámetro de 1 pulg en dos hileras de 16 orificios en cada lado. La capacidad de descarga de cada múltiple es de $242 \text{ m}^3/\text{hora}$ en 3.5 minutos.

2.4.4 Ecuación de Diseño

Sabiendo que la sedimentación ocurre de diferentes maneras según la naturaleza de los sólidos, su concentración y su grado de floculación.

Y conociendo algunos valores obtenidos de las condiciones del proceso de la sedimentación de Alta Tasa de nuestro caso de estudio, la industria de papel, se tiene:

- ✓ Cambio de flujo turbulento a Laminar(50,000 a 64.5) en 18. 5 minutos
- ✓ Período de pre-sedimentación igual a 50 minutos
- ✓ Volumen del tanque de sedimentación= 96 m^3 y un área de 38.4 m^2

- ✓ Tiempo de asentamiento de las partículas igual a 62 seg
- ✓ Capacidad de descarga igual a 243 m³/hra en 3,5 minutos
- ✓ Dentro del tanque de sedimentación van colocadas 86 placas planas con un área total de 495 m² separadas entre si 2" e inclinadas a 60° respecto a la horizontal.
- ✓ Largo del sedimentador igual a 12.21 m

Para sedimentadores de placas, se tiene que $t = 1/V_o$, donde t equivale al período de retención el cual en nuestro caso particular es de 18.5 minutos. Al despejar V_o de la ecuación:

$$V_o = 1/t = 1/(18,5 \text{ min}) = 0.05405 \text{ min}^{-1}.$$

Luego para sedimentadores de alta tasa y verificar el diseño de los mismos, se cuenta con la siguiente ecuación:

$$V_{sc} = \frac{Sc.V_o}{\text{Sen}\theta + Lc.\text{Cos}\theta} \quad \text{Ecuación 2.4}$$

Donde:

L_c = longitud relativa del sedimentador de alta tasa en
Flujo laminar

V_{sc} = Velocidad crítica de asentamiento

θ = angulo de inclinación del elemento de sedimentación de
alta tasa

Conociendo $\theta = 60^\circ$ y $Sc = 1$ (para sedimentadores de placas planas) y sustituir valores en la ecuación 2.4, se obtiene::

$$V_{sc} = \frac{(1).(0.05405)}{\text{Sen}(60) + (12.21)(\text{Cos}(60))}$$

$$V_{sc} = 0,077535 \text{ m/min}$$

Luego para calcular la velocidad de asentamiento de la partícula V_s , se tiene la siguiente ecuación:

$$V_s = V_p - V \quad \text{Ecuación 2.5}$$

Donde:

V_p = velocidad de la partícula

V = velocidad del fluido

Calculando V_p para 12,21 m y 62 seg (tiempo de asentamiento de la partícula)

$$V_p = 12.21 \text{ m} / 62 \text{ seg} = 0.1969 \text{ m/seg} = 11.816 \text{ m/min}$$

Y V para una capacidad de 243 m³/hora y un área de 38.4 m², se tiene:

$$V = 243 / 38.4 = 6,328 \text{ m/hr} = 0.1054 \text{ m/min}$$

Por tanto: $V_s = (11.816) - (0.1054) = 11.7106 \text{ m/min}$

Y como $V_s > V_{sc}$, toda partícula suspendida sería removida en el sedimentador.

2.5 Filtración

La remoción de sólidos suspendidos, al pasar al a través de un medio poroso, es principalmente una acción mecánica. Los sólidos finamente divididos son solo eliminados por la formación de una película gelatinosa alrededor de los granos del medio filtrante.

La profundidad a la cual los sólidos penetren en el lecho de arena depende, en gran manera, del flujo de filtración, al grado de penetración así como de las

dimensiones y graduación del medio filtrante. En algunos filtros, este recubrimiento de los granos de arena se obtiene por medio de la acción biológica; la cual es más acentuada en filtros lentos de arena, en los cuales se forma una capa limosa, técnicamente llamada *Shmutzdecke* sobre la superficie del lecho filtrante.

Conforme pasa el tiempo, aumenta la eficiencia del filtro operado adecuadamente. La materia floculada llena los espacios vacíos del lecho filtrante y la capa artificial produce intersticios más finos y ayuda tanto a la remoción de sólidos solubles como a la remoción de los sólidos suspendidos.

2.5.1 Mecanismos de Remoción

Usualmente cuando se piensa en los filtros se les compara con un tamiz o microcriba que atrapa el material suspendido entre los granos del medio filtrante. Sin embargo, la acción de colar, cribar o tamizar el agua es la menos importante en el proceso de filtración, puesto que la mayoría de las partículas suspendidas pueden pasar fácilmente a través de los espacios existentes entre los granos del medio filtrante.

En la tabla No 2.3 se resumen los mecanismos de remoción de partículas y las variables principales en el diseño de filtros

Tabla No 2.3 Variables Principales en el Diseño de Filtro

VARIABLE	SIGNIFICADO
<p>1. Características del medio Filtrante</p> <p>a) Tamaño de grano</p> <p>b) Distribución granulométrica</p> <p>c) Forma. Densidad y composición del grano</p> <p>d) Carga del medio</p>	<p>Afecta la eficiencia de remoción de partículas y el incremento en pérdida de carga</p>
<p>2. Porosidad del Lecho Filtrante</p>	<p>Determina la cantidad de sólidos que pueden almacenarse en el filtro</p>
<p>3. Profundidad del lecho filtrante</p>	<p>Afecta la pérdida de carga y la duración de la carrera</p>
<p>4. Tasa de filtración</p>	<p>Determina el área requerida y la pérdida de carga afecta la calidad del efluente</p>
<p>5. Pérdida de carga disponible</p>	<p>Variable de diseño</p>
<p>6. Características del afluente</p> <p>Concentración de sólidos</p>	<p>Afectan las características de remoción del filtro</p> <p>Tamaño y distribución del flóculo</p> <p>Resistencia del flóculo</p> <p>Carga eléctrica del flóculo</p> <p>Propiedades del fluido</p>

2.5.2 Descripción de la filtración

El filtro rápido por gravedad es el filtro más utilizado en tratamiento de aguas. La operación de filtración supone dos etapas : filtración y lavado.

En un filtro rápido convencional, el final de la etapa de filtración o carrera de un filtro se alcanza cuando los sólidos suspendidos (turbiedad) en el efluente comienza a aumentar, cuando la pérdida de carga es tan alta que el filtro ya no produce agua a la tasa deseada, usualmente 2.4 m de pérdida, o cuando la carrera del filtro es de 36 horas o más. Generalmente, cuando una de las condiciones anteriores se presenta, se procede a lavar el filtro para remover el material suspendido acumulado dentro del lecho filtrante y para recuperar su capacidad de filtración. Usualmente el lavado se hace invirtiendo el flujo a través del filtro (Figura No 2.4), aplicando un flujo suficiente de agua para fluidizar el medio filtrante y producir el frote entre los granos del mismo, y desechando el material removido a través de las canaletas del lavado.

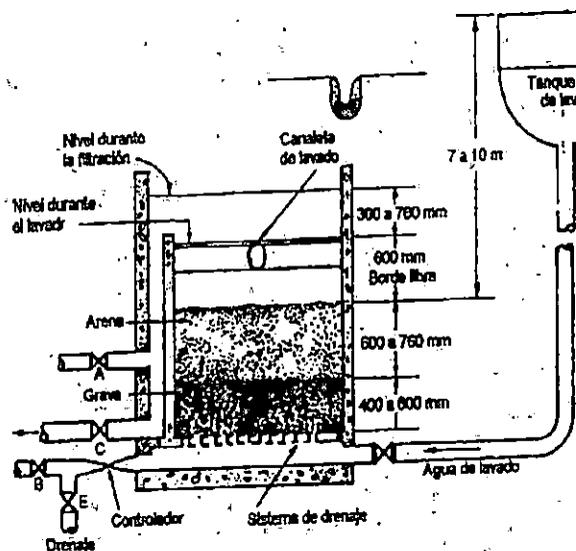


Figura No 2.4. Esquema Indicativo de la Operación de un Filtro rápido convencional de arena

2.5.3 Sistemas de Filtración

Muchos son los sistemas de filtración propuestos y construidos; sin embargo, se puede hacer una clasificación de acuerdo con la dirección de flujo, el tipo de lecho filtrante, la fuerza impulsora, la tasa de filtración y el método de control de la tasa de filtración.

2.5.3.1 Dirección del flujo

De acuerdo, con la dirección del flujo, los flujos pueden ser hacia abajo, hacia arriba, o de flujo dual, como se esquematiza en la Figura No 2.5

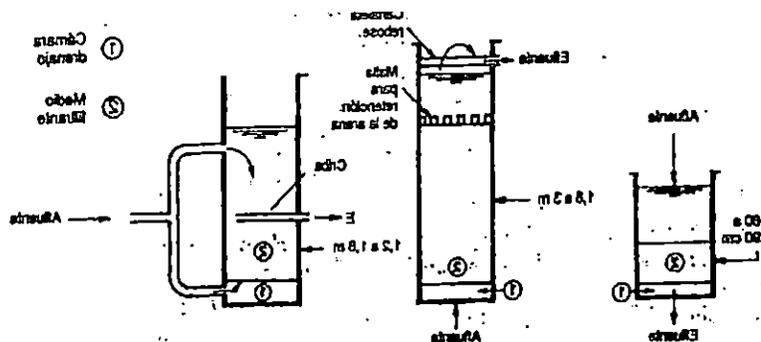


Figura No 2.5 . Tipos de Filtros

2.5.3.2 Tipo de lecho Filtrante

Los filtros utilizan generalmente un solo medio, arena o antracita; un medio dual, arena y antracita, o un lecho mezclado: arena, antracita y granate o ilmenita.

2.5.3.3. Fuerza Impulsora

De acuerdo con la fuerza impulsora utilizada para vencer la resistencia friccional ofrecida por el lecho filtrante, los filtros se clasifican como filtros de gravedad o de presión. El filtro por gravedad es el más utilizado en las plantas de purificación de agua. El filtro a presión se ha usado principalmente en la filtración de aguas de piscinas y en pequeñas plantas donde su instalación es ventajosa.

2.5.3.4 Tasa de Filtración

Los primeros filtros usados para tratamiento de aguas fueron los filtros lentos (Figura No 2.5), los cuales utilizan una capa de arena fina de 1 m soportada sobre un lecho de grava de aproximadamente 0.3 m. Estos filtros fueron luego reemplazados por los filtros rápidos, filtros de arena, generalmente con lavado ascensional, con tasas de filtración mucho mayores y, por consiguiente, con requerimientos de áreas mucho menores. Figuras No 2.6, 2.7 y 2.8

Posteriormente, con el uso de medios filtrantes duales o lechos mezclados, se lograron diseños mucho más económicos en área, al usar tasas de filtración todavía mayores que la de los filtros rápidos convencionales.

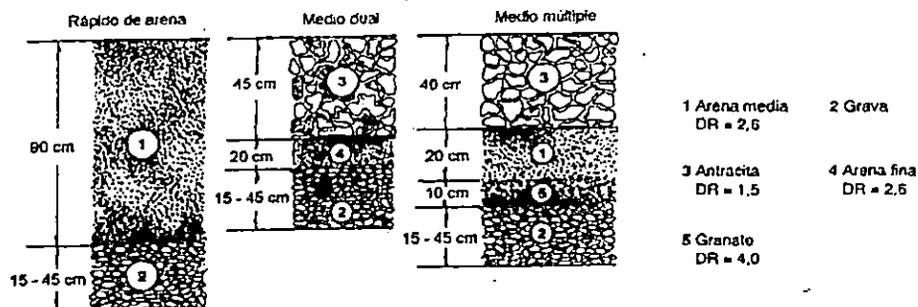


Figura No 2.6. Tipos de lechos filtrantes

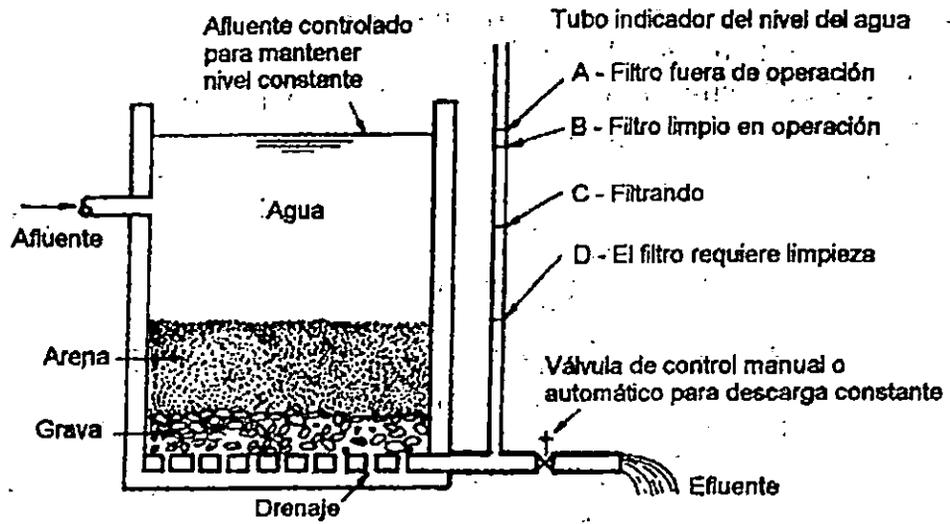


Figura No 2.7 Filtro Lento de Arena

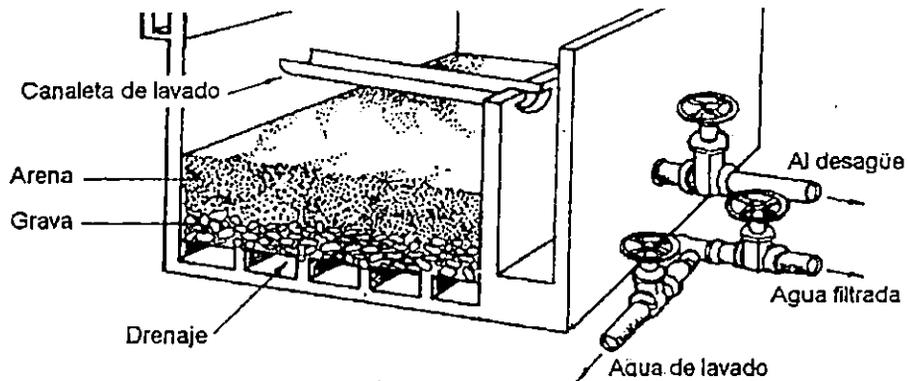


Figura No 2.8 Filtro Rápido de arena

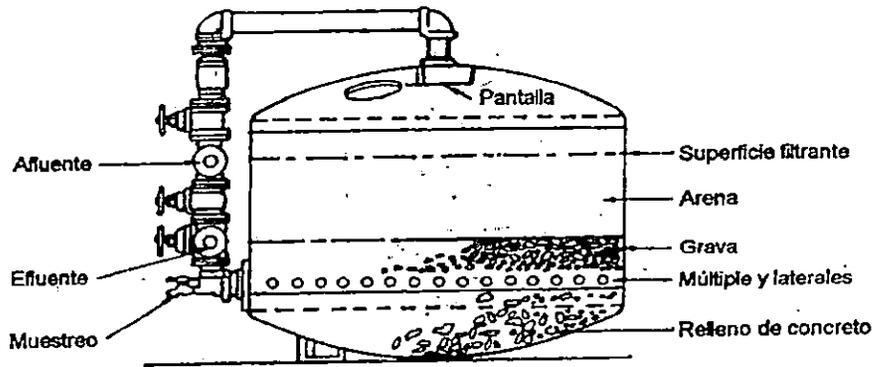


Figura No 2.9 Corte Através de un filtro de presión

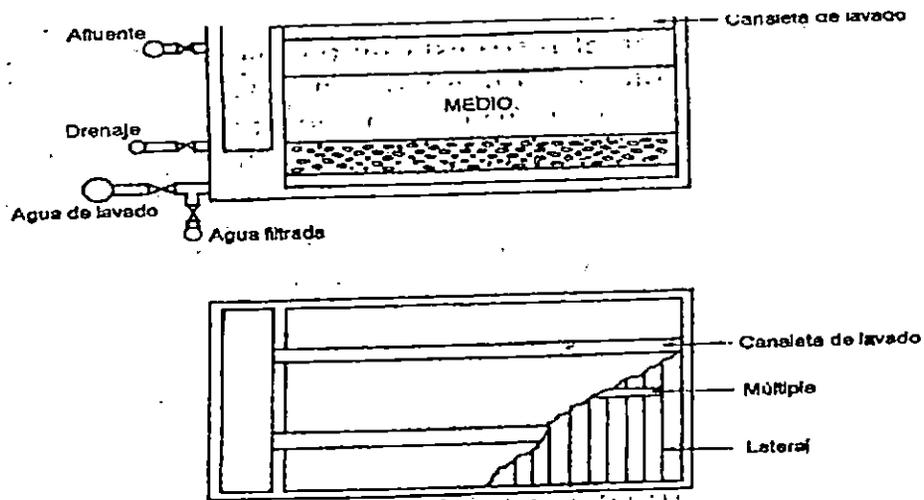


Figura No 2.10. Esquema de un filtro rápido convencional

En la Tabla No 2.4 se resume algunas de las principales características de los filtros por gravedad más utilizados en nuestro medio.

Tabla No 2.4 Principales Características de Filtros

Característica	Filtros lentos de arena	Filtros rápidos de arena	filtros de alta tasa
Tasa de filtración	2-5(< 12 m/d)	120 m/d	180-480 m/d
Medio	Arena	Arena	Antracita
Distribución del medio	No estratificado	Estratificado: fino a grueso	Estratificado: Grueso a fino
Duración carrera:	20- 60 días	12- 36 horas	12 – 36 horas
Pérdida Carga	inicial: 0.6 m Final: 1.2 m	inicial: 0.3 m final: 2.4 –3 m	inicial: 0.3 m final: 2.4 – 3 m
Agua de lavado	No usa	2-4% agua filtrada	6% agua filtrada
Profundidad del medio	0.6 – 1 m	0.6 – 0.75 m	antracita 0.4 –0.6 Arena: 0.15 –0.3
Profundidad Grava	0.3 m	0.3- 0.45 m	0.3 – 0,45 m
Drenaje	Tubería perforada	Tubería perforada Falsos fondos	Tubería perforada falsos fondos

2.5.4 Selección del Medio Filtrante

La selección de un medio filtrante está determinada por la durabilidad requerida, el grado deseado de purificación, la duración de la carrera del filtro y la facilidad deseable de su lavado.

El medio filtrante ideal debe poseer un tamaño que permita obtener un efluente satisfactorio, debe ser de un material durable, capaz de retener la máxima cantidad de sólidos y la vez debe ofrecer la facilidad de limpiarlo con una cantidad mínima de agua de lavado.

En una arena gruesa la permeabilidad es mayor que en una arena fina aunque la porosidad, y el volumen de vacíos, sean igual. Los poros pequeños de la arena fina causan mayor resistencia al flujo, o sea menor permeabilidad.

Una arena puede poseer partículas del mismo tamaño, es decir, graduación uniforme; o puede estar constituida por partículas que van desde tamaño fino hasta grueso, graduación no uniforme. La arena de graduación uniforme posee mayor porosidad que una no uniforme, y por ello, mayor permeabilidad.

2.5.4.1 Arena

La arena es el medio filtrante más usado, posiblemente por ser el más económico. La arena para filtros debe tener una solubilidad en ácido clorhídrico al 40% en 24 horas, menor del 5%; una densidad relativa mayor de 2.5 y debe ser limpia y bien gradada.

2.5.4.2 Antracita

Este se clasifica como un carbón con carácter no aglomerante. La antracita para filtros debe ser limpia, dura, con dureza mayor de 2.7 en la escala de MOHS, de densidad relativa mayor de 1.4, solubilidad en ácido menor del 1% y coeficiente de uniformidad menor de 1,7.

2.5.4.3 Arena-Antracita

Teóricamente , el tamaño y el espacio libre de las partículas de un medio filtrante deben variar uniformemente, entre grueso y fino, en la dirección del flujo, a través

del filtro, con el objeto de remover en la zona de medio grueso el material más grueso y en la zona del medio fino el material más fino. Así se aprovecha mejor toda la longitud del medio filtrante, se incrementa la tasa de filtración y se mejora la calidad del efluente.

Un filtro de medio dual usa típicamente 60 cm de antracita de 1 mm sobre 15 cm de arena. Debido a la diferencia de densidades, antracita 1.4 y arena 2.65, la antracita, de tamaño apropiado, según el tamaño de la arena, permanece encima de la arena durante el lavado y permite purificar aguas con turbiedades menores de 15 UTJ a tasas de filtración de 240-300 m/d.

2.5.5 Aplicación de la Operación de Filtración en una Planta de acondicionamiento de agua en la Manufactura de Papel

Para una planta de acondicionamiento de agua en la industria de papel, la remoción de los flóculos que son arrastrados fuera de los módulos, es llevada a cabo mediante el proceso de filtración, la cual consta de 4 unidades de filtración a presión, que consta de lechos filtrantes de arena y antracita, pasando el agua de arriba hacia abajo, es decir con flujo descendente.

A medida que les pasa el agua, van perdiendo la capacidad de filtración, puesto que los lechos van colmándose en forma progresiva. Cuando se produce una pérdida de presión de 8 PSI entre la entrada y la salida, los filtros deben lavarse invirtiendo el sentido del flujo, es decir pasando el agua en contracorriente. Por la forma de unión de la multicelda, la filtración de 3 unidades permiten lavar la cuarta unidad a una razón de 30 GPM/pie³.

2.5.6 Ecuación de Diseño

Sabiendo que las condiciones que permiten que el proceso de filtración sea desarrollado de manera efectiva y que afectan directamente dicho proceso son:

- ✓ Características del medio filtrante.
- ✓ Porosidad del medio filtrante
- ✓ Profundidad del lecho filtrante
- ✓ Tasa de filtración
- ✓ Pérdida de carga disponible
- ✓ Características propias del afluente

Y las condiciones que caracterizan a nuestro caso de interés son:

- ✓ El flujo pasa de arriba hacia abajo, es decir es un flujo descendente
- ✓ Se una pérdida de presión de 8 PSI, entre la entrada y salida del filtro
- ✓ El lavado de la cuarta unidad se dá a una razón de 30 GPM/pie³

Luego, partiendo de la Ley de Darcy:

$$V = K \frac{h}{l} \quad \text{Ecuación 2.6}$$

Donde:

H = pérdida de carga en el lecho (m)

L = Profundidad del lecho (m)

V= Velocidad superficial (m/s)

K= coeficiente de permeabilidad (m/s)

Luego, por medio de la ecuación de Rose:

$$H = 1.067 \cdot Cd \cdot \left(\frac{1}{e^3} \right) \left(\frac{l}{d} \right) \left(\frac{V^2}{g} \right) \quad \text{Ecuación 2.7}$$

Donde:

D = diámetro característico de los granos (m)

E = porosidad del lecho

Cd = coeficiente de arrastre

Evaluando Cd, se tiene:

$$Cd = \frac{24}{N_{RE}} + \frac{3}{N_{RE}^{1/2}} + 0.34 \quad \text{Ecuación 2.8}$$

Y evaluando para Nre de 64.5 (flujo laminar) en la ecuación 2.8 se obtiene un Cd= 1.085636

Finalmente sustituyendo valores en la ecuación 2.7, se obtiene:

$$H = 1.067 \cdot (1.085636) \cdot \left(\frac{1}{e^4}\right) \left(\frac{L}{d}\right) \cdot \left(\frac{V^2}{9.8}\right)$$

Obteniendose la siguiente expresión característica del proceso de filtración:

$$H = 0.11801 \cdot \left(\frac{1}{e^4}\right) \left(\frac{L}{d}\right) \cdot V^2 \quad \text{Ecuación 2.9}$$

Luego para determinar el **lavado de los filtros**, se parte de la expresión:

$$V_b > 5 \text{ mm/s}$$

$$\text{Para Arena : } V_t = 10 D_{60}$$

$$\text{Para Antracitra : } V_t = 47 D_{60}$$

Donde : Vb = Velocidad ascensional de lavado

Vt = Velocidad de Arrastre (m/min)

D₆₀ = Producto del tamaño efectivo por el coeficiente de

Uniformidad (mm)

Luego partiendo de la ecuación:

$$Le = L \frac{(1 - e)}{(1 - e_e)} \quad \text{Ecuación 2.10}$$

Donde :

Le = profundidad del lecho expandido(m)

e_e = porosidad del lecho expandido

Por lo que se obtiene la relación de expansión RE:

$$RE = \frac{(Le - L)}{L} = \frac{(e_e - e)}{(1 - e_e)} \quad \text{Ecuación 2.11}$$

Luego suponiendo que la velocidad de arrastre (V_t) es por lo menos igual a la velocidad de asentamiento de las partículas (V_s), se tiene:

$$RE = \frac{\left(\frac{V_b}{V_t}\right)^{0.22} - e}{1 - \left(\frac{V_b}{V_t}\right)^{0.22}} \quad \text{Ecuación 2.12}$$

Y asumiendo que el frote máximo ocurre cuando la velocidad de arrastre es igual al 10% de la velocidad de arrastre

$$V_b = 0.1 V_t$$

Sustituyendo en la ecuación 2.10 se obtiene:

$$RE = \frac{0.6-e}{0.4}$$

Para Arena con una porosidad de 0.45, se obtiene un RE de 37.5% y para la Antracita con una porosidad de 0.5, se obtiene un RE del 25%.

