

# **TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

## **COMPORTAMIENTO DE UNA PLANTA DE LECHOS BIO- PERCOLADORES PARA EL TRATAMIENTO DE LOS EFLUENTES LÍQUIDOS EN UNA EMPRESA DE MANUFACTURA DE COSMÉTICOS.**

Presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de Venezuela

Por los Bachilleres  
Ochoa H., Rossana G.,  
Vásquez R., Ángel A.  
Para optar al Título de  
Ingeniero Químico.

Caracas, 2012

# **TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

## **COMPORTAMIENTO DE UNA PLANTA DE LECHOS BIO- PERCOLADORES PARA EL TRATAMIENTO DE LOS EFLUENTES LÍQUIDOS EN UNA EMPRESA DE MANUFACTURA DE COSMÉTICOS.**

TUTOR ACADÉMICO: MSc. Francisco Yáñez

TUTOR INDUSTRIAL: Lic. Luz Cáceres

Presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de Venezuela  
Por los Bachilleres  
Ochoa H., Rossana G.,  
Vásquez R., Ángel A.  
Para optar al Título de  
Ingeniero Químico.

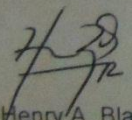
Caracas, 2012

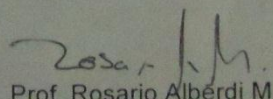
Caracas, Noviembre 2012

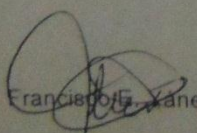
Los abajo firmantes, miembros del Jurado designado por el Consejo de Escuela de Ingeniería Química, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por los Bachilleres Ochoa H. Rossana G. y Vásquez R. Ángel A., titulado:

**"COMPORTAMIENTO DE UNA PLANTA DE LECHOS BIO-PERCOLADORES PARA EL TRATAMIENTO DE LOS EFLUENTES LÍQUIDOS EN UNA EMPRESA DE MANUFACTURA DE COSMÉTICOS"**

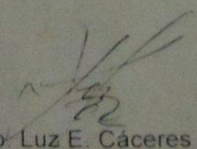
Consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudios conducente al Título de Ingeniero Químico y sin que ello signifique que se hace solidario con las ideas expuestas por los autores, lo declaran APROBADO:

  
Prof. Henry A. Blanco S.  
Jurado

  
Prof. Rosario Alberdi M.  
Jurado

  
Prof. Francisco E. Vanez G.  
Tutor Académico



  
Ftco. Luz E. Cáceres A.  
Tutor Industrial

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Universidad Central de Venezuela, magna casa de estudios de este país que nos brindó los conocimientos necesarios para desempeñarnos como profesionales, además de experiencias y momentos que nos permitieron crecer como personas.

A nuestro Tutor Académico, Profesor Francisco Yáñez, quien nos orientó durante todo el proceso de elaboración y presentación de este trabajo especial de grado.

A nuestra Tutora Industrial, Luz Cáceres, quien constituyó un apoyo importante para la realización de este trabajo especial de grado. A la empresa donde realizamos esta investigación, donde se nos proporcionó el tema de la misma.

A nuestros Jurados, el Profesor Henry Blanco y la Profesora Rosario Alberdi, quienes nos proporcionaron excelentes sugerencias para fortalecer esta investigación, y además estuvieron pendiente del avance de la misma en todo momento.

Al personal que labora en la Planta Experimental de Tratamiento de Aguas, quienes realizaron un excelente trabajo en cuanto a la captación y análisis de muestras, así como compartieron su amplia experiencia en este campo con nosotros.

Rossana y Ángel

A Dios por siempre cuidarme, protegerme y guiarme.

A mis padres Rosa y José, por darme la vida, el amor, las enseñanzas y el apoyo para ser la persona que hoy soy. A mi familia, especialmente a mi

hermana Joselin y hermanos, por brindarme su apoyo y darme consejos y palabras de ánimo cuando más lo he necesitado.

A mi mejor amiga desde ya 12 años, Luz Elena, por estar siempre conmigo física o mentalmente en mis logros y fracasos, dándome su amistad incondicional.

A las personas que conocí en estos maravillosos años de aprendizaje no sólo en el salón de clases sino fuera de él y que siempre estarán en mis recuerdos.

A mis compañeros y amigos de la EIQ, en especial a mi compañero de tesis Ángel, quienes vivieron conmigo las celebraciones (y decepciones) que se viven en nuestra querida escuela de Ingeniería Química.

Y por último, pero no menos importante, a la persona más especial que he conocido en esta etapa de mi vida: Edwin. Espero poder compartir junto a ti este nuevo ciclo que estamos a punto de iniciar y te agradezco por ofrecermte tu amor y apoyo incondicional en mis mejores y peores momentos.

