

# **TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

## **EVALUACIÓN Y PROPUESTAS PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA FÍSICO-QUÍMICO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE UNA FÁBRICA DE HELADOS**

Presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de Venezuela  
por la Br. Malaver O., Yesly D.  
para optar al título de  
Ingeniera Química

Caracas, Noviembre 2010

## **TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

# **EVALUACIÓN Y PROPUESTAS PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA FÍSICO-QUÍMICO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE UNA FÁBRICA DE HELADOS**

TUTOR ACADÉMICO: Prof. Johnny Vásquez  
TUTOR INDUSTRIAL: Ing. Ingrid Escalona.

Presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de Venezuela  
por la Br. Malaver O., Yesly D.  
para optar al título de  
Ingeniera Química

Caracas, Noviembre 2010

Caracas, Noviembre de 2010

Los abajo firmantes, miembros del Jurado designado por el Consejo de Escuela de Ingeniería Química, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por la Bachiller Yesly Malaver, titulado:

**Evaluación y propuestas para la optimización del sistema físico-químico de tratamiento de aguas residuales de una fábrica de helados**

Consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudios conducente al Título de Ingeniero Químico, y sin que ello signifique que se hacen solidarios con las ideas expuestas por el autor, lo declaran APROBADO.

---

Prof. Francisco Yáñez  
Jurado

---

Prof. Andrés Rosales  
Jurado

---

Prof. Johnny Vásquez  
Tutor Académico

---

Ing. Ingrid Escalona  
Tutor Industrial

## **DEDICATORIA**

**A mis padres y hermanos,  
ustedes han sido mi motivación e impulso a seguir,  
por ustedes estoy aquí.  
Espero que estén orgullos  
porque este triunfo también es de ustedes.**

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Universidad Central de Venezuela y a la escuela de Ingeniería Química donde crecí tanto personal como profesionalmente, permitiéndome conocer a muchas personas que de alguna u otra forma han dejado algo en mí.

A mi tutor Johnny Vásquez por ser una gran persona y brindarme su apoyo en todo momento, Gracias.

A la Ing. Ingrid Escalona por brindarme todo su conocimiento y por seguir apoyándome en los momentos más difíciles.

Al Ing. Eduardo Chacón y a la Sra. Ana Siles ya que sin su ayuda no hubiese podido conseguir la pasantía en EFE, además de todo el apoyo incondicional que me brindaron durante el desarrollo de la investigación.

A Tomás, por estar siempre pendiente y por apoyarme incondicionalmente a lo largo de toda mi carrera, eres muy especial.

A Yojana por ayudarme con las pruebas del laboratorio y ser mi compañera de trabajo y de cuentos el tiempo que estuve en la planta, eres una gran amiga.

A los muchachos de la planta Deivid Paladino, Manuel Flores, Yeremi Mujica, José Casanova, Leonardo Pérez, Gustavo Escalona, Ronald Burraquio y Javier Mata gracias por todos los conocimientos brindados, su ayuda desinteresada y por su gran humor que hacían que el trabajo fuera un poco más entretenido.

A los muchachos mecánicos gracias por el apoyo.

Al Ing. Victor Guzmán que me dio un último empujoncito técnico para terminar con la tesis.

A los demás compañeros y amigos, por estar pendiente y darme todo su apoyo.

**Malaver O., Yesly D.**

## **EVALUACIÓN Y PROPUESTAS PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA FÍSICO-QUÍMICO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE UNA FÁBRICA DE HELADOS**

**Tutor Académico: Prof. Johnny Vásquez. Tutor Industrial: Ing. Ingrid Escalona. Tesis. Caracas. U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Química. Año 2010, 118 pág.**

**Palabras Claves:** Helados, Tratamiento de aguas, Coagulación, Floculación, Flotación, CAF.

**Resumen.** La producción de helados de una planta cambia diariamente en función de las necesidades del mercado, por lo que la variabilidad del afluente del proceso es el principal inconveniente al momento de realizar un adecuado tratamiento a las aguas residuales. La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), es la encargada de procesar los desechos líquidos provenientes de las áreas productivas de la fábrica de helados, esta consta de un sistema físico-químico y un sistema biológico. En el sistema físico-químico ocurren procesos de homogenización y neutralización a fin de amortiguar las variaciones de caudal y las características del agua residual seguido de coagulación, floculación y flotación para lograr la separación de partículas sólidas suspendidas en el fluido que interfieren en el tratamiento biológico consecutivo. Es por esto que el objetivo del presente trabajo consistió en la evaluación del sistema físico-químico de tratamiento de aguas residuales de manera de identificar las posibles fallas del sistema y establecer los cambios que sean factibles para la optimización del mismo. Para ello se realizaron inspecciones a lo largo del sistema físico-químico así como el análisis de las aguas afluentes y efluentes generados, además de evaluaciones de las unidades de proceso de la planta. Con el trabajo realizado se obtuvo que a pesar de que la calidad del agua a la entrada del sistema físico-químico es altamente variable, la remoción de DQO y grasas superan los valores de diseño. Además se determinó que no existe un parámetro de medición instantánea y puntual que permita relacionarse con la dosificación de coagulante y floculante necesaria para obtener una óptima clarificación; y que existen numerosas fallas en la instalación de las bombas de dosificación y en la preparación de los productos químicos, lo que hace que estos sean dosificados en exceso lo que acarrea inconvenientes en el sistema biológico. Es por esto que se recomienda realizar los ajustes necesarios a las instalaciones hidráulicas de las bombas de acuerdo a la información proporcionada por el fabricante, así como también preparar el floculante a una menor concentración ya que actualmente se está preparando al 6% m/v, lo que favorece que este se dosifique en exceso en el sistema.

## INDICE DE CONTENIDO

Indice de figuras .....	IX
Indice de tablas.....	X
CAPÍTULO I.....	1
INTRODUCCIÓN .....	1
Objetivos .....	3
Objetivo general.....	3
Objetivos específicos .....	3
Antecedentes .....	4
CAPÍTULO II. ....	6
MARCO TEÓRICO.....	6
2.1. Definición de helado .....	6
2.1.1. Componentes de los helados .....	6
2.1.2. Clasificación de los helados.....	8
2.2. Proceso de elaboración de helados.....	9
2.2.1. Elaboración de cremas .....	10
2.2.2. Elaboración de mermeladas .....	12
2.3. Aguas residuales industriales .....	13
2.3.1. Características de las aguas residuales.....	14
2.4. Tratamiento de aguas residuales industriales .....	18
2.4.1. Descripción planta de tratamientos de aguas residuales (PTAR) .....	18
2.4.2. Pretratamiento de aguas residuales .....	21
2.4.3. Tratamiento primario o físico-químico.....	23
2.4.4. Tratamiento secundario o biológico.....	27
CAPITULO III. ....	30
METODOLOGÍA .....	30
3.1. Diagramas De Flujo y Tuberías e Instrumentación de la Planta de Tratamiento. ....	30
3.2. Evaluación de factores que inciden en la remoción de material orgánico. ....	30
3.3. Estudio de las Pérdidas de carga. ....	32
3.4. Estudio la variación de la demanda química de oxígeno del afluente. ....	32
3.5. Relación entre el caudal de entrada al tanque de mezcla rápida y la dosificación de coagulante y floculante.....	32

## INDICE DE CONTENIDO (Continuación)

3.6. Relación entre la dosificación de coagulante y floculante aplicado al sistema, y los parámetros de turbidez y conductividad. ....	33
3.7. Relación entre el caudal de agua que ingresa al CAF y la altura del vertedero. ...	33
CAPITULO IV.....	35
RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	35
4.1. Diagramas de flujo y tuberías e instrumentación de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR).....	35
4.2. Evaluación de los factores que inciden en la remoción de material orgánico suspendido en los efluentes del sistema físico-químico.....	41
4.3. Estudio de las pérdidas de carga en la tubería de descarga del sistema de neutralización. ....	66
4.4. Estudiar la variación de la demanda química de oxígeno. ....	67
4.5. Determinar la relación entre el caudal de entrada al tanque de mezcla rápida y la dosificación de coagulante y floculante, en función del flujo de descarga real de las bombas de dosificación. ....	70
4.6. Relación entre la dosificación de coagulante y floculante aplicado al sistema, y los parámetros de turbidez y conductividad.....	72
4.7. Relación entre el caudal de agua que ingresa al caf y la altura del vertedero .....	76
CONCLUSIONES .....	79
PROPUESTAS Y RECOMENDACIONES .....	80
BIBLIOGRAFÍA.....	81
APÉNDICE .....	84

## INDICE DE FIGURAS

Figura N° 1. Proceso de Elaboración de helados.....	10
Figura N° 2. Diagrama de elaboración de cremas.....	10
Figura N° 3. Diagrama del Proceso de Tratamiento de Aguas.....	20
Figura N° 4. Simbología utilizada en los DFP .....	36
Figura N° 5. Diagrama de Flujo de Procesos 01 .....	37
Figura N° 6. Diagrama de Flujo de Procesos 02 .....	38
Figura N° 7. Diagrama de Flujo de Procesos 03 .....	39
Figura N° 8. Diagrama de Flujo de Procesos 04 .....	40
Figura N° 9. Variación del pH en el sistema de neutralización.....	42
Figura N° 10. Curva de calibración de bombas de dosificación. ....	50
Figura N° 11. Ajustes de las curva de calibración de bombas de dosificación. ....	51
Figura N° 12. Parámetros de turbidez y SST para el agua cruda. ....	59
Figura N° 13. Parámetros de turbidez y SST para el agua pretrada. ....	60
Figura N° 14. Gráfica de turbidez en función de los SST para el CAF. ....	60
Figura N° 15. Gráfica de turbidez en función de los SST para la cruda. ....	61
Figura N° 16. Remoción de turbidez y de SST. ....	62
Figura N° 17. Gráfica de turbidez y DQO.....	63
Figura N° 18. Gráficas de turbidez y grasas.....	63
Figura N° 19. Variación de la conductividad y los SST.....	64
Figura N° 20. Variación de la conductividad, grasas y DQO .....	65
Figura N° 21. Curva de demanda química de oxígeno.....	68
Figura N° 22. Remoción de DQO .....	69
Figura N° 23. Remoción de DQOs.....	70
Figura N° 24. pH óptimo de coagulación (prueba 1). ....	73
Figura N° 25. Variación de la turbidez y de la conductividad del agua para diferentes dosis de coagulante.....	75
Figura N° 26. Variación de la turbidez y de la conductividad del agua para diferentes dosis de floculante.....	76

## INDICE DE TABLAS

Tabla N° 1. Sustancias químicas utilizadas para la neutralización de pH. ....	41
Tabla N° 2. Descripción productos coagulantes y floculante utilizados en PTAR. ....	44
Tabla N° 3. Análisis de aguas utilizando el coagulante MQ-132.....	45
Tabla N° 4. Caracterización de los productos químicos.....	46
Tabla N° 5. Características bombas dosificadoras. ....	48
Tabla N° 6. Consideraciones de diseño del mezcla rápida.....	52
Tabla N° 7. Remoción de humedad del filtro banda. ....	53
Tabla N° 8. Parámetros de diseño del sistema físico-químico. ....	55
Tabla N° 9. Características del afluente y efluente del sistema físico-químico. ....	55
Tabla N° 10. Remoción del sistema físico-químico.....	56
Tabla N° 11. Tiempo de residencia en los equipos. ....	57
Tabla N° 12. Consideraciones de diseño del Sistema Biológico.....	57
Tabla N° 13. Comparación parámetros de diseño de los sistemas. ....	58
Tabla N° 14. Datos utilizados para el cálculo de las pérdidas de carga. ....	66
Tabla N° 15. Resultados obtenidos para los cálculos de pérdidas de carga. ....	66
Tabla N° 16. Relación entre en caudal de agua y la dosificación de coagulante en función del flujo de descarga real de la bomba. ....	71
Tabla N° 17. Relación entre en caudal de agua y la dosificación de floculante en función del flujo de descarga real de la bomba. ....	72
Tabla N° 18. Características del agua cruda en pruebas de pH de coagulación.....	74
Tabla N° 19. Altura del vertedero para un caudal de 3 l/s. ....	77
Tabla N° 20. Altura del vertedero óptima para diferentes caudales.....	78

## CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

El sector industrial ha venido creciendo y desarrollándose de manera tal, que actualmente hay empresas que comenzaron teniendo una producción netamente casera y para el momento de su inicio solo lograban satisfacer una pequeña parte de la población, en este caso nos queremos referir a Venezuela, nuestro País, en donde la industria del helado se desarrolló de una manera repentina y lo que generó la construcción de infraestructuras que permitieran la fabricación de helados en grandes escalas para satisfacer gran parte de la demanda a nivel nacional, es así como nace la empresa Productos EFE S.A.

Dicha planta, aparte de generar su producto principal como es el helado, producen también muchos residuos los cuales pueden variar dependiendo de cómo se comporte el mercado, en general sus desechos pueden ser sólidos y/o líquidos.

En esta empresa los desechos o efluentes líquidos son enviados hacia una planta de tratamiento de aguas Residuales (PTAR), la cual está conformada por un sistema de tratamiento fisicoquímico y un sistema biológico. En el sistema de tratamiento fisicoquímico se realiza la remoción de las partículas sólidas suspendidas en los efluentes a través de los procesos de coagulación, floculación y flotación, de igual manera se realiza una reducción parcial del contenido de materia orgánica hasta llevarlo a los niveles aceptables por las normativas vigentes para la descarga de los efluentes líquidos, a través de un sistema secundario conformado por reactores biológicos secuenciales.

En vista de la variabilidad de los efluentes que son dirigidos hacia la planta de tratamiento, y tomando en cuenta las normas que regulan la disposición de estos efluentes, se planteó la necesidad de realizar una evaluación de los diferentes parámetros que intervienen en el sistema y realizar una propuesta que permitiera optimizar las condiciones de operación de esta planta.

Para llevar a cabo esta evaluación se realizó una programación que permitiera tomar muestras de estos efluentes y realizar diferentes análisis para poder observar la varia-

bilidad de los mismos, dentro de los análisis fisicoquímicos realizados se mencionan turbidez, DQO, SST y remoción de grasas entre otros, al igual que se le realiza un seguimiento continuo a las unidades de proceso de la planta.

## OBJETIVOS

### Objetivo general

Evaluar el funcionamiento del sistema físico-químico para la remoción de material orgánico suspendido en los efluentes líquidos de una fábrica de helados.

### Objetivos específicos

- Realizar los diagramas de flujo y tuberías e instrumentación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR).
- Evaluar los factores que inciden en la remoción de material orgánico suspendido en los efluentes del sistema físico-químico de tratamiento de aguas residuales.
- Estudiar las pérdidas de carga que se presentan en la tubería por donde fluye el agua residual desde el tanque de neutralización hasta el tanque de mezcla rápida, con la finalidad de proponer mejoras en dicho sistema.
- Estudiar la variación de la demanda química de oxígeno total y la demanda química de oxígeno soluble del afluente de la PTAR e identificar el impacto de dichos parámetros en el funcionamiento del CAF.
- Determinar la relación entre el caudal de entrada al tanque de mezcla rápida y la dosificación de coagulante y floculante, en función del flujo de descarga real de las bombas de dosificación.
- Establecer una relación entre la dosificación de coagulante y floculante aplicado al sistema, y los parámetros de turbidez y conductividad.
- Establecer una relación entre el caudal de agua que ingresa al CAF y la altura del vertedero o playa del equipo.

## ANTECEDENTES

En esta sección se exponen los trabajos realizados previamente en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Productos EFE, S.A, relacionados con los objetivos planteados en el presente proyecto.

- **Isabel Correa y Pierangela Armone** en 1998, realizaron un estudio para establecer una relación con las variables del proceso productivo de helados y la calidad de las aguas residuales crudas que llegan a la PTAR.

Para la realización del estudio, recabaron información de todas las variables del proceso productivo como lo son el volumen y tipo de helados producidos, así como las pérdidas de materia asociada a esto. A la par realizaron un muestreo de las aguas crudas residuales, con la finalidad de estudiar el comportamiento de las mismas y establecer relaciones entre éstas y las variables del proceso productivo.

Con esta tesis concluyeron que el volumen de producción de helados y el tipo de helado producido no influye en el impacto poluyente de las aguas residuales, por lo que no se puede predecir el comportamiento de los parámetros de la calidad del agua a partir del volumen de helado producido. Además, se dieron cuenta que las pérdidas de helado en el proceso productivo influyen en la calidad del agua residual, pero no se puede determinar su impacto ya que estas pérdidas no son cuantificadas.

Tomando en cuenta los resultados mencionados anteriormente, se recomendó llevar un control de las pérdidas que ocurren en el proceso productivo, especialmente de los helados cremosos y mermeladas que son los que aportan mayor carga, así como incrementar los programas de concientización en donde se le explique a los operadores de producción la importancia de recoger la máxima cantidad posible de mezcla desechada a fin de colaborar con la planta de tratamiento de aguas residuales.

- **Daniela Ramírez** en el 2008, evaluó la capacidad de la planta de tratamiento de aguas residuales, debido a un incremento en la producción de la planta de Productos EFE S.A. Para ello realizó un levantamiento completo de la información de la planta, esto incluyó revisión de planos, memorias descriptivas, memorias de cálculos, manuales de operación y especificaciones de equipos y unidades de proceso instaladas.

Según sus resultados, hidráulicamente la planta, puede procesar el caudal actual que ingresa a la misma de 5,84 l/s, debido a que está por debajo del caudal promedio de diseño de 7 l/s. Por otro lado, la carga orgánica actual ya supera los valores de diseño y se espera que la misma aumente a futuro, debido al aumento de caudal.

De acuerdo a sus resultados recomendó hacer estudios de los procesos productivos, materia prima empleada, cantidad de efluentes generados, y plantear todos los procedimientos necesarios para minimizar esta carga que finalmente tiene como destino su tratamiento en la PTAR.

- **Lourdes Freitas** en el 2008, tuvo como objetivo principal la evaluación tanto de las secciones de la planta de Productos EFE, S.A., para establecer las causas generadoras de desperdicios, como de los efluentes líquidos producidos por dichas secciones, para determinar los cambios que sean factibles tanto para la planta de producción y de tratamiento, a fin de evitar que la PTAR se desestabilice y sus descargas se presenten por encima de la norma (Decreto 883).

Para ello, realizó inspecciones tanto de la planta de producción como de tratamiento, así como análisis de laboratorio de los diferentes productos elaborados, efluentes generados y evaluaciones de las unidades de proceso de la planta de tratamiento de aguas residuales. En el área de producción planteó una serie de modificaciones para corregir las fallas que presentaban los equipos para disminuir los desechos producidos. En cuanto a la planta de tratamiento, obtuvo que ésta procesa solamente un 20% de las aguas residuales que genera la industria, ocasionando una derivación de 6,06 L/s de agua cruda directamente a la red cloacal, para disminuir dichas descargas de agua residual. Por lo tanto, propuso acondicionar el tanque de igualación (primera unidad del sistema de tratamiento) para que en este se disminuyera la carga orgánica presente en las aguas provenientes de la planta de producción y de esta manera poder incrementar el caudal a tratar. Una de las evaluaciones más importantes que realizó fue al digestor biológico, la cual indicó que éste no presenta la capacidad para digerir todos los lodos generados en los sistemas biológicos, lo que implica que no es posible realizar modificaciones a la P.T.A.R. hasta no solventar dicho problema.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

En esta sección se dan a conocer los conceptos básicos necesarios para el entendimiento de los objetivos planteados en el presente Trabajo Especial de Grado.

En primera instancia es importante conocer y definir los detalles del proceso productivo de la planta de fabricación de helados, ya que los líquidos residuales de ésta, serán el afluente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales objeto de este estudio.

#### **2.1. DEFINICIÓN DE HELADO**

Los helados son aquellos productos alimenticios edulcorados, obtenidos a partir de una emulsión de grasa y proteínas con la adición de otros ingredientes o a partir de una mezcla de agua y otros ingredientes que se someten a congelación con o sin incorporación de aire, que son almacenados, distribuidos y comercializados en estado de congelación, o parcialmente congelados (Kenny, K. 1994).

La estructura e interacción entre los componentes del helado es un complicado sistema físico-químico, debido a que es una emulsión, una espuma y una dispersión al mismo tiempo. Los glóbulos de grasa, burbujas de aire y cristales de hielo están dispersos en una solución concentrada de azúcares para formar una matriz semisólida, congelada y aireada. El objetivo principal en la elaboración de helados es lograr obtener que los distintos componentes insolubles como lo son aire, hielo y grasa, converjan dentro de una fase acuosa.

#### **2.1.1. COMPONENTES DE LOS HELADOS**

Los helados son mezclas compuestas por: agua y aire, grasas y aceites, edulcorantes, sólidos no grasos, estabilizantes, emulsificantes, aromatizantes o saborizantes, así como otros agregados.

Dentro de los diversos componentes del helado, el agua y el aire desempeñan una función importante en el sistema físico – químico que representa el helado ya que el agua permite la disolución de los ingredientes y, al ser el único componente congelable de la mezcla, tiene un papel fundamental en la textura del helado, siendo suave cuando los cristales de hielo son pequeños y arenosos cuando los cristales de hielo son grandes.

Las grasas y los aceites son elementos que contribuyen a la nutrición y sabor, al cuerpo y consistencia del producto, así como a la sensación que se percibe en el paladar, al mismo tiempo que contribuyen a la incorporación del aire en la mezcla. Estas grasas y aceites pueden ser de origen lácteo o vegetal.

Por otro lado, el sabor dulce típico de los helados se imparte mediante la adición de azúcar, productos derivados del maíz o alcoholes del azúcar. Estos componentes se encuentran directamente relacionados con las características de congelación y derretimiento, la textura, cuerpo y color del helado.

Los Sólidos no Grasos incrementan el valor nutritivo además de otorgarle cuerpo y sabor, junto a los estabilizantes permiten mantener el equilibrio de la emulsión y favorecen a la correcta distribución del aire durante la etapa de congelación y batido de la mezcla (Scheibler, U. 2010).

El propósito fundamental de los ingredientes estabilizantes en los postres congelados es el de contribuir al desarrollo de una textura suave en el producto fresco y al mantenimiento de dicha característica en el tiempo. Cumplen con esta función en virtud de su estructura molecular la cual interactúa con el agua, aumentando la viscosidad del fluido y reduciendo al mínimo el tamaño de los cristales de hielo y de lactosa en el producto fresco. También reduce el índice de crecimiento de tales cristales durante el almacenamiento, lo que ayuda a preservar su suavidad en el tiempo.

Del mismo modo, los ingredientes emulsificantes son elementos claves en el desarrollo de las características de los helados, entre las cuales es importante mencionar la capacidad de ser batidos, la deshidratación y la rigidez en el congelador, la cremosidad y el comportamiento de descongelación. Entre los emulsificadores más comunes

están: los ésteres de glicerina, ésteres de sorbitán, ésteres azucarados, lecitina, glicina y ésteres de ácidos (Kenny, K., 1994).

Por último, pero no menos importante se encuentran los aromatizantes, los cuales son componentes que se añaden con la finalidad de potenciar y avivar el sabor y el aroma característico del helado, pieza vital en el patrón preferencial del cliente.

### **2.1.2. CLASIFICACIÓN DE LOS HELADOS**

Los helados son clasificados según los ingredientes que lo componen. Primeramente se encuentran los Helados de Crema de Leche, los cuales son mezclas de consistencia cremosa, cuya grasa y proteína provienen principalmente de la leche y sus derivados. Pueden contener frutas, cacao, nueces, maní, cereales y otros, además que tienen un porcentaje mínimo de grasa de 10% y de 8% si el helado posee agregados.

Los Helados Cremosos y Semicremosos son mezclas cuya proteína y grasa proviene de la leche y sus derivados lácteos, así como de otras proteínas comestibles y grasas vegetales. Poseen al menos entre 3,5 y 3% de grasas para helados sin agregados y de 3 a 2,5% para helados con agregados respectivamente.

También se encuentran los Sorbetes y Sorbetes de Frutas, que son helados fabricados con grasas de origen lácteo o vegetal y su sabor característico está dado por la utilización frutas frescas o procesadas, así como de esencias naturales y/o artificiales. Deben contener un porcentaje de grasa entre 1% y 2%, a diferencia de los Helados de Agua, los cuales son constituidos básicamente por agua, azúcar y saborizantes, bien sea naturales o artificiales, por lo que se encuentran exentos de grasas y proteínas.

Además se encuentran los Helados de Yogurt, a base de ingredientes lácteos pasteurizados y ultra- pasteurizados, inoculados y fermentados en un cultivo característico de microorganismos productores de ácido láctico. Estos helados tienen un sabor característico producto de la adición de esencias naturales o artificiales y frutas, puede contener agregados como cereales, maní, caramelos y otros (COVENIN 2392:1997).

## 2.2. PROCESO DE ELABORACIÓN DE HELADOS

El Proceso de Fabricación de Helados está planteado en diferentes etapas, siendo de gran importancia cada una de ellas, ya que de ello depende la calidad e inocuidad del producto final.

En Productos EFE, S.A, se fabrican helados de diversos tipos entre los que se encuentran los helados de crema de leche, helados cremosos, sorbetes y helados de agua. En la figura N° 1, se puede observar un bosquejo general de este proceso.

Se inicia con la recepción y almacenamiento de la materia prima requerida en el área de producción la cual es transportada hasta la Planta en camiones, desde diversos proveedores. Los ingredientes son almacenados en un depósito seco y techado a temperatura ambiente, exceptuando la mantequilla y las pulpas de frutas las cuales son refrigeradas a -23 °C hasta el momento de su utilización.

Obtenida la materia prima, esta es enviada hacia el área productiva en donde se elaboran las cremas y mermeladas necesarias para los diferentes tipos de helados. Después de la obtención y almacenaje de estas mezclas, se envían a la sección de envasado donde se realiza el proceso de llenado y moldeado de los helados.

Todos los helados pasan a través de un túnel de congelación, mediante una correa giratoria. El cuál es una especie de cava que se encuentra a una temperatura de -35 °C, y su finalidad es acelerar la congelación de los helados, antes de ser almacenados y posteriormente distribuidos.

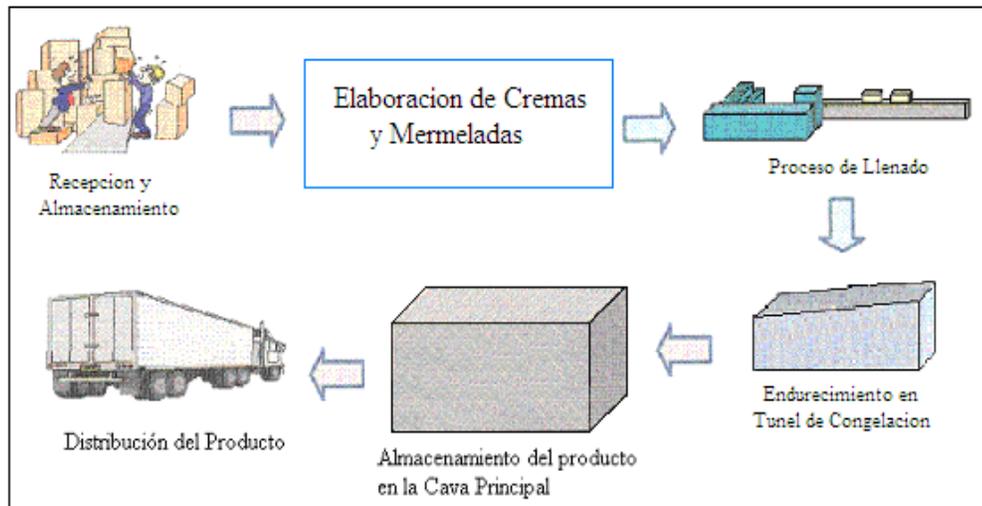


Figura N° 1. Proceso de Elaboración de helados (Ardila, D. 2006).

En Planta EFE, el proceso productivo se encuentra dividido en dos secciones importantes como lo es el área de elaboración de cremas y área de elaboración de mermeladas, las cuales son vitales en la fabricación de helados por lo que se describen a detalle en las siguientes secciones.

### 2.2.1. ELABORACIÓN DE CREMAS

Se conoce como cremas los helados de crema de leche, cremosos, semicremosos y yogurt. El proceso de elaboración de cremas puede observarse en la figura N° 2.

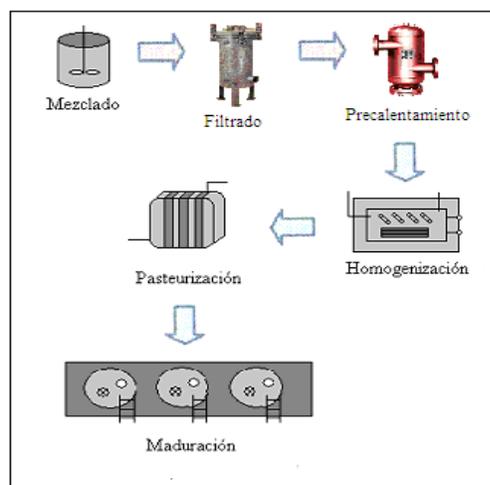


Figura N° 2. Diagrama de elaboración de cremas (Ardila, D. 2006).

Una vez recibida la materia prima, es enviada a los tanques de mezclado por medio de cintas transportadoras. Estos tanques se encuentran provistos de un agitador mecánico helicoidal y una chaqueta de calentamiento, por donde circula vapor procedente de las calderas el cual le proporciona a la mezcla una temperatura entre 50 y 60°C. El proceso de mezclado tiene por finalidad hidratar todos los ingredientes secos y establecer una homogeneidad con los componentes líquidos y las grasas, permitiendo así la formación de una suspensión de todos ingredientes.