Para Una Rata de Filtración de 4 unidades se obtiene una velocidad de:

$$7.4 \text{ GPM/ pie}^2 = 362.13 \text{ L/m}^2$$

Asumiendo que la capa de antracita es de 30 cm con un tamaño promedio de 1.3 mm y 30 cm de arena con un tamaño promedio de 0.5 mm y $V = 1.003 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ y una porosidad de 0.45 para la arena y 0.5 para la antracita, se tiene que:

$$N_{RE} = V \frac{d}{\nu}$$

Ecuación 2.13

Calculando para la Antracita y para la Arena:

$$\text{Arena} = N_{re} = 3.0101$$

$$\text{Antracita } N_{RE} = 7.826$$

Los coeficientes de arrastre son, siguiendo la ecuación 2.8, son:

$$\text{Antracita} = CD = 4.477908$$

$$\text{Arena} = CD = 10.04229$$

Finalmente la Pérdida de carga será:

$$H = 1.067.Cd.\left(\frac{1}{e^4}\right)\left(\frac{L}{d}\right)\left(\frac{V^2}{g}\right)$$

Con los valores calculados anteriormente y con los ya asumidos, se obtiene la pérdida de carga para la Arena como para la antracita, siendo estos valores:

$$H_{\text{arena}} = 0.58276 \text{ m}$$

$$H_{\text{antracita}} = 0.06559 \text{ m}$$

Por tanto , la pérdida de carga total ser:

$$H_{\text{total}} = H_{\text{arena}} + H_{\text{antracita}}$$

$$H_{\text{total}} = 0.64835 \text{ m}$$

3. Teoría de proceso de la Planta de acondicionamiento de agua actual

A continuación se presenta toda la teoría involucrada en el procesamiento de una planta de acondicionamiento de agua desde la dosificación de químicos, controles químicos y la operación mecánica de la misma, así como el diagrama representativo de la planta en estudio (Ver Figura 3.1)

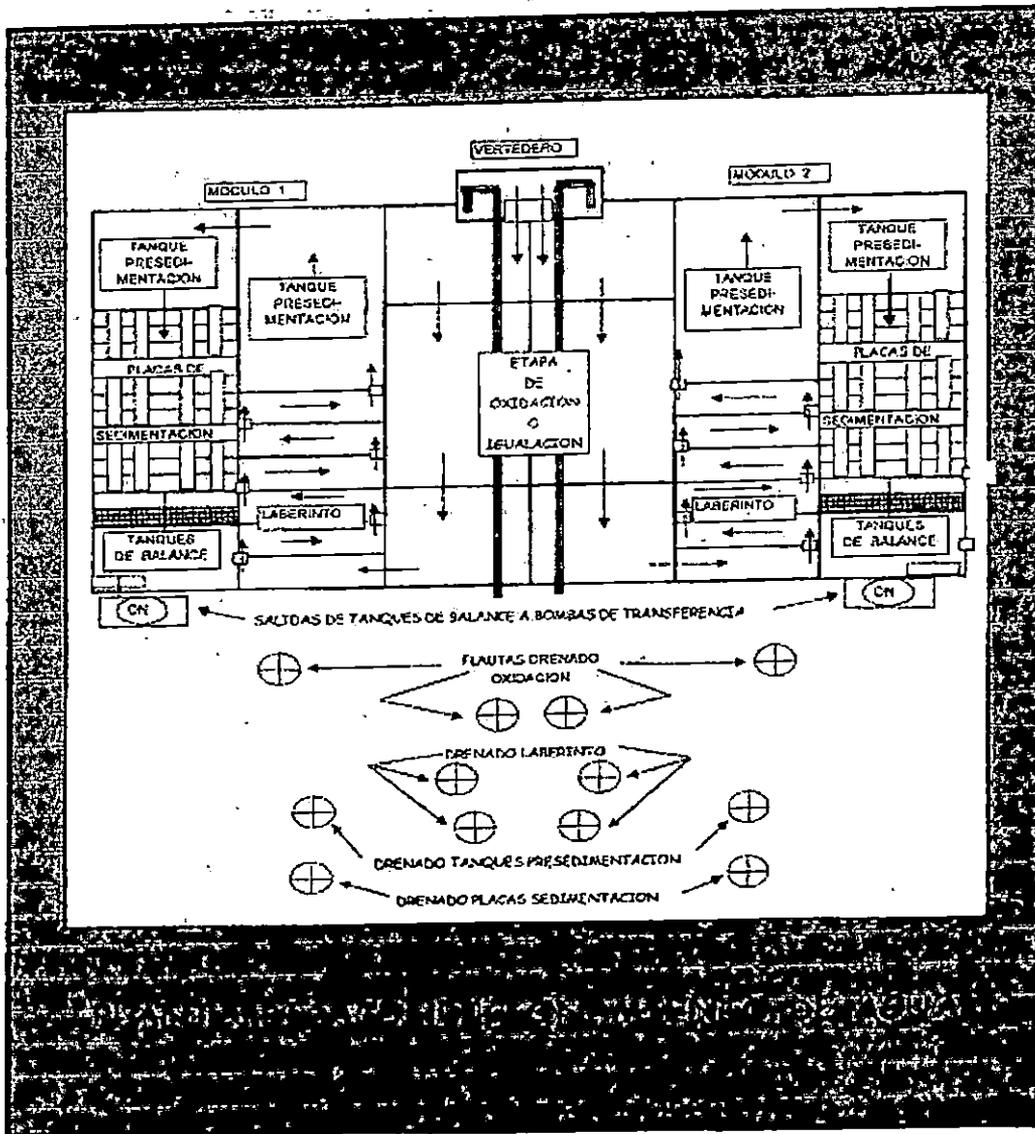


Fig. 3.1 Planta de Acondicionamiento de agua actual.

3.2.Descripción de las Etapas del proceso

Funcionamiento de la Planta de agua: $Q=190 \text{ m}^3/\text{hora}$ (2 módulos).

3.2.1 Teoría del proceso

1) **Bocatoma:** El suministro del agua para tratar ese Río Sucio. La función de la bocatoma es tomar el agua del Río Sucio efectuando una remoción de sólidos (Arena y otros) Que pudieran afectar las bombas y tuberías de succión.

2) **Bombeo:** desde el pozo de las bombas de bocatoma(3) se Lleva el agua hasta el vertedero. De acuerdo a las necesidades Se operan (2) dos ó las (3) tres bombas.

3) **Vertedero:** En él se mide el caudal de entrada en metros Cúbicos por hora.

La salida del agua se efectúa a través de un área triangular, Que según la altura que tenga el triángulo, da el caudal de agua Que entra a la planta(tabla anexa) ($Q=60^\circ$).

Como existen dos vertederos, uno para cada módulo de Sedimentación, el total del flujo tratado en la planta es la suma De las dos.

4) Zona de Precoagulación, igualación y Oxidación:

Se realiza en los dos primeros tanques de la planta (uno para Cada módulo) con volumen unitario de 95 m^3 y período de Retención de una hora para cada uno.

Dosificación de Químicos con el eductor en la Canaleta

- a) Alumbre-----140 ppm
- b) H_2SO_4 -----50 ppm
- c) Sulfato de cobre ($CuSO_4$)----2.7 ppm
- d) Cloro-----8 ppm

El alumbre y el ácido sulfúrico neutralizan la alcalinidad rebajando el pH hasta un valor de 4 a 5 óptimo para el efecto oxidante del cloro, además, efectúan una primera coagulación química del agua, iniciándose la clarificación de ésta.

El sulfato de cobre, evita la formación de algas en todos los tanques de tratamiento de agua.

En estos tanques, se inicia la presedimentación del agua y por lo tanto el flujo es alterno por debajo y por encima para facilitar la primera remoción de lodos por medio de los múltiples perforados en el fondo.

El cloro se adiciona además para:

- a) Destruir bacterias y microorganismos patógenos.
- b) Eliminar olores y sabores desagradables.
- c) Oxidar el hierro, manganeso, sulfuros y nitritos.
- d) Oxidar y destruir materia orgánica.
- e) Ayudar a la coagulación con el alumbre.
- f) Reducir demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y V.P. (valor al $KMnO_4$).
- g) Destruir fenoles y compuestos de cianuros si los hay.

Normalmente en estos tanques debe haber cloro residual de 2 a 3 ppm.

5) Laberinto de Floculación Hidráulica (Segunda Coagulación por adición de alcalis)

Al salir de los tanques de oxidación, el agua entra al laberinto de floculación hidráulica donde experimenta un cambio de velocidad

En forma alternada para variar su número de Reynols y es floculada hidráulicamente durante un tiempo de 22 minutos aumentando su pH hasta un valor de 6.2 a 6.8 por medio de una neutralización con Carbonato de sodio (NaCO_3) y Silicato de Sodio Activado, obrando éste último como ayudante de la coagulación química.

El tamaño del floc de Hidróxido de Aluminio (Al(OH)_3) formado, depende de la cantidad de Sulfato de Aluminio soluble ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) que viene en el agua y de la dosificación de Silicato Activado, que aumenta su densidad.

Dosificación de Químicos en la entrada al Laberinto

La dosificación de los químicos a la entrada de la laberinto de floculación hidráulica es la siguiente:

- a) Carbonato de Sodio-----100 ppm
- b) Silicato de sodio activado-----6 ppm

La rata de coagulación depende de los siguientes factores:

- a) Número de cristales presentes en el coagulante.

- b) Mayor oportunidad de choques y de contacto de los cristales del coagulante entre sí y contra los tabiques del laberinto de floculación.
- c) Mayor o menor movimiento de las moléculas ($^{\circ}T$).
- d) pH óptimo de floculación.
- e) Tiempo de floculación.

Una vez se logre formar un buen floc, el agua continua hacia la etapa de presedimentación.

6) Presedimentación:

A flujo turbulento y con número de Reynolds que varían entre 10,000 y 50,000, el agua es presedimentada durante un tiempo de 50 minutos antes de entrar a los módulos de sedimentación a alta tasa, donde su **flujo turbulento** es cambiado a **flujo laminar** reduciendo drásticamente su número de Reynolds.

7) Sedimentación :

Como etapa siguiente en la clarificación del agua, ésta pasa a la **sedimentación a alta tasa** , la cual se realiza en un tanque de ocho metros de largo, por 4.8 metros de ancho y una profundidad promedio de 2.5 metros o sea un volumen total de 96 m^3 y un área de 38.4 m^2 .

En cada módulo de sedimentación, van colocadas 86 placas planas en eternit de $4.8 \times 1.2 = 5.76 \text{ m}^2$ cada una para un área total de $5.76 \times 86 = 495 \text{ m}^2$.¹ lo cual representa un aumento de área del 1.190% (12.8 veces) con relación al área del tanque.

Estas placas están separadas 2" entre sí y van inclinadas 60° con la horizontal.

Al ascender el agua de abajo hacia arriba, su flujo turbulento es cambiado a flujo laminar ya que, el número de Reynolds es reducido de 50,000 hasta 64,5 y es sedimentada durante un tiempo de 18.5 minutos, con un tiempo de asentamiento en las celdas de 62 segundos.

El fondo de cada módulo de sedimentación es en forma de tolva y va acondicionada con un múltiple de PVC de diámetro de 8" que lleva 32 orificios de diámetro de 1" en dos hileras de 16 orificios en cada lado. La capacidad de descarga de cada múltiple es de $242 \text{ m}^3/\text{hra} = 4 \text{ m}^3/\text{min}$ en $14/4 = 3.5$ minutos.

8) Filtración:

Se remueven los flóculos que logren ser arrastrados fuera de los módulos por medio de 4 unidades de filtración a presión, las cuales tienen lechos filtrantes de arena y antracita pasando el agua de arriba hacia abajo o sea con flujo descendente.

A medida que se les pasa agua, van perdiendo la capacidad de filtración puesto que los lechos se van colmando en forma progresiva. Cuando se produzca una pérdida de presión de 8 PSI entre la entrada y la salida, los filtros deben lavarse invirtiendo el sentido del flujo o sea pasando el agua en contracorriente.

Por estar unidos en forma de multicelda, la filtración de 3 unidades permiten lavar la cuarta a una velocidad de 30 GPM/ft³.

9) Almacenamiento:

Con las mismas bombas de filtración, el agua es llevado al tanque o tanques de almacenamiento de donde es distribuida a las redes correspondientes por medio de las bombas de distribución.

ESTANDARES

- | | |
|---|---|
| 1)Vertedero | no los hay |
| 2) Igualación y oxidación..... | a) Turbidez de 5 a 50 ppm
b)Color de 10 a 80 ppm
c) pH de 4 a 5
d) Cloro Residual de 4 a 6 ppm
e) Break point. positivo(color azul) |
| 3)Laberinto de floculación Hidráulica.... | a)Turbidez de 5 a 30 ppm
b)Color de 10 a 50 ppm
c) pH de 6.2 a 6.8
d)Cloro residual de 2 a 3 ppm |
| 4)Módulos de sedimentación..... | a)Turbidez de 2 a 4 ppm
.b)Color de 5 a 15 ppm
.c)pH de 6.2 a 6.8
d)Cloro residual de 1 a 2 ppm |
| 5) Filtros..... | a) Turbidez de 0 a 1 ppm
b)Color de 0 a 2 ppm
c)Valor Permanaganato<5 |

d) Hierro < 0.3

e) cloro residual de 0.5 a 1
ppm

f) pH de 7 a 7.2

3.3. Operación Mecánica de la planta

La operación mecánica de la planta comprende los siguientes pasos :

- ❖ Encendido de las Bombas de la Bocatoma (agua Cruda).
- ❖ Encendido de las Bombas de filtración y Comprobar lectura de los manómetros.
- ❖ Dosificación de: alumbre, ácido Sulfúrico y Sulfato de Cobre por medio del eductor que succiona los tres tanques correspondientes.
- ❖ Dosificación de: Hipoclorito de Sodio por medio del eductor al agua cruda.
- ❖ Dosificación del Carbonato de Sodio al agua pre-decantada en la entrada del laberinto de floculación (Tanque del segundo nivel, preparación y dosificación).
- ❖ Dosificación del Silicato de Sodio Activado al agua pre-decantada en la entrada al laberinto de floculación (Tanque del segundo nivel, preparación y dosificación).
- ❖ Comprobación visual de la formación del floc en la laberinto de floculación hidráulica y medir el pH.
- ❖ Llevar los récords de los gastos de soluciones por descenso de niveles en los tanques de dosificación.
- ❖ Preparación de la solución de Alumbre, ácido y Sulfato de Cobre en los tanques de preparación (Primer Nivel) Vol= 5.4 m³ cada uno.
- ❖ Preparación de la solución de Carbonato de Sodio en el Tanque de preparación (Segundo Nivel) Vol= 2 m³.

- ❖ Bombeo de las soluciones de Alumbre, Sulfato de Cobre y ácido Sulfúrico a los tanques de almacenamiento (segundo Nivel) Vol= 2 litros
- ❖ Preparación de la solución de Cloro en el tanque de dosificación de Alumbre, ácido y Cloro (Primer Nivel) de los correspondientes tanques de almacenamiento (Segundo Nivel).
- ❖ Preparación de las soluciones de químicos para el tratamiento cada vez que sea necesario.
- ❖ Chequeo del funcionamiento correcto de las Bombas de Distribución.
- ❖ Limpieza de la reja de la Bocatoma cada vez que sea necesario (por presentarse disminución de caudal en los vertederos).
- ❖ Chequeo de las descargas de químicos cada hora (según descensos de los niveles).
- ❖ Al terminar las jornadas de trabajo, para las bombas de la bocatoma, cerrar válvulas de descarga de los tanques de succión de químicos.
- ❖ Chequear que queden en operación las Bombas de suministro.
- ❖ Botar lodos de todos los tanques de la planta cada vez que sea necesario (arrastre de flóculos hacia las canaletas de recolección de agua clarificada en los módulos de dosificación) (Placas).
- ❖ Lavado de los filtros de la planta cada vez alcance una pérdida de presión de 8 PSI entre la entrada y la salida de los mismos, haciendo un buen relavado cada vez.
- ❖ Comprobación de la operación correcta de las válvulas de seguridad en las unidades de filtración a presión.

3.4 Operación Química de la Planta de Acondicionamiento de agua

La operación química de la planta de tratamiento de agua comprende 3 zonas:

- a) Vertederos
- b) Zona de oxidación, preclarificación e igualación
- c) Laberinto de floculación Hidráulica

a) Vertederos

En los vertederos se controla el flujo o caudal que entra en la planta según la capacidad requerida de agua a tratar (Lectura Regla de Calibración).

b) Zona de oxidación, preclarificación e Igualación

En la zona de oxidación, preclarificación e igualación se efectúan las siguientes operaciones:

1-Visualización de la formación de flotantes

2-Adición de los siguientes químicos por medio del eductor:

alumbre..... 140 ppm

ácido Sulfúrico..... 50 ppm

Sulfato de Cobre..... 2.7 ppm

Cloro..... 8 a 10 ppm

Hasta rebajar el valor de pH a un valor de 4 a 5

3-Luego se realiza la prueba cualitativa del Break-Point(punto de quiebre).

c) Laberinto de Floculación Hidraulica

En esta zona se realizan las siguientes operaciones:

1- Adición de 100 ppm de Carbonato de Sodio.

2- Adición de 6 ppm de Silicato de Sodio Activado.

- 3- Ajuste del valor de pH hasta un rango de 6.2 a 6.9 (según ensayos de Jarras).
- 4- Visualización de la formación de floc.
- 5- Crecimiento del tamaño y peso del floc, aumentando la dosificación de Silicato de Sodio Activado si fuere el caso por encima de 6 ppm.

3.5 Controles Químicos que se efectúan en la planta

Los controles químicos que realizan en la planta son:

- 1- Preparación de la solución madre así como el cálculo de las cantidades a utilizar.
- 2- Preparación de las soluciones de los tanques de alimentación
- 3- Dosificación en función de las características del agua

1) Preparación de las soluciones Madres de químicos

Estos controles consisten en la adición al agua a tratar en el tanque de las soluciones especificadas en la tabla 3.1

Tabla 3.1 *Soluciones químicas empleadas en la Planta de acondicionamiento de agua*

Solución	Concentración (gr/l)
Alumbre	260
Acido Sulfúrico	200
Sulfato de Cobre	5
Hipoclorito de Sodio	100
Carbonato de Sodio	120
Silicato de Sodio Activado	15

2) Preparación de Soluciones en Tanques de Alimentación

La preparación de las diferentes soluciones en tanques de alimentación son las siguientes:

1) Solución de Alumbre

Las especificaciones para la adición de la solución de alumbre son las siguientes:

✓ Preparación

- ✦ Volumen del tanque = 5.400 litros (Primer nivel de la Caseta)
- ✦ Área del Tanque = 4.5 m²
- ✦ Altura del tanque = 1.2 m = 120 cms
- ✦ Equivalente de cada centímetro = 5.400/120 = 45 lts/ 1 cms

Por lo Tanto la preparación inicial es:

$$\begin{aligned} \text{Preparación inicial} &= 5.400 \text{ lts} \times 260 \text{ gr/lit} = 1.404 .000 \text{ gr} \\ &= 1.404 \text{ Kg} \\ &= 28 \text{ Bultos de } 50 \text{ Kg} \end{aligned}$$

✓ Procedimiento

Llenar el tanque de alumbre con 2.700 lts de agua filtrada (0.6 m) y agregar 28 bultos de alumbre de 50 kg cada uno hasta completar un volumen final de 5.400 lts (H = 1.2 mts)

✓ Recarga de la Solución

Cada vez que el volumen disminuya hasta 2.700 lts (H = 0.6 m) agregar 700 kg de alumbre, o sea 14 bultos de 50 kg y completar hasta un volumen final de 5.400 lts.

II) Solución de Acido Sulfurico (H_2SO_4)

Las especificaciones para la adición de la solución de ácido sulfúrico son las siguientes:

✓ Preparación

- ✦ Igual Volumen del tanque de alumbre = 5.400 lts (Primer nivel de caseta)
- ✦ Concentración = 200 gr/lts
- ✦ Volumen = 5.400 lts
- ✦ H_2SO_4 concentrado = 1.760 gr/lit (al 96%) (Densidad = 1.834)
- ✦ Recarga = 0.6 m = 2.700 lts
- ✦ Peso de ácido para cada recarga = 2.700 lt X 200 gr/lit
= 540.000 gr
- ✦ El Volumen de ácido concentrado para cada recarga será :
= 540.000 / 1.760
= 306 lts
- ✦ Volumen de ácido concentrado preparación inicial = 306 X 2
= 612 lts del ácido al
96% (Densidad = 1.834 gr/cm³).

✓ Procedimiento

Para cada recarga de ácido, diluir 1 a 3 previamente en el tanque separado, agregando los 306 lts de ácido concentrado a 650 lts de agua y luego adicionar al tanque de preparación.

III) Peso de Sulfato de cobre_(CuSO₄·5H₂O)

Las especificaciones para la adición de la solución de Sulfato de cobre son las siguientes:

✓ Preparación

- ✦ Concentración = 5 gr/lit
- ✦ Peso inicial = $5 \times 5.400 = 27.000$ gr de CuSO₄ = 27 kg
- ✦ Peso para cada recarga será = $2.700 \times 5 = 13.500$ gr = 13.5 Kg.

✓ Procedimiento

Se disuelven los 13.5 kg. de Sulfato de Cobre en 50 litros de agua y agregar la solución de alumbre en el tanque correspondiente a cada recarga de alumbre..

IV.) Solución de Hipoclorito de Sodio Comercial (100 gr./lit)

Las especificaciones para la adición de la solución de Hipoclorito de Sodio Comercial son las siguientes:

✓ Preparación

- ✦ Volumen del tanque = $2 \times 1 \times 1 = 2 \text{ m}^3 = 2,000$ lit (Segundo Nivel).
- ✦ Area = 2 m^2
- ✦ Altura = 1 m tanque
- ✦ Altura de cada recarga = 0.5 m
- ✦ Volumen de cada recarga = 1,000 lts

✓ Procedimiento

Agregar los 5 barriles de 200 lts cada uno de Hipoclorito de Sodio cada vez que el tanque de preparación y dosificación disminuya a la mitad (H= 0.5 m).

V.) Solución de carbonato de Sodio (14° Bé aprox.)

Las especificaciones para la adición de la solución de Carbonato de Sodio son las siguientes:

- ✦ Concentración 120 gr./lt
- ✦ 1 Bulto = 40 kg
- ✦ Volumen del tanque de preparación y dosificación (mismo tanque) = 2,000 lt (2° nivel), Altura = 1 m ; recarga 0.5 m
- ✦ Peso Carbonato = 2,000 lt x 120 gr./lt = 240,000 gr
= 240 kg.
= 5 Bultos de 40 kg.
- ✦ La Recarga con altura de tanque de 0.5 m(1,000 lt) con 120 kg. de carbonato = 3 bultos de 40 kg.
- ✦ Por tanto el equivalente cada centímetro = 2,000/100 = 20 lt

VI). Silicato de Sodio Activado

Las especificaciones para la adición de la solución de Silicato de Sodio activado son las siguientes:

- ✦ Volumen del tanque de preparación y dosificación (mismo tanque) = 1,720 lt (2° nivel); Altura = 1.20 m ; Area = 1.44 m²
- ✦ Concentración de silicato = 15 gr. SiO₂/lt
1.720 lt X 30 cm³/lt = 51,600 cm³ = 52 lt silicato a 42° Be

$1.720 \text{ lt} \times 4.65 \text{ gr/lt} = 8,000 \text{ gr. Sulfato de amonio} = 8 \text{ Kg.}$

Por tanto el equivalente de cada centímetro será $= 1,720/120 = 14.3 \text{ kg}$

Silicato activado

✓ Procedimiento

Llenar el tanque hasta la mitad (0.6 m) y agregar con agitación 52 lt de silicato de sodio activado a 42°Bé.

En un recipiente de 100 lt por separado, disolver los 8 Kg. de Sulfato de amonio y entonces incorporar lentamente a la solución de silicato adicionando simultáneamente el agua faltante hasta completar el volumen total de 1.72 lts.

✓ Recarga

Cada vez que se agote la solución, para evitar un posible formación de grumos.

3. Dosificación de químicos en Función de las Características del Agua

Partiendo de los siguientes equivalentes:

- a) Equivalente cada 1 cm en tanque de dosificación de alumbre 14.3 lt.
- b) Equivalente cada 1 cm en tanque de dosificación de ácido = 14.3 lt.
- c) Equivalente cada 1 cm en tanque de dosificación de cloro = 14.3 lt.
- d) Equivalente cada 1 cm en tanque de dosificación de Carbonato = 20 lt.
- e) Equivalente cada 1 cm en tanque de dosificación de Silicato de Sodio activado = 14.3 lt.

