



UNPHU
Universidad Nacional
Pedro Henríquez Ureña

**VICERRECTORÍA DE POSTGRADO, INVESTIGACIÓN Y
ASUNTOS INTERNACIONALES**

ESCUELA DE GRADUADOS

*“Propuesta de mejoramiento de la planta de tratamiento
de agua potable Barrera de Salinidad, acueducto
oriental.”*

Tesis sustentada por:

Ing. Amelia María Pérez Sánchez
Ing. María Cristina Sánchez Vicente

Para optar por el grado de Maestría en:

INGENIERIA SANITARIA

Asesor:

Metodológico: Lic. Jehová Peña

Técnico: Ing. Sanmy Campos

Santo Domingo, República Dominicana

Agosto 2016

Propuesta de mejoramiento de la planta de tratamiento de agua potable de Barrera de Salinidad, acueducto oriental.

CONTENIDO

Dedicatorias	i
Agradecimientos.....	iii
Resumen	v
Summary.....	vi
CAPITULO I. EL PROBLEMA DE LA INVESTIGACION.....	1
1.1 Introducción.....	1
1.2 Planteamiento del problema.	2
1.2.1 Formulación del Problema	2
1.2.2 Sistematización del Problema	2
1.3 Justificación.....	3
1.4 Objetivos de la Investigación	3
1.4.1 Objetivos Generales	3
1.4.2 Objetivos Específicos.....	3
CAPITULO II. FUNDAMENTOS TEORICOS	5
2.1 Antecedentes.....	5
2.2 Calidad del agua	6
2.2.1 Características físicas del agua.....	6
2.2.2 Características químicas del agua	12
2.2.3 Características microbiológicas del agua	14
2.3 Plantas de Tratamiento	15
2.3.1 Tipos de plantas de tratamiento de agua	15
2.4 Procesos Unitarios	18
2.4.1 Coagulación.....	18
2.4.2 Mezcla Rápida.....	19
2.4.3 Floculación	23
2.4.4 Sedimentación	27

2.4.5	Filtración	32
2.4.6	Desinfección.....	38
2.5	De referencia Legal	43

CAPITULO III. DESCRIPCION DEL ACUEDUCTO DE BARRERA DE SALINIDAD.

3.1	Generalidades	45
3.2	Características de la fuente.....	46
3.3	Elementos y componentes del acueducto	47

CAPITULO IV. METODOLOGIA..... 51

4.1	Tipo de estudio	51
4.2	Método de Investigación	51
4.3	Técnicas y Procedimientos.....	51

CAPITULO V. RESULTADOS. 52

5.1	Calidad del Afluente.....	52
5.1.1	Caracterización fisicoquímica y microbiológica del afluente	52
5.1.2	Análisis Estadístico de la Turbiedad del Afluente	54
5.2	Chequeo de caudales en la P.T.A.P.....	57
5.2.1	Caja de Entrega	57
5.2.2	Vertedero rectangular para la mezcla rápida.....	59
5.2.3	Canal de entrada a los floculadores.....	61
5.2.4	Canal de agua sedimentada.	63
5.2.5	Salida del agua Filtrada.....	65
5.3	Inspección de la planta de tratamiento	68
5.3.1	Conducción del agua cruda	68
5.3.2	Sistema de tratamiento	68
5.3.3	Aspectos técnicos	80
5.3.4	Aspectos Operativos.....	84
5.4	Calidad del Efluente	85
5.4.1	Caracterización microbiológica y fisicoquímica del Efluente	85

5.4.2	Análisis Estadístico de la Turbiedad del Efluente.....	88
	Conclusiones.....	91
	Recomendaciones	93
	Bibliografía.....	95
	Anexos	97

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Requisitos Físicos.....	7
Tabla 2. Características físico químicas. Requisitos	8
Tabla 3. Características Organolépticas. Requisitos	10
Tabla 4. Olores Característicos del agua y su origen.	11
Tabla 5. Características Químicas. Requisitos	12
Tabla 6. Características Microbiológicas. Requisitos	14
Tabla 7. Límites de calidad del agua aceptables para el tratamiento mediante filtración rápida completa.....	16
Tabla 8. Límites de calidad del agua aceptables para el tratamiento mediante filtración directa.	16
Tabla 9. Clasificación de las unidades de mezcla rápida.	20
Tabla 10. Clasificación de los Floculadores.....	25
Tabla 11. Tipos de Sedimentación	28
Tabla 12. Mecanismos de remoción en un filtro.	33
Tabla 13. Clasificación de los Filtros	34
Tabla 14. Principales métodos de lavado y limpieza de los filtros.....	37
Tabla 15. Propiedades de los productos del cloro.	40
Tabla 16. Clasificación dosificadores de cloro más usados.	41
Tabla 17. Ventajas y Desventajas de los dosificadores de Cloro.	42
Tabla 18. Cuadro estudio de fuente. Entrada Planta Barrera De Salinidad.....	52
Tabla 19. Cuadro de Frecuencia Mensuales Totales de turbiedad de entrada.....	54
Tabla 20. Cuadro de Frecuencia de Turbiedades de entrada – Rango ≤ 40 U.N.T	55
Tabla 21. Frecuencia acumulada de Turbiedades de entrada - Rango ≤ 40 U.N.T	55
Tabla 22. Comprobación de Caudal en Caja de entrega.....	59
Tabla 23. Comprobación de Caudal en Vertedero para mezcla rápida.	60
Tabla 24. Comprobación de Caudal en canal de entrada a floculadores.....	62
Tabla 25. Comprobación de Caudal en canal de agua sedimentada.....	64
Tabla 26. Comprobación de Caudal a la salida de los filtros.	66

Tabla 27. Turbiedad del agua sedimentada módulo 1	73
Tabla 28. Turbiedad del agua sedimentada módulo 2	74
Tabla 29. Condiciones óptimas de lavado en unidad de filtración.....	76
Tabla 30. Turbiedad del agua filtrada módulo 1	77
Tabla 31. Turbiedad del agua filtrada módulo 2	79
Tabla 32. Características de los cilindros de cloro	82
Tabla 33. Número de cilindros necesarios según la capacidad requerida.	83
Tabla 34. Cuadro estudio de fuente. Salida planta Barrera De Salinidad	85
Tabla 35. Cuadro de Frecuencia Mensuales Totales de turbiedad de salida	88
Tabla 36. Cuadro de Frecuencia de Turbiedades de Salida – Rango ≤ 5 U.N.T	89
Tabla 37. Frecuencia acumulada de Turbiedades de Salida - Rango ≤ 5 U.N.T.....	89

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Tipos de Agitadores.....	22
Ilustración 2. Mezcladores Hidráulicos	23
Ilustración 3. Floculador Hidráulico Horizontal. Vista en Planta.	26
Ilustración 4. Floculador Hidráulico Vertical.....	26
Ilustración 5. Tipos de Floculadores Mecánicos.	27
Ilustración 6. Trayectoria ideal de partículas en un sedimentador	29
Ilustración 7. Zonificación de un sedimentador	30
Ilustración 8. Componentes de un decantador estático.....	32
Ilustración 9. Gráfica de Frecuencia de Turbiedades de entrada – Rango ≤ 40 U.N.T	56
Ilustración 10. Vista en corte de Caja de Entrega de la P.T.A.P de Barrera de Salinidad ...	57
Ilustración 11. Vista en planta de Caja de Entrega de la P.T.A.P de Barrera de Salinidad..	58
Ilustración 12. Vista en corte de Vertedero Rectangular de Mezcla rápida de la P.T.A.P de Barrera de Salinidad	60
Ilustración 13. Vista en planta de canal de entrada a los floculadores de la P.T.A.P de Barrera de Salinidad	61
Ilustración 14. Vista en corte de los floculadores de la P.T.A.P de Barrera de Salinidad...	61
Ilustración 15. Vista en corte de canal de agua sedimentada	63
Ilustración 16. Salida del agua de los sedimentadores	63
Ilustración 17. Vista en corte transversal a la salida de los filtros.....	65
Ilustración 18. Vista en corte longitudinal a la salida de los filtros.....	65
Ilustración 19. Muestra de pozo donde descarga tubería de drenaje de filtros.....	67
Ilustración 20. Mezclador tipo vertedero rectangular con rampa operando correctamente. 69	
Ilustración 21. Grafica comportamiento de gradiente de velocidad en unidad de floculación.	71
Ilustración 22. Sedimentadores.....	72
Ilustración 23. Clasificación de los sedimentadores en función de la calidad del agua producida.	73
Ilustración 24. Frecuencia acumulada de turbiedad de agua sedimentada en módulo 1.	74

Ilustración 25. Frecuencia acumulada de turbiedad de agua sedimentada en módulo 2.	75
Ilustración 26. Frecuencia acumulada de turbiedad de agua filtrada en módulo 1.	78
Ilustración 27. Frecuencia acumulada de turbiedad de agua filtrada en módulo 2.	79
Ilustración 28 Comparación Prueba de Jarras realizada en P.T.A.P	82
Ilustración 29. Gráfica de Frecuencia de Turbiedades de Salida – Rango ≤ 5 U.N.T.....	90

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A. Mapa cuenca rio Ozama y su franja costera.	97
Anexo C. Análisis realizado a la entrada de la planta.	98
Anexo D. Producción Barrera de Salinidad.....	99
Anexo E. Análisis realizado a la salida	100
Anexo F. Cálculos de la expansión de la arena y antracita en los filtros.	101
Anexo G. Comprobación de diseño de las unidades de tratamiento de la PTAP.....	102
Anexo H. Estimación de costos de mantenimiento correctivo y preventivo.....	114
Anexo I. Fotografías estado actual de la planta. Fuente Propia (2016).....	117
Anexo J. Planos planta de tratamiento de agua potable Barrera de Salinidad.	122

SIGLAS UTILIZADAS

CAASD	Corporación de Acueductos y Alcantarillado de Santo Domingo.
CEPIS	Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente.
Cd	Coefficiente de Descarga.
Co ₂	Dióxido de Carbono.
°C	Grados Celsius.
GPM	Galones por Minuto.
HAP	Hormigón Armado Pretensado.
Lt	Litros.
M ³	Metros Cúbicos.
Mg	Miligramos.
NMP	Número más Probable.
OPS	Organización Panamericana de Salud.
OMS	Organización Mundial de la Salud.
PPB	Partes Por Billón.
PPM	Partes Por Millón.
P.T.A.P.	Planta De Tratamiento De Agua Potable.
P.W.T.P.	Potable Water Treatment Plant.
PVC	Policloruro de Vinilo.
RPM	Revoluciones Por Minuto.
S	Segundos.
UDC	Unidades De Color.
UNT	Unidades Nefelométricas De Turbiedad.
VH	Velocidad Horizontal.

Dedicatorias

A la Universidad Nacional Pedro Henríquez Ureña (UNPHU): por toda la facilidad que nos otorgaron para poder hacer esto posible.

A la Corporación de Acueductos y Alcantarillado de Santo Domingo (CAASD), en espera de que tomen en cuenta este trabajo para la mejoría del sistema estudiado.

A mi familia, Martin Pérez, Marianela Sánchez, Angela y Pamela por sus buenos consejos y apoyo incondicional.

A mi esposo, Ing. Claudio Lagares; mis hijos, Luis Claudio y Arturo Manuel (que viene en camino), porque sin su amor y comprensión esto no hubiera sido posible; ustedes son mi razón de vivir.

A mis suegros, Nelis y Jovanny; y mis cuñados, Jovannelly y Giovanni, por hacerme fácil este trayecto.

A mi compañera de tesis, María Cristina, quien se ofreció a ser partícipe de la parte final de esta maestría, Gracias!

Ing. Amelia María Pérez Sánchez

Dedicatorias

A la Universidad Nacional Pedro Henríquez Ureña (UNPHU): por toda la facilidad que nos otorgaron para poder hacer esto posible.

A la Corporación de Acueductos y Alcantarillado de Santo Domingo (CAASD), esperando que esta investigación les sirva para conocer mejor el estado actual de la planta y que puedan mejorar el funcionamiento de la misma.

A mi familia, Vilomar Sánchez, Mirian Vicente y Alejandro por su apoyo y su amor incondicional.

A mi esposo, Ing. Jairo Cepeda, por tus consejos, por estar ahí siempre dispuesto a ayudar y por hacer cada día más fácil de llevar.

A mi compañera de tesis, Amelia Pérez, por tu gran apoyo, dedicación y empeño, por compartir esta gran etapa juntas.

Ing. María Cristina Sánchez V.

Agradecimientos

A Dios: por estar conmigo en cada momento y darme las fuerzas para encarar todas las adversidades que se presentaron durante este trayecto.

A la Universidad Nacional Pedro Henríquez Ureña (UNPHU): porque fueron los tutores de esta maestría y los responsables del logro de esta meta.

A la Corporación de Acueductos y Alcantarillado de Santo Domingo (CAASD), en la persona de su Director, de los Ingenieros Luis Báez, Francisco Doñé, Jesús García, y de los integrantes del Laboratorio de la sede principal, porque sin la ayuda de ellos parte de este trabajo no hubiera sido posible.

A mis padres, Martín Pérez y Marianela Sánchez, soy lo que soy por ustedes, ya que todos mis valores, principios y virtudes se los debo a ustedes.

A mi esposo, Ing. Claudio Lagares, porque cuando más pensaba en desistir siempre has estado ahí para ser mi fuerza de empuje.

A mi hijo, Luis Claudio, aunque no lo entiendas la principal fuerza de motivación para cumplir con esta meta has sido tú.

A mis hermanas, Angela y Pamela; mis suegros, Nelis y Jovanny; y mis cuñados, Jovannelly y Giovanni, porque durante este trayecto algún granito de arena aportaron para que esto culminara.

A mi compañera de tesis, María Cristina, porque siempre caminamos juntas este sendero de tropiezos y logros que hoy culmina.

A mis compañeros de Maestría, Patricia, Jean Carlos, Carlos, Emil, en especial a Ulises García, porque todavía a estas alturas seguimos ayudándonos unos a otros.

Ing. Amelia María Pérez Sánchez

Agradecimientos

Muchísimas gracias al Dios todo poderoso que me ha permitido llegar hasta aquí, gracias padre por todas tus bondades, por tu amor y tu infinita misericordia que has mostrado hacia mí. Gracias señor porque en ti descansa mi confianza y sé que siempre me sustentaras. Sin ti no puedo nada y en ti lo puedo todo.

No ha sido fácil concluir con esta tarea, pero el camino siempre se vuelve más liviano cuando se cuenta con el apoyo de personas que te animan día a día a seguir firme en la persecución de tus metas. Es así como no puedo dejar pasar esta oportunidad para agradecer a todos quienes me acompañaron en este proceso, especialmente a:

Mis padres Vilomar Sánchez y Mirian Vicente, los que nunca dejaron de confiar en mis capacidades y siempre me alentaron a cumplir mis metas, son un gran ejemplo de superación y perseverancia para mí. Muchísimas gracias a mis hermanos y a toda mi familia por su apoyo.

A mi esposo el Ing. Jairo Cepeda, mil y un gracias mi amor por tu gran apoyo, por siempre estar ahí cuando más te necesité, por ayudarme, por acompañarme en cada aspecto de este proyecto y por tu amor incondicional.

A mi compañera de tesis Amelia M. Pérez, eres una gran persona y una muy buena amiga, muchísimas gracias por tu apoyo y dedicación durante toda esta jornada de estudios y la realización de esta investigación, no ha sido fácil pero lo logramos.

Muchísimas gracias al Ing. Ulises García, por sus orientaciones, sugerencias y sus tan necesarios consejos. Usted fue más que un compañero de clases prácticamente fue nuestro asesor.

Agradecimientos sinceros a todos aquellos que colaboraron de una forma u otra en la realización de este proyecto, al personal que labora en la planta, al encargado el Ing. Jesús García, el Ing. Claudio lagares, a mis compañeros de clases, profesores del master, y a mi querido Willy.

Gracias!!

Ing. María Cristina Sánchez V.

Resumen

El presente trabajo contiene los resultados del diagnóstico, evaluación técnica y operativa del sistema de tratamiento de agua potable Barrera de Salinidad, la cual abastece al municipio Santo Domingo Este, así como el proyecto Ciudad Juan Bosch y el proyecto habitacional La Barquita.

La investigación nace a raíz de la preocupación de la CAASD de disminuir el desperdicio de agua que afecta a Santo Domingo, el cual supera el 30% del agua que produce la CAASD, datos suministrados por el Arq. Alejandro Montás en la prensa escrita (El Nacional) en fecha 12 de febrero del 2014.

Particularmente se eligió esta planta de tratamiento porque según datos ofrecidos por la CAASD, esta presenta pérdidas de agua ya tratada por encima del porcentaje aceptable, que es aproximadamente de 5-10% del agua tratada.

Se realiza una descripción detallada de la infraestructura existente en los componentes que conforman el sistema como la fuente de agua, la línea de conducción y la planta de tratamiento de agua potable. El sistema de Barrera de Salinidad está ubicado en la comunidad del Naranjo, San Luis, municipio Santo Domingo Este. Este proyecto fue inaugurado en el año 2004, y aporta aproximadamente el 60% de la producción de agua suministrada por la CAASD al municipio.

En otro orden, a partir de los datos de calidad del agua del año 2015 y parte del año 2016, se evaluó la eficiencia de los procesos de tratamiento de la planta, complementando el diagnóstico con entrevistas e inspecciones directas en las instalaciones.

Por medio de mediciones de caudal se identificaron las unidades de la planta de tratamiento de agua potable que presentaban pérdidas del agua ya tratada. Con lo anterior, se exponen pruebas fisicoquímicas y microbiológicas realizadas por la CAASD tanto a la fuente como al agua después del tratamiento.

Los procedimientos empleados para la evaluación y el diagnóstico de dicha P.T.A.P son los desarrollados por el CEPIS/OPS

Finalmente, y con fundamento en los diagnósticos complementamos con recomendaciones, conclusiones del diagnóstico y evolución de la planta de tratamiento de agua potable.

Summary

This paper contains the results of diagnostic, technical and operational evaluation of the drinking water treatment system Barrera de Salinidad, which supplies the municipality of east Santo Domingo, as well as the Ciudad Juan Bosch project and housing project La Barquita.

The investigation comes in the wake of the concern of CAASD to curb the huge waste of water that affects Santo Domingo, which exceeds 30% of the water produced by them, data supplied by the Arq. Alejandro Montas, in the newspaper (El Nacional) on February 12 2014.

Particularly this treatment plant was chosen because according to data provided by CAASD, this plant is losing water that has been already treated and those losses are above the acceptable percentage (approx. 5-10%).

A detailed description is performed of the existing infrastructure in the components that make up the system as the source of water, the pipeline and the Drinking Water Treatment plant. The system Barrera de Salinidad is located in the community of El Naranjo, San Luis, Santo Domingo. This project was inaugurated in 2004, and contributes about 60% of the production of water supplied by CAASD to the municipality.

In another order, from the water quality data of 2015 and part of 2016, the efficiency of treatment processes of the plant was evaluated, complementing the diagnosis with interviews and direct inspections of the facilities.

Through flow measurements on the potable water treatment plant units, considerable losses of treated water were identified. With this, physicochemical and microbiological tests by CAASD are shown, made to the source and to the water after treatment.

The procedures used for the evaluation and diagnosis of this PWTP are developed by CEPIS / OPS.

Finally, and based on the diagnostic we complement with recommendations, conclusions about the diagnosis and the evolution of the water treatment plant.

CAPITULO I. EL PROBLEMA DE LA INVESTIGACION

1.1 Introducción

Uno de los principales objetivos de la Corporación de Acueducto y Alcantarillado de Santo Domingo (CAASD) en el acueducto oriental es el de brindar agua de buena calidad que cumpla con los requisitos de calidad establecidos por el Decreto 42-05 del año 2005 que establece el reglamento de aguas para consumo humano, así como los valores guía de la OPS-OMS; y de cantidad suficiente para suplir las necesidades básicas de los habitantes del municipio de Santo Domingo Este.

Santo Domingo Este, popularmente conocida Zona Oriental, es uno de los municipios de la Provincia Santo Domingo que ha tenido mayor desarrollo, incrementando considerablemente su población, generando así mayor demanda de agua, es por esto y por el hecho de que Santo Domingo Norte necesita una fuente de abastecimiento constante que la CAASD tiene contemplado la necesidad de ampliar la planta de tratamiento de agua potable de Barrera de Salinidad.

En una planta de tratamiento de agua potable, la calidad, el costo y la cantidad son elementos básicos para la administración, operación y mantenimiento de esta.

Es por esto que esta investigación nace debido a una observación de la CAASD, referente a la planta potabilizadora del acueducto Barrera de Salinidad, el cual está presentando perdidas entre un 10% y un 20% del agua ya tratada, y se pretende corregir esto antes de efectuarse la ampliación de dicha planta.

El acueducto de Barrera de Salinidad abastece al municipio de Santo Domingo Este y es una planta convencional de filtración rápida diseñada bajo el modelo de la CEPIS, la misma potabiliza 4 m³/s de agua y está compuesta de 2 módulos los cuales tratan 2 m³/s respectivamente.

Se llevara a cabo una evaluación a los componentes de la planta para así conocer la eficiencia de los mismos. Esta evaluación se hará de acuerdo al protocolo establecido por la CEPIS/OPS y se utilizaran los métodos de investigación: observación, análisis y síntesis.

Con los resultados obtenidos de la evaluación se harán las recomendaciones pertinentes para el mejoramiento de los componentes que lo necesiten.

1.2 Planteamiento del problema.

La planta de tratamiento de agua potable de Barrera de Salinidad suministra agua potable a una población de 948,885 personas del municipio de Santo Domingo Este. Según la Corporación de Acueducto y Alcantarillado de Santo Domingo la planta debe entregar 4 metros cúbicos y está entregando 3.8 metros cúbicos, de manera que se está perdiendo el equivalente del 5% de su capacidad nominal, según los registros de operaciones.

Según el ingeniero de la CAASD, Las causas de estas pérdidas pueden ser por la reducción en los diámetros de tuberías de drenaje de lodos, en los Sedimentadores y un problema que presentan los filtros por la tecnología que se utilizan.

Aunque existen planes de hacer un trasvase, cualquier decisión debe ser posterior a la identificación de la productividad de la P.T.A.P mediante una evaluación integral de la misma.

1.2.1 Formulación del Problema

¿Cuáles son los factores que permitirían el mejoramiento de la planta de tratamiento de agua potable, para eficientizar el funcionamiento de las unidades que la componen?

1.2.2 Sistematización del Problema

¿Cuál es el estado actual de la planta de tratamiento de agua?

¿Cuáles unidades que componen la planta presentan deficiencia en su funcionamiento?

¿Qué cantidad de agua tratada se pierde debido a las deficiencias de la planta?

¿Cuál es la calidad del efluente de la planta de tratamiento?

¿Cuáles serían las opciones más viables para el mejoramiento de la planta?

1.3 Justificación

Debido a las épocas de estiaje por las que pasa República Dominicana, a las continuas demandas de la población por el suministro de agua y al costo de tratar el agua, es imperioso preservar el óptimo funcionamiento de los acueductos del país, ya que estos garantizan el suministro del preciado líquido a las comunidades.

Este estudio servirá para determinar en cuál de los procesos del tratamiento del agua dentro de la planta se manifiesta las pérdidas de la misma, la exploración arrojará el análisis de todos los componentes que forman la planta. Con este se realizará una propuesta para mejorar el funcionamiento de la planta potabilizadora y así eliminar las pérdidas del sistema.

1.4 Objetivos de la Investigación

1.4.1 Objetivos Generales

Elaborar una propuesta de mejoramiento para la planta de tratamiento de agua potable de Barrera de Salinidad.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Identificar las causas por las cuales la planta potabilizadora de Barrera de Salinidad está presentando una reducción en la entrega de agua en el sistema.
- Revisar la eficiencia de las estructuras y del instrumental que tratan el agua que recibe la planta.
- Determinar las fallas que causan las pérdidas de agua.
- Desarrollar el diagnóstico de la P.T.A.P tomando como base los parámetros recomendados por organismos internacionales como CEPIS/OPS y AWWA.

CAPITULO II. FUNDAMENTOS TEORICOS

2.1 Antecedentes

La Republica Dominicana cuenta con un diverso conjunto de acueductos cuyos procesos se han visto en la necesidad de ser evaluados en algún punto de su vida de operación. Un ejemplo de esto es la evaluación efectuada por la Ing. Rosa Urania Abreu a la planta potabilizadora de Haina-Manoguayabo, en el año (2001) para la Corporación de Acueducto y Alcantarillado de Santo Domingo y el Banco Interamericano de Desarrollo (CAASD-BID).

La investigación se centró en realizar un diagnóstico sanitario de todos los componentes del sistema de Haina-Manoguayabo, desde la obra de toma hasta la distribución del agua para al final realizar recomendaciones dirigidas a mejorar la calidad de la operación en situaciones normales para garantizar la calidad del agua de este sistema.

También se consultó el trabajo especial de grado que en (mes) de 1994 fue presentado por las Ingenieras químicas Heriberta Ysabel de la Cruz y Katusca María Porter Jover como requisito para optar por el título de Ing. Químico que se dicta en la Universidad Nacional Pedro Henríquez Ureña (UNPHU), titulado *Evaluación de la planta de tratamiento del acueducto de Salcedo*.

Esta investigación establece, desde un diseño de campo, la condición de cada uno de los procesos que intervienen en el tratamiento, buscando cooperar con las instituciones del gobierno en los proyectos que deben realizar y contribuir con el mejoramiento de las condiciones sanitarias en nuestro país.

En esta misma labor de investigación y consulta se encontraron trabajos especiales de grado pertenecientes a universidades colombianas, como son:

La propuesta para el mejoramiento de la planta de tratamiento de agua potable del municipio de Bituima, Cundinamarca, presentado en el año 2011, por las Ingenieras Sandra Milena Sánchez y María Paula Peña, en la facultad de ingeniería de la Universidad de la Salle, Bogotá.

Este trabajo se realizó con base en información epidemiológica donde los datos de morbilidad a causa de enfermedades originadas por la mala calidad del agua iban en aumento. Por medio de un diagnóstico previo de identificación de las unidades de la P.T.A.P que presentaban problemas durante el tratamiento y resultados de pruebas

físicoquímicas y microbiológicas, se identificaron los puntos claves a ser mejorados y se presentaron cuatro alternativas de mejoramiento acompañadas de recomendaciones en cuanto a selección de la alternativa más viable.

Evaluación, diagnóstico y optimización de los procesos de la planta de tratamiento de agua potable de Floridablanca (Acueducto metropolitano de Bucaramanga), presentado en el año 2005, por los Ingenieros Ariel Capacho Gutiérrez y Edinson Javier Uribe, en la facultad de ciencias físico - mecánicas de la Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga.

Este trabajo se realiza con la preocupación de llevar a la planta de tratamiento a su óptimo rendimiento para obtener resultados efectivos en la prestación del servicio. La optimización se realizó buscando los parámetros óptimos de cada proceso por medio de pruebas de laboratorio que revisan cada parámetro físico – químico.

Por último, en materia de evaluación de plantas de tratamiento de agua potable, Barrera de Salinidad no tiene ningún historial de evaluaciones a su funcionamiento, debido a que es una planta nueva.

2.2 Calidad del agua

Este es un término relativo ya que va a depender del uso que se le dará a dicho recurso. La calidad del agua está determinada por la presencia y la cantidad de contaminantes, factores físico-químicos tales como pH y conductividad y cantidad de sales. Los seres humanos tienen una gran influencia en todos estos factores, pues ellos depositan residuos en el agua y añaden toda clase de sustancias y de contaminantes que no están presentes de forma natural. (Barrenechea, 2004)

A continuación se tratan en detalle las principales características físicoquímicas y microbiológicas que definen la calidad del agua.

2.2.1 Características físicas del agua

Las características físicas del agua, llamadas así porque pueden impresionar a los sentidos (vista, olfato, etcétera), tienen directa incidencia sobre las condiciones estéticas y de aceptabilidad del agua.

Se consideran importantes las siguientes:

- Turbiedad.
- Sólidos solubles e insolubles.
- Color.
- Olor y sabor.
- Temperatura.
- PH.

Turbiedad

Según la Organización Mundial de la Salud **OMS**, La turbidez en el agua de consumo está causada por la presencia de partículas de materia, que pueden proceder del agua de origen, como consecuencia de un filtrado inadecuado, o debido a la resuspensión de sedimentos en el sistema de distribución. También puede deberse a la presencia de partículas de materia inorgánica en algunas aguas subterráneas o al desprendimiento de biopelículas en el sistema de distribución. El aspecto del agua con una turbidez menor que 5 UNT suele ser aceptable para los consumidores, aunque esto puede variar en función de las circunstancias locales.

Las partículas pueden proteger a los microorganismos de los efectos de la desinfección y pueden estimular la proliferación de bacterias. Siempre que se someta al agua a un tratamiento de desinfección, su turbidez debe ser baja, para que el tratamiento sea eficaz. (Organización Mundial de la Salud., 2006)

Además, la turbidez también es un parámetro operativo importante en el control de los procesos de tratamiento, y puede indicar la existencia de problemas, sobre todo en la coagulación y sedimentación y en la filtración.

Según el Dec. No. 42-05 que establece el Reglamento de Aguas para Consumo Humano. El agua para uso doméstico no deberá sabores u olores objetables y deberá de cumplir con los requisitos especificados en la tabla siguiente:

Tabla 1. Requisitos Físicos

Requisitos	Unidades	Límite Recomendado	Límite Máximo Permisible
Turbidez	Unidades de Turbidez	Menor de 5	10
Color	Unidades Hazen (Platino Cobalto)	Menor de 10	50

Fuente: (Fernandez, 2005)

Los límites especificados como “recomendados” y “máximos permisibles”, ambos representan agua adecuada para consumo humano y para usos domésticos. El límite

“recomendado” deberá ser, si es posible, aplicado a todas las aguas suministradas para uso domésticos, y el límite “máximo permisible” no debe ser nunca sobrepasado.