Luego de realizada la mezcla, esta se hace pasar por un filtro vertical, con la finalidad de retirar las partículas sólidas no disueltas en el proceso de mezclado como lo son grumos y partículas de grasas. Recién filtrada, la crema es enviada a unos tanques llamados tanques de balance, en donde se almacena la mezcla por un tiempo breve a fin de regular y controlar el flujo hacia el sistema de pasteurización.

Posteriormente ocurre el precalentamiento, en esta etapa se emplea un intercambiador de calor de placas que trabaja en contracorriente, con el fin de elevar la temperatura de la crema hasta alcanzar entre 65 y 70°C, propiciando las condiciones óptimas para realizar un correcta homogenización del fluido en la próxima etapa.

Sucesivamente se realiza la homogenización de la solución. Esta una técnica permite reducir el volumen de los líquidos y consiste en hacer pasar la mezcla a través de orificios pequeños, propiciando la ruptura de los glóbulos de grasa y la emulsificación de la solución. Con este proceso se evita la formación de nata (por separación de la grasa) y mejora la capacidad de batido, le confiere mayor digestibilidad a la crema, favorece su apariencia, le proporciona una textura más suave y reduce el sabor grasoso (Freitas, L. 2008).

Homogenizada la crema, se procede a la pasteurización donde se lleva la mezcla a una temperatura entre 80 y 83°C para luego ser pre-enfriada a una temperatura entre 35 y 40°C, mediante intercambio de calor con agua proveniente de las torres de enfriamientos, cuya temperatura oscila alrededor de 20 y 26 °C. Consecutivamente, es enviada a unos tanques provistos de agitación mecánica y una doble chaqueta de enfriamiento por donde circula amoníaco como fluido refrigerante, para mantener la mezcla uniforme y a una temperatura aproximada de 4°C.

Luego, la mezcla es enviada a la fase de maduración, en donde reposa durante un período de 3 a 6 horas en depósitos provistos de dispositivos de agitación suave y chaquetas de intercambio de calor por donde circula agua helada (de 1,1 a 4,5 °C), con la finalidad de mejorar las características organolépticas del helado. En esta etapa, las grasas cristalizan mientras que las proteínas y los estabilizantes absorben el agua, se difunden los componentes de la mezcla y se incrementa la homogeneidad de la crema. Con respecto al almacenamiento, las mezclas con leche pueden estar almacenadas por 72 h, mientras que las mezclas para helados de agua y sorbetes pueden almacenarse hasta por 10 días (Pineda, K. 2009).

### **2.2.2. ELABORACIÓN DE MERMELADAS**

En esta sección de la planta se producen todas las mermeladas, también llamadas siropes, y coberturas que son requeridas para la elaboración de los helados.

El proceso de elaboración de mermeladas es similar al de preparación de cremas mencionado anteriormente. Se inicia en la sección de mezclado, donde se utilizan tanques similares a los empleados en la sección de cremas pero de menores dimensiones, es en estos donde se añaden cada uno de los ingredientes y se calienta la mezcla con vapor de agua, que circula por las chaquetas de intercambio de calor del tanque, hasta alcanzar una temperatura aproximada de 80 °C.

Cuando las mezclas son de tipo coberturas, la solución obtenida en el proceso de mezclado se hace pasar por un equipo homogenizador, para posteriormente ser almacenado en bolsas plásticas en la cava principal hasta su utilización. Mientras que para las mezclas de tipo mermeladas, además de la homogenización, se les hace pasar a través de un equipo pasteurizador y son almacenadas en tanques de maduración hasta su uso (Freitas, L. 2008).

Por otra parte, el proceso productivo de la planta genera un gran volumen de desechos líquidos provocado por las pérdidas de material en los equipos, las mermas de producción, así como toda el agua y productos químicos empleados en el proceso de limpieza y desinfección de los equipos y maquinarias. Estos desechos líquidos también son llamados Aguas Residuales Industriales, las cuales son dirigidas a través de un

sistema de tanquillas hacia la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Productos EFE, S.A donde se les proporciona un adecuado tratamiento para poder ser descartados a las cloacas.

### **2.3. AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES**

Toda población genera residuos sólidos, gaseosos y líquidos. Los desechos líquidos son llamados "agua residual", se definen como la combinación de los residuos líquidos, o como aguas portadoras de residuos.

Las aguas residuales industriales son aquellas que se originan de los procesos productivos de las plantas, así como de la limpieza y mantenimiento de los equipos, entre otros. Su composición se encuentra directamente ligada a la materia prima empleada en los procesos de manufactura, productos intermedios, productos terminados, productos de limpieza y lubricantes utilizados en las maquinarias.

Es importante tomar en cuenta que todo cuerpo receptor de aguas posee una capacidad limitada para asimilar cantidades de desecho representado en cargas orgánicas e inorgánicas poluentes. Este proceso es llevado a cabo en la naturaleza por medios físicos, químicos y biológicos. Cuando las cargas orgánicas superan esta capacidad, se satura la corriente receptora por la acumulación y el estancamiento del agua residual, promoviendo la destrucción parcial o total de la flora y la fauna del ecosistema. Por otro lado, la descomposición de materia orgánica puede conducir a la generación de grandes cantidades de gases tóxicos y malolientes, además de la proliferación de numerosos microorganismos patógenos (Ramírez, D. 2008).

Es por lo mencionado anteriormente que se hace necesario aplicar tratamientos correctivos a las aguas residuales, de manera de disminuir el impacto poluyente de estas aguas en el medio ambiente y el ecosistema en general.

Las aguas desechadas en cada proceso industrial poseen composiciones diferentes, por lo que se hace necesario evaluar una serie de características físicas y químicas propias del agua a fin de determinar el sistema óptimo de tratamiento de aguas residuales a emplear.

### 2.3.1. CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES

Las aguas residuales pueden ser caracterizadas en términos de su composición física y química, conocer y medir estas características permite establecer las cargas orgánicas y la cantidad de sólidos que se transportan, así como determinar los efectos del efluente sobre los cuerpos de agua lo que permite seleccionar las operaciones y procesos de tratamiento que resulten más eficaces y rentables. A continuación se presentan las características físicas y químicas más relevantes para el presente trabajo.

#### 2.3.1.1. Características físicas:

Las principales características físicas de un agua residual, son su temperatura, color, turbidez, conductividad y su contenido de sólidos.

- La Temperatura, es un parámetro que se relaciona con los niveles de solubilidad de las diferentes variables, particularmente en el caso del oxígeno, el cual es muy importante en el proceso aeróbico. Es uno de los factores ambientales, que más afecta a los sistemas de tratamiento biológico.
- El color es causado por sólidos suspendidos, material coloidal y sustancias en solución. El color causado por sólidos suspendidos se llama color aparente, mientras que el color causado por sustancias disueltas y coloidales se denomina color verdadero (Blanco, E. S.F).
- La conductividad eléctrica, es la medida de la capacidad de una solución para conducir la corriente eléctrica, al ser transportada por iones en solución, el aumento en la concentración de iones provoca un aumento en la conductividad. Por lo tanto, el valor de la medida de la conductividad eléctrica es usado como un parámetro sustituto de la concentración de sólidos disueltos totales (Metcalf & Eddy. 1991).
- Los sólidos totales, son aquellos que permanecen después de la evaporación del agua residual a una temperatura entre 103 y 105°C. , incluyen tanto sólidos suspendidos como sólidos disueltos.
- Los sólidos suspendidos, también llamados sólidos no sedimentables, es aquel material filtrable no disuelto y que ocasiona el color aparente del agua. Estos con-

tribuyen significativamente a la turbiedad del agua, y permiten cuantificar la masa microbiana en el sistema biológico, así como para el control y medición de la eficiencia del sistema de tratamiento (Metcalf & Eddy. 1991).

- Los sólidos disueltos, es el material no filtrable que se encuentra suspendido en el seno del líquido, interfieren con la transferencia de gases y penetración de luz ocasionando el deterioro de las condiciones estéticas de los cuerpos de agua, además de ser los causantes del color real del agua.
- Los sólidos sedimentables, son aquellos que sedimentan por gravedad en un tiempo específico, sirven de indicadores del volumen de lodo en condiciones de reposo o estancamiento.
- Turbidez, es una medida de las propiedades de dispersión de la luz de las aguas, es otro parámetro usado para indicar la calidad de las aguas residuales con relación al material residual en suspensión coloidal. La medición de la turbiedad se realiza por comparación entre la intensidad de luz dispersa en una muestra y la luz dispersa por una suspensión de referencia bajo las mismas condiciones (Kemper, F. 1989).

### **Características químicas:**

Las más importantes características químicas del agua son el pH, los aceites y grasas así como la demanda química de oxígeno total y disuelto, las cuales son descritas a continuación.

- El pH representa la concentración del ión hidrógeno, da el carácter ácido o básico a una corriente. Es un parámetro fundamental y necesario ya que influye directamente en los procesos de coagulación y floculación, así como en el tratamiento biológico. El intervalo de pH adecuado para la proliferación y desarrollo de la mayor parte de la vida biológica, es bastante estrecho entre 6,5 y 8,5, mientras que para la coagulación-floculación puede variar de 4 a 10 (Metcalf & Eddy. 1991).
- Los Aceites y Grasas presentes en el agua residual forman parte del material orgánico, éstos causan problemas en el sistema de tratamiento de las aguas que los contengan, formando una película que impide la penetración de la luz y el inter-

cambio de oxígeno con la atmósfera, si éstas no se remueven en los procesos de tratamiento de aguas residuales antes de ser descargadas, podrían interferir con la vida biológica en la superficie de las fuentes receptoras. La rotura de las emulsiones aceitosas generalmente requiere de la acidificación y la coagulación (Metcalf & Eddy. 1991).

- La Demanda Química de Oxígeno (DQO), define el oxígeno requerido para oxidar la materia orgánica, utilizando el dicromato de potasio como agente oxidante. Puede interpretarse como una medida del contenido total de materia orgánica, tanto biodegradable como no biodegradable.

La biodegradabilidad de la materia orgánica, es estimada a través de la relación  $DBO_{5,20} / DQO$ , cuando se tienen relaciones bajas menores a 0,5. Esto sugiere la presencia de compuestos tóxicos, o necesidad de aclimatar a los microorganismos responsables del tratamiento, para permitir la degradación biológica, valores mayores a 0,5 demuestran que el efluente tiene altas posibilidades de ser degradado a través de un tratamiento biológico.

- La Demanda Química de Oxígeno soluble es una medida del contenido de materia orgánica soluble en el fluido, es decir, la materia orgánica total o DQO menos la materia orgánica flotante o suspendida (Sánchez, R. 2008).

### **Características Hidráulicas:**

El caudal de agua residual a tratar y la cantidad de constituyentes a remover, son parámetros claves en el diseño de los procesos, por lo que es importante estudiar las características hidráulicas, capacidad y condiciones operacionales de las unidades de tratamiento.

El flujo de un líquido en una tubería viene acompañado de una pérdida de energía, que suele expresarse en términos de energía por unidad de peso del fluido circulante denominada habitualmente pérdida de carga, la cual es importante estudiar a fin de cumplir con los objetivos planteados en el presente trabajo.

La pérdida de carga está relacionada con otras variables fluido dinámicas según sea el tipo de flujo, laminar o turbulento. Existen pérdidas de carga lineales (a lo largo de

tuberías), las cuales se manifiestan como una disminución de presión en el sentido del fluido, y pérdidas de carga singulares en accesorios como codos, válvulas, ramificaciones, etc. (Blanco, E. S.F).

- Las pérdidas de carga lineales son aquellas producidas debido a las tensiones cortantes de origen viscoso que aparecen entre el fluido y las paredes de la tubería. Las características de los esfuerzos cortantes son muy distintas en función del tipo de flujo.

En el caso de flujo laminar, las diferentes capas del fluido discurren ordenadamente, siempre en dirección paralela al eje de la tubería y sin mezclarse, siendo el factor dominante en el intercambio de cantidad de movimiento (esfuerzos cortantes) la viscosidad. En el flujo turbulento, en cambio, existe una continua fluctuación tridimensional en la velocidad de las partículas, así como en la presión y temperatura, que se superponen a los componentes de la velocidad. Este es el fenómeno de la turbulencia, que origina un fuerte intercambio de cantidad de movimiento entre las distintas capas del fluido, lo que da unas características especiales a este tipo de flujo.

El tipo de flujo, laminar o turbulento, depende del valor de la relación entre las fuerzas inercia y las fuerzas viscosas, lo que se conoce como número de Reynolds (Re). Cuando  $Re < 2000$  el flujo es considerado laminar, y si  $Re > 4000$  el flujo se considera turbulento. Entre  $2000 < Re < 4000$  existe una zona de transición (Blanco, E. s.f).

- Las pérdidas de carga singulares son aquellas producidas por cualquier obstáculo colocado en la tubería que suponga una mayor o menor obstrucción al paso del flujo: entradas y salidas de tuberías, codos, válvulas, cambios de sección, etc. Normalmente son pequeñas comparadas con las pérdidas lineales, salvo que se trate de válvulas casi completamente cerradas.

## **2.4. TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES**

El agua residual contiene una mezcla compleja de sólidos y sustancias disueltas, resultantes del uso del agua, por lo que para reducir los efectos perjudiciales que podría producir dicha agua residual y sus componentes contaminantes en los seres vivos, es necesario un tratamiento.

Existen diferentes tipos de tratamiento, el uso específico de uno de ellos o su combinación se determina de acuerdo con las características del efluente, la calidad del agua que se desea obtener, los costos, la disponibilidad de espacio, y los futuros requerimientos en los estándares de calidad de agua.

El tratamiento del agua residual puede dividirse por etapas; los sistemas de pretratamiento y tratamiento primario de aguas, los cuales pueden incluir equipos de neutralización, homogenización, clarificación y de tratamiento fisicoquímico, dependiendo de las características del agua residual, y los sistemas de tratamiento secundario los cuales van de la mano, principalmente, con el tratamiento biológico (microbiológico) del efluente del sistema de tratamiento primario.

El objetivo del tratamiento de las aguas residuales es eliminar los problemas que pudieran causar a la salud pública y al medio receptor mediante la eliminación del material flotante y en suspensión, transformar y remover materia orgánica biodegradable, eliminar los microorganismos patógenos presentes, transformar y remover los nutrientes y compuestos orgánicos tóxicos, así como acondicionar y/o aprovechar los lodos producto del tratamiento (Sánchez, R. 2008).

### **2.4.1. DESCRIPCIÓN PLANTA DE TRATAMIENTOS DE AGUAS RESIDUALES (PTAR) DE PRODUCTOS EFE S.A.**

La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), es la encargada de procesar los desechos líquidos provenientes de las áreas productivas de la Planta. En la figura N° 3 se describe el proceso de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, esta consta de un sistema físico-químico y un sistema biológico el cuál maneja un caudal aproximado de 300 m<sup>3</sup>/d.

La finalidad del sistema físico-químico es propiciar la separación de los sólidos del agua por medio de la adición de productos químicos, coagulante y floculante (polímeros).

El proceso inicia con la recepción de las aguas en unas tanquillas, las cuales a través de un sistema tuberías dirigen estas aguas hacia el tanque Buffer, en donde plantea la homogenización de las características del agua a fin de amortiguar las variaciones de caudal y las propiedades del agua residual. Luego ocurre la neutralización del pH, la cual es vital para el adecuado funcionamiento de los aditivos químicos como lo son el coagulante y el floculante, necesarios para promover la separación de los sólidos.

Una vez establecido el rango de pH, entre 7 y 8, se pasa a un proceso de coagulación donde se añade coagulante y gracias a la acción de una agitación rápida ocurre la desestabilización de las partículas sólidas del agua.

Consecutivamente se realiza el proceso de separación por flotación, llevado a cabo en el CAF. Su función es clarificar el agua mediante la remoción de los sólidos suspendidos, apoyándose en la aplicación de un producto floculante, el cual agrupa las moléculas desestabilizadas llamadas flóculos y gracias a la inyección de aire en el equipo, los sólidos son empujados hacia la superficie, lo que permite retirarlos y enviarlos al tanque de lodos para su almacenamiento y posterior prensado, mientras que el efluente líquido es enviado a la fosa de bombeo para continuar su tratamiento en el sistema biológico.

El sistema físico-químico reduce parcialmente el contenido de materia orgánica, cuya remoción hasta niveles aceptables por las normativas para descargas de efluentes líquidos, se realiza en el sistema secundario o sistema biológico.

El agua proveniente de la fosa de bombeo, se introduce a los reactores biológicos en se lleva a cabo el proceso de degradación de la materia orgánica biodegradable presente en las aguas, mediante la utilización de microorganismos aeróbicos. Su funcionamiento se basa una secuencia de tratamiento llevada a cabo en siete fases cíclicas, las cuales se realizan automáticamente en el mismo reactor, e involucran los siguientes tres pasos básicos: llenado de los reactores, aporte del tiempo necesario para que

las bacterias degraden la materia orgánica presente en el agua, y finalmente la descarga del agua hacia la cloaca y purga de lodos al digestor biológico (Janssen, D. 1999). El digestor recibe parte de los lodos biológicos utilizados en los reactores, con la finalidad de proporcionarles un ambiente apropiado para que ocurra una reducción apreciable del contenido de la materia volátil originalmente presente en el lodo. Así como un aumento de los sólidos fijos y una reducción en el contenido de humedad permitiendo posteriormente una mayor drenabilidad del agua en los reactores. El resto del lodo biológico es enviado hacia el filtro prensa para su posterior descarte.

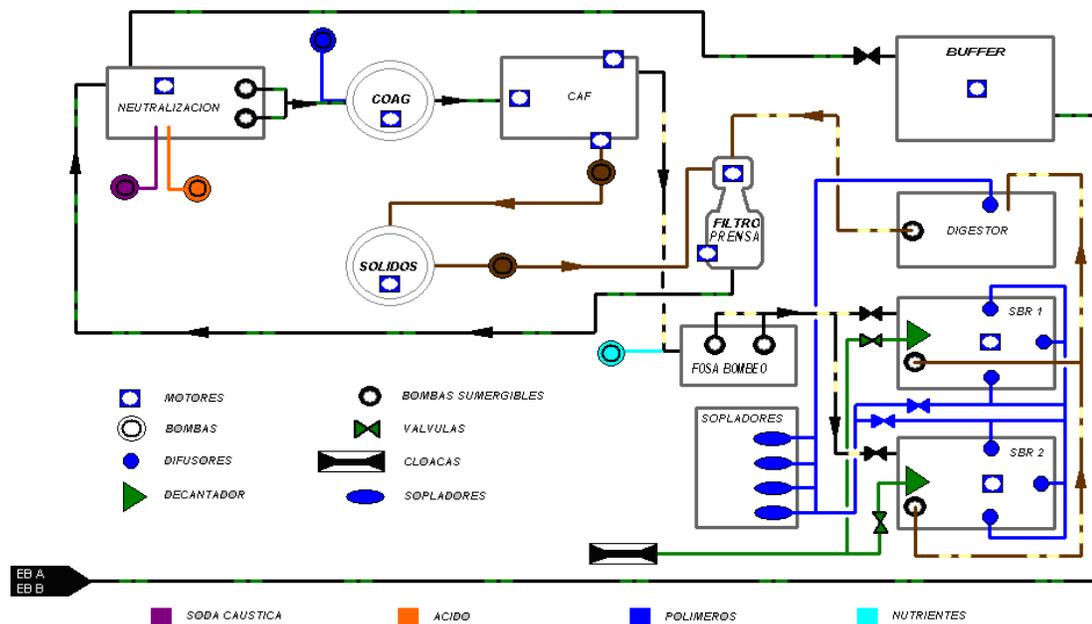


Figura N° 3. Diagrama del Proceso de Tratamiento de Aguas Residuales (Ramírez, D. 2008)

Los sistemas de tratamiento de aguas residuales son variados y dependen de las condiciones del agua a tratar además, se encuentran divididos en varias secciones como lo son el pretratamiento, tratamiento primario y tratamiento secundario. A continuación se hacen mención a los sistemas presentes en la planta de tratamiento objeto de este estudio.

## 2.4.2. PRETRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Con frecuencia, el primer paso en el tratamiento del agua residual consiste en la separación de los sólidos grandes y pequeños presentes en el efluente, lo cual se realiza empleando un sistema de desbaste, seguido de un proceso de homogenización de la calidad del agua y neutralización del pH del fluido. A continuación se explica detalladamente dichos procesos.

### 2.4.2.1. Sistema de desbaste:

El objetivo de este sistema es retirar los materiales sólidos, los cuales son elementos contaminantes que podrían dificultar la operación al obstruir las bombas, compresores o tuberías. Es por esta razón que, dentro de todo proceso de tratamiento, las etapas de separación son de gran importancia. Aún cuando este material sólido representa porcentualmente sólo una pequeña parte de los contaminantes, es preciso adoptar ciertas medidas de precaución para garantizar una operación confiable en las siguientes etapas del proceso.

Entre los dispositivos de desbaste más utilizados se encuentran rejillas o pantallas estáticas, pantallas de tambor rotatorio y pantallas vibratorias. (Czysz, W. 1991).

En Productos EFE S.A, Los efluentes líquidos del proceso productivo de la fábrica de helados, son dirigidos hacia la PTAR a través de un sistema de tanquillas con bombeo, las cuales poseen en el tope una rejilla de acero inoxidable como sistema de desbaste, cuya función es retener los sólidos de gran tamaño que han sido arrastrados por el agua y pudiesen entorpecer el funcionamiento de los equipos sucesivos.

Se dispone de un sistema de tres tanquillas descritas a continuación:

1. Tanquilla A, ubicada en el ala norte de la planta; recibe el agua proveniente de la sala de cremas, sala de mermeladas y producción norte.
2. Tanquilla B, se encuentra en el lado sur de la planta; colecta el efluente del área de lavado de cestas y de producción sur.
3. Tanquilla D, localizada en el patio. Recibe el agua producida por la compactación de la basura y las lluvias.

Dichas tanquillas envían los efluentes recibidos hacia el tanque buffer mediante la utilización de bombas sumergibles.

Para completar el desbaste, se tiene a la entrada del tanque buffer, una cesta de retención la cuál es la encargada de retener sólidos de tamaño mayor a 0,5 cm.

#### **2.4.2.2. Homogenización:**

La homogenización o equalización se lleva a cabo en el tanque Buffer gracias a la acción de un aireador flotante. El objetivo es minimizar o controlar las fluctuaciones de las características del efluente para asegurarse las condiciones óptimas en el proceso de tratamiento de agua. Este proceso es usualmente realizado en tanques, cuyo tamaño y modelo dependerá del caudal de agua a manejar y su variabilidad, de forma que absorba las fluctuaciones causadas por las variaciones en la producción de la planta y amortigüe las descargas discontinuas que son enviadas al efluente.

Una adecuada homogenización permite controlar el pH para minimizar los requerimientos de productos químicos necesarios para la neutralización subsiguiente, además de prevenir la entrada de altas concentraciones de material tóxico a la planta de tratamiento, así como minimizar las grandes variaciones de los parámetros físico-químicos y de los flujos, de manera que los equipos de dosificación de químicos se mantengan dentro de los requerimientos.

#### **2.4.2.3. Neutralización:**

En la PTAR, el proceso de neutralización se realiza en un tanque mediante la adición de ácido clorhídrico o soda cáustica a través de un sistema automático de dosificación, según sea necesario, con la finalidad de mantener el pH de la solución en un rango entre 6 y 8; y así propiciar las condiciones necesarias para el adecuado funcionamiento de los productos coagulantes y floculantes que se añadirán posteriormente al sistema.

Las reacciones ácido-base se encuentran entre los procesos químicos más comunes empleados en el acondicionamiento de aguas residuales. Los efluentes industriales

tienden a ser ácidos o alcalinos, por lo tanto, requieren ser neutralizados antes de ser descargados a los reservorios de agua o previo al tratamiento químico o biológico.

### **2.4.3. TRATAMIENTO PRIMARIO O FÍSICO-QUÍMICO**

El Tratamiento Primario, también llamado Tratamiento Físico-Químico, es el segundo sistema empleado en el tratamiento de aguas residuales. A continuación se describen cada una de sus etapas intermedias:

#### **2.4.3.1. Coagulación – floculación:**

La coagulación consiste en la neutralización de las fuerzas que se oponen a una combinación o unificación de las partículas coloidales suspendidas en el agua, para permitir la aglomeración de las partículas llamadas flóculos, coágulo o grumo, y es necesaria cuando la velocidad de asentamiento de las partículas discretas muy pequeñas, es tan baja que resulta muy costoso utilizar un sedimentador. Por otra parte, la floculación es el fenómeno por el cual las partículas desestabilizadas interactúan unas con otras para formar coágulos mayores (Czysz, W. 1991).

Coagulantes: Es la sustancia capaz de formar un flóculo, coágulo o grumo (precipitado gelatinoso) bajo determinadas condiciones, capturando partículas coloidales y agrupándolas en agregados de mayor tamaño (Metcalf & Eddy. 1991).

La coagulación comprende la adición de iones de carga opuesta para reducir la carga electrostática superficial, también llamado potencial zeta, de las partículas suspendidas, lo cual evita la aproximación física de las mismas.

En la práctica se han venido utilizando una gran variedad de productos químicos coagulantes tales como: cloruro férrico, sulfato férrico y sulfato ferroso, alumbre, cal, cloruro aluminico y carbonato de sodio. Estos compuestos son seleccionados en función de las características y calidad del líquido residual sometido a tratamiento, así como de los riesgos de manipulación, dosificación y costos del producto.

Floculantes: Son sustancias químicas que dan cabida al proceso de floculación, donde se convierten los sólidos suspendidos presentes en el agua en forma coloidal, en

aglomerados más importantes. En este proceso, los flóculos resultantes alcanzan un estado y tamaño que los vuelve sedimentables, flotantes o filtrantes, permitiendo una separación casi completa de los sólidos suspendidos presentes en el agua (Kemmer, F. 1989).

En las plantas de tratamiento de aguas residuales, el proceso de coagulación-floculación se realiza en cuatro etapas:

1. Adición de coagulante.
2. Dispersión del coagulante (mezcla rápida).
3. Adición de floculante.
4. Aglutinación de partículas (mezcla lenta).

La eficiencia de este proceso depende del grado de agitación existente en el tanque de mezcla rápida y del tiempo de residencia del fluido en dicho tanque.

En la PTAR, una vez neutralizado el pH del fluido, este es enviado al tanque de mezcla rápida, recibiendo una dosis de coagulante L-801 (policloruro de aluminio) inyectado directamente a la tubería en la salida del tanque de neutralización.

El tanque de mezcla rápida posee un agitador mecánico interno, el cual es el encargado de proporcionar la agitación adecuada al fluido, con el fin de desestabilizar las partículas coloidales y preparar al agua para el proceso de floculación-flotación sucesivo. La salida del agua en este tanque es realizada por rebose, para luego ser enviada al sistema de flotación.

#### **2.4.3.2. Sistema de flotación:**

Se entiende por flotación como el impulso ascendente de sustancias no disueltas, provocado por burbujas de aire que se adhieren a la superficie de una suspensión.

La flotación es una operación unitaria utilizada para separar partículas líquidas (de densidad diferente al solvente) o sólidas de una fase líquida (solvente). Este sistema se utiliza cuando los sólidos en las aguas residuales sedimentan deficientemente o no llegan a hacerlo, debido a su bajo peso específico (Czysz, W. 1991).

La separación por flotación se consigue introduciendo burbujas finas de gas (generalmente aire) en la fase líquida. Las burbujas se adhieren a las partículas y la fuerza

ascendente del conjunto de burbujas y partículas es tal, que hace que las partículas sólidas suban a la superficie. De esta forma se puede hacer ascender las partículas de densidad mayor que el líquido solvente, viéndose facilitada también, la ascensión de partículas con densidad menor que el líquido solvente.

En el tratamiento de aguas residuales se utiliza la flotación para tratar principalmente aguas que contienen aceites, grasas, fibras y coloides con el fin de eliminar la materia suspendida y concentrar los fangos (Metcalf & Eddy. 1991).

La principal ventaja de la flotación sobre la sedimentación, que es otro mecanismo de separación, es que las partículas muy pequeñas o ligeras que se depositan lentamente pueden eliminarse mejor y en menor tiempo. Una vez que las partículas están flotando en la superficie, pueden recogerse mediante un rascado superficial.

La actual práctica de la flotación, tal y como se aplica en el tratamiento de aguas residuales, se limita al aire como agente de flotación. Las burbujas de aire se añaden, o se induce su formación por alguno de los siguientes métodos(Eckenfelder, W. 1980.

- Inyección de aire mientras el líquido se halla bajo presión, seguido de la liberación de la presión (flotación por aire disuelto).
- Aireación a presión atmosférica (flotación por aire).
- Saturación con aire a presión atmosférica, seguido de aplicación de vacío al líquido (flotación por vacío).
- Flotación con aire por cavitación.

Este último es el que se encuentra instalado en la planta de tratamiento de aguas residuales de Productos EFE S.A por lo que a continuación se describe detalladamente su funcionamiento.

### Sistema de flotación con aire por cavitación:

El equipo de separación de sólidos basado en la Flotación con Aire por Cavitación (según siglas en inglés - CAF - CAVITATION AIR FLOTATION), es un sistema capaz de remover los sólidos suspendidos y coloidales de las aguas residuales. Su principio de funcionamiento se basa en la Coagulación – Flocculación – Flotación. Este equipo es la base fundamental del Sistema Físico-Químico de la PTAR.

Principio del funcionamiento:

El inicio del proceso comienza en la tubería en donde es dosificado el coagulante. La dosificación es realizada por una lanza de inyección, la cual es un tubo perforado que se coloca de forma perpendicular al flujo de agua residual, que sirve para una mejor distribución del coagulante en el agua.