Y de la Ecuación General para la dosificación de todos los químicos

$$\frac{Cm^3}{5seg} = \frac{1.38xQxppm}{Concentracion} \quad \text{Ecuación 3.1}$$

Donde:

1.38 = una constante

Q = caudal en m³/hra a tratar

ppm= dosificación de cada químico en mg/lt

Concentración de la solución = gr./lt

Cm³/ 5 seg. x 0.72 = litros/hra de succión del eductor o

Descarga

$$\frac{l/hra}{l/cm} = \text{cm/hra de descenso en los tanques dosificadores}$$

Tratamiento inicial para arranque de la planta

El tratamiento inicial de arranque de la planta será a partir de las concentraciones mostradas en la Tabla 3.2

Tabla 3.2. Características de las soluciones químicas utilizadas en el arranque de la planta

Solución	ppm	Concentración (gr/l)
Alumbre	140	260
Acido Sulfúrico	5	200
Sulfato de Cobre	2.7	5
Cloro	8	100
Carbonato	100	120
Silicato Activado	6	15
m ³ /hra	190	H= 25 cm de cada vertedero

Los cálculos de las soluciones de los diferentes químicos serán:

I) Cálculo de dosificación del Alumbre

$$\text{Cm}^3 / 5 \text{ seg.} = \frac{1.38 \times Q \times \text{ppm}}{\text{Concentración}} = \frac{1.38 \times 190 \times 140}{260} = 141 \text{ cm}^3 / 5 \text{ seg.}$$

$$141 \text{ cm}^3 / 5 \text{ seg.} \times 0.72 = 100 \text{ lts /hra (succión del eductor)}$$

$$\text{Descenso en el tanque dosificador} = \frac{100 \text{ lt/hra}}{14.3 \text{ lt/cm}} = 7 \text{ cm/hra} = \frac{3.5 \text{ cm}}{30 \text{ min.}}$$

$$= \frac{1.75 \text{ cm}}{15 \text{ min.}} = \frac{6 \text{ mm}}{5 \text{ min.}} \text{ ; alcance dosificador}$$

$$= \frac{1.720}{100} = 17 \text{ horas}$$

II) Cálculo de dosificación de ácido sulfurico

$$\text{cm}^3/5 \text{ seg.} = \frac{1.38 \times Q \times \text{ppm}}{\text{Concentración}} = \frac{1.38 \times 190 \times 50}{200} = 65.5 \text{ cm}^3/5 \text{ seg.}$$

$$65.5 \text{ cm}^3/5\text{seg} \times 0.72 = 47 \text{ lts/ hra}(\text{succión del eductor}).$$

$$\text{Descenso en tanque dosificador} = \frac{47 \text{ lt/hra}}{14.3 \text{ lt/cm}} = 3.3 \text{ cm/hra}$$

$$\frac{1.65 \text{ cm}}{30 \text{ min.}} = \frac{0.825 \text{ cm}}{15 \text{ min.}} = \frac{3 \text{ mm}}{5 \text{ min.}}$$

$$\text{Por tanto se alcanzará el tanque dosificador} = \frac{1.720 \text{ lts}}{47 \text{ lt/hra}} = 36 \text{ horas}$$

III) Cálculo de dosificación del Cloro

$$\text{cm}^3/5 \text{ seg.} = \frac{1.38 \times Q \times \text{ppm}}{\text{concentración}} = \frac{1.38 \times 190 \times 8}{100} = 21 \text{ cm}^3/5 \text{ seg.}$$

$$21 \text{ cm}^3/5 \text{ seg.} \times 0.72 = 15 \text{ lt/hra} \text{ (succión eductor)}$$

$$\text{Descenso en tanque dosificador} = \frac{15 \text{ lt/hra}}{14.3 \text{ lt/cm}} = \frac{1.04 \text{ cm}}{\text{hra}} = \frac{0.52 \text{ cm}}{30 \text{ min.}}$$

$$= \frac{6 \text{ mm}}{30 \text{ min.}} = \frac{2 \text{ mm}}{10 \text{ min.}} = \frac{1 \text{ mm}}{5 \text{ min.}}$$

$$\text{Alcance del tanque dosificador} = \frac{1,720 \text{ lt}}{15 \text{ lt/hra}} = 114 \text{ horas}$$

IV) Cálculo de dosificación del carbonato

$$\text{Cm}^3 / 5 \text{ seg.} = \frac{1.38 \times Q \times \text{ppm}}{\text{Concentración}} = \frac{1.38 \times 190 \times 100}{120} = 218 \text{ cm}^3 / 5 \text{ seg.}$$

$$218 \text{ cm}^3 / 5 \text{ seg.} \times 0.72 = 157 \text{ lts/hra (válvula gota -gota)} (\frac{78 \text{ lt}}{\text{módulo}}) \text{ hra}$$

$$\text{Descenso en tanque dosificador} = \frac{157 \text{ lt/hra}}{20 \text{ lt/cm}} = \frac{7.9 \text{ cm}}{\text{hra}} = \frac{8 \text{ cm}}{\text{hra}}$$

$$= \frac{4 \text{ cm}}{30 \text{ min.}} = \frac{2 \text{ cm}}{15 \text{ min.}} = \frac{21 \text{ mm.}}{15 \text{ min.}} = \frac{7 \text{ mm}}{5 \text{ min.}}$$

$$\text{Alcance del tanque dosificador} = \frac{2,000 \text{ lts}}{157 \text{ lt/hra}} = 12 \text{ horas}$$

Alcance de cada recarga de 1,000 litros = 6 horas.

V) Cálculo de dosificación del Silicato Activado

$$\begin{aligned} \text{Cm}^3 / 5 \text{ seg.} &= \frac{1.38 \times 190 \times \text{ppm}}{\text{Concentración}} = \frac{1.38 \times 190 \times 6}{15} = 105 \text{ cm}^3 / 5 \text{ seg.} \\ &= 76 \text{ lts/hora} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Descenso Tanque dosificador} &= \frac{76 \text{ lt/hra}}{14.3 \text{ lt/cm}} = 5.3 \text{ cm/hra} = \frac{2.7 \text{ cm}}{30 \text{ min.}} \end{aligned}$$

$$= \frac{1.4 \text{ cm}}{15 \text{ mi}} = \frac{15 \text{ mm}}{15 \text{ min.}} = \frac{5 \text{ mm}}{5 \text{ min.}} = \frac{1 \text{ mm}}{1 \text{ min.}}$$

Simplificación del cálculo de dosificación de químicos

Si hacemos constante el flujo a tratar en la planta en $Q = 190 \text{ m}^3/\text{hra}$ ($H = 25 \text{ cm}$ cada vertedero) se puede obtener un factor de multiplicación (FQ) constante para cada químico, ya que la concentración también es una constante para cada uno de ellos, este factor es

$$\begin{aligned} \text{F.Q} &= 1.38 \times Q \\ &= 1.38 \times 190 \\ &= 262 \end{aligned}$$

obteniéndose entonces para cada químico:

$$\text{FQ (alumbre)} = 262 / 260 = 1$$

$$\text{FQ (ácido)} = 262 / 200 = 1.3$$

$$\text{FQ (Cloro)} = 262/100 = 2.62$$

$$\text{FQ (Carbonato)} = 262/120 = 2.18$$

$$\text{FQ (silicato)} = 262/15 = 17.5$$

Las dosificaciones son entonces:

$$\boxed{\text{cm}^3 / 5 \text{ seg.} = \text{FQ} \times \text{ppm}}$$

a) Alumbre..... $\text{cm}^3 / 5 \text{ seg.} = \text{FQ} \times \text{ppm} = 1 \times \text{ppm}$

b) Ácido..... $\text{cm}^3 / 5 \text{ seg.} = \text{FQ} \times \text{ppm} = 1.3 \times \text{ppm}$

c) Cloro..... $\text{cm}^3 / 5 \text{ seg.} = \text{FQ} \times \text{ppm} = 2.62 \times \text{ppm}$

d) Carbonato..... $\text{cm}^3 / 5 \text{ seg.} = \text{FQ} \times \text{ppm} = 2.18 \times \text{ppm}$

e) Silicato..... $\text{cm}^3 / 5 \text{ seg.} = \text{FQ} \times \text{ppm} = 17.5 \times \text{ppm}$

Para flujos Q menor que 190 m³/hra (un solo módulo) estos factores se multiplican por la relación de los nuevos caudales así:

$$Q = 150 \text{ m}^3/\text{hra}, \text{ Factor } Q(\text{alumbre}) = 1 \times 150/190 = 1 \times 0.789$$

$$\text{Quedando para } Q = 150 \text{ m}^3/\text{hra}$$

$$\text{FQ}(\text{alumbre}) = 1 \times 0.789 = 0.789$$

$$\text{FQ}(\text{ácido}) = 1.3 \times 0.789 = 1.02$$

$$\text{FQ}(\text{cloro}) = 2.62 \times 0.789 = 2$$

$$\text{FQ}(\text{carbonato}) = 2.18 \times 0.789 = 1.72$$

$$\text{FQ}(\text{silicato}) = 17.5 \times 0.789 = 13.8$$

3.6 Ensayos de Tratamiento a nivel de laboratorio para la determinación correcta que se debe aplicar

El ensayo a nivel de laboratorio para el proceso de floculación, llevado a cabo con el objeto de determinar la dosificación correcta de algunas soluciones que se deben adicionar es el siguiente:

I) Ensayo De Floculación En El Laboratorio Para Encontrar La Dosificación Correcta De Carbonato Que Se Debe Aplicar (Ppm)

✦ Concentración Carbonato = 120 gr./lt = 120 mg/ 1 cm³

Por tanto 1 cm³ de solución de carbonato = 120 mg

Luego 1 cm³ de solución de carbonato en un litro de agua = 120 ppm de carbonato.

Al tomar 5 muestras de 1 litro de agua ácida que entra al laberinto de floculación y agregar diferentes cantidades de solución así:

No 1 ----- 1.2 cm³ = 144 ppm Carbonato

No 2 ----- 1.0 cm³ = 120 ppm Carbonato

No 3 ----- 0.9 cm³ = 108 ppm Carbonato

No 4 ----- 0.7 cm³ = 84 ppm Carbonato

No 5 ----- 0.6 cm³ = 72 ppm Carbonato

Simultáneamente a cada beaker de 1000 cm³ agregar 0.4 cm³ de solución de silicato:

1 cm³ silicato = 15 mg SiO₂ = 15 ppm Silicato

$0.5 \text{ cm}^3 \text{ silicato} = 7.5 \text{ mg SiO}_2 = 7.7 \text{ ppm Silicato}$

$0.4 \text{ cm}^3 \text{ silicato} = 6 \text{ mg SiO}_2 = 6 \text{ ppm Silicato}$

Se agita durante 15 minutos, se observa cual presenta el mejor tamaño y velocidad de asentamiento del floc y se mide el pH óptimo que debe estar entre 6.2 a 6.9.

De acuerdo estos resultados se aplican a la planta las descargas en $\text{cm}^3/5 \text{ seg.}$ de **Carbonato** y **Silicato** según el FQ para cada uno y se comprueba el pH óptimo en la planta.

II) Ensayo De Tratamiento Para Encontrar En El Laboratorio La Dosificación Correcta De Alumbre Y Acido Sulfúrico (ppm)

Partiendo de las siguientes concentraciones:

$1 \text{ cm}^3 \text{ solución alumbre} = 260 \text{ mg. De alumbre}$

$1 \text{ cm}^3 \text{ solución ácido} = 200 \text{ mg. Ácido sulfúrico}$

$1 \text{ cm}^3 \text{ solución alumbre en 1 litro} = 260 \text{ ppm}$

$1 \text{ cm}^3 \text{ solución ácido en un litro} = 200 \text{ ppm}$

Para encontrar las ppm correctas de cada solución, es necesario tomar 5 muestras de 1 litro de agua cruda del río y agregar a cada una las diferentes cantidades así:

No 1 ----- $1,000 \text{ cm}^3 + 0.5 \text{ cm}^3 \text{ solución ácido} = 100 \text{ ppm ácido}$

No 2----- $1,000 \text{ cm}^3 + 0.4 \text{ cm}^3 \text{ solución ácido} = 80 \text{ ppm ácido}$

No 3----- $1,000 \text{ cm}^3 + 0.3 \text{ cm}^3 \text{ solución ácido} = 60 \text{ ppm ácido}$

No 4----- $1,000 \text{ cm}^3 + 0.2 \text{ cm}^3 \text{ solución ácido} = 40 \text{ ppm ácido}$

No 5 ----- $1,000 \text{ cm}^3 + 0.15 \text{ cm}^3 \text{ solución ácido} = 30 \text{ ppm ácido}$

A las mismas muestras agregar la solución de alumbre así:

No 1 -----0.6 cm³ = 156 ppm alumbre

No 2 -----0.5 cm³ = 130 ppm alumbre

No 3 -----0.4 cm³ = 104 ppm alumbre

No 4 -----0.3 cm³ = 78 ppm alumbre

No 5 -----0.2 cm³ = 52 ppm alumbre

Se mide el valor de pH de cada beaker y se selecciona aquel tratamiento que disminuye el pH hasta un valor de 4 a 5.

Si por ejemplo, el beaker No 2 cumple con este rango de pH se aplican en la planta:

a) ppm ácido -----80

b) ppm alumbre -----130

3.7 Análisis químicos de control de la planta (secuencia).

Los análisis químicos que se realizan para el control de proceso son los siguientes:

- a) Turbidez
- b) Color
- c) Hierro
- d) Materia Orgánica al KMnO₄
- e) Cloro Residual
- f) Alcalinidad Total
- g) Dureza Total
- h) Cloruros

- i) Conductividad
- j) pH
- k) Dureza cálcica

Para la secuencia del tratamiento en la planta se deben realizar así:

1. Agua Cruda (En tanque de presurización eductor)

Controles

- a) Turbidez
- b) Color
- c) Hierro
- d) Materia Orgánica
- e) PH
- f) Alcalinidad Total
- g) Ensayo tratabilidad

2. Tanque de igualación y oxidación

Controles:

- a) pH
- b) Cloro Residual
- c) Acidez total
- d) Turbidez
- e) Break-point (cualitativo)

3. Laberinto de Floculación Hidraulica

Controles:

- a) pH
- b) Cloro Residual
- c) Alcalinidad total
- d) Ensayo de sedimentación

4. Salida de módulos de sedimentación (placas)

Controles:

- a) Color
- b) Materia Orgánica
- c) pH
- d) Cloro residual

5. Salida de agua filtrada (Diario)

Controles:

- a) pH (electrométrico)
- b) Materia Orgánica (volumétrico)
- c) Turbidez (turbidimétrico)
- d) Color (colorimétrico)
- e) Hierro soluble (colorimétrico)
- f) Cloruros (volumétrico)
- g) Cloro residual (colorimétrico)
- h) Dureza total (volumétrico)
- i) Conductividad (microhms)
- j) Alcalinidad total (volumétrico)
- k) Dureza cálcica (volumétrico)

Equipo de Laboratorio Requerido

- a) pHmetro
- b) Colorímetro HACH o equivalente (pruebas colimétricos y turbidimétricas)
- c) Conductímetro (conductividad)

3.8 Consumos aproximados de Productos químicos por mes en la planta

A continuación se exponen los consumos aproximados de productos químicos por mes en la planta:

ASUNCIONES

Se toman las siguientes asunciones:

1- $Q = 190 \text{ m}^3/\text{hra}$ -----25 días por mes----24 horas al día

2- Horas por mes = $24 \times 25 = 600$; agua tratada por mes
= $114,000 \text{ m}^3$

3- Tratamiento Seleccionado (El de arranque de planta) a saber:

- a) alumbre ----- 140 ppm
- b) Acido Sulfúrico----- 50 ppm
- c) Cloro----- 8 ppm
- d) Carbonato----- 100 ppm
- e) Silicato----- 6 ppm
- f) Sulfato de Cobre----- 2.7 ppm
- g) Sulfato de amonio----- 2 ppm

4- Resumen de Consumo de los Químicos por mes

El resumen del consumo de los químicos tomando en cuenta las anteriores asunciones se muestra en la tabla 3.3 es:

Tabla 3,3 Resumen del consumo de Productos Quimicos por mes

Productos Químicos	Cantidad/ Mes
Alumbre	16000 kg
Acido Sulfurico	55 canecas de 60 lts a 66 Be
Hipoclorito de Sodio	45 canecas de 55 gal c/u
Carbonato de Sodio	13680 kg
Sulfato de Cobre	342 kg
Sulfato de Amonio	228 kg
Silicato a 42 Be	1368 lts(500 gr/l)

4. Técnicas de Muestreo

Las aguas residuales como de acondicionamiento no tienen una composición fija, es decir, que presentan cambios apreciables en su origen. Entre los factores que afectan este origen se pueden mencionar la precipitación pluvial, que depende de la estación, la temperatura, el tipo de desecho contaminante, la naturaleza propia de cada desecho industrial, etc.

Para que una muestra de agua sea representativa y su análisis sea satisfactorio deben tomarse lo más homogéneamente posible, es decir que debe mantener sus características físicas, químicas, biológicas, etc. del área que se está investigando.

Actualmente en la industria no existe ningún tipo de procedimiento en la toma de muestras que se puede aplicar de manera universal, para lo cual necesita un programa que establezca los puntos de muestreo, cantidad de muestras, frecuencia, técnica, recipiente de muestreo, etc.

4.1 Objetivos del Muestreo

El objetivo principal de un programa de muestreo incluye la determinación de las cantidades de residuos industriales que van a descargarse, la ubicación de las principales fuentes a la entrada, salida y dentro de la planta, la naturaleza de los residuos, el establecimiento de una base para tratarlos, la recuperación potencial de material valioso, el efecto que su descarga produce sobre la corriente receptora, etc.

Todos estos aspectos ayudarán a tener una idea más amplia del tipo de muestra a analizar.

4.2 Muestreo

Las muestras líquidas son clasificadas en dos grupos principales: individuales (instantáneas, locales o aleatorias) y las denominadas compuestas (integradas, continuas). La muestra individual es recolectada de manera manual y consiste en una sola porción de agua que es utilizada para una comprobación momentánea y de gran ayuda para investigar características anormales. Para una detección de variaciones en los constituyentes, se necesita tomar una serie de muestras de este tipo, el volumen de las muestras individuales dependerá de los requisitos del análisis. Para las muestras compuestas, el volumen que se recolecte deberá ser mayor que el que se necesita para la parte proporcional del compuesto. Para evitar errores grandes en la concentración de sólidos suspendidos en las muestras compuestas, éstas deben mantenerse bien mezcladas cuando sean transferidas de un recipiente a otro.

a. Puntos de Muestreo

La localización de los puntos de muestreo para las aguas son los sitios en las que las condiciones de flujo favorecen en una mezcla homogénea. La velocidad del flujo en el punto de muestreo debe ser lo suficiente para evitar el depósito de sólidos. El analista debe tener cuidado al momento de la recolección de las muestras si existiera una condición anormal, como por ejemplo turbulencias, se pueden liberar gases disueltos, y la muestra ya no será representativa.

b. Intervalo de tiempo entre el muestreo y el análisis

Es difícil establecer que el lapso de tiempo debe permitirse entre el muestreo y el análisis; esto dependerá de las características de la muestra, del análisis que se efectúe y de las condiciones de almacenamiento.

Algunos límites máximos sugeridos para realizar análisis en aguas residuales dependen del grado de contaminación de éstas:

Aguas no contaminadas	72 horas
Aguas ligeramente contaminadas	48 horas
Aguas contaminadas	12 horas

Estos análisis pueden ser físicos: (color, olor, pH, temperatura, sólidos, etc.) o bien de índole químico (demanda química de oxígeno, oxígeno disuelto, etc.). Los análisis biológicos como la demanda bioquímica de oxígeno necesitan condiciones especiales.

c. Preparación de envases

Los envases deben estar limpios en su interior y debidamente identificados. La limpieza de los frascos se realiza por medio de enjuague con un buen detergente, o con ácido nítrico diluido; y después de enjuagarlo 2 o 3 veces con el agua a analizar, sino se tiene esto, se deberán lavar los envases numerosas veces con agua limpia y después enjuagarlos con el agua que se va a muestrear. Se deben utilizar envases, que no absorban o cecan iones a la muestra y no sean permeables a los gases eventualmente presentes en el agua.

d. Preservación de la muestra

Resulta difícil una preservación completa de las muestras ya sean aguas naturales, residuos domésticos o industriales. Se han llevado a cabo investigaciones para evitar el problema que se presentan en las muestras de aguas residuales; debido a que pueden sufrir cambios químicos, físicos y biológicos, los cuales pueden afectar los valores de DBO, sólidos suspendidos, etc.

Si se ha de adicionar algún aditivo, para preservar la integridad de la muestra, hay que averiguar que no interfiera con otras determinaciones que se deberán ejecutar en la misma muestra. Pero lo ideal es realizar el análisis inmediatamente, para asegurarse que existirán errores por algún deterioro. En la Tabla 4.1 se muestran los diferentes recipientes empleados para muestreo

Tabla No 4.1

RECIPIENTES PARA MUESTREO PRESERVANTES DE COMPONENTES EN AGUA

Parámetros	Recipientes	Preservantes	Tiempo de Almacenamiento
Aceites y grasas	Vidrio	Enfriar a 4°C 5 ml (1+1) H ₂ SO ₄ por litro	24 horas
Color	Polietileno	Enfriar 4°C	24 horas
DBO	Polietileno	Enfriar 4°C	4 horas
DQO	Polietileno	Enfriar 4°C	24 horas
Fosfato	Vidrio	Enfriar 4°C	24 horas
Oxígeno Disuelto	Vidrio	Determinar in situ. filtrar usando filtro GF/C Enfriar 4°C	6 meses
PH	Polietileno	Ninguno	Preferible tomar de inmediato

Ministerio de Salud, 1996.



5. Características Fisicoquímicas de las agua a la Entrada y Salida de la Planta de Acondicionamiento de agua

El objetivo de este capítulo es el de obtener una aproximación de las condiciones del agua a la entrada y salida de la planta de acondicionamiento de agua para el redimensionamiento de dicha planta. El trabajo experimental se dividió en:

- 1 Puntos de Muestreo
- 2 Toma de muestras
- 3 Identificación de las muestras ensayadas
- 4 Preservación de las muestras
- 5 Metodología de Análisis
- 6 Obtención de Resultados experimentales

Los análisis, de carácter cualitativo como cuantitativo, que se efectúan al afluyente (Río Sucio) a la entrada de la planta de acondicionamiento de agua así como a la salida de la misma para la industria papelera, para diferentes fechas (incluyen estación seca y lluviosa), realizándose un tipo de muestreo individual o puntual, se puede resumir en los siguientes cuadros.

5.1 Metodología del Trabajo Experimental

A continuación se exponen las siguientes etapas que comprenden la metodología del trabajo experimental realizado en este trabajo de graduación:

5.1.1 Puntos de Muestreo

El sitio utilizado para la recolección de las muestras, está ubicado en la entrada a la Planta de acondicionamiento de agua, en la Bocatoma que succiona el agua del Río Sucio y a la salida de la misma.

5.1.2 Toma de Muestras

El muestreo se llevo a cabo en el lapso de cuatro semanas tomando dos muestra diaria en cada punto de muestreo.

Las muestras para analisis fisicos y quimicos se tomaron en un mismo frasco, de preferencia plastico. Los parametros como DBO (Demanda Bioquimica de Oxigeno) y DQO (Demanda Quimica de Oxigeno) necesitan de precauciones especiales en la recoleccion para evitar el arrastre o la disolucion del oxigeno atmosferico.

Las muestras para DBO fueron recolectadas en frascos de vidrio de tapon esmerilado.

5.1.3 Identificacion de las Muestras ensayadas

Las muestras utilizadas en los ensayos experimentales de este trabajo se detallan a continuacion:

Entrada a la Planta de Acondicionamiento de Agua

Muestra No	Fecha de Muestreo	Hora de Muestreo
1	Febrero/2000	8:00 am
2	Marzo/2000	8:30 am
3	Mayo/2000	10:00 am
4	Julio/2000	11:30 am
5	11/Agosto/2000	9:00 am
6	11/agosto/2000	3:00 pm
7	19/Agosto/2000	10:30 am
8	19/Agosto/2000	4:00 pm
9	24/Agosto/2000	9:30 am
10	24/Agosto/2000	2:30 pm
11	7/Septiembre/2000	7:30 am
12	7/Septiembre/2000	5:00 pm

Salida de la Planta de Acondicionamiento de Agua

Muestra No	Fecha de Muestreo	Hora de Muestreo
1	Febrero/2000	2:00 pm
2	Marzo/2000	3:00 pm
3	Mayo/2000	3:30 pm
4	Julio/2000	4:00 pm
5	11/Agosto/2000	10:00 am
6	11/agosto/2000	4:00 pm
7	19/Agosto/2000	11:30 am
8	19/Agosto/2000	5:00 pm
9	24/Agosto/2000	10:30 am
10	24/Agosto/2000	3:30 pm
11	7/Septiembre/2000	8:30 am
12	7/Septiembre/2000	5:30 pm

5.1.4 Preservacion de las Muestras

Se hace difícil la preservación de las muestras, porque la mayoría de los preservantes puede intervenir en algunas pruebas, debido a esto el análisis se realizó lo más pronto posible. Si las muestras no pueden ser analizadas inmediatamente, la mejor manera de preservarlas es el almacenamiento a baja temperatura 4 °C.

5.1.5 Metodología de Analisis

A todas las muestras recolectadas se les realizó los análisis físicos, químicos y biológicos. Las muestras fueron trasladadas al laboratorio y se mantuvieron almacenadas a 4 C hasta el momento de realizar el análisis.