Sólidos solubles e insolubles.

Se denomina así a los residuos que se obtienen como materia remanente luego de evaporar y secar una muestra de agua a una temperatura dada. Según el tipo de asociación con el agua, los sólidos pueden encontrarse suspendidos o disueltos.

Sólidos totales. Corresponden al residuo remanente después de secar una muestra de agua. Equivalen a la suma del residuo disuelto y suspendido. El residuo total del agua se determina a 103–105 °C.

Sólidos en suspensión. Corresponden a los sólidos presentes en un agua residual, exceptuados los solubles y los sólidos en fino estado coloidal. Se considera que los sólidos en suspensión son los que tienen partículas superiores a un micrómetro y que son retenidos mediante una filtración en el análisis de laboratorio.

Sólidos volátiles y fijos. Los sólidos volátiles son aquellos que se pierden por calcinación a 550 °C, mientras que el material remanente se define como sólidos fijos.

La mayor parte de los sólidos volátiles corresponden a material orgánico. Los sólidos fijos corresponden, más bien, a material inorgánico. (Barrenechea, 2004)

Tabla 2. Características físico químicas. Requisitos

Parámetros	Expresión de los resultados	Nivel guía	Concentración máxima admisible	Observaciones
Temperatura	°C.	12	25	
Concentración en ión hidrógeno	Unidad	7<=pH<=8,5	6,5 9,2	Los valores del pH no se aplican a las aguas acondicionadas.
Conductividad	S/cm a 20°C	400	-	En correspondencia con la mineralización de las aguas.
Dureza total	mg/l CaCO3	200	500	Calcio o cationes equivalentes
Residuo seco / sólidos disueltos	Mg/l después del secado a 180°C.	500	1000	

Fuente: (Fernandez, 2005)

Color.

Idóneamente, el agua de consumo no debe tener ningún color apreciable. Generalmente, el color en el agua de consumo se debe a la presencia de materia orgánica coloreada (principalmente ácidos húmicos y fúlvicos) asociada al humus del suelo. Asimismo, la presencia de hierro y otros metales, bien como impurezas naturales o como resultado de la corrosión, también tiene una gran influencia en el color del agua. También puede proceder de la contaminación de la fuente de agua con vertidos industriales y puede ser el primer indicio de una situación peligrosa. Si el agua de un sistema de abastecimiento tiene color, se debe investigar su origen, sobre todo si se ha producido un cambio sustancial. (Organización Mundial de la Salud., 2006)

La mayoría de las personas puede percibir niveles de color mayores que 15 unidades de color verdadero (UCV) en un vaso de agua. Los consumidores suelen considerar aceptable niveles de color menores que 15 TCU, pero la aceptabilidad puede variar. Un nivel de color alto también puede indicar una gran propensión a la generación de subproductos en los procesos de desinfección. No se propone ningún valor de referencia basado en efectos sobre la salud para el color en el agua de consumo. (Organización Mundial de la Salud., 2006)

Olor y sabor.

Los sabores u olores del agua de consumo pueden revelar la existencia de algún tipo de contaminación, o el funcionamiento deficiente de algún proceso durante el tratamiento o la distribución del agua. Por lo tanto, puede indicar la presencia de sustancias potencialmente dañinas. Se debe investigar la causa y consultar a las autoridades de salud pertinentes, sobre todo si el cambio experimentado es sustancial o repentino. (Organización Mundial de la Salud., 2006)

Las sustancias generadoras de olor y sabor en aguas crudas pueden ser compuestos orgánicos derivados de la actividad de microorganismos y algas o provenir de descargas de desechos industriales. (Organización Mundial de la Salud., 2006)

En la siguiente tabla se observan las concentraciones máximas admisibles de las características organolépticas del agua potable según las normas Dominicanas.

Tabla 3. Características Organolépticas. Requisitos

Parámetros	Expresión de los resultados	Nivel guía	Concentración máxima admisible	Observaciones
Color	Mg/l escala Pt/Co.	<10	20	20 unidades de color verdadero en la escala de platino-cobalto.
Turbidez	Mg/l SiO ₂ .	1	10	Medición sustituida en determinadas circunstancias por la transparencia valorada en metros con el disco de Secchi: -Nivel guía: 6 metros -Concentración máxima admisible: 2 metros
Olor	Índice de dilución	0	2 a 12°C 3 a 25°C	Agradable para el olfato(se aceptarán aquellos que sean tolerables para la mayoría de los consumidores, siempre que no sean resultados de condiciones objetables desde el punto de vista biológico o químico).
Sabor	Índice de dilución	0	2 a 12°C 3 a 25°C	Agradable para el gusto(se aceptarán aquellos que sean tolerables para la mayoría de los consumidores, siempre que no sean resultados de condiciones objetables desde el punto de vista biológico o químico)

Fuente: (Fernandez, 2005)

En el cuadro siguiente, se describen los diferentes olores que pueden tener el agua potable y el origen de estos mismos.

Tabla 4. Olores Característicos del agua y su origen.

Naturaleza	Origen
Olor balsámico	Flores
Dulzor	<i>Coelosphaerium</i>
Olor químico	Aguas residuales industriales
Olor a cloro	Cloro libre
Olor a hidrocarburo	Refinería de petróleo
Olor medicamentoso	Fenol, yodoformo
Olor a azufre	Ácido sulfhídrico, H ₂ S
Olor a pescado	Pescado, mariscos
Olor séptico	Alcantarilla
Olor a tierra	Arcillas húmedas
Olor fecaloide	Retrete, alcantarilla
Olor a moho	Cueva húmeda
Olor a legumbres	Hierbas, hojas en descomposición

Fuente: (Barrenechea, 2004)

Temperatura.

El agua fría tiene, por lo general, un sabor más agradable que el agua tibia, y la temperatura repercutirá en la aceptabilidad de algunos otros componentes inorgánicos y contaminantes químicos que pueden afectar al sabor. La temperatura alta del agua potencia la proliferación de microorganismos y puede aumentar los problemas de sabor, olor, color y corrosión. (Organización Mundial de la Salud., 2006)

Según Dec. No. 42-05 que establece el Reglamento de Aguas para Consumo Humano de la República Dominicana, la temperatura máxima permisible es de 25^o C. Ver tabla No 2. Características físico-químicas. Requisitos.

2.2.2 Características químicas del agua

El agua, como solvente universal, puede contener cualquier elemento químico de la tabla periódica. Sin embargo, pocos son los elementos significativos para el tratamiento del agua cruda con fines de consumo o los que tienen efectos en la salud del consumidor.

Las características químicas del agua para consumo humano en relación con los elementos, compuestos químicos y mezclas de compuestos químicos que tienen implicaciones sobre la salud humana se señalan en la siguiente tabla:

Tabla 5. Características Químicas. Requisitos

Parámetros	Expresión de los resultados	Nivel guía	Concentración máxima admisible	Observaciones
Oxígeno disuelto.	% O ₂ de saturación	-	-	Valor de saturación > 75%, excepto para las aguas subterráneas.
Anhidrido carbónico libre	Mg/l CO ₂	-	-	El agua no debería ser agresiva.
Cloruro	Mg/l Cl.	25	150	Concentración aproximada más allá de la cual cabe el peligro de que se produzcan efectos: 200
Sulfatos	Mg/l SO ₄	100	400	
Sílice	Mg/l SiO ₂	-	-	
Calcio	Mg/l Ca	75	100	
Magnesio	Mg/l Mg	50	100	
Sodio	Mg/l Na	20	200	
Potasio.	mg/l K	10	12	
Aluminio	Mg/l Al	0,05	0,2	

Fuente: (Fernandez, 2005)

Las características químicas del agua para consumo humano (elementos, compuestos químicos y mezclas de compuestos químicos diferentes a los plaguicidas y otras sustancias) que al sobrepasar los valores máximos aceptables tienen reconocido efecto adverso en la salud humana, deben enmarcarse dentro de los valores máximos aceptables que se señalan en la norma.

Aluminio

Es un componente natural del agua, debido principalmente a que forma parte de la estructura de las arcillas. Puede estar presente en sus formas solubles o en sistemas coloidales, responsables de la turbiedad del agua. Las concentraciones más frecuentes en las aguas superficiales oscilan entre 0,1 y 10 ppm.

En el caso del aluminio, la OMS ha establecido un valor guía de 0,2 mg/L para aguas de consumo humano.

Cloruros

Por sus características químicas y la gran solubilidad de la mayoría de los cloruros, su remoción requiere métodos sofisticados y costosos, muchos de ellos impracticables, especialmente cuando se trata de volúmenes relativamente altos. (Barrenechea, 2004)

Los límites fijados en el agua por las normas de calidad se sustentan más en el gusto que le imparten al agua que en motivos de salubridad.

Tomando en cuenta el límite de percepción del sabor de los cloruros en el agua, se ha establecido un límite de 150 mg/L en aguas de consumo.

Oxígeno disuelto (OD)

Su presencia es esencial en el agua; proviene principalmente del aire. Niveles bajos o ausencia de oxígeno en el agua. Puede indicar contaminación elevada, condiciones sépticas de materia orgánica o una actividad bacteriana intensa; por ello se le puede considerar como un indicador de contaminación. (Barrenechea, 2004)

El agua potable debe contener cierta cantidad de oxígeno disuelto. Debe estar bien aireada y es muy importante tener en cuenta las variaciones relativas de oxígeno disuelto, ya que si estas son grandes, es síntoma de un probable aumento de vegetales, materia orgánica, gérmenes aerobios, reductores inorgánicos, etcétera. (Barrenechea, 2004)

Sulfatos

Los sulfatos son un componente natural de las aguas superficiales y por lo general en ellas no se encuentran en concentraciones que puedan afectar su calidad. Pueden provenir de la oxidación de los sulfuros existentes en el agua y, en función del contenido de calcio, podrían impartirle un carácter ácido.

Por sus efectos laxantes, su influencia sobre el sabor y porque no hay métodos definidos para su remoción, la OMS recomienda que en aguas destinadas al consumo humano, el límite permisible no exceda 250 mg/L, pero indica, además, que este valor guía está

destinado a evitar la probable corrosividad del agua. Las Guías de Calidad para Agua de Bebida del Canadá recomiendan un máximo de 500 mg/L. (Barrenechea, 2004)

2.2.3 Características microbiológicas del agua

Las características microbiológicas del agua para consumo humano deben enmarcarse dentro de los siguientes valores máximos aceptables desde el punto de vista microbiológico.

El mayor riesgo microbiano del agua es el relacionado con el consumo de agua contaminada con excrementos humanos o animales, aunque puede haber otras fuentes y vías de exposición significativas.

Tabla 6. Características Microbiológicas. Requisitos

Parámetros	Volumen de la muestra (en ml)	Concentración máxima admisible			
		Nivel guía	Método de membranas filtrantes	Método de tubos múltiples (NMP)	
Coliformes totales	100	-	0*	NMP<1*	
Coliformes fecales	100	-	0	NMP<1	
Estreptococos fecales	100	-	0	NMP<1	
Clostridium sulfitorreductores	20	-	-	NMP<=1	
Pseudomonas					
* Este valor en la red de distribución podrá ser rebasado en un 5 por 100 de las muestras como máximo, siempre que ninguna muestra contenga más de 10 bacterias coliformes por 100 ml de agua y que en ningún caso se encuentren bacterias coliformes en 100 ml de agua en dos muestras consecutivas.					
Parámetros	Resultados	Volumen muestra (en mg/l)	Nivel guía	Concentración máx. admisible	Observaciones
Recuento de los gérmenes totales en las aguas destinadas al consumo	22°C	1	100(1)(2)	--	--
Recuento de los gérmenes totales para las aguas acondicionadas	37°C	1	5	20	--
	22°C	1	20	100	--
(1) Para las aguas desinfectadas los valores correspondientes habrán de ser netamente inferiores a la salida de la estación de tratamiento.					
(2) Toda extralimitación de estos valores que persista durante sucesivas extracciones de muestras habrá de estar sujeta a comprobación.					

Fuente: (Fernandez, 2005)

Según las normas dominicanas, ninguna muestra de agua para consumo humano debe contener coliformes fecales en 100 ml de agua, independientemente del método de análisis utilizado.

2.3 Plantas de Tratamiento

Una planta de tratamiento es una secuencia de operaciones o procesos unitarios, convenientemente seleccionados con el fin de remover totalmente los contaminantes microbiológicos presentes en el agua cruda y parcialmente los físicos y químicos, hasta llevarlos a los límites aceptables estipulados por las normas. (de Vargas, 2004)

2.3.1 Tipos de plantas de tratamiento de agua

Las plantas de tratamiento de agua se pueden clasificar, (de Vargas, 2004):

2.3.1.1 *Plantas de filtración rápida*

Estas plantas se denominan así porque los filtros que las integran operan con velocidades altas, entre 80 y 300 m³/m².d, de acuerdo con las características del agua, del medio filtrante y de los recursos disponibles para operar y mantener estas instalaciones.

De acuerdo con la calidad del agua por tratar, se presentan dos soluciones dentro de este tipo de plantas:

Plantas de filtración rápida completa: Normalmente está integrada por los procesos de coagulación, decantación, filtración y desinfección. Para realizar el tratamiento con esta tecnología el agua debe tener la siguiente calidad:

Tabla 7. Límites de calidad del agua aceptables para el tratamiento mediante filtración rápida completa

Parámetros	90% del tiempo	80% del tiempo	Esporádicamente
Turbiedad (UNT)	< 1.000	< 800	< 1.500; si excede, considerar presedimentación
Color (UC)	< 150	< 70	
NMP de coliformes termotolerantes/100 mL	< 600		Si excede de 600, se debe considerar predesinfección

Fuente: (de Vargas, 2004)

Plantas de filtración directa: Es una alternativa a la filtración rápida, constituida por los procesos de mezcla rápida y filtración, apropiada solo para aguas claras.

Son ideales para este tipo de solución las aguas provenientes de embalses o represas, que operan como grandes presedimentadores y proporcionan aguas constantemente claras y poco contaminadas. Para realizar el tratamiento con esta tecnología el agua debe tener la siguiente calidad:

Tabla 8. Límites de calidad del agua aceptables para el tratamiento mediante filtración directa.

Alternativa	Parámetros	90% del tiempo	80% del tiempo	Esporádicamente
Filtración directa descendente	Turbiedad (UNT)	25 - 30	<20	< 50
	Color verdadero (UC)	< 25		
	NMP de coliformes totales/100 mL	< 2.500		
	Concentración de algas (unidades/mL)	< 200		
Filtración directa ascendente	Turbiedad (UNT)	< 100	< 50	< 200
	Color (UC)	< 60		< 100
Filtración directa ascendente– descendente	Turbiedad (UNT)	< 250	< 150	< 400
	Color (UC)	< 60		< 100

Fuente: (de Vargas, 2004)

2.3.1.2 Plantas de filtración lenta

Los filtros lentos simulan los procesos de tratamiento que se efectúan en la naturaleza en forma espontánea, al percolar el agua proveniente de las lluvias, ríos, lagunas, etcétera, a través de los estratos de la corteza terrestre, atravesando capas de grava, arena y arcilla hasta alcanzar los acuíferos o ríos subterráneos. Al igual que en la naturaleza, los procesos que emplean estos filtros son físicos y biológicos.

Una planta de filtración lenta puede estar constituida solo por filtros lentos, pero dependiendo de la calidad del agua, puede comprender los procesos de desarenado, pre sedimentación, sedimentación, filtración gruesa o filtración en grava y filtración lenta.

2.3.1.3 Sistemas convencionales

Este tipo de sistema es el más antiguo en nuestro medio. Se ha venido utilizando desde principios del siglo pasado (1910–1920). Se caracteriza por la gran extensión que ocupan las unidades

Para mejorar el funcionamiento de los sistemas convencionales, se fueron agregando equipos mecánicos y actualmente la mayor parte de estos sistemas son mixtos, están constituidos por unidades hidráulicas y mecánicas.

En la época en que estos sistemas fueron proyectados, el tratamiento de agua era más un arte que una ciencia. Las investigaciones más importantes en el campo del tratamiento del agua se realizaron a partir de la década de 1960. Antes de ello, los proyectistas aplicaban criterios y parámetros por intuición, con muy poco fundamento técnico. A esto se debe que estos sistemas presenten muchas deficiencias; sin embargo, debido al gran tamaño de las unidades, presentan un potencial enorme para convertirlos en sistemas convencionales de alta tasa. Su capacidad se puede incrementar por lo menos en tres o cuatro veces con muy poca inversión.

2.3.2 Sistemas convencionales de alta tasa o de tecnología CEPIS/OPS

Esta tecnología se empezó a desarrollar en la década de 1970 y se ha ido perfeccionando cada vez más a la luz de las últimas investigaciones realizadas en los países desarrollados. Las unidades son de alta tasa, ocupan una extensión que constituye el 25% ó 30% del área que ocupa un sistema convencional de la misma capacidad. La reducción del área se debe al empleo de floculadores verticales que por su mayor profundidad ocupan menos área que los horizontales y permiten compactar mejor el sistema.

Las principales ventajas de esta tecnología son las siguientes: Es sumamente eficiente; es fácil de operar, construir y mantener; es muy económica; es muy confiable.

2.4 Procesos Unitarios

2.4.1 Coagulación

El agua puede contener una variedad de impurezas, solubles e insolubles; entre estas últimas destacan las partículas coloidales, las sustancias húmicas y los microorganismos en general. Tales impurezas coloidales presentan una carga superficial negativa, que impide que las partículas se aproximen unas a otras. Para que estas impurezas puedan ser removidas, es preciso alterar algunas características del agua, a través de los procesos de coagulación, floculación, sedimentación y filtración.

La coagulación se lleva a cabo generalmente con la adición de sales de aluminio y hierro. Este proceso es resultado de dos fenómenos: El primero, esencialmente químico, consiste en las reacciones del coagulante con el agua y la formación de especies hidrolizadas con carga positiva. El segundo, fundamentalmente físico, consiste en el transporte de especies hidrolizadas para que hagan contacto con las impurezas del agua. (Barrenechea, 2004)

Este proceso es muy rápido, toma desde décimas de segundo hasta cerca de 100 segundos. . Se lleva a cabo en una unidad de tratamiento denominada *mezcla rápida*. De allí en adelante, se necesitará una agitación relativamente lenta, la cual se realiza dentro del floculador. En esta unidad las partículas chocarán entre sí, se aglomerarán y formarán otras mayores denominadas *flóculos*; estas pueden ser removidas con mayor eficiencia por los procesos de sedimentación, flotación o filtración rápida.

La remoción de las partículas coloidales está relacionada estrictamente con una adecuada coagulación, pues de ella depende la eficiencia de las siguientes etapas: floculación, sedimentación y filtración.

Sustancias químicas empleadas en la coagulación.

A los productos químicos empleados en la coagulación se les conoce como coagulantes, modificadores de PH y ayudantes de la coagulación.

Según el Manual I de CEPIS/OPS sobre Plantas de Filtración rápida, los productos químicos más usados como coagulantes en el tratamiento de las aguas son:

- **El sulfato de aluminio**, Puede estar en forma sólida o líquida.

La sólida se presenta en placas compactas, gránulos de diverso tamaño y polvo. Su fórmula teórica es $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18 H_2O$. Su concentración se define, en general, por su contenido en alúmina, expresada en Al_2O_3 , es decir, 17% aproximadamente. La densidad aparente del sulfato de aluminio en polvo es del orden de 1.000 kg/m^3 .

El contenido en alúmina Al_2O_3 de la forma líquida fluctúa generalmente entre 8 y 8,5%; es decir, 48 a 49% en equivalente polvo o también 630 a 650 g de $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18 H_2O$ por litro de solución acuosa.

El sulfato de aluminio es una sal derivada de una base débil (hidróxido de aluminio) y de un ácido fuerte (ácido sulfúrico), por lo que sus soluciones acuosas son muy ácidas; su pH varía entre 2 y 3,8, según la relación molar sulfato/alúmina.

- **El cloruro férrico,** Se presenta en forma sólida o líquida; esta última es la más utilizada en el tratamiento del agua.

La forma sólida es cristalina, de color pardo, deliquescente, de fórmula teórica $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$. Se funde fácilmente en su agua de cristalización a $34\text{ }^\circ\text{C}$, por lo que es necesario protegerla del calor. La forma líquida comercial tiene un promedio de 40% de FeCl_3 .

En presencia de hierro, las soluciones acuosas de cloruro férrico se reducen rápidamente a cloruro ferroso FeCl_2 . Esta reacción explica su gran poder corrosivo frente al acero, y la necesidad de seleccionar adecuadamente el material de los recipientes de almacenamiento, de preparación y de distribución.

- **El sulfato ferroso,** El sulfato ferroso usado en el tratamiento de agua es un polvo de color verde muy soluble y tiene una masa volumétrica aparente próxima a 900 kg/m^3 . Su contenido en hierro es de aproximadamente 19%. Por su naturaleza ácida, el pH de una solución al 10% es de 2,8 aproximadamente. Por esta razón, para su almacenamiento y preparación se usa material plástico.
- **El sulfato férrico,** El sulfato férrico es un polvo blanco verdoso, muy soluble en el agua, su masa volumétrica aparente es 1.000 kg/m^3 . Debido a que en solución acuosa se hidroliza y forma ácido sulfúrico, es necesario prevenir los efectos de su acidez.

2.4.2 Mezcla Rápida

Se denomina mezcla rápida a las condiciones de intensidad de agitación y tiempo de retención que debe reunir la masa de agua en el momento en que se dosifica el coagulante, con la finalidad de que las reacciones de coagulación se den en las condiciones óptimas correspondientes al mecanismo de coagulación predominante. La dosificación se realiza en la unidad de mezcla rápida. (de Vargas, 2004)

La mezcla rápida puede efectuarse mediante turbulencia, provocada por medios hidráulicos o mecánicos, tales como: resaltos hidráulicos en canales, canaletas Parshall, vertederos rectangulares, tuberías de succión de bombas, mezcladores mecánicos en línea, rejillas difusoras, chorros químicos y tanques con equipo de mezcla rápida. (Romero, 1995)

Tabla 9. Clasificación de las unidades de mezcla rápida.

Mecánicas	Retromezclador en línea		
Hidráulicas	Resalto hidráulico	Canaleta Parshall	
		Canal de fondo inclinado	
		Vertedero rectangular	
	En línea	Difusores	En tuberías
		Inyectores	En canales
		Estáticos	
	Caídas	Orificios	
		Vertederos triangulares	
	Contracciones	Medidor Venturi	
		Reducciones	
		Orificios ahogados	
	Velocidad o cambio de flujo	Línea de bombeo	
Codos			

Fuente: (de Vargas, 2004)

En los mezcladores hidráulicos la mezcla es ejecutada como resultado de la turbulencia que existe en el régimen del flujo; en los mecánicos la mezcla es inducida a través de los impulsores rotatorios del tipo de hélice o turbina.

Los de hélice, semejantes a hélices de barcos, generan corrientes axiales fuertes que crean gran intensidad de mezclas y se han usado para mezcla de alta velocidad con rotaciones de hasta 2000 revoluciones por minuto. Los impulsores de paleta generan corrientes radiales y tangenciales, y son más usados en floculación con velocidades rotacionales bajas, 2 – 150 RPM, debido a la mayor área expuesta al agua. (Romero, 1995)

La turbina se aplica, indistintamente, a una gran variedad de formas de impulsores, generalmente; consisten en varias aletas rectas montadas verticalmente sobre una placa plana, (Ilustración 1), aunque también se usan las de aletas curvas. La rotación se hace a velocidades moderadas y las corrientes generadas son principalmente de dirección radial y tangencial. Los impulsores de flujo radial descargan el líquido desde el impulsor, a lo largo de un radio, en ángulo recto con su eje; en los de flujo axial el líquido entra al impulsor y es descargado desde el, en forma paralela a su eje. (Ilustración 1) (Romero, 1995)

2.4.2.1 Mezcladores

Mezcladores rápidos mecánicos

Este proceso usualmente utiliza tanques y equipos como los de ilustración 1. Los tanques de mezcla rápida se proyectan generalmente de sección circular o cuadrada. Los mezcladores mecánicos consisten en hélices, turbina, paletas u otros elementos acoplados a un eje de rotación impulsado por una fuerza motriz cualquiera.

Las turbinas de flujo axial mueven el líquido paralelamente al eje del impulsor; las de flujo radial lo mueven perpendicularmente al eje de rotación. En general, se pueden visualizar 3 clases de componentes de flujo inducidas por un impulsor rotatorio.

Las componentes axial y radial son buenas para mezcla, la componente tangencial puede limitar la magnitud de la mezcla al crear un vórtice. En la práctica. La mezcla es el resultado de una combinación de las tres componentes. El vórtice o remolino másico del fluido debe restringirse en todos los tipos de impulsores pues causa una reducción en la diferencia entre la velocidad del fluido y la del impulsor, disminuyendo la efectividad de la mezcla.

Mezcladores rápidos hidráulicos.

Estos se utilizan cuando se dispone de suficiente cabeza o energía en el flujo de entrada. En general se utilizan resaltos hidráulicos, canaletas parshall, tubos Vénturi, dispersores de tubos perforados y tanques con baffles, para disipar energía en turbulencia y aprovecharla para la mezcla del coagulante.

El mezclador hidráulico tiene la ventaja de no requerir equipo mecánico, consideración muy importante en el diseño de plantas para lugares en los que no se dispone de personal capacitado para mantenimiento ni de suministro apropiado de repuestos.

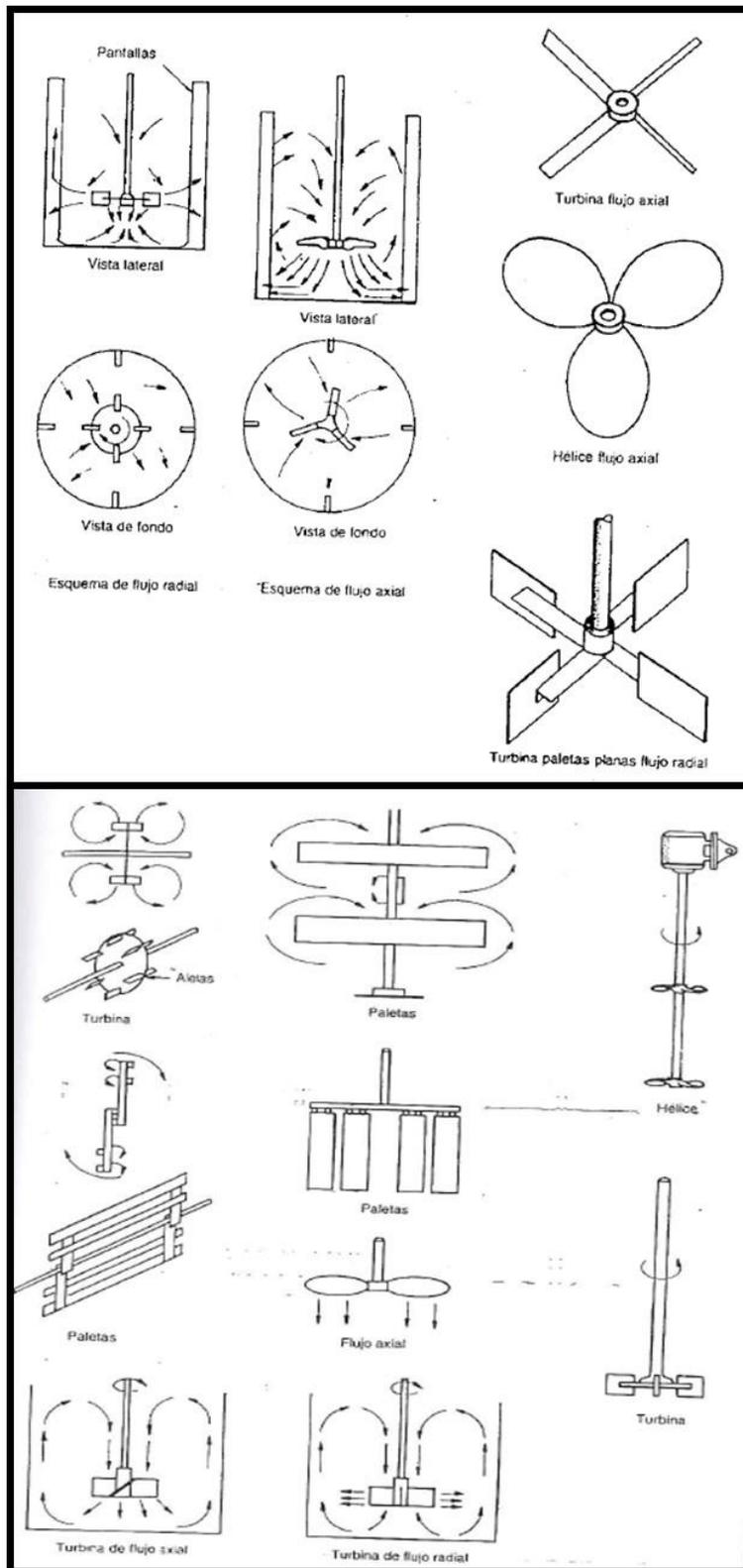


Ilustración 1. Tipos de Agitadores.