Rossy

A mi Divino Niño que siempre me ha guiado por el mejor camino a seguir.

A mis padres, que con tanto esfuerzo y sacrificio han hecho de mi una persona de bien.

A mi novia Riemmar Alvarado que tanto amo y adoro, por siempre estar en esos momentos buenos y en los malos, apoyándome y dando esa fuerza como solo ella lo puede hacer.

A mi compañera Rossana Ochoa, por haberme acompañado durante el camino de mi última etapa como estudiante de pregrado.

A mis amigos (as) y compañeros (as): Jesa, Chance, Tycho, Jailin, Fercho, Madera, Luzmila, Karina De Mendoca, Lessa Henao, Mayckol, Carlos González, Adri Isa, Christian Goveia, Omaira Camacaro, Isis, Simón, Joe, nuevamente Rossana, y personas que no haya nombrado, por todo su apoyo incondicional y momentos compartidos.

Ángel

Ochoa H., Rossana G.

Vásquez R., Ángel A.

**COMPORTAMIENTO DE UNA PLANTA DE LECHOS BIO-  
PERCOLADORES PARA EL TRATAMIENTO DE LOS  
EFLUENTES LÍQUIDOS EN UNA EMPRESA DE  
MANUFACTURA DE COSMÉTICOS.**

Tutor Académico: Prof. Francisco Yánez. Tutor Industrial: Lic. Luz Cáceres

Tesis. Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería

Química. Año 2012, 134 pág.

Palabras Clave: Tratamiento de aguas, Lechos bio-percoladores, Industria de  
cosméticos.

El tratamiento de las aguas residuales industriales, antes de su descarga a cuerpos de agua, es fundamental para cumplir con la normativa ambiental vigente que regula esta actividad en el país, como lo es el Decreto N° 883. En la empresa de manufactura de cosméticos donde se lleva a cabo este trabajo especial de grado, se tiene una planta de lechos bio-percoladores cuya finalidad es acondicionar los efluentes que se generan del proceso productivo, para así dar cumplimiento al Decreto mencionado. En anteriores caracterizaciones, se detectó que valores de parámetros como DBO, DQO, Detergentes Aniónicos, ST y SS superan los límites establecidos por la normativa, por lo que se plantea como objetivo principal de esta investigación, analizar el funcionamiento de la planta de lechos bio-percoladores que se emplea para el tratamiento de los efluentes líquidos en esta empresa. Para cumplir con el objetivo, se realizó una caracterización representativa del efluente industrial y en distintos puntos del sistema de tratamiento, permitiendo obtener las eficiencias de remoción de contaminantes de cada etapa, así como determinar si actualmente la corriente que descarga a la red cloacal cumple con lo dispuesto por el Decreto. Adicionalmente, se proponen ajustes al proceso productivo y/o a la operación y diseño de la planta de tratamiento, con la finalidad de incrementar la eficiencia de una o varias etapas de la misma. Como conclusión, de acuerdo a la caracterización efectuada, se tiene que actualmente el efluente que se descarga a la red cloacal no obedece a lo dispuesto en el Decreto N° 883; lo cual, se debe a los problemas de operación y diseño que se presentan en el funcionamiento de la planta de tratamiento en estudio.

## ÍNDICE GENERAL

Índice de Figuras .....	x
Índice de Tablas.....	xiii
Lista de Abreviaturas .....	xvi
INTRODUCCIÓN .....	1
CAPÍTULO I .....	3
FUNDAMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	3
Planteamiento del Problema .....	3
Objetivos .....	4
Antecedentes .....	5
CAPÍTULO II .....	12
MARCO TEÓRICO Y DESCRIPCION DE LA EMPRESA DE COSMETICOS .....	12
Información General de la Empresa.....	12
Características de las Aguas Residuales en la Industria de Cosméticos. .....	12
Tratamientos de Efluentes de la Industria de Cosméticos.....	14
Parámetros de Diseño.....	18
Descripción de los Procesos de la PTARI de la Industria de Cosméticos .....	19
CAPÍTULO III .....	30
MARCO METODOLÓGICO.....	30
Fases de la investigación .....	30
CAPÍTULO IV.....	44
RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	44
IV.1 Identificación de los efluentes líquidos que se generan en el proceso productivo de la empresa. ....	44
IV.2 Caracterización del efluente representativo de agua residual industrial que se genera en el proceso productivo de la empresa.....	56