5.1.6 Obtencion de Resultados Experimentales

A continuacion se presentan los resultados obtenidos de los ensayos efectuados con las muestras a la entrada y salida de la planta de acondicionamiento de agua

Fecha de Muestreo : **Febrero/2000**(estación Seca)

Tabla No 5.1 .Características del Afluente antes de entrar a la planta de acondicionamiento de agua

Análisis	Resultado	Incerteza	Expresado como
pH	7.6 (19.6 °C)	±0.0	Unidades
Sólidos Totales	493.0	±21.2	mg/l
Sólidos Suspendidos	57.0	±4.2	mg/l
Sólidos Totales Disueltos	436.0	No aplica	mg/l
Demanda Química de oxígeno	ND	±0.0	mg/l O ₂
Demanda Bioquímica de Oxígeno	ND	±0.0	mg/l O ₂
Conductividad Eléctrica	646.4	±0.0	mmhos/ cm
Alcalinidad Total	219.3	±0.0	mg/l CaCO ₃
Carbonatos	ND	No aplica	mg/l CaCO ₃
Bicarbonatos	219.3	No aplica	mg/l CaCO ₃
Calcio	103.3	±0.0	mg/l CaCO ₃
Magnesio	110.0	No aplica	mg/l CaCO ₃
Dureza Total	213.3	±5.8	mg/l CaCO ₃
Hierro	0.114	±0.001	mg/l Fe
Manganeso	0.183	±0.002	mg/l Mn
Nitratos	9.0	±0.0	mg/l NO ₃ ⁻
Nitritos	0.123	±0.009	mg/l NO ₂ ⁻
Cloruros	42.4	±0.17	mg/l Cl ⁻

Nota : ND = No detectable

Apariencia de la Muestra: clara y poco sedimento

Fecha de Muestreo: **Febrero/2000**

Tabla No 5.2 Características del efluente medido a la salida de la planta de acondicionamiento de agua, utilizada para procesos industriales

Análisis	Resultado	Incerteza	Expresado como
pH	7.6 (19.7 °C)	±0.0	Unidades
Sólidos Totales	455.0	±1.4	mg/l
Sólidos Suspendidos	12.0	±0.0	mg/l
Sólidos Totales Disueltos	443.0	No aplica	mg/l
Demanda Química de oxígeno	ND	±0.0	mg/l O ₂
Demanda Bioquímica de Oxígeno	ND	±0.0	mg/l O ₂
Conductividad Eléctrica	658.8	±2.38	mmhos/ cm
Alcalinidad Total	198.9	±0.0	mg/l CaCO ₃
Carbonatos	ND	No aplica	mg/l CaCO ₃
Bicarbonatos	198.9	No aplica	mg/l CaCO ₃
Calcio	103.3	±0.0	mg/l CaCO ₃
Magnesio	114.1	No aplica	mg/l CaCO ₃
Dureza Total	217.4	±0.0	mg/l CaCO ₃
Hierro	0.050	±0.0008	mg/l Fe
Manganeso	0.179	±0.003	mg/l Mn
Nitratos	8.8	±0.0	mg/l NO ₃ -
Nitritos	0.16	±0.0	mg/l NO ₂ -
Cloruros	47.8	±0.17	mg/l Cl-

Nota : ND = No detectable

Apariencia de la Muestra : clara y poco sedimento

Fecha de muestreo : **Marzo/2000**

Tabla No 5.3 .Características del Afluente antes de entrar a la planta de acondicionamiento de agua

Análisis	Resultado	Incerteza	Expresado como
pH	7.68	±0.0	Unidades
Sólidos Totales	544	±1.4	mg/l
Sólidos Suspendidos	30	±0.0	mg/l
Sólidos Totales Disueltos	524	No aplica	mg/l
Demanda Química de oxígeno	22.2	±0.0	mg/l O ₂
Demanda Bioquímica de Oxígeno	1.2	±0.0	mg/l O ₂
Conductividad Eléctrica	665	±2.38	mmhos/ cm
Alcalinidad Total	296.02	±0.0	mg/l CaCO ₃
Carbonatos	177.63	No aplica	mg/l CaCO ₃
Bicarbonatos	177.63	No aplica	mg/l CaCO ₃
Calcio	39.31	±0.0	mg/l CaCO ₃
Magnesio	26.67	No aplica	mg/l CaCO ₃
Dureza Total	212.33	±0.0	mg/l CaCO ₃
Hierro	ND	±0.0008	mg/l Fe
Manganeso	0.02	±0.003	mg/l Mn
Nitratos	8.01	±0.0	mg/l NO ₃ ⁻
Nitritos	0.11	±0.0	mg/l NO ₂ ⁻
Cloruros	38.9	±0.17	mg/l Cl ⁻

Nota : ND = No detectable

Apariencia de la muestra : Clara y ligeros sólidos sedimentados

Fecha: **Marzo/2000**

Tabla No 5.4 .Características del efluente medido a la salida de la planta de acondicionamiento de agua usada para procesos industriales

Análisis	Resultado	Incerteza	Expresado como
pH	7.59	±0.0	Unidades
Sólidos Totales	516.0	±1.4	mg/l
Sólidos Suspendidos	8.0	±0.0	mg/l
Sólidos Totales Disueltos	508	No aplica	mg/l
Demanda Química de oxígeno	22.2	±0.0	mg/l O ₂
Demanda Bioquímica de Oxígeno	ND	±0.0	mg/l O ₂
Conductividad Eléctrica	701.1	±2.38	mmhos/ cm
Alcalinidad Total	181.5	±0.0	mg/l CaCO ₃
Carbonatos	ND	No aplica	mg/l CaCO ₃
Bicarbonatos	176.8	No aplica	mg /l CaCO ₃
Calcio	100.9	±0.0	mg/l CaCO ₃
Magnesio	105.8	No aplica	mg/l CaCO ₃
Dureza Total	221.8	±0.0	mg/l CaCO ₃
Hierro	0.064	±0.0008	mg/l Fe
Manganeso	0.156	±0.003	mg/l Mn
Nitratos	8.1	±0.0	mg/l NO ₃ -
Nitritos	0.145	±0.0	mg/l NO ₂ -
Cloruros	50.9	±0.17	mg/l Cl-

Nota : ND = No detectable

Apariencia de la muestra : Clara y ligeros sólidos sedimentados

Fecha: **Mayo/2000**

Tabla No 5.5 ..*Características del Afluente antes de entrar a la planta de acondicionamiento de agua*

Análisis	Resultado	Incerteza	Expresado como
Sólidos Totales	608.0	±5.7	mg/l
Sólidos Totales Disueltos	566.0	No aplica	mg/l
Demanda Química de Oxígeno	21.9	±0.0	mg/l O ₂
Demanda Bioquímica de Oxígeno	ND	±0.0	mg/l O ₂

Nota : ND = No detectable

Apariencia de la muestra : Clara y muy pocos sólidos sedimentados

Fecha: **Mayo/2000**

Tabla No 5.6. *Características del efluente medido a la salida de la planta de acondicionamiento de agua usada para procesos industriales*

Análisis	Resultado	Incerteza	Expresado como
Sólidos Totales	579.0	±4.2	mg/l
Sólidos Totales Disueltos	569.5	No aplica	mg/l
Demanda Química de Oxígeno	21.9	±0.0	mg/l O ₂
Demanda Bioquímica de Oxígeno	ND	±0.0	mg/l O ₂

Nota : ND = No detectable

Apariencia de la muestra : Clara y muy pocos sólidos sedimentados

Fecha de muestreo : Julio/2000

Tabla No 5.7 ..Características del Afluente antes de entrar a la planta de acondicionamiento de agua

Análisis	Resultado	Incerteza	Expresado como
pH	7.67	±0.0	Unidades
Sólidos Totales	688.5	±1.4	mg/l
Sólidos Suspendidos	158.5	±0.0	mg/l
Sólidos Totales Disueltos	-	No aplica	mg/l
Demanda Química de oxígeno	12.05	±0.0	mg/l O ₂
Demanda Bioquímica de Oxígeno	-	±0.0	mg/l O ₂
Conductividad Eléctrica	740	±2.38	mmhos/ cm
Alcalinidad Total	-	±0.0	m mg/l CaCO ₃
Carbonatos	-	No aplica	mg/l CaCO ₃
Bicarbonatos	-	No aplica	mg/l CaCO ₃
Calcio	-	±0.0	mg/l CaCO ₃
Magnesio	-	No aplica	mg/l CaCO ₃
Dureza Total	231.06	±0.0	mg/l CaCO ₃
Hierro	-	±0.0008	mg/l Fe
Manganeso	-	±0.003	mg/l Mn
Cadmio	-	±5	mg/L
Cromo	-	±0.05	mg/L
Plomo	-	±10	mg/L
Turbidez	41.3	±5	UTN

Nota : ND = No detectable

Fecha de muestreo : **Julio/2000**

Tabla No 5.8 .Características del efluente a la salida de la planta de acondicionamiento de agua

Análisis	Resultado	Incerteza	Expresado como
pH	7.57	±0.0	Unidades
Sólidos Suspendidos	6.8	±0.0	mg/l
Sólidos Totales Disueltos	586.3	No aplica	mg/l
Demanda Química de oxígeno	22.6	±0.0	mg/l O ₂
Demanda Bioquímica de Oxígeno	ND	±0.0	mg/l O ₂
Conductividad Eléctrica	686.1	±2.38	mmhos/ cm
Alcalinidad Total	-	±0.0	mg/l CaCO ₃
Carbonatos	-	No aplica	mg/l CaCO ₃
Bicarbonatos	-	No aplica	mg/l CaCO ₃
Calcio	-	±0.0	mg/l CaCO ₃
Magnesio	-	No aplica	mg/l CaCO ₃
Dureza Total	223.3	±0.0	mg/l CaCO ₃
Hierro	-	±0.0008	mg/l Fe
Manganeso	-	±0.003	mg/l Mn
Cadmio	-	±5	mg/L
Cromo	-	±0.05	mg/L
Plomo	-	-±10	mg/L
Turbidez	-	±5	UTN

Nota : ND = No detectable

5.2 Resultados y Discusion de Resultados Experimentales

A continuación se muestran los resultados experimentales obtenidos en el muestreo realizado en el afluente así como a la salida del mismo.

5.2.1 Resultados Experimentales

Los análisis , de carácter cualitativo como cuantitativo, que se efectúan al afluente (Río Sucio) a la entrada de la planta de acondicionamiento de agua así como a la salida de la misma para la industria papelera, para diferentes fechas (incluyen estación seca y lluviosa) , realizándose un tipo de muestreo individual o puntual, se puede resumir en los siguientes gráficos.

GRAFICO 5.1.
Sólidos Disueltos a la Entrada de la Planta de Acondicionamiento de agua

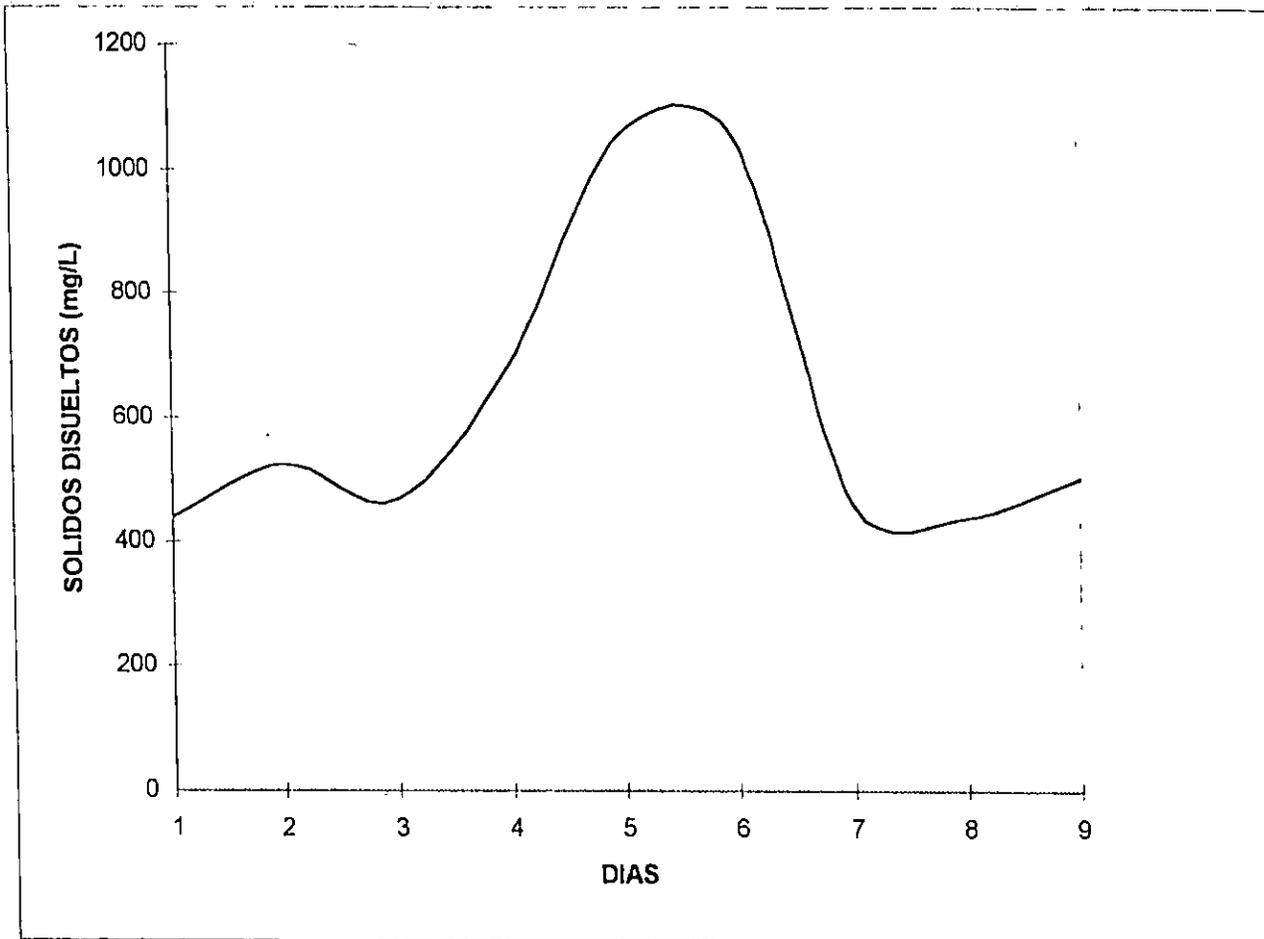


GRAFICO 5.2
Sólidos Suspendidos a la Entrada de la Planta de Acondicionamiento de Agua