Una vez que se inyecta el coagulante al agua, se producen reacciones químicas y comienza la coagulación de los sólidos coloidales. Seguidamente y a la entrada del equipo, es dosificado el floculante para iniciar el paso de floculación.

Los mezcladores succionan aire de la atmósfera por cavitación, y lo transfieren a una zona debajo de la tubería de descarga, en donde se distribuyen las burbujas de aire. Cuando el agua entra en la sección de aireación, los flóculos ascienden, adheridos a las microburbujas producidas por los aireadores (Czysz, W. 1991).

La diferencia de densidades entre la mezcla aire-agua crea un flujo vertical ascendente de masa, que contiene gran cantidad de microburbujas a las que se han adherido los sólidos, muchos de los cuales ya han sido floculados. Una vez en la superficie, las microburbujas mantienen los sólidos a flote formando una masa o lodo.

Un mecanismo de barrido viaja por todo lo largo de la superficie del agua, llevando el lodo a través del tanque de flotación principal hacia la zona de descarga del lodo que consiste en un tornillo sin fin, el cuál traslada el lodo hasta una bomba quien lo envía hacia el tanque de lodos para su almacenamiento.

El agua residual tratada, fluye por debajo de la capa de lodo, a través de una salida sumergida que conduce al vertedero.

Ventajas del equipo:

- El CAF no requiere de la inyección directa de aire, pues lo hace a través de la cavitación que provoca el giro de los mezcladores. No requiere de equipos adicionales como sopladores, compresores, etc.
- Es un equipo de sencilla operación.

Limitaciones del equipo:

- El CAF debe funcionar bajo un régimen continuo de flujo. Las interrupciones en el flujo provocan un escape de sólidos posterior al arranque.

- Para condiciones de flujo continuo pero variable, se requiere de la instalación de un sistema para variar la altura del vertedero en relación al caudal manejado. De lo contrario, la remoción del sólido floculado disminuirá o aumentará la cantidad de agua que es retirada con el lodo.

#### **2.4.3.3. Manejo de lodos:**

Los sólidos extraídos en las plantas de tratamiento constituyen un problema bastante complejo. Para el manejo o disposición de este material se emplean, entre otros procesos algunos como el espesado y concentración, así como el acondicionamiento y deshidratación, los cuales tienen como finalidad disminuir la humedad del mismo.

El acondicionamiento del lodo se realiza con el objetivo de dar una disposición final adecuada a los mismos. Uno de los métodos más utilizados incluye el acondicionamiento químico de los lodos, seguido de la deshidratación empleando filtros y prensas (Metcalf & Eddy, Inc. 1991).

En la PTAR, los sólidos provenientes del equipo de flotación son mezclados con parte del lodo excedente del sistema biológico, los cuales son homogeneizados y almacenados en el tanque de lodos, para luego ser bombeados al floculador, que es un pequeño tanque donde se añade polímero floculante con el fin de mejorar la separación de sólidos y del agua remanente en el lodo.

El lodo floculado es dirigido hacia el filtro banda donde se retira la mayor cantidad posible de agua y humedad de los sólidos. El material resultante del prensado cae a través de un bajante a una bolsa plástica donde se almacenan hasta su posterior descarte. El agua excedente del filtro prensa es devuelta al tanque de neutralización donde pasará de nuevo por todo el proceso de tratamiento de aguas descrito anteriormente.

#### **2.4.4. TRATAMIENTO SECUNDARIO O BIOLÓGICO**

Los principales procesos biológicos aplicados al tratamiento de las aguas residuales son: procesos aerobios, procesos anaerobios, procesos anóxicos, procesos combinados, y los procesos de lagunaje. Los procesos individuales se pueden dividir, a su vez, dependiendo de si el tratamiento se lleva a cabo en sistemas de cultivo en suspensión,

en sistemas de cultivo fijo, o en sistemas resultantes de la combinación de ambos. El proceso de tratamiento biológico consiste en el control del medio ambiente de los microorganismos, de modo que se consigan condiciones de crecimiento óptimas. La aplicación de los procesos de tratamiento biológico se utiliza con la finalidad de eliminar la materia orgánica carbonosa del agua residual, normalmente medida en análisis de Demanda Biológica de Oxígeno (DBO) y la Demanda Química de Oxígeno (DQO).

El sistema biológico de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Productos EFE, llamado AquaSBR, consta de dos reactores biológicos secuenciales y un digestor. Este sistema opera basado en un sistema simple que involucra los siguientes tres pasos básicos (Janssen, D. 1999):

1. Introducir una cantidad de agua de desecho al reactor.
2. Aportar el tiempo necesario para el tratamiento del agua.
3. Descargar el agua ya tratada y gastar lodos del reactor. La combinación de los volúmenes de efluente descargado y de lodos gastados esencialmente igual al volumen original de agua que fue introducido al reactor.

El principio de operación utilizado es llamado “Llenado y Descarga” e involucra las siguientes fases (Janssen, D. 1999):

1. Llenado.
2. Reacción.
3. Sedimentación.
4. Descarga.

La estructura del Ciclo de Tratamiento está compuesta por siete (7) fases de operación, cada una con una duración predeterminada como se explica a continuación (Janssen, D. 1999):

1. Llenado y mezcla, 60 minutos.
2. Llenado y reacción, 160 minutos.
3. Reacción, 60 minutos.
4. Sedimentación, 60 minutos.
5. Decantación, 60 minutos.

6. Inactiva, de 0 a 60 minutos (integrado en la decantación).
7. Purga de lodos, 5 minutos (integrado en la decantación).

Las consideraciones del proceso están planteadas con el objetivo de reducir las concentraciones de materia orgánica, nutrientes biológicos y la eliminación de sólidos suspendidos. La duración de cada fase particular ha sido establecida en base a las características del agua tratada y a los objetivos del tratamiento.

Los reactores están equipados con un sistema de mezcla mecánica y un sistema de aireación que operan independientemente el uno del otro, lo que les da la capacidad de mezclar sin introducir oxígeno o de mezclar e introducir oxígeno simultáneamente permitiendo mantener un buen control sobre las condiciones del reactor.

## CAPITULO III

### METODOLOGÍA

En esta sección se explica detalladamente la metodología con la que se alcanzaron los objetivos planteados en el presente proyecto.

#### **3.1. Realizar los Diagramas De Flujo y Tuberías e Instrumentación de la Planta de Tratamiento De Aguas Residuales (PTAR).**

Con la ayuda de supervisores y mecánicos, se realizaron inspecciones de toda la planta de tratamiento con la finalidad de conocer el procedimiento y toda la instrumentación que las conforman, para luego poder elaborar los diagramas mediante el uso del Microsoft Visio, los cuales se rigieron por las normas de la Asociación Americana de Instrumentación (ANSI). Además se realizaron revisiones de los manuales de los equipos, otras bibliografías e internet para completar la información.

Estos diagramas no presentan especificaciones de las tuberías y de los equipos, debido a motivos de confidencialidad de la empresa, la cual prohibió mostrar cualquier dato de este tipo en los diagramas.

Las normas empleadas para la construcción de los diagramas, fueron:

- ANSI/ISA-S5.1-1984 (R1992), la cual regula la simbología para la realización de los diagramas de tuberías e instrumentación y diagramas de flujo del proceso, así como la asignación de una identificación (TAG) para cada dispositivo en el plano.
- ANSI/ISA-S5.5-1985, que regula de los símbolos para los planos DTI y DFP.

#### **3.2. Evaluar los factores que inciden en la remoción de material orgánico suspendido en los efluentes del sistema físico-químico de tratamiento de aguas residuales.**

Para realizar una completa evaluación del sistema se procedió a dividir la planta en secciones para facilitar su estudio, comenzando en el área de neutralización, en donde

se tomaron muestras del agua cruda (antes de entrar al tanque de neutralización) y en cada sección del mismo, utilizando un toma muestras o pescador, el cuál es un recipiente cilíndrico provisto de un asa larga que permite llegar hasta la mitad del tanque, de manera de observar las variaciones de pH ocurridas (apéndice C) y verificar que se encuentren dentro de los parámetros establecidos.

Para el sistema de dosificación, se realizó una revisión bibliográfica a fin de determinar los parámetros de preparación necesarios para obtener un óptimo desempeño de las soluciones coagulantes y floculantes utilizadas en el sistema, además se verificó el funcionamiento de las bombas dosificadoras realizando un aforo de los caudales reales de las bombas de dosificación de coagulante y floculante.

Para esto, se procedió a desconectar las tuberías de descarga de las bombas hacia el proceso y, con la ayuda de un cronómetro y un cilindro graduado, se tomó el tiempo en que se descarga un litro de solución. Esta experiencia se realizó variando los porcentajes de flujo de las bombas de 10% en 10%, pasando por toda la longitud de carrera.

Los datos obtenidos se muestran en el apéndice C, con los cuales se construyeron las curvas de calibración de las bombas utilizando el programa de Microsoft Excel como herramienta de apoyo, con el fin de obtener los caudales reales de las bombas objeto de estudio y realizar recomendaciones al respecto.

El sistema de mezclado rápido se evaluó estableciendo los parámetros operacionales de la unidad (apéndice D) y comparándolos con las condiciones actuales de funcionamiento (tabla N° 6), mientras que para el sistema de prensado de lodos se realizó una revisión bibliográfica a fin de plantear mejoras al proceso de floculación.

Además, se realizaron mediciones de laboratorio de grasas, SST, DQO, turbidez, conductividad y pH las cuales se muestran en el apéndice C, de forma de establecer relaciones con los parámetros de diseño de la planta, así como relaciones entre cada uno de estos parámetros.

**3.3. Estudiar las pérdidas de carga que se presentan en la tubería por donde fluye el agua residual desde el tanque de neutralización hasta el tanque de mezcla rápida, con la finalidad de proponer mejoras en dicho sistema.**

Para esto se realizó una revisión del sistema a estudiar, lo que permitió enumerar y detallar todos los accesorios y equipos presentes responsables de las pérdidas de energía del flujo hidráulico a lo largo de la tubería. Además, se examinó material bibliográfico con el objetivo de establecer y aplicar los modelos matemáticos necesarios para determinar las pérdidas de carga, lo que permitió proponer mejoras al sistema.

**3.4. Estudiar la variación de la demanda química de oxígeno total y la demanda química de oxígeno soluble del afluente de la PTAR e identificar el impacto de dichos parámetros en el funcionamiento del CAF.**

Para ello se realizaron análisis de grasas, demanda química de oxígeno total y de demanda química de oxígeno soluble en el laboratorio, al agua cruda (a la entrada de neutralización) y a la salida del sistema físico-químico (salida del CAF), según los procedimientos reportados en el apéndice E. Estos valores fueron reportados en el apéndice C.

Con los datos obtenidos se realizaron gráficas en Microsoft Excel y se analizaron las tendencias y variaciones de dichos parámetros a lo largo del sistema, además de compararlos con los parámetros de diseño del proceso.

**3.5. Determinar la relación entre el caudal de entrada al tanque de mezcla rápida y la dosificación de coagulante y floculante, en función del flujo de descarga real de las bombas de dosificación.**

Para alcanzar este objetivo se realizó una revisión bibliográfica de manera de establecer las ecuaciones matemáticas necesarias para establecer la relación.

Con las curvas de calibración de las bombas realizadas previamente, se procedió a realizar los cálculos necesarios (apéndice D) para elaborar las tablas que muestran la

variación de la concentración en ppm de coagulante y de floculante en función del caudal de agua de la planta y el flujo de descarga real de las bombas (apéndice C).

**3.6. Establecer una relación entre la dosificación de coagulante y floculante aplicado al sistema, y los parámetros de turbidez y conductividad.**

Para lograr este objetivo se van a tomar muestras de agua en el tanque de neutralización, llamada agua cruda, utilizando un toma muestras o pescador, la cual se va a caracterizar en el laboratorio mediante los análisis de sólidos suspendidos totales, DQO, turbidez, conductividad y pH según la metodología expuesta en el apéndice D.

Sucesivamente se realizaron diversas pruebas de jarro a dicha muestra, con el fin de obtener la dosificación de coagulante y de floculante del sistema, lo que permitió obtener agua pretratada con características similares a la del sistema real.

Luego, a estas muestras de agua pretratada se les realizaron los mismos análisis de caracterización que se le realizaron al agua cruda previamente.

Los resultados de todos los análisis, se analizaron con el fin de determinar la prueba de jarro que proporcionó un mayor porcentaje de remoción de sólidos, turbidez y conductividad, la cuál es considerada como la dosificación óptima de químicos para dichas condiciones del sistema.

Con toda la data recolectada, se establecieron relaciones entre los parámetros medidos y la dosificación de coagulante y floculante aplicada al proceso mostrada en el apéndice C.

**3.7. Establecer una relación entre el caudal de agua que ingresa al CAF y la altura del vertedero o playa del equipo.**

Se realizaron diversas pruebas modificando la altura del vertedero en el sitio, mientras se mantuvo constante el caudal del equipo. Para modificar la altura del vertedero, se manipularon los tornillos que lo ajustan, dos del lado derecho y dos del lado izquierdo.

En cada ensayo se determinó el porcentaje de humedad del lodo así como la turbidez del agua a la salida según la metodología expuesta en el apéndice D. La experiencia

que proporcionó el menor porcentaje de humedad en el lodo y la mayor clarificación del agua fue considerada como la altura óptima del vertedero para dicho caudal, esto se realizó para diversos caudales y los resultados se reportaron en el apéndice C.

## CAPITULO IV. RESULTADOS Y ANÁLISIS

En la presente sección se muestran los resultados obtenidos y sus respectivos análisis, a partir de la evaluación y caracterización de las aguas de la PTAR de Productos EFE, todo esto realizado bajo la metodología expuesta en el capítulo anterior.

### **4.1. Diagramas de flujo y tuberías e instrumentación de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR).**

La información mostrada en los diagramas de flujo fue obtenida mediante inspecciones realizadas en la planta de tratamiento además de revisiones bibliográficas, utilizando la herramienta de Microsoft Visio y aplicando las normas de la Asociación Americana de Instrumentación (ANSI) se obtuvieron los DFP y DTI de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.

Cabe destacar que estos diagramas mostrados en las figuras N° 4, 5, 6, 7, 8 y en el apéndice B no presentan especificaciones de las tuberías y de los equipos debido a motivos de confidencialidad de la empresa, sin embargo se muestra de forma sencilla el tratamiento físico-químico y biológico que recibe el agua residual, como se explicó previamente en el marco teórico.



Figura N° 4. Simbología utilizada en los DFP

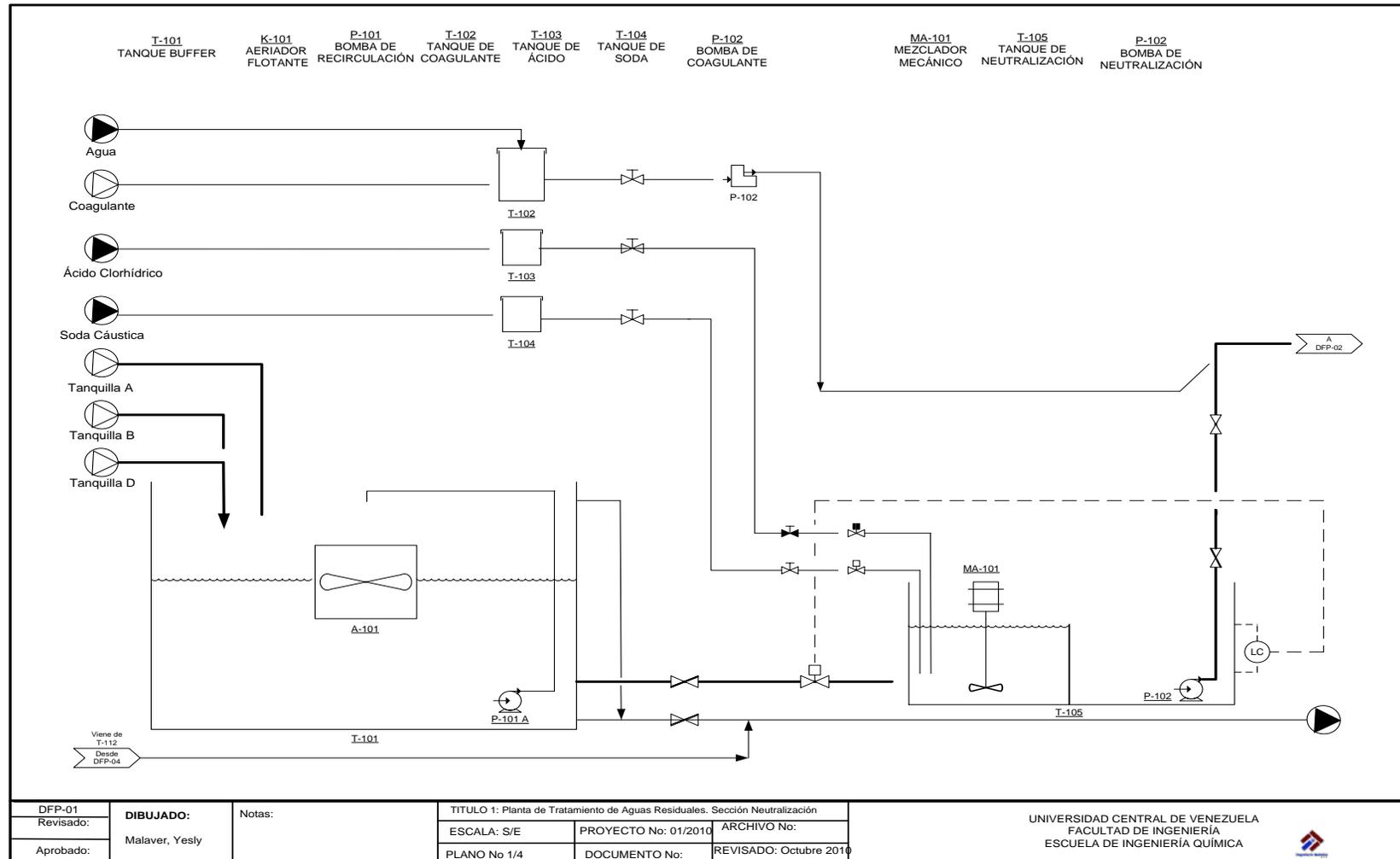


Figura N° 5. Diagrama de Flujo de Procesos 01

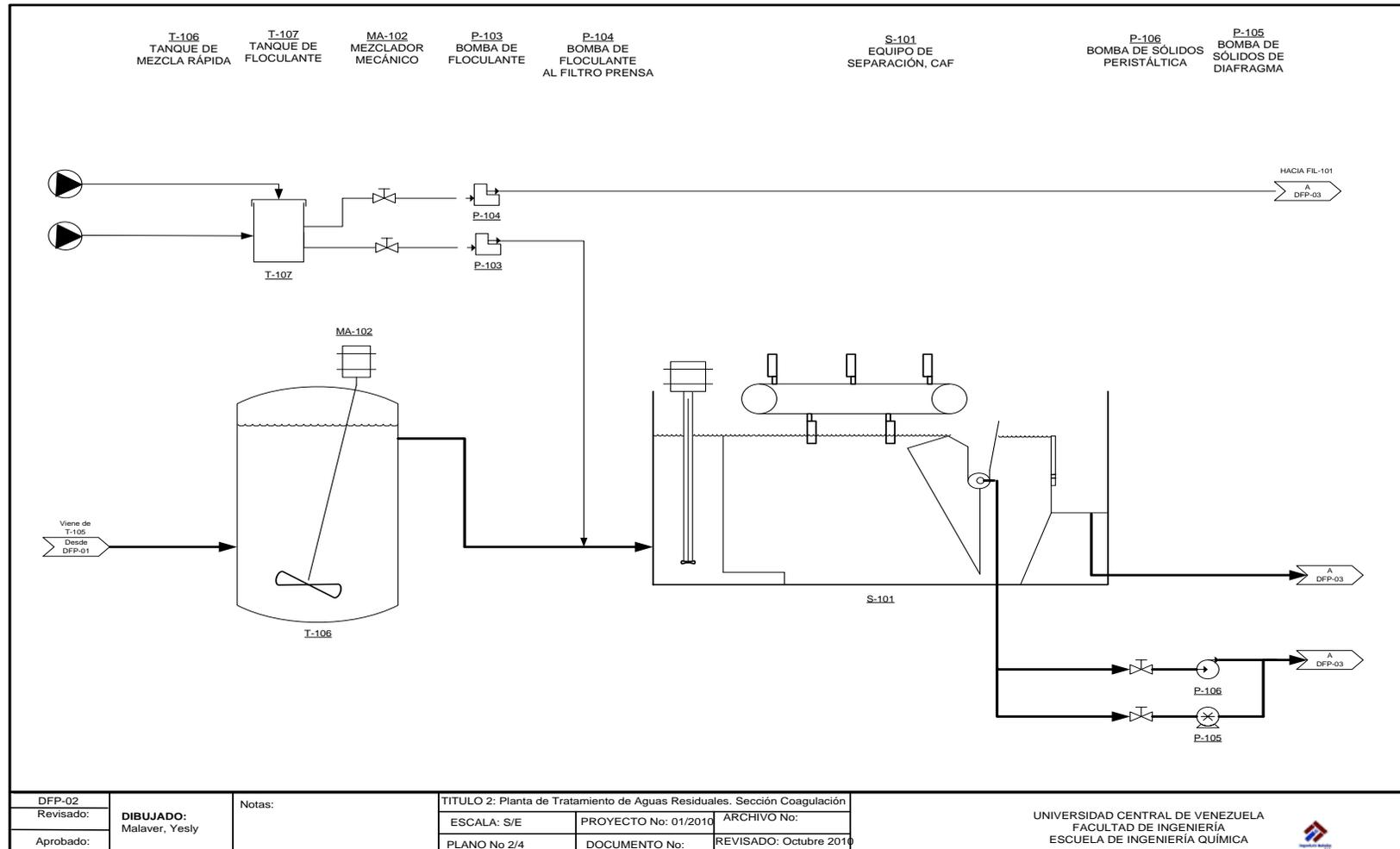


Figura N° 6. Diagrama de Flujo de Procesos 02

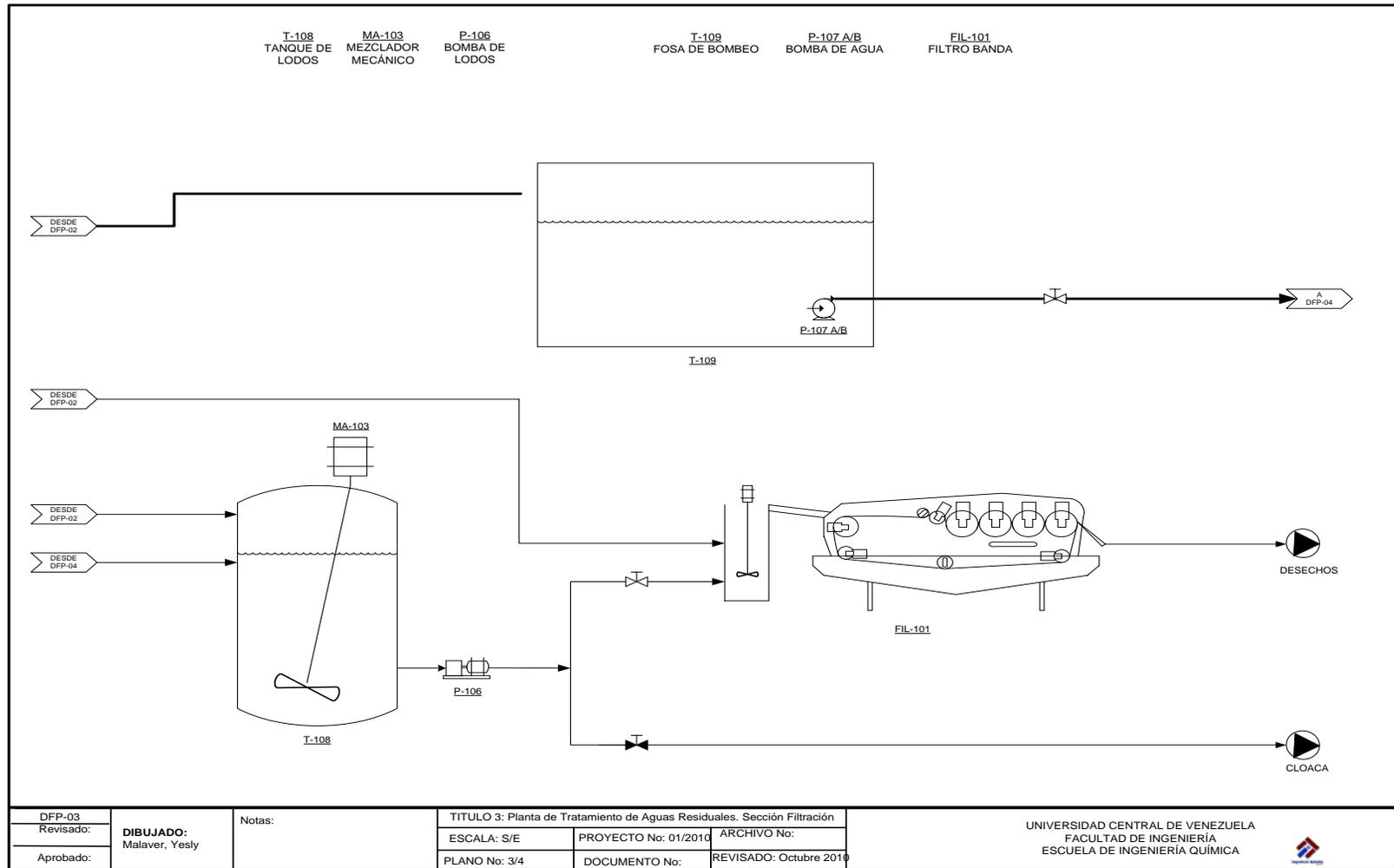


Figura N° 7. Diagrama de Flujo de Procesos 03

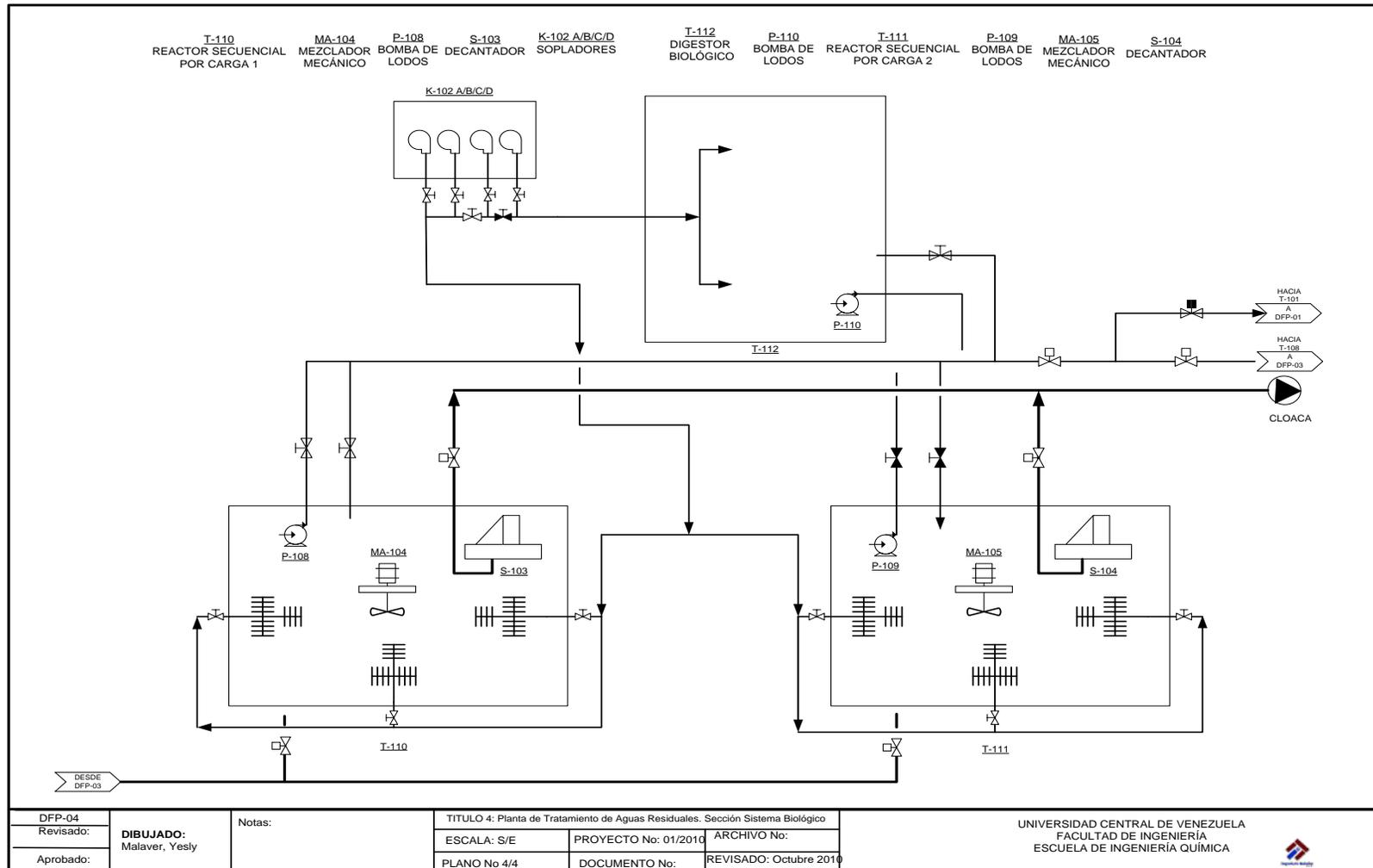


Figura N° 8. Diagrama de Flujo de Procesos 04

#### 4.2. Evaluación de los factores que inciden en la remoción de material orgánico suspendido en los efluentes del sistema físico-químico.