Fuente (Romero, 1995)

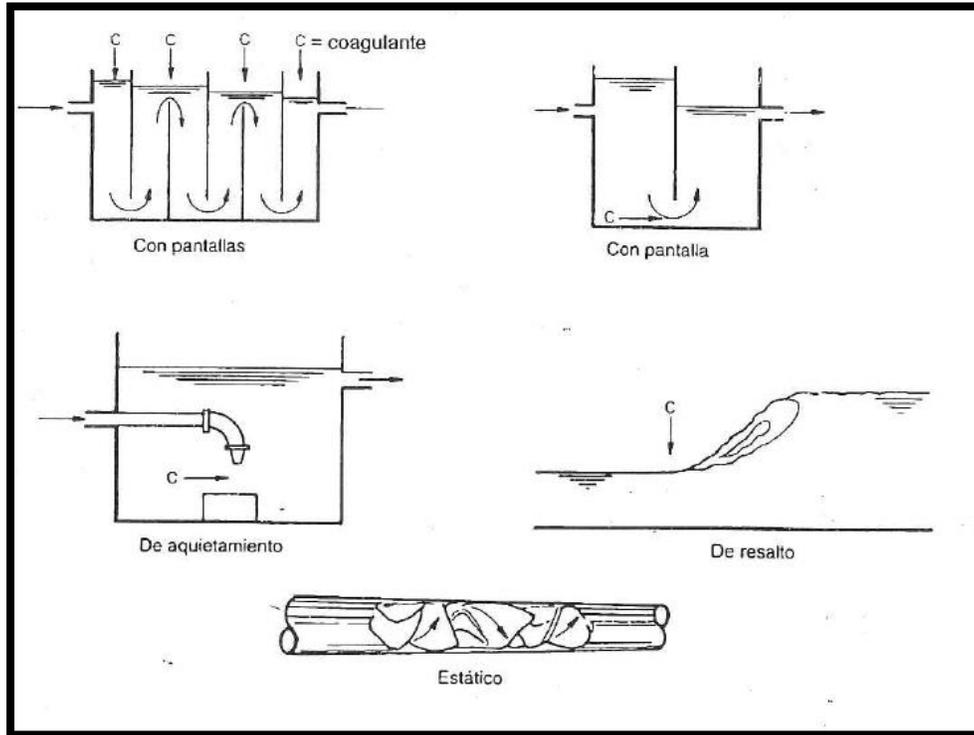


Ilustración 2. Mezcladores Hidráulicos

Fuente. (Romero, 1995)

2.4.3 Floculación

El término floculación se refiere a la aglomeración de partículas coaguladas en partículas floculantes; es el proceso por el cual, una vez desestabilizados los coloides, se provee una mezcla suave de las partículas para incrementar la tasa de encuentros o colisiones entre ellas sin romper o disturbar los agregados preformados. (Romero, 1995)

En la floculación, una vez introducido y mezclado el coagulante, las partículas diminutas coaguladas son puestas en contacto una con otra y con las demás partículas presentes, mediante agitación lenta prolongada, floculación, durante la cual las partículas se aglomeran, incrementan su tamaño y adquieren mayor densidad. El floculador es, por lo tanto, un tanque con algún medio de mezcla suave y lenta, con un tiempo de retención relativamente prolongado. (Romero, 1995)

Parámetros Operacionales.

Los parámetros operacionales del proceso son el gradiente de velocidad (G) y el tiempo de retención (T).

Los valores de estos parámetros, según los estudios realizados por Villegas y Letterman, son los que en forma conjunta van a producir la mayor eficiencia. A través de investigaciones efectuadas, se ha determinado que el rango óptimo de gradientes de velocidad para floculación varía entre 20 y 75 s⁻¹ y el de tiempos de retención entre 10 y 30 min, dependiendo de la calidad del agua. (de Vargas, 2004)

Factores que influyen en la floculación.

Los principales factores que influyen en la eficiencia de este proceso son:

- La naturaleza del agua;
- Las variaciones de caudal;
- La intensidad de agitación;
- El tiempo de floculación, y
- El número de compartimentos de la unidad.

2.4.3.1 Floculadores

Se acostumbra clasificar a los floculadores como mecánicos o hidráulicos de acuerdo con el tipo de energía utilizada para agitar la masa de agua (de Vargas, 2004)

Tabla 10. Clasificación de los Floculadores

Según la energía de agitación	Según el Sentido de Flujo	Descripción	Nombre
Hidráulicos	Flujo Horizontal	Con tabiques de ida y regreso	De Tabiques
	Flujo Vertical	Con tabiques arriba y abajo del tanque	
		Con codos en el fondo que proyectan el agua arriba y abajo	Alabama
		Con entrada lateral al tanque	Cox
Mecánicos	Rotatorios	De paletas de eje horizontal o vertical	De Paletas
		De turbinas Horizontales o verticales	De turbinas
	Recíprocantes	Rejas o cintas oscilantes	Recíprocantes
Hidromecánicos	Flujo horizontal	De turbina Pelton y paletas Horizontales	Hidromecánicos

Fuente: (Arboleda Valencia , 2000)

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 tal forma 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 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 apropiada y número adecuado de baffles para asegurar suficientes curvas, proveen una floculación efectiva. (Romero, 1995)

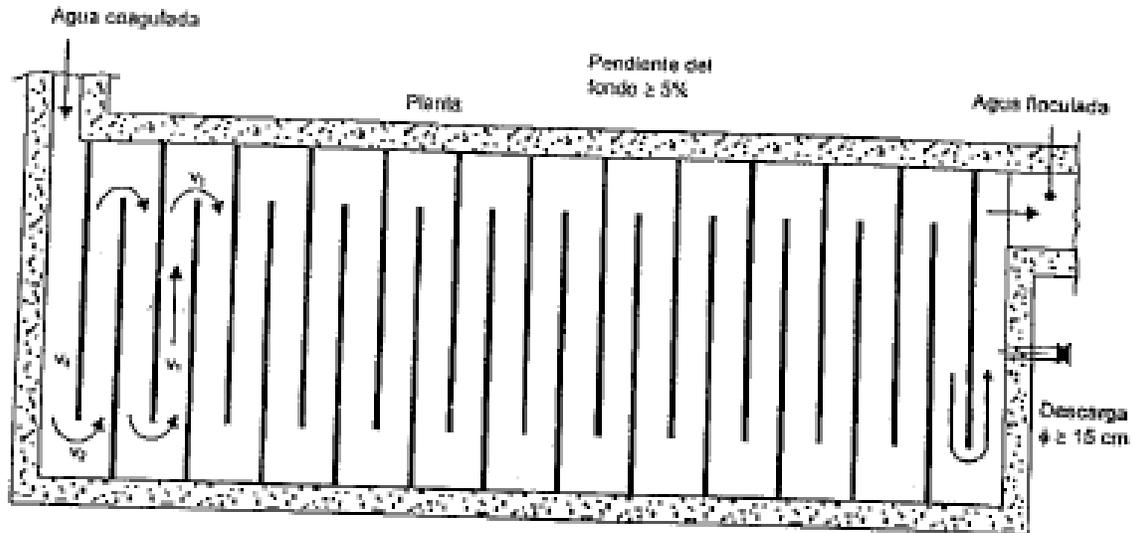


Ilustración 3. Floculador Hidráulico Horizontal. Vista en Planta.

Fuente: (Romero, 1995)

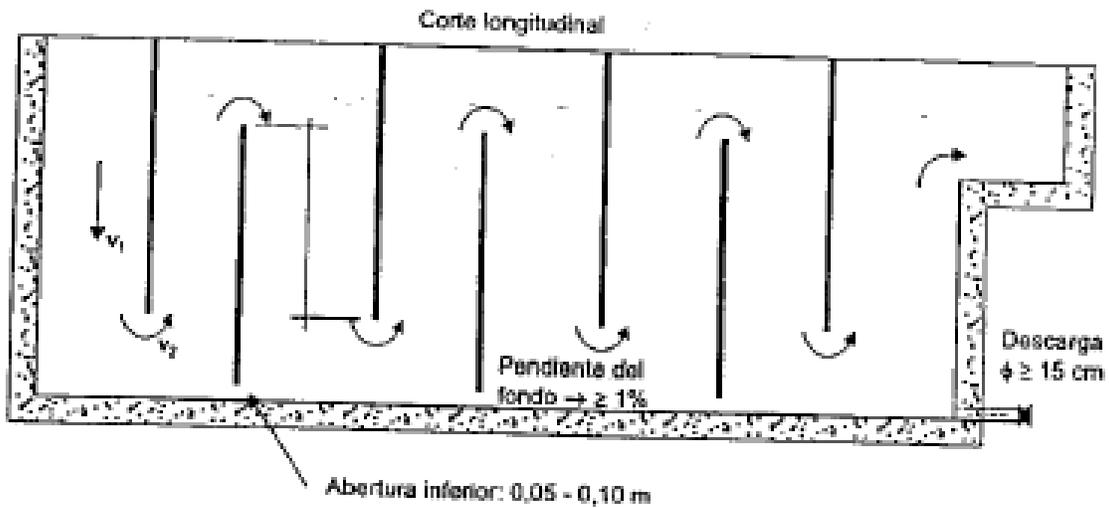


Ilustración 4. Floculador Hidráulico Vertical

Fuente: (Romero, 1995)

En los floculadores mecánicos se introduce potencia al agua para asegurar una mezcla lenta mediante agitadores mecánicos. El tipo de agitador mecánico más usado es el de paletas, ya sean de eje horizontal o vertical, las cuales imparten movimiento rotatorio al agua así como cierta turbulencia interna. También existen impulsores de turbina y de flujo axial. Como el grado de mezcla óptimo es variable, según la calidad del agua, se recomienda que el equipo agitador mecánico sea de velocidad variable.

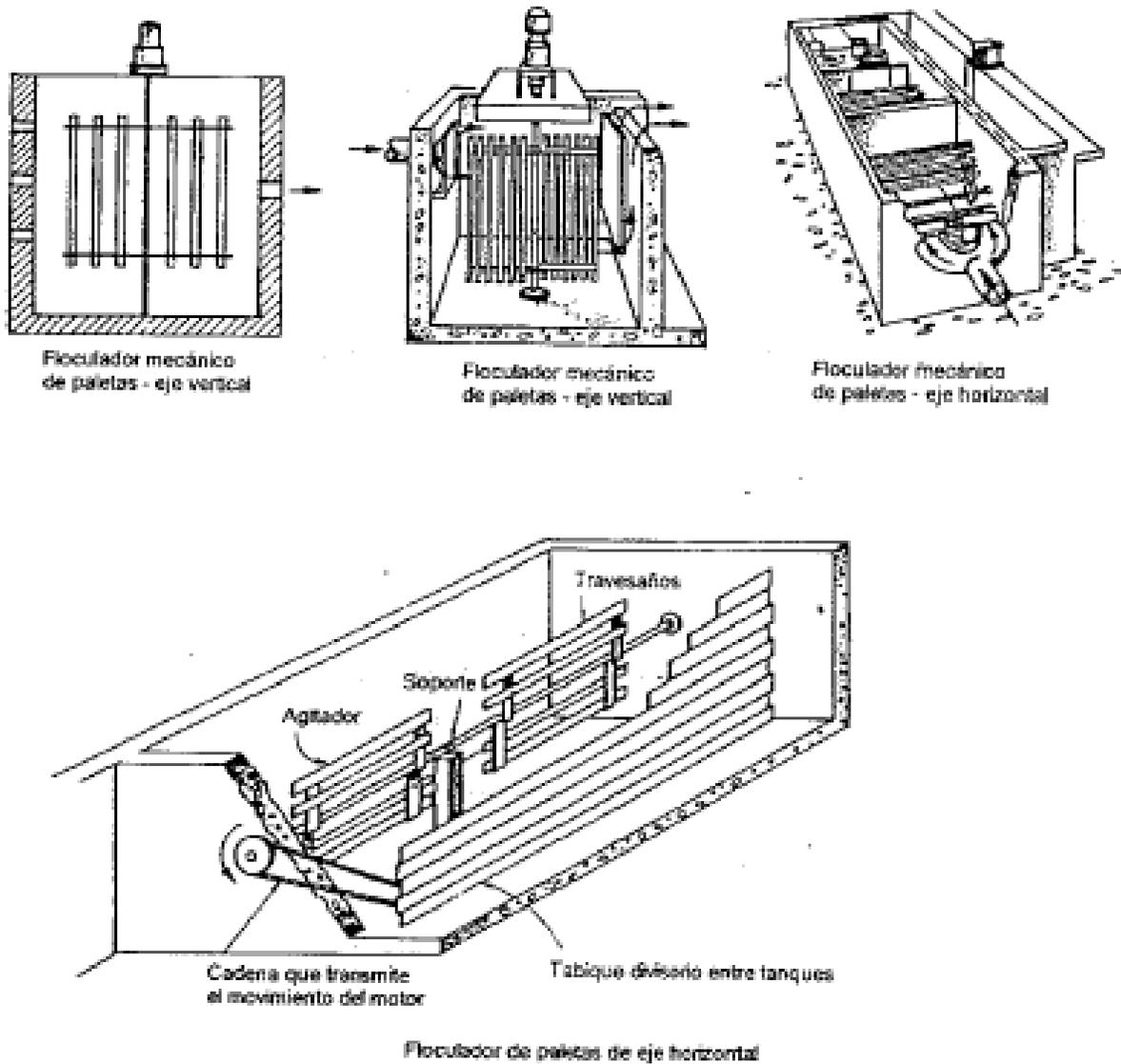


Ilustración 5. Tipos de Floculadores Mecánicos.

Fuente: (Romero, 1995)

2.4.4 Sedimentación

Se entiende por *sedimentación* la remoción por efecto gravitacional de las partículas en suspensión presentes en el agua. Estas partículas deberán tener un peso específico mayor que el fluido. (Maldonado, 2004)

La sedimentación es, en esencia, un fenómeno netamente físico y constituye uno de los procesos utilizados en el tratamiento del agua para conseguir su clarificación. Está

relacionada exclusivamente con las propiedades de caída de las partículas en el agua. Cuando se produce sedimentación de una suspensión de partículas, el resultado final será siempre un fluido clarificado y una suspensión más concentrada. A menudo se utilizan para designar la sedimentación los términos de *clarificación* y *espesamiento*. Se habla de *clarificación* cuando hay un especial interés en el fluido clarificado, y de *espesamiento* cuando el interés está puesto en la suspensión concentrada. (Maldonado, 2004)

La sedimentación simple es generalmente un tratamiento primario para reducir la carga de sólidos sedimentables antes de la coagulación; en esos casos se les conoce como pre sedimentación. La sedimentación después de la adición de coagulantes y de la floculación se usa para remover los sólidos sedimentables que han sido producidos por el tratamiento químico, como en el caso de remoción de color y turbiedad o en el ablandamiento con cal. (Romero, 1995)

Las partículas en suspensión sedimentan en diferente forma, dependiendo de las características de las partículas, así como de su concentración. Es así que podemos referirnos a la sedimentación de partículas discretas, sedimentación de partículas floculentas y sedimentación de partículas por caída libre e interferida. (Maldonado, 2004)

Tabla 11. Tipos de Sedimentación

TIPO DE SEDIMENTACIÓN	CARACTERÍSTICAS DE LOS SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN	DESCRIPCIÓN DEL PROCESO	EJEMPLOS
1. Sedimentación de partículas discretas	Partículas discretas y aisladas en soluciones diluidas	No hay interacción entre las partículas y entre las partículas y el resto del fluido	Movimiento de sedimentación de partículas en desarenadores o presedimentadores
2. Sedimentación floculenta	Partículas aglomerables en soluciones relativamente diluidas	Las partículas se aglomeran agrupándose en partículas de mayor tamaño	Sedimentación de flocs en decantadores horizontales o de placas
3. Sedimentación retardada	Soluciones de concentración intermedia	Las partículas interfieren entre si en su descenso manteniendo posiciones estables.	Deposición de lodos en decantadores de flujo ascendente.
4. Sedimentación compresión	Soluciones de alta concentración	Se forma una estructura entre las partículas que va modificándose lentamente con el tiempo	Compactación de depósito de lodos

Fuente: (Arboleda Valencia , 2000)

2.4.4.1 Sedimentadores

Según, Maldonado Yactayo (2004), la sedimentación o la decantación se realizan en reactores denominados *sedimentadores* o *decantadores*, de acuerdo con el tipo de partícula que se remueva en cada unidad. La clasificación más recomendable es la siguiente:

- **Sedimentadores o decantadores estáticos.**

En este tipo de unidades puede producirse sedimentación o decantación, normalmente con caída libre, en régimen laminar turbulento o de transición.

En estas unidades la masa líquida se traslada de un punto a otro con movimiento uniforme y velocidad VH constante. Cualquier partícula que se encuentre en suspensión en el líquido en movimiento, se moverá según la resultante de dos velocidades componentes: la velocidad horizontal del líquido (VH) y su propia velocidad de sedimentación (VS).

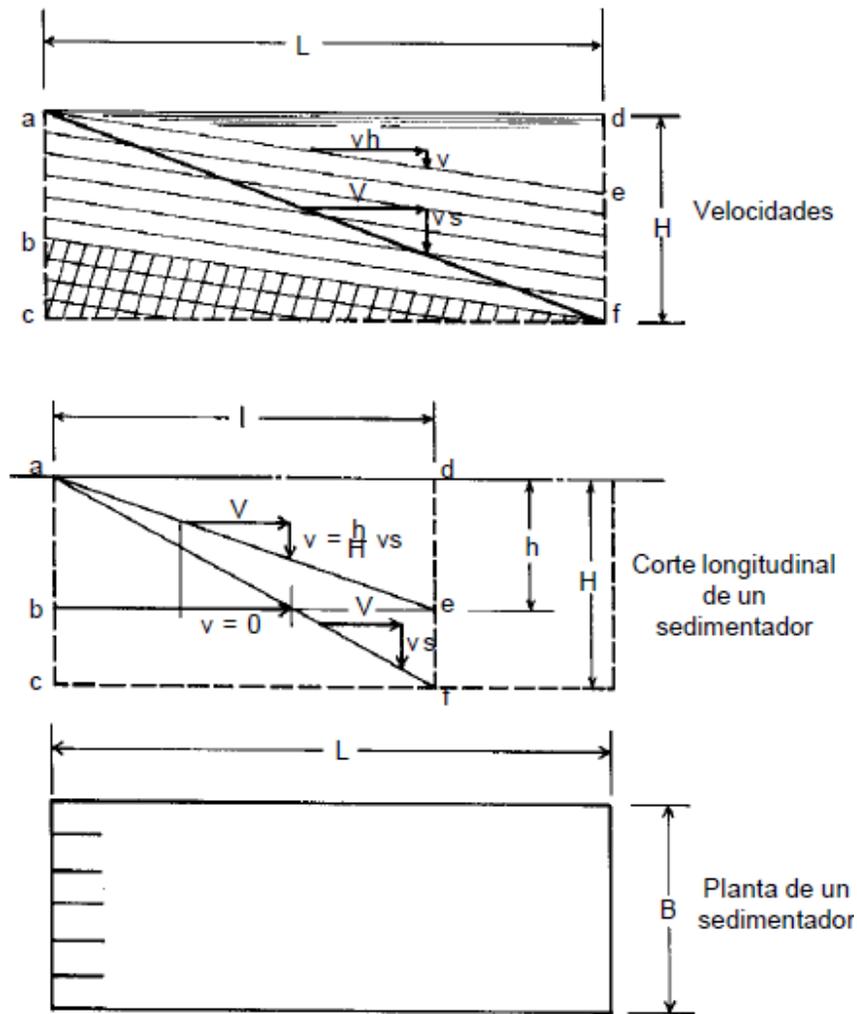


Ilustración 6. Trayectoria ideal de partículas en un sedimentador

Fuente: (Maldonado, 2004)

Una unidad de sedimentación consta de las siguientes zonas, con diferentes funciones específicas:

- Zona de entrada y distribución de agua
- Zona de sedimentación propiamente dicha
- Zona de salida o recolección de agua
- Zona de depósito de lodos.

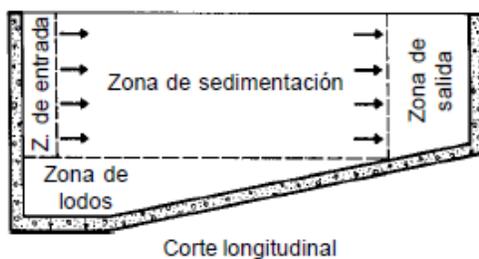
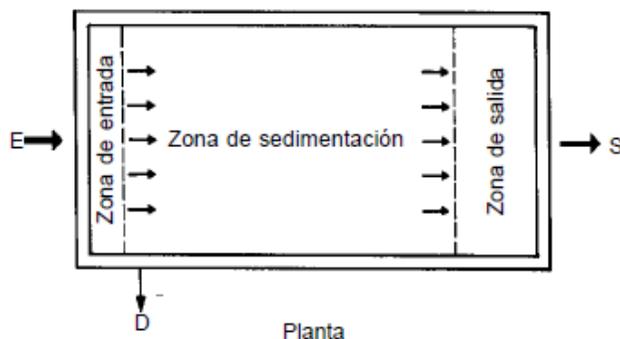


Ilustración 7. Zonificación de un sedimentador

Fuente: (Maldonado, 2004)

Unidades de flujo horizontal. Estos sedimentadores se clasifican, de acuerdo con la forma de su planta, en rectangulares, circulares y cuadrados.

Los decantadores o sedimentadores rectangulares tienen la ventaja de que permiten una implantación más compacta, aunque su costo es más elevado. Normalmente, tienen una relación longitud/ancho comprendida entre 3 y 6 y una profundidad de 2,50 a 4,00 metros.

Los sedimentadores o decantadores de forma circular o cuadrada disponen normalmente de una zona de entrada ubicada en el centro de la unidad. Están provistos generalmente de una

pantalla defletores que desvía el agua hacia el fondo de la unidad. El flujo en la zona de sedimentación es horizontal. Están provistos de canaletas (periféricas y/o radiales) para la recolección de agua sedimentada. El fondo es inclinado hacia el centro de la unidad, donde se ubica un sumidero para la recolección de lodos. La profundidad normal de estas unidades está comprendida entre 2,00 y 3,50 metros.

Unidades de flujo vertical. Estas unidades tienen forma cilíndrica. La entrada del agua cruda se realiza por el centro de la unidad en forma descendente. En la parte inferior está ubicada la zona de lodos, que tiene forma cónica con pendiente de 45° a 60°, según la naturaleza del agua y el tratamiento aplicado. La recolección del agua sedimentada se realiza en la parte periférica superior de la unidad.

Unidades de flujo helicoidal. Estas unidades tienen forma circular. El flujo tangencial se logra mediante la combinación de una tubería y canales periféricos con orificios de entrada de agua. Los orificios son dimensionales y se disponen espaciados para permitir una distribución uniforme del agua en el sedimentador. El canal recolector de agua sedimentada está ubicado en el centro del sedimentador o en la periferia. Generalmente, una pantalla vertical contribuye a lograr una mejor distribución y a evitar cortocircuitos.

- **Decantadores estáticos**

La teoría de la decantación interferida se aplica a este tipo de unidades. Se requiere una alta concentración de partículas para incrementar las posibilidades de contacto en un manto de lodos que tiene una concentración de partículas de 10 a 20% en volumen.

En el proceso, el flóculo no conserva su peso específico, su tamaño ni su forma constante. Las partículas pequeñas que entran por el fondo son arrastradas por el flujo. Al chocar estas con otras, incrementan su tamaño de acuerdo con la ecuación de Von Smoluchowski. Se entiende que en la zona del manto de lodos se promueve la floculación y en la parte superior a ella ocurre la decantación.

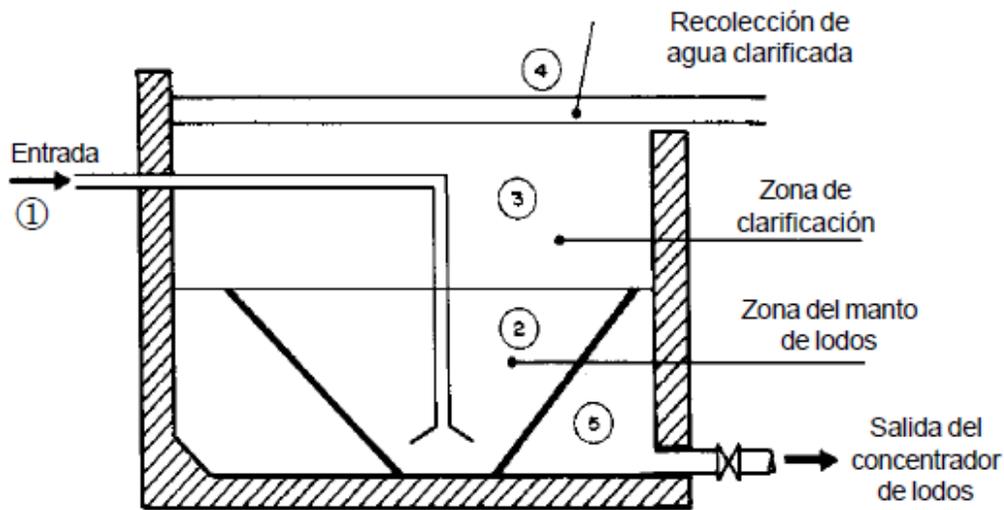


Ilustración 8. Componentes de un decantador estático.

Fuente: (Maldonado, 2004)

- **Decantadores laminares**

Se considera que tres son los efectos que favorecen la remoción de las partículas en este tipo de unidades: aumento del área de sedimentación, disminución de la altura de caída de la partícula y régimen de flujo laminar.

Debido a las dificultades de mantenimiento, este tipo de unidades permaneció olvidado por mucho tiempo hasta que, a mediados de la década de 1960, se empezó a investigar la sedimentación en tubos inclinados, donde el lodo depositado escurre hacia la parte inferior, sin interferir con las características de la instalación.

2.4.5 Filtración

La producción de agua clara y cristalina es prerequisite para el suministro de agua segura y requiere de filtración. Aunque cerca del 90% de la turbiedad y el color son removidos por la coagulación y la sedimentación, una cierta cantidad del floc pasa el tanque de sedimentación y requiere su remoción. Por ello, para lograr la clarificación final se usa la filtración a través de medios porosos, dichos medios son arena o arena y antracita. (Romero, 1995)

En general, la filtración es la operación final de clarificación que se realiza en una planta de tratamiento de agua y, por consiguiente, es la responsable principal de la producción de agua de calidad coincidente con los estándares de potabilidad. (Maldonado, 2004)

La remoción de microorganismos es de gran importancia puesto que muchos de ellos son extremadamente resistentes a la desinfección y, sin embargo, son removibles mediante filtración. Lo anterior indica porque en la práctica se considera que el propósito principal de la filtración es remover turbiedad e impedir la interferencia de la turbiedad con la desinfección, al proveer protección a los microorganismos de la acción del desinfectante. (Romero, 1995)

Tabla 12. Mecanismos de remoción en un filtro.

MECANISMO	DESCRIPCIÓN
1. Cribado	
a. Mecánico	Partículas más grandes que los poros del medio son retenidas mecánicamente.
b. Oportunidad de contacto	Partículas más pequeñas que los poros del medio son retenidas por oportunidad de contacto.
2. Sedimentación	Las partículas se sedimentan sobre el medio filtrante, dentro del filtro.
3. Impacto inercial	Las partículas pesadas no siguen las líneas de corriente.
4. Intercepción	Muchas partículas que se mueven a lo largo de una línea de corriente son removidas cuando entran en contacto con la superficie del medio filtrante.
5. Adhesión	Las partículas floculentas se adhieren a la superficie del medio filtrante. Debido a la fuerza de arrastre del agua, algunas son arrastradas antes de adherirse fuertemente y empujadas más profundamente dentro del filtro. A medida que el lecho se tapona, la fuerza cortante superficial aumenta hasta un límite para el cual no hay remoción adicional. Algún material se fugará a través del fondo del filtro haciendo aparecer turbiedad en el efluente.
6. Adsorción química	
a. Enlace	Una vez que una partícula ha entrado en contacto con la superficie del medio filtrante o con otras partículas, la adsorción, física y, o, química, permite su retención sobre dichas superficies.
b. Interacción química	
7. Adsorción física	
a. Fuerzas electrostáticas	
b. Fuerzas electrocinéticas	
c. Fuerzas de Vander Waals	
8. Floculación	Partículas más grandes capturan partículas más pequeñas y forman partículas aún más grandes.
9. Crecimiento biológico	Reducen el volumen del poro y puede promover la remoción de partículas.

Fuente: (Maldonado, 2004)

Algunos estudios reportan que la filtración es un proceso empleado rudimentariamente, hace aproximadamente 7000 años, los primeros filtros tuvieron un carácter doméstico. Se usaron por mucho tiempo los filtros de piedras porosas colocadas en tinajeros. (Universidad Nacional Abierta a Distancia (UNAD), 2016)

El proceso evolucionó hasta sistemas de filtración lenta en arena desarrollado en 1804, y se popularizó el uso de la escuela de la filtración descendente, a fines de este siglo muchas

ciudades del viejo y nuevo mundo ya habían construido plantas de filtración. (Universidad Nacional Abierta a Distancia (UNAD), 2016)

Según Romero Rojas (1995) los sistemas de filtración se pueden clasificar de acuerdo con:

- La dirección de flujo: pueden ser de flujo hacia abajo, hacia arriba o flujo dual.
- Tipo de lecho filtrante: pueden ser de un solo medio, arena o antracita; un medio dual, arena y antracita; o un lecho mezclado, arena, antracita y granate o ilmenita.
- La fuerza impulsora: pueden ser de gravedad o de presión.
- Tasa de filtración: pueden ser filtros lentos, rápidos o de alta tasa.