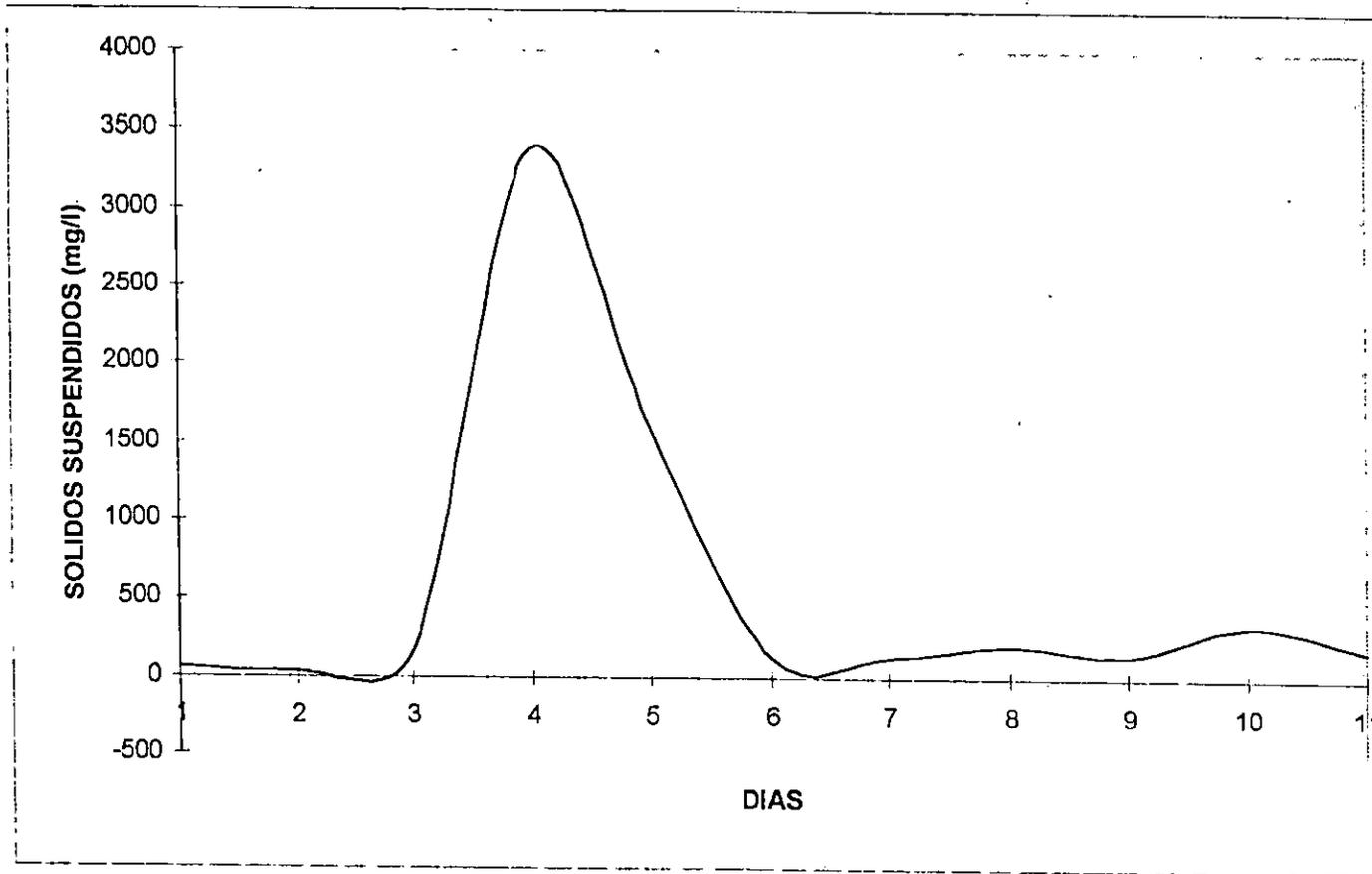


GRAFICO 5.3
PH a la Entrada de La Planta de Acondicionamiento de Agua

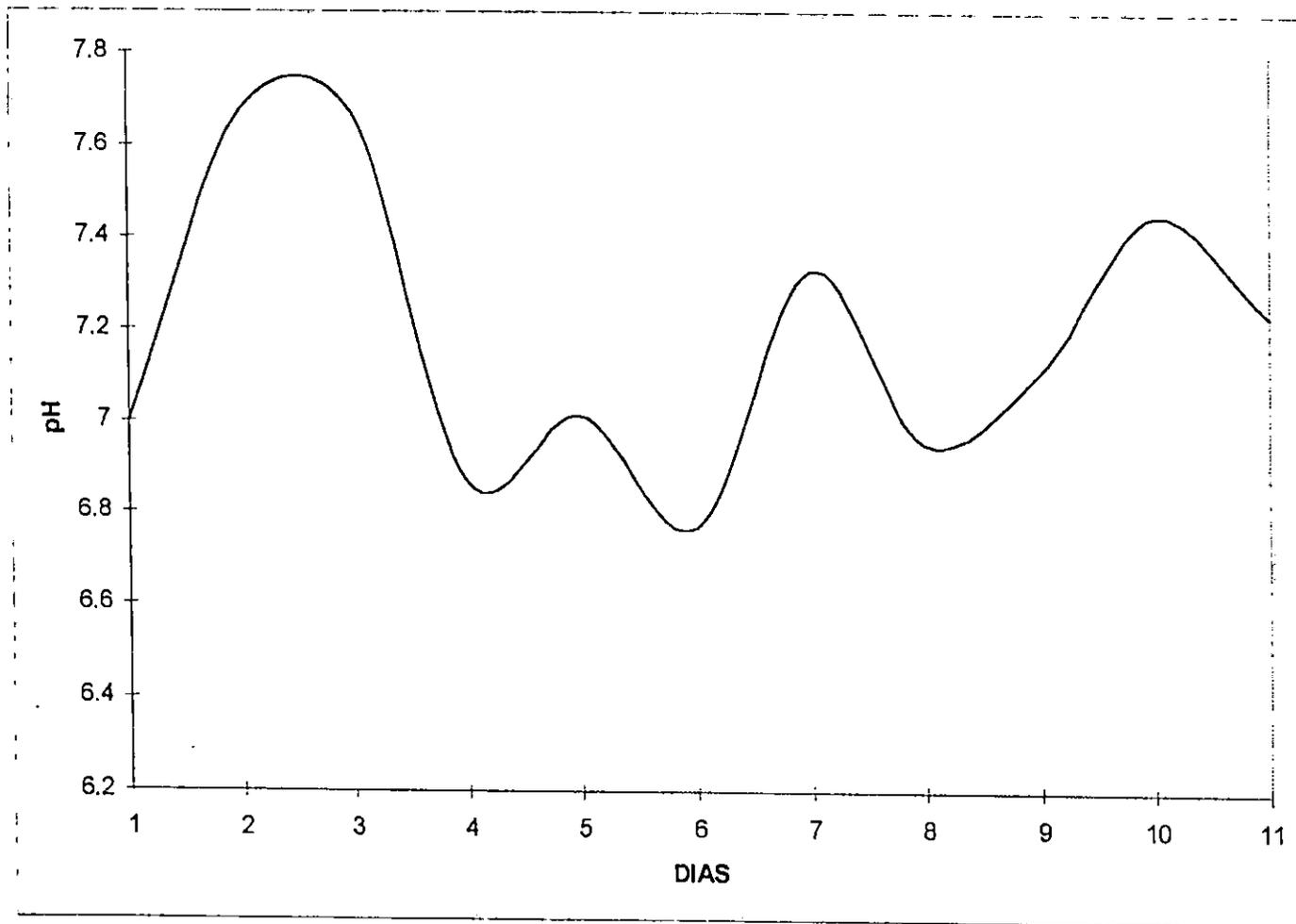


GRAFICO.5.4
Dureza Total a la Entrada de la Planta de Acondicionamiento de Agua

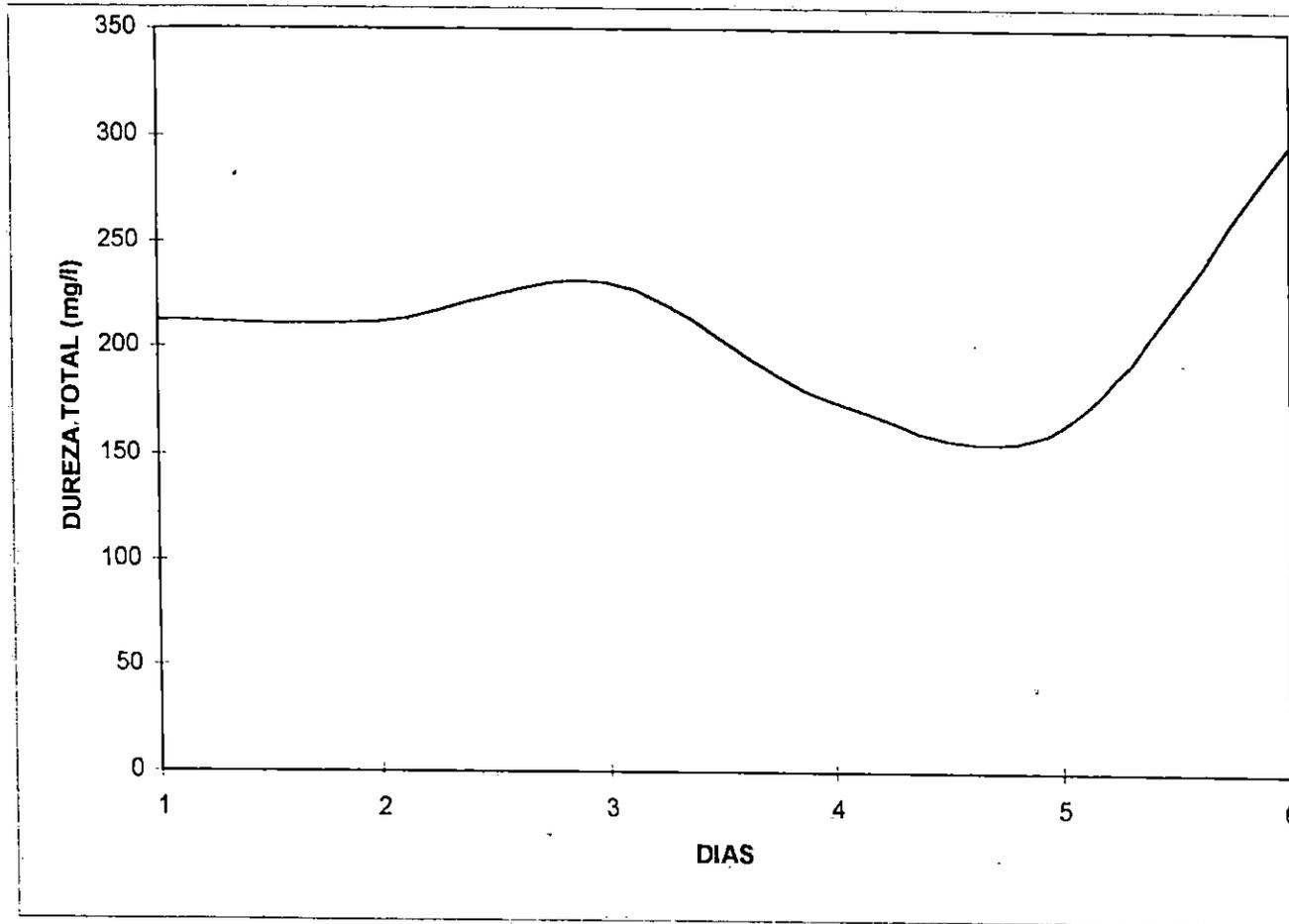


GRAFICO 5.5
DBO a la Entrada de la Planta de Acondicionamiento de Agua

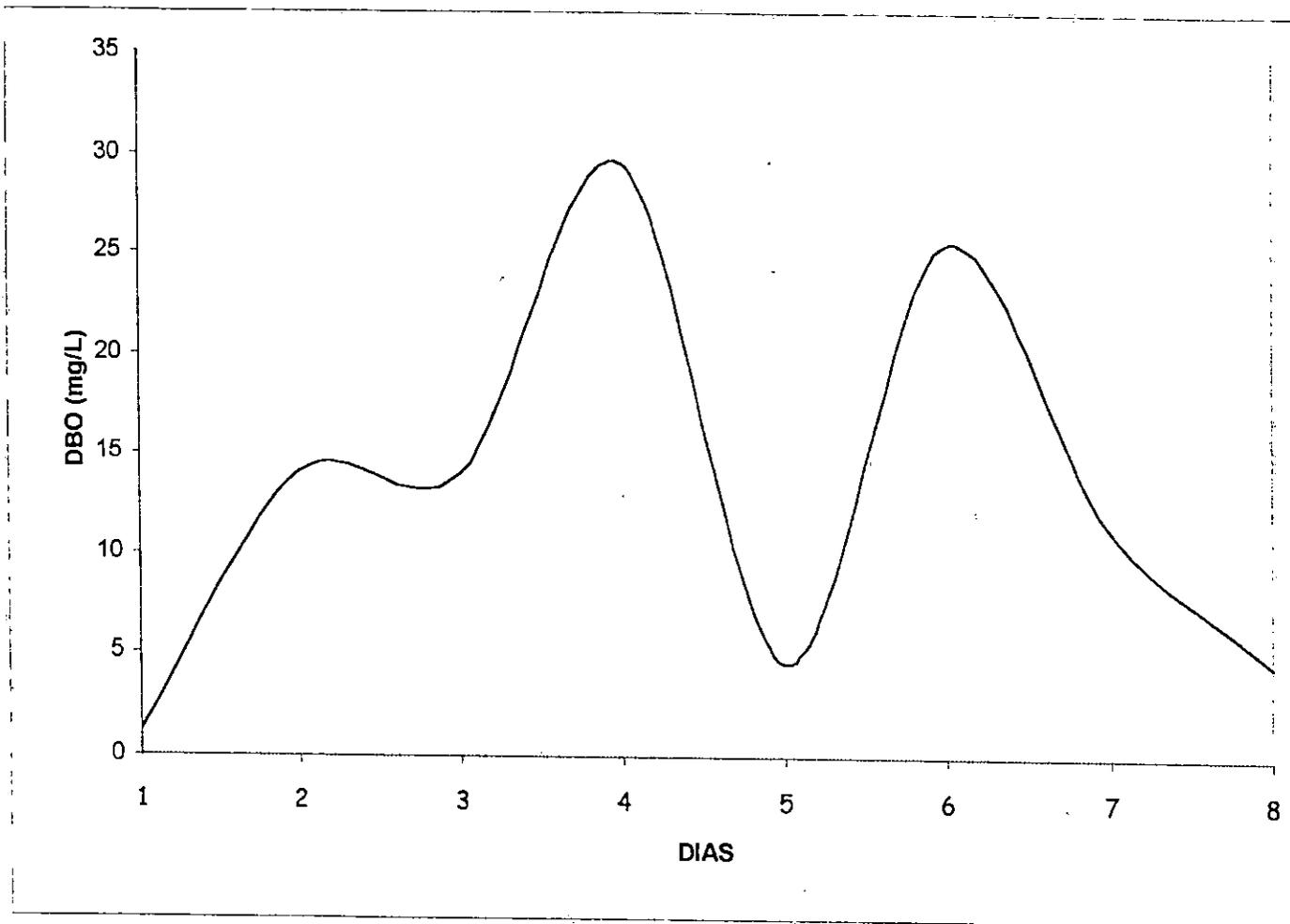


GRAFICO 5.6
DQO a la Entrada de la Planta de Acondicionamiento de Agua

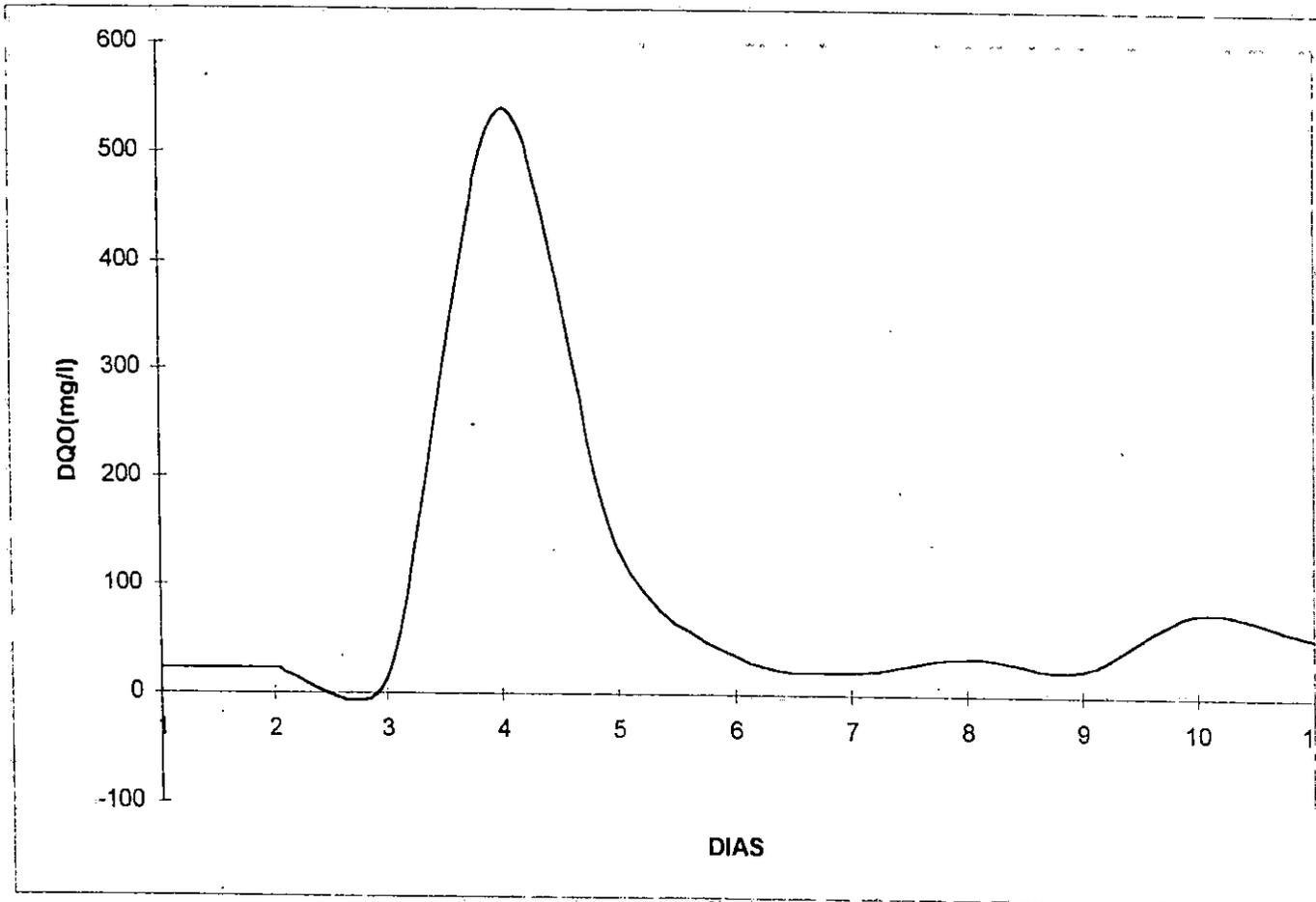


GRAFICO 5.7
Turbidez a la Entrada de la Planta de Acondicionamiento de Agua

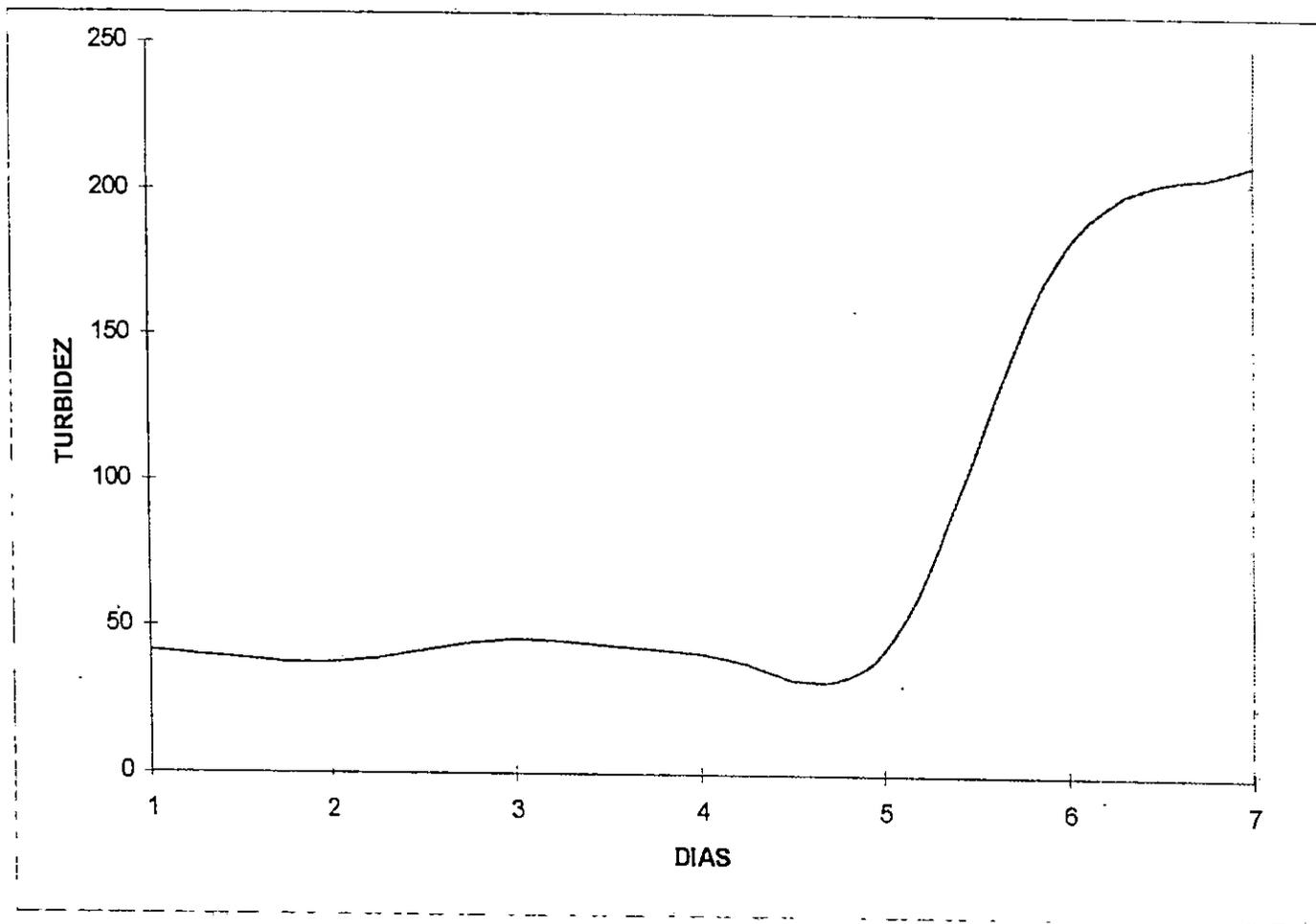


GRAFICO 5.8
Sólidos Disueltos a la Salida de la Planta de Acondicionamiento de Agua

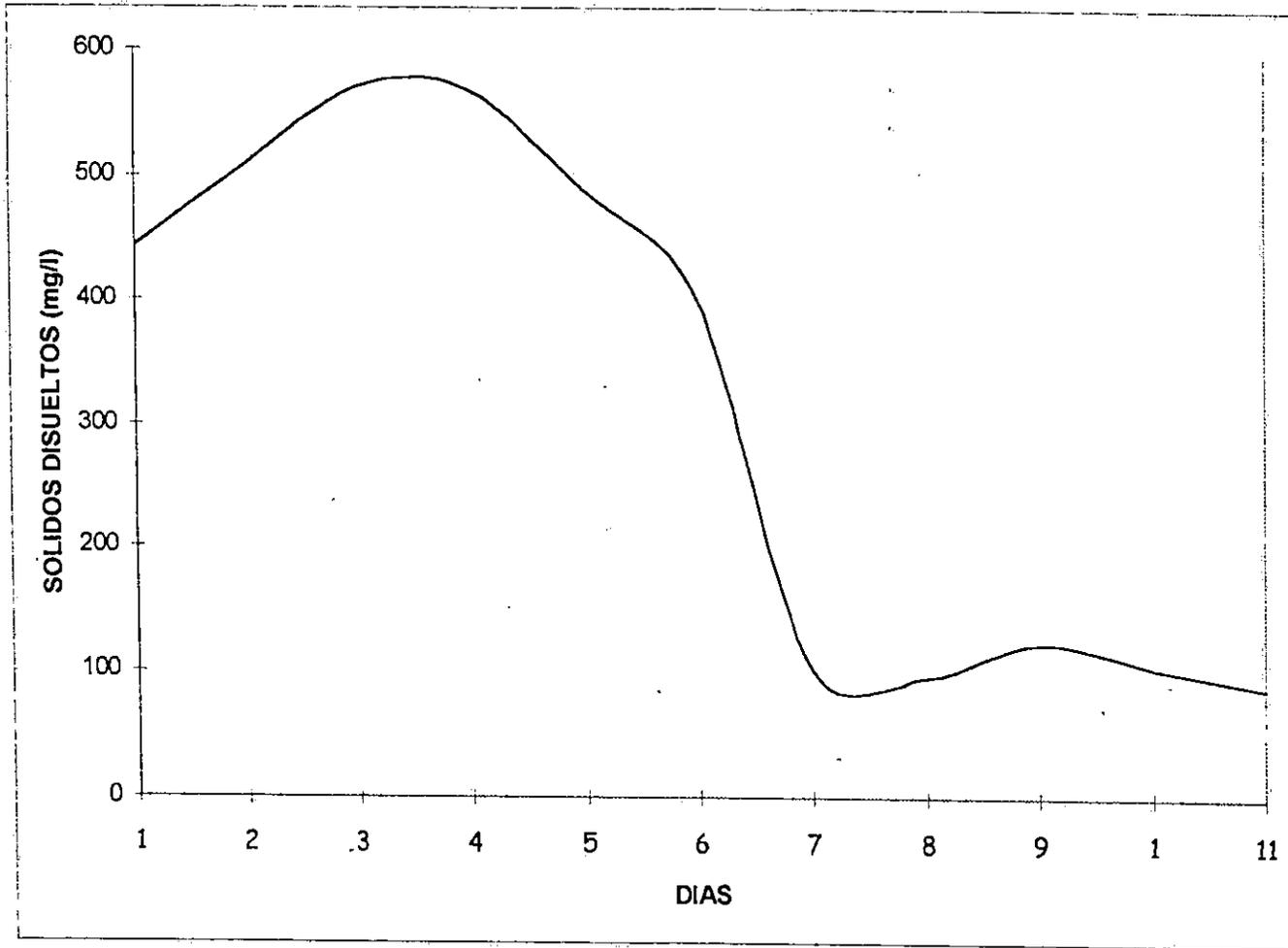


GRAFICO 5.9
Sólidos Suspendidos a la Salida de la Planta de Acondicionamiento de Agua