Para establecer los factores que afectan la remoción de sólidos por flotación en las aguas residuales se examinó y estudió cada una de las etapas del proceso que conforman el sistema físico-químico de la PTAR como lo son:

- Neutralización.
- Dosificación de coagulante y floculante.
- Mezcla rápida.
- Prensado de lodos.
- Parámetros de diseño del sistema físico-químico de tratamiento de aguas residuales.
- Características operativas del sistema.

##### 4.2.1. Neutralización:

El tanque de neutralización consta de dos secciones, en la primera se reciben las aguas provenientes del tanque buffer y es donde se dosifica la soda caustica y el ácido clorhídrico con la finalidad de mantener el pH en un rango entre 6,5 y 8,5 (neutralización 1). Posteriormente, estas aguas neutralizadas pasan por rebose hacia la segunda sección del tanque (neutralización 2), en donde se almacenan mientras son bombeadas hacia el tanque de mezcla rápida cuyas imágenes se pueden ver en el apéndice A; en la tabla N° 1 se muestran las características básicas de las sustancias químicas utilizadas en este proceso.

Tabla N° 1. Sustancias químicas utilizadas para la neutralización de pH.

<b>Características</b>	<b>Ácido Clorhídrico</b>	<b>Hidróxido de Sodio</b>
Formula	HCl	NaOH
Concentración	37% v/v	50% v/v
Apariencia	Líquido humeante incoloro o amarillo claro con olor penetrante e irritante.	Líquido incoloro e inodoro
pH	0,1 (1N) ; 2,01 (0,01N)	14 (7,5% en solución)

Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar, son sustancias altamente concentradas por lo que agregando poca cantidad se puede lograr un cambio brusco en el pH de la solución.

Analizando la figura N° 9, se verifica que el sistema funciona adecuadamente ya que el pH se encuentra dentro del rango establecido en la curva de pH de neutralización 1, por otro lado, la curva de pH de neutralización 2 tiende a encontrarse una unidad por debajo de la curva anterior, esto es atribuido a la acidificación de los restos de materia orgánica que se mantienen constantemente flotando en dicha sección del tanque ya que no existe ningún mecanismo de mezclado en esta área.

Considerando que la dosificación de ácido no se está realizando ya que presenta fallas en la válvula electromecánica y observando la tendencia del pH en el tanque buffer, se puede indicar que el pH del afluente de la PTAR es altamente variable pero es propenso a ser básico, esto es debido al uso de los químicos de limpieza en el área de producción que tienen entre sus principales componentes soda caustica al 50% v/v.

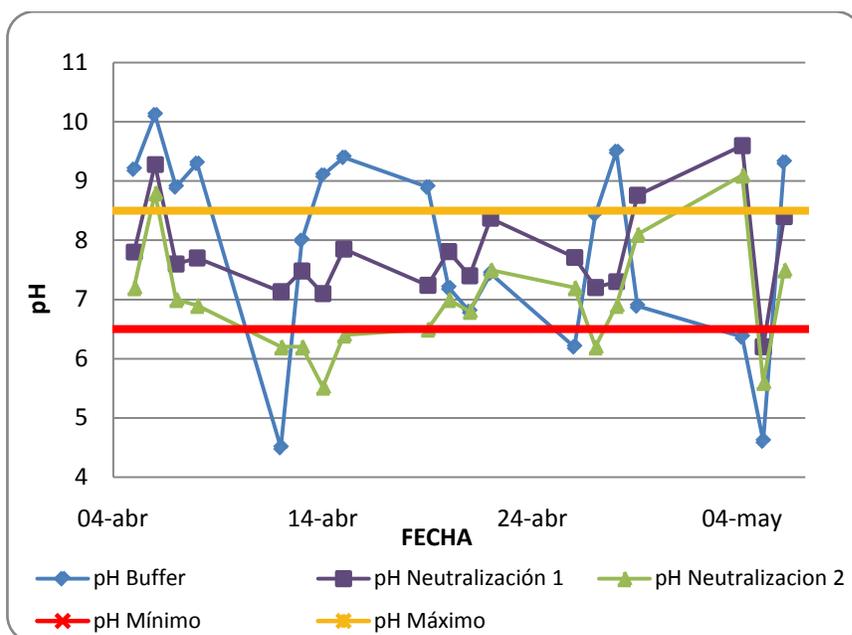


Figura N° 9. Variación del pH en el sistema de neutralización

La materia orgánica presente en dicha agua residual está compuesta principalmente por aceites y grasas las cuales tienden a mantenerse en la superficie del líquido. En la

segunda sección del tanque las aguas son bombeadas por el fondo, lo que ocasiona que dichos sólidos no sean succionados, permitiendo con el paso de los días que esta materia vaya descomponiéndose y degradándose constantemente, lo que justifica la disminución del pH en esta sección del tanque.

Es importante destacar que el control de pH es un parámetro importante para alcanzar una adecuada separación de material coloidal en el agua ya que influye directamente en los procesos de coagulación y floculación, además que interfiere directamente con la actividad biológica en el sistema de reactores.

#### **4.2.2. Dosificación de coagulante y floculante:**

Para llevar a cabo la separación de sólidos en el sistema físico-químico se realizan los procesos de coagulación y floculación del material coloidal presente en las aguas residuales del sistema, estos procesos se realizan mediante la adición en forma continua de sustancias químicas como los son coagulantes y floculantes, de manera que se asegure una mezcla homogénea con el fluido a tratar. Es importante mencionar que la función del coagulante es propiciar la desestabilización del material coloidal presente en las aguas residuales de manera que le permita al sistema remover la mayor cantidad de sólidos suspendidos, grasas, aceites y DQO.

Actualmente, en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales se utilizan los productos químicos descritos en la tabla N° 2.

Tabla N° 2. Especificaciones de los productos coagulantes y floculante utilizados en PTAR.

<b>Característica</b>	<b>L-801</b>	<b>MQ-140</b>	<b>MQ-132</b>
<b>Proveedor</b>	Lipesa S.A	MQ Corporation	MQ Corporation
<b>Uso</b>	Coagulante	Floculante	Coagulante
<b>Componente</b>	Hidroxiclорuro de Aluminio	Poliacrilamida Catiónica	Polímero Cuaternario
<b>Forma</b>	Líquida	Sólida	Líquida
<b>Color</b>	Incoloro	Blanco	Incoloro-Amarillo Claro
<b>pH de trabajo</b>	5 a 10	4 a 10	4 a 10
<b>pH a 25°C</b>	(sol al 15%) 3.6 - 4.6	(sol al 5%) 2.5 - 4.5	(sol al 10%) 1- 3
<b>Descripción</b>	Coagulante de fuerte acción y rápida coagulación	Poliacrilamida catiónica, de muy alto peso molecular y baja carga	Polímero catiónica de mediano peso molecular, alta densidad

Fuente: Elaboración propia

A comienzos del presente estudio en la PTAR se utilizaban los dos productos coagulantes mencionados en la tabla N° 2, alternados semanalmente, por lo que se realizaron pruebas en planta utilizando el coagulante MQ-132 y el L-801, de manera de determinar el producto que proporcione un mejor desempeño y así basar el presente estudio en uno de estos.

Con los estudios realizados se observó que el coagulante MQ-132 no permite la adecuada separación de las partículas sólidas presentes en el agua residual, además que modifica particularmente los valores de DQO como se puede observar en la tabla N°3 y en el apéndice C.

Tabla N° 3. Análisis de aguas utilizando el coagulante MQ-132.

<b>Fecha (Abril)</b>	<b>Muestra</b>	<b>DQO (mg/l)</b>	<b>DQOs (mg/l)</b>
06	Cruda	6570	3350
06	CAF	4800	4130
07	Cruda	4250	1820
07	CAF	4380	4000
08	Cruda	5880	3320
08	CAF	4490	3380
09	Cruda	5590	3630
09	CAF	3850	3810

Fuente: Elaboración propia.

La DQOs representa la materia orgánica oxidable que se encuentra totalmente disuelta en el agua, razón por la cual no puede ser removida ni afectada por los métodos de coagulación y floculación ya que los mismos se emplean para la remoción de material coloidal en suspensión. Según los resultados de la tabla anterior se puede visualizar que utilizando el coagulante MQ- 132 en planta ocurre lo contrario, ya que la DQOs tiende a aumentar en el sistema además que la remoción de DQO total es baja.

Si la DQOs aumenta después del tratamiento de coagulación-floculación, es un indicativo de que estos productos químicos están añadiendo materia orgánica disuelta al agua tratada por lo que se decidió realizar mediciones de DQO a cada una de estas sustancias químicas, de manera de establecer el aporte que puedan realizar a las aguas residuales.

Efectivamente, se observa en la tabla N° 4 que el polímero coagulante MQ-132 aporta una alta carga de demanda química de oxígeno comparado con el coagulante L-801 cuyo aporte de carga es prácticamente nulo. Además de esto, el pH es un parámetro muy importante debido a su interferencia directa con el sistema biológico así como la conductividad ya esta que representa una medida indirecta de la cantidad de sólidos

del sistema. Como se puede ver en dicha tabla, el coagulante MQ-132 posee un pH completamente ácido y una conductividad alta.

Tabla N° 4. Caracterización de los productos químicos.

<b>Parámetro</b>	<b>L-801</b>	<b>MQ-132</b>	<b>MQ-140 (Sol. 10%)</b>
pH (Adim)	3.87	0.18	4.80
Conductividad ( $\mu$ S)	51800	90000	2260
DQO (mg/l)	7	1350	500

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a lo anteriormente expuesto se decide, a fines de este estudio, trabajar con el coagulante L-801 ya que este aporta una carga nula de DQO, tiene una menor conductividad y un pH más alto que el producto MQ-132.

Por otro lado, el polímero MQ-140 también aporta carga de DQO al sistema pero en menor proporción, por lo que posteriormente se deben realizar pruebas con otros productos floculantes de manera de disminuir el aporte de DQO de los químicos al sistema, ya que la finalidad de este es remover la máxima carga orgánica posible.

Revisando el sistema de dosificación, se observaron fallas en el funcionamiento del mismo, las cuales inciden directamente en la correcta separación de sólidos llevada a cabo en la unidad de flotación, comenzando con la metodología de preparación de los productos químicos, coagulante y floculante. En primera instancia se tiene que los procesos de elaboración no están estandarizados, por lo que la concentración y consistencia de los químicos varía en cada preparación realizada, siendo de mayor importancia la preparación del polímero floculante. Ya que esta es una poliacrilamida sólida de baja carga catiónica y de alto peso molecular que requiere de un buen sistema de agitación para la correcta dilución y homogenización de la solución, de manera que pueda actuar satisfactoriamente en el proceso.

Actualmente, el floculante se está preparando a una concentración aproximada de 0,6% m/v, lo que hace que el polímero sea muy viscoso y mientras más concentrado se encuentre el polímero, más tiempo le toma actuar. Es por lo anteriormente mencionado que se debe mantener control al dosificar floculante ya que de tener excesos, este pudiera ser enviado mediante el agua del CAF hacia el sistema de reactores, lo que ocasionaría una floculación del lodo biológico, impidiendo la alimentación y reproducción de dicha molécula floculada, ocasionando posteriormente la muerte del mismo.

La dilución del producto es un elemento muy importante para asegurar el éxito de la aplicación. Es por esto, que el polímero debe prepararse a menor concentración, como máximo al 0,5% m/v o activar el sistema de dilución en línea instalado en las tuberías de descarga de las bombas de dosificación, que en estos momentos se encuentran deteriorado y fuera de servicio, ya que este mecanismo favorece la interacción molecular entre el polímero y el material coloidal.

Además de esto, se observó que el coagulante y el floculante son preparados y utilizados inmediatamente, lo que no permite la adecuada estabilización y maduración de la solución desmejorando el desempeño de las mismas. Para optimizar este sistema conviene instalar un tanque auxiliar para la preparación y almacenamiento de coagulante de manera de preparar el químico con anterioridad a su utilización, optimizando el rendimiento de este producto. Con respecto al floculante, actualmente se disponen de dos tanques, uno para la preparación y otro para el almacenamiento y bombeo, cuya imagen se puede observar en el apéndice A, esto permite preparar el floculante apenas se trasiegue hacia el tanque de bombeo, de manera que este tenga tiempo suficiente para homogenizar y madurar sus moléculas, mejorando así el desempeño del producto.

La evaluación del sistema de bombeo de productos coagulantes y floculantes es vital para la optimización del sistema de dosificación de químicos. Este está compuesto por tres bombas volumétricas de caudal controlado idénticas, cuyas especificaciones se muestran en la tabla N° 5.

Tabla N° 5. Características bombas dosificadoras.

<b>Bombas</b>	<b>Característica</b>
Marca	ProMinent
Modelo	Sigma 2
Tipo	Diafragma
Potencia	0,34 HP
Flujo @ 10bar	156 l/h

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a lo establecido por Prominent, se observa que estas bombas no cumplen con las indicaciones generales para la realización de instalaciones hidráulicas cuya imagen se presenta en el apéndice A.

Dentro de las principales consideraciones técnicas para la instalación de bombas dosificadoras volumétricas se menciona que estas deben poseer diámetros nominales de las tuberías y de los accesorios montados, del mismo tamaño o más grandes que los diámetros nominales de las válvulas de succión y descarga de las bombas. Asimismo, es útil la instalación de un equipo llamado amortiguador de pulsaciones o acumulador, cuya función es minimizar las pulsaciones y estabilizar la presión en la línea de descarga de manera de reducir la resistencia al flujo y generar una dosificación cuasi-continua, es decir, una inyección de químico en forma homogénea aprovechando al máximo la energía de impulsión de la bomba.

En la PTAR no se dispone de amortiguadores de pulsación, además, las bombas presentan reducción del diámetro nominal de la tubería de entrada, esto produce estrangulamiento y pulsaciones en vacío ya que en cada movimiento de succión, la bomba pudiera no disponer de líquido suficiente para llenar la cámara de dosificación del cabezal. Sumado a esto, cuentan con reducción del diámetro nominal de la tubería de descarga, lo que hace que la presión generada por la bomba pueda alcanzar varias veces la presión máxima admisible de la instalación o de la bomba dosificadora, respectivamente.

Conjuntamente, se tiene que las válvulas check de la succión de la bomba de coagulante y de floculante al CAF no se encuentran colocadas en el sitio que plantea el manual del equipo, ya que deberían encontrarse justo en la entrada del cabezal de succión y se encuentran 9 cm alejadas de este punto, lo que genera un aumento en el volumen de la embolada, justificando el incremento de flujo descargado por encima de los parámetros especificados por el fabricante los cuales se muestran en la tabla N° 5. En la figura N° 10, se pueden observar las curvas de calibración realizadas a partir de los datos experimentales obtenidos para las tres bombas de dosificación de coagulante y floculante del sistema. Según las especificaciones del fabricante, se tiene que para una longitud de carrera del 100%, la bomba debe descargar un flujo aproximado de 156 l/h y mediante las curvas realizadas se evidencia que la bomba de coagulante y la de floculante al filtro banda envían un flujo superior al flujo máximo teórico de descarga incluso con una longitud de carrera de 5%.

Las discrepancias entre las curvas reales y la curva teórica se deben a las numerosas fallas en las instalaciones hidráulicas mencionadas anteriormente. De las tres bombas dosificadoras, se tiene que la bomba que envía floculante al CAF es la que se asemeja más a la curva proporcionada por el fabricante, esto se debe a que recibió mantenimiento recientemente, sin embargo se encuentra bastante lejos de la curva teórica como se puede observar en la figura N° 10.

Además, por las características que posee el polímero floculante, su alto peso molecular y viscosidad, genera un mayor esfuerzo en las bombas, lo que a largo plazo trae como consecuencia mayor desgaste interno originando desproporcionalidad en el flujo de descarga. Es por esto que se debe realizar en cada parada de planta una limpieza de las bombas, haciendo circular agua limpia por las mismas de manera de evitar la acumulación del gel de polímero en el interior y prolongar la vida del equipo.

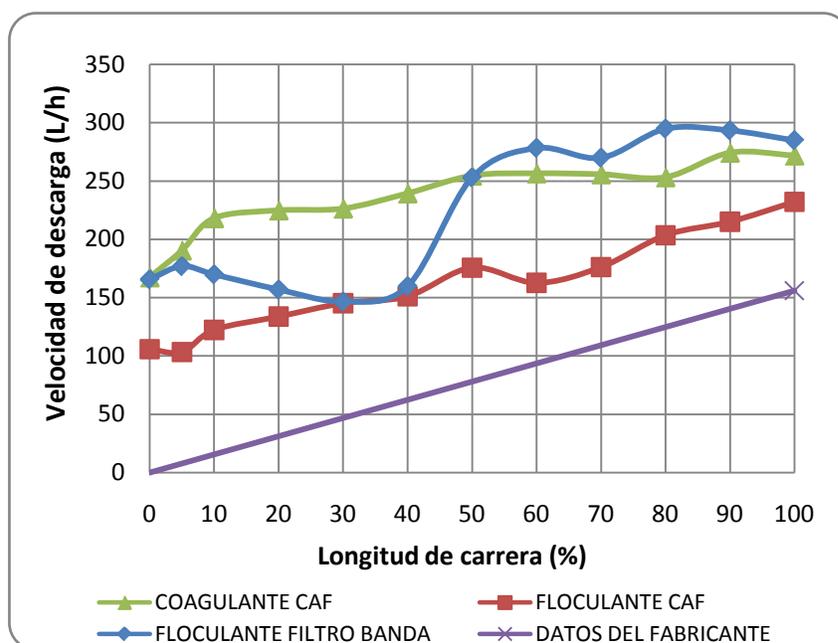


Figura N° 10. Curva de calibración de bombas de dosificación.

Sumado a lo anteriormente mencionado, la longitud de carrera utilizada con mayor frecuencia para la dosificación de productos coagulante y floculante al CAF se encuentra entre un 20 y 30% (como se puede ver en las tablas del apéndice C), lo que trae como consecuencia un mayor error asociado debido a que los fabricantes no garantizan un flujo homogéneo para longitudes de carrera menor al 30% para este modelo de bombas en específico.

A pesar de todo lo expuesto anteriormente, el flujo descargado por la bomba de floculante al CAF puede ser ajustado con una tendencia lineal como puede observarse en la figura N° 11, obteniendo un  $R^2$  de 0,957 lo que resulta ser muy útil para establecer cálculos aproximados de la cantidad de químico dosificado realmente al sistema. Mientras que para la bomba de coagulante se obtuvo un  $R^2$  de 0,874 lo que no permite establecer una linealidad significativa. La bomba de floculante al filtro banda se descartó para este estudio ya que su curva se encuentra muy alejada de una tendencia lineal, esto se debe a que tiene gran cantidad de tiempo sin recibir mantenimiento.

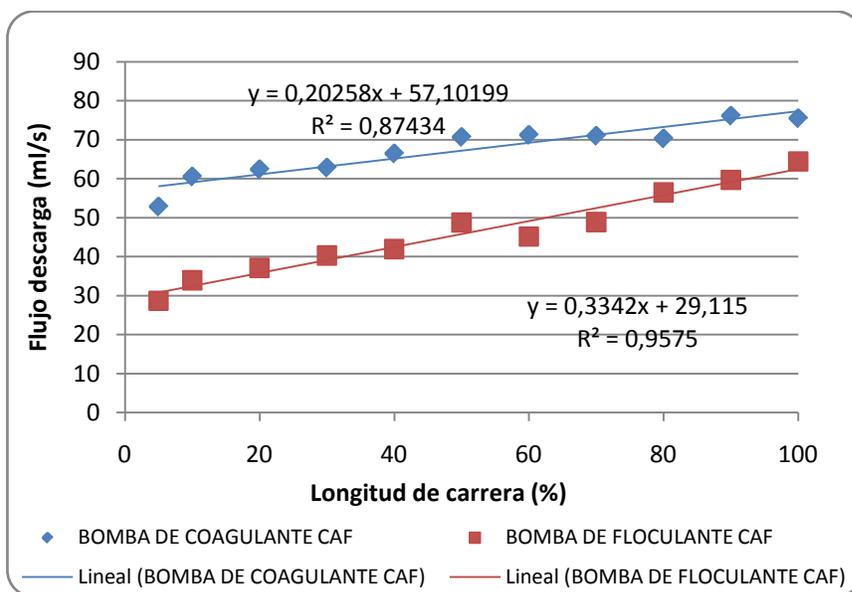


Figura N° 11. Ajustes de la curva de calibración de bombas de dosificación.

### 4.2.3. Mezcla rápida.

Adicionalmente a los factores químicos que afectan las reacciones de coagulación, están las características propias de la mezcla rápida que influyen de manera determinante en la eficiencia final de todo el tratamiento, como son los parámetros operacionales de la unidad y el sistema de aplicación del coagulante.

Para evaluar este sistema, se determinó la potencia requerida por el mezclador cuyos cálculos se muestran en el apéndice D, los cuales se realizaron considerando los valores de diseño de la planta para la óptima desestabilización de los coloides presentes.

Según los resultados obtenidos, dicho mezclador requiere de una potencia de 0,31 hp mientras que actualmente en la planta se trabaja con una potencia de 0,5 hp debido a limitaciones del mercado. En la tabla N° 6 se presentan los datos considerados en el diseño, respecto a las condiciones actuales de funcionamiento de la planta de tratamiento.

Tabla N° 6. Consideraciones de diseño del mezcla rápida.

PARÁMETRO	DISEÑO	ACTUAL
Caudal (m <sup>3</sup> /s)	0,007	0,003
Volumen (m <sup>3</sup> )	4,02	4,02
Tr (min.)	9,6	22,3
G (s <sup>-1</sup> )	315,4	315,4
P (hp)	0,31	0,5
Viscosidad (Ns/m <sup>2</sup> ) a 25°C	0,000933	0,000933

Fuente: Elaboración Propia.

Como se puede observar en la tabla anterior, el equipo de agitación mecánica utilizada actualmente cumple con las características requeridas por el diseño de la planta, la discrepancia principal radica en el caudal de agua promedio tratado actualmente ya que el mismo se encuentra muy por debajo del caudal de diseño lo que genera un gran aumento en el tiempo de residencia en el equipo, lo que provoca la putrefacción del agua.

La adecuación de estos parámetros es de especial importancia debido a que el coagulante debe dispersarse en forma instantánea en toda la masa de agua antes de que la hidrólisis del coagulante se complete, sobre todo cuando se emplean coagulantes inorgánicos como las sales de aluminio (III) o de hierro (III), por lo que si la unidad de mezcla no produce un gradiente de velocidad apropiado en un tiempo de retención instantáneo, no se habrá logrado una desestabilización completa.

Según la bibliografía, se presentan diversos tiempos de retención y gradientes de velocidad para sistemas de coagulación y mezclados rápidos. Con los resultados obtenidos en la tabla N° 6, se tiene que los parámetros de diseño se encuentran dentro de lo establecido por Vargas (2004) quien expresa que para un tiempo de residencia entre 5 y 15 minutos, el gradiente de velocidad debe encontrarse entre 300-1000 s<sup>-1</sup>. Es fundamental mencionar, que el factor más importante a estudiar para la evaluación de este sistema es el gradiente de velocidad debido a que el tiempo de residencia se puede modificar variando el caudal de agua tratado.

Considerando lo anterior, se tiene que el tiempo de residencia aplicado actualmente se encuentra por encima del tiempo máximo descrito en la teoría del autor, lo que genera la reestabilización de los coloides perjudicando directamente el proceso, además que provoca un aumento en el consumo de coagulante. Es por esto que se debe realizar un leve incremento en el caudal tratado de manera de disminuir el tiempo de residencia del tanque de mezcla rápida y lograr así que se encuentre dentro de los rangos teóricos planteados previamente y optimizando dicho proceso.

#### 4.2.4. Prensado de lodos.

Los lodos obtenidos en este proceso provienen tanto del sistema biológico como del sistema físico-químico, los cuales son mezclados y tratados conjuntamente en el filtro banda (imagen presentada en el apéndice A). Estos lodos suelen contener abundante agua lo que genera problemas mecánicos, específicamente en la bomba de lodos ya que esta está diseñada para movilizar materia sólida, además de problemas de separación ya que para lograr una buena extracción de agua se requiere la aplicación de polímero floculante previo al prensado.

En la tabla N° 7 se puede observar los parámetros de remoción de humedad del filtro banda, donde se tiene que el porcentaje de remoción teórico es del 90% cuando actualmente la remoción es de 30% de humedad, esto se debe a la poca consistencia que tienen estos lodos a raíz de las dificultades recurrentes para obtener una buena separación de material sólido en la unidad de flotación, lo que genera que gran cantidad de agua sea enviada hacia el tanque de almacenamiento de lodos.

Tabla N° 7. Remoción de humedad del filtro banda.

<b>% Remoción humedad actual promedio</b>	<b>% Remoción de humedad teórica</b>
30 %	90 %

Fuente: Elaboración propia.

Gracias a los resultados obtenidos, se realizaron pruebas de floculación en los lodos y se verificó de forma teórica y cualitativa en planta que los lodos deben ser tratados y prensados individualmente debido a diferencias entre las cargas de sus moléculas.

El lodo proveniente del CAF se encuentra cargado positivamente ya que el floculante utilizado en el tratamiento de aguas es catiónico, por lo que para volver a flocularlo se debe utilizar un floculante aniónico de manera de neutralizar y contrarrestar efectivamente la carga de sus moléculas de forma tal que ocurra la separación del material sólido. Así mismo, se realizó la prueba con el lodo del sistema biológico el cual posee carga mayormente negativa por lo que aplicarle un floculante catiónico (MQ-140) resulta ser la mejor opción.

En estos momentos en la PTAR no se dispone de instalaciones físicas para la preparación del floculante aniónico, por lo que es necesario adquirir un nuevo sistema de preparación de químicos de manera de realizar un tratamiento individualizado para cada uno de los lodos y así optimizar el proceso.

#### **4.2.5. Parámetros de diseño del sistema físico-químico de tratamiento de aguas residuales.**

Revisando los parámetros de diseño del sistema físico-químico de tratamiento de aguas residuales, se observan detalles importantes que desfavorecen el funcionamiento del proceso.

Durante el trabajo realizado en la planta se manejó un caudal promedio de 3 l/s el cual es fijado por los operadores, ya que consideran que este valor les genera menos inconvenientes de obstrucción de válvulas y tuberías en el sistema, sin embargo este valor se encuentra muy por debajo del caudal de diseño como se puede observar en la tabla N° 8.

Tabla N° 8. Parámetros de diseño del sistema físico-químico.

<b>Características</b>	<b>Parámetros de entrada</b>	<b>Parámetros de Descarga</b>
Caudal (l/s)	6,7	6,7
pH	4-12	7
DBO (mg/l)	2742	1782
DQO (mg/l)	4934	2960
SST (mg/l)	1406	140
Grasas y aceites(mg/l)	356	35,6

Fuente: Hydrocal. (1994).

Además, se puede observar en la tabla N° 9 que los parámetros medidos en el sistema superan los valores de diseño de la planta presentados previamente en la tabla N° 8, esto se debe a que actualmente la producción de helados es considerablemente mayor a cuando fue diseñado e instalado el sistema físico-químico de tratamiento de aguas en el año 1996.

Tabla N° 9. Características del afluyente y efluente del sistema físico-químico.

<b>Características</b>	<b>Valor promedio medido de entrada</b>	<b>Valor promedio medido de descarga</b>
Caudal (l/s)	3	3
DQO (mg/l)	6056	3205
SST (mg/l)	1971	374
Grasas y aceites (mg/l)	874	31

Fuente: Elaboración propia

A pesar de lo expuesto anteriormente, la planta de tratamiento de aguas presenta un alto índice de remoción de aceites y grasas, sólidos suspendidos totales (SST), DQO y turbidez (presentado en la tabla N° 10) debido a que este material sólido tiende a flotar en la superficie del líquido y es retirado casi completamente en el sistema de separación de sólidos por flotación, gracias a la aplicación de los procesos de coagulación y floculación.

Tabla N° 10. Remoción del sistema físico-químico.

<b>Parámetros</b>	<b>Remoción Diseño (%)</b>	<b>Remoción Actual (%)</b>
DQO	40	50
DQOs	----	28
SST	90	84
Grasas y aceites	90	94
Turbidez	----	90

Fuente: Elaboración propia

Un parámetro de gran importancia en el funcionamiento del sistema es el tiempo de residencia del agua en los equipos, ya que de este depende la descomposición y degradación de la materia orgánica presente en el sistema.

La descomposición de la materia orgánica genera aldehídos, ácido propiónico y ácido acético principalmente. Este último tiende a evaporarse lo que provoca mal olor en las aguas y en los alrededores del proceso. Esta degradación de la materia se ve favorecida por el aumento del tiempo de residencia de esas aguas en los equipos, debido a que acrecienta el tiempo de interacción entre estas y el ambiente, generando la oxidación de las moléculas.

En la tabla N° 11 se pueden observar los tiempos de residencia actuales para cada uno de los equipos en comparación con los tiempos de diseño. Actualmente se duplican los valores diseño para los tiempos de residencia debido a la disminución del caudal de tratamiento de 7 l/s a 3 l/s.

Para contrarrestar los altos tiempos de residencia empleados actualmente, se está realizando dosificación de soda caustica directamente en el tanque buffer además de la dosificación posterior realizada en el tanque de neutralización, de manera de frenar las reacciones de degradación o descomposición de la materia orgánica, ya que la soda permite la neutralización del pH impidiendo que dichas reacciones se lleven a cabo.

Por otro lado, se evidencian ciertos inconvenientes en el proceso de coagulación una vez que el agua llega al sistema descompuesta, ya que la soda caustica puede detener el proceso mas no lo revierte. Una vez presente en las aguas gran cantidad de aldehídos, el proceso de coagulación no se llevará a cabo de manera satisfactoria ya que estos compuestos interfieren en el desempeño del mismo, por lo que no se logra separar el material coloidal presente.