Tabla 13. Clasificación de los Filtros

Según la velocidad de filtración	Según el medio filtrante usado	Según el sentido del flujo	Según la carga sobre el lecho
Rápidos: 120 – 360 m ³ /m ² /día	1. Arena (h =60-75 cm) 2. Antracita (h =60-75 cm) 3. Mixtos: Arena (h =20-35 cm) Antracita(h =35-50 cm)	Ascendentes Descendentes Flujo mixto	Por gravedad Por presión
Lentos: 7-14 m ³ /m ² /día	Arena (h =60-100 cm)	Descendentes Ascendentes Horizontal	Por gravedad

Fuente: (Arboleda Valencia , 2000)

2.4.5.1 Tipos de Unidades de Filtración rápida.

Según CEPIS/OPS, en su manual I sobre plantas de filtración rápida, las unidades de filtración pueden ser de la siguiente forma:

- **Filtración por gravedad**

La filtración rápida, realizada por gravedad, usualmente se emplea en las plantas de tratamiento para fines de abastecimiento público. El factor económico es la variable que define su preferencia de uso. Estas unidades pueden ser de flujo ascendente (“filtro ruso”) y ser operadas con tasa de filtración constante o declinante. Cuando es de flujo descendente,

la filtración rápida puede realizarse con tasa declinante o constante en filtros de lecho único de arena o de lechos múltiples.

Filtración ascendente, Presenta la ventaja de que el agua afluyente escurre en el sentido en que los granos del medio filtrante disminuyen de tamaño, lo que hace posible que todo el medio filtrante, constituido por arena, sea efectivo en la remoción de partículas suspendidas.

Aunque en la filtración ascendente de agua decantada las carreras de filtración resultan más largas si se las compara con la filtración descendente en lecho de arena, la carga hidráulica necesaria aguas arriba de los filtros y el mayor espesor de la capa han limitado mucho el uso de la filtración ascendente.

La aplicación más ventajosa de este tipo de unidades es la filtración directa, en la que los productos químicos se aplican y dispersan en el agua cruda antes de la filtración. En seguida, el agua es conducida a los filtros por la parte inferior.

Las principales características comunes a estas unidades son las siguientes:

- a) Tasa de filtración: 120 a 200 m³/m²/día.
- b) Fondo de los filtros: tipo Leopold, tuberías perforadas y placas perforadas son los más comunes.
- c) Distribución de agua a los filtros: caja provista de vertederos, de la cual parten tuberías individuales o tuberías individuales provistas de medidores y reguladores de caudal.

Filtración descendente, hasta hace pocos años, los filtros descendentes por gravedad eran diseñados para funcionar únicamente con tasa constante, y generalmente iban provistos de dispositivos automáticos de control de caudal y nivel. En los últimos años se han desarrollado tecnologías que han simplificado sensiblemente la forma de operación de los filtros de gravedad, como la operación mediante tasa declinante.

Este tipo de unidades es el que normalmente se prefiere diseñar en los sistemas de abastecimiento públicos. Su mayor simplicidad garantiza una adecuada operación.

Filtración ascendente-descendente, La idea de realizar la filtración ascendente y descendente surgió después de constatar la posibilidad de fluidificación del medio filtrante al momento de la filtración ascendente y del consecuente perjuicio de la calidad del agua filtrada.

Surgieron los filtros denominados Bi-Flow, donde parte del agua cruda coagulada es introducida en la parte superior, y la restante en la parte inferior del filtro. La colección se hace por medio de tuberías provistas de bocas e instaladas en el interior del medio filtrante.

2.4.5.2 Lavado de Filtros.

Según (Pérez P. , 1981)

Es la operación en que se suspende la filtración en una de las unidades y se invierte en ella el sentido del flujo con una velocidad tal que se produzca una expansión del lecho, suficiente para que los granos se froten entre sí y desprendan todo el material que ha quedado retenido en ellos durante la operación del filtrado.

Se debe ejecutar:

- a) Cada vez que la pérdida de carga en cualquier unidad sea igual a la carga máxima sobre el lecho.
- b) Cuando la calidad del efluente de cualquier unidad se desmejora.
Lo que se presente primero.

Expansión del lecho filtrante. Al inyectar agua por el fondo de un lecho granular tres cosas pueden ocurrir:

- a) Si la velocidad ascensional de lavado es menor que la velocidad de asentamiento de las partículas del medio filtrante, el lecho no se expande y por lo tanto no hay un lavado adecuado.
- b) Si se sigue aumentando la velocidad de lavado hasta hacer que la velocidad ascensional sea mayor que la velocidad de asentamiento de los granos, el lecho se expande, aumenta su porosidad y el lavado es efectuado completamente.
- c) Si la velocidad de lavado sobrepasa un cierto valor crítico, los granos del lecho son arrastrados por el agua, perdiéndose por las canaletas de recolección de agua de lavado. Además, la excesiva separación entre los granos en nada beneficia su limpieza.

Lo deseable es inyectar agua con una cierta velocidad ascensional que haga que el medio filtrante alcance una expansión óptima para que, de esta manera, se realice la limpieza con la menor cantidad de agua, que conduce a la máxima economía de operación, si se tiene en cuenta que el agua para lavado de los filtros es agua previamente filtrada.

Según el tipo de medio filtrante empleado, este necesita para su lavado una determinada expansión que debe ser mantenida durante cierto período de tiempo, de forma que el material retenido durante el proceso de filtración sea arrastrado por el agua en su camino ascendente y, de esta manera, logre la limpieza adecuada de los granos, para el comienzo de una nueva carrera de filtración. La velocidad de lavado necesaria para producir dicha expansión depende fundamentalmente de la granulometría, densidad y forma de los granos del medio filtrante y de la temperatura del agua.

Tabla 14. Principales métodos de lavado y limpieza de los filtros

	METODO DE LAVADO O LIMPIEZA	SISTEMA DE FILTRACION
A	Lavado con agua en sentido ascendente	Filtración rápida ascendente y descendente
B	Lavado con agua en contra corriente y lavado auxiliar superficial o subsuperficial	Filtración rápida descendente
C	Lavado con aire y agua en sentido ascendente	Filtración rápida ascendente y descendente
C1	Introducción de aire seguida del lavado con agua con velocidad ascendente baja	Filtración rápida descendente
C2	Introducción de aire seguida del lavado con agua con velocidad ascendente elevada	Filtración rápida ascendente y descendente
C3	Introducción de aire y agua simultáneamente con velocidad ascendente baja, seguida de lavado con agua con velocidad ascendente elevada	Filtración rápida descendente
D	Ejecución de descargas de fondo intermediaria y final antes del lavado con agua en contra corriente	Filtración rápida ascendente
E	Ejecución de descargas de fondo intermediarias y final	Prefiltración en grava y en arena, con flujo ascendente
F	Raspado de la superficie de arena	Filtración lenta en arena

Fuente: (Biblioteca virtual de desarrollo sostenible y salud ambiental, 2016)

2.4.6 Desinfección

Según (Barrenechea Martel & de Vargas, Desinfección, 2004):

La desinfección es el último proceso unitario de tratamiento del agua y tiene como objetivo garantizar la calidad de la misma desde el punto de vista microbiológico y asegurar que sea inocua para la salud del consumidor.

En términos prácticos, desinfectar el agua significa eliminar de ella los microorganismos existentes, capaces de producir enfermedades. En la desinfección se usa un agente físico o químico para destruir los microorganismos patógenos, que pueden transmitir enfermedades utilizando el agua como vehículo pasivo.

La desinfección es un proceso selectivo: no destruye todos los organismos presentes en el agua y no siempre elimina todos los organismos patógenos. Por eso requiere procesos previos que los eliminen mediante la coagulación, sedimentación y filtración.

Factores que influyen en la desinfección:

Los factores que influyen en la desinfección del agua son los siguientes:

- Los microorganismos presentes y su comportamiento.
- La naturaleza y concentración del agente desinfectante.
- La temperatura del agua.
- La naturaleza y calidad del agua.
- El pH.
- El tiempo de contacto.

Desinfectantes químicos

Los compuestos químicos usados en la desinfección del agua son, por lo general, oxidantes fuertes que tienen gran eficiencia en la eliminación de los microorganismos y pueden dejar remanentes tóxicos en el agua, los cuales requieren un control estricto para evitar riesgos en la salud del consumidor.

Los más importantes son los siguientes:

- a) Los halógenos como el cloro, el bromo y el yodo. El efecto germicida y de penetración de estos aumenta con su peso atómico.
- b) El ozono (O₃).
- c) El permanganato de potasio (KMnO₄).
- d) El agua oxigenada (H₂O₂) y los iones metálicos.

Por ser el cloro el de mayor uso en nuestro país para la desinfección del agua de uso público solo nos centraremos en describir este.

2.4.6.1 Cloración.

Según (Solsona & Mendez, 2002) en su publicación Desinfección del agua para la CEPIS/OPS:

En todo el mundo, el mecanismo de desinfección más aplicado en los sistemas de abastecimiento de agua es el que emplea el cloro y sus compuestos derivados como agentes desinfectantes. Fue introducido masivamente a principios del siglo XX y constituyó una revolución tecnológica, que complementó el proceso de filtración que ya era conocido y utilizado para el tratamiento del agua (...).

La clave de su éxito es su accesibilidad en casi todos los países del mundo, su razonable costo, su alta capacidad oxidante, que es el mecanismo de destrucción de la materia orgánica, y su efecto residual. Todo ello permite en forma bastante simple, asegurar la inocuidad del agua desde que se produce hasta el momento que se usa, lo que resulta muy beneficioso, tanto en sistemas pequeños como en grandes ciudades con redes de distribución extendidas.

Los productos de la familia del cloro disponibles en el mercado para realizar la desinfección del agua son:

- Cloro gaseoso
- Cal clorada
- Hipoclorito de sodio
- Hipoclorito de calcio.

Tabla 15. Propiedades de los productos del cloro.

Nombre y fórmula	Nombre comercial o común	Características	% Cloro activo	Estabilidad en el tiempo	Seguridad	Envase usual
<i>Cloro gas</i> Cl_2	Cloro licuado Cloro gaseoso	Gas licuado a presión	99.5%	Muy buena.	Gas altamente tóxico	Cilindros de 40 a 70 kg. Recipientes de 1 a 5 toneladas
<i>Cal clorada</i> $\text{CaO} \cdot 2\text{CaCl}_2 \cdot \text{O} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	Cal clorada, polvo blanqueador, hipoclorito de cal, cloruro de cal	Polvo blanco seco	15 a 35%	Media. Se deteriora rápidamente cuando se expone a temperatura alta, humedad y/o luz solar. Pérdida de 1% al mes.	Corrosivo	Latas de 1.5 kg Tambores de 45 - 135 kg Bolsas plásticas o de papel de 25 - 40 kg, otros.
<i>Hipoclorito de sodio</i> NaClO	Hipoclorito de sodio, blanqueador líquido, lejía, agua lavandina, agua sanitaria	Solución líquida amarillenta	1 a 15% como máximo. Concentraciones mayores a 10% son inestables.	Baja. Pérdida de 2-4% por mes; mayor si la temperatura excede los 30°C	Corrosivo	Diversos tamaños de botellas de plástico y vidrio, y garrafones
	Hipoclorito de sodio por electrólisis <i>in situ</i>	Solución líquida amarillenta	0.1 - 0.6 %	Baja	Oxidante	Cualquier volumen
<i>Hipoclorito de calcio</i> $\text{Ca}(\text{ClO})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	HTH, Perclorón	Polvo, gránulos y tabletas. Sólido blanco	Polvo: 20 - 35% Granulado: 65 - 70% Tabletas: 65 - 70%	Buena. Pérdida de 2 a 2.5% por año	Corrosivo. Inflamación posible al entrar en contacto con ciertos materiales ácidos.	Latas de 1.5 kg, tambores 45 - 135 kg, Baldes de plástico

Fuente: (Solsona & Mendez, 2002)

Equipos dosificadores: Dentro de los equipos más usados para dosificar el cloro tenemos los siguientes:

Tabla 16. Clasificación dosificadores de cloro más usados.

Clasificación	Equipo dosificador	Producto	Rango de servicio (habitantes)
Cloro gaseoso	A presión (directo)	Gas Cloro	5.000 habitantes a grandes ciudades
	Al vacío (Venturi o eyector)	Gas Cloro	
Solución	Bajo presión atmosférica, de carga constante		
	Tanque con válvula de flotador Tubo con orificio en flotador Sistema vaso /botella	Hipoclorito de Na o Ca Hipoclorito de Na o Ca Hipoclorito de Na o Ca	< 20.000
	Bajo presión positiva o negativa		
	Bomba de diafragma(positiva) Dosificador por succión(negativa)	Hipoclorito de Na o Ca Hipoclorito de Na o Ca	[2.000 – 300.000]
	Generador de hipoclorito de sodio <i>in situ</i>		< 5.000 hab.
Sólido	Dosificador de erosión	Hipoclorito de Calcio	[2.000 – 50.000]
	Otros dosificadores	Cal clorada	< 2.000

Fuente: (Solsona & Mendez, 2002)

Ventajas y desventajas de los métodos

El siguiente cuadro facilitará la comparación de los dosificadores de cloro que se han descrito.

Tabla 17. Ventajas y Desventajas de los dosificadores de Cloro.

Clasificación	Dosificador	Ventajas	Desventajas	
Cloro gaseoso	<ul style="list-style-type: none"> Al vacío A presión 	Tecnología generalizada en el mundo. Producción de cloro gaseoso en casi todos los países. Producto químico barato. En el caso del clorador a presión no se requiere de energía eléctrica.	Instalación costosa para pueblos muy pequeños. Necesita equipo auxiliar. El personal necesita capacitación. Si no es operado adecuadamente puede ser peligroso debido a que el gas es venenoso. No es recomendando para sistemas que tratan caudales menos de 500 m ³ /día. En el caso del clorador al vacío requiere de energía eléctrica.	
	Bajo presión atmosférica, de carga constante			
Cloro en solución	Tanque con válvula de flotador	Sumamente sencillo de operar y mantener. Muy barato. Pueden construirse localmente. Confiable. No necesita energía eléctrica. Permite dosificaciones para caudales mínimos. Puede usarse en cualquier situación, excepto en pozos tubulares cerrados.	La dosificación no es muy precisa. Error de alrededor de 10%. Exige un control constante debido a la variación de las dosificaciones. El material se puede corroer.	
	Tubo con orificio en flotador	Carga constante. Sumamente sencillo. Muy barato. Pueden construirse localmente. Confiable. No necesita energía eléctrica.	Según la manera en que el sistema fue construido, puede llegar a tener un error de dosificación de hasta un 20%.	
	Sistema vaso/botella	Sumamente sencillo. Muy barato. Puede construirse localmente. Ideal para comunidades pequeñas. Error de dosificación menor del 10%. No necesita energía eléctrica.	Debe mantenerse limpio.	
	Bajo presión positiva o negativa			
	Bomba de diafragma (positiva)	Sumamente confiable. Muy popular. Sencillo de operar. Uno de los pocos sistemas para trabajar bajo presión. Puede introducir la solución directamente en tuberías de agua presurizada hasta con 6.0 kg/cm ² .	El personal debe capacitarse en su operación y mantenimiento. Costo intermedio a elevado para un sistema rural. Requiere energía eléctrica. Debe vigilarse. A veces hay corrosión en el rotor de la bomba debido al cloro.	
	Dosificador por succión (negativa)	Muy sencillo. La solución más barata para una alimentación en tuberías presurizadas.	Requiere vigilancia y mantenimiento para evitar obstrucciones en dispositivo Venturi.	
	Generador de hipoclorito de sodio in situ	No requiere transporte de productos clorados. Se produce in situ. Sencillo y fácil de operar.	Requiere de agua blanda para que no se acumulen depósitos en los electrodos. Requiere de vigilancia constante y personal entrenado para tomar precauciones de seguridad por la formación de gas cloro. Producción limitada a la capacidad del equipo.	
Cloro sólido	Dosificador de erosión	Sumamente sencillo. Ideal para pequeñas comunidades. Una de las mejores soluciones para dosificación a la entrada de un tanque. No necesita energía eléctrica.	Costo intermedio. Alrededor de 10% de errores en la dosificación. Necesita tabletas. En algunos dosificadores las tabletas (si se producen localmente) tienen a adherirse o a formar cavernas y no caen en la cámara de disolución.	

Fuente: (Solsona & Mendez, 2002)

2.5 De referencia Legal

A NIVEL NACIONAL: Las disposiciones legales aplicables al proyecto son las siguientes:

Constitución de la Republica Dominicana: En su artículo 15 indica que “El consumo humano del agua tiene prioridad sobre cualquier otro. El Estado promoverá la elaboración e implementación de políticas efectivas para la protección de los Recursos Hídricos de la Nación”.

Ley General sobre Medio Ambiente y Recursos Naturales (64-00): En su artículo 13 indica que: El consumo humano de los Recursos Hídricos tendrá prioridad sobre cualquier otro uso.

Ley No. 498 del 1973: Que crea la Corporación de Acueducto y Alcantarillado de Santo Domingo considerando que los sistemas de acueducto y alcantarillado de Santo Domingo, Distrito Nacional, son los sistemas de mayor importancia del país. Que las obras de ingeniería que requieren estos sistemas en lo que se refiere a la planificación, estudio, construcción, administración y operación del abastecimiento de agua potable son de suma importancia para la salud de los munícipes. Por último, que es una preocupación fundamental del Gobierno Dominicano el dotar de un sistema adecuado de abastecimiento de agua potable y que el abastecimiento de agua para el consumo doméstico goza de prioridad sobre los demás usos de las aguas.

Ley No. 5994 del 1962: Que crea el Instituto Nacional de Agua Potable y Alcantarillado (INAPA), considerando que las obras de ingeniería sanitaria en lo que se refiere a la planificación, estudio, construcción, administración, y operación de los abastecimientos de agua potable y disposición de aguas residuales, es de suma importancia para la salud del pueblo dominicano, por lo cual debe merecer la atención preferente y urgente del gobierno dominicano.

Decreto No. 42-05 del 2005: Que establece el Reglamento de Aguas para Consumo Humano, considerando que los sistemas de abastecimiento de agua potable considerados como parte integral de los servicios de Salud Pública, deben estar orientados en cuanto a cobertura y calidad sanitaria a la prestación de un servicio pleno, en el que intervienen los componentes técnicos, económicos, sociales e institucionales, demandando de su coordinación por parte de la Secretaria de Estado de Salud Pública y Asistencia Social, para la formulación de normas y procedimientos conducentes al control de la calidad del agua y vigilancia epidemiológica de las enfermedades relacionadas con ella, y evaluación de los riesgos respectivos.

NORDOM 1: Que contiene las especificaciones para el agua de uso doméstico.

A NIVEL INTERNACIONAL: Las instituciones internacionales que aplican normas o guías referentes al tratamiento de agua potable tomados como referencia en nuestro país son las siguientes:

La Organización Mundial de la Salud (OMS): La cual elabora normas internacionales relativas a la calidad del agua y la salud de las personas en forma de guías en las que se basan en reglamentos y normas de países de todo el mundo, en desarrollo y desarrollados. (Organización Mundial de la Salud, 2016)

Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS): es la Unidad de Saneamiento Básico del Área de Desarrollo Sostenible y Salud Ambiental (SDE) de la Organización Panamericana de la Salud (OPS), está dedicado a temas especializados de cooperación técnica con los países en saneamiento ambiental básico.

La CEPIS presenta un libro muy completo sobre el tratamiento de agua potable, dividido en cuatro manuales, que son muy utilizados mundialmente para diseño, operación y mantenimiento de Plantas de tratamiento de agua potable.

CAPITULO III. DESCRIPCION DEL ACUEDUCTO DE BARRERA DE SALINIDAD.

3.1 Generalidades

El acueducto Barrera de Salinidad tiene como fuente el río Ozama y se encuentra en la comunidad del Naranjo, San Luis, Provincia Santo Domingo Este. Su nombre se debe a que la Obra de Toma está ubicada en un punto que se encuentra por debajo del nivel medio del mar lo que origina que se produzca intrusión salina, por lo que fue necesario construir un dique para incrementar el nivel del agua aguas arriba del punto de captación.

La Obra de Toma está ubicada a 24.8 Km. de la desembocadura en el mar Caribe; construida en la margen izquierda del río Ozama, es del tipo de toma directa para captar 4.0 m³/seg. Su captación es de tipo presa de gravedad, colocada en un punto tal que la intrusión salina no ha llegado a esta zona, este proyecto consta de la obra de toma y la planta de tratamiento para agua potable.

La construcción del acueducto oriental se inició en el año 2000 y fue concebido para:

- a) Abastecer el sistema del municipio Santo Domingo Este.
- b) Abastecer el proyecto Ciudad Juan Bosch, que constara de unas 35,000 unidades habitacionales, con sus centros institucionales y comerciales 500 l/s
- c) Abastecer el proyecto La Barquita (150 l/s)
- d) Abastecimiento del municipio Santo Domingo Norte a través de una línea de impulsión y un depósito regulador para ser conectado a la red del municipio. (1000 l/s)

Los sectores que se benefician con este acueducto son: Los Tres Ojos, Jardines del Ozama, Ramón M. Mella, Génesis, Moisés, Cerros del Ozama, Fco. R. Sánchez, Mil Flores, Las Frutas, Los Minas Norte, Katanga, Vietnam, San Antonio, San Pablo II, Altos de Cansino, Res. Amapola, Vista Hermosa, Colinas del Este, Lucerna, Res. Lomisa, El Cachón, Prados del Cachón, Res. Idalias, Cabirma del Este, El Vertedero, Los Rosales, El Tamarindo, Cansino, Los Minas Viejo, Los Minas Sur, Las Enfermeras, Pidoca, Milagrosa, Res. Alma Rosa, Las Palmas, Res. del Este, Mendoza, Mi Hogar, Amarap, El Brisal, Carolina, Narcisa, Mandinga, Cansino I, Los Trinitarios, Camino II, Duarte, Sol Naciente, Isabel, Bello Campo Mi Sueño, Res. Oriente, Villa Carmen, Issfapol, Los Trinitarios II, Invienda, Haina Mosa, Invimosa, Nuevo Renacer, Los Pinos Brisas del Edén, Zona Franca Haina Mosa, Urb. Ada Balaguer, Invi Cea, Parque Ind. Nueva Isabela, Ciudad del

Almirante, Ciudad del Almirante II, Batey Monserrat, La Grúa Ens. Ozama, Molinuevo, Calero, Pueblo Nuevo, Villa Duarte, Simonico, Los Molinos, Sans Souci, Los Mameyes, Mirador del Este Las Américas, Villa Olímpica, Maquiteria, Ens. Alma Rosa, Los Coquitos, Bo. La Isabelita, Alma Rosa II, Ivette, El Rosal, Res. Los Tres Ojos, Farallones, La Isabelita, Los Tres Ojos, Urb. Italia, Sávida, La Esperanza, Raima, Lotería Vecinos Unidos, Paraíso Oriental, Franconia, Corales del Sur, San José de Mendoza, Villa Eloísa, Tropical del Este Marbella III, Los Frailes, Los Frailes II, Lotificación del Este, Villa Adela y San Bartolo.

3.2 Características de la fuente.

El río Ozama es la fuente de abastecimiento para el acueducto Barrera de Salinidad. Según el plan hidrológico nacional, el río Ozama tiene una longitud de 136 km y una cuenca de 3,150 km², con los siguientes afluentes principales: El río Isabela, Yabacao, Savita, Guanuma y Yamasá.

Ubicación Geográfica y División Política Administrativa

La cuenca del río Ozama tiene una superficie de 2,847.15 km² ubicada geográficamente dentro de las coordenadas 18°58'30.393"N y 18°23'40.846"N latitud norte y 70°16'5.369"W y 69°24'27.891"W longitud oeste. Esta abarca gran parte de la provincia Monte Plata que incluye áreas de los municipios de: Yamasá, Bayaguana, Sabana Grande de Boyá, Peralvillo y del municipio de Monte Plata cabecera de la provincia. De la provincia Santo Domingo ocupa superficie de los municipios Santo Domingo Norte, Santo Domingo Este, San Antonio de Guerra, Pedro Brand, Los Alcarrizos y el Distrito Nacional, la mayor parte de estos corresponde a la parte baja de la cuenca. Además, ocupa una pequeña porción del municipio de Villa Altagracia, provincia San Cristóbal. (Naturales, 2016)

Tiene como colindante al Norte las cuencas del río Yuna y Barracote, al oeste la cuenca del río Haina, al este la cuenca de los ríos Higuamo, Brujuela y la cuenca costera de Cabo Caucedo. (Naturales, 2016).

Ver mapa cuenca Río Ozama y su franja costera. Anexo A.

Hidrografía

El afluente principal de la cuenca nace en la Loma Rancho de Yagua a los 800 msnm; donde se encuentra la comunidad Palo Bonito, que pertenece al municipio de Villa Altagracia, provincia San Cristóbal. En relación a los afluentes principales están agrupados dentro de las subcuencas de los ríos Isabela, Yabacao y Savita. (Naturales, 2016)

El río Isabela, nace al noreste del municipio de Villa Altagracia en la loma El Pílon que tiene altura de 700 msnm., los principales afluentes del río Isabela son los arroyos: Piedra Gorda, La Lajas, Lebrón, Arenosos y el río Matúa. El río Yabacao presenta un territorio de relieve regularmente plano a ondulado que incluye el municipio de Bayaguana, como afluentes principales están los arroyos: El Empedrado, Gigibía y Sabana, así como las lagunas: Balsona, El Pomito, La Piedra, Crisóstomo, Los Jobillo entre otras. (Naturales, 2016)

3.3 Elementos y componentes del acueducto

- a) **Fuente:** río Ozama, es la principal corriente fluvial del distrito nacional con una cuenca de 2,923.00 km².

La fuente de abastecimiento del acueducto es el río Ozama, ya que en la zona de la obra de toma, nunca hubo estaciones hidrométricas la estimación de los caudales se hizo de forma indirecta, utilizando las observaciones de 7 estaciones hidrométricas ubicadas en la parte alta de la cuenca del río Ozama y una en el río Yabacao.

La serie resultante de la suma de los caudales diarios en dichas estaciones ha sido traspasada a la sección San Luis aprovechando de la existencia de 29 aforos esporádicos efectuados en dicha sección para establecer una correlación entre valores diarios de caudal con otros tantos del mismo día de la serie medida. Esta correlación, que fue juzgada aceptable, está limitada a caudales no mayores de 70 m³/s en San Luis (puesto que los caudales medidos con los aforos apenas superaron ese valor de gasto) y se aplicó a la serie medida de caudales diarios para obtener la serie respectiva en San Luis. (S.P.A-CAASD, 1999)

Esta serie (que no fue publicada y que no fue posible conseguir) contaría con 25 años de valores diarios de caudales medio-bajos, sobre los cuales ha sido efectuado un análisis de frecuencia y se han calculado los valores de duración de caudales diarios de sequía. En la sección San Luis en función de su frecuencia de ocurrencia: el caudal con duración 90% (tiempo de retorno medio 1.11 años) resultaría de 9.55 m³/s. Este valor ha sido tomado como caudal "permanente" del río en San Luis. (S.P.A-CAASD, 1999)

Estos 9.55 m³/s son considerados un volumen de agua suficiente para los requerimientos del acueducto Barrera de Salinidad. Esta fuente está garantizada para el suministro actual y futuro, dando estabilidad al suministro y seguridad a la población en cuanto a cantidad y continuidad. (S.P.A-CAASD, 1999)

b) Captación: dique móvil, y obra de toma lateral. Para captar 4.00 m³/seg.

La captación consiste en un dique de derivación de tipo móvil y una toma lateral- estación de bombeo aguas crudas. Estas obras están construidas 400.00 mts. Aguas abajo de la confluencia del Río Ozama con Yabacao y a 24.80 Kms. de la desembocadura en el Mar Caribe. Esta obra de captación está diseñada para un caudal de 4 m³/s. (S.P.A-CAASD, 1999)

La función principal del dique derivador es la de constituir una barrera de salinidad que impida a la cuña de agua salada llegar a las aguas que se derivan para consumo humano y que al mismo tiempo afecte en un mínimo el régimen del río, pues cualquier remanso tiene graves consecuencias en los periodos de crecida.

El dique de derivación es del tipo Móvil, conformado por tres compuertas deslizantes de rodillos, en acero inoxidable, de 5.50 metros de altura y 9.00 metros de ancho cada una (Ancho total de 30.00 Ms) Las compuertas cuentan con un sistema de izaje con motor eléctrico y un motor de emergencia diésel para los casos en que falle la energía eléctrica. Además de descargar las aguas por la parte inferior de las compuertas, estas pueden verter por su parte superior. De esta manera el sistema no está en peligro si se presenta una avenida en el cauce y los operadores no tienen tiempo de abrir las compuertas. La estabilidad de la loza de fundación está garantizada por pilotes. (S.P.A-CAASD, 1999)

La obra de toma está colocada en la margen izquierda del río, es del tipo de toma directa lateral y está colocada a un ángulo de 90 grados con el eje del río. Al frente de la toma se ha proyectado un canal desarenador de 9.00 metros de ancho y unos 20 metros de largo. Consta de una estructura de protección colocada sobre el cauce donde hay rejillas metálicas para evitar la entrada de objetos flotantes hacia el cárcamo de bombeo. Aguas abajo de las rejillas está colocada una estructura de regulación con compuertas deslizantes las cuales

conducen el agua hacia dos tuberías de hormigón armado de 2.00 metros de ancho por 2.00 metros de altura, y 26 metros de longitud. (S.P.A-CAASD, 1999)

- c) **Bombeo de agua cruda:** estación de bombeo agua cruda, compuesta por ocho (8) equipos de bombeo, con capacidad de 10,556 galones por minuto y potencia de 400 hp, cada uno.