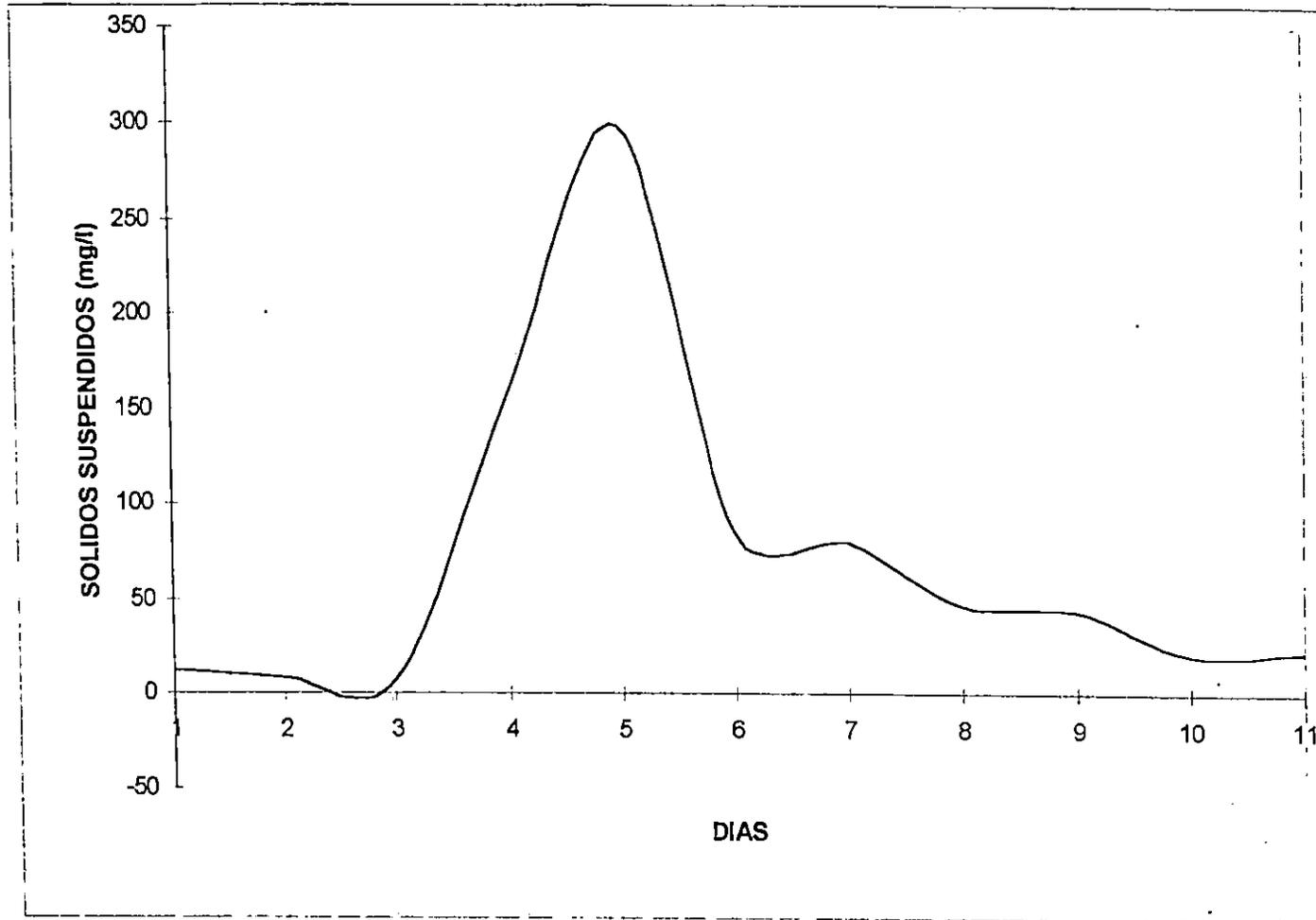


GRAFICO 5.10
pH a la Salida de la Planta de Acondicionamiento de Agua

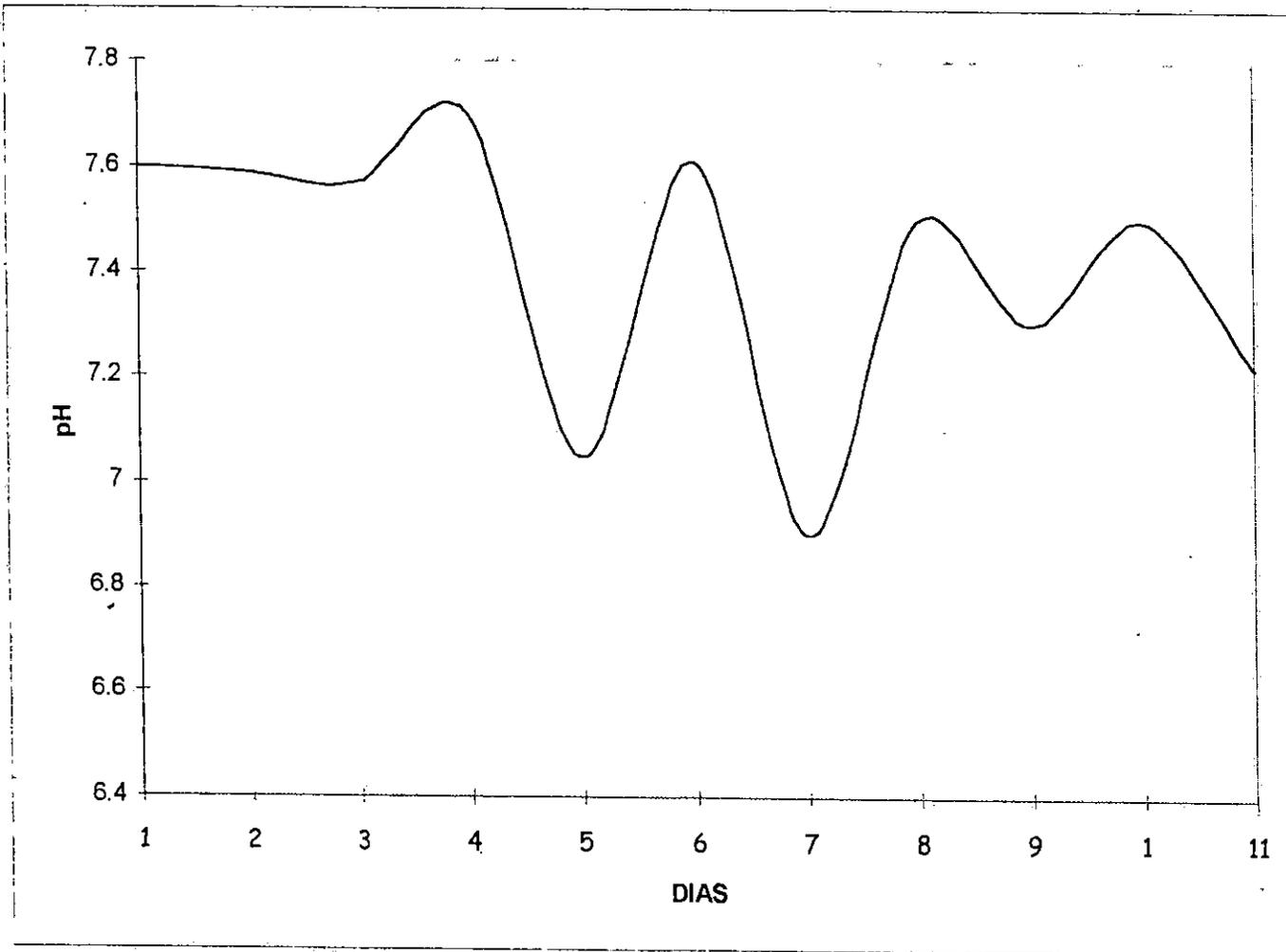


GRAFICO 5.11
Dureza Total a la Salida de la Planta de Acondicionamiento de Agua

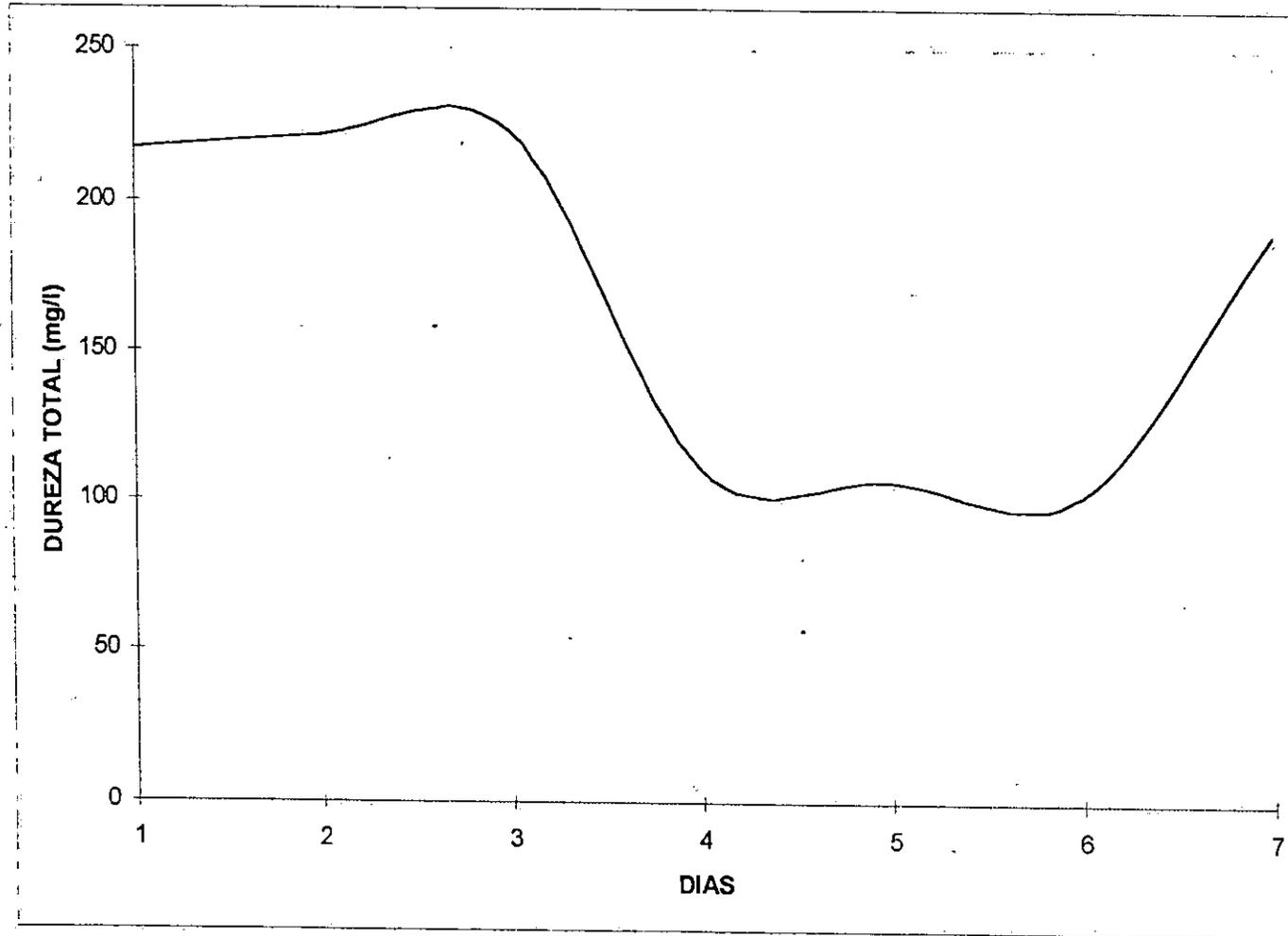


GRAFICO 5.12
DBO a la Salida de la Planta de Acondicionamiento de agua

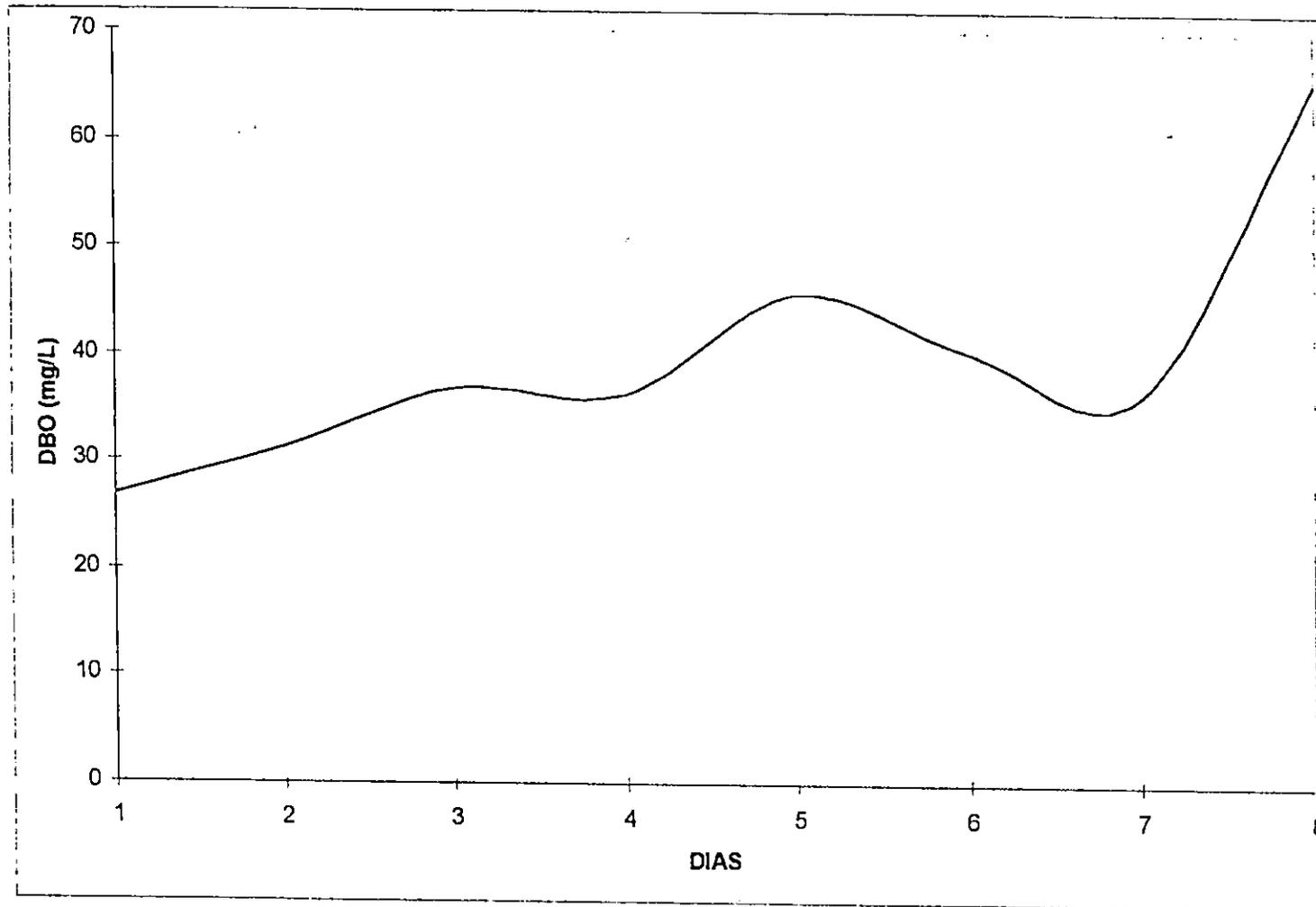
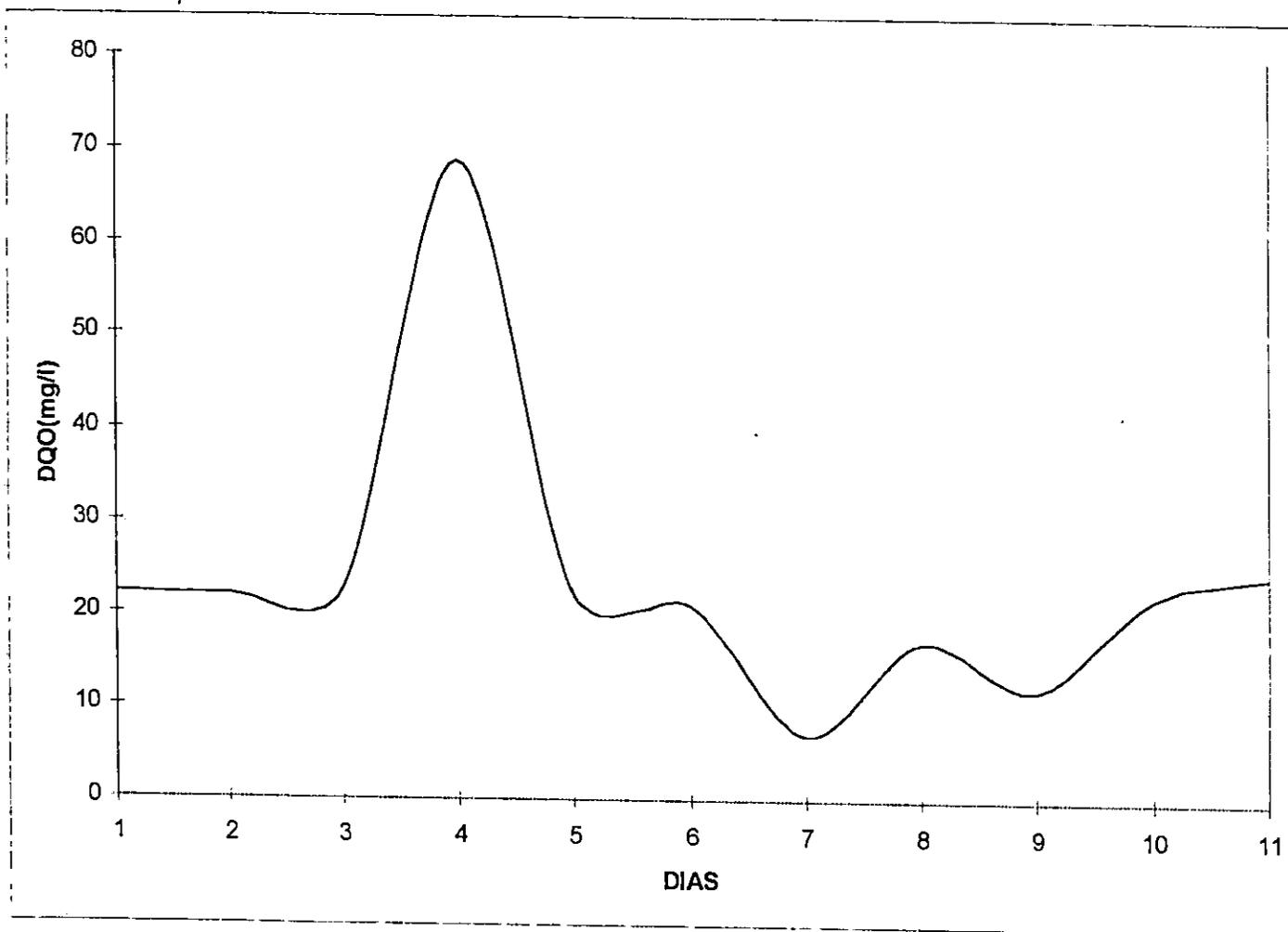


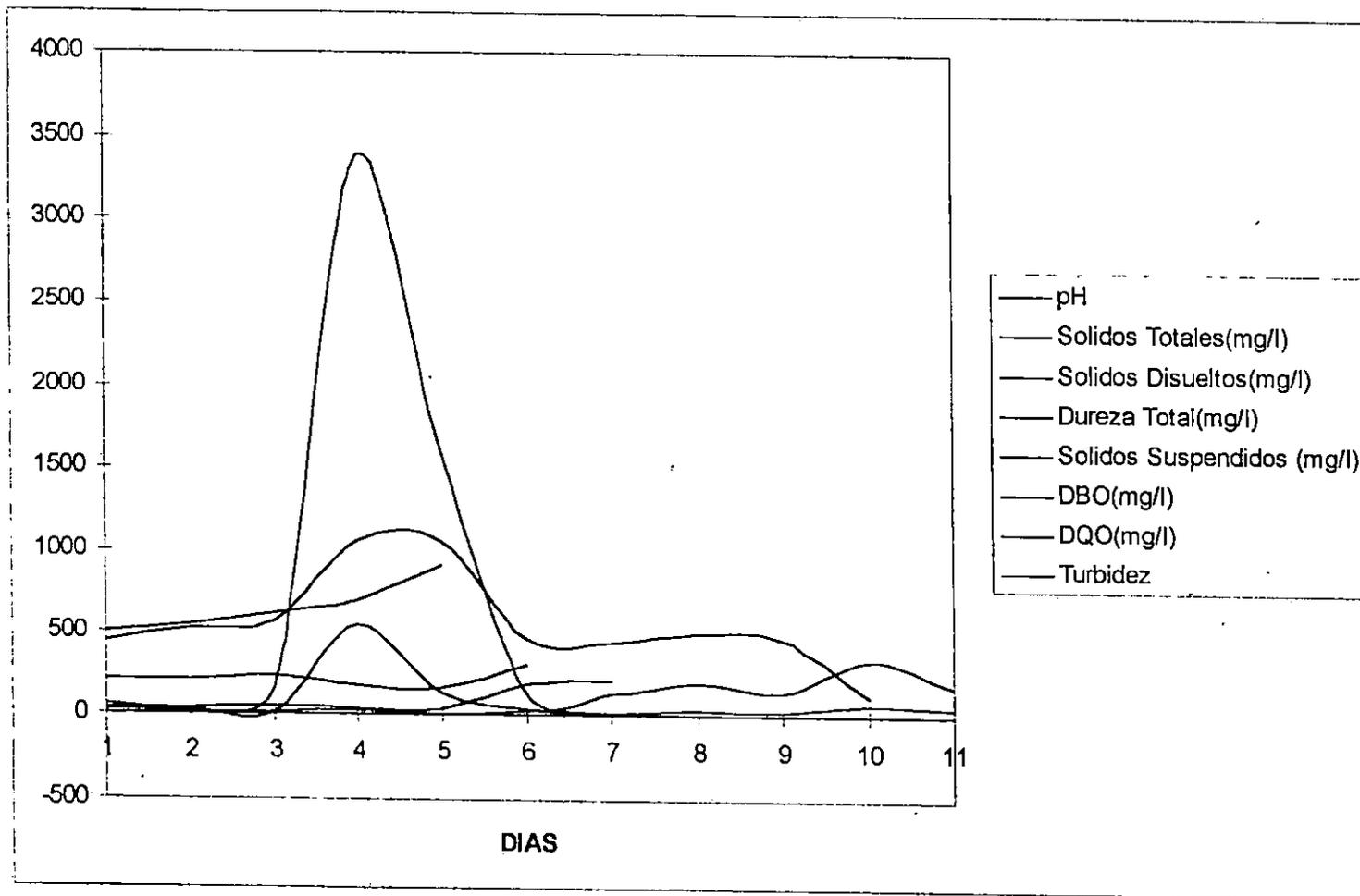
GRAFICO 5.13
DQO a la Salida de la Planta de Acondicionamiento de Agua



Cuadro 5.1
Cuadro Resumen de Datos a la Entrada de la Planta de Acondicionamiento de Agua

Fecha	PH	Solidos Totales (mg/l)	Solidos Disueltos (mg/l)	Dureza Total (mg/l)	Solidos Suspendidos (mg/l)	DBO (mg/l)	DQO (mg/l)	Turbidez
02/00	7.0	493	436	213.3	57	ND	ND	-
03/00	7.68	544	524	212.33	30	1.2	22.2	-
05/00	-	608	566	-	-	-	21.9	-
07/00	7.67	688.5	-	231.06	158.5	ND	12.05	41.3
11/08/00	6.87	-	1059	174.86	3367.5	14.11	538.46	-
11/08/00	7.01	-	1054	163.33	1610	13.96	135.34	-
19/08/00	6.77	-	460.5	-	131	29.57	36.29	37.4
19/08/00	7.33	-	438	-	132	4.61	20.16	45.4
24/08/00	6.95	-	501.1	-	201	25.46	33.58	40.8
24/08/00	7.11	-	466	-	138	11.32	23.45	42
7/09/00	7.45	-	-	297.84	337.5	-	77.22	181.7
7/09/00	7.23	909	119	-	178.5	5.89	54.63	210.3
No Datos	11	5	10	6	11	8	11	7
Media	7.19	648.5	562.4	215.5	576.4	13.3	88.7	85.6

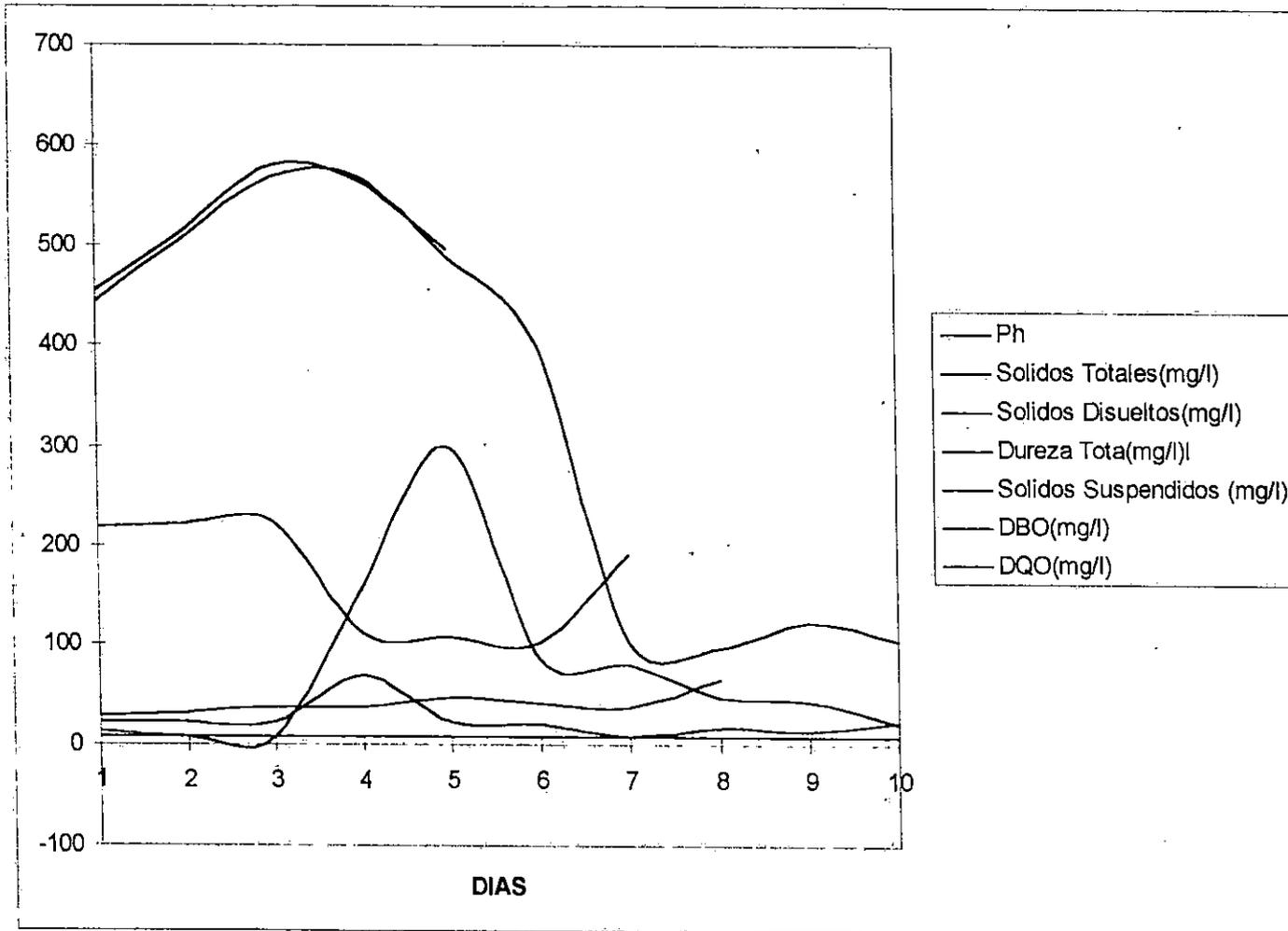
GRAFICO 5.14
Entrada a la Planta de Acondicionamiento de Agua



Cuadro 5.2
Cuadro Resumen de Datos a la Salida de la Planta de acondicionamiento de Agua

Fecha	Ph	Solidos Totales (mg/l)	Solidos Disueltos (mg/l)	Dureza Total (mg/l)	Solidos Suspendedos (mg/l)	DBO (mg/l)	DQO (mg/l)	Turbidez
02/00	7.6	455	443	217.4	12	-	ND	-
03/00	7.59	516	508	221.8	8	-	22.2	-
05/00	-	579	569.5	-	-	-	21.9	-
07/00	7.57	566	568.3	223.3	6.8	-	22.6	-
11/08/00	7.7	-	489	110.6	156.8	26.8	68.9	-
11/08/00	7.05	-	401	106.8	298.6	31.3	22.23	-
19/08/00	7.61	-	101.1	-	85	36.8	20.96	-
19/08/00	6.9	-	96	101.9	80	36.27	6.96	-
24/08/00	7.5	-	122.6	-	46	45.6	16.85	-
24/08/00	7.3	-	103.7	-	43	40.3	11.78	-
7/09/00	7.5	496	-	189.7	20	36.29	21.99	-
7/09/00	7.22	-	88	-	22	65.3	24.33	-
No Datos	11	5	11	7	11	8	11	0
Media	7.41	522.4	317.3	167.3	70.7	39.8	23.7	

GRAFICO 5.15
Salida de la Planta de Acondicionamiento de Agua



Cuadro 5.3

Cuadro Resumen de Analisis a la Entrada y Salida de la Planta de Acondicionamiento de Agua

<i>Lugar de Muestreo</i>	<i>PH</i>	<i>Solidos Totales (mg/l)</i>	<i>Solidos Disueltos (mg/l)</i>	<i>Dureza Total (mg/l)</i>	<i>Solidos Suspendedos (mg/l)</i>	<i>DBO (mg/l)</i>	<i>DQO (mg/l)</i>	<i>Turbidez</i>
Entrada	7.19	648.5	562.4	215.5	576.4	13.3	88.7	85.6
Salida	7.41	522.4	317.3	167.3	70.7	39.8	23.7	