Tabla N° 11. Tiempo de residencia en los equipos.

<b>Equipo</b>	<b>Tiempo de Residencia Diseño (min)</b>	<b>Tiempo de Residencia Actual (min)</b>
Neutralización	97	217
Mezcla Rápida	10	22
CAF	27	60

Fuente: Elaboración propia

Tomando en cuenta que la segunda etapa en el tratamiento de aguas está compuesta por dos reactores biológicos, en la tabla N° 12 se presentan las consideraciones de diseño de este sistema. Los parámetros de descarga de este sistema se encuentran ajustados a los requerimientos del decreto 883, artículo 15 de las "Normas para la clasificación y el control de la calidad de los cuerpos de agua y vertidos o efluentes líquidos" (Apéndice F).

Tabla N° 12. Consideraciones de diseño del Sistema Biológico

<b>Características</b>	<b>Parámetros de diseño</b>	<b>Descarga</b>
Caudal (l/s)	6,7	6,7
DBO (mg/l)	680	350
DQO (mg/l)	2000	900
SST (mg/l)	130	130

Fuente: Janssen, D. (1999)

Considerando que los parámetros de descarga del sistema físico-químico son los parámetros de entrada al sistema biológico, existe una relación de dependencia entre

estos factores. Como se puede observar en la tabla N° 13, esta relación mencionada previamente es inconsistente ya que los parámetros de diseño para el afluente del sistema biológico se encuentran por debajo de los parámetros descargados según el diseño del sistema físico-químico, lo que genera la desestabilización de la materia viva presente en los reactores.

Tabla N° 13. Comparación parámetros de diseño de los sistemas.

<b>Características</b>	<b>Descarga Sistema físico-químico</b>	<b>Entrada Sistema biológico</b>
Caudal (l/s)	6,7	6,7
DQO (mg/l)	2960	2000
SST (mg/l)	140	130

Fuente: Elaboración propia.

Todas las fallas de diseño anteriormente mencionadas repercuten en el tratamiento y se acrecientan cuando el afluente al sistema físico-químico supera los valores de diseño permitido, lo que dificulta y hace prácticamente imposible obtener descargas del sistema biológico acorde a la normativa del ministerio del ambiente.

#### **4.2.6. Características operativas del sistema.**

Para evaluar la eficiencia del sistema físico-químico se efectúan análisis de DQO, SST, grasas, pH, turbidez y conductividad de manera rutinaria tanto en el agua cruda como en el agua a la salida del CAF.

Los parámetros de pH, conductividad y turbidez son mediciones puntuales e instantáneas que le aportan a los operadores una idea sobre la eficacia del sistema. Por otro lado, las mediciones de DQO, SST y grasas son análisis que requieren más de dos horas para su determinación, tiempo en el cuál pueden ocurrir cambios bruscos en el sistema, razón por la cual se realizaron mediciones de conductividad y turbidez en las aguas a la entrada y a la salida del sistema para determinar si existe relación con los parámetros de DQO, SST y grasas, con el objeto de permitirle al operador tener una medida rápida alternativa con la que pueda verificar que el sistema se encuentre funcionando adecuadamente.

La turbidez es una medida del grado en el cual el agua pierde su transparencia debido a la presencia de partículas en suspensión. Cuantos más sólidos en suspensión haya en el agua, más sucia parecerá ésta y más alta será la turbidez, por lo que este un parámetro utilizado para establecer la calidad del agua.

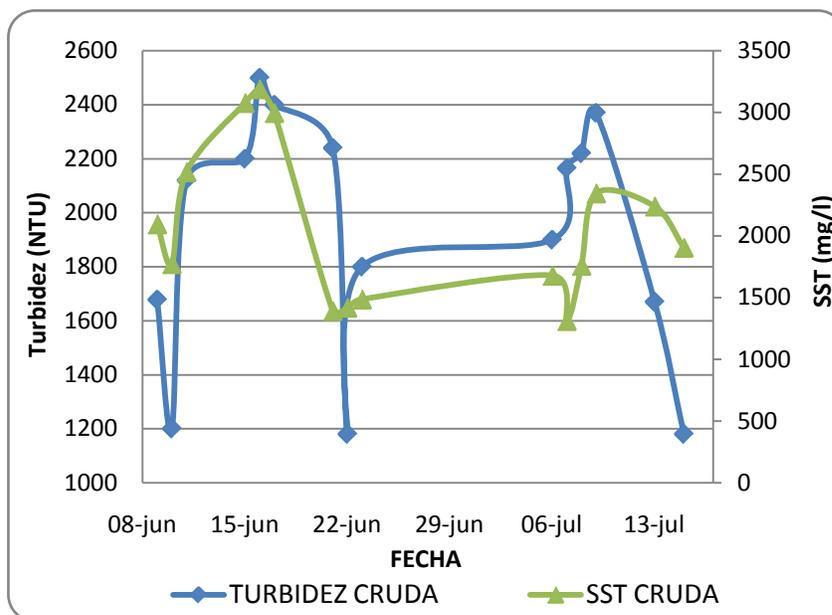


Figura N° 12. Parámetros de turbidez y SST para el agua cruda.

En la figura N° 12 se muestra la variación de la turbidez y de sólidos suspendidos totales (SST) en el sistema para el agua cruda, mientras que en la figura N° 13 se muestra la variación de estos parámetros para el agua a la salida del CAF o pretratada. Se puede observar que en ambos casos existe una correspondencia entre estos valores, a mayor valor de sólidos suspendidos totales mayor turbidez en el agua, lo que concuerda con la bibliografía que indica que la turbidez es una medida indirecta de la cantidad de sólidos suspendidos presentes en el agua. Además, en estos gráficos se puede verificar que la cantidad de SST y de turbidez en el agua disminuye significativamente a lo largo del sistema físico-químico.

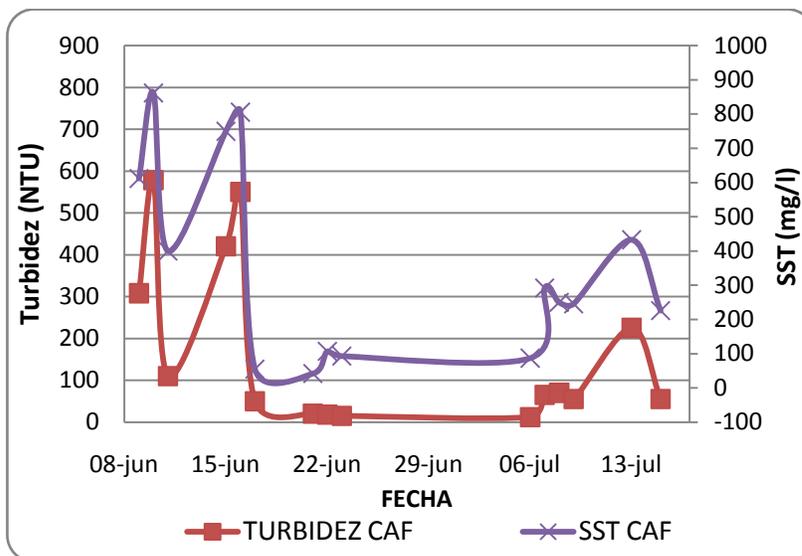


Figura N° 13. Parámetros de turbidez y SST para el agua pretrada.

Para evaluar con mayor profundidad la afinidad entre los parámetros de turbidez y SST se realizó una gráfica que relacione estos dos parámetros para el agua del CAF (figura N° 14). Se puede observar que la turbidez aumenta proporcionalmente al aumento de los SST, obteniéndose una línea de tendencia con ajuste cuadrático según la ecuación:  $Y = -0.001X^2 + 2.354X + 59.30$ ; con un  $R^2$  de 0,963.

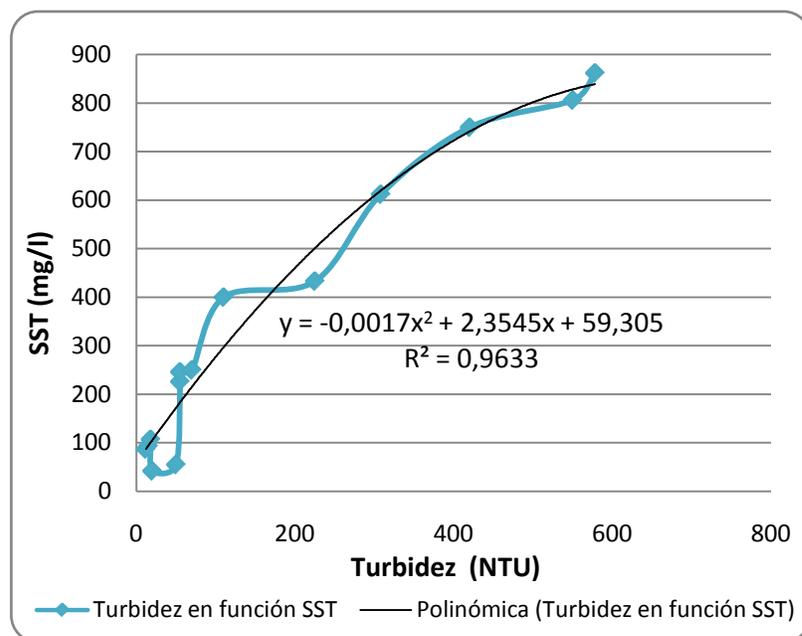


Figura N° 14. Gráfica de turbidez en función de los SST para el CAF.

Como se puede observar en la figura N° 15, la turbidez y los SST del agua cruda son parámetros de gran fluctuación cuyo mejor ajuste es de tipo polinómico, sin embargo presenta un  $R^2$  de 0.4704 el cual no es suficiente para considerar que la curva posee un ajuste polinómico.

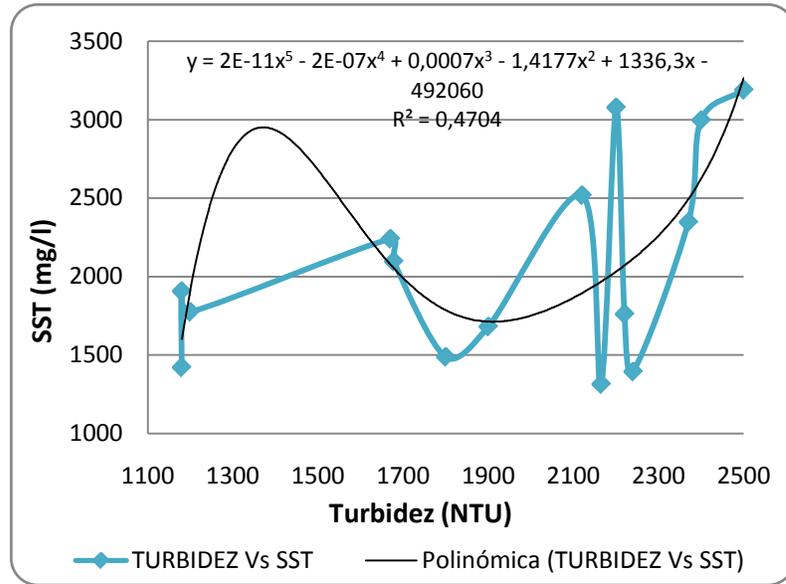


Figura N° 15. Gráfica de turbidez en función de los SST para la cruda.

Estos parámetros no se ajustan a la misma relación presentada previamente para el agua del CAF, esto se debe a la gran variabilidad de las características del agua afluente. Si bien no se observa relación entre los parámetros de entrada y de salida del sistema por separado, evaluando la remoción de SST y la remoción de turbidez se evidencia una correspondencia entre estos factores como se puede ver en la figura N°16, presentando una aproximación a una recta de ecuación:  $Y = 1.007X + 5.110$  con  $R^2$  de 0.925.

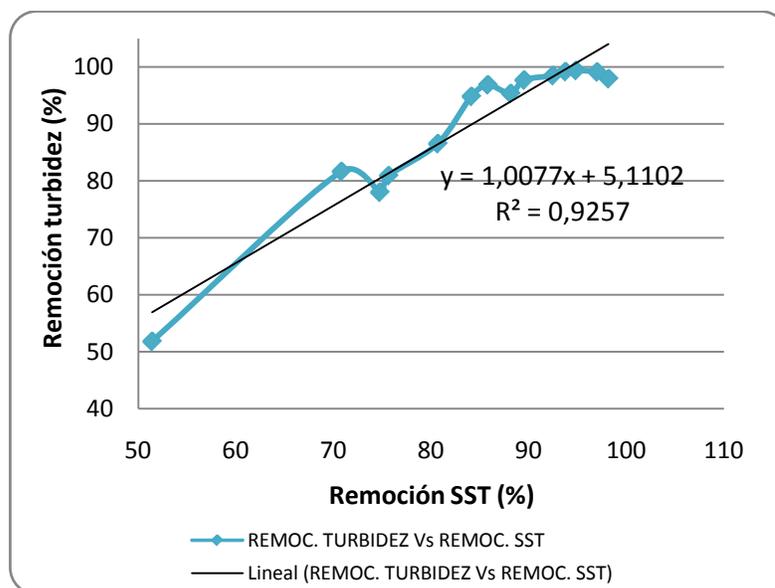


Figura N° 16. Remoción de turbidez y de SST.

Comparando los parámetros de turbidez y DQO (figura N° 17) se tiene que los valores de DQO tienden a ser muy altos y fluctuantes, van desde 4000 hasta 11000 mg/l para el agua cruda mientras que para el agua del CAF varía desde aproximadamente 1500 hasta 7000 mg/l y esto se atribuye a la gran diversidad de helados producidos en la planta, así como a la cantidad de mermas y pérdidas de materia generadas en este proceso. Por el contrario, se observa que la turbidez del agua es un parámetro de poco rango de variación ya que para el agua cruda tiende a mantenerse rondando los 2000 NTU y para el agua a la salida del CAF se encuentra mayormente cerca de los 100 NTU lo que verifica la capacidad de clarificación del sistema.

Cada uno de estos parámetros fluctúa de manera independiente debido a que teóricamente no existe ningún tipo de relación entre estos parámetros, lo que se puede corroborar con los resultados obtenidos experimentalmente en este estudio.

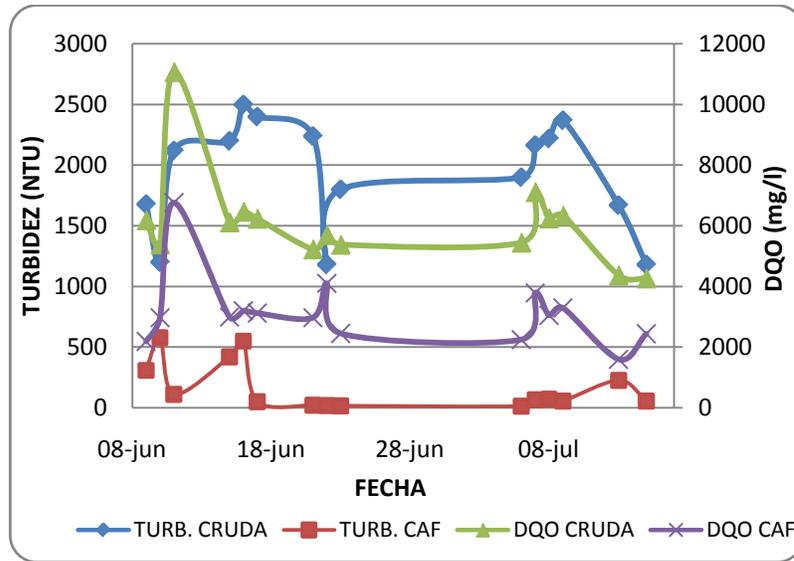


Figura N° 17. Gráfica de turbidez y DQO.

En la figura N° 18 se representan los valores de turbidez y de grasas en el sistema físico-químico. Con respecto a estos parámetros, se verifica que la cantidad de grasas presente en el agua tanto a la entrada como a la salida del sistema, no sigue ninguna tendencia en específico con respecto a la turbidez ya que teóricamente estos parámetros no presentan relación. Para el agua cruda, las grasas pueden fluctuar desde aproximadamente 2500 mg/l hasta valores prácticamente nulos, a pesar de esto, se tiene una alta remoción ya que la cantidad de grasas en el agua del CAF se encuentra por debajo de los 100 mg/l.

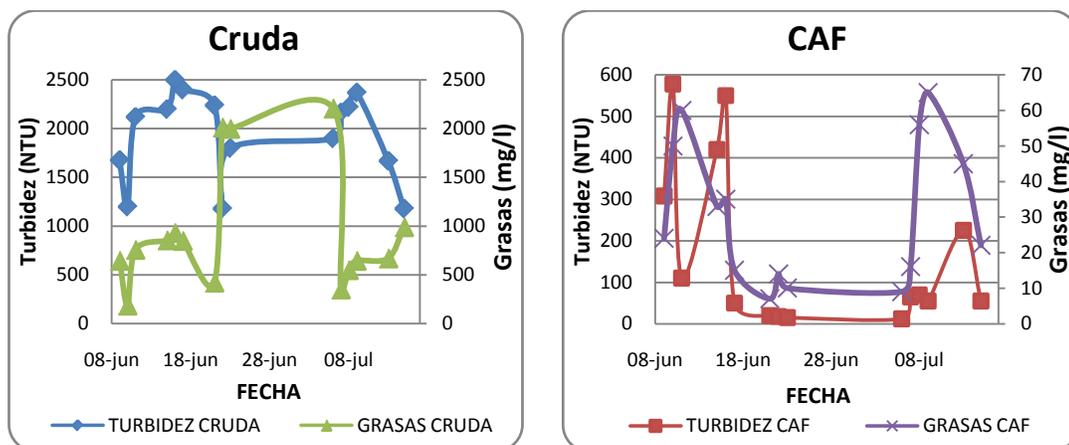


Figura N° 18. Gráficas de turbidez y grasas.

Por otro lado, la conductividad es la medida de la capacidad de una solución para conducir la corriente eléctrica y se encuentra relacionada con la cantidad de sólidos disueltos presentes en el sistema (figura N° 19).

Para el estudio de la variación de la conductividad en función de los parámetros de DQO, grasas y SST se realizaron una serie de graficas de manera de visualizar la tendencia de estas mediciones a lo largo del sistema físico-químico.

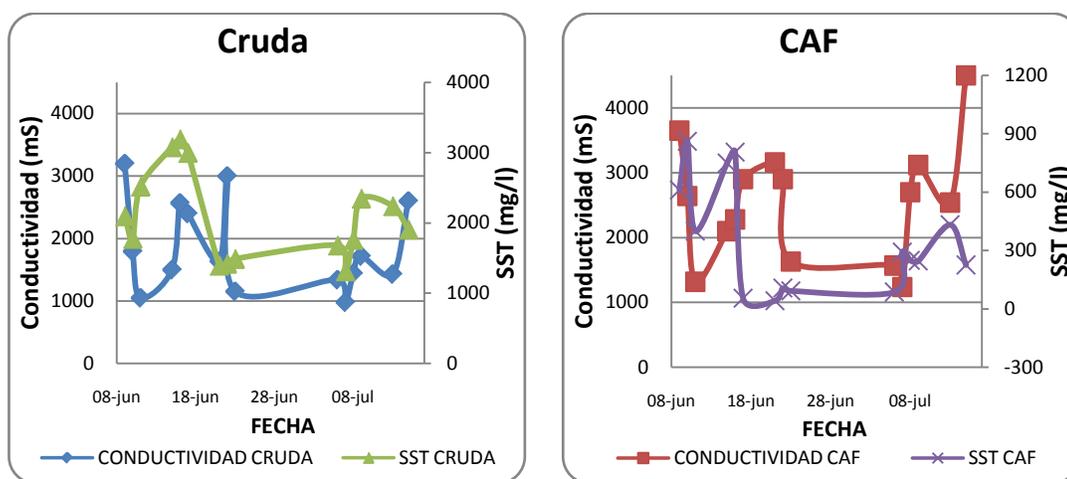


Figura N° 19. Variación de la conductividad y los SST.

La variación de la conductividad representa una medición indirecta de los sólidos disueltos presentes en el agua residual de la PTAR. La cantidad de sólidos totales presente es la suma de los sólidos disueltos, los sólidos suspendidos y los sólidos sedimentables, por lo que un sistema de tratamiento de aguas residuales debería producir la disminución de dicha cantidad de sólidos totales, exceptuando la parte disuelta, ya que esta no puede ser removida por los sistemas de tratamiento tradicionales.

Según la figura N° 19, esto no ocurre en el sistema planteado debido al alto contenido de sólidos disueltos lo cual se atribuye a la adición de químicos en el sistema de tratamiento físico-químico, como son la soda caustica y en ácido clorhídrico para la neutralización y la adición de productos para la remoción de grasas en la unidad CAF, entre otros, que incrementan la cantidad de los sólidos disueltos en el agua. Es por esto que no es posible relacionar la cantidad de sólidos suspendidos totales con la conductividad del agua.

En la figura N° 20 se presenta la variación de la conductividad con respecto a la DQO y las grasas respectivamente. En estas gráficas se puede verificar que no existe relación entre estos parámetros para el sistema planteado, se puede observar que los valores de DQO y de grasas tienden a disminuir a lo largo del sistema mientras que por el contrario, la conductividad del agua es mayor a la salida del CAF que en el agua cruda, por lo que no se puede establecer una relación entre estos parámetros.

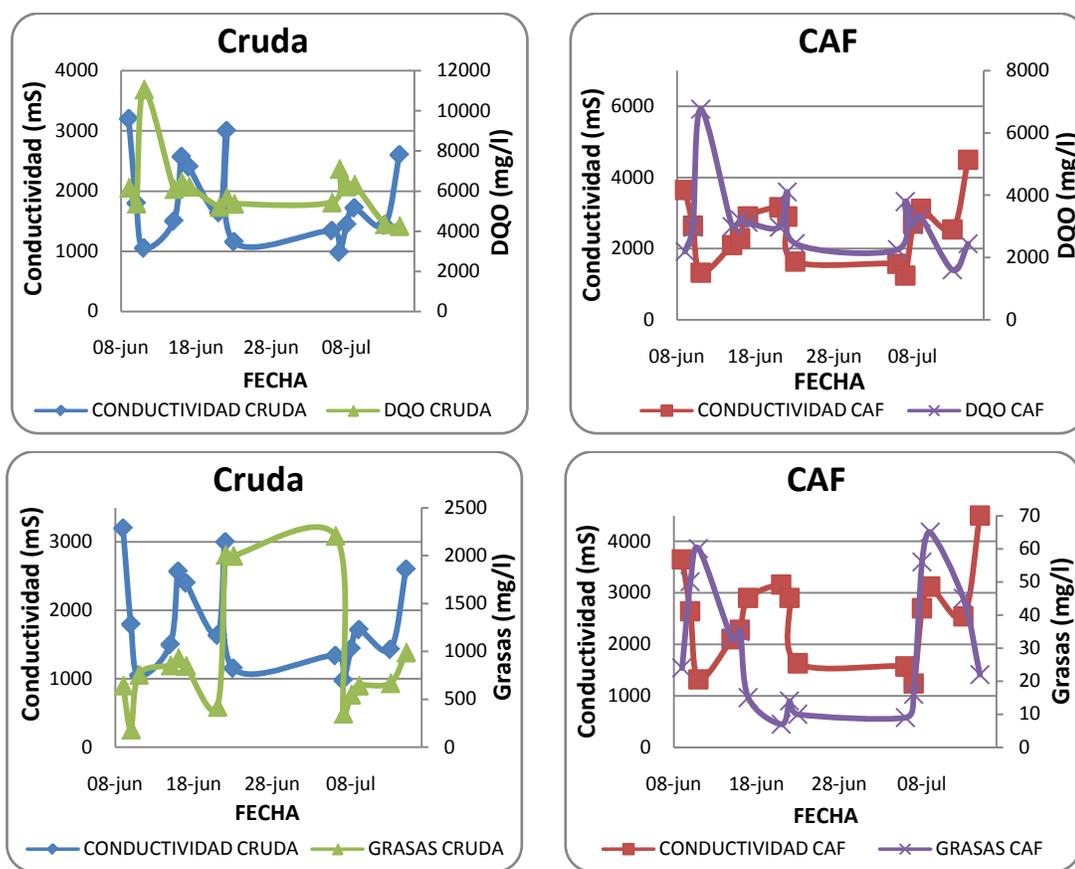


Figura N° 20. Variación de la conductividad, grasas y DQO

Es importante destacar que teóricamente no existe relación entre los parámetros anteriormente mencionados, exceptuando la conductividad con la cantidad de sólidos disueltos y la turbidez con los sólidos suspendidos, que debido a que todos los sistemas existentes son diferentes se determinó que estas consideraciones teóricas no aplican para el presente sistema.

### 4.3. Estudio de las pérdidas de carga en la tubería de descarga del sistema de neutralización.

Para la realización del estudio de las pérdidas de carga se determinaron los datos presentados en la tabla N° 14, así como los mostrados en el apéndice C para el cálculo de las pérdidas menores de la tubería.

Tabla N° 14. Datos utilizados para el cálculo de las pérdidas de carga.

Diámetro	$D = 0,1016 \text{ m}$
Caudal	$Q = 3 \text{ l/s}$
Velocidad	$V = 0,3670 \text{ m/s}$
Densidad	$\rho = 995,6 \text{ Kg/m}^3$
Viscosidad	$\mu = 8 \cdot 10^{-3}$
Rugosidad	$\epsilon = 2 \cdot 10^{-2}$

Fuente: Elaboración propia.

Este estudio se realizó debido a que se tenían sospechas de que la cantidad y tipos de accesorios que posee la tubería por donde se envía el agua residual desde el tanque de neutralización hasta el tanque de mezclado rápido son las culpables de una interferencia en el flujo que no permite mantener el caudal constante, este tiende a ir disminuyendo con el paso del tiempo.

Al realizar el cálculo de las pérdidas de carga, se obtiene que el valor de las pérdidas menores en la tubería debido a los accesorios se encuentra ligeramente por encima del valor de las pérdidas por fricción como se puede ver en la tabla N° 15. Considerando que las pérdidas por fricción son comúnmente despreciadas debido a su bajo valor con respecto a las otras pérdidas y observando que el valor de las pérdidas menores por accesorios es muy similar al de las pérdidas por fricción, se puede decir que las pérdidas menores para el caso planteado son despreciables. Lo que nos indica que los accesorios presentes en la tubería no son los causantes de la recurrente disminución de caudal en la misma.

Evaluando las características físicas del agua se detalla que esta presenta gran cantidad de sólidos suspendidos los que pueden ser los causantes de la disminución de

caudal en la tubería, ya que estos tienden a acumularse en cualquier obstáculo presente en el camino, en este caso los accesorios, que de alguna u otra manera interfieren en el correcto flujo del agua en la tubería.

Por otro lado, el número de Reynolds nos permite decir que el flujo de la tubería sigue un régimen turbulento lo que se encuentra dentro de lo esperado para un flujo descargado por una bomba de tipo centrífuga como la que se encuentra en el tanque de neutralización.

Además, la potencia requerida teóricamente por la bomba es de 0,1482 kW mientras que la que se le está suministrando realmente es de 2,2 kW, valor que se encuentra por encima de lo que realmente se necesita por lo que se puede decir que la bomba se encuentra sobredimensionada para descargar un caudal de 3 l/s.

Tabla N° 15. Resultados obtenidos para los cálculos de pérdidas de carga.

<b>Parámetro</b>	<b>Resultado</b>
Número de Reynolds	$Re = 4678$ (adim)
Factor de Darcy	$f = 0,039$ (adim)
Perdidas Tubería por Fricción	$h_L^f = 0,0237$ m
Perdidas Tubería Menores	$h_L^m = 0,0388$ m
Perdidas en Tuberías	$h_L = 0,0625$ m
Perdidas de la bomba	$h_A = 5,0625$ m
Potencia de la bomba Teórica	$W_A = 0,1482$ kW
Potencia Real de la bomba	$W_{AReal} = 2,2$ kW

Fuente: Elaboración propia.

#### **4.4. Estudiar la variación de la demanda química de oxígeno total y la demanda química de oxígeno soluble del afluente de la PTAR e identificar el impacto de dichos parámetros en el funcionamiento del CAF.**

Debido a que el agua residual está compuesta por los desechos y pérdidas de helados en el área de producción, la demanda química de oxígeno (DQO) se ve directamente influenciada por los diferentes factores que intervienen y afectan dicho proceso. En la

figura N° 21 se pueden observar los resultados de DQO y DQOs obtenidos para los afluentes y efluentes del sistema físico-químico.

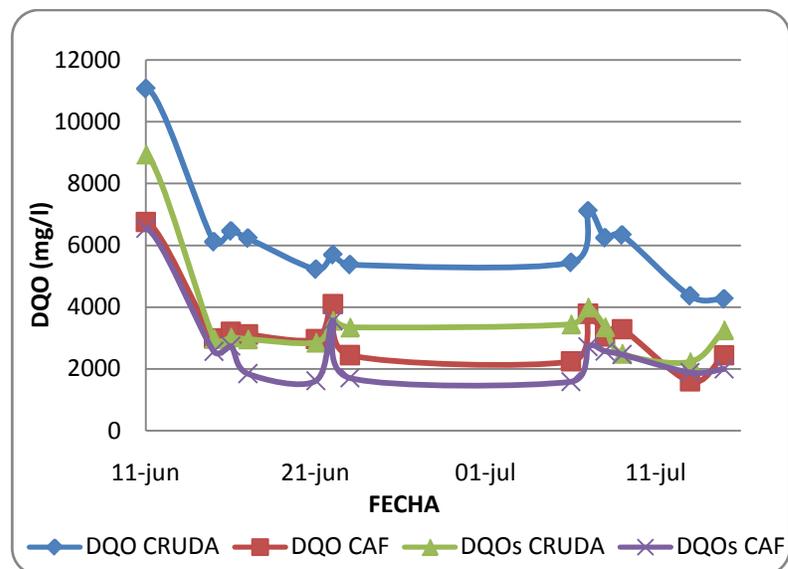


Figura N° 21. Curva de demanda química de oxígeno.