La estación de bombeo está dividida en dos cámaras iguales. Cada cámara o cárcamo consta de 4 bombas de 7920 GPM Vs 140' TDH cada una, 3 bombas operando y una en Stand-By. Los cárcamos pueden trabajar de manera independiente ya que tienen compuertas reguladoras al inicio que pueden cerrar la entrada del agua sin afectar el otro cárcamo. (S.P.A-CAASD, 1999)

- d) **Línea de impulsión de agua cruda:** diámetro $\varnothing 67"$, en hormigón armado pretensado, con una longitud total de 1,529.43 metros.

- e) **Planta potabilizadora:** planta potabilizadora del tipo filtración rápida, compuesta por dos módulos con capacidad para tratar un caudal de 2 m³/seg. Cada uno.

La planta de tratamiento de agua potable (P.T.A.P) del acueducto Barrera de Salinidad es de tipo convencional de filtración rápida, donde se efectúan los procesos de mezclado, floculación, sedimentación, filtración y desinfección con cloro gas. La misma cuenta con un sistema de bombeo de agua clara constituida por 16 bombas de 300 HP y 4000 GPM. (Verificar)

La planta está compuesta de 2 módulos idénticos con capacidad para tratar 2m³/s. cada módulo consta de: un canal de mezcla rápida, unidades de floculación de flujo vertical, sedimentadores de flujo vertical y unidades de filtración rápida.

- f) **Bombeo de agua tratada:** estación de bombeo agua tratada, compuesta por ocho (8) equipos de bombeo, con capacidad de 10,5513 galones por minuto y potencia de 800 hp, cada uno.

La estación de bombeo del agua clara, ha sido diseñada para impulsar el agua tratada desde la planta potabilizadora, hasta el pie del terraplén donde serán ubicados los tanques reguladores.

El sistema de alimentación del agua clara, consta de los siguientes componentes:

- Estación de bombeo del agua clara.
 - Línea de conducción del agua clara hasta los tanques reguladores.
- g) **Línea de impulsión de agua tratada:** diámetro \varnothing 67", en hormigón armado pretensado, con una longitud total de 10,200.00 metros
- h) **Regulación:** cuatro (4) depósitos reguladores metálicos, con capacidad de 7.5 millones de galones c/u sobre terraplén de 15.00 metros de altura.

Los tanques reguladores tiene la función de almacenar el agua tratada y compensar la demanda en horas de máximo consumo. Según el Arq. Alejandro Montás Director de la Corporación de Acueducto y Alcantarillado CAASD, la construcción de los tanques reguladores tiene como objetivo principal dar repuestas al alto crecimiento poblacional del Municipio Santo Domingo Este, que en la actualidad supera el millón de habitantes, además de reforzar el abastecimiento a Santo Domingo Norte, incrementado la disponibilidad de agua para consumo de manera segura para los próximos 20 años En la actualidad los tanques están en proceso de construcción y forman parte del proyecto de terminación del acueducto oriental.

Los tanques son de forma circular de 54 m de diámetro y 13 m de altura. La estructura de dicha obra es prevista ser en Acero vitrificado, tanto por las paredes así como por la losa de fundación. El Proyecto, prevé que para alcanzar la cota hidráulica suficiente al fin de garantizar el funcionamiento de la línea matriz, se construyen los tanques arriba de un terraplén cuya altura será alrededor de 15 m.

- i) **Línea matriz y reforzamiento red.:** ampliación y mejoramiento de la. Red de distribución de la zona oriental, a colocarse tuberías en los diámetros (37"hap, 48", 42", 36", 30", 24" l.j. y 20", 12" PVC longitud total de 58,721.99 metros.

CAPITULO IV. METODOLOGIA

4.1 Tipo de estudio

Se realizará un análisis de tipo Explorativo - Descriptivo a fin de determinar el estado actual de la planta de tratamiento de agua potable de Barrera de Salinidad, abarcando desde su estado físico hasta la eficiencia de operación de cada unidad que la compone.

4.2 Método de Investigación

Para realizar esta propuesta, realizaremos un diagnóstico sobre el estado actual de la planta de tratamiento aplicando los métodos de observación, análisis y síntesis. La aplicación de estos métodos tiene como finalidad exponer la problemática que afecta la planta; para esto se incluirán aspectos captados por los sentidos, hasta estudios de campo y pruebas de laboratorio.

4.3 Técnicas y Procedimientos

Para recolectar la información nos valdremos de fuentes bibliográficas relacionadas con el tema en cuestión, de informaciones suministradas por la Corporación de Acueducto y Alcantarillado de Santo Domingo. También, se usarán los manuales de evaluación de plantas de CEPIS/OPS, y el libro teoría, diseño y control de procesos de clarificación del agua del Ing. Arboleda para llevar a cabo los procedimientos de evaluación de cada uno de las unidades que componen la planta de tratamiento.

CAPITULO V. RESULTADOS.

5.1 Calidad del Afluente.

5.1.1 Caracterización fisicoquímica y microbiológica del afluente

Tabla 18. Cuadro estudio de fuente. Entrada Planta Barrera De Salinidad.

Parámetro	Unidades	Valor Guías OPS- OMS 1995-99 (valor Máximo)	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC
COLOR	USDC- Pt.Co	15 UDC- escala pt/co	48	40	64	40	170	68	44	68	100	34	170	170
TURBIEDAD	UNT	5 UNT	11.9	13.6	13.1	7.9	58.1	16.1	16.1	19.5	6.3	23.9	12	140
TEMPERATURA	°C	25 °C												
PH		6.5-8.5	7.08	7	6.80	6.86	6.94	7.52	7.64	6.87	7.24	7.69	7.54	6.84
CONDUCTIVIDAD	US/Cm		329	578	417	331	270	297	321	316	280	641	204	179
CLORUROS	mg/Lt	250 mg/l CL	23	0	41	21	22	17	29	30	23	43	12	21
CLORURO RESIDUAL														
SULFATOS	mg/Lt	250 mg/l SO4	6	7	12	10	3	10	8	10	18	14	25	27
CALCIO	mg/Lt	200 mg/l Ca	98	97	91	83	76	104	97	92	82	128	74	42

MAGNESIO	mg/Lt	30 mg/l Mg	31	66	44	44	25	29	32	25	17	23	35	55
SODIO	mg/Lt	200 mg/l Na												
SOLIDOS TOTALES	mg/Lt	1500 mg/Lt	222	345	266		182	184	174		226	330	250	280
SOLIDOS DISUELTOS	mg/Lt	1000 mg/Lt	150	278	200	159	129	142	154	150	135	309	97	86
CO2	mg/Lt		23	38	61	46	24	8	6	34	14	7	5	11
N. AMONIACAL	mg/Lt	0.05mg												
N. ORGANICO	mg/Lt													
HIERRO TOTAL	mg/Lt	0.3 mg/Lt	0.6				1.11	0.68	0.26	0.73	4.71	1.25	2.47	1.01
BICARBONATO	mg/Lt		145	195	197	173	106	136	135	129	126	172	87	38
DUREZA TOTAL	mg/Lt	200 mg/Lt como CaCO3	129	164	135	126	100	133	128	118	99	151	109	97
DUREZA CARBONATOS			129	164	135	126	100	133	128	118	99	151	87	38
ALCALINIDAD	mg/Lt		145	195	198	173	107	137	135	129	126	173	87	38
ALCALINIDAD A LA FENOLFTALEINA			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CARBONATO	mg/Lt		0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.5	0.7	0.1	0.2	0.9	0.3	0
SALINIDAD			200	300	200	200	100	100	200	100	100	300	100	100
TRIHALOMETANOS	PPb	200 ppb												
COLIFORMES TOTALES	NMP/100 ML		4600	≥240 00	≥2400 0	2400 0	2400 0	2400 0						
COLIFORMES FECALES			PRESE NTES	≥240 00	≥2400 0	2400 0	2400 0	2400 0						
PSEUDOMONAS			AUSE NTES	AUSE NTES	AUSE NTES	AUSE NTES	AUSE NTES	AUSE NTES	AUSE NTES	AUSE NTES	PRESE NTES	AUSE NTES	AUSE NTES	AUSE NTES

Fuente: CAASD (2015)

Diagnóstico

Como se puede ver en el cuadro anterior, la Corporación de Acueductos y Alcantarillados de Santo Domingo (CAASD) realiza pruebas físico químicas y microbiológicas a las aguas que van a pasar por el proceso de potabilización, también se realiza otro análisis al finalizar el tratamiento para verificar la efectividad del mismo. Estos análisis se realizan semanalmente por un equipo de técnicos del laboratorio de control y vigilancia de la calidad del agua de la CAASD, debido a que en la planta no se están realizando estos.

El afluente presenta valores no permisibles de, turbiedad, coliformes totales, fecales y color, por lo que se hace necesario un tratamiento convencional, que consiste en coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección.

Ver análisis bacteriológico realizado a la entrada de la planta. Anexo B

5.1.2 Análisis Estadístico de la Turbiedad del Afluente

Se hará con el objetivo de determinar la frecuencia de ocurrencia de turbiedades de entrada y salida de la P.T.A.P.

Agruparemos los datos en rangos de turbiedad predeterminados y luego se analizan los resultados para determinar cuáles son las turbiedades más frecuentes en la planta. Los datos de turbiedad empleados son los registrados en la P.T.A.P en el periodo de Enero 2015 a Diciembre 2015, agrupados en rangos para determinar las más frecuentes.

Tabla 19. Cuadro de Frecuencia Mensuales Totales de turbiedad de entrada.

Turbiedad (U.N.T)	Datos	Frecuencia Parcial	Frecuencia Acumulada
≤ 20	138	37.80821918	37.80821918
21-40	118	32.32876712	70.1369863
41-60	41	11.23287671	81.36986301
61-80	22	6.02739726	87.39726027
81-100	16	4.383561644	91.78082192
> 100	30	8.219178082	100
TOTAL	365	100	%

Fuente Propia (2016)

De la tabla 19 se puede observar que los valores de turbiedad de mayor frecuencia que entran a la P.T.A.P se encuentran en el rango ≤ 40 U.N.T. con una ocurrencia del 70% aproximadamente. Para este rango de turbiedades, se analiza cual es la turbiedad más frecuente en las tablas siguientes:

Tabla 20. Cuadro de Frecuencia de Turbiedades de entrada – Rango ≤ 40 U.N.T

MES	FRECUCIA											Total Datos
	TURBIEDAD U.N.T.											
	4	8	12	16	20	24	28	32	36	40	> 40	
Enero	0	0	0	17	8	4	2	0	0	0	0	31
Febrero	0	0	0	8	5	3	2	1	3	0	6	28
Marzo	0	0	10	19	2	0	0	0	0	0	0	31
Abril	0	0	9	8	2	1	1	1	1	0	7	30
Mayo	1	1	11	8	0	0	0	0	0	3	7	31
Junio	0	0	0	0	9	3	1	1	2	1	13	30
Julio	0	0	0	1	11	3	3	0	1	0	12	31
Agosto	0	0	0	1	6	4	5	0	3	3	9	31
Septiembre	0	0	0	0	0	2	5	1	4	1	17	30
Octubre	1	0	0	0	0	0	3	6	10	1	10	31
Noviembre	0	0	0	0	0	0	3	4	5	1	17	30
Diciembre	0	0	0	0	0	0	1	8	6	5	11	31
TOTAL	2	1	30	62	43	20	26	22	35	15	109	365

Fuente Propia (2016)

Tabla 21. Frecuencia acumulada de Turbiedades de entrada - Rango ≤ 40 U.N.T

Rango	Valor Medio	FRECUCIA		
		Parcial	Acumulada	% Acumulado
0-4	2	2	2	0,547945205
4,01-8	6	1	3	0,821917808
8,01-12	10	30	33	9,04109589
12,01-16	14	62	95	26,02739726
16,01-20	18	43	138	37,80821918
20,01-24	22	20	158	43,28767123

24,01-28	26	26	184	50,4109589
28,01-32	30	22	206	56,43835616
32,01-36	34	35	241	66,02739726
36,01-40	38	15	256	70,1369863
> 40	41	109	365	100

Fuente Propia (2016)

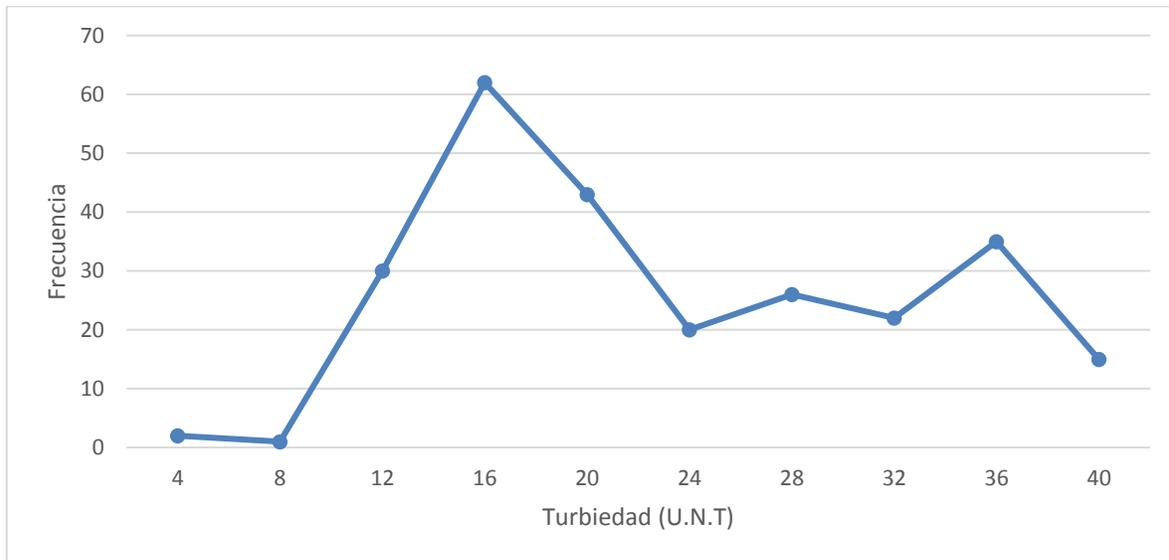


Ilustración 9. Gráfica de Frecuencia de Turbiedades de entrada – Rango ≤ 40 U.N.T

Fuente Propia (2016)

Diagnóstico

Se puede observar de la Tabla 19 que la planta trabaja la mayoría del tiempo con turbiedades baja, con el 70% del tiempo tratando turbiedades menores a 40 U.N.T. además, se puede observar en la ilustración 9 que en este rango de valores los de mayor ocurrencia varían entre 12 y 16 U.N.T. Aunque en días del año donde frecuenten lluvias torrenciales en la zona la P.T.A.P recibe turbiedades de hasta 1000 U.N.T.

5.2 Chequeo de caudales en la P.T.A.P

Procederemos a la medida de los caudales en la caja de entrega, los canales de mezcla rápida, a la entrada de los floculadores, en el canal de agua sedimentada y en la salida de los filtros; para esto utilizaremos el método de vertedero, debido a que cada unidad tiene un vertedero rectangular ya sea a la entrada o a la salida.

5.2.1 Caja de Entrega

La caja de entrega recibe el agua desde la Obra de Toma por medio de una tubería de 67'' de acero desde el fondo, para luego distribuir el agua a partes iguales a cada módulo por medio de dos vertederos de pared delgada con una contracción, como se muestra en los planos. Procedimos a medir la profundidad del agua en los laterales justo antes de los vertederos, para luego con ayuda de los planos encontrar la altura de agua que entra a cada vertedero.

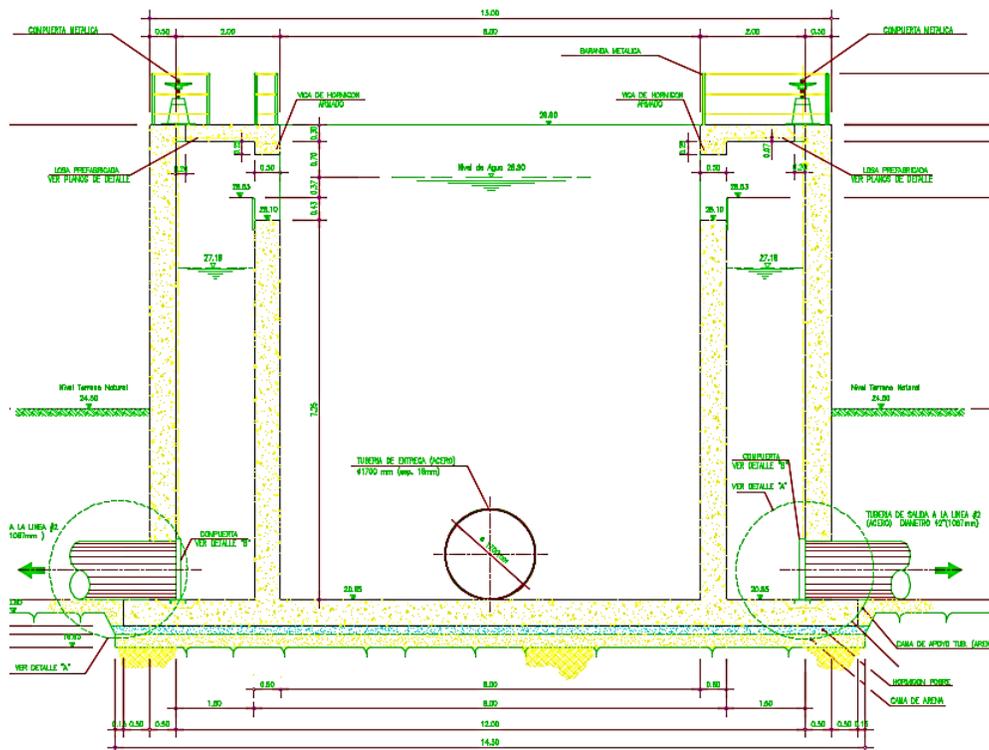


Ilustración 10. Vista en corte de Caja de Entrega de la P.T.A.P de Barrera de Salinidad

Fuente: (CAASD, 2004)

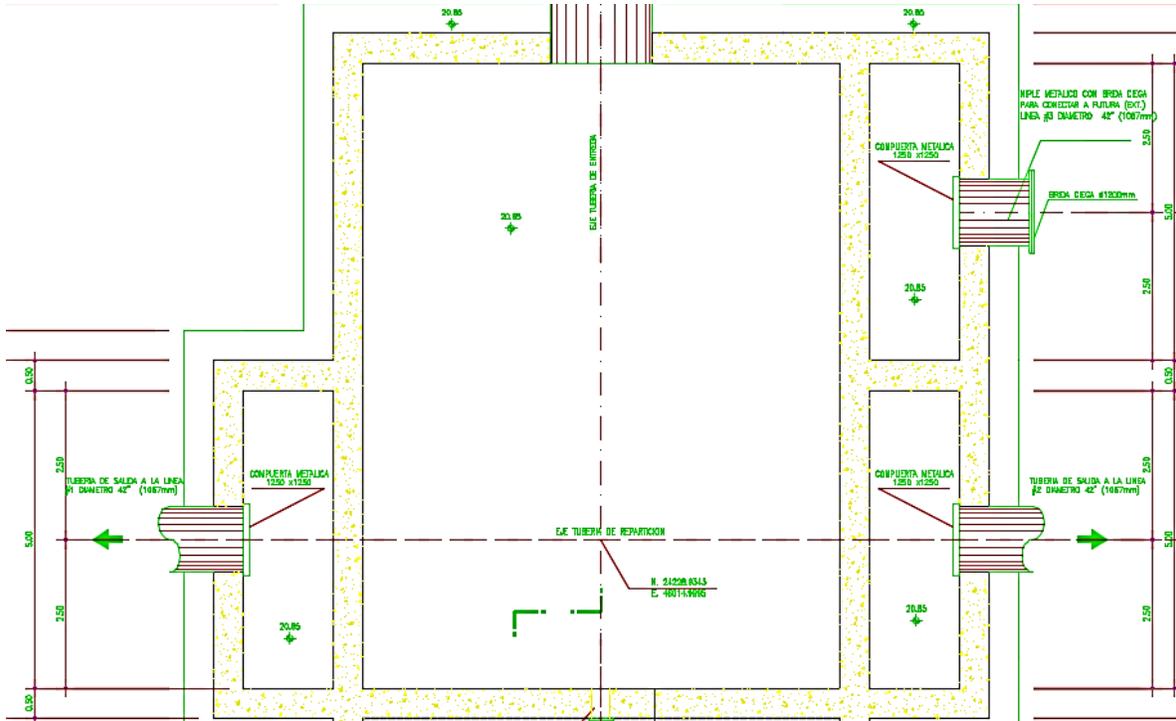


Ilustración 11. Vista en planta de Caja de Entrega de la P.T.A.P de Barrera de Salinidad

Fuente: (CAASD, 2004)

Los vertederos que están en la caja de entrega son rectangulares con una contracción, como se puede apreciar en la vista en planta, por lo que las fórmulas de cálculo a utilizar serán las siguientes:

Caudal en vertedero rectangular de pared delgada:

$$Q_e = C_d \cdot \frac{2}{3} \cdot b \cdot \sqrt{2 \cdot g} \cdot H^{\frac{3}{2}}$$

Siendo:

- C_d , Coeficiente de descarga, el cual depende si el vertedero es sin contracción o con contracción.

$$C_d = 0.602 + 0.083 \frac{h}{p}, \text{ Para vertedero rectangular sin contracción (Fórmula de Rehbock)}$$

$$C_d = 0.616 \left(1 - 0.1 \frac{h}{b} \right), \text{ Para vertedero rectangular con contracción (Fórmula de Hamilton - Smith)}$$

- b , ancho del vertedero
- g , valor de la gravedad
- H , altura de agua por encima de la cresta del vertedero

- p, altura de la cresta del vertedero medida desde el fondo.

Para un ancho de vertedero (b) = 5.00 m. y vertederos con contracción, procedemos a calcular:

Tabla 22. Comprobación de Caudal en Caja de entrega

Fecha y Hora	Caudal medido por operadores en obra de toma (m ³ /s)	Altura de Agua en mts. del vertedero oeste, que abastece módulo 1	Altura de Agua en mts. del vertedero este, que abastece módulo 2	Coefficiente de descarga (Ca)	Caudal por cada vertedero (m ³ /s)	Caudal total en P.T.A.P (m ³ /s)
16/7/2016, 10:00 a.m.	3.65	0.30	0.30	0.622	1.51	3.02
16/7/2016, 11:00 a.m.	3.57	0.305	0.305	0.6221	1.5471	3.1
27/7/2016, 10:00 a.m.	3.56	0.32	0.32	0.611688	1.663	3.33
27/7/2016, 11:00 a.m.	3.55	0.32	0.32	0.611688	1.663	3.33
27/7/2016, 12:00 p.m.	3.53	0.32	0.32	0.611688	1.663	3.33
Caudal Promedio	3.57					3.22

Fuente Propia (2016)

5.2.2 Vertedero rectangular para la mezcla rápida.

Cada módulo consta de un vertedero rectangular sin contracciones en donde se realiza la inyección del coagulante. Procedimos a medir la profundidad del agua sobre la cresta del vertedero.

Para un ancho de vertedero (b) = 5.80 m. y vertederos con contracción (utilizando las mismas fórmulas para calcular en la caja de entrega), procedemos a calcular:

Tabla 24. Comprobación de Caudal en canal de entrada a floculadores.

Fecha y Hora	Caudal medido por operadores en obra de toma (m³/s)	Altura de Agua en mts. del lateral oeste	Altura de Agua en mts. del lateral este	Coefficiente de descarga (Ca)	Caudal por floculador (m³/s)	Caudal total en cada modulo (m³/s)	Caudal total en P.T.A.P (m³/s)
16/7/2016, 10:00 a.m.	3.65	0.082	0.082	0.61741379	0.2483	1.4898	2.9796
16/7/2016, 11:00 a.m.	3.57	0.084	0.084	0.61744828	0.2574	1.5447	3.0894
27/7/2016, 10:00 a.m.	3.56	0.088	0.088	0.61757124	0.2761	1.65	3.3
27/7/2016, 11:00 a.m.	3.55	0.088	0.088	0.61757124	0.2761	1.65	3.3
27/7/2016, 12:00 p.m.	3.53	0.088	0.088	0.61757124	0.2761	1.65	3.3
Caudal Promedio	3.572						3.2118

Fuente Propia (2016)

5.2.4 Canal de agua sedimentada.

Cada módulo consta al final de la unidad de sedimentación con un canal que recibe el agua ya sedimentada por medio de tres vertederos, como vemos a continuación.



Ilustración 15. Vista en corte de canal de agua sedimentada

Fuente: (CAASD, 2004)



Ilustración 16. Salida del agua de los sedimentadores

Fuente Propia (2016)

Para un ancho de vertedero (b) = 2.5 m. y vertederos con contracción de ambos lados (utilizando las mismas fórmulas para calcular en la caja de entrega), procedemos a calcular el caudal que aporta cada vertedero al canal de agua sedimentada:

Tabla 25. Comprobación de Caudal en canal de agua sedimentada.

Fecha y Hora	Caudal medido por operador en obra de toma (m ³ /s)	Altura de Agua en mts. del lateral oeste	Altura de Agua en mts. del vertedero central	Altura de Agua en mts. del lateral este	Coefficiente de descarga (Ca)	Caudal que aporta cada vertedero (m ³ /s)	Caudal total en cada modulo (m ³ /s)	Caudal total en P.T.A. P (m ³ /s)
16/7/2016, 10:00 a.m.	3.65	0.225	0.225	0.225	0.625	0.49	1.47	2.94
16/7/2016, 11:00 a.m.	3.57	0.23	0.23	0.23	0.6252	0.51	1.53	3.06
27/7/2016, 10:00 a.m.	3.56	0.24	0.24	0.24	0.6256	0.543	1.63	3.26
27/7/2016, 11:00 a.m.	3.55	0.24	0.24	0.24	0.6256	0.543	1.63	3.26
27/7/2016, 12:00 p.m.	3.53	0.24	0.24	0.24	0.6256	0.543	1.63	3.26
Caudal Promedio	3.57							3.156

Fuente Propia (2016)

Para un ancho de vertedero (b) = 3.75 m. y cuatro vertederos con contracción por cada batería de filtros (utilizando las mismas fórmulas para calcular en la caja de entrega), procedemos a calcular el caudal que aporta cada vertedero a los reservorios de contacto de cloro:

Tabla 26. Comprobación de Caudal a la salida de los filtros.

Fecha y Hora	Caudal medido por operador en obra de toma (m ³ /s)	Altura de Agua en mts. en módulo 1	Altura de Agua en mts. en módulo 2	Coefficiente de descarga (Ca)	Caudal que aporta cada vertedero (m ³ /s)	Caudal total en cada módulo (m ³ /s)	Caudal total en P.T.A.P (m ³ /s)
16/7/2016, 10:00 a.m.	3.65	0.08	0.08	0.6181	0.155	1.24	2.48
16/7/2016, 11:00 a.m.	3.57	0.08	0.08	0.6181	0.155	1.24	2.48
27/7/2016, 10:00 a.m.	3.56	0.09	0.09	0.6184	0.185	1.48	2.96
27/7/2016, 11:00 a.m.	3.55	0.09	0.09	0.6184	0.185	1.48	2.96
27/7/2016, 12:00 p.m.	3.53	0.09	0.09	0.6184	0.185	1.48	2.96
Caudal Promedio	3.57						2.768

Fuente Propia (2016)

Diagnóstico

Con los muestreos realizados se concluyó que el caudal promedio durante los días de inspección es de 3.22 m³/s, el cual no concuerda con el caudal promediado de los valores medidos por el personal de P.T.A.P, el cual arrojo un valor de 3.57 m³/s.

Para determinar el caudal procedimos a realizar (5) mediciones con equipos topográficos en cada unidad que recibía el agua por descarga de un vertedero, el método utilizado por el personal de la planta consiste en calcular el caudal en base a las bombas que estén funcionando.

Entendemos que se debe cambiar el sistema de medición de caudal que actualmente utilizan, ya que el rendimiento de un equipo de bombeo puede deteriorarse debido a desgastes mecánicos, fenómenos de oxidación o incrustaciones, y esto llevar a no tener una medida confiable del caudal de agua bombeado; muestra de esto es que al compararlo con nuestro método hay una diferencia de un 10%.

También, comparando las medidas de caudales realizado en las diferentes unidades de tratamiento, comprobamos que la P.T.A.P presenta pérdidas considerables en las unidades de filtración, en base a lo medido estas oscilan de un 11% a un 16% del caudal de entrada.

Durante la inspección, apreciamos que las válvulas que controlan el agua de lavado y drenaje de filtros no funcionan correctamente, debido a que después que se dañó el sistema automatizado, los operadores abren y cierran estas válvulas manualmente provocando daños y desgastes a algunas de las piezas que las componen incitando así que la tubería de drenaje de filtros se mantenga descargando agua aun cuando no se esté lavando ninguno de los filtros, adherido a esto no cuentan con un control de operación de filtros correcta, ya que la referencia que toman para lavarlos es el movimiento del agua y el tiempo de lavado depende de quien lo esté realizando en el momento. Se limpian los 12 filtros que tiene la planta todos los días y al lavar el filtro de un módulo se utiliza el agua de los otros cinco filtros



Ilustración 19. Muestra de pozo donde descarga tubería de drenaje de filtros.