GRAFICO 5.16
Resultados del % Remoción Vrs Sólidos Disueltos

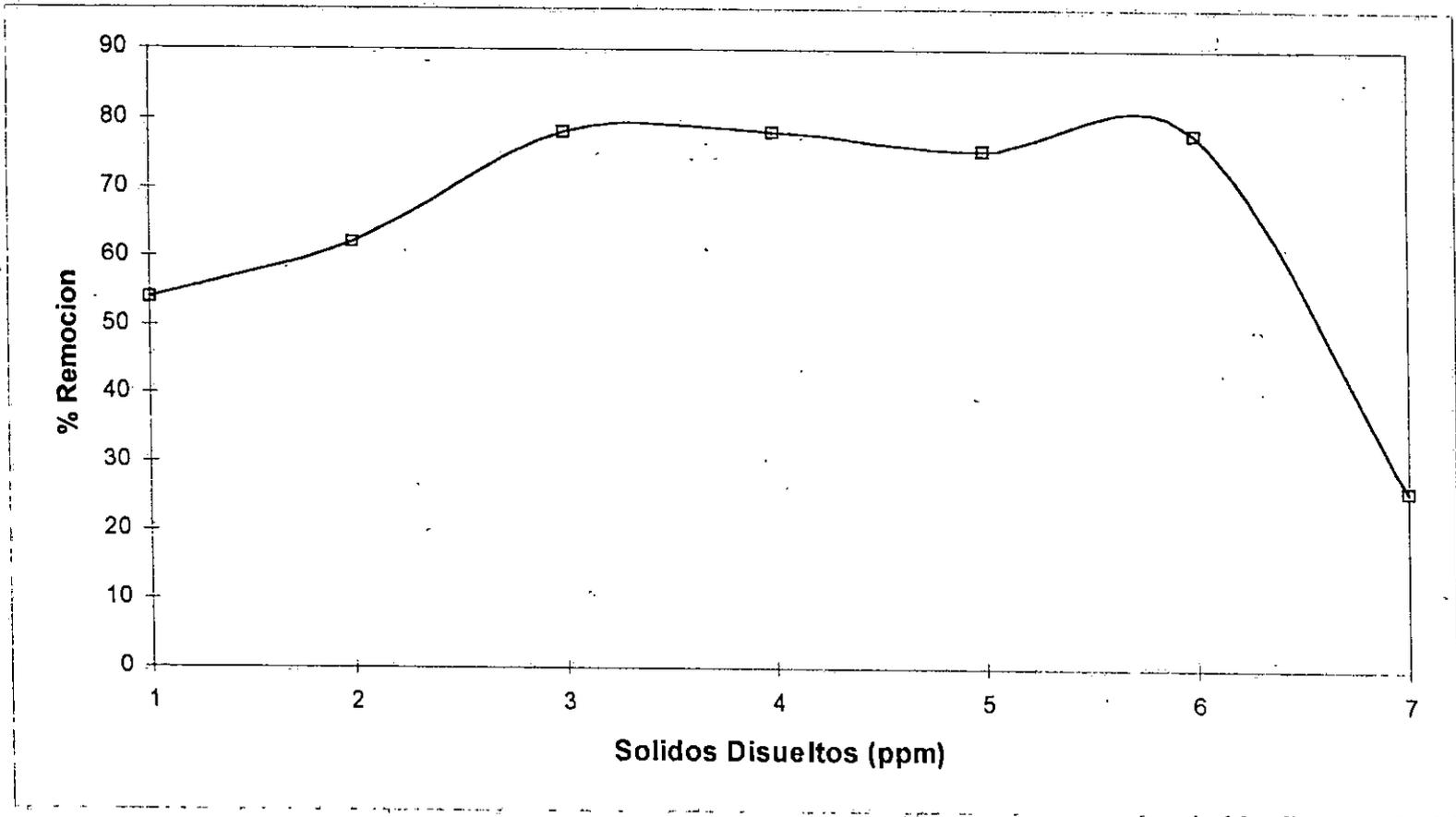


GRAFICO 5.17
Resultados del % Remoción Vrs Sólidos Suspendidos

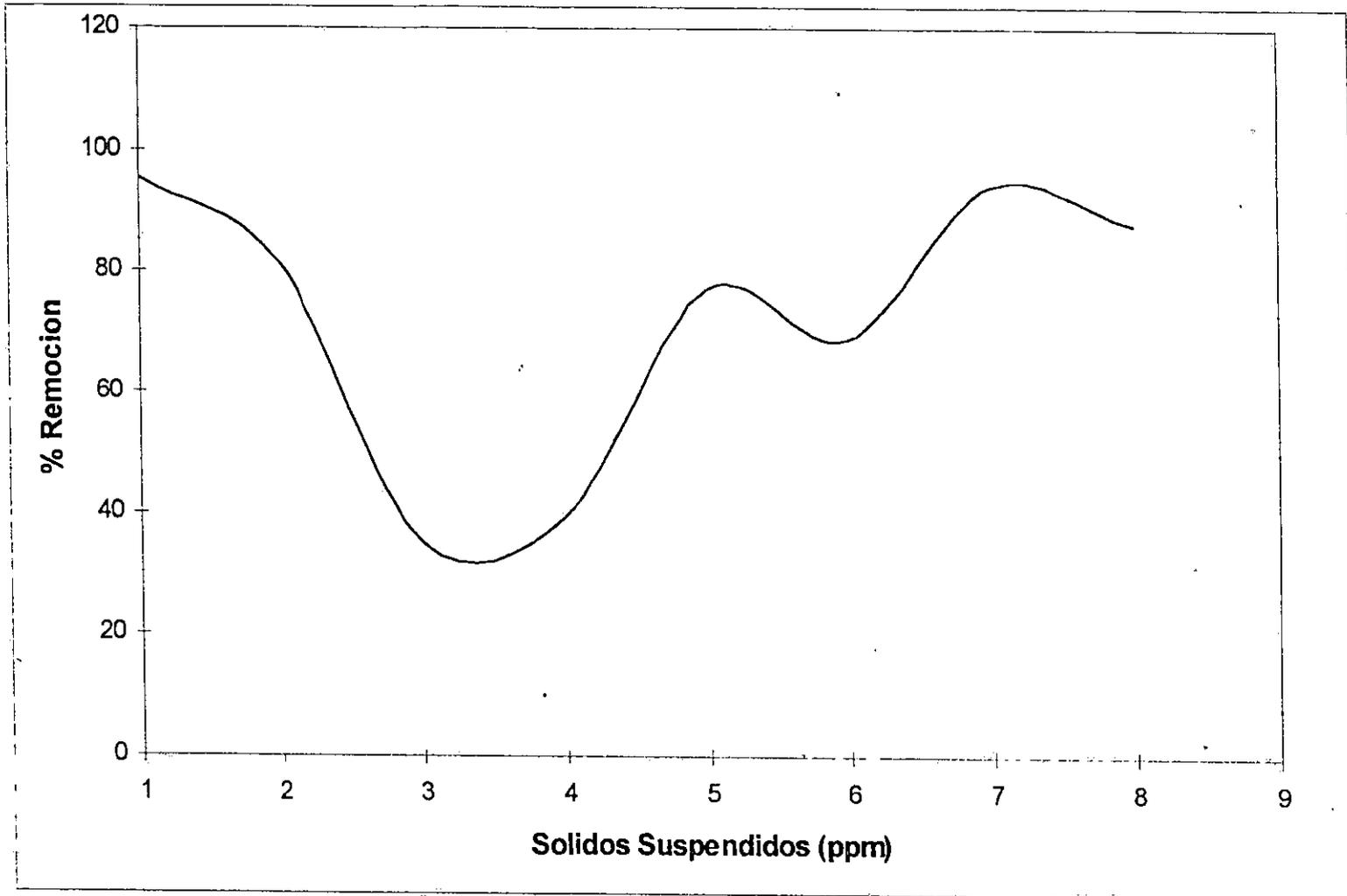


GRAFICO 5.18
Resultados del % Remoción Vrs Dureza Total

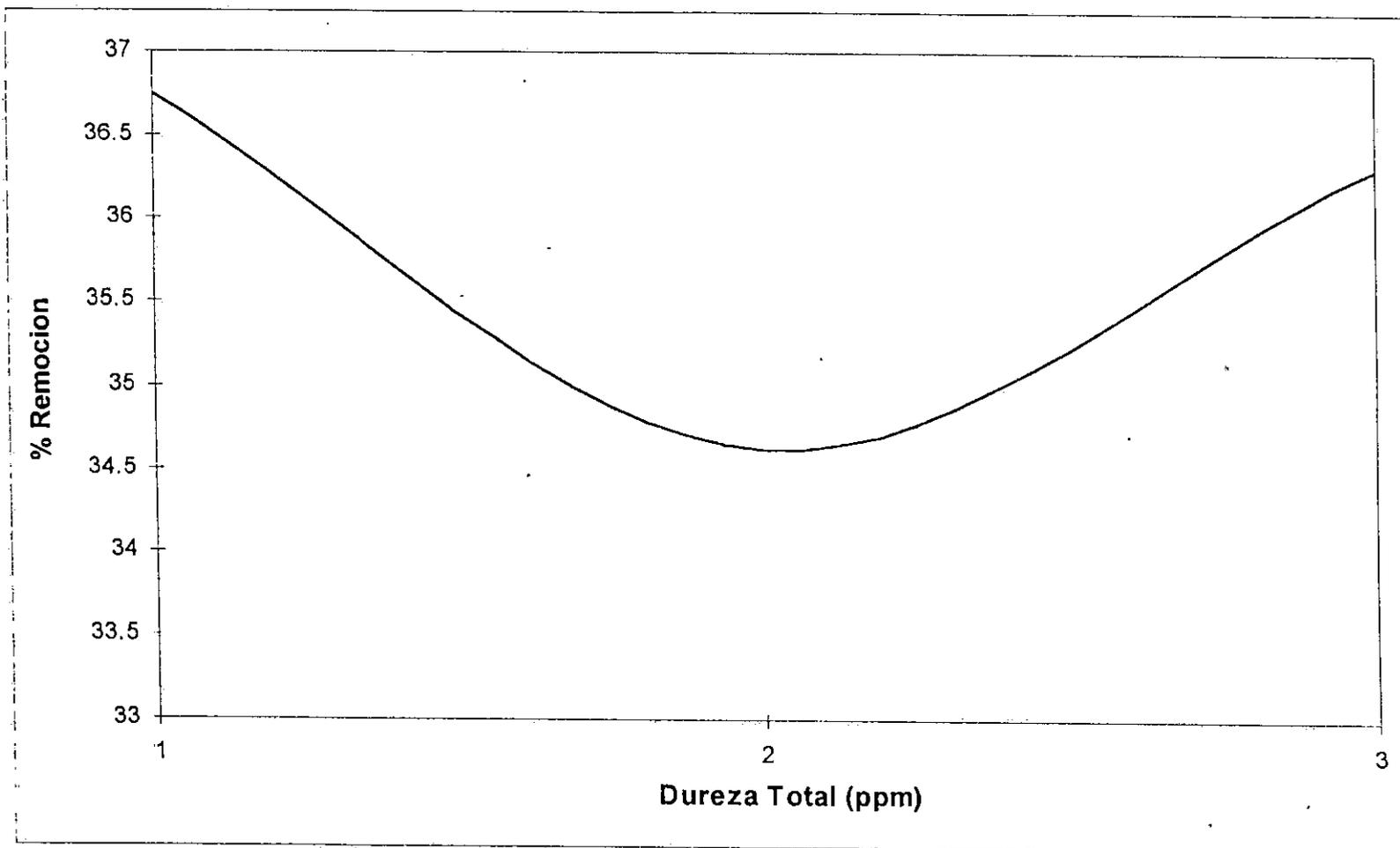


GRAFICO 5.19
Comparación entre DBO y DQO a la Entrada de la Planta de Acondicionamiento de Agua

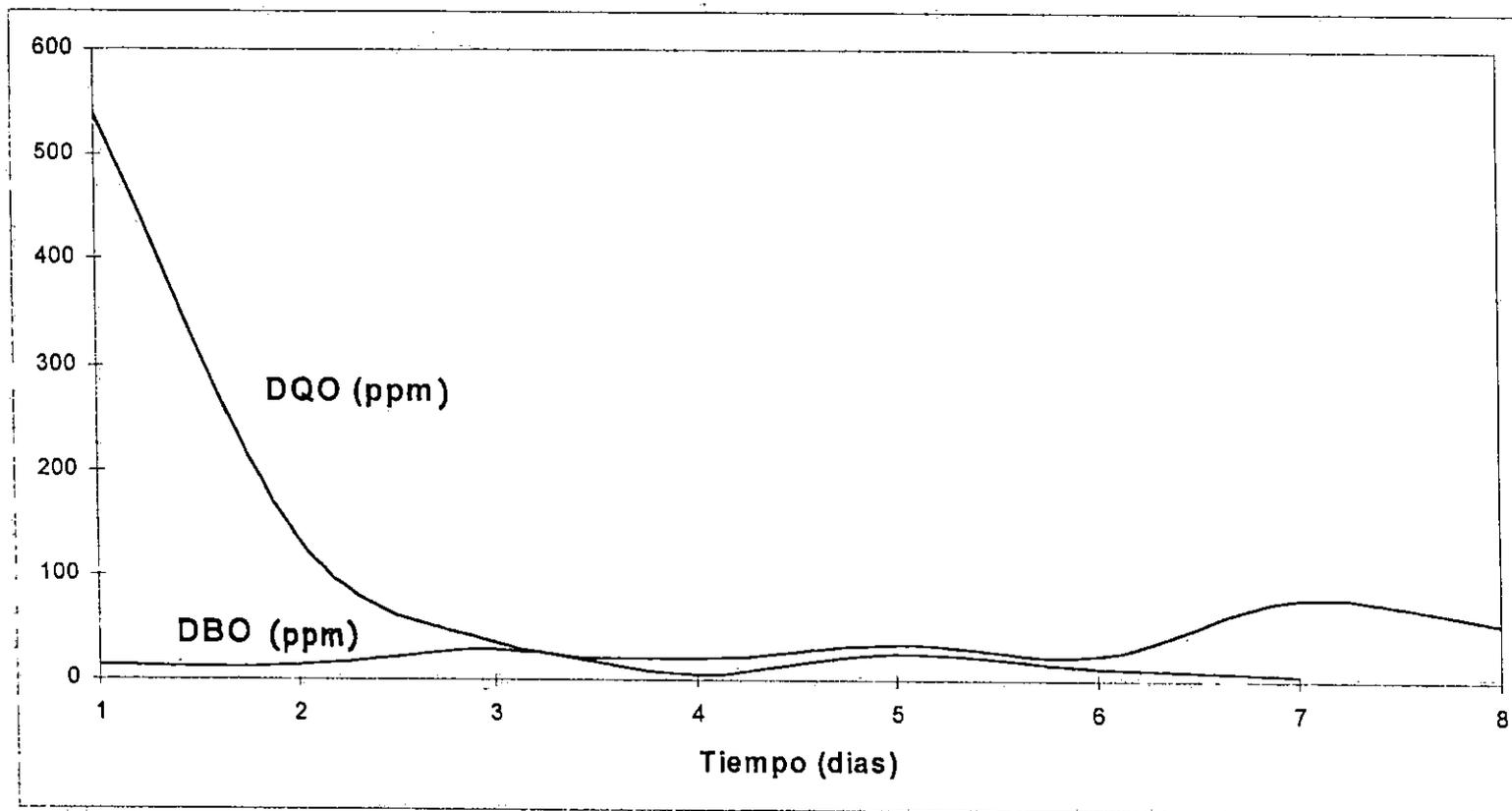
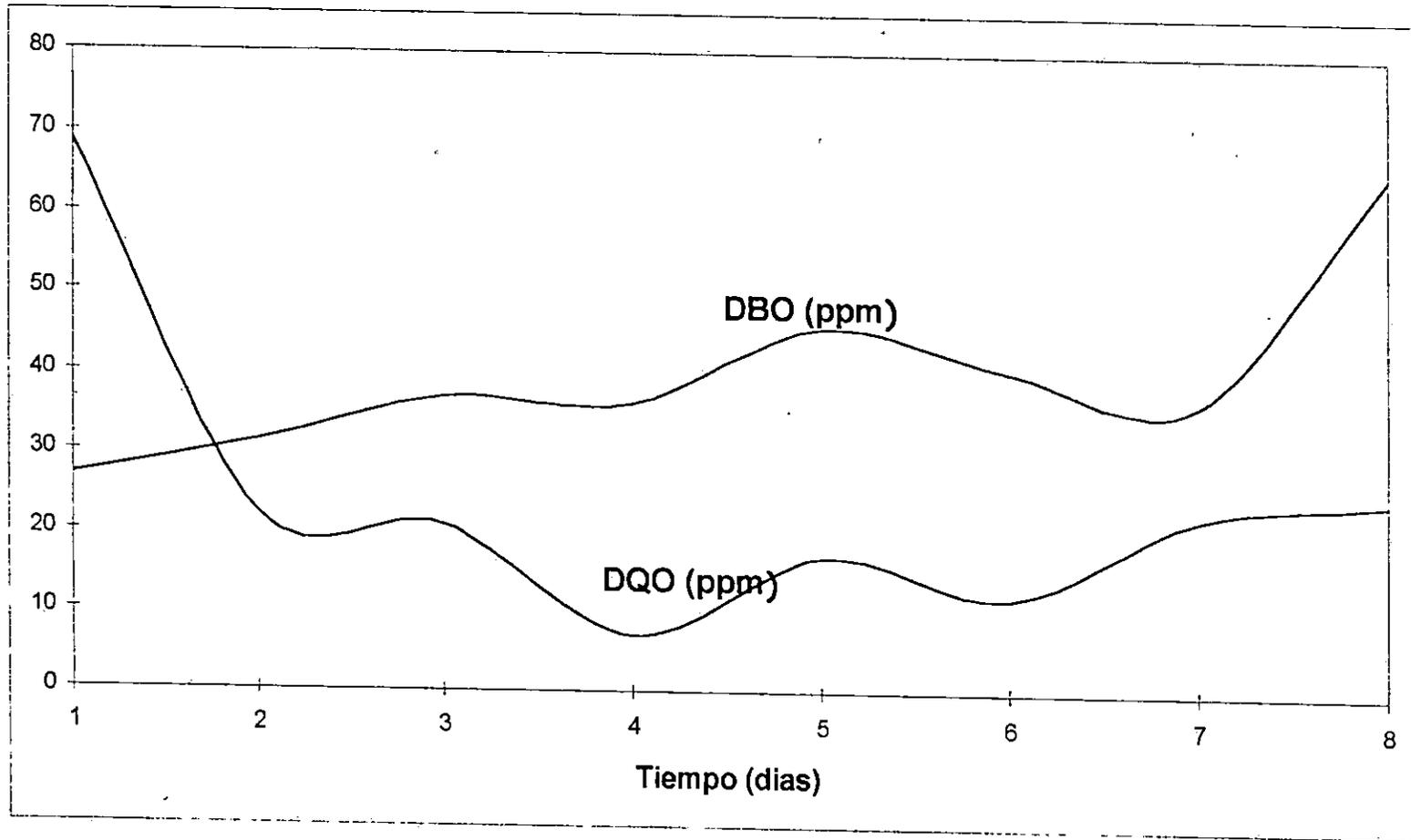


GRAFICO 5.20
Comparación entre DBO y DQO a la Salida de la Planta de Acondicionamiento de Agua



5.3.2 Discusion de Resultados

La preparación y recolección de los datos de la investigación se desarrollo durante los meses de agosto y septiembre del 2000, complementandose con información ya establecida de la planta. Los resultados de los analisis fisicos, quimicos y biologicos realizados se presentan en cuadros comparativo(Cuadro 5.1 y 5.2 , Gráficas 5.14 y 5.15), incluyendo su tratamiento estadistico, posteriormente se proporciona un cuadro resumen(Cuadro 5.3) con sus respectivas graficas(Gráficas 5.19 y 5.20), segun el parametro analizado.

En el tratamiento estadistico se observa que en la mayoría de las variables, la desviacion estandar se encuentra con valores altos, esto es debido a la variabilidad de las condiciones de entrada a la planta. Por lo tanto, se trabajo con la media aritmetica.

El pH se mantiene estable tanto a la entrada como a la salida de la planta, lo cual se confirma con la variabilidad de la desviacion estandar que oscila entre 0.2 y 0.27.

Al analizar las graficas del **contenido de Sólidos disueltos** (Gráficas 5.1 y 5.8), solidos suspendidos (Graficas 5.2 y 5.9), lo cual se reafirma en los graficos del % de Remocion (Gráficas 5.16 y 5.17) y en los valores obtenidos en el Cuadro Resumen (Cuadro 5.1.11). En general, todos los valores se encuentran abajo de la norma (menor de 1000 mg/l).

Los valores mas altos se encuentran en la muestra 1 y 2 a la entrada de la planta de acondicionamiento de agua.

El proceso se estabiliza hasta llegar al tanque de sedimentacion, pues se observa un decremento en el contenido de solidos a la salida con respecto a la entrada de la planta.

Al analizar la Gráfica 5.5 de **Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)** (a la entrada de la Planta) se observa que la media aritmética es de 14.98 mg/l.

A la salida de la planta (Gráfica 5.12), se dan los mayores valores (media de 39.83 mg/l), debido a que los sólidos ya tienen avanzado el proceso de descomposición orgánica, por sedimentos previamente depositados.

La demanda bioquímica de oxígeno representa el consumo de oxígeno necesario para la oxidación de las sustancias orgánicas biodegradables realizadas por los microorganismos aeróbicos. En el presente estudio la demanda bioquímica de oxígeno a la salida de la planta de acondicionamiento de agua es relativamente baja, lo cual no produciría una carga contaminante si fuese descargada a la corriente de agua.

La **Demanda Química de Oxígeno (DQO)** se utiliza para medir la cantidad de oxígeno necesario para realizar la oxidación de todas las sustancias orgánicas e inorgánicas presentes en el agua. Como se observa en la Gráfica 5.6, el valor mínimo se obtiene a la salida de la Planta de acondicionamiento ($X = 24.25$ mg/l) y el valor máximo a la entrada de la misma (Gráfico 5.13) ($X = 114.89$ mg/l).

Los valores de DQO obtenidos presentan valores bajos lo cual origina que el oxígeno disuelto aumente relativamente provocando con ello que los valores de DBO aumenten a la salida de la planta.

6. Redimensionamiento de la Planta de Acondicionamiento de Agua

Antes del calculo del tamaño de las unidades a redimensionarse en la planta de acondicionamiento de agua actual, es preciso establecer las opciones de las que se disponible para el diseño de dicho redimensionamiento, optandose por aquella que presente menores costos de inversión y que ademas proporcione un agua con los parámetros de operación requeridos para el proceso de fabricación de papel

Entre las opciones se encuentran:

Opción A

Construcción de un modulo adicional complementario a los dos ya existentes, con las mismas dimensiones ,para un total de 3 módulos

Opción B

Elevación de un metro lineal sobre cada unidad componente del modulo.

En ambas opciones se modificaran:

- 1-Tuberías
- 2- Se Adicionaran Dos filtros
- 3-Se adicionaran dos bombas de transferencia mas
- 4-Se adicionara una Bocatoma

6.1.2 Cálculo Correspondiente a Opción A

Partiendo de las dimensiones correspondientes a las unidades que conforman la Planta de acondicionamiento de agua actual, que se presentan en la Tabla 6.1:

Tabla 6.1 Dimensiones correspondientes a Planta de Acondicionamiento Actual

Unidad	Modulo I	Modulo II
Zona de PreCoagulación	21.4 m ³	21.4 m ³
Igualación	44.1 m ³	44.1 m ³
Oxidación	22.7 m ³	22.7 m ³
Laberinto Floculación	40.7 m ³	40.7 m ³
Presedimentación	19.5 m ³	19.5 m ³
Sedimentación	74.6 m ³	74.6 m ³
Placas de Sedimentación	86.2 m ³	86.2 m ³
Tanque de Balance	29.3 m ³	29.3 m ³
Total	338.5 m ³	338.5 m ³
	Total Modulo I y II	677 m ³

Al adicionar un Tercer módulo, se tiene:

$$\begin{aligned}\text{Volumen Total Modulo I, II y III} &= 338.5 + 338.5 + 338.5 \text{ m}^3 \\ &= 1015.5 \text{ m}^3\end{aligned}$$

6.1.3 Inversión Total de la Construcción de un tercer Modulo

El costo de inversión correspondiente a la opción A, construcción de un tercer modulo se presenta en el cuadro 6.1:

Cuadro 6.1 *Inversiones correspondientes a la construcción de un Tercer Modulo*

Inversiones	Moneda Local (¢)	Moneda Extranjera (\$)
A. Inversión Fija		
Terrenos	10,000	1,142.86
Obra Civil y Construcciones	5,000	571.43
Complementarias		
Preparación de Terreno	78,000	8,914.29
Desalojo de Terreno	4,600	525.71
Otras Obras Civiles	246,000	28,114.29
Maquinaria y Equipo		
Maquinaria Directa de Producción	476,000	54,400
Equipos Auxiliares y Transporte	6,500	742.86
Montaje de Maquinaria y Equipo	25,000	2857.14
SUBTOTAL	851,100	97,268.57
B. Inversión Pre-Operación		
Investigación y Estudios		
Pre-operacionales	6,000	687.71
Elaboración de Estudio de Factibilidad	5,000	571.43
Gastos de Puesta en Marcha	10,000	1142.86
SUBTOTAL	19,000	2,400
C. Capital de Trabajo Permanente	55,000	6,285.71
D. Escalación y Costos		
Instalación y Edificios	25,000	2,857.71
Maquinaria y Equipo	150,000	17,142.86
SUBTOTAL	230,000	25,714.28
TOTAL	1,100,100	125,725.71

6.2 Diseño y Calculo Correspondiente a Opción B

A continuación se presenta el diagrama representativo de la opción B, elevación de un metro lineal, así como sus costos de inversión.

6.2.1 Diseño Correspondiente a Opción B

La Opción B corresponde a la Elevación de 1 metro lineal sobre la altura o profundidad de las dimensiones de las unidades componentes de la Planta de Acondicionamiento actual, es decir:

$$\begin{aligned} \text{Profundidad} &= (1 + 2.5)\text{m} \\ &= 3.5 \text{ m} \end{aligned}$$

En la figura 6.2 se muestra su esquema representativo

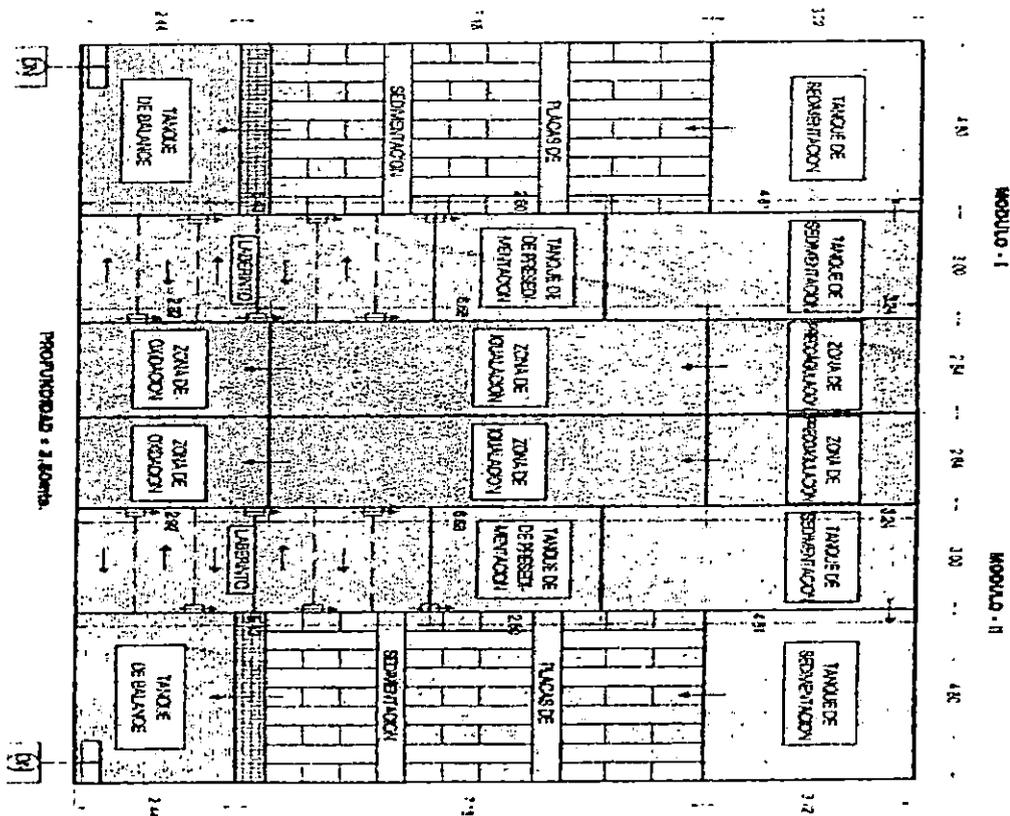


Fig. 6.2 Diseño de elevación de un metro lineal

6.2.2 Inversión Total de Elevación de 1 m lineal sobre la Planta de de acondicionamiento de agua actual

Los costos de inversión correspondientes a la opción B, elevación de 1 metro lineal se muestra en el cuadro 6.2.