Se obtuvo que los valores para la DQO del agua cruda superan significativamente la DQO del agua del CAF, situación similar ocurre con la DQOs ya que la DQOs del CAF se encuentra levemente por debajo de la DQOs de entrada al sistema.

Además, se evidencia una leve relación de dependencia entre estos parámetros ya que las fluctuaciones de la curva de DQO del agua cruda se corresponden con las fluctuaciones de la curva de DQO del CAF, lo que indica que mientras más alta sea la DQO a la entrada del sistema, más alto será este parámetro a la salida del mismo. Esto se debe a que la cantidad de productos químicos agregada al sistema para un caudal establecido tiene poca variación, lo que permite remover aproximadamente la misma cantidad de materia orgánica en el sistema, es por esto que se observa que a mayor DQO en la entrada, mayor es la DQO a la salida.

En la figura N° 22 se presenta una gráfica de la remoción de DQO en el sistema físico-químico de tratamiento de aguas. Se puede observar que este parámetro es bien inestable lo cual es atribuido directamente a la variabilidad de la calidad del agua a la entrada, lo que genera la realización de ajustes en la dosificación de productos coagu-

lantes y floculantes, lo que a su vez puede generar descontrol en el sistema, ocasionando las fluctuaciones observadas en la mencionada figura.

Sin embargo, a pesar del descontrol reiterado en el sistema, se tiene un porcentaje de remoción de DQO por encima de los parámetros de diseño. Esto se debe a que el sistema físico-químico plantea la remoción de sólidos por flotación y debido a que la mayor cantidad de sólidos que presenta el agua de este sistema son grasas, las cuales aportan DQO y tienden a flotar, lo que favorece e incrementa la remoción de estas.

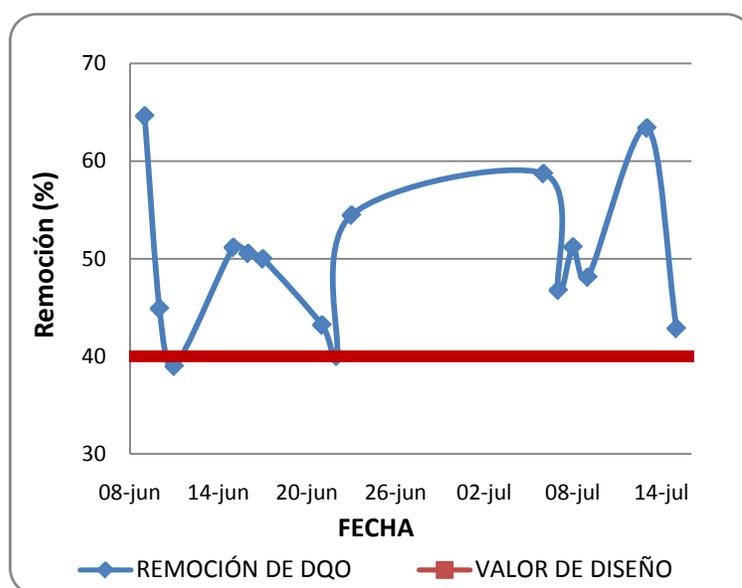


Figura N° 22. Remoción de DQO

Por otro lado, también se evalúa la remoción de la Demanda Química de Oxígeno soluble debido a la relación de esta con la DQO total discutida anteriormente.

La DQOs representa toda aquella materia orgánica presente soluble en el sistema. Es importante mencionar que el sistema por flotación se encuentra encargado de remover todo aquel material flotante, no disuelto, en el agua por lo que la remoción de este parámetro debería ser nula, lo que contradice los resultados obtenidos en el presente trabajo.

En la figura N° 23 se muestra la remoción de DQOs en el sistema. Como se puede observar es un parámetro de gran variabilidad, fluctúa desde el 0% hasta aproximadamente un 60%. En esta gráfica se evidencian tres puntos en donde la remoción se

encontró por debajo del 10%, estos casos se atribuyen a momentos de descontrol del sistema, lo que indica que al momento de tomar la muestra al agua del CAF este no se encontraba completamente controlado, ya que si se comparan estas tres fechas con la gráfica anterior se puede observar que la remoción de DQO se encontró también en sus valores más bajos, lo que corrobora lo anteriormente mencionado.

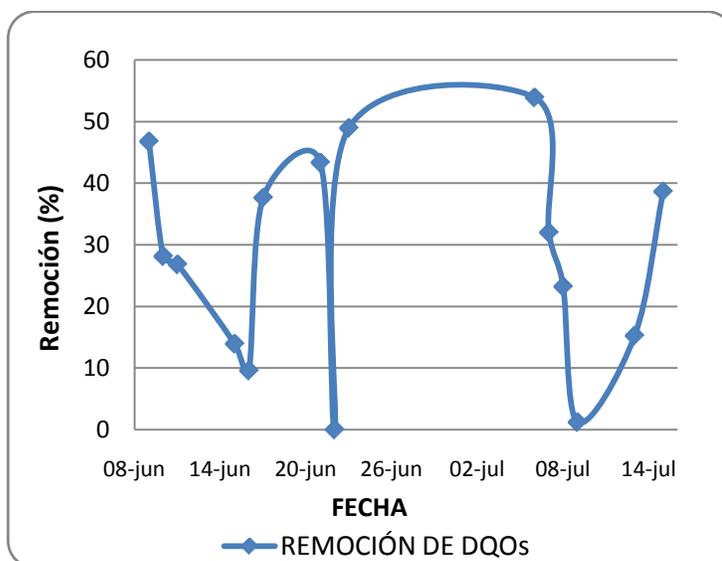


Figura N° 23. Remoción de DQOs.

#### 4.5. Determinar la relación entre el caudal de entrada al tanque de mezcla rápida y la dosificación de coagulante y floculante, en función del flujo de descarga real de las bombas de dosificación.

Establecer una relación matemática entre el caudal de agua de la planta y el flujo de descarga real de las bombas de dosificación es de vital importancia para la optimización del proceso ya que esto les permite a los operadores tener una medida aproximada rápida de la cantidad de químicos que se está dosificando en un instante dado en la planta. Además que resulta útil ya que luego de realizadas unas pruebas de jarro en el laboratorio se establece una cantidad de químicos necesaria para lograr una adecuada clarificación, la cual puede ser extrapolada inmediatamente a la planta observando las tablas obtenidas que son mostradas en el apéndice C.

En la tabla N° 16 se presenta la relación obtenida para un caudal de 3 l/s, el cual es el caudal promedio de trabajo de la planta. Comparando la concentración de coagulante dosificada a la planta con las cantidades ideales obtenidas en las pruebas de jarro (estudio que se presenta en el próximo objetivo) se puede percibir que estos valores se encuentran dentro de un mismo rango, entre 1000 y 1500 ppm, por lo que se verifica lo que comentan los operadores de la planta, que trabajan a este caudal ya que les proporciona mejor clarificación en el sistema.

Tabla N° 16. Relación entre en caudal de agua y la dosificación de coagulante en función del flujo de descarga real de la bomba.

<b>Caudal Agua (l/s)</b>	<b>Longitud de carrera de la bomba (%)</b>	<b>Caudal bomba dosificadora (ml/s)</b>	<b>Concentración de Coagulante (ppm)</b>	<b>Preparación de coagulante (% m/v)</b>
3	0	0	0	6
3	10	59	1160	6
3	20	61	1199	6
3	30	63	1238	6
3	40	65	1276	6
3	50	67	1315	6
3	60	69	1354	6
3	70	71	1393	6
3	80	73	1431	6
3	90	75	1470	6
3	100	77	1508	6

Fuente: Elaboración propia.

Tomando en cuenta que la dosificación de coagulante suele ser la más importante en el sistema, ya que este químico es el encargado de neutralizar las moléculas y clarificar el agua, la dosificación de floculante es también de gran importancia ya que este es el encargado de agrupar las moléculas neutralizadas en flóculos de mayor tamaño. Se puede observar en la tabla N° 17 que este químico está siendo dosificado comúnmente en exceso ya que si se comparan estas dosis con las obtenidas en las pruebas de jarro (apéndice C) se puede ver que estas se encuentran muy por debajo, de hecho, no superan los 10 ppm mientras que actualmente se dosifica una dosis mínima de 60 ppm a la concentración de 0,6 % m/v.

Cabe destacar que durante los estudios realizados en la planta, se destacó en reiteradas oportunidades la dosificación en exceso de floculante. Para esto, no se dispone de un análisis de laboratorio que permita cuantificar dicho exceso, pero si se puede advertir observando las paredes del vertedero del CAF ya que este producto es un polímero de gran viscosidad que suele acumularse como un gel en las paredes del equipo cuando se tiene un exceso del mismo. Esto no trae consecuencias para el sistema físico-químico ya que se sigue obteniendo una buena clarificación en el agua, pero el sistema secundario o biológico si se ve afectado por lo que se debe reducir la concentración de preparación de este producto de manera que se sigan utilizando las mismas bombas y no se produzca exceso en la dosificación.

Tabla N° 17. Relación entre en caudal de agua y la dosificación de floculante en función del flujo de descarga real de la bomba.

Caudal Agua (l/s)	Longitud de carrera de la bomba (%)	Caudal bomba dosificadora (ml/s)	Concentración de Floculante (ppm)	Preparación de Floculante (% m/v)
3	0	0	0	0.6
3	10	30	60	0.6
3	20	33	66	0.6
3	30	36	72	0.6
3	40	40	78	0.6
3	50	43	84	0.6
3	60	46	90	0.6
3	70	49	96	0.6
3	80	52	102	0.6
3	90	55	108	0.6
3	100	58	114	0.6

Fuente: Elaboración propia.

#### **4.6. Establecer una relación entre la dosificación de coagulante y floculante aplicado al sistema, y los parámetros de turbidez y conductividad.**

La determinación del comportamiento de un agua frente al tratamiento de coagulación química, así como la determinación de las dosificaciones de coagulante, floculante y el pH óptimo de reacción se realiza mediante ensayos de laboratorio llamados

pruebas de jarro. En estas pruebas se simulan las etapas del proceso como lo son la mezcla rápida, mezcla lenta y flotación.

A fines de alcanzar el objetivo planteado, en primera instancia se realizó gran variedad de pruebas de jarro de manera de determinar el pH óptimo de coagulación, esta prueba se realizó en tres ocasiones y en todas se obtuvieron resultados similares.

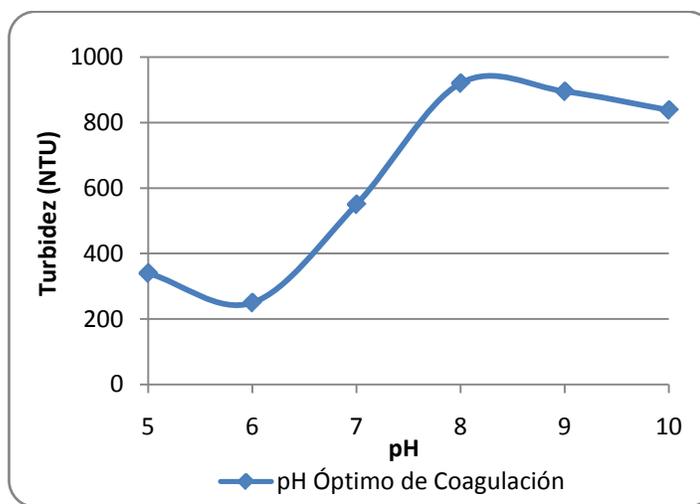


Figura N° 24. pH óptimo de coagulación (prueba 1).

En estas pruebas se varió el pH del agua cruda desde 5 hasta 10 (rango proporcionado por el fabricante) para obtener la coagulación del hidroxiclорuro de aluminio y se graficó la turbidez del agua remanente en función del pH de la muestra por lo que para establecer el pH óptimo de coagulación se debe determinar el punto mínimo de la curva, es decir, el que proporcione menor turbidez.

Según los resultados mostrados en la figura N° 24, se tiene que el punto mínimo de la curva se obtuvo para un valor de pH de 6 lo que indica que el coagulante presenta mayor rendimiento en aguas ácidas, es decir, pH por debajo de 7 pero, considerando que la sustancia coagulante tiene un pH de 4 aproximadamente, el pH final de la solución se encuentra por debajo del valor inicial lo que no es conveniente para el sistema biológico consecutivo. Utilizando un pH de 7 se obtiene menor clarificación que con un pH de 6, pero se beneficia el sistema de reactores biológicos ya que el pH final es un poco mayor (los resultados se encuentran tabulados en el apéndice C).

Las experiencias fueron realizadas en días diferentes por lo que las características de las muestras variaron en cada una de las pruebas como se puede observar en la tabla N° 18. Con estos resultados se puede decir que a pesar de que la carga orgánica del sistema varíe (DQO, SST, grasas), el pH de coagulación óptimo se mantiene constante para el sistema estudiado ya que esta es una propiedad del coagulante.

Tabla N° 18. Características del agua cruda en pruebas de pH de coagulación.

Experiencia	DQO (mg/l)	Grasas (mg/l)	SST (mg/l)	pH óptimo (adim.)
1	4270	991	1970	6
2	6200	352	1313	6
3	3460	589	1650	6

Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, se tiene que el valor de pH óptimo de coagulación obtenido mediante las pruebas realizadas se encuentra fuera del rango de pH establecido en el sistema de neutralización de la PTAR (entre 6,5 y 8,5), lo cual no afecta significativamente el rendimiento del coagulante en el proceso ya que se encuentra bastante cercano al valor que se determinó como óptimo. Además, previamente se estableció que el pH del sistema neutralización es medido en la primera piscina y que este presenta una caída de pH de una unidad cuando el agua pasa a la segunda sección del tanque, lo que hace que el error asociado a este sistema favorezca un poco el proceso de coagulación en este aspecto.

Estudiando el comportamiento de las características del agua, específicamente los parámetros de turbidez y conductividad del agua tratada, con respecto a la dosificación óptima de coagulante obtenida en las pruebas de jarro y representados en la figura N° 25, se observa que no existe ningún tipo de relación entre estos parámetros.

La turbidez del agua disminuye drásticamente con el tratamiento pero, no tiene ninguna relación la turbidez del agua cruda ni la del agua tratada con la cantidad de coagulante aplicado para lograr la clarificación. Además, se observa que el valor de la conductividad fluctúa independientemente la dosis de coagulante necesaria para el sistema.

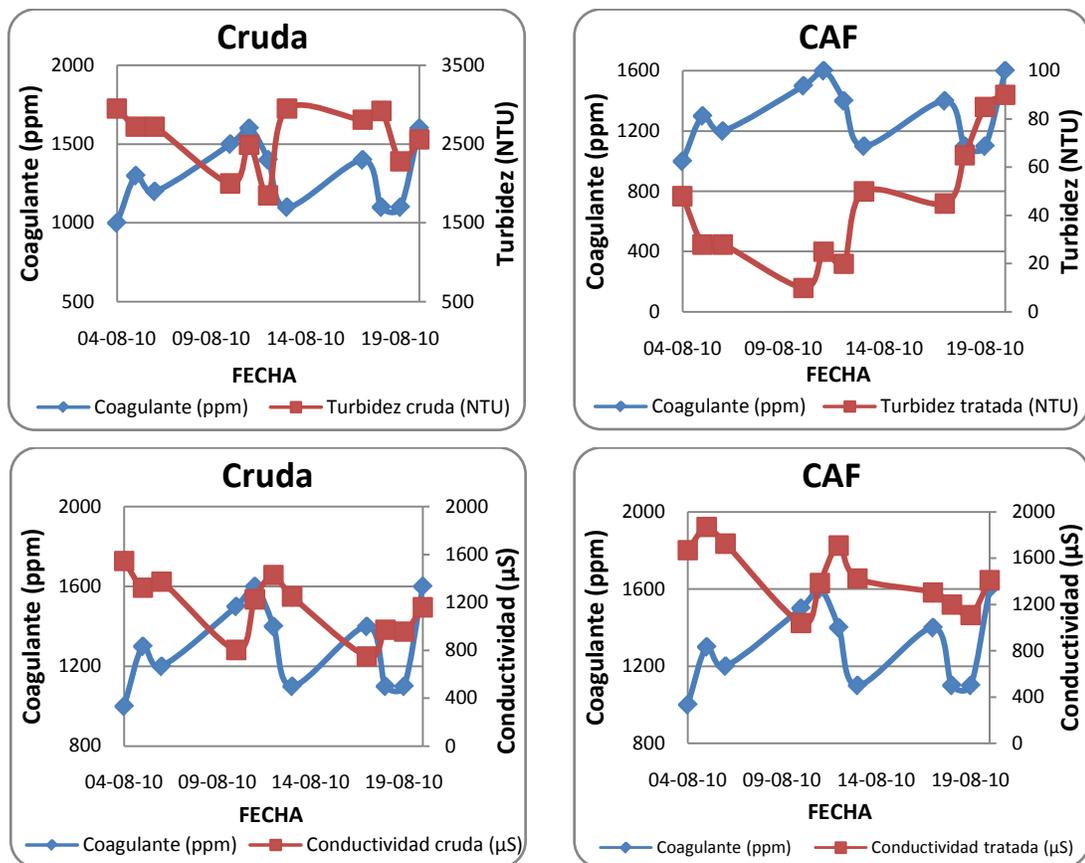


Figura N° 25. Variación de la turbidez y de la conductividad del agua para diferentes dosis de coagulante.

También, se estudió la variación las mediciones de turbidez y conductividad para la dosificación óptima de floculante aplicado en las pruebas de jarro y se observó que no existe ningún tipo de relación entre estos parámetros (figura N° 26), la cantidad de floculante aplicada tiende a mantenerse en valores bajos, menores a 10 ppm, mientras que la conductividad del agua varía desde 700 hasta 2000  $\mu\text{S}$  aproximadamente y la turbidez puede ir desde valores cercanos a cero hasta 3000 NTU. Como se puede ver, cada uno de estos parámetros fluctúa de diferente forma por lo que no se puede establecer relación entre estos.

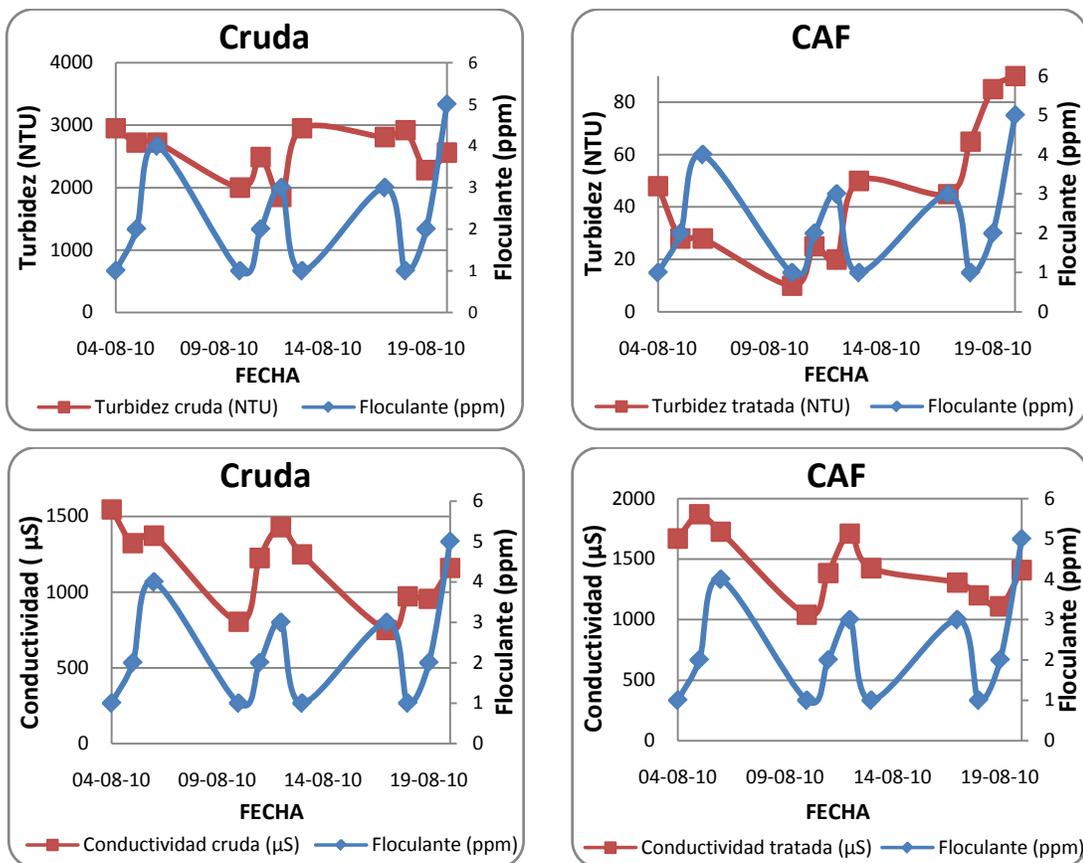


Figura N° 26. Variación de la turbidez y de la conductividad del agua para diferentes dosis de floculante.

#### 4.7. Establecer una relación entre el caudal de agua que ingresa al CAF y la altura del vertedero o playa del equipo.

La altura del vertedero del CAF juega un papel importante en la optimización del proceso de separación de sólidos en el equipo de flotación, ya que permite aumentar o disminuir discretamente el volumen de agua en el equipo, permitiendo así subir o bajar el nivel líquido en el tanque de manera que las paletas de la barredora del CAF tengan un mejor arrastre del lodo sobrenadante cuya imagen se muestra en el apéndice A.

El rango de desplazamiento vertical del vertedero es amplio pero la altura efectiva del mismo no es así, ya que se encuentra limitada por la profundidad de las paletas de la barredora. El vertedero tiene una altura mínima de funcionamiento de 48 cm, medido

desde el fondo, pero no se encuentra dentro de una altura efectiva debido a que las paletas se encuentran desalineadas lo que no permite un arrastre homogéneo del lodo por lo que, a fines de este estudio, estos datos fueron descartados. Además, se observó que el vertedero tiene una altura máxima efectiva de 53 cm, ya que a esta altura la cantidad de agua que cuele hacia el tornillo sin fin es relativamente poca, siendo mayor cuando el caudal de agua es mayor, ya que se tiene mayor circulación dentro del tanque.

Tabla N° 19. Altura del vertedero para un caudal de 3 l/s.

Caudal	H (cm)	Turbidez (NTU)	Peso Envase (gr)	Peso Lodos (gr)	Peso Final (gr)	Humedad (%)
3 L/s	49	50	4.0414	2.1828	4.3440	86.1371
	50	40	4.0326	2.0959	4.3833	83.2673
	51	36	4.0254	2.3374	4.4130	83.4175
	52	33	4.0033	2.3861	4.1397	94.2836
	53	28	4.0534	2.4595	4.1340	96.7229

Fuente: Elaboración propia

Los resultados obtenidos para las pruebas realizadas en el vertedero a un caudal de 3l/s se muestran en la tabla N° 19, el resto de los resultados se muestran en el apéndice C. Con estos resultados se puede decir que para la turbidez del agua no se evidencia variación significativa para las diferentes alturas del vertedero, sin embargo, se observa que disminuye a medida que la altura del vertedero aumenta, esto se debe a que se genera un leve aumento en el nivel de líquido en el tanque ocasionando que el lodo sobrenadante sumado a un gran volumen de agua se descargue hacia el tornillo sin fin, lo que implica que prácticamente todo el lodo se descarte disminuyendo así la turbidez del agua. Caso contrario sucede al disminuir la altura del vertedero, ya que la superficie del líquido baja ocasionando que las paletas de la barredora no tengan un buen contacto con el lodo lo que implica que el lodo permanece mayor tiempo flotando en el tanque, por lo que este pierde su flotabilidad y sedimenta poco a poco, para luego ser arrastrado por el agua del fondo, aumentando así la turbidez de la misma.

El porcentaje de humedad del lodo es un parámetro más variable de acuerdo a la altura del vertedero, lo que corrobora la información expuesta previamente. Se observa que a medida que la altura del vertedero aumenta, aumenta la cantidad de agua en el lodo y viceversa, por lo que tomando en cuenta la longitud de las paletas del equipo, se puede decir que para un caudal de 3 l/s la altura óptima del vertedero es de 50 cm.

Tabla N° 20. Altura del vertedero óptima para diferentes caudales.

<b>Caudal (l/s)</b>	<b>H (cm)</b>	<b>Turbidez (NTU)</b>	<b>Peso Envase(gr)</b>	<b>Peso Lodos(gr)</b>	<b>Peso Final(gr)</b>	<b>Humedad (%)</b>
<b>2</b>	49	40	4.0054	2.8816	4.4384	84.9736
<b>3</b>	50	40	4.0326	2.0959	4.3833	83.2673
<b>4</b>	51	190	4.0414	2.0018	4.4853	77.8250
<b>5</b>	50	70	3.9991	2.4957	4.4000	83.9364
<b>6</b>	50	170	3.9975	2.4957	4.3678	85.1625

Fuente: Elaboración propia

Considerando el resto de los resultados obtenidos los cuales se muestran en el apéndice C, se realizó una selección de los valores de altura óptima para los diferentes caudales y se presentan en la tabla N° 20. En esta se puede observar que para los diversos caudales de trabajo de la planta (de 2 a 6 l/s), la altura óptima que más se repite es de 50cm.

Además, es importante mencionar que al inicio de este estudio, la altura del vertedero se encontraba fija en 51 cm debido a que es imposible movilizarlo sin la ayuda de un equipo de fuerza, es por esto que se recomienda colocar una instalación mecánica que facilite la movilización del mismo.

De acuerdo a los resultados obtenidos se recomienda fijar el vertedero a una altura de 50cm ya que a esta altura resulta eficiente para los diferentes caudales estudiados mientras se realiza una instalación mecánica apropiada que permita manipular fácilmente la altura del vertedero para diferentes caudales establecidos.

## CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos se concluye:

- Se verificó que el ajuste de pH en el tanque de neutralización se encuentra dentro de los valores teóricos ideales establecidos en el diseño de la planta. El pH de la segunda sección del tanque de neutralización presenta una disminución una unidad respecto a la primera sección.
- Se debe utilizar el coagulante L-801.
- El polímero floculante debe prepararse a una concentración máxima de 5% m/v.
- Las curvas de calibración de las bombas de dosificación de floculante al CAF poseen un ajuste lineal el cual difieren notablemente de las curvas teóricas proporcionadas por el fabricante.
- La remoción actual de DQO, SST y grasas en el sistema se encuentra cercana a los parámetros de diseño del sistema.
- Los parámetros de diseño del afluente al sistema biológico se encuentran por debajo de los parámetros de diseño del efluente del sistema físico-químico.
- Las pérdidas de carga generadas por la tubería y los accesorios son despreciables con respecto a las pérdidas generadas por la diferencia de altura entre los tanques.
- El sistema físico-químico es capaz de remover DQO soluble.
- La concentración de DQO, SST y grasas no afecta el pH de coagulación óptimo para el sistema estudiado.
- No existe un parámetro de medición instantánea y puntual que permita relacionarse con la dosificación de coagulante y floculante necesaria para obtener una óptima clarificación.
- La altura óptima para la colocación del vertedero del CAF es de 50 cm, para los diferentes caudales de trabajo en la planta.

## PROPUESTAS Y RECOMENDACIONES

Se pueden mencionar las siguientes recomendaciones:

- Limpiar el tanque de neutralización periódicamente con abundante agua y terpeno de naranja, de manera de remover el material orgánico que se acumula en el fondo y en las paredes de dicho tanque de forma de evitar la descomposición y acidificación de estos componentes en el sistema.
- Colocar un agitador mecánico en la segunda sección del tanque de neutralización de manera de evitar la acumulación y posterior acidificación de material flotante en el mismo.
- Trabajar con el coagulante L-801 ya que este presenta mejor rendimiento en remoción de material orgánico suspendido presente en el sistema.
- Preparar el polímero floculante mas diluido o activar el sistema de dilución en línea instalado en las tuberías de descarga de las bombas de dosificación.
- Contactar a los proveedores de productos químicos de manera de realizar pruebas con otros productos floculantes que permitan obtener una buena separación de sólidos en el CAF, con un aporte mínimo de DQO al sistema.
- Realizar en cada parada de planta una limpieza de las bombas de dosificación, haciendo circular agua limpia por las mismas, de manera de evitar la acumulación de químicos en el interior para prolongar la vida útil de los equipos.
- Realizar las modificaciones necesarias en las instalaciones hidráulicas de las bombas de dosificación de coagulante y floculante del sistema de manera que se ajusten a las especificaciones proporcionadas por el fabricante.
- Colocar una instalación mecánica que facilite la movilización del vertedero o playa de la unidad de flotación CAF.
- Fijar el vertedero a una altura de 50cm ya que esta altura resulta eficiente para los diferentes caudales estudiados mientras se realiza una instalación mecánica apropiada que permita manipular eficientemente la altura del vertedero para diferentes caudales establecidos.