Fuente Propia (2016)

Esta fotografía corresponde a la salida de la tubería de drenaje de los filtros, se supone que por esta tubería solo debe de salir agua si se están lavando los filtros, pero en cambio se nota que aunque los filtros no estén siendo lavados el agua no deja de correr. Cabe destacar que, esta agua ya ha pasado por las demás unidades de tratamiento lo que representa una pérdida de agua y recursos económicos invertidos en esta. Por dificultades físicas como el

mal estado de las escaleras de acceso a este pozo, no fue posible medir el caudal de agua que salía por esta tubería.

5.3 Inspección de la planta de tratamiento

A continuación, se procedió a determinar el diagnóstico de los componentes, analizando su estado y funcionamiento.

La continuidad del servicio de abastecimiento de agua del acueducto Barrera de Salinidad es de 24 horas; luego de que el agua pasa por las cámaras de contacto de cloro es bombeada directamente a la red, a través de la estación de bombeo de agua clara, debido a que los tanques reguladores contemplados en el diseño se encuentran en construcción.

5.3.1 Conducción del agua cruda

La conducción desde la estación de bombeo de agua cruda hacia la P.T.A.P, se hace a través de una línea de impulsión Lock Joint de 48” pulgadas de diámetro y 1530 metros de longitud.

La P.T.A.P no recibe el caudal de 4 m³/s para el que fue diseñado, debido a que existe un problema en la estación de bombeo de agua cruda con los paneles eléctricos de las bombas que llevan el agua hacia la planta de tratamiento. Estos son 2 paneles eléctricos los cuales cada uno se encarga de llevar energía a 3 bombas impulsoras de agua cruda, uno de estos tiene problemas de funcionamiento y solo puede manejar 2 bombas, esto reduce la eficiencia de impulsión lo cual imposibilita que la planta de tratamiento reciba los 4 m³/s.

5.3.2 Sistema de tratamiento

En el año 2015, la CAASD reportó un caudal promedio de 3.6 m³/s, pero debido a las pérdidas producidas en el sistema solo produjo a la salida un caudal promedio aproximado de 3.07 m³/s, lo que equivale a un volumen de 0.53 m³/s correspondiente a un 14.73% de pérdidas. De nuevo, se comprueba lo diagnosticado en el capítulo 5.2.

Ver producción barrera de salinidad. Anexo C

5.3.2.1 Caja de Entrega

Las aguas provenientes de la obra de toma son conducidas a una caja de entrega, la cual se encarga de dividir el caudal de entrada en partes iguales hacia las unidades de mezcla rápida de cada uno de los dos módulos de la planta.

Durante la inspección, pudimos comprobar que efectivamente la caja de entrega distribuye el caudal de entrada en partes iguales hacia los módulos que tratarán el agua.

5.3.2.2 Mezcla Rápida

La unidad de mezcla rápida está compuesta por un vertedero rectangular con rampa de 3 metros de ancho. En esta unidad se produce un resalto en donde se realiza la dosificación de sulfato de aluminio, a través de una tubería perforada. Al culminar el proceso de mezcla rápida, las aguas pasan a la unidad de floculación.

En la ilustración 20 podremos apreciar que el funcionamiento de los vertederos es correcto. El resalto es estable y el coagulante se distribuye de manera uniforme a todo lo ancho de la turbulencia, lo que asegura una mezcla homogénea e instantánea del coagulante con la masa de agua.



Ilustración 20. Mezclador tipo vertedero rectangular con rampa operando correctamente.

Fuente Propia (2016)

Diagnóstico

Se comprobó por medio de cálculos las condiciones de los vertederos de mezcla rápida a la entrada de la P.T.A.P (Ver Anexo F1), revisando el valor del número de Froude nos confirma que el resalto es estable. El gradiente de velocidad presenta un valor menor de 2000 seg^{-1} . El tiempo de mezcla se realiza en 4.30 segundos y se comprueba la igualdad de las alturas a la entrada y a la salida del vertedero. En resumen, los vertederos de entrada en cada módulo trabajan en condiciones estables para el caudal que reciben.

5.3.2.3 Floculadores

La unidad de floculación tiene la función de formar el flóculo, que debe reunir ciertas características —peso, tamaño y compacidad— y para lograrlo, esta unidad debe trabajar bajo determinados parámetros que están en función de la calidad del agua que trata.

La unidad de floculación es del tipo hidráulico, de pantallas de flujo vertical con un espaciamiento entre pantallas de 0.60 metros. Consta de seis unidades de floculación por modulo, cada unidad maneja aproximadamente $0.333 \text{ m}^3/\text{s}$ y tiene 5.80 metros anchos por 24.40 metros de largo. Un canal distribuye el agua floculada hacia las unidades de sedimentación.

Cada unidad de floculación se divide en tres tramos de 7.7 metros los dos primeros tramos y de 9 metros el tercer tramo, con tres series de pantallas que se caracterizan por el aumento de la sección de pasaje, siempre en el sentido del flujo.

A continuación se verificó que la intensidad de la mezcla sea la correcta para la obtención de una eficiente floculación con el auxilio de los siguientes parámetros, gradiente de velocidad debe variar entre $10\text{-}60 \text{ s}^{-1}$, para un tiempo de retención de 17-25 minutos (Ver Anexo F2).

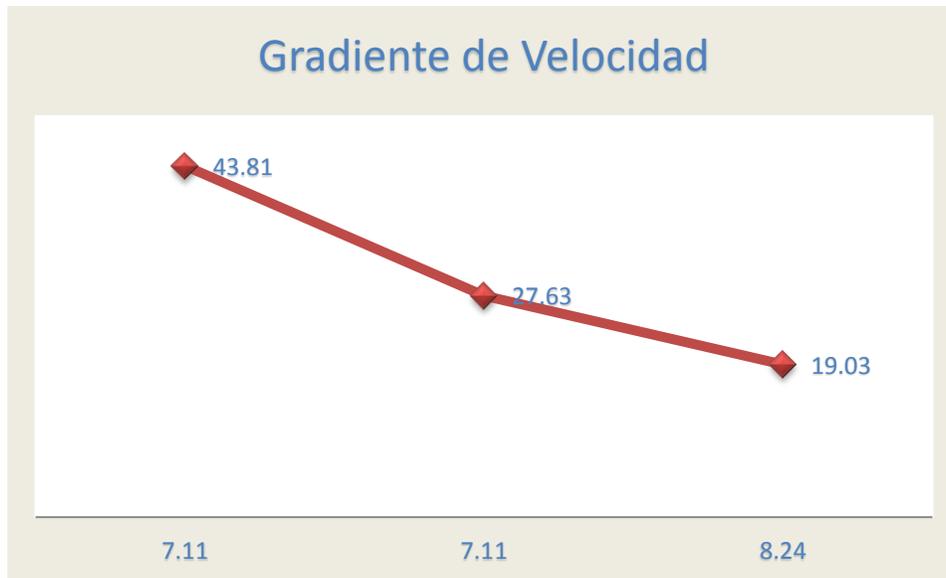


Ilustración 21. Grafica comportamiento de gradiente de velocidad en unidad de floculación.

Fuente Propia (2016)

Diagnóstico

Por medio de la comprobación mediante diseño y durante la inspección nos percatamos que las unidades de floculación tienen un funcionamiento eficiente, ya que cumplen con los valores de gradiente de velocidad y tiempo de retención tomados como parámetros.

5.3.2.4 Sedimentadores

El sistema de sedimentación consta de 6 unidades de tipo laminar, de flujo ascendentes entre placas paralelas de asbesto cemento. En estas unidades el caudal tratado es de $0.333 \text{ m}^3/\text{s}$ e ingresa por el inicio de la unidad distribuyéndose por debajo de las placas y la recolección se efectúa por medio de vertederos transversales espaciados a 2 metros cada uno, ubicados a una distancia aproximada de 3 metros de las placas. El caudal producido por cada sedimentador pasa a la unidad de filtración mediante un canal de sección rectangular que recoge todas las aguas de las unidades de sedimentación.

Se comprobó que las unidades de sedimentación están bien diseñados y construidos para el caudal que deben tratar (Ver Anexo F3). Sin embargo, estas presentan signos de falta de mantenimiento, se puede observar en la ilustración 22 como se acumulan las algas y los sedimentos en los vertederos y en las placas de cada uno de los sedimentadores, esto principalmente porque en la planta no hay suficiente suministro de hipoclorito de calcio que es el material que usan para limpiarlos.

Se nos informó que cuando a la P.T.A.P entra un caudal alto ($\geq 3.5 \text{ m}^3/\text{s}$), al pasar el agua de la unidad de floculación a los sedimentadores remueve los lodos del fondo del sedimentador provocando que la turbiedad aumente en dicha unidad, debido a que la velocidad del flujo aumenta también. Como podemos ver en las imágenes siguientes, en comparación a como se ve cuando no ocurre este problema.



Ilustración 22. Sedimentadores.

Fuente Propia (2016)

Eficiencia en función de la calidad del agua sedimentada

Recientes investigaciones de la EPA recomiendan utilizar la turbiedad como índice para determinar la presencia de huevos de parásitos en el agua tratada e indican que para asegurar la remoción de estos huevos, los filtros deben producir agua con menos de 0,1 UNT. Esto implica

que los sedimentadores hayan entregado un efluente con una turbiedad menor o igual a 2 UNT. Los sedimentadores se pueden clasificar con el siguiente criterio: (Canepa de Vargas, 2005)

Eficiencia	Turbiedad del agua decantada (UNT)
Excelente	< 5
Muy buena	5 - 10
Buena	10 - 15
Regular	> 15

Ilustración 23. Clasificación de los sedimentadores en función de la calidad del agua producida.

Fuente: (Canepa de Vargas, 2005)

Esto lo haremos con el objetivo de determinar sobre la base de datos de operación de la planta, la calidad del agua producida en las unidades de sedimentación. Agruparemos los datos de turbiedad de agua sedimentada en rangos predeterminados y se calculará su frecuencia de presentación de los primeros siete meses del año 2016, con la cual se puede graficar la curva de frecuencia acumulativa.

Módulo I:

Tabla 27. Turbiedad del agua sedimentada módulo 1

Rango	Valor Medio	FRECUENCIA		
		Parcial	Acumulada	% Acumulado
0-2	1	0	0	0
2.01-4	3	6	6	2.884615385
4.01-6	5	35	41	19.71153846
6.01-8	7	90	131	62.98076923
8.01-10	9	49	180	86.53846154
10.01-12	11	23	203	97.59615385
12.01-14	13	4	207	99.51923077
> 14	14	1	208	100

Fuente Propia (2016)

Turbiedad Mínima: 3.49 U.N.T

Turbiedad Media: 7.64 U.N.T

Turbiedad Máxima: 14.38 U.N.T

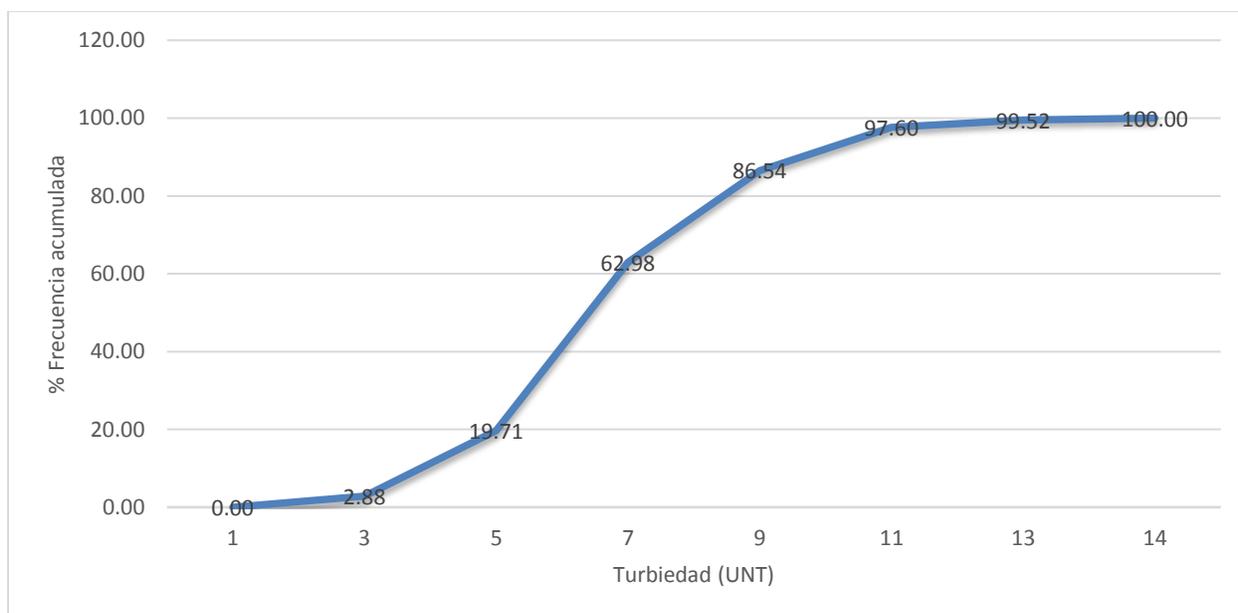


Ilustración 24. Frecuencia acumulada de turbiedad de agua sedimentada en módulo 1.

Fuente Propia (2016)

De la ilustración 24 se deduce que 97% del tiempo la planta presentó un efluente con menos de 11 UNT, y solo 3% del tiempo fue menor de 3 UNT. En función de los resultados obtenidos, los sedimentadores de este módulo evidencian una eficiencia excelente solo el 19.71% del tiempo y muy buena el 97.6% del tiempo.

Módulo II:

Tabla 28. Turbiedad del agua sedimentada módulo 2

Rango	Valor Medio	FRECUENCIA		
		Parcial	Acumulada	% Acumulado
0-2	1	1	1	0.48
2.01-4	3	7	8	3.85
4.01-6	5	55	63	30.29
6.01-8	7	100	163	78.37
8.01-10	9	30	193	92.79
10.01-12	11	11	204	98.08
12.01-14	13	2	206	99.04
> 14	14	2	208	100.00

Fuente Propia (2016)

Turbiedad Mínima: 0.70 U.N.T

Turbiedad Media: 6.92 U.N.T

Turbiedad Máxima: 14.09 U.N.T

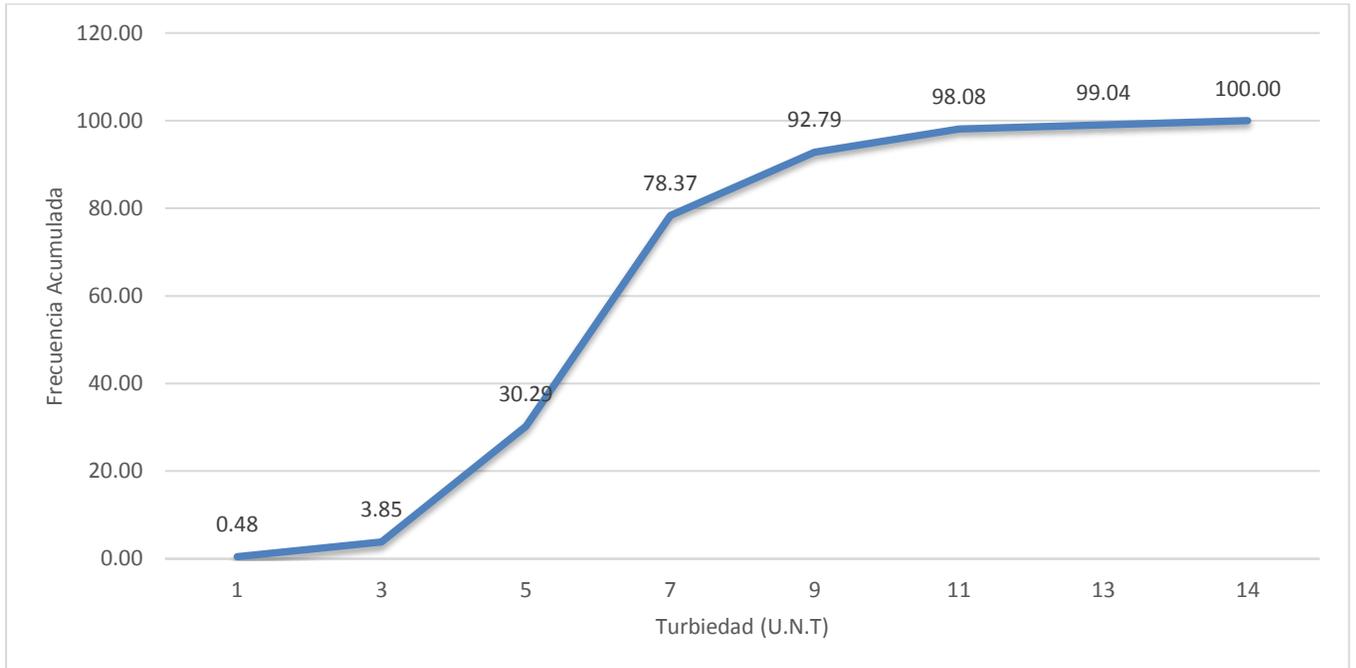


Ilustración 25. Frecuencia acumulada de turbiedad de agua sedimentada en módulo 2.

Fuente Propia (2016)

De la ilustración 25 se deduce que 98% del tiempo la planta presentó un efluente con menos de 11 UNT y solo 3.85% del tiempo fue menor de 3 UNT. En función de los resultados obtenidos, los sedimentadores de este módulo evidencian una eficiencia excelente solo el 30.3% del tiempo y muy buena el 98.1% del tiempo.

Diagnóstico

En base al estudio de eficiencia de remoción y con las informaciones levantadas en la planta, es notable que la unidad de sedimentación en cada módulo necesita un mantenimiento correctivo de manera urgente y hacer una planificación de un mantenimiento preventivo constante, para que estos entreguen un agua con turbiedad ≤ 2 U.N.T.

5.3.2.5 Filtros

Las aguas provenientes de los sedimentadores ingresan a una batería de 6 filtros rápidos de tasa declinante con retro lavado, mediante el caudal que produce el resto de la batería. Cada unidad tiene 7.30 metros de longitud por 11.20 metros de ancho. Las dimensiones del lecho filtrante son de 5.6 metros por 1.20 metros de altura. El medio filtrante está constituido de material granulado de granulometría variable.

A raíz de las pérdidas de agua que ocurren en los filtros, se comprobaron las condiciones óptimas de lavado y con el mismo método utilizado en los sedimentadores la eficiencia de remoción de turbiedad.

Tabla 29. Condiciones óptimas de lavado en unidad de filtración

Paso	Datos	Cantidad	Unidad	Criterios	Cálculos	Resultados	Unidad
1	Tiempo de lavado con agua t	10	min	$Q_{lav} (ag) = \text{Velo. ag} \times A_f$	1636.36	Caudal de agua para lavado con agua (Agua y aire)	m ³ /h
2	Tiempo de lavado con aire	3	min	$Q_{lav} (ar) = \text{Vel. ar} \times A_f$	4090.91	Caudal de aire para lavado con aire	m ³ /h
3	Velocidad de lavado con agua	20	m/h	$\text{Vol. ag. lav} = Q_{lav} \times t$	272.73	Volumen de agua para lavado con agua (Agua y aire)	m ³
	Velocidad de lavado con aire	50	m/h				
4				$\text{Pot. Sop} = (Q_{aire} \times \text{TDH}) / (75 \times \text{Efic.})$	48.13	Potencia del soplador de aire	Kw
5	Tiempo de lavado solo con agua	15	min	$Q_{lav} (ag) = \text{Vel. ag} \times A_f$	4909.09	Caudal de agua para lavado solo con agua	m ³ /h
6	Velocidad lavado solo con agua	60	m/h	$\text{Vol. ag} = Q_{lav} \times t$	1227.27	Volumen de agua para lavado solo con agua	m ³

Fuente Propia (2016)

Diagnóstico

Por medio de la comprobación mediante diseño (Ver Anexo F4) y durante la inspección nos percatamos que las unidades de filtración tienen un buen funcionamiento, ya que cumplen con los valores de diseño tomados como parámetros. Esto excluyendo el problema de las pérdidas de agua por las compuertas de drenaje.

También, determinando las condiciones óptimas de lavado nos dimos cuenta de la gran cantidad de agua tratada que se pierde en el lavado de los filtros con la tecnología de lavado con agua. En la tabla 29, se hizo una comparación del volumen de agua necesaria para lavar un filtro con la tecnología de aire y agua y con la tecnología de lavado solo con agua, y obtuvimos la gran diferencia que existe en el volumen de agua necesario para el lavado de los filtros con ambas tecnologías. El lavado de un filtro con agua para la tecnología de aire y agua utiliza un volumen de 18.5% del que usaría el lavado solo con agua. Recomendamos cambiar la tecnología de lavado de los filtros utilizando aire y agua.

Eficiencia en función de la calidad del agua filtrada.

El filtro debe producir agua con menos de 1 UNT, para que se pueda garantizar la eficiencia de la desinfección. Para que se pueda garantizar la ausencia de huevos de parásitos en el agua tratada, el efluente de los filtros no debe tener más de 0,10 UNT, el agua sedimentada debe tener menos de 2 UNT el 95% del tiempo. (Canepa de Vargas, 2005)

Esto lo haremos con el objetivo de determinar sobre la base de datos de operación de la planta, la calidad del agua producida en las unidades de filtración. Agruparemos los datos de turbiedad de agua filtrada en rangos predeterminados y se calculará su frecuencia de presentación de los primeros siete meses del año 2016, con la cual se puede graficar la curva de frecuencia acumulativa.

Módulo I:

Tabla 30. Turbiedad del agua filtrada módulo 1

Rango	Valor Medio	FRECUENCIA		
		Parcial	Acumulada	% Acumulado
0	0			0
0-0.2	0.1	0	0	0.00
0.21-0.04	0.3	10	10	4.81
0.41-0.60	0.5	51	61	29.33
0.61-0.80	0.7	52	113	54.33

0.81-1	0.9	34	147	70.67
1-1.2	1.1	15	162	77.88
1.21-1.4	1.3	13	175	84.13
1.41-1.6	1.5	8	183	87.98
1.61-1.8	1.7	4	187	89.90
1.81-2	1.9	8	195	93.75
> 2	2.1	13	208	100.00

Fuente Propia (2016)

Turbiedad Mínima: 0.27 U.N.T

Turbiedad Media: 0.95 U.N.T

Turbiedad Máxima: 5.92 U.N.T

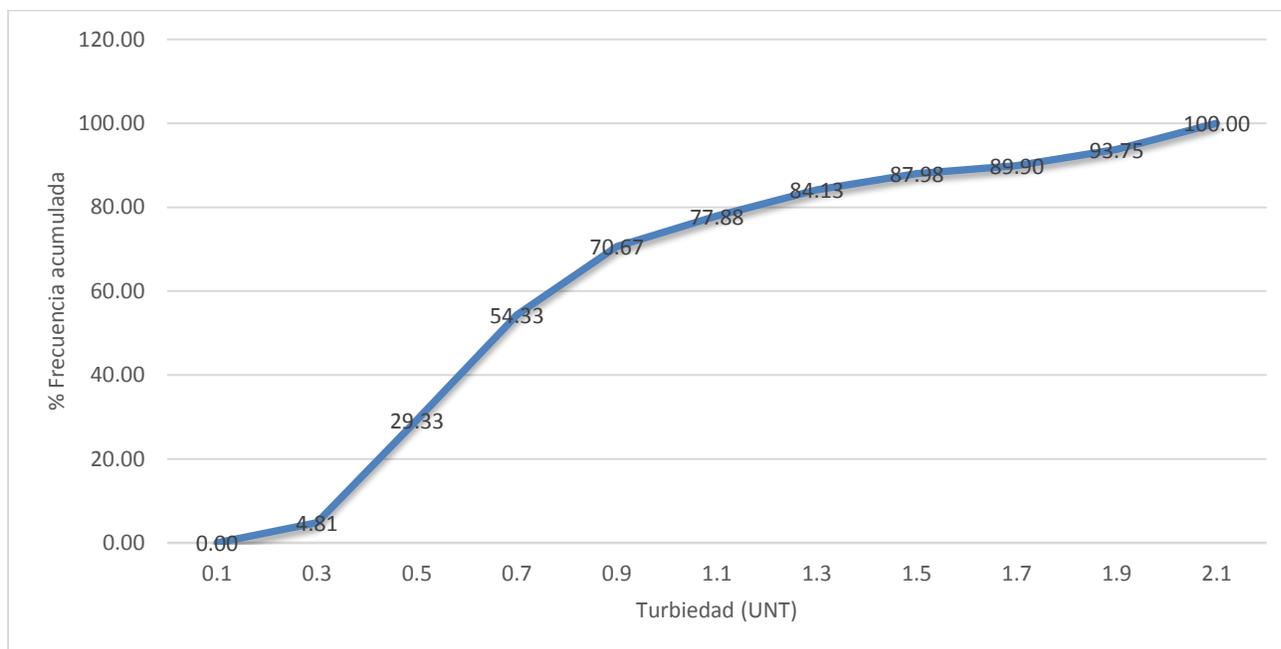


Ilustración 26. Frecuencia acumulada de turbiedad de agua filtrada en módulo 1.

Fuente Propia (2016)

De la ilustración 26 se deduce que 70.67% del tiempo la planta presentó un efluente con menos de 1 UNT, lo que equivale a una eficiencia muy buena, y 4.81% del tiempo fue menor de 0.3 UNT, pero en ningún momento de los meses analizados las unidades de filtración presentaron una eficiencia excelente (≤ 0.1 U.N.T.)

Módulo II:

Tabla 31. Turbiedad del agua filtrada módulo 2

Rango	Valor Medio	FRECUENCIA		
		Parcial	Acumulada	% Acumulado
0	0			0
0-0.2	0.1	0	0	0.00
0.21-0.4	0.3	10	10	4.81
0.41-0.60	0.5	53	63	30.29
0.61-0.80	0.7	62	125	60.10
0.81-1	0.9	30	155	74.52
1-1.2	1.1	16	171	82.21
1.21-1.4	1.3	12	183	87.98
1.41-1.6	1.5	5	188	90.38
1.61-1.8	1.7	4	192	92.31
1.81-2	1.9	3	195	93.75
> 2	2.1	13	208	100.00

Fuente Propia (2016)

Turbiedad Mínima: 0.31 U.N.T

Turbiedad Media: 0.98 U.N.T

Turbiedad Máxima: 7.69 U.N.T

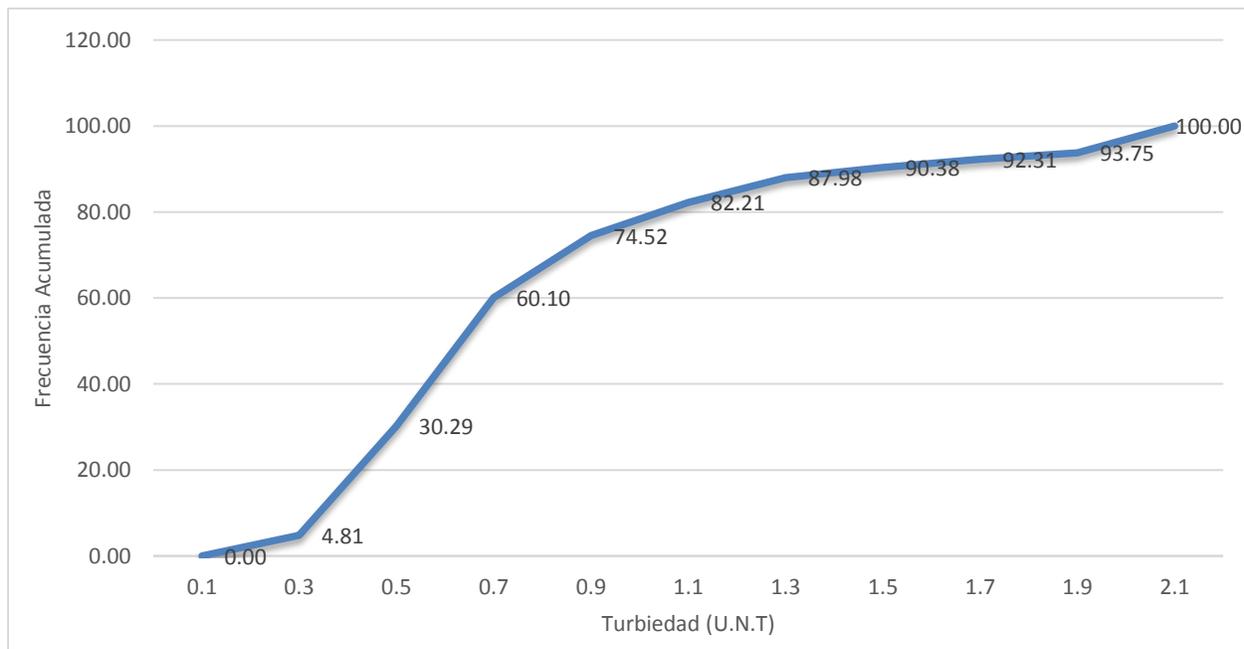


Ilustración 27. Frecuencia acumulada de turbiedad de agua filtrada en módulo 2.

Fuente Propia (2016)

De la ilustración 27 se deduce que 82.21% del tiempo la planta presentó un efluente con menos de 1 UNT, lo que equivale a una eficiencia muy buena, y 4.81% del tiempo fue menor de 0.3 UNT, pero en ningún momento de los meses analizados las unidades de filtración presentaron una eficiencia excelente (≤ 0.1 U.N.T.)

Diagnóstico

En base al estudio de eficiencia de remoción y con las informaciones levantadas en la planta, es notable que la unidad de filtración en cada módulo necesita un mantenimiento correctivo y evaluación de las condiciones de los materiales filtrantes para así aumentar la eficiencia de estos.

5.3.2.6 Desinfección

La desinfección del agua tratada se hace mediante la inyección de cloro gas, luego de que el agua sale de los filtros pasa a unos reservorios o cámaras de contacto donde se les inyecta el cloro gaseoso.