IV.3 Determinación de la eficiencia de cada una de las etapas que componen la PTARI en actividad en la empresa.....	71
IV.4 Comparación de la calidad del efluente tratado por la planta de tratamiento de agua en actividad con el Decreto N° 883: Normas para la Clasificación y el Control de la Calidad de los Cuerpos de Agua y Vertidos o Efluentes Líquidos.....	95
IV.5 Propuestas de ajustes necesarios en el proceso productivo y/o en el sistema de tratamiento que permita mejorar la calidad de las descargas de efluentes líquidos de la empresa.....	96
CAPÍTULO V.....	100
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	100
RECOMENDACIONES.....	102
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	103
APÉNDICES .....	105
Apéndice 1: Cálculos Tipo y Tablas de Resultados.....	105
Apéndice 2: Artículo 15 del Decreto N° 883 de las Normas para la Clasificación y el Control de la Calidad de los Cuerpos de Agua y Vertidos o Efluentes Líquidos.....	132

## Índice de Figuras

Figura N° 1: Formas de reciclaje estudiadas por Rivera, Valdés, Castro, Nieves y De La Torre (1999).....	7
Figura N° 2: Registro histórico de DBO a la salida de la PTARI .....	9
Figura N° 3: Registro histórico de DQO a la salida de la PTARI.....	10
Figura N° 4: Registro histórico de Detergentes Aniónicos a la salida de la PTARI .....	10
Figura N° 5: Registro histórico de ST a la salida de la PTARI .....	11
Figura N° 6: Registro histórico de SS a la salida de la PTARI .....	11
Figura N° 7: Diagrama de Flujo de la PTARI de la Industria de Cosméticos	15
Figura N° 8: Diagrama de Flujo de la PTARI de la Industria de Cosméticos (Continuación).....	16
Figura N° 9: Diagrama de Flujo de la PTARI de la Industria de Cosméticos (Continuación).....	17
Figura N° 10: Tanquilla de Desbaste de la PTARI .....	20
Figura N° 11: Tanquilla de Bombeo N°1 de la PTARI.....	21
Figura N° 12: Partes del Separador de Espuma de la PTARI.....	22
Figura N° 13: Primer tanque de Balance / Aireación de la PTARI .....	23
Figura N° 14: Filtro Bio-percolador y Sedimentador Secundario de la PTARI .....	26
Figura N° 15: Vista de los canales de distribución y empaque del lecho, tomada desde el tope del filtro bio-percolador instalado en la PTARI.....	26
Figura N° 16: Tanque de Desinfección o Clorinador de la PTARI.....	28
Figura N° 17: Lechos de Secado de la PTARI .....	29
Figura N° 18: Fases de la Investigación.....	30
Figura N° 19: DFP de la PTARI de la Industria de Cosméticos con indicación de los puntos de captación de muestras.....	35
Figura N° 20: Formato de registro de datos durante la captación de muestras .....	37
Figura N° 21: Diagrama de flujo del proceso de manufactura de la empresa cosmética.....	45
Figura N° 22: Recorrido del efluente de agua residual hacia la PTARI y rango de caudales de cada área.....	54
Figura N° 23: Caudales a la entrada de la PTARI registrados durante los muestreos realizados.....	55

Figura N° 24: Porcentajes de producción de cada producto de acuerdo a la planificación de producción del mes de Febrero 2012.....	57
Figura N° 25: Porcentajes de producción de cada producto de acuerdo a la planificación de producción del mes de Mayo 2012.....	57
Figura N° 26: Porcentajes de producción de cada producto de acuerdo a la planificación de producción del mes de Septiembre 2012 .....	58
Figura N° 27: Mediciones de pH durante el mes de Septiembre 2012 .....	69
Figura N° 28: Mediciones de Conductividad Específica durante el mes de Septiembre 2012.....	70
Figura N° 29: Mediciones de Sólidos Totales durante el mes de Septiembre 2012.....	71
Figura N° 30: Esquema del Espumador.....	72
Figura N° 31: Derrame de espuma en el Separador de Espuma.....	73
Figura N° 32: Corrosión en el recolector del Separador de Espuma .....	74
Figura N° 33: Corrosión en el ducto del Separador de Espuma .....	74
Figura N° 34: Esquema de la tanquilla de Bombeo N°1 .....	76
Figura N° 35: Nivel de la tanquilla de bombeo N° 1 y tuberías de enlace con la tanquilla de bombeo N° 2 .....	77
Figura N° 36: Concentración de Aluminio en el agua a lo largo de la PTARI	78
Figura N° 37: Conexión entre los tanques de Balance / Aireación de la PTARI .....	80
Figura N° 38: Segundo tanque de Balance / Aireación de la PTARI.....	80
Figura N° 39: Tubería que conecta la tanquilla N° 1 con la tanquilla de drenaje de los Lechos de Secado.....	86
Figura N° 40: Tanquilla de drenaje de los Lechos de Secado, con el nivel de líquido por debajo de las salidas de las tuberías que conectan con dichos lechos .....	87
Figura N° 41: Tanquilla de drenaje de los Lechos de Secado, cuando el nivel del líquido está por encima de las salidas de las tuberías que conectan con dichos lechos .....	87
Figura N° 42: Lechos de Secado recién realizada la purga de equipos de la PTARI, el 1º de agosto de 2012.....	88
Figura N° 43: Lechos de Secado el 19 de septiembre de 2012 .....	89
Figura N° 44: Registro de valores de pH durante el mes de Septiembre 2012 a la salida de las etapas de la PTARI .....	90
Figura N° 45: Registro de valores de Conductividad Específica durante el mes de Septiembre 2012 a la salida de las etapas de la PTARI .....	90
Figura N° 46: Registro de valores de Sólidos Totales durante el mes de Septiembre 2012 a la salida de las etapas de la PTARI .....	91