**BIBLIOGRAFÍA**

1. Ardila, D. y Salvo, A. (2006). Elaboración de Instructivos de Operación para reducir las Pérdidas en una Fábrica de Helados. Trabajo Especial de Grado. Universidad Central de Venezuela.
2. Blanco, E., Velarde, S. y Fernández, J. (S.F). Sistemas de bombeo. Universidad de Oviedo, Gijón.
3. Carrillo, G. y Marciales, L. (1998). Análisis de aguas y líquidos residuales, y ensayos de laboratorio. Venezuela: Editorial innovación tecnológica, Facultad de Ingeniería – Universidad Central de Venezuela.
4. Cengel, Y y Cimbala, J. (2007). Mecánica de fluidos. Fundamentos y aplicaciones. México. McGraw-Hill Interamericana.
5. Czysz, W. y otros (1991). Manual de disposición de aguas residuales. Origen, descarga, tratamiento y análisis de las aguas residuales. Lima, Perú. Tomo II.
6. Eckenfelder, W. (1980). Principles of water quality management. Boston: Cbi Publishing Company, Inc.
7. Freitas, L. (2008). Minimización de los efluentes líquidos de la planta de Productos EFE y mejoramiento del sistema de tratamiento de aguas residuales”. Trabajo de grado, ingeniería química, Universidad Central de Venezuela. Caracas.
8. Glesceri, Greenberg y Trussell. (1989). Standard Methods.
9. Hydrocal. (1994). Cavitation Air Flotation (CAF) – Operation & Maintenance Manual. EEUU: Autor.
10. Isern, Augusto. (1999). Tratamiento de Aguas Residuales Empresas Polar. [Página web]. Web de Empresas Polar. Disponible: <http://portal.netpolar.com/irj/portal>. [Consulta: 10 de mayo de 2010].
11. Janssen, D. (1999). Manual de procesos de tratamiento. Aquasbr sequencing batch reactor. Rockford Illionois U.S.A: Aqua-Aerobic Systems, INC.
12. Kemmer, F. (1989). Manual del agua. Su naturaleza, tratamiento y aplicaciones. México: Mcgraw-hill. Tomo I.

13. Keeny, K., Doores, T. (1994). Ciencia y tecnología de helados. [curso]. Caracas: Productos EFE, S.A.
14. Lipesa, S.A. (2006). Boletín técnico. L-801. Valencia, Venezuela: Autor.
15. Metcalf & Eddy, Inc. (1991). Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse (3ª. Ed.). United States: Irwin / McGraw-Hill.
16. MQ Corporation C.A. (2004). Boletín Técnico MQ-132. Valencia, Venezuela: Autor.
17. MQ Corporation C.A. (2004). Boletín Técnico MQ-140. Valencia, Venezuela: Autor.
18. Normas para la clasificación y el control de la calidad de los cuerpos de agua y vertidos o efluentes líquidos (Decreto No. 883). (1995, Diciembre 18). Gaceta Oficial de la República de Venezuela, 5.021 (Extraordinario), Diciembre 18, 1995.
19. Pineda, K. (2009). Diseño de un control estadístico de proceso para garantizar el cumplimiento del contenido neto declarado en los helados acorde a la ley nacional de metrología. Trabajo de Especial de Grado, Ingeniería Química, Universidad Central de Venezuela. Caracas.
20. Prominent. (2010). Instrucciones y consideraciones técnicas para la instalación de bombas dosificadoras volumétricas. Valencia, Caracas: Autor.
21. Ramírez, D. (2008). Evaluación de la capacidad de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) de Productos EFE S.A. ubicada en Caracas". Trabajo de Grado, Ingeniería Química, Universidad Metropolitana. Caracas.
22. Sánchez, R. y otros. (2008). Acondicionamiento de Aguas para la Industria y Manejo de Efluentes Líquidos Industriales. Caso de Aplicación: Fabricación de Helados. Principios Fundamentales y Aspectos Operacionales. [Curso]. Caracas: Universidad Central de Venezuela. Facultad de Ingeniería.
23. Scheibler, U. (S.F). Helados: lo que hay que saber. [Página web]. Disponible: <http://ibox.saporiti.com.ar/news/viewnote.aspx?id=69> [Consulta: 11 de mayo de 2010].

24. Vargas, L. (2004). Tratamiento de agua para consumo humano. Plantas de filtración Rápida. Manual I: Teoría. Perú: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. Disponible en: <http://www.cepis.ops-oms.org/bvsatr/fulltext/tratamiento/manual4/indice.pdf> [Consulta: 20 de agosto de 2010].

## APÉNDICE A



Figura A- 1. Tanque Buffer



Figura A- 2. Tanque de Neutralización.



Figura A- 3. Equipo de Flotación CAF



Figura A- 4. Tanques de preparación de coagulante y floculante.



Figura A- 5. Bombas de dosificación.



Figura A- 6. Instalación bombas de dosificación.



Figura A- 7. Filtro Banda.

## APENDICE B

SIMBOLOGÍA UTILIZADA EN LA REALIZACIÓN DE LOS DIAGRAMAS DE FLUJO DE PROCESO										
<p><b>EQUIPOS DE ALMACENAMIENTO Y MEZCLADO</b></p> <p>T-XXX Tanque para almacenamiento de químicos</p> <p>T-XXX Tanque para almacenamiento de agua</p> <p>T-XXX Tanque para tratamiento químico con agitación</p> <p>T-XXX Tanque para tratamiento químico con agitación</p>		<p><b>OTROS EQUIPOS</b></p> <p>S-XXX Equipo de decantación</p> <p>MA-XXX Mezclador Mecánico</p> <p>K-XXX Aerisador flotante</p> <p>I-XXX Reactor Biológico</p> <p>S-XXX Equipo de separación de sólidos</p> <p>FIL-101 Filtro de separación de sólidos</p>								
<p><b>EQUIPOS DE POTENCIA</b></p> <p>K-XXX A/B/C/D Sopladores</p> <p>P-XXX A/B Bomba centrífuga</p> <p>P-XXX A/B Bomba dosificadora</p>		<p><b>CORRIENTES, INDICADORES Y CONTROLADORES</b></p> <p>Corriente de Proceso</p> <p>Corriente Secundaria Y Servicios</p> <p>Entrada/Salida de Materia Prima/Producto</p> <p>A o Desde DTI X Conexión entre Planos</p> <p>Válvula de Control</p> <p>Válvula de Paso Rápido</p> <p>Válvula de Paso Rápido Cerrada</p> <p>V-70 Válvula de Mariposa</p> <p>V-71 Válvula de Mariposa Cerrada</p> <p>LC Control de Nivel</p> <p>Señal Eléctrica</p>								
<p>SIMBOLOGÍA</p> <p>Revisado:</p> <p>Aprobado:</p>	<p>DIBUJADO:</p> <p>Malaver, Yesly</p>	<p>Notas:</p>	<p>SIMBOLOGÍA UTILIZADA PARA LA REALIZACIÓN DEL DTI</p> <table border="1"> <tr> <td>ESCALA: S/E</td> <td>PROYECTO No: 01/2010</td> <td>ARCHIVO No:</td> </tr> <tr> <td>PLANO No 0/4</td> <td>DOCUMENTO No:</td> <td>REVISADO: Octubre 2010</td> </tr> </table>	ESCALA: S/E	PROYECTO No: 01/2010	ARCHIVO No:	PLANO No 0/4	DOCUMENTO No:	REVISADO: Octubre 2010	<p>UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA</p>
ESCALA: S/E	PROYECTO No: 01/2010	ARCHIVO No:								
PLANO No 0/4	DOCUMENTO No:	REVISADO: Octubre 2010								

Figura B- 1. Simbología de los Diagramas de Tuberías e Instrumentación

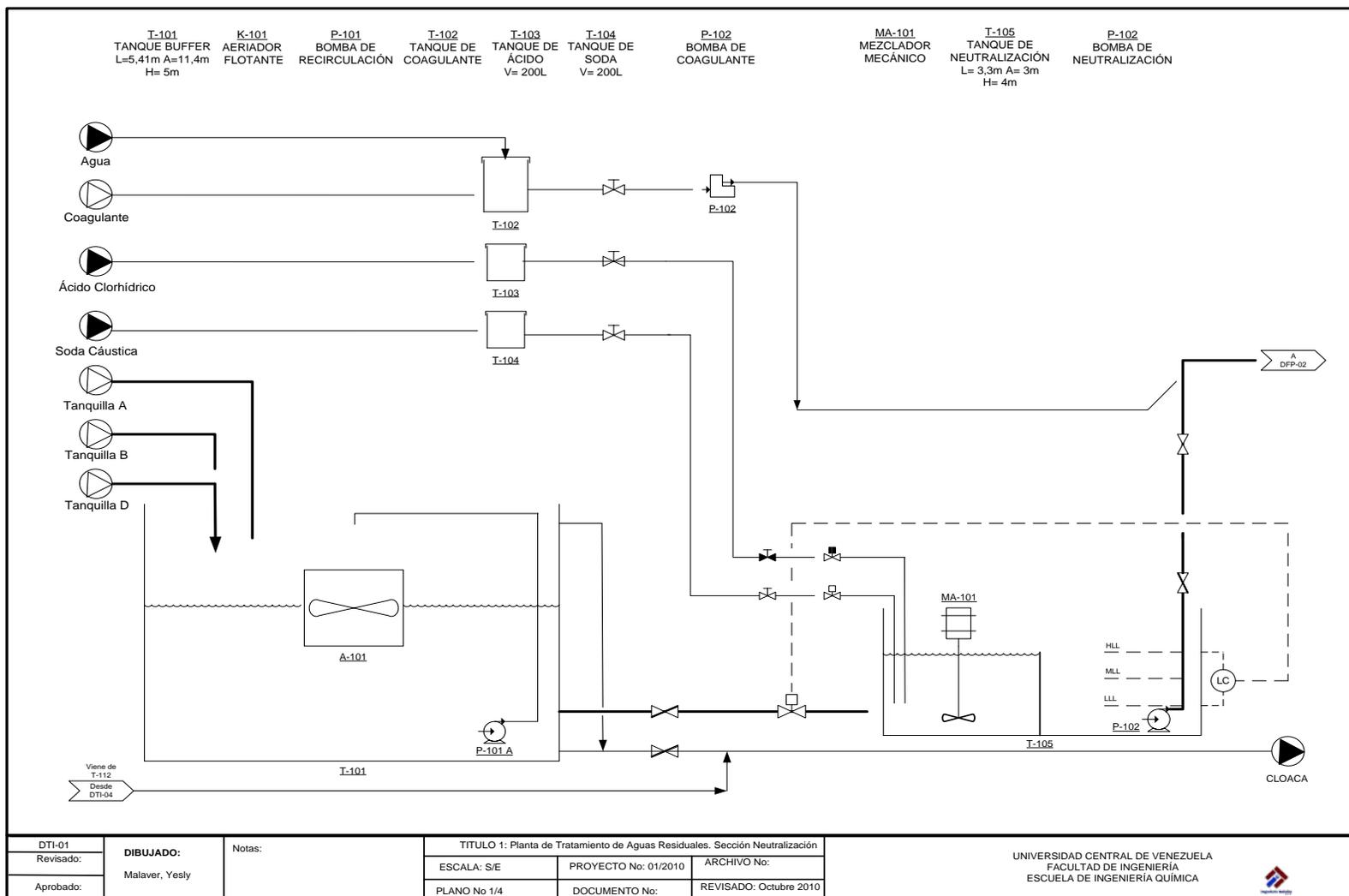


Figura B- 2. Diagrama de Tuberías e Instrumentación 01

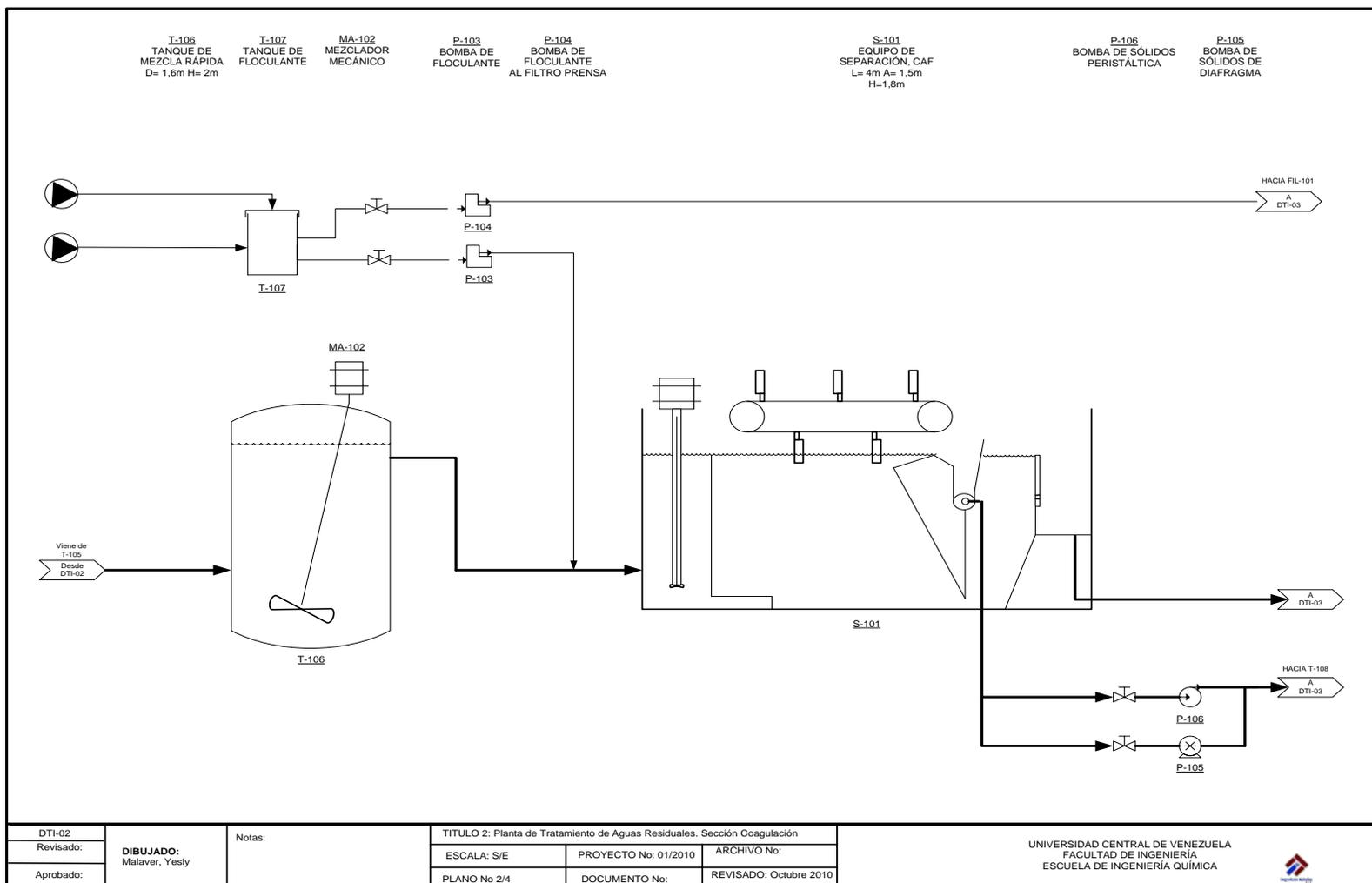


Figura B- 3. Diagrama de Tuberías e Instrumentación 02



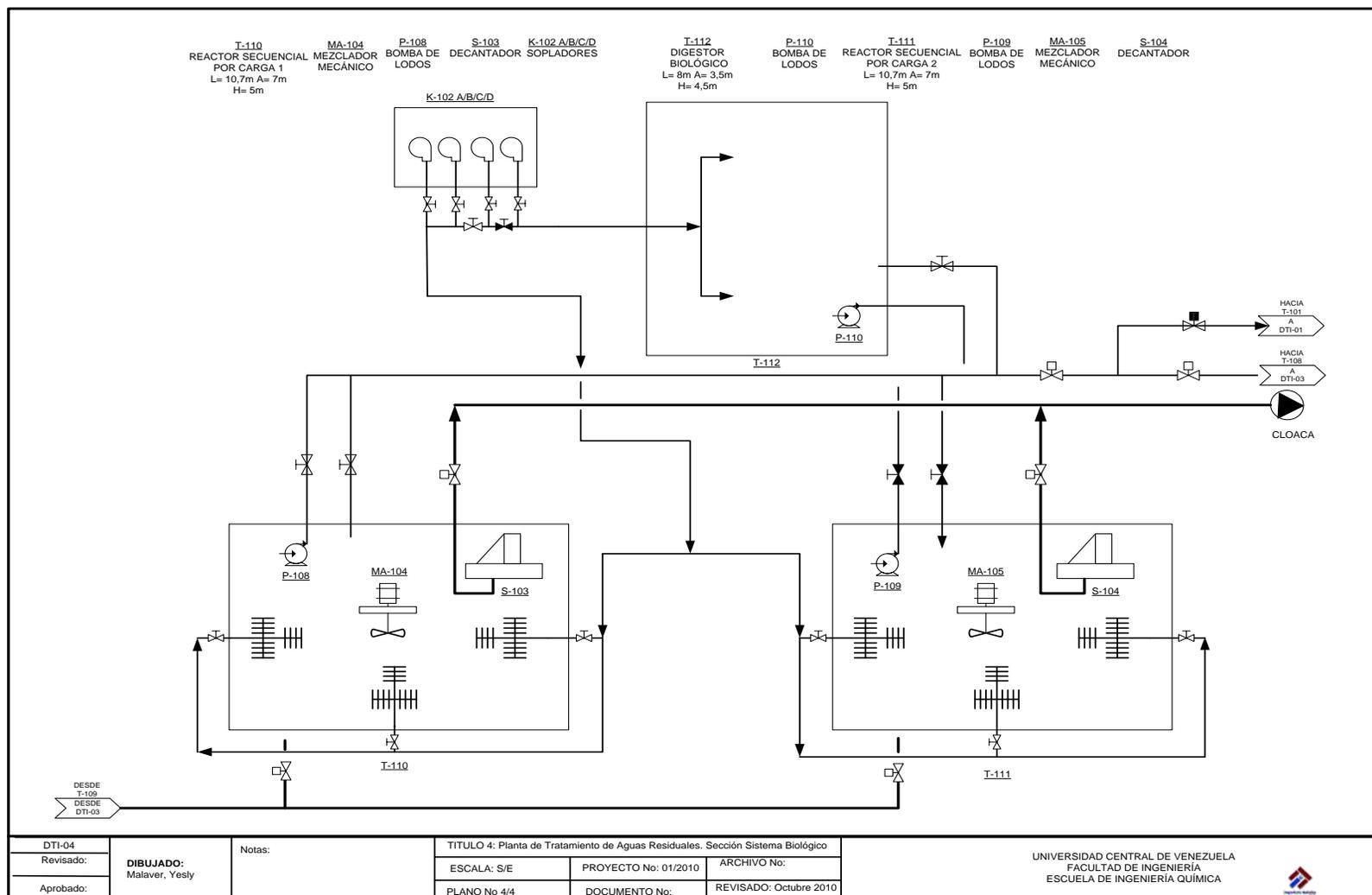


Figura B- 5. Diagrama de Tuberías e Instrumentación 04

APÉNDICE C

Tabla C- 1. Variación del pH en el sistema de neutralización.

Fecha	pH Buffer (adim)	pH Neutralización 1 (adim)	pH Neutralización 2 (adim)	pH CAF (adim)
05-Apr	9.2	7.8	7.2	5.6
06-Apr	10.12	9.28	8.8	5.84
07-Apr	8.9	7.6	7	5.23
08-Apr	9.3	7.7	6.9	6.4
12-Apr	4.5	7.13	6.2	5.5
13-Apr	8	7.48	6.2	5.57
14-Apr	9.1	7.1	5.52	5.53
15-Apr	9.4	7.85	6.4	5.64
19-Apr	8.9	7.24	6.5	5.54
20-Apr	7.2	7.81	7	5.99
21-Apr	6.8	7.4	6.8	5.5
22-Apr	7.44	8.37	7.5	6.94
26-Apr	6.2	7.71	7.2	6.58
27-Apr	8.44	7.2	6.2	6.3
28-Apr	9.5	7.3	6.9	6.4
29-Apr	6.89	8.76	8.1	6.85
04-May	6.37	9.6	9.1	6.82
05-May	4.61	6.2	5.6	5.2
06-May	9.32	8.4	7.5	6.74

Fuente: Elaboración propia

Tabla C- 2. Análisis de aguas utilizando el coagulante MQ-132

Fecha	Muestra	Ph (adim)	Conduc (µS)	DQOs (mg/l)	DQO (mg/l)	Grasas (mg/l)	SST (mg/l)	Turbidez (NTU)
06-Apr	Cruda	6,04	1217	3350	6570	646	2166	2010
06-Apr	CAF	5,49	1743	4130	4800	186	67	130
07-Apr	Cruda	10.23	1323	1820	4250	819	1773	1760
07-Apr	CAF	5.74	1722	4000	4380	99	560	230
08-Apr	Cruda	10.2	1887	3320	5880	904	2878	1900
08-Apr	CAF	5.5	3250	3380	4490	130	846	320
09-Apr	Cruda	9.76	1430	3630	5590	362	1173	1780
09-Apr	CAF	6.83	1778	3810	3850	85	433	250

Fuente: Elaboración propia

Tabla C- 3. Aforo bomba de coagulante al CAF.

BOMBA DE COAGULANTE CAF					
Longitud de carrera (%)	Tiempo 1 (s)	Tiempo 2 (s)	Tiempo 3 (s)	Tiempo Promedio (s)	Velocidad (l/h)
0	21	21.5	22	21.5	167
5	20.88	19.34	16.49	18.90	190
10	16.69	16.15	15.63	16.16	223
20	16.22	16.08	15.92	16.07	224
30	15.97	15.81	15.92	15.90	226
40	13.89	13.77	13.98	13.88	259
50	14.21	14.19	14.01	14.14	255
60	13.59	13.13	13.77	13.50	267
70	13.88	14.21	14.13	14.07	256
80	14.24	14.51	13.89	14.21	253
90	13	13.36	13.01	13.12	274
100	12.98	13.54	13.19	13.24	272

Fuente: Elaboración propia

Tabla C- 4. Aforo bomba de floculante al CAF.

BOMBA DE FLOCULANTE CAF					
Longitud de carrera (%)	Tiempo 1 (s)	Tiempo 2 (s)	Tiempo 3 (s)	Tiempo Promedio (s)	Velocidad (l/h)
0	32.07	35.96	34.02	34.02	106
5	34.35	35.20	34.95	34.83	103
10	29.36	29.00	29.94	29.43	122
20	26.50	26.78	27.48	26.92	134
30	24.83	25.02	24.54	24.80	145
40	23.70	23.53	24.24	23.82	151
50	21.36	20.13	20.00	20.50	176
60	22.11	22.24	22.06	22.14	163
70	20.18	20.36	20.78	20.44	176
80	17.72	17.54	17.82	17.69	203
90	16.70	16.95	16.58	16.74	215
100	16.12	16.22	14.20	15.51	232

Fuente: Elaboración propia

Tabla C- 5. Aforo bomba de floculante al filtro banda.

BOMBA DE FLOCULANTE FILTRO BANDA					
Longitud de Carrera (%)	Tiempo 1 (s)	Tiempo 2 (s)	Tiempo 3 (s)	Tiempo Promedio (s)	Velocidad (l/h)
0	10.88	10.86	10.86	10.87	166
5	10.11	10.31	10.11	10.1767	177
10	10.40	10.66	10.74	10.6000	170
20	11.37	11.24	11.82	11.4767	157
30	12.37	12.05	12.43	12.2833	147
40	11.12	11.06	11.63	11.2700	160
50	6.99	7.22	7.14	7.1167	253
60	6.58	6.46	6.37	6.4700	278
70	6.51	6.80	6.70	6.6700	270
80	6.00	6.26	6.06	6.1067	295
90	6.19	6.11	6.11	6.1367	293
100	6.29	6.37	6.30	6.3200	285

Fuente: Elaboración propia

Tabla C- 6. Registro de análisis para el agua cruda.

Fecha	Muestra	Ph (adim)	Conduc (µS)	DQOs (mg/l)	DQO (mg/l)	Grasas (mg/l)	SST (mg/l)	Turbidez (NTU)
09-Jun	Cruda	6.6	3200	2950	6190	646	2096	1678
10-Jun	Cruda	11.1	1795	3910	5390	186	1774	1200
11-Jun	Cruda	9.9	1050	8950	11080	758	2518	2120
15-Jun	Cruda	10	2245	2986	6120	856	3078	2200
16-Jun	Cruda	9.8	2570	3030	6470	932	3190	2500
17-Jun	Cruda	10.5	2400	2967	6238	850	2997	2400
21-Jun	Cruda	6.32	1638	2860	5230	422	1393	2240
22-Jun	Cruda	9.5	1163	3570	5700	2014	1420	1180
23-Jun	Cruda	6.86	1154	3350	5380	2000	1487	1800
06-Jul	Cruda	8.9	1340	3450	5450	2210	1680	1900
07-Jul	Cruda	10.13	1289	4000	7120	352	1313	2165
08-Jul	Cruda	8.9	1440	3360	6250	550	1760	2220
09-Jul	Cruda	6.9	1718	2500	6340	645	2346	2370
13-Jul	Cruda	10.4	1430	2230	4370	670	2240	1670
15-Jul	Cruda	5.37	2600	3260	4270	991	1906	1180
<b>Promedio</b>		10	1802	3558	6107	874	1971	1922

Fuente: Elaboración propia

Tabla C- 7. Registro de análisis para el agua a la salida del CAF.

Fecha	Muestra	Ph (adim)	Conduc ( $\mu$ S)	DQOs (mg/l)	DQO (mg/l)	Grasas (mg/l)	SST (mg/l)	Turbidez (NTU)
09-Jun	CAF	5.12	3650	1570	2190	24	612	308
10-Jun	CAF	5.2	2640	2810	2970	50	862	578
11-Jun	CAF	6.1	1319	6550	6760	60	400	110
15-Jun	CAF	5.9	2100	2570	2989	33	750	420
16-Jun	CAF	6.17	2280	2740	3200	35	806	550
17-Jun	CAF	6.12	2900	1850	3120	15	55	50
21-Jun	CAF	5.91	3160	1620	2970	7	42	20
22-Jun	CAF	6.21	1525	3570	4100	14	107	18
23-Jun	CAF	6.67	1631	1710	2450	10	93	15
06-Jul	CAF	6.34	1569	1590	2250	9	87	12
07-Jul	CAF	8.22	1239	2720	3790	16	292	65
08-Jul	CAF	6	2908	2580	3050	56	250	70
09-Jul	CAF	5.7	3120	2470	3290	65	246	55
13-Jul	CAF	6	2540	1890	1600	45	433	225
15-Jul	CAF	5.9	4500	2000	2440	22	226	55
<b>Promedio</b>		6.14	2472	2549	3145	31	351	170

Fuente: Elaboración propia

Tabla C- 8. Remoción de parámetros.

Fecha	Remoción (%)					Bomba Coagulante (%)	Bomba Floculante (%)
	DQOs	DQO	Grasas	SST	Turbidez		
09-Jun	47	65	96	71	82	25	15
10-Jun	28	45	73	51	52	23	42
11-Jun	27	39	92	84	95	40	50
15-Jun	14	51	96	76	81	35	20
16-Jun	10	51	96	75	78	50	35
17-Jun	38	50	98	98	98	15	20
21-Jun	43	43	98	97	99	25	25
22-Jun	0	40	99	92	98	27	32
23-Jun	49	54	100	94	99	20	15
06-Jul	54	59	100	95	99	35	26
07-Jul	32	47	95	78	97	26	30
08-Jul	23	51	90	86	97	30	25
09-Jul	1	48	90	90	98	25	15
13-Jul	15	63	93	81	87	25	20
15-Jul	39	43	98	88	95	30	25
<b>Promedio</b>	28	50	94	84	90	29	26

Fuente: Elaboración propia

Tabla C- 9. Coeficientes de perdidas menores en la tubería.

<b>Accesorios</b>	<b>Coefficiente <math>K_L</math></b>	<b>Cantidad Accesorio</b>
Codo 90°	1,50	1
Contracción	0,20	1
Expansión	0,02	1
Válvula de Compuerta 100% Abierta	0,15	1
Válvula Check	2	1
Válvula de Mariposa	0,78	1
Salida de la tubería Esquina aguda	1	1

Fuente: Elaboración propia.

Tabla C- 10. Relación entre en caudal de agua y la dosificación de coagulante en función del flujo de descarga real de la bomba.

<b>Caudal Agua (l/s)</b>	<b>Longitud de carrera de la bomba (%)</b>	<b>Caudal bomba dosificadora (ml/s)</b>	<b>Concentración de Coagulante (ppm)</b>	<b>Preparación de coagulante (% m/v)</b>
2	0	0	0	6
2	10	59	1723	6
2	20	61	1780	6
2	30	63	1837	6
2	40	65	1894	6
2	50	67	1951	6
2	60	69	2008	6
2	70	71	2065	6
2	80	73	2121	6
2	90	75	2178	6
2	100	77	2234	6
3	0	0	0	6
3	10	59	1160	6
3	20	61	1199	6
3	30	63	1238	6
3	40	65	1276	6
3	50	67	1315	6
3	60	69	1354	6
3	70	71	1393	6
3	80	73	1431	6
3	90	75	1470	6
3	100	77	1508	6
4	0	0	0	6
4	10	59	874	6
4	20	61	903	6
4	30	63	933	6
4	40	65	962	6
4	50	67	992	6
4	60	69	1021	6
4	70	71	1051	6
4	80	73	1080	6
4	90	75	1109	6
4	100	77	1138	6

Fuente: Elaboración propia.

Tabla C- 11. Relación entre en caudal de agua y la dosificación de coagulante en función del flujo de descarga real de la bomba (continuación).

<b>Caudal Agua (l/s)</b>	<b>Longitud de carrera de la bomba (%)</b>	<b>Caudal bomba dosificadora (ml/s)</b>	<b>Concentración de Coagulante (ppm)</b>	<b>Preparación de coagulante (% m/v)</b>
5	0	0	0	6
5	10	59	701	6
5	20	61	725	6
5	30	63	749	6
5	40	65	772	6
5	50	67	796	6
5	60	69	820	6
5	70	71	843	6
5	80	73	867	6
5	90	75	891	6
5	100	77	914	6
6	0	0	0	6
6	10	59	586	6
6	20	61	605	6
6	30	63	625	6
6	40	65	645	6
6	50	67	665	6
6	60	69	685	6
6	70	71	704	6
6	80	73	724	6
6	90	75	744	6
6	100	77	764	6

Fuente: Elaboración propia.