Recientemente, la CAASD hizo un cambio de todo el sistema de cloración de la P.T.A.P, por lo que entendemos que en esta área no se necesita mejora, si no hacer el mantenimiento preventivo que amerite este sistema.

En los reportes de turbiedad suministrados por la CAASD, hemos notado que en ocasiones la turbiedad del agua tratada tiende a ser un poca más alta en comparación con la turbiedad del agua filtrada. Esto lo atribuimos a la falta de mantenimiento y limpieza que reciben los reservorios, ya que los operadores tienen más de un año sin limpiarlos.

5.3.3 Aspectos técnicos

5.3.3.1 Dosificadores de sulfato

El motor que mezcla el sulfato está dañado, actualmente la mezcla se hace a mano por los operadores. La dilución del sulfato debe hacerse gradualmente, en un proceso que tomaría aproximadamente 12 horas, ya que la mezcla está siendo realizada por los operadores este proceso se hace en un tiempo aproximado de 4 horas, el cual no le da suficiente tiempo para

disolverse bien. Esto trae como consecuencia que el sulfato que no se disuelve cae al fondo y esto tapa la bomba que succiona la mezcla.

5.3.3.2 Sistema automatizado.

Todo el acueducto de Barrera de Salinidad fue diseñado para trabajar por un sistema computarizado, el cual controlaba todos los parámetros operacionales en obra de toma, estación de bombeo de agua cruda, planta de tratamiento, y los tanques reguladores. Hace varios años este sistema resultó dañado por una descarga eléctrica producida por un rayo que cayó en las cercanías del proyecto y quemó la tarjeta madre del panel de control, esto ha causado que todo el acueducto pase a ser operado manualmente, trayendo esto consigo dificultades operacionales en el sistema.

Este sistema no se ha restaurado debido al excesivo costo que tiene, sin asegurar que este no se vuelva a dañar.

Actualmente el equipo utilizado para medir el caudal de entrada y salida de la planta se encuentra fuera de servicio. Así como, el sistema para medir turbiedad a la entrada de la planta.

5.3.3.3 Laboratorio de pruebas físico-químicas y microbiológicas

El laboratorio de pruebas físico-químicas y microbiológicas de la planta potabilizadora de barrera de salinidad, no cuenta con todos los equipos necesarios para la realización de dichas pruebas, pero en la actualidad solo se están haciendo pruebas para determinar PH, turbiedad y las pruebas de jarras.

Sin embargo, en el historial de pruebas de jarras que manejan en la planta, pudimos percibir que estas no se realizan diariamente, y que existe una dispersión en los resultados de las pruebas, (ver ilustración 28).

Las demás pruebas son realizadas una vez a la semana en el laboratorio de calidad de agua de la CAASD, las muestras son tomadas por el equipo de técnicos del laboratorio de la CAASD una vez por semana.

AGUA CRUDA 70.9 N.T.U. COAGULANTE: SULFATO DE ALUMINIO AL 5% SOLIDO				AGUA CRUDA 104 N.T.U. COAGULANTE: SULFATO DE ALUMINIO AL 5% SOLIDO			
JARRA	DOSIS(mg/lit)	Mls DE SOLUCIÓN	TURBIEDAD RESIDUAL(NTU)	JARRA	DOSIS(mg/lit)	Mls DE SOLUCIÓN	TURBIEDAD RESIDUAL(NTU)
1	35	0.70	28.10	1	35	0.70	35.10
2	40	0.80	10.50	2	40	0.80	24.40
3	45	0.90	8.40	3	45	0.90	11.40
4	50	1.00	4.58	4	50	1.00	4.84
5				5			
6				6			

Ilustración 28 Comparación Prueba de Jarras realizada en P.T.A.P

Fuente: CAASD (2016)

5.3.3.4 Instalaciones de cloración

En América Latina son usuales las salas de cloración totalmente abiertas y con ventilación natural, donde se espera que las fugas se dispersen con rapidez en el ambiente circundante, por lo que generalmente se ubican bastante alejadas del resto de la planta, de tal manera que si se presentara una emergencia, el efecto corrosivo del cloro no cause daños a equipos e instalaciones. (Canepa de Vargas, 2005)

La sala de cloración reúne las características de ventilación necesarias. Las áreas de cloración deben estar dotadas de ventilación a la altura de piso, ya sea natural o ventilación forzada, en caso de una fuga esto contribuirá en desalojar el cloro acumulado a nivel del piso.

En las visitas a la planta nos dimos cuenta que el cilindro que estaba en uso estaba chorreando agua, esto ocurre cuando se está extrayendo más de lo que la capacidad máxima del cilindro permite.

Tabla 32. Características de los cilindros de cloro

Peso del contenido		Peso del cilindro		Peso total del cilindro lleno		Máximo flujo de cloro que se puede extraer de un cilindro	
kg	lb	kg	lb	kg	lb	kg	lb
50	100	33	73	83	173	11,7	26
75	150	40-59	90-130	115-134	240-280	18,2	40
1.000	2.000	680	1.500	1.680	3.500	182	400

Fuente: (Canepa de Vargas, 2005)

La tabla 32 indica las dosis que se pueden extraer a un cilindro dependiendo de su capacidad. En el caso del sistema Barrera de Salinidad para un cilindro de 2000 lb lo recomendable es no sacarle más de 400 lb de cloro gas. En ocasiones, esta indicación no se cumple, ya que se ven obligados a utilizar cuatro cilindros por día, consumiendo de 1500 a 2000 Lb cloro/día.

Tabla 33. Número de cilindros necesarios según la capacidad requerida.

Cilindro de 75 kg				Cilindros de 1.000 kg			
Capacidad requerida kg/día	En servicio	Vacios	Reserva mínima	Capacidad requerida kg/día	En servicio	Vacios	Reserva mínima
0-18	1	2	3	54-180	1	1	2
18-36	2	4	6	180-360	2	2	4
36-54	3	6	9	360-540	3	3	6
54-72	4	8	12	540-720	4	4	8
72-90	5	10	15	720-900	5	5	10
90-100	6	12	18	900-1.000	6	6	12
				>1.000	Usar evaporador		

Fuente: (Canepa de Vargas, 2005)

La tabla 33 indica los números de cilindros con los que debe contar la planta según la capacidad requerida. En el caso del sistema Barrera de Salinidad la capacidad requerida es de 720 – 900 kg/día, necesitando así según tabla 10 cilindros de 2000 Lbs, cuando en realidad la Planta solo maneja 8 cilindros.

5.3.4 Aspectos Operativos

- Es necesario que se involucre más personal capacitado en la planta, ya que hacen faltas más personas.
- Los laboratorios químicos y microbiológicos de la planta no están operando adecuadamente, solo se hacen algunas pruebas en la planta como: determinación de PH del agua y determinación de turbiedad. Las pruebas microbiológicas son realizadas por un equipo del laboratorio de la CAASD que van 1 vez a la semana a realizar las pruebas.
- El cálculo del caudal que maneja la planta se hace en base a la cantidad de bombas que están funcionando, esto no otorga un valor real del caudal que está manejando la P.T.A.P.
- El lavado de los filtros se hace según el criterio del operador de turno, si este entiende que el nivel de agua del filtro está más elevado o si el flujo del agua de entrada no es apreciable (parece estancada) el operador procede a lavar dicho filtro.
- Las pruebas de jarras no se hacen todos los días, así como las tomas de muestra no se hacen correctamente.
- El almacenamiento del sulfato de aluminio no se hace de la manera correcta, ya que los sacos de sulfatos se encuentran amontonados en el suelo. Según (Canepa de Vargas, 2005), la forma correcta de almacenamiento del sulfato es en tarimas adecuadas para evitar que la humedad pueda afectar al producto y en camadas por orden de llegada para que se pueda utilizar el material en forma cronológica.

5.4 Calidad del Efluente

5.4.1 Caracterización microbiológica y fisicoquímica del Efluente

Tabla 34. Cuadro estudio de fuente. Salida planta Barrera De Salinidad

Parámetros	Unidades	Valores Guías OPS-OMS 1995-99 (valor Máx)	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC
COLOR	USDC-Pt.Co	15 UDC-escala pt/co	7	20	7	7	20	<5	12	5	5	<5	5	7
TURBIEDAD	UNT	5 UNT	1.5	2.2	1.3	0.8	4.8	0.7	8.8	0.8	1.3	0.9	1	1.7
TEMPERATURA	°C	25 °C												
PH		6.5-8.5	6.94	6.93	6.82	6.81	6.69	7.26	7.47	6.9	7.14	7.6	7.3	6.39
CONDUCTIVIDAD	US/Cm		344	580	442	350	268	293	325	320	239	421	231	207
CLORUROS	mg/Lt	250 mg/l Cl	30	82	46	24	22	18	33	33	18	47	15	14
CLORURO RESIDUAL	mg/l Cl	150 mg/l Cl	2	0	2.2		2.5	3	0.5	1	2	3.5	3	>3
SULFATOS	mg/Lt	250 mg/l SO4	9	17	21	17	27	15	15	12	23	12	25	38
CALCIO	mg/Lt	200 mg/l Ca	90	77	89	87	68	100	97	86	88	113	88	67

MAGNESIO	mg/Lt	30 mg/l Mg	36	52	39	37	27	29	23	25	13	40	14	21
SODIO	mg/Lt	200 mg/l Na												
SOLIDOS TOTALES	mg/Lt	1500 mg/Lt	200	346	268		186	168	176		186	290	122	146
SOLIDOS DISUELTOS	mg/Lt	1000 mg/Lt	164	280	211	166	128	138	154	154	114	200	109	101
CO2	mg/Lt		31	37	54	50	30	11	8	26	12	8	6	
N. AMONIACAL	mg/Lt	0.05mg												
N. ORGANICO	mg/Lt													
HIERRO TOTAL	mg/Lt	0.3 mg/Lt	0.14				0.1	0.05	0.2	0.11	0.04	0.06	0.03	0.15
BICARBONAT O	mg/Lt		141	161	183	166	76	106	115	107	84	155	61	
DUREZA TOTAL	mg/Lt	200 mg/Lt como CaCO3	126	128	128	124	94	129	120	111	101	153	103	88
DUREZA CARBONATOS			126	128	128	124	76	107	116	108	90	153	61	
ALCALINIDAD	mg/Lt		141	161	183	166	76	107	116	108	90	156	61	70
ALCALINIDAD A LA FENOLFTALEI NA			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CARBONATO	mg/Lt		0.2	0.2	0.1	0.1	0	0.2	0.4	0.1	0.1	0.7	0.1	
SALINIDAD			200	300	200	200	100	100	200	100	100	200	100	100
TRIHALOMET ANOS	PPb	200 ppb												
COLIFORMES TOTALES	NMP/1 00ML		≤3	≤3	≤3	≤3	≤3	≤3	≤3	≤3	≤3	≤3	≤3	≤3

COLIFORMES FECALIS	AUSE NTES	≤3	≤3	≤3									
PSEUDOMON AS	AUSE NTES												

Fuente: CAASD (2016)

Diagnóstico

En la tabla de análisis del efluente, se puede observar que los procesos de tratamiento tuvieron un efecto positivo ya que los valores de los parámetros establecidos bajaron hasta los rangos establecidos por la normas, a excepción por uno que otro valor puntual que suponemos salió de los parámetros por problemas del momento u operacionales.

Ver análisis bacteriológico realizado a la salida de la planta. Anexo D

5.4.2 Análisis Estadístico de la Turbiedad del Efluente

Se hará con el objetivo de determinar la frecuencia de ocurrencia de turbiedades de salida de la P.T.A.P.

Agruparemos los datos en rangos de turbiedad predeterminados y luego se analizan los resultados para determinar cuáles son las turbiedades más frecuentes de salida en la planta.

Los datos de turbiedad empleados son los registrados en la P.T.A.P en el periodo de Enero 2015 a Diciembre 2015, agrupados en rangos para determinar las más frecuentes.

Tabla 35. Cuadro de Frecuencia Mensuales Totales de turbiedad de salida

Turbiedad	Datos	Frecuencia Parcial	Frecuencia Acumulada
Menor 0.5	50	13.69863014	13.69863014
0.51 - 1	179	49.04109589	62.73972603
1.01 - 1.5	84	23.01369863	85.75342466
1.51 - 2	34	9.315068493	95.06849315
2.01 - 2.5	9	2.465753425	97.53424658
Mayor 2.5	9	2.465753425	100
TOTAL	365	100	%

Fuente Propia (2016)

De la tabla 35 se puede observar que los valores de turbiedad de mayor frecuencia que salen de la P.T.A.P se encuentran en el rango ≤ 1 U.N.T. con una ocurrencia del 63 % aproximadamente. Se analiza cual es la turbiedad de salida más frecuente en las tablas siguientes:

Tabla 36. Cuadro de Frecuencia de Turbiedades de Salida – Rango ≤ 5 U.N.T

MES	FRECUENCIA										Total Datos
	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	
Enero	3	5	16	7	0	0	0	0	0	0	31
Febrero	1	4	13	9	0	1	0	0	0	0	28
Marzo	4	15	7	4	0	1	0	0	0	0	31
Abril	2	11	8	4	4	1	0	0	0	0	30
Mayo	6	15	3	3	1	3	0	0	0	0	31
Junio	1	17	9	1	2	0	0	0	0	0	30
Julio	0	17	11	2	1	0	0	0	0	0	31
Agosto	3	25	3	0	0	0	0	0	0	0	31
Septiembre	1	24	4	1	0	0	0	0	0	0	30
Octubre	7	20	1	2	0	0	0	0	1	0	31
Noviembre	6	14	6	1	1	1	0	0	1	0	30
Diciembre	16	12	3	0	0	0	0	0	0	0	31
TOTAL	50	179	84	34	9	7	0	0	2	0	365

Fuente Propia (2016)

Tabla 37. Frecuencia acumulada de Turbiedades de Salida - Rango ≤ 5 U.N.T

Rango	Valor Medio	FRECUENCIA		
		Parcial	Acumulada	% Acumulado
0 - 0.5	0.4	50	50	13.6986301
0.5 - 1	0.77	179	229	62.739726
1.01 - 1.5	1.15	84	313	85.7534247
1.51 - 2	1.68	34	347	95.0684932
2.01 - 2.5	2.25	9	356	97.5342466
2.51 - 3	2.68	7	363	99.4520548
3.01 - 3.5	0	0	363	99.4520548
3.51 - 4	0	0	363	99.4520548
4.01-4.5	4.06	2	365	100

Fuente Propia (2016)

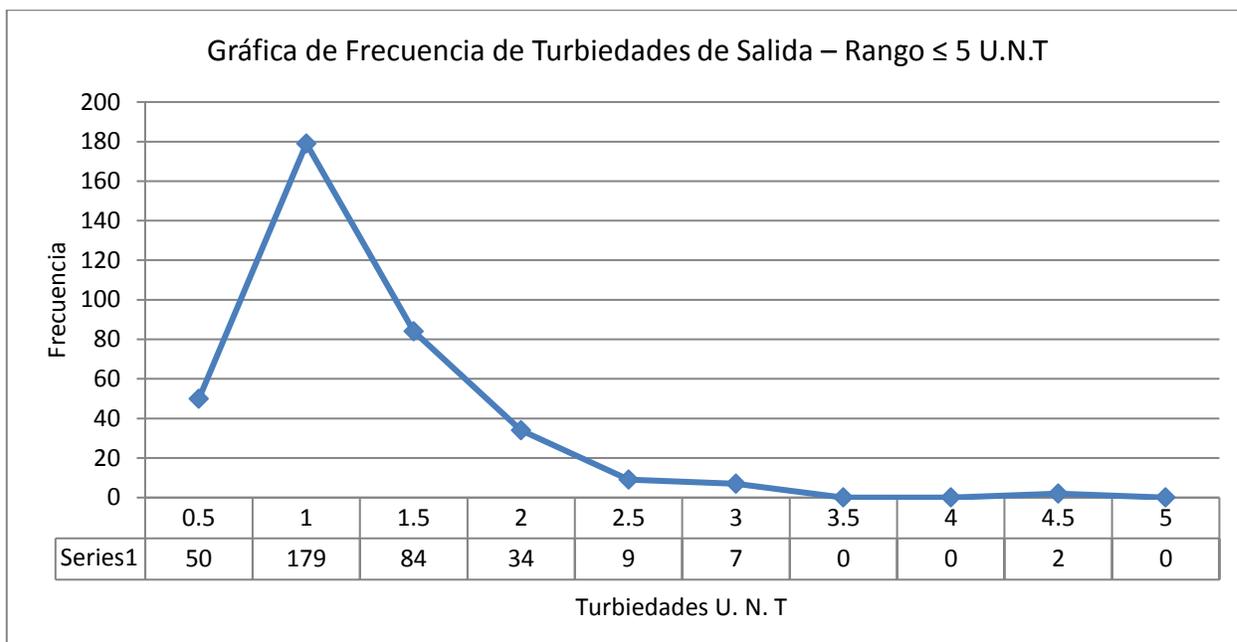


Ilustración 29. Gráfica de Frecuencia de Turbiedades de Salida – Rango ≤ 5 U.N.T

Fuente Propia (2016)

Diagnóstico

Se puede observar de la tabla 35 que la P.T.A.P la mayoría del tiempo produce agua con turbiedades baja, con el 63 % del tiempo tratando turbiedades menores a 1 U.N.T. además, se puede observar en la ilustración 29 que en este rango de valores los de mayor ocurrencia varían entre 1 y 1.5 U.N.T. Aun así, en algunos momentos produce turbiedades de salida por encima 2 U.N.T.

Conclusiones

Con los muestreos realizados en la planta de tratamiento de agua potable de Barrera de Salinidad se llegó a las siguientes conclusiones:

El sistema de medición de caudal que se utiliza en la P.T.A.P. no es confiable, debido a que esta medición se hace tomando en cuenta la eficiencia operativa de las bombas impulsoras que están trabajando en el momento. Entendemos que es necesario cambiar dicho sistema de medición, ya que el rendimiento de un equipo de bombeo puede deteriorarse debido a desgastes mecánicos, fenómenos de oxidación o incrustaciones, y esto llevar a no tener una medida confiable del caudal de agua bombeado; muestra de esto es que al compararlo con nuestro método de medición hay una diferencia de un 10%.

Comparando las medidas de caudales realizadas en las diferentes unidades de tratamiento, se comprobó que la P.T.A.P. presenta pérdidas considerables en las unidades de filtración. En base a lo medido, estas pérdidas oscilan de un 11% a un 16% del caudal de entrada.

Durante la inspección se apreció que las válvulas que controlan el agua de lavado y drenaje de filtros no funcionan correctamente, debido a que después que se dañó el sistema automatizado, los operadores abren y cierran estas válvulas manualmente provocando daños y desgastes a algunas de las piezas que las componen, incitando así a que la tubería de drenaje de filtros se mantenga descargando agua aun cuando no se esté lavando ninguno de los filtros. Adherido a esto, no cuentan con un control correcto de operación de filtros, ya que la referencia que toman para lavarlos es el movimiento del agua y el tiempo de lavado depende de quien lo esté realizando en el momento.

Mediante comprobación de cálculos se verificó que se pierden 4910 m³/h de agua tratada en el lavado de los filtros con el procedimiento de lavado con agua. Para comparar la eficiencia de este método, realizamos un análisis del volumen de agua necesario para lavar un filtro con la tecnología de aire y agua contra con la tecnología de lavado solo con agua. Los resultados arrojaron que el lavado de un filtro con la tecnología de aire y agua utiliza un volumen de agua equivalente a 18.5% del volumen del lavado solo con agua. Considerando que los 12 filtros que tiene la planta deben ser lavados diariamente, recomendamos cambiar a la tecnología de lavado de los filtros utilizando aire y agua.

La planta trabaja la mayoría del tiempo con turbiedades bajas, el 70% del tiempo tratando turbiedades menores a 40 U.N.T. Además, se puede observar que en este rango de valores los de mayor ocurrencia se encuentran entre 12 y 16 U.N.T., aunque en días del año donde frecuenten lluvias torrenciales en la zona la P.T.A.P. recibe turbiedades de hasta 1000 U.N.T.

Análisis realizados al efluente demuestran que en cuanto a la eficiencia de remoción de turbiedades es preciso que en las unidades de sedimentación de cada módulo se necesite un mantenimiento correctivo de manera urgente y hacer una planificación de un mantenimiento preventivo constante, para que estos entreguen un agua con turbiedad ≤ 2 U.N.T. a la siguiente unidad de filtración. También se demostró que la unidad de filtración en cada módulo, necesita un mantenimiento correctivo y evaluación de las condiciones de los materiales filtrantes para así aumentar la eficiencia de remoción de turbiedad de estos.

El estado físico de la planta demuestra que los componentes de las unidades de tratamiento se encuentran en buenas condiciones, aunque es necesario el remplazo y mantenimiento de algunas válvulas, escaleras, compuertas y tapas metálicas que presentan oxido y signos de desgaste.

El laboratorio dentro de la planta realiza pruebas de turbiedad de entrada del agua cada hora y realiza las pruebas de jarras cuando entiende que las condiciones de turbiedad han variado mucho. Revisando las estadísticas de las pruebas de jarras, encontramos que hay una discrepancia en las dosis de sulfato de aluminio que se le adiciona al agua para bajar los niveles de turbiedad, recomendamos que este laboratorio reporte diariamente los resultados de los análisis realizados al laboratorio de calidad de agua de la CAASD, para que estos tomen las medidas necesarias.

En el cuarto de cloración el equipo de inyección de cloro fue renovado hace aproximadamente 2 meses ya que el anterior no estaba funcionando correctamente. En las visitas se observa que se le estaban sacando más cloro del recomendado a los cilindros, esto estaba provocando que los mismos se congelaran y que gotearan, siendo esto muy peligroso porque podría ocasionar que los cilindros exploten.

Las dificultades que se están presentando en la P.T.A.P. son debido a problemas operacionales, ocasionados por la falta de personal calificado supervisando las operaciones diarias en la planta y por la operación manual de los componentes que integran la planta. Recomendamos reparar el panel de control de toda la planta, de esta forma todos los componentes podrían volver a funcionar de forma automática reduciendo el grado de error por mano de obra.

Recomendaciones

- Actualizar normas nacionales en relación a los organismos internacionales. Unificar valores de referencia y actualizar fuentes a tomar en cuenta.
- Reparar los equipos de medición de caudal y de medición de turbiedad.
- Almacenar los sacos de sulfato de aluminio de forma adecuada. En la actualidad estos están apilados en el piso, cuando deberían estar montados en plataformas alejados de la humedad.
- Limpiar los reservorios para cloración del agua tratada y crear un plan de mantenimiento para dichos reservorios.
- Es necesario cambiar la tecnología de lavado de los filtros por una que minimice la pérdida de agua tratada de los demás filtros. Recomendamos el lavado con aire y agua (Ver tabla 29).
- Reparar los paneles de control de las bombas de la obra de toma, al igual que las bombas que están fuera de servicio.
- Reparar el motor de mezcla del sulfato con el agua de la casa química, para evitar más pérdidas de sulfato de aluminio por mal desempeño de los operadores.
- Reparar el panel de control de toda la planta, de esta forma todos los componentes de la planta podrían volver a funcionar de forma automática reduciendo el grado de error por mano de obra.
- Sustituir las válvulas que controlan la salida del agua de los filtros a la tubería de drenaje.
- El laboratorio de la planta reporte diariamente los resultados de los análisis y pruebas que se hagan en la planta cada día al laboratorio de calidad de aguas de la CAASD, de esta forma el laboratorio de la CAASD podrá tomar las medidas necesarias en caso de ser necesarias.

- Evaluar la necesidad de personal con competencias adecuadas para la operación y supervisión de los procesos diarios de la planta, porque los que están ahora no son suficientes.
- Diseñar e implementar una planta de tratamiento de lodos, para tratar los lodos cuando sean limpiadas las unidades de tratamiento.
- Se prepare un plan de mantenimiento e inspección de todas las unidades y componentes de la P.T.A.P.

Bibliografía

- Biblioteca virtual de desarrollo sostenible y salud ambiental.* (Agosto de 2016). Obtenido de <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/scan/027757/027757-12a.pdf>
- Organizacion Mundial de la Salud.* (Agosto de 2016). Obtenido de http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/guidelines/es/
- Arboleda Valencia , J. (2000). *Teoría y práctica de la purificación del agua* (Tercera ed.). Colombia: McGraw-Hill.
- Barrenechea Martel, A. (2004). Aspectos físicoquímicos de la calidad del agua. En L. Canepa de Vargas, *Tratamiento de agua para consumo humano. Plantas de filtración rápida. Manual I: Teoría.* Lima, Perú: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS/OPS).
- Barrenechea Martel, A., & de Vargas, L. (2004). Desinfección. En L. de Vargas, *Tratamiento de agua para consumo humano. Plantas de filtración rápida. Manual I: Teoría.* Lima, Peru: CEPIS/OPS.
- CAASD, U. E. (2004). Planos de Planta de Tratamiento Barrera de Salinidad. Santo Domingo.
- Canepa de Vargas, L. (2005). *Tratamiento de agua para consumo humano. Plantas de filtración rápida. Manual III: Evaluacion de Plantas de Tecnologia apropiada.* Lima: CEPIS/OPS.
- de Vargas, L. (2004). Procesos unitarios y plantas de tratamiento. En L. de Vargas, *Tratamiento de agua para consumo humano. Plantas de filtración rápida. Manual I: Teoría* (págs. 103-150). Lima, Perú: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS/OPS).
- Fernandez, L. (29 de Marzo de 2005). Decreto 42-05 establece el Reglamento de Aguas para consumo humano. *Gaceta Oficial*, 1-104. Obtenido de http://www.msp.gob.do/oai/Documentos/Decretos/DECR_42-05_EstableceRegAguasConsumoHumano_20130127.pdf
- Maldonado, V. (2004). Sedimentación. En L. de Vargas, *Tratamiento de agua para consumo humano. Plantas de filtración rápida. Manual I: Teoría.* Lima, Perú: CEPIS/OPS.

- Naturales, M. d. (Abril de 2016). *Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales*.
Obtenido de <http://www.ambiente.gob.do/ambienterd/informacion-ambiental/cuencas/ozama/#1456240164717-0212e263-ff78>
- Organización Mundial de la Salud. (2006). *Guías para la calidad del agua potable*.
Organización Mundial de la Salud,.
- Pérez P. , J. A. (1981). Filtración. En J. A. Pérez P., *Manual de tratamiento de aguas*.
Medellin: Universidad Nacional de Medellín .
- Romero, J. A. (1995). *ACUIPURIFICACION Diseño de sistemas de purificación de agua*.
Colombia: Departamento de publicaciones Escuela Colombiana de Ingeniería.
- S.P.A-CAASD, C. &. (1999). *Proyecto Acueducto Oriental-Barrera de Salinidad-Rio Ozama*. Santo Domingo: C.Lotti & associati S.P.A-CAASD.
- Solsona, F., & Mendez, J. P. (2002). *Desinfección del agua*. OPS/CEPIS/PUB/O2 .83,
Lima.
- Universidad Nacional Abierta a Distancia (UNAD). (3 de Julio de 2016). Obtenido de
http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358040/Contenido_en_linea_Disenio_de_Plantas_Potabilizadoras/leccion_41_teor%C3%ADa_de_la_filtraci%C3%B3n.html

Anexos

Anexo A. Mapa cuenca rio Ozama y su franja costera.

Anexo B. Análisis realizado a la entrada de la planta.

CORPORACION DEL ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO DE SANTO DOMINGO
CAASD
DIRECCION LABORATORIO DE CONTROL Y VIGILANCIA DE LA CALIDAD DEL AGUA

AREA DE ESTUDIO DE FUENTES
PROGRAMA DE MONITOREO DE PLANTAS
ENTRADA PLANTA BARRERA DE SALINIDAD
AÑO 2015

PARAMETRO	UNIDADES	Valor guías OPS-OMS 1995-99 (Valor Máximo)	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC
COLOR	USDC-Pt.Co	15 UDC - escala pt/ co	48	40	54	40	170	68	44	68	100	34	170	170
TURBIEDAD	NTU	5 UNT	11.9	13.6	13.1	7.9	58.1	16.1	16.1	19.5	6.3	23.9	126	140
TEMPERATURA	°C	25 °C												
pH		6.5 - 8.5	7.08	7.00	6.80	6.860	6.94	7.52	7.54	6.87	7.24	7.66	7.54	6.84
Conductividad	US/Cm		329	578	417	331	270	297	321	316	280	641	204	179
Cloruros	mg/Lt	250 mg/l Cl	23	80	41	21	22	17.0	29	30	23	43	12	23
Cloro Residual														
Sulfatos	mg/Lt	250 mg/l SO4	6.0	7.0	12.0	10.0	3.0	10	8.0	10.0	18.0	14.00	25.0	27.0
Calcio	mg/Lt	200 mg/l Ca	98	97	91	83	76	104	97	92	82	128.0	74	42
Magnesio	mg/Lt	30 mg/l Mg	31	66	44	44	25	29	32	25	17	23	35	55
Sodio	mg/Lt	200 mg/l Na												
Sólidos Totales	mg/Lt	1500 mg/Lt	222	346	266		182	184	174		226	330	250	280
Sólidos Disueltos	mg/Lt	1000 mg/Lt	150	278	200	159	129	142	154	150	135	109	97	86
CO2	mg/Lt		23.0	38.0	61.0	46.0	24.0	8.0	5.0	34.0	14.0	7.0	5.0	11.0
N. Amomiacal	mg/Lt	0.05 mg												
N. Organico	mg/Lt						1.11	0.68	0.26	0.73	4.71	1.25	2.47	1.01
Hierro Total	mg/Lt	0.3 mg/Lt	0.6				106	136	135	129	126	172	87	38
Bicarbonato	mg/Lt		145	195	197	173								
Dureza Total	mg/Lt	200 mg/Lt como CaCO3	129	164	135	126	100	133	128	118	99	151	109	97
Dureza Carbonatos			129	164	135	126	100	133	128	118	99	151	87	38
Alcalinidad	mg/Lt		145	195	198	173	107	137	135	129	126	173	87	38
Alcalinidad a la Fenolftaleína			0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0	0	0	0.0	0.0
Carbonato	mg/Lt		0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.5	0.7	0.1	0.2	0.9	0.3	0.0
Salinidad			200.0	300.0	200.0	200.0	100.0	100.0	200.0	100.0	100.0	300.0	100.0	100.0
Trihalometanos	ppb	200 ppb												
Coliformes Totales	NMP/100ML		4.600	≥24,000	≥24,000	≥24,000	≥24,000	≥24,000	≥24,000	≥24,000	≥24,000	2400	≥24,000	≥24,000
Coliformes Fecales			PRESENTES	≥24,000	≥24,000	≥24,000	≥24,000	≥24,000	≥24,000	≥24,000	≥24,000	2400	≥24,000	≥24,000
Coliformes Fecales			AUSENTES	AUSENTES	AUSENTES	AUSENTES	AUSENTES	AUSENTES	AUSENTES	AUSENTES	PRESENTES	AUSENTES	AUSENTES	AUSENTES

OBSERVACIONES :

ND = No determinado

PREPARADO POR
D.D.M. S.