Cuadro 6.2 Inversión Correspondientes a Elevación de 1 m lineal

<i>Inversiones</i>	<i>Moneda Local (¢)</i>	<i>Moneda Extranjera (\$)</i>
A. Inversión Fija		
<i>Obra Civil y Construcciones</i>	106,500	12,171.43
<i>Complementarias</i>		
<i>Maquinaria y Equipo</i>		
<i>Maquinaria Directa de</i>		
<i>Producción</i>	476,000	54,400
<i>Equipos Auxiliares y Transporte</i>	6,500	742.86
<i>Montaje de Maquinaria y Equipo</i>	10,000	1142.86
SUBTOTAL	599,000	68,457.14
B. Inversión Pre-Operación		
<i>Investigación y Estudios</i>		
<i>Pre-operacionales</i>	4,000	457.14
<i>Elaboración de Estudio de</i>		
<i>Factibilidad</i>	5,000	571.43
<i>Gastos de Puesta en Marcha</i>	10,000	1142.86
SUBTOTAL	19,000	2,171.43
C. Capital de Trabajo Permanente	55,000	6,285.71
D. Escalación y Costos		
<i>Instalación y Edificios</i>	20,000	2,285.71
<i>Maquinaria y Equipo</i>	150,000	17,142.86
SUBTOTAL	225,000	25,714.28
TOTAL	843,000	96,342.86

6.3 Cálculo de Dosificación de Químicos

A continuación se calcularán las cantidades a dosificarse de químicos con el nuevo caudal a emplearse con el redimensionamiento ($Q=510 \text{ m}^3/\text{hra}$)

Partiendo de las siguientes factores:

- 1) Equivalente cada cm Tanque de Dosificación de Alumbre = 14.3 L
- 2) Equivalente cada cm Tanque de Dosificación de H_2SO_4 = 14.3 L
- 3) Equivalente cada cm Tanque de Dosificación de Cl_2 = 14.3 L
- 4) Equivalente cada cm Tanque de Dosificación de Na_2CO_3 = 20 L
- 5) Equivalente cada cm Tanque de Dosificación de Na_2SiO_3 = 14.3 L

Y sabiendo que la ECUACION GENERAL es:

$$\frac{\text{cm}^3}{\text{seg}} = \frac{1.38 \times Q \times \text{ppm}}{\text{concentracion}}$$

Donde:

$Q = \text{m}^3/\text{hra}$ a tratar

ppm = mg/l

Concentración = g/l

Constante = 1.38

Luego, Partiendo de la concentración de Químicos en [g/l] y ppm

[Alumbre]	= 260 g/l-----	140 ppm
[H_2SO_4 96%]	= 200 g/l-----	50 ppm
[CuSO_4].....	= 5 g/l-----	2.7 ppm
[NaClO_4]	= 100 g/l-----	8 ppm
[Na_2CO_3].....	= 120 g/l-----	100 ppm
[Na_2SiO_3]	= 15 g/l-----	6 ppm

Determinandose en base a datos reales, que para opción A y B el caudal aproximado a manejarse será de :

$$Q_{\text{aproximado}} = 510 \text{ m}^3/\text{hra},$$

Por lo tanto, al realizar los cálculos correspondientes, se obtienen los siguientes valores (tabla 6.2):

Tabla 6.2 Cálculos correspondientes a dosificación de químicos con nuevo caudal

<i>Químico</i>	<i>Alcance Dosificador</i>	<i>Hras</i>
Alumbre	1.6 cm/ 5 min	6.2
H ₂ SO ₄	7.4 mm/ 5 min	13.2
Cloro	2.4 mm/ 5 min	4.2
Carbonato	1.76 cm/ 5 min	4.7
Silice Activado	1.7 cm/ 5 min (Descenso tanque Dosificador)	

6.4 Consumo Aproximado de Productos Químicos por Mes

Partiendo de las siguientes Asunciones:

1) $Q_{\text{aproximado}} = 510 \text{ m}^3/\text{hra}$ -----30 días al mes
 ----- 24 horas al año

2) Horas por mes.....(24 x 30) = 720 horas
 Agua Tratada por mes-----= 367,200 m³

Los consumos de productos químicos durante un mes serán (tabla 6.3):

Tabla 6.3 Consumos de Químicos durante un mes para un caudal de 510 m³/hra

<i>Químico</i>	<i>Cantidad /Mes</i>
Alumbre	51 Ton/Mes = 1020 Bultos
Acido Sulfúrico	10,500 litros a 66°Be
Hipoclorito de Sodio	300 litros de 100 gr/lt 150 Canecas de 200 lts
Sulfato de Cobre	1105 Kg
Carbonato de Sodio	1115 Bultos de 40 Kg
Silicato de Sodio 42°Be	4410 litros a 42° Be
Sulfato de Amonio	736 Kg

7. Tecnologías Anaerobicas de Tratamiento

Los tratamiento de aguas residuales se dividen para su estudio en tres categorías: primarios, secundarios y terciarios.

Se entiende por tratamiento ^vprimario^o aquel acondicionamiento preliminar del agua de desecho a través de procesos físicos tales como cribado, flotación o sedimentación. O en contadas ocasiones mediante coagulación química. La idea de esa fase es eliminar del agua cruda sólidos en suspensión y materias sobrenadantes que puedan deteriorar los equipos e instalaciones del proceso siguiente, así como mejorar la apariencia estética de las aguas en el mismo. En este Tratamiento se contribuye en alguna medida a la remoción de materia orgánica antes del tratamiento secundario.

El Tratamiento ¹secundario^v, siempre precedido por uno primario, se refiere a la depuración del agua residual mediante la acción de microorganismos en general bacterias, aprovechando su condición natural de alimentarse de un sustrato mas complejo para producir desechos orgánicos mas simples o material inorgánico completamente estable. De ahí que se conocen como procesos biológicos de tratamiento.

El Tratamiento ^bTerciario[^] o avanzado se refiere a procesos específicos de refinamiento de los efluentes del tratamiento secundario, gracias al empleo de procesos mas complicados que los anteriores y mas costosos, destinados por ejemplo a la reutilización del recurso hídrico, eliminación de compuestos químicos específicos, etc..

Dada las posibilidades económicas de nuestro País , se hará referencia únicamente a los tratamientos secundarios o biológicos, dentro de los cuales se pueden mencionar: Lagunas de Estabilización, Lodos Activados y Filtros Percoladores.

7.1. Metabolismo Anaerobico

Para poder discutir algunas generalidades sobre tecnologías de tratamiento anaerobico, resulta necesario indicar primero la forma en que las bacterias realizan sus funciones orgánicas. El proceso de biodegradación se efectua en tres etapas a saber:

En la **ETAPA I** la materia organica compleja, tal como carbohidratos, proteínas y grasas, es transformada por un grupo de microorganismos facultativos en materiales organicos mas simples, los cuales son solubilizados en el agua mediante accion de enzimas producidas por las celulas bacterianas.

Durante la **ETAPA II** el material simplificado y solubilizado en la primera es utilizado por un grupo especial de bacterianas denominadas "Acidogenicas". Estas bacterias lo ferementan y convierten en acidos organicos como lactico, acetico, propionico y alcoholes simples, dioxido de carbono, nitrogeno e hidrogeno, sustenacias que en su mayoria producen problemas de malos olores.

En la **ETAPA III** aparece otro grupo de bacterias denominadas "Metanogenicas", las cuales utilizan los acidos y alcoholes producidos por el grupo acidogenico, transformandolos en metano y dioxido de carbono, fundamentalmente con reduccion notable en la produccion de olores molestos.

El aspecto visual que se debe comprender es que las bacterias productoras de metano (metanogenicas) son las responsables de la estabilizacion o degradacion de la materia organica, por lo que no se lograrria eficiencia alguna en una planta de tratamiento anaerobico a menos que haya aparecido en cantidad y calidad adecuadas las bacterias metanogenicas. Adicionalmente debe decirse que las bacterias metanogenicas son de lento crecimiento y muy susceptibles a las variaciones bruscas de temperatura.

De esta forma, durante el arranque y operación inicial del tratamiento anaerobico; la producción de olores molestos sera mayor, acompañado por una acidificación del agua (descenso del pH) y una pobre eficiencia en remoción de contaminación orgánica.

7.2. Ventajas del Tratamiento Anaerobico

Las grandes ventajas del tratamiento anaerobico con respecto a la modalidad aerobica son las siguientes:

- ❖ Como la estabilización anaerobica proporciona a las células poca energía, su crecimiento es relativamente bajo. De esta forma la producción de lodos es mucho menor que en el caso aerobico, con mayor sencillez en su operación y mantenimiento.
- ❖ Los requerimientos de nutrientes en el proceso anaerobico son mucho menores que en el aerobico, permitiendose una mayor cobertura de aplicabilidad practica de estos sistemas sobre el segundo.
- ❖ Como no es necesaria la aeración, los costos operativos son mucho menores así como los de ,mantenimiento. Con un adecuado aprovechamiento de la topografía y carga hidráulica disponible es posible contar con tratamiento anaerobicos y compactos, sin requerimientos de bombeo y adecuada eficiencia en remoción de contaminantes.
- ❖ El gas metano producido en condiciones de equilibrio del proceso puede ser reutilizado como fuente energética. Es aquí donde surge el concepto de biodigestores para aprovechamiento energético

7.3 Tecnologías Anaerobicas

Para efectos de presentación de las diversas tecnologías anaerobicas de tratamientos aplicables a nuestro medio se pueden clasificar las plantas de tratamiento de la siguiente manera:

- ◆ Lagunas de Estabilización
- ◆ Filtros Anaerobicos de Flujo Descendente
- ◆ Reactores Anaerobicos de Flujo Ascendente

7.3.1 Lagunas de Estabilización

Las lagunas de estabilización son el proceso mas rudimentario del tratamiento biológico. Consisten en estanques de grandes dimensiones construidos directamente sobre el terreno de tal forma que el agua residual permanezca largos periodos de tiempo hasta ser mineralizada gracias a la acción de la propia naturaleza.

Para efectos de tratamiento existen dos modalidades de lagunas:

- 1- Lagunas Facultativas
- 2- Lagunas Anaerobicas

Utilizandose en nuestro caso de estudio, la segunda antes mencionada.

7.3.1.1.Lagunas Anaerobicas

Para conseguir la anaerobiosis total del estanque, se diseñan de menor tamaño y gran profundidad. De esta forma se eleva la carga orgánica aplicada a valores

tan altos que agotan cualquier traza de oxígeno disuelto en forma inmediata, e impiden el crecimiento de bacterias aeróbicas.

La gran profundidad de hasta tres veces la de una laguna facultativa, evita que la penetración de la luz solar promueva el crecimiento de algas, por lo que se destruye la simbiosis .

Es así como el tratamiento es efectivo por bacterias anaeróbicas, cuyo producto de desechos son gases malolientes, acompañados de una apariencia estética desagradable de color grisáceo, en vez de color verde agradable de las lagunas facultativas debido a la proliferación de algas.

Las consideraciones anteriores no significan que esta modalidad del tratamiento no es conveniente. Todo lo contrario, es una gran solución para efectos de reducir áreas de terreno y costos de operación, siempre que las características del mismo, posición respecto a la mancha urbana.

7.4 Aplicación de Lagunas Anaeróbicas de Estabilización a la Industria de Pulpa y Papel

Las lagunas anaeróbicas de la empresa papelera en estudio son pequeñas y profundas, siendo en total cuatro.

Las dimensiones de las lagunas son:

Altura.....	1.80 mts
Largo de la base.....	90 mts
Largo en la orilla.....	100 mts
Ancho en la orilla.....	26 mts
Largo Total.....	1.13 mts
Ancho Total.....	25 mts

La profundidad de las lagunas es diferente para cada una. Todas llevan un ángulo de inclinación de las paredes de aproximadamente de 60°

Las lagunas a dicha profundidad constan de una losa y paredes de concreto, con una capacidad máxima de 11,000 TM, , distancia requerida para reducir las variaciones de temperatura con sus efectos negativos, evitar que a dicha profundidad alcance humedad y agua así como para garantizar que la zona de transferencia de oxígeno atmosférico sea despreciable comparativamente con la profundidad total.

La operación es continua y el flujo que se maneja es $150 \text{ m}^3/\text{hora}$, como se muestra en la figura 7.1

7.5 Diagrama de Flujo de Lagunas Anaerobicas de Estabilización

A continuación se esquematiza mediante un diagrama de flujo las lagunas de estabilización para la planta en estudio:

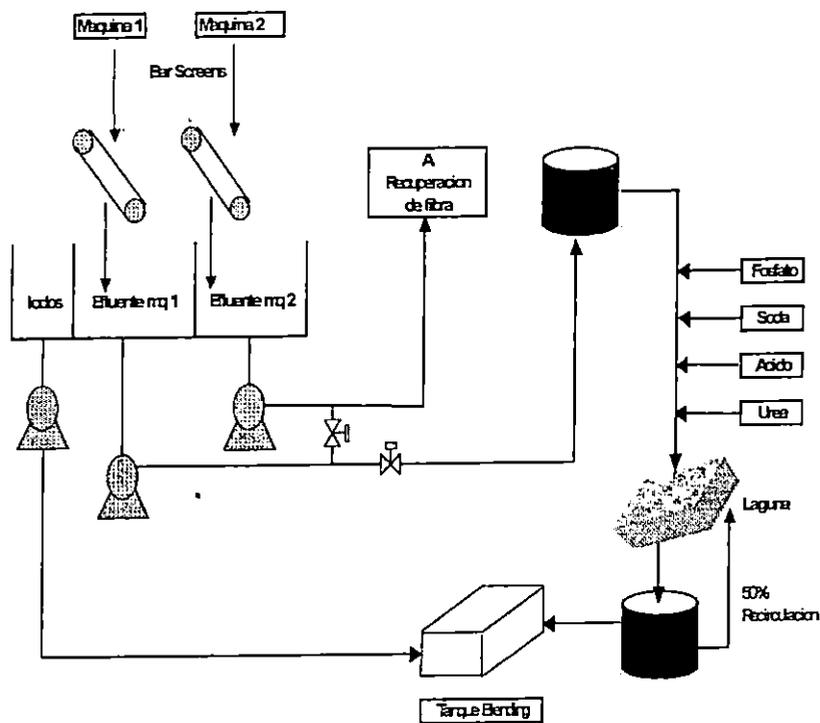


Figura 7.1 Diagrama de Flujo de Lagunas anaerobicas de estabilización

7.6 Control Cualitativo y Cuantitativo de las lagunas de estabilización a la Entrada y Salida

Los análisis , de carácter cualitativo como cuantitativo, que se efectúan a las lagunas anaerobicas de estabilización tanto a la entrada así como a la salida de la misma para la industria papelera, para diferentes fechas, realizándose un tipo de muestreo individual o puntual, se puede resumir en los siguientes cuadros.

Fecha de Muestreo : **Febrero/2000**

Tabla No 7.1 .Características del Afluente a la entrada del sistema de lagunajes anaerobicos de estabilización

Análisis	Resultado	Incerteza	Expresado como
pH	7.1 (20.2 °C)	±0.0	Unidades
Sólidos Totales	5844	±42.4	mg/l
Sólidos Suspendidos	5637.4	±12.4	mg/l
Sólidos Totales Disueltos	206.6	No aplica	mg/l
Demanda Química de oxígeno	2681.7	±223.1	mg/l O ₂
Demanda Bioquímica de Oxígeno	1050.0	±	mg/l O ₂
Conductividad Eléctrica	1076.3	±0.0	mmhos/ cm
Alcalinidad Total	428.4	±0.0	mg/l CaCO ₃
Carbonatos	ND	No aplica	mg/l CaCO ₃
Bicarbonatos	428.4	No aplica	mg/l CaCO ₃
Calcio	233.7	±0.0	mg/l CaCO ₃
Magnesio	114.1	No aplica	mg/l CaCO ₃
Dureza Total	347.8	±5.8	mg/l CaCO ₃
Hierro	0.343	±0.001	mg/l Fe
Manganeso	0.246	±0.002	mg/l Mn
Nitratos	0.8	±0.0	mg/l NO ₃ ⁻
Nitritos	ND	±0.009	mg/l NO ₂ ⁻
Cloruros	ND	±0.17	mg/l Cl ⁻

Nota : ND = No detectable

Apariencia de la Muestra: rosada y regular sedimento de sólidos

Fecha de Muestreo: **Febrero/2000**

Tabla No 7.2 Características del Efluente a la Salida del sistema de lagunajes anaerobios de estabilización

Análisis	Resultado	Incerteza	Expresado como
pH	7.2 (20.2 °C)	±0.0	Unidades
Sólidos Totales	4577.0	±35.3	mg/l
Sólidos Suspendidos	3504.3	±175.8	mg/l
Sólidos Totales Disueltos	1072.7	No aplica	mg/l
Demanda Química de oxígeno	1892.7	±0.0	mg/lit O ₂
Demanda Bioquímica de Oxígeno	966.0	±0.0	mg/lit O ₂
Conductividad Eléctrica	1053.7	±5.6	mmhos/ cm
Alcalinidad Total	420.2	±0.0	mg/l CaCO ₃
Carbonatos	ND	No aplica	mg/l CaCO ₃
Bicarbonatos	420.2	No aplica	mg/l CaCO ₃
Calcio	260.9	±0.0	mg/l CaCO ₃
Magnesio	108.7	No aplica	mg/l CaCO ₃
Dureza Total	369.7	±5.8	mg/l CaCO ₃
Hierro	0.414	±0.001	mg/l Fe
Manganeso	0.281	±0.001	mg/l Mn
Nitratos	ND	±0.0	mg/l NO ₃ -
Nitritos	ND	±0.0	mg/l NO ₂ -
Cloruros	ND	±0.0	mg/l Cl-

Nota : ND = No detectable

Apariencia de la Muestra : Rosada y Regular Sedimento de sólidos

Fecha de muestreo : **Mayo/2000**

Tabla No 7.3 . Características del Afluente a la entrada del sistema de lagunajes anaerobicos de estabilización

Analisis	Resultado	Incerteza	Expresado como
Solidos Totales	7726.0	±45.3	mg/l
Solidos Suspendidos	6703.0	±155.4	mg/l
Solidos Totales Disueltos	1023.0	No Aplica	mg/l
Demanda Bioquímica de Oxígeno	3555.6	±0.0	mg/l O ₂
Demanda Química de Oxígeno	1320.0	±84.8	mg/l O ₂

Fecha: **Mayo/2000**

Tabla No 7.4 Características del Efluente a la Salida del sistema de lagunajes anaerobicos de estabilizacion

Análisis	Resultado	Incerteza	Expresado como
Sólidos Totales	4985.0	±38.2	mg/l
Sólidos Suspendidos	3645.7	±105.1	mg/l
Sólidos Totales Disueltos	1339.3	No aplica	mg/l
Demanda Química de oxígeno	2777.8	±0.0	mg/l O ₂
Demanda Bioquímica de Oxígeno	300.00	±84.8	mg/l O ₂

Nota : ND = No detectable

Apariencia de la muestra : Clara y Regular sedimentos Solidos

8. Conclusiones y Recomendaciones

1. Los altos niveles de descarga industrial recibidos por el Río Sucio en Sitio del Niño, hacen que la industria en estudio, al igual que la mayoría de industrias cuya fuente principal de agua de proceso son cauces y efluentes naturales, reciban altos niveles de carga orgánica fuera de norma y sólidos suspendidos, provocando turbidez y baja calidad de agua para proceso. Esto obliga a que los sistemas de tratamiento de aguas para su uso en procesos industriales sean mas eficientes en términos de los volúmenes removidos de la carga no deseada, pero se agrega el componente económico, al requerirse que las alternativas de solución sean factibles y viables a fin de contar no solo con la cantidad y calidad deseada sino que esta sea al menor costo .
2. Sobre la base de los análisis químicos y los resultados obtenidos tanto de la planta de acondicionamiento de agua para proceso como del sistema de lagunajes para agua de desecho, se evidencia la necesidad de contar con sistemas de tratamiento mas eficientes, que sean capaces de proveer la calidad y cantidad de agua requerida y al costo menor, pero sin dejar de lado la responsabilidad de devolver a los efluentes aguas de desecho que provoquen el mínimo impacto posible. Los actuales sistemas de tratamiento posterior al proceso aun contribuyen de manera directa a la contaminación del efluente cercano (Río Sucio), haciendo necesario el mejoramiento del actual sistema o la selección de nuevas alternativas tecnológicas de tratamiento que desarrollen en la industria química de proceso la visión de aprovechar los recursos naturales devolviendo responsablemente lo recibido. Este círculo de mejoramiento responsable, podría terminar a largo plazo haciendo que la inversión en sistema de tratamiento previo al proceso no representen un componente económico de tanto peso como en la actualidad.

3. La estación del año determinará las condiciones ambientales, factor a tomar en cuenta para la operación y evaluación del desempeño de los sistemas de tratamiento. Esto se evidencia en las marcadas variaciones observadas en los diferentes parámetros como sólidos disueltos y sólidos suspendidos durante la estación seca y lluviosa.

4. El estudio económico de selección entre las diferentes opciones para efectuar el redimensionamiento de la planta de acondicionamiento de agua recomienda la Opción B : Elevación de 1 m sobre el nivel de la planta actual. Esta recomendación se efectúa sobre el criterio de la alternativa que provea un agua con características que cumplen con los requisitos de volumen y calidad disponible para el proceso industrial, que aprovechen eficientemente el espacio en planta y el monto económico disponible.

5. Se recomienda redimensionar las lagunas de lodos activados, las cuales necesitan de mayor profundidad. Se observa en al menos dos lagunas. que su cercanía de los mantos de agua provoca elevados niveles de humedad, lo que provoca un mayor crecimiento de bacterias aeróbicas que competirán e inhibirán el proceso anaerobio. Se suma a esto, que la altura actual (1.8 mts) es menor de la altura recomendada por la literatura (5 mts).; ya que además implicaría que debido a las condiciones antes mencionadas y a lo que debe sumarse el peso de los lodos y agua, la base se aflojaría, provocándose un posible hundimiento de las mismas.

9. Glosario de términos utilizados en Revisión Bibliográfica

- **Demanda Química de Oxígeno(DQO):**Es el oxígeno requerido para oxidar todos los compuestos en agua, tanto orgánicos como inorgánicos. Este Parámetro se utiliza para medir la cantidad de oxígeno necesario para realizar la oxidación de todas las sustancias orgánicas e inorgánicas presentes en el agua residual.
- **Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO):** Medida de la cantidad de oxígeno consumido en el proceso biológico que descompone materia orgánica en el agua. Cuanto mayor es el DBO mayor es la contaminación. Además indica el contenido de materias orgánicas biologicamente degradables. Las condiciones que requieren la descomposición orgánica, y que generalmente se emplea son 5 días y 20°C.
- **pH:** término usado universalmente para expresar la intensidad de la condición ácida o alcalina de una solución.
- **Oxígeno Disuelto (DO):** es la cantidad de oxígeno que se encuentra en forma disuelta en una solución.
- **Sólidos Disueltos:** es la cantidad de materia disuelta en forma de sales, y que no se puede separar por sedimentación es toda materia que en evaporación de una muestra filtrada de agua queda en forma de residuo seco.
- **Turbidez:** es una medida de la interferencia al paso de luz a través del agua, ocasionada por materia suspendida.

- **Sólidos Suspendidos:** es una medida de la fuerza contaminante de un desecho, que también indica el contenido de sólidos que se pueden remover por sedimentación. Además se le llama así a la cantidad de material que es separado de una muestra de agua, mediante la filtración. En el filtrado quedan compuestos minerales y otros.
- **Nitratos :** Compuesto que contiene nitrógeno y que puede existir en la atmósfera o como gas disuelto en el agua; puede tener efectos dañinos sobre los seres humanos y los animales. Los nitratos en el agua pueden causar enfermedades graves en niños y vacas.
- **Temperatura :** es una propiedad termodinámica que influye en las características físicas, químicas y biológicas.
- **Sólidos Totales:** incluyen sólidos en suspensión y en solución, los cuales pueden ser de origen orgánico e inorgánico. Las materias inorgánicas ya están presentes en el agua potable, como sales disueltas; las materias orgánicas, utilizan como vehículo las aguas de uso doméstico e industrial.

10. Bibliografía

1. Powell, Sheppard T.(1986). "Acondicionamiento de aguas para la industria" quinta Reimpresión, Editorial Limusa, México.
2. Romero Rojas, Jairo Alberto.(1999) "Potabilización del Agua" , 3a edición, Alfaomega Grupo Editor, México.
3. Barnes, G.E.,(1976) "Tratamiento de Aguas negras y Desechos Industriales" , 1a Edición, Editorial UTEHA, México.
4. Chávez Sermeño, Ana del Carmen,(1996) "Evaluación de los Efluentes de una Planta industrial". Universidad Centroamericana "José Simeón Cañas", El Salvador.
5. Bolaños, J.V., Lic. Química Agrícola, Entrevista personal. Control de Calidad en Aguas industriales, Kimberly Clark, El Salvador, 2000
6. Nalco (1999) , "Manual del Agua. Su Naturaleza, Tratamiento y aplicaciones". Editorial McGraw-Hill Inc. México.