Tabla C- 12. Relación entre en caudal de agua y la dosificación de floculante en función del flujo de descarga real de la bomba.

<b>Caudal Agua (l/s)</b>	<b>Longitud de carrera de la bomba (%)</b>	<b>Caudal bomba dosificadora (ml/s)</b>	<b>Concentración de Floculante (ppm)</b>	<b>Preparación de Floculante (% m/v)</b>
2	0	0	0	0.6
2	10	30	89	0.6
2	20	33	98	0.6
2	30	36	107	0.6
2	40	40	116	0.6
2	50	43	125	0.6
2	60	46	134	0.6
2	70	49	143	0.6
2	80	52	152	0.6
2	90	55	161	0.6
2	100	58	169	0.6
3	0	0	0	0.6
3	10	30	60	0.6
3	20	33	66	0.6
3	30	36	72	0.6
3	40	40	78	0.6
3	50	43	84	0.6
3	60	46	90	0.6
3	70	49	96	0.6
3	80	52	102	0.6
3	90	55	108	0.6
3	100	58	114	0.6
4	0	0	0	0.6
4	10	30	45	0.6
4	20	33	50	0.6
4	30	36	54	0.6
4	40	40	59	0.6
4	50	43	63	0.6
4	60	46	68	0.6
4	70	49	72	0.6
4	80	52	77	0.6
4	90	55	81	0.6
4	100	58	86	0.6

Fuente: Elaboración propia.

Tabla C- 13. Relación entre en caudal de agua y la dosificación de floculante en función del flujo de descarga real de la bomba (continuación).

<b>Caudal Agua (l/s)</b>	<b>Longitud de carrera de la bomba (%)</b>	<b>Caudal bomba dosificadora (ml/s)</b>	<b>Concentración de Floculante (ppm)</b>	<b>Preparación de Floculante (% m/v)</b>
5	0	0	0	0.6
5	10	30	36	0.6
5	20	33	40	0.6
5	30	36	43	0.6
5	40	40	47	0.6
5	50	43	51	0.6
5	60	46	54	0.6
5	70	49	58	0.6
5	80	52	62	0.6
5	90	55	65	0.6
5	100	58	69	0.6
6	0	0	0	0.6
6	10	30	30	0.6
6	20	33	33	0.6
6	30	36	36	0.6
6	40	40	39	0.6
6	50	43	42	0.6
6	60	46	45	0.6
6	70	49	48	0.6
6	80	52	51	0.6
6	90	55	55	0.6
6	100	58	58	0.6

Fuente: Elaboración propia.

Tabla C- 14. pH óptimo de coagulación, prueba 1.

pH ÓPTIMO DE COAGULACIÓN					
Ph Inicial	Ph Final	Tiempo Flocc (s)	Turbidez (NTU)	Características Sedimentación	Altura Sedimen. (cm)
5	4.2	5	340	Agua un poco turbia, flóculos grandes	2
6	5.3	10	250	Agua clara, flóculos grandes	2.5
7	6.2	28	550	Flóculos arenosos	1.5
8	7.1	20	920	Turbia	1
9	7.98	19	895	Turbia	0.9
10	9.05	35	838	Bastante turbia	1.3

Fuente: Elaboración propia

Tabla C- 15. pH óptimo de coagulación, prueba 2.

pH ÓPTIMO DE COAGULACIÓN 2					
Ph Inicial	Ph Final	Tiempo Flocc (s)	Turbidez (NTU)	Características Sedimentación	Altura Sedimen. (cm)
5	4.2	1	154	Agua un poco turbia, flóculos grandes	2.5
6	5.3	5	95	Agua clara, flóculos grandes	2
7	6.96	8	460	Flóculos arenosos	1.5
8	7.52	16	980	Agua turbia	1.2
9	7.98	23	1590	Agua turbia	1
10	9.05	63	2030	Bastante turbia	1

Fuente: Elaboración propia

Tabla C- 16. pH óptimo de coagulación, prueba 3.

pH ÓPTIMO DE COAGULACIÓN 3					
Ph Inicial	Ph Final	Tiempo Floc (s)	Turbidez (NTU)	Características Sedimentación	Altura Sedimen. (cm)
5	4.1	5	260	Agua un poco turbia, flóculos grandes	2.5
6	5.4	10	180	Agua clara, flóculos grandes	2
7	6.5	28	849	Flóculos arenosos	1.5
8	7.56	30	920	Agua turbia	1
9	8.43	39	895	Agua turbia	0.8
10	9.25	45	838	Bastante turbia	1.3

Fuente: Elaboración propia

Tabla C- 17. Registro pruebas de jarra.

Registro pruebas de jarra								
Fecha	Muestra	Conduc. (µs)	Ph	Turbidez (ntu)	DQO (mg/l)	SST (mg/l)	Floculante (ppm)	Coagulante (ppm)
04-08-10	Cruda	1546	9,58	2950	4580	1844	0	0
04-08-10	1	1681	7.21	250	2350	540	0.8	1000
04-08-10	2	1694	6.89	60	2260	249	0.8	1100
04-08-10	3	1670	7.26	48	2120	160	0.8	1200
05-08-10	Cruda	1323	10.2	2720	4250	1773	0	0
05-08-10	1	1851	7.48	157	2550	400	1	1000
05-08-10	2	1891	6.85	45	2370	147	1	1100
05-08-10	3	1870	7.14	28	2340	140	1	1200
06-08-10	Cruda	1373	9.56	2720	4250	1773	0	0
06-08-10	1	1789	7.29	157	2550	400	0.8	1000
06-08-10	2	1750	6.85	45	2370	147	0.8	1100
06-08-10	3	1726	7.14	28	2340	140	0.8	1200
10-08-10	Cruda	804	10.7	2000	5590	1155	0	0
10-08-10	1	1030	8.54	504	3750	330	1	1000
10-08-10	2	1041	7.78	10	3200	35	1	1500
10-08-10	3	1080	8.07	45	3350	65	1	1200

Fuente: Elaboración propia

Tabla C- 18. Registro pruebas de jarra (continuación).

Fecha	Muestra	Conduc. (µs)	Ph	Turbidez (ntu)	DQO (mg/l)	SST (mg/l)	Floculante (ppm)	Coagulante (ppm)
11-08-10	Cruda	1226	10.2	2490	5320	1550	0	0
11-08-10	1	1370	9.03	370	3130	450	2	1000
11-08-10	2	1385	8.56	25	2900	55	2	1500
11-08-10	3	1398	8.69	70	3040	89	2	1200
12-08-10	Cruda	1430	9.76	1850	5590	1173	0	0
12-08-10	1	1650	6.83	432	3850	360	2.4	1000
12-08-10	2	1680	6.54	250	3790	235	2.4	1100
12-08-10	3	1710	6.35	20	3550	120	2.4	1200
13-08-10	Cruda	1250	8.76	2950	7990	1769	0	0
13-08-10	1	1411	6.65	440	4250	650	1	900
13-08-10	2	1420	6.44	230	4220	478	1	1000
13-08-10	3	1425	6.32	50	4180	190	1	1100
17-08-10	Cruda	750	6.13	2810	7720	1550	0	0
17-08-10	1	1230	4.7	337	4320	590	3	900
17-08-10	2	1267	4.62	155	4290	320	3	1000
17-08-10	3	1305	4.53	45	4270	170	3	1100
18-08-10	Cruda	972	7.32	2920	6550	1326	0	0
18-08-10	1	1120	5.43	370	3590	489	1	900
18-08-10	2	1189	5.36	160	3560	348	1	1000
18-08-10	3	1200	5.11	65	3510	299	1	1100
19-08-10	Cruda	956	8.6	2280	5430	1229	0	0
19-08-10	1	1050	6.25	430	2980	325	2	900
19-08-10	2	1078	6.54	210	2950	238	2	1000
19-08-10	3	1110	6.78	85	2930	120	2	1100
20-08-10	Cruda	1160	8.9	2560	6420	1389	0	0
20-08-10	1	1389	6.35	620	3380	467	1	900
20-08-10	2	1397	6.64	340	3350	345	1	1000
20-08-10	3	1410	6.8	90	3310	189	1	1100

Fuente: Elaboración propia

Tabla C- 19. Registro remoción en pruebas de jarras.

<b>Fecha</b>	<b>Remoción Turbidez (%)</b>	<b>Remoción DQO (%)</b>	<b>Remoción SST (%)</b>
04-08-10	98.4	53.7	91.3
05-08-10	99.0	44.9	92.1
06-08-10	99.0	44.9	92.1
10-08-10	99.5	42.8	97.0
11-08-10	99.0	45.5	96.5
12-08-10	98.9	36.5	89.8
13-08-10	98.3	47.7	89.3
17-08-10	98.4	44.7	89.0
18-08-10	97.8	46.4	77.5
19-08-10	96.3	46.0	90.2
20-08-10	96.5	48.4	86.4

Fuente: Elaboración propia

Tabla C- 20. Variación de la altura del vertedero

Caudal	H (cm)	Turbidez (NTU)	Peso Envase(gr)	Peso Lodos(gr)	Peso Final(gr)	Humedad (%)
<b>2 L/s</b>	49	40	4.0054	2.8816	4.4384	84.9736
	50	42	4.0197	2.4043	4.3684	85.4968
	51	36	3.9929	2.5306	4.2801	88.6509
	52	36	4.0275	2.9261	4.3296	89.6757
	53	35	4.0366	2.2336	4.2341	91.1578
<b>3 L/s</b>	49	50	4.0414	2.1828	4.3440	86.1371
	50	40	4.0326	2.0959	4.3833	83.2673
	51	36	4.0254	2.3374	4.4130	83.4175
	52	33	4.0033	2.3861	4.1397	94.2836
	53	28	4.0534	2.4595	4.1340	96.7229
<b>4 L/s</b>	49	180	4.0262	2.4126	4.4208	83.6442
	50	210	4.0173	2.0129	4.4518	78.4142
	51	190	4.0414	2.0018	4.4853	77.8250
	52	100	4.0039	2.0090	4.3717	81.6924
	53	80	3.9938	1.9003	4.3130	83.2027
<b>5 L/s</b>	49	80	4.0434	2.3040	4.2955	89.0582
	50	70	3.9991	2.4957	4.4000	83.9364
	51	55	4.0229	2.1640	4.3255	86.0166
	52	85	4.0176	2.7424	4.2511	91.4856
	53	90	4.0160	2.7300	4.1101	96.5531
<b>6 L/s</b>	49	190	4.0232	2.1640	4.3195	86.3078
	50	170	3.9975	2.4957	4.3678	85.1625
	51	163	4.0423	2.3040	4.2365	91.5712
	52	120	4.0123	2.7424	4.2311	92.0216
	53	90	4.0199	2.7300	4.1011	97.0256

Fuente: Elaboración propia

## APÉNDICE D

### Calculo tipo: Tanque de mezcla rápida.

A continuación se realiza el cálculo de la potencia requerida por el sistema, el tiempo de retención y el gradiente de velocidad.

Potencia requerida:

$$P = K_t \times \rho \times n^3 \times D^5 \quad \text{Ec. 01}$$

$$P = 0,320 \times 996,49 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times (5,7\text{rps})^3 \times (0,33\text{m})^5$$

$$P = 231,109\text{Watts} = 0,31\text{Hp}.$$

Tiempo de retención:

$$tr = \frac{V}{Q} \quad \text{Ec. 02}$$

$$tr = \frac{4,02\text{m}^3}{0,007 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}$$

$$tr = 574,3\text{s} = 9,57 \text{ min}$$

Gradiente de velocidad:

$$G = \sqrt{\frac{P}{\mu \times V}} \quad \text{Ec. 03}$$

$$G = \sqrt{\frac{373\text{Watts}}{0,000933 \frac{\text{Ns}}{\text{m}^2} \times 4,02\text{m}^3}}$$

$$G = 315,4\text{s}^{-1}$$

**Cálculo de las pérdidas de carga que se presentan en tubería por donde fluye el agua residual desde el tanque de neutralización hasta el tanque de mezcla rápida.**

Número de Reynolds:

$$Re = \frac{D * V * \rho}{\mu} \quad \text{Ec. 04}$$

Donde:

Re = Número de Reynolds (Adim)

D = Diámetro de la tubería (m)

V = Velocidad (m/s)

$\rho$  = Densidad (Kg/m<sup>3</sup>)

$\mu$  = Viscosidad (Kg\*s/m)

$$Re = \frac{0,1016 \text{ m} * 0,367 \frac{\text{m}}{\text{s}} * 995,6 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}}{8 * 10^{-3} \text{ Kg} * \frac{\text{s}}{\text{m}}} = 4678$$

Factor de fricción de darcy según la ecuación de Colebrook:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \text{Log} \left( \frac{\bar{D}}{3,7} + \frac{2,51}{Re \sqrt{f}} \right) \quad \text{Ec. 05}$$

Donde:

f = Factor de fricción de darcy (adim)

$\epsilon / D$  = Rugosidad relativa (adim)

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \text{Log} \left( \frac{0,00004}{3,7} + \frac{2,51}{4678 \sqrt{f}} \right)$$

$$f = 0,039$$

Pérdidas por fricción en la tubería:

$$h_L^T = f * \frac{L}{D} * \frac{V^2}{2g} \quad \text{Ec. 06}$$

Donde:

$h_L^T$  = Pérdidas por fricción en la tubería (m)

$g$  = Aceleración de la gravedad ( $\text{m/s}^2$ )

$$h_L^T = 0,039 * \frac{9 \text{ m}}{0,1016 \text{ m}} * \frac{\left(0,367 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 * 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 0,0237 \text{ m}$$

Pérdidas menores en la tubería:

$$h_L^M = \sum K_L * \frac{V^2}{2g} \quad \text{Ec. 07}$$

Donde:

$h_L^M$  = Pérdidas menores en la tubería (m)

$K_L$  = Coeficiente de pérdida del accesorio (adim)

$$h_L^M = (1,5 + 0,2 + 0,02 + 0,15 + 2 + 0,78 + 1) * \frac{\left(0,367 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 * 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}$$

$$h_L^M = 0,0388 \text{ m}$$

Energía agregada por balance de energía:

$$h_A = Z_2 - Z_1 + h_L \quad \text{Ec. 08}$$

Donde:

$h_A$  = Energía de la bomba (m)

$Z_2$  = Altura tanque mezcla rápida (m)

$Z_1$  = Altura Tanque neutralización (m)

$$h_A = 5 \text{ m} + 0,0625 \text{ m} = 5,0625 \text{ m}$$

**Cálculos para establecer la relación entre en caudal de agua y la dosificación de coagulante en función del flujo de descarga real de la bomba.**

A continuación se presenta un cálculo tipo para un caudal de agua de 2l/s y la bomba de dosificación con una longitud de carrera del 50%.

Calculo de la concentración de coagulante en el tanque de preparación:

$$\%_c = \frac{P_c}{T_c} * 100 \quad \text{Ec. 09}$$

Donde:

$\%_c$ : Concentración del coagulante (% m/v)

$P_c$ : Peso del coagulante (Kg)

$T_p$ : Tanque de preparación (l)

$$\%_c = \frac{60Kg}{1000l} * 100 = 6\%$$

Calculo de la cantidad de coagulante aportada por la bomba de dosificación:

$$\beta = \frac{\%_c}{100} * Q_c * \rho \quad \text{Ec. 10}$$

Donde:

$Q_c$  : Caudal de bomba dosificadora (ml/s)

$\beta$ : Aporte de coagulante (gr/s)

$\rho$ : Densidad del coagulante (gr/ml)

$$\beta = \frac{6\%}{100} * 67.23 \frac{ml}{s} * \frac{1gr}{ml} = 403,39gr/s$$

Calculo de la concentración de coagulante en el agua:

$$\mu = \frac{\beta * 1000}{(Q + Q_c)} = \frac{Q_c * 10 * \%C}{(Q + Q_c)} \quad \text{Ec. 11}$$

Donde:

Q: Caudal hacia el CAF (L/s)

$\mu$ : Concentración de coagulante en el agua (ppm)

$$\mu = \frac{403,39 \frac{gr}{s} * 1000 \frac{mg}{gr}}{\left(2 \frac{l}{s} + 0,067 \frac{l}{s}\right)} = 1951 ppm$$

---

## APÉNDICE E

- **Determinación de Demanda Química de Oxígeno por el método colorimétrico a reflujo cerrado (Standard Methods):**

### Equipos necesarios:

Beakers, balanza analítica, vasos digestores (tubos de borosilicato), reactor, para operar a 150°C, espectrómetro.

### Preparación de los reactivos empleados:

#### - Solución digestora:

En un beaker de 1 litro se colocan 500 ml de agua destilada, 10,216 gramos de dicromato de potasio estándar de primer grado, previamente secado a 103°C por 2 horas, 167 ml de ácido sulfúrico concentrado, y 33,300 gramos de sulfato de mercurio y se disuelve a temperatura ambiente para luego diluirlo en 1 Litro.

#### - Ácido Sulfúrico:

En un beaker de 500 ml se agrega sulfato de plata grado reactivo, cristales o polvo, ácido sulfúrico concentrado en una proporción de 5,5 gramos de sulfato de plata por kilogramo de ácido sulfúrico.

### Procedimiento experimental:

1. Las muestras a analizar se homogenizan durante 2 minutos en un mezclador (licuadora).
2. Se realiza una dilución 10:100 de las muestras en agua destilada.
3. Se agrega en un vial de vidrio colocado en posición inclinada (45°): 2,5 ml de la muestra diluida (2,5 ml de agua destilada para el blanco), 1,5 ml de la solución para digestión de dicromato de potasio, 3,5 ml de la solución de ácido sulfúrico – sulfato de plata (vertida cuidadosamente, de tal manera que se forme una capa de ácido debajo de la capa muestra/solución digestora).
4. Se tapan y limpian los viales, asegurándose que estén bien cerrados, luego se homogenizan cuidadosamente.
5. Posteriormente se colocan los viales en el reactor, previamente calentado a 150°C y se someten a reflujo cerrado durante 2 horas.

6. Al finalizar el tiempo de reflujo se apaga el reactor y se colocan los viales en la gradilla hasta que alcancen la temperatura ambiente.
7. Luego, se procede a realizar la lectura en el espectrómetro con una longitud de onda de 600 nm.

El análisis de DQO soluble se realiza de la misma manera que la DQO total, sólo que la muestra se pasa por un filtro de micro fibra de vidrio antes de agregarse al vial de vidrio (luego del paso 2).

- **Determinación de Grasas y Aceites.**

Reactivos requeridos:

Hexano, Alcohol Isopropílico, Agua destilada.

Material necesario:

Balón de 500 ml, cilindro graduado, embudo de decantación, embudo de filtración, papel de filtro, rota evaporador, estufa, desecador.

Procedimiento experimental:

1. Se pesa un balón limpio y seco.
2. Se colocan 250 ml de la muestra a analizar en un embudo de decantación o separación y se agregan 100 ml de hexano, se tapa y agita por 5 minutos, desalojando cuidadosamente los gases acumulados.
3. Posteriormente, se deja reposar para que se formen las dos fases, la superior es una emulsión donde se encontrará la grasa extraída por el reactivo y la inferior es la fase acuosa que se elimina.
4. Se drena la fase acuosa, se agregan 30 ml de alcohol isopropílico y se agita para romper la emulsión.
5. Luego se adiciona 100 ml de agua destilada y se deja reposar hasta que se formen nuevamente dos capas y se drena.
6. Finalmente se filtra en el balón previamente pesado la capa cristalina de disolvente y se coloca en el rotaevaporador a 90°C hasta que se evapore toda la muestra.
7. Seguidamente se lleva el balón a la estufa durante 1 hora a 103 -105°C y se deja enfriar en el desecador durante 30 minutos
8. Por último se pesa el balón.

Una vez obtenidos los pesos del balón con y sin muestra se procede a emplear la ecuación (1) para obtener la cantidad de aceites y grasas presentes en la muestra.

$$\text{Grasas} = (P_{\text{final}} - P_{\text{inicial}}) * \frac{(1000 * 1000)}{V_m} \quad (1)$$

Donde:

Grasas: Aceites y grasas (mg/l).

$P_{\text{final}}$ : Peso final del balón (g).

$P_{\text{inicial}}$ : Peso inicial del balón (g).

1000: Factor 1000 mg/g.

1000: Factor 1000 ml/l.

$V_m$ : Volumen de muestra (ml)

• **Determinación de Sólidos Totales (ST):**

Material necesario:

Cápsula de porcelana, Estufa, Desecador, Balanza analítica, Cilindro graduado, Estufa Baño Térmico.

Procedimiento experimental:

- Preparación de la cápsula de evaporación:

1. Lavar y limpiar la cápsula de porcelana con agua destilada.
2. Se introduce la cápsula en la estufa a 103 – 105°C durante 1 hora.
3. Posteriormente se deja enfriar en el desecador para equilibrar la temperatura por 20 minutos.
4. Por último se pesa la cápsula en la balanza analítica y se toma nota de este valor.

- Determinación:

1. Se miden 25 ml de muestra bien mezclada en un cilindro graduado y se transfiere este volumen medido a la cápsula de porcelana preparada anteriormente.
2. Se evapora la muestra en un baño de vapor hasta que se evapore todo el líquido.
3. Se retira la cápsula del baño de maría y se traslada a la estufa a 103 – 105°C durante 1 hora.
4. Enfriar en el desecador.

5. Por último, se pesa la cápsula de porcelana y se toma nota de este valor.

Con los datos obtenidos se procede a aplicar la ecuación (4):

$$ST = \frac{[(A - B) \times 1.000.000]}{VM} \quad (4)$$

Donde:

ST: Sólidos Totales (mg/l).

A: Peso cápsula más residuo seco (g).

B: Peso cápsula vacía (g).

VM: Volumen empleado de la muestra (ml).

1000: Factor 1000mg/g.

1000: Factor 1000ml/l.

• **Determinación de Sólidos Suspendidos Totales (SST):**

Material empleado:

Papel de filtro de fibra de vidrio, Kitasato, Bomba de vacío, Estufa, Desecador, Balanza analítica, Cilindro graduado.

Procedimiento experimental:

- Preparación del filtro de fibra de vidrio:

1. Insertar el papel de filtro con la cara rugosa hacia arriba en un embudo de filtrado o kitasato, aplicar vacío y lavar con tres volúmenes sucesivos de agua destilada de 20 ml.
2. Continuar la succión hasta eliminar todo vestigio de agua por aproximadamente 3 minutos.
3. Desechar el agua de lavado.
4. Remover el filtro, transferirlo a un soporte de aluminio o acero inoxidable y secarlo en el horno por una hora aproximadamente.
5. Enfriar el filtro en el desecador por 20 minutos.

- Determinación:

1. Pesar el papel de filtro preparado previamente en la balanza analítica y anotar este valor.
2. Medir 25 ml de la muestra de agua bien mezclada en un cilindro graduado.
3. Filtrar el volumen medido al vacío, dejar drenar por completo.

4. Posteriormente, se transfiere el filtro al soporte metálico utilizado anteriormente y se lleva a la estufa por una hora.
5. Enfriar el filtro en el desecador por 20 minutos.
6. Finalmente, se toma el filtro del desecador y se pesa nuevamente en la balanza analítica, se toma nota de este valor.

Con los datos obtenidos se procede a aplicar la ecuación (5):

$$SST = \frac{[(A - B) \times 1.000.000]}{VM} \quad (5)$$

Donde:

SST: Sólidos Suspendidos Totales (mg/l).

A: Peso filtro más residuo seco (g).

B: Peso filtro limpio (g).

VM: Volumen empleado de la muestra (ml).

1000: Factor 1000mg/g.

1000: Factor 1000ml/l.

- **Determinación de Turbidez:**

Equipo empleado:

Se dispone de un turbidímetro Oakton T-100

Procedimiento experimental:

1. Presionar la tecla ON/OFF del equipo.
2. Agregar la muestra a la celda del equipo.
3. Colocar la celda en el equipo y presionar la tecla READ/ENTER.
4. Tomar nota del valor reportado.

- **Determinación de pH:**

Equipo empleado:

Se dispone del pHmetro Orión, modelo 420A.

Procedimiento experimental:

1. Presionar la tecla POWER del equipo.
2. Introducir el electrodo del pHmetro en la muestra y esperar que se establezca la lectura del equipo.

3. Tomar nota del valor reportado por el equipo.

• **Determinación de Conductividad:**

Equipo empleado:

Se dispone del Conductímetro Oakton 510 series.

Procedimiento experimental:

1. Presionar la tecla ON del equipo.
2. Introducir el electrodo del conductímetro en la muestra.
3. Agitar suavemente el electrodo, sin tocar las paredes del recipiente que contiene la muestra y esperar que se estabilice la lectura del equipo.
4. Tomar nota del valor reportado por el equipo.

• **Pruebas de Jarro:**

Material necesario:

Agitador múltiple, Vasos de precipitado de uno o dos litros, Jeringas desechables de distintos volúmenes, Balones aforados, Cronómetro, Vasos de precipitado pequeños, Cilindro graduado.

Preparación de las soluciones:

- Solución madre de coagulante:

La solución suele prepararse el 10 %, para ello se deben seguir los siguientes pasos:

1. Tomar 10 ml de solución de coagulante concentrado con una pipeta.
2. Agregar en un balón de 100 ml.
3. Diluír hasta el aforo con agua.
4. Mezclar bien.

- Solución madre de floculante:

Para polímero en polvo se prepara al 0.1 %, para mayor facilidad de disolución.

El procedimiento para preparar el polímero seco al 0.10% es:

4. Agregar 1 gr de polímero seco en un beaker de 1 litro.
5. Añadir agua hasta un peso de 1 Kg para una mayor exactitud.
6. Colocar el beaker en el equipo de agitación hasta que se observe una completa dilución.

Procedimiento experimental del ensayo de jarro:

1. Tomar 4 vasos de precipitado y agregar 800 ml de agua residual a cada uno.
2. Colocar las muestras en el equipo de agitación.
3. Añadir diferentes dosis de coagulante a las muestras.
4. Agitar con una alta velocidad por 1 minuto (100 rpm).
5. Luego se añade una dosis de floculante.
6. Agitar con una velocidad máxima de 50 rpm hasta que aparecen los flocos, aproximadamente unos 3 minutos como máximo.
7. Dejar reposar las soluciones por 20 minutos.
8. Se procede ahora a tomar muestras con una jeringa de cada uno de los vasos de precipitado

• **Porcentaje de humedad del lodo:**

Equipos y materiales requeridos:

Estufa para secado, recipientes de metal o vidrio con tapa con capacidad de 25 a 100 mL, desecador con un agente secante activo, balanza analítica.

Procedimiento experimental:

7. Pesar de 1 a 2 gramos de lodo en un recipiente con tapa limpio, seco y prepesado.
8. Colocar en la estufa y secar destapado a  $105^{\circ} \text{C} \pm 5^{\circ} \text{C}$  hasta masa constante (entre 2 y 4 horas).
9. Retirar de la estufa, tapar y enfriar en desecador por al menos 45 minutos.
10. Sacar del desecador y pesar inmediatamente.

Cálculos necesarios:

Calcular el contenido de agua del lodo según la ecuación (6):

$$\text{Agua (\%)} = \frac{a - b}{b - c} * 100 \quad (6)$$

Donde:

a = Masa de lodo fresco con recipiente (gr)

b = Masa de lodo seco con recipiente (gr)

c = Masa del recipiente vacío (gr).

APÉNDICE F

GACETA OFICIAL

Caracas, lunes 18 de Diciembre de  
1995 N°5021

Decreto N° 883 del 11 de  
Octubre de 1995

CAPITULO III

SECCIÓN V

De la descarga a redes cloacales

Artículo 15°: los parámetros de calidad de los vertidos líquidos que sean o vayan a ser descargados a redes cloacales no deberán ser mayores de los rangos y límites permisibles establecidos en la siguiente lista:

Parámetros Físicos - Químicos	Límites máximos o rangos
Aceites minerales e hidrocarburos	20 mg/l
Aceites y grasas vegetales y animales	150 mg/l
Alkil Mercurio	No detectable (*)
Aluminio total	5.0 mg/l
Arsénico total	0.5 mg/l
Bario total	5.0 mg/l
Cadmio total	0.2 mg/l
Cianuro total	0.2 mg/l
Cobalto total	0.5 mg/l
Cobre total	1.0 mg/l
Cromo total	2.0 mg/l
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5.20)	350 mg/l
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	900 mg/l

Detergentes	8.0mg/l
Dispersantes	8.0 mg/l
Fenoles	0.5 mg/l
Fluoruros	5.0 mg/l
Fósforo total (expresado como Fósforo)	10 mg/l
Hierro total	25 mg/l
Manganeso total	10 mg/l
Mercurio total	0.01 mg/l
Níquel total	2.0 mg/l
Nitrógeno total (expresado como nitrógeno)	40 mg/l
pH	6-9
Plata total	0.1 mg/l
Plomo total	0.5 mg/l
Selenio	0.2 mg/l
Sólidos flotantes	Ausente
Sólidos suspendidos	400 mg/l
Sólidos totales	1600 mg/l
Sulfato	400mg/l
Sulfuro	2.0 mg/l
Temperatura	40°C
Vanadio	5.0 mg/l
Zinc	10 mg/l

\*Según los métodos aprobados por El Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables.

Biocidas	
Organo fosforados y carbamatos	0.25 mg/l
Organo Clorados	0.05 mg/l

Radiactividad	
Actividad a	Máximo 0.1 Bq/l
Actividad b	Máximo 1.0 Bq/l