CONFORME



Anexo C. Producción Barrera de Salinidad.

Corporación del Acueducto y Alcantarillado de Santo Domingo
CAASD

SUB -DIRECCION DE OPERACIONES
Producción en Millones de Galones Diarios
Sistema Barrera de Salinidad

Enero-Diciembre 2015

MGD														
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total	Promedio
BARRERA DE SALINIDAD	83.890	81.350	74.784	66.482	58.992	67.067	73.196	70.163	67.849	69.236	68.283	61.748	843.040	70.253
TOTAL	83.890	81.350	74.784	66.482	58.992	67.067	73.196	70.163	67.849	69.236	68.283	61.748	843.040	70.253

Producción en Metros Cúbicos por segundo
Sistema Barrera de Salinidad

Enero-Diciembre 2015

MGD														
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total	Promedio
BARRERA DE SALINIDAD	3.675	3.564	3.276	2.912	2.584	2.938	3.206	3.073	2.972	3.033	2.991	2.705	36.929	3.077
TOTAL	3.675	3.564	3.276	2.912	2.584	2.938	3.206	3.073	2.972	3.033	2.991	2.705	36.929	3.077

Anexo D. Análisis realizado a la salida

CORPORACION DEL ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO DE SANTO DOMINGO
CAASD
DIRECCION LABORATORIO DE CONTROL Y VIGILANCIA DE LA CALIDAD DEL AGUA

AREA DE ESTUDIO DE FUENTES
PROGRAMA DE MONITOREO DE PLANTAS
SALIDA PLANTA BARRERA DE SALINIDAD
ANO 2015

PARAMETRO	UNIDADES	Valor guías OPS-OMS 1995-99 (Valor Máximo)	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC
COLOR	USDC-Pl.Co	15 UDC - escala pt/co	7	20	7	7	20	<5	12	5	5	<5	5	7
TURBIEDAD	NTU	5 UNT	1.5	2.2	1.3	0.8	4.8	0.7	8.8	0.8	1.3	0.9	1	1.7
TEMPERATURA	°C	25 °C												
pH		6.5 - 8.5	6.94	6.93	6.82	6.81	6.99	7.26	7.47	6.90	7.14	7.6	7.30	6.39
Conductividad	US/Cm		344	580	442	350	268	293	325	320	239	421	231	207
Cloruros	mg/Lt	250 mg/l Cl	30	32	46	24	22	28	33	33	28	47	15	14
Cloro Residual			2.0	0.0	2.2		2.5	3.0	0.5	1.0	2.0	3.5	3	>3
Sulfatos	mg/Lt	250 mg/l SO4	9.0	17.0	21.0	17.0	27.0	15	15	12.0	23.0	12.0	25.0	38.0
Calcio	mg/Lt	200 mg/l Ca	90	77	89	87	68	100	57	86	88	113.0	88	67
Magnesio	mg/Lt	30 mg/l Mg	36	52	39	37	27	29	23	25	13	40	14	21
Sodio	mg/Lt	200 mg/l Na												
Sólidos Totales	mg/Lt	1500 mg/Lt	200	346	268		186	168	175		186	290	122	146
Sólidos Disueltos	mg/Lt	1000 mg/Lt	164	280	211	156	128	138	154	154	114	200	109	101
CO2	mg/Lt		31.0	37.0	54.0	50.0	30	11	8.0	26.0	12.0	8.0	6.0	
N. Amoniacal	mg/Lt	0.05 mg												
N. Organico	mg/Lt						0.1	0.05	0.2	0.11	0.04	0.06	0.03	0.15
Hierro Total	mg/Lt	0.3 mg/Lt	0.14	162	183	166	76	106	115	107	84	155	61	
Bicarbonato	mg/Lt		141	161	183	165	76	107	116	108	90	156	61	70
Dureza Total	mg/Lt	200 mg/Lt como CaCO3	126	128	128	124	94	129	120	111	101	153	103	88
Dureza Carbonatos			126	128	128	124	76	107	116	108	90	153	61	
Alcalinidad	mg/Lt		141	161	183	165	76	107	116	108	90	156	61	70
Alcalinidad a la Ferofalena			0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Carbonato	mg/Lt		0.1	0.2	0.1	0.1	0.0	0.2	0.4	0.1	0.1	0.7	0.1	
Salinidad			200.0	300.0	200.0	200.0	100.0	100.0	200.0	200.0	100.0	200.0	100.0	100.0
Trihalometanos	ppb	200 ppb												
Coliformes Totales	NMP/100Ml		<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3
Coliformes Fecales			AUSENTES											
Pseudomonas			AUSENTES											

OBSERVACIONES : Para controlar o reducir la contaminación microbiológica se realiza monitoreo sistemático en todas las unidades del proceso de tratamiento en la conducción y entrega del líquido. El proceso de tratamiento consiste en aplicación de sulfato de aluminio (mezcla Rápida), Floculación, Sedimentación y Desnitración (Aplicación de Cloro)

ND = No determinado

PREPARADO POR
D.M.I. BN
LABORATORIO DE CONTROL Y VIGILANCIA DE LA CALIDAD DEL AGUA

CONFORME
CORPORACION DEL ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO DE SANTO DOMINGO
CAASD
REP. DOM. CAASD

Anexo E. Cálculos de la expansión de la arena y antracita en los filtros.

Cuadro 5-11. Cálculo de la expansión de la antracita para $Ce = 0,70(1)$

di mín (mm)	di máx (mm)	De (mm)	xi	Ga	Re	εi	xi/(1-εi)
2,00	2,38	2,182	0,05	50.939	25,5	0,44	0,089
1,65	2,00	1,817	0,15	29.404	21,2	0,50	0,300
1,41	1,65	1,525	0,29	17.406	17,8	0,55	0,644
1,17	1,41	1,284	0,28	10.393	15,0	0,58	0,659
1,00	1,17	1,082	0,16	6.208	12,6	0,63	0,427
0,83	1,00	0,911	0,07	3.709	10,6	0,68	0,219
			1,00				2,338

Cuadro 5-10. Cálculo de la expansión de la arena para $Ce = 0,80(1)$

di mín (mm)	di máx (mm)	De (mm)	xi	Ga	Re	εi	xi/(1-εi)
1,17	1,41	1,284	0,04	34.297	15,0	0,40	0,067
1,00	1,17	1,082	0,09	20.485	12,6	0,45	0,164
0,83	1,00	0,911	0,21	12.240	10,6	0,50	0,420
0,70	0,83	0,762	0,26	7.168	8,9	0,55	0,578
0,59	0,70	0,643	0,24	4.296	7,5	0,58	0,565
0,50	0,59	0,543	0,10	2.593	6,3	0,63	0,270
0,42	0,50	0,458	0,06	1.558	5,3	0,68	0,188
			1,00				2,251

Anexo F. Comprobación de diseño de las unidades de tratamiento de la PTAP.

Anexo F1. Vertedero para mezcla rapida.

Comprobación de las condiciones de mezcla del vertedero rectangular con rampa

Paso	Datos	Unidad	Criterios	Cálculos	Resultados	Unidad
1	Caudal de diseño Q = 2	m ³ /s	q = Q/B	0.666666667	Caudal unitario	m ³ /s/m
	Ancho del canal B = 3	m				
2	Longitud del Plano X = 3.5	m	$\theta = \text{tg}^{-1}(E_o / X)$	23.19867979	Inclinación de la rampa	Grados
	Altura de rampa Eo = 1.5	m				
3	Numero de Froude F = 5.5		$K = \text{COS } \theta (F + (\text{COS } \theta / 2 F))$	5.132100173	Factor de resolución de la ecuación	
4		m	$\emptyset = \text{COS}^{-1} [F^2 / (2/3 F K)^{3/2}]$	68.24920931		Relación de alturas antes y después del resalto
			$a = (8 F K/3)^{0,5} (\text{COS } (\emptyset/3))$	8.000920677		
5		m	$d1 = (q^2 / (F^2 \cdot g))^{1/3}$	0.114412734	Altura antes del resalto	m
6			$h1 = d1 / \text{cos } \theta$	0.124477347	Profundidad antes del resalto	m
7			$V1 = q / h1$	5.355726847	Velocidad al inicio del resalto	m/s

8	$F = V1 / (g \cdot h1)^{1/2}$	4.846617592	Numero de Froude (comprobación)	
9	$h2 = d2 = a \cdot d1$	0.915407212	Profundidad después del resalto	m
10	$L = 6(h2 - h1)$	4.745579196	Longitud del resalto	m
11	$hp = (h2 - h1)^3 / 4 \cdot h1 \cdot h2$	1.085548626	Perdida de carga	m
12	$V = (h1 + h2) / 2 \cdot L \cdot B$	8.613411121	Volumen del resalto	m ³
13	$(\gamma/\mu)^{1/2} = 3115$ $T = 20^\circ\text{C}$	$G = (\gamma/\mu)^{1/2} \cdot (Q \cdot hp / V)^{1/2}$	1563.90404	Gradiente de velocidad s ⁻¹
14	$T = V/Q$	4.306705561	Tiempo de mezcla	seg.
15	$h = 1/6 \cdot h2$	0.152567869	Grada al final del resalto	m
16	$h3 = (Q / 1,84 \cdot B)^{2/3}$	0.508230368	Altura de agua en el vertedero	m
17	$Eo + h3$	2		
	$hp + h2$	2		
	$Eo + h3 = hp + h2$	VERDADERO	Comprobar la igualdad	

Fuente Propia (2016)

Anexo F2. Unidad de Floculación

Comprobación vertedero de entrada a unidad de floculación

CAUDAL DE DISEÑO (Q) EN M3/S	0.333
ANCHO DE LA COMPUERTA (a) EN MT:	5.800
ALTURA DE AGUA EN LA COMPUERTA (h) EN MT.	0.150
AREA HIDRAULICA DE LA COMPUERTA (A) EN M2 (A=a*h)	0.870
VELOCIDAD DE AGUA EN LA COMPUERTA (V) EN M/S; $V=Q/A$	0.383
RADIO HIDRAULICO (r) RM MT; $r=A/(2(h)+a)$	0.143
GRADIENTE HIDRAULICO (G) ; $G=N*(3267)*r^{-0.7}*V^{1.5}$	39.314
PERDIDA DE CARGA (Hf) EN MT. $Hf=K*V^2/2*G$	0.008
2. DIMENSIONES :	
ANCHURA DISPONIBLE EN (MT.) (K)	18.200

NUMERO DE MUROS (I)	2.000
ANCHO DE LOS MUROS EN (MT) (J)	0.400
ANCHURA NETA EN (MT.) $B=K-(I*J)$	5.800
LARGO DE LA UNIDAD EN (MT) (L)	24.400
PROFUNDIDAD EN (MT) (P)	3.710
VOLUMEN UTIL EN (M3) (Vol.) $Vol=B*L*P$	525.039
ESPESOR DE LAS PLACAS (e) EN (MT.)	0.1000
TIEMPO TOTAL DE RETENCION (Tr) EN MIN. $Tr=Vol/(Q*60)$	26.278
NUMERO DE CANALES (N)	3.000
TIEMPO DE RETENCION OPTIMO DE LA GRAFICA	25
COEFICIENTE DE MANNING	0.013

Fuente Propia (2016)

Características de los tramos de unidad de floculación

Tramos	Ancho de tramo	No de	Sep. entre	Velocidad	
		Compartimientos o pantallas	placas	canales	vuelta
1	5.800	11	0.600	0.0960	0.0640
2	5.800	11	0.600	0.0960	0.0640
3	5.800	13	0.600	0.0960	0.0640

Fuente Propia (2016)

Comportamiento hidráulico de la unidad de floculación.

Tramos	Pérdidas		Pérdida total (m)	Volumen del tramo (m ³)	Gradiente tramo (seg ⁻¹)	Tiempo de retención (min.)
	Vertederos	Luces Sumergidas				
1	0.020717658	0.055973143	0.08	142.02	43.81	7.11
2	0.005412481	0.02508426	0.03	142.02	27.63	7.11
3	0.003403007	0.013378272	0.02	164.61	19.03	8.24
TOTAL			0.12		T R (minutos) =	22.46

Fuente Propia (2016)

Anexo F3. Unidad de sedimentación

Comprobación de diseño de sedimentador con placas paralelas.

Paso	Datos	Cantidad	Unidad	Criterios	Cálculos	Resultados	Unidad
1	Separación de las placas en el plano horizontal	$e' = 9.936$	cm				
	Espesor de lonas de vinilo	$e = 0.6$	cm	$d = e' \operatorname{sen} \theta - e$	8.0	Espaciamiento entre las placas	cm
	Angulo de inclinación de las placas	$\theta = 60$	°				
2	Longitud del módulo de placas	$l = 1.23$	m	$l_u = l - e' \cos \theta$	118.032	Longitud útil dentro de las placas	cm
				$L = l_u/d$	14.7345916	Longitud relativa del módulo de placas	m
3	Módulo de eficiencia de las placas	$S = 1$		$f = [\operatorname{sen} \theta (\operatorname{sen} \theta + L \cos \theta)]/S$	7.130034161	Coefficiente del módulo de las placas	
	Velocidad de sedimentación de las partículas	$V = 2.3148 (10^{-4})$	m/s	$A_s = Q/f \cdot V_s$	201.7618954	Área superficial de la unidad	m ²
	Caudal de diseño del sedimentador	$Q = 0.333$	m ³ /s				

4	Ancho total neto de la zona de decantacion	B = 5	m	$N = A_s \cdot \text{Sen } \theta / B \cdot d$	433	Número de canales formados por las placas	
5				$LT = l \cdot \cos\theta + [N \cdot d + (N+1)e] / \text{sen}\theta$	43.71709007	Longitud total del decantador	m
6				$V_o = Q / A \text{ sen}\theta$	0.190578829	Velocidad media del flujo	cm/s
7	Ancho del módulo de placas	b = 2.45	m	$R_h = b \cdot d / 2(b+d)$	3.873517787	Radio hidráulico del módulo de placas	cm
8	Viscosidad a 10°C	0.01	cm ² /s	$Re = 4 \cdot R_h \times V_o / \gamma$	295.2841942	Numero de Reynolds	
9				$V_o = (Re/8)^{0.5} \cdot V_s$	0.140633434	Velocidad longitudinal máxima	m/s

Fuente Propia (2016)

Anexo F4. Unidad de Filtración

Dimensionamiento de la batería de filtros.

Paso	Datos	Cantidad	Unidad	Criterios	Cálculos	Resultados	Unidad
1	Caudal (Q)	2	m ³ /s				
	Velocidad ascensional (Va)	0.7	m/min	$A_f = Q / V_a$	171.4285714	Área de cada filtro	m ²
2	Velocidad de filtración promedio (Vf)	352	m ³ /m ² /día	$AT = Q/VF$	490.9090909	Área total de filtros	m ²
				$N = AT/AF$	2.863636364	Número de filtros necesarios	
					6	Número de filtros Actuales	
				$A_f = AT/N$ (act)	81.81818182	Área de cada filtro	m ²
					(7.3 m x 11.20 m)		

Fuente Propia (2016)

Cálculo de la expansión del lecho filtrante, selección de la velocidad de lavado y ubicación de las canaletas de lavado.

Paso	Datos	Cantidad	Unidad	Criterios	Cálculos	Resultados	Unidad
1	Diámetro más fino de la capa de arena	$d_1=0.42$	mm	$De=v(d_1*d_2)$	0.46	Diámetro equivalente de la capa más fina	mm
2	Diámetro más grueso de la capa de arena	$d_2=0.50$	mm				
3	peso específico del agua ρ_a	1000	kg/m ³	$Ga=De^3 \rho_a (\rho_s - \rho_a)$	-1.558	Numero de galileo para la capa más fina de arena	
	peso específico de la arena ρ_s	2650	kg/m ³				
4	Visc. Dinam 20° (μ)	0.001	kg/s x m	$Re=Va.De. \rho_a / \mu$	5.35	Numero de Reynolds modificado.	
	aceleración de la gravedad (g)	9.81	m ² /s				
	Coefficiente de esfericidad (Ce)	0.8					
5	Del cuadro 5-10 para Ce= 0.8 se obtuvo (ϵ_i)	0.68		$\xi_i / (1-\epsilon_i)$	$\xi_i / (1-\epsilon_i) = 0,188$		
	Fracción del lecho filtrante que ocupa la capa 1 o capa más fina ξ_i	0.06					

6	Del cuadro 5-10 se obtiene $\sum Xi / (1 - \epsilon_i)$	2.251		$\epsilon e = 1 - [1 / \sum Xi / (1 - \epsilon_i)]$	0.56	Porosidad expandida promedio de la capa de arena	
7	Del cuadro 5-11 se obtiene $\sum X' i / (1 - \epsilon_i)$ Ver anexos	2.338		$\epsilon' e = 1 - [1 / \sum X' i / (1 - \epsilon_i)]$	0.57	Porosidad expandida promedio de la capa de antracita	
8	porosidad de la arena limpia (ϵo)	0.42		$E = (\epsilon e - \epsilon o) / (1 - \epsilon e)$	0.31	porcentaje de expansión promedio de la arena	
9	porosidad de la antracita limpia ($\epsilon' o$)	0.45		$E' = (\epsilon' e - \epsilon' o) / (1 - \epsilon' e)$	0.29	porcentaje de expansión promedio de la antracita	
				$Le = L(1+E) + L' (1+E')$	1.167	Altura del lecho filtrante expandido	m
10	Números de canaletas de recolección del agua de lavado (N_3)	6		$Qc = 1,3 Q / N_3$	26	Caudal que recolecta cada canaleta	m ³ /min
11	Altura útil de las canaletas de lavado (h_o)	0.9	m	$W = Qc / 82.5 h_o^{(3/2)}$	0.3	Ancho de las canaletas de lavado	
12	Altura entre el nivel lecho expandido y fondo de la canaleta H_4	0.1		$H_3 = 1,5 h_o + 0,10$	1.45	altura total de canaletas de lavado más losa de fondo	m

13	Altura del falso fondo H_1	0.45	m	$H_c = H_1 + H_2 + H_3 + H_4 + L_e$	3.167	Altura del borde de la canaleta de lavado con respecto al fondo del filtro	m
14	Altura del drenaje más la grava H_2	0.55	m				
15	Altura del lecho filtrante H_3	0.9	m				

Fuente Propia (2016)

Cálculo de las pérdidas de carga durante el lavado de un filtro y ubicación del vertedero de salida.

Paso	Datos	Cantidad	Unidad	Criterios	Cálculos	Resultados	Unidad
1	Densidad de la arena ρ_s	2.65	g/cm ³	$H_f = (1 - \epsilon_0) \left(\frac{\rho_s - \rho_a}{\rho_a} \right) L$	0.29	Pérdida de carga en la arena durante el lavado	m
	Densidad del agua ρ_a	1	g/cm ³				
	Espesor de la capa de arena (L)	0.3	m				
	porosidad de la arena (ϵ_0)	0.42					
2	Densidad de la antracita ρ_{antra}	1.5	g/cm ³	$H'_f = (1 - \epsilon'_0) \left(\frac{\rho_{antra} - \rho_a}{\rho_a} \right) L$	0.165	Pérdida de carga en la antracita durante el lavado	m
	Porosidad de la antracita (ϵ'_0)	0.45					
3	espesor de la capa de antracita L	0.6	m	$H_{f1} = H_f + H'_f$	0.455	Perdida de carga total en el lecho filtrante durante el lavado	m
4	Ancho de cada filtro B	7.3	m	$N_1 = B/b$	24.33	Número de vigueta del drenaje	
	Ancho de cada vigueta b	0.3	m				
5	Espaciamiento entre orificios e	0.1	m	$N_2 = 2c/e$	224	Numero de orificios en cada vigueta	
	Longitud de cada	11.2	m				

vigueta C							
6				$Nt=N_1*N_2$	5450.67	Número total de orificios en el drenaje	
7				$qo=Q/Nt$	0.000366928	Caudal de lavado por orificio	m3/s
8	Diámetro de los orificios del drenaje (do)	0.019	m	$Ao=\pi do^2/4$	0.000283529	área de los orificios del drenaje	m2
		3/4"	pulg.				
9	Coeficiente de descarga de los orificios (Cd) Aceleración de la gravedad (d)	0.65		$hf_2= qo^2/(2g(Cd* Ao)^2)$	0.202040684	perdida de carga en los orificios del drenaje	m
		9.81	m/s2				
10	Ancho libre del canal del falso fondo (C)	7.3	m	$AFF=H_1*C$	3.285	Sección transversal del falso fondo	m2
11				$VFF=Q/AFF$	0.608828006	Velocidad en el falso fondo durante el retro lavado	m/s
12	Coeficiente de pérdida de carga en el falso fondo (K)	1		$hf_3=K* vff^2/2g$	0.018892535	perdida de carga en el falso fondo durante el retro lavado	m
13	Velocidad en la compuerta de salida Vc_2	1.5	m/s	$hf_4=K* Vc_2^2/2g$	0.114678899	Perdida de carga en la compuerta de salida durante el retro lavado	m
14			m	$hf_5=(1.3 Q^{2/3})/(1.84(2N_3)c)$	0.008344742	Altura de agua sobre las canaletas de recolección	m
15				$hf_{lavado}=hf_1+hf_2+hf_3+hf_4+hf_5$	0.79895686	perdida de carga total durante el retro lavado	m
16				$hv=hc+hf_{lavado}$	3.96595686	Nivel del vertedero que controla la hidráulica del lavado, con respecto al fondo del filtro	m

Fuente Propia (2016)

Anexo G. Estimación de costos de mantenimiento correctivo y preventivo

PRESUPUESTO: MEJORAMIENTO DE UNIDADES DE FILTRACIÓN DE PTAP BARRERA DE SALINIDAD, ACUEDUCTO ORIENTAL						
No.	Descripción	Cantidad	Unidad	Precio RD\$	Costo RD\$	Sub-Total
1	CAMBIO DE VALVULAS DE DRENAJE DE FILTROS:					
1.1	Desinstalación de Valvula Ø36" de Mariposa	2.00	UD	7,500.00	15,000.00	
1.2	Suministro de Valvulas Ø36" de Mariposa Completa (Incl. Niples Platillados, Juntas de Gomas, Juntas Dresser y Tornillos (Cubicar Contra Factura)	2.00	UD	813,450.60	1,626,901.20	
1.3	Instalación de Valvulas Ø36" de Mariposa Completa (Incl. Niples Platillados, Juntas de Gomas, Juntas Dresser y Tornillos (Cubicar Contra Factura)	2.00	UD	16,350.00	32,700.00	1,674,601.20

2	CAMBIO DE SISTEMA DE LAVADO DE FILTROS					
1.-	SUMINISTRO E INSTALACION DE BOQUILLAS ORTHOS MODELO "D" CON 0.30 MM. DE APERTURA EN RANURA PARA LAVADO CON AGUA Y AIRE EN FILTROS (45 UDS./M2)	8,000.00	P2	5,591.96	44,735,643.76	
2.-	SUMINISTRO E INSTALACION DE PISO MONOLITICO PARA BOQUILLAS	8,000.00	P2	2,872.35	22,978,800.00	
3.-	SUMINISTRO Y COLOCACION DE SOPLADORES Y BOMBAS (Cubicar Desglosado)	1.00	PA	13,542,888.75	13,542,888.75	81,257,332.51
	SUB-TOTAL COSTOS DIRECTOS					82,931,933.71
	SUB-TOTAL COSTOS DIRECTOS					82,931,933.71
	DIRECCIÓN TÉCNICA		10.00%		8,293,193.37	
	GASTOS ADMINISTRATIVOS		2.50%		2,073,298.34	
	SEGURO Y FIANZAS		5.35%		4,436,858.45	

	TRANSPORTE		3.50%		2,902,617.68	
	LEY # 6/86		1.00%		829,319.34	
	SUPERVISIÓN		5.00%		4,146,596.69	
	TOTAL DE GASTOS INDIRECTOS					22,681,883.87
	SUB-TOTAL GENERAL EN RD\$					105,613,817.58
	IMPREVISTOS		5.00%			5,280,690.88
	TOTAL GENERAL A CONTRATAR					110,894,508.46

Anexo H. Fotografías estado actual de la planta. Fuente Propia (2016)



Rio Ozama en la obra de toma.



Obra de toma de agua cruda.



Compuertas para elevar el nivel del agua para captación.



Entrada del agua a la obra de toma de agua cruda.



Caja de entrega de agua cruda.



Caja de entrega donde se reparte el caudal a los 2 módulos de la planta.



Canal de mezcla Rápida.



Entrada del agua a los floculadores.



Floculadores de flujo vertical.



Sedimentadores de agua floculada



Canal de salida de agua sedimentada



Filtros de flujo descendente.



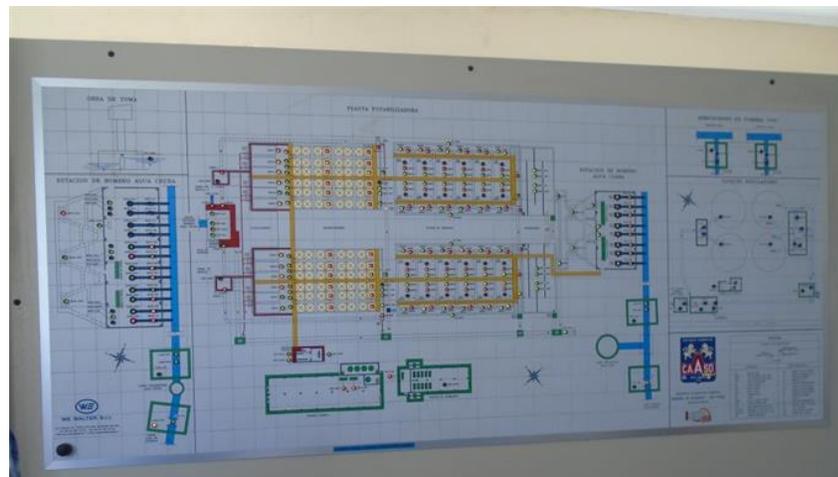
Canal de salida de agua filtrada.



Cilindro de cloro de gas de 2000 lb.



Sacos de sulfato de aluminio.



Panel de control de la P.T.A.P fuera de servicio.



Medidor de caudal de salida de agua en la planta



Escaleras y rampas dentro de la P.T.A.P.



Plancha de metal en mal estado en la P.T.A.P



Cilindros de cloro gas vacíos.

Anexo I. Carta de autorización para realizar esta investigación en las instalaciones de la CAASD.

Santo Domingo, D.N
Rep. Dom. 10-11-2015

Recibido
10/11/2015
Señor:
Arq. Alejandro Montás,
Director General CAASD.



Su despacho.

Distinguido Arquitecto;

Muy cortésmente, permitanos informarle que tras terminar el pensum de la Maestría de Ingeniería Sanitaria en la Universidad Nacional Pedro Henríquez Ureña (UNPHU), hemos obtenido la aprobación del tema de tesis "Propuesta de Mejoramiento de la Planta de Tratamiento de Agua Potable de Barrera de Salinidad, Acueducto Oriental", para optar por el título de Master of Science (Msc) en Ingeniería Sanitaria.

Solicitamos se nos autorice poder trabajar en la propuesta de mejoramiento de esta planta potabilizadora, Así como, la participación en los laboratorios para realizar pruebas y ensayos en los mismos, en tal sentido, esperamos suministrar recomendaciones para un mejor funcionamiento de la misma.

Los datos recolectados serán utilizados con fines meramente educativos, nuestro compromiso será el de dejar un trabajo en los archivos de la institución como una contribución a esta.

Esperando de su aprobación y para fines de su conocimiento, con nuestra más alta estima, queda de usted,

Atentamente:

[Signature]
Ing. Amelia María Pérez Sánchez
Ingeniera Supervisora de la Unidad
Ejecutora de Proyectos CAASD.
809-906-9284

[Signature]
Ing. María Cristina Sánchez Vicente
Pasante Sub Dirección de Ingeniería
CAASD.
829-830-9844

**DIRECCION GENERAL
CAASD**

Recibido por: *[Signature]*
Fecha: *10/11/15*
Hora: _____

352

Anexo J. Planos planta de tratamiento de agua potable Barrera de Salinidad.