Figura N° 47: Comportamiento de la etapa de Separación de Espuma durante la dosificación de Cal.....	93
Figura N° 48: Comportamiento de la etapa de Balance/Aireación durante la dosificación de Cal.....	94
Figura N° 49: Comportamiento de la etapa de Filtro Biológico/Sedimentador durante la dosificación de Cal.....	95

## Índice de Tablas

Tabla N° 1: Valores de DQO promedios para diferentes empresas cosméticas españolas. ....	14
Tabla N° 2: Parámetros de Diseño de la PTARI de la Industria de Cosméticos .....	19
Tabla N° 3: Eficiencias de Diseño para el Sistema de la PTARI de la Industria de Cosméticos .....	27
Tabla N° 4: Parámetros a determinar en cada punto de captación y distribución de la muestra compuesta.....	40
Tabla N° 5: Mediciones de descargas de agua residual del Área de Mezclado .....	47
Tabla N° 6: Mediciones de descargas de agua residual del Área de Bulk ....	49
Tabla N° 7: Mediciones de descargas de agua residual del Área de Envasado .....	50
Tabla N° 8: Mediciones de descargas de agua residual del Área de Lavado	52
Tabla N° 9: Productos contenidos en los equipos de cada área antes de ser lavados y horas de lavado .....	59
Tabla N° 10: Mediciones en sitio durante el muestreo del 4 de julio 2012 ....	60
Tabla N° 11: Resultados de $DBO_{5,20}$ del muestro del 4 de julio de 2012 .....	61
Tabla N° 12: Productos contenidos en los equipos de cada área antes de ser lavados y horas de lavado .....	62
Tabla N° 13: Mediciones en sitio durante el muestreo del 1 de agosto 2012	63
Tabla N° 14: Resultados de análisis fisicoquímicos del efluente industrial del muestreo N° 2 en el Punto N° 1. ....	65
Tabla N° 15: Resultados de análisis fisicoquímicos del efluente industrial del muestreo N° 2 en el Punto N° 2. ....	65
Tabla N° 16: Resultados de análisis fisicoquímicos del efluente industrial del muestreo N° 2 en el Punto N° 3. ....	66
Tabla N° 17: Resultados de análisis fisicoquímicos del efluente industrial del muestreo N° 2 en el Punto N° 4. ....	66
Tabla N° 18: Comparación eficiencia de diseño con eficiencia obtenida durante el muestreo para la etapa de Separación de Espuma .....	82
Tabla N° 19: Comparación eficiencia de diseño con eficiencia obtenida durante el muestreo para la etapa de Balance / Aireación .....	84
Tabla N° 20: Comparación eficiencia de diseño con eficiencia obtenida durante el muestreo para la etapa de Filtro Biológico / Sedimentación .....	85

Tabla N° 21: Comparación efluente de la PTARI con el Decreto N° 883 de descarga de efluentes líquidos a redes cloacales.....	96
Tabla N° 22: Mediciones de volumen y tiempo y resultados de caudales en el área de mezclado .....	107
Tabla N° 23: Mediciones de volumen y tiempo y resultados de caudales en el área de bulk .....	108
Tabla N° 24: Mediciones de volumen y tiempo y resultados de caudales en el área de envasado .....	109
Tabla N° 25: Mediciones de volumen y tiempo y resultados de caudales en el área de lavado .....	110
Tabla N° 26: Caudales calculados y caudales promedio en el área de mezclado .....	112
Tabla N° 27: Caudales calculados y caudales promedio en el área de bulk.....	113
Tabla N° 28: Caudales calculados y caudales promedio en el área de envasado .....	114
Tabla N° 29: Caudales calculados y caudales promedio en el área de lavado .....	115
Tabla N° 30: Mediciones de volumen y tiempo y resultados de caudales para el punto N° 1 en el muestreo N° 1 .....	117
Tabla N° 31: Mediciones de volumen y tiempo y resultados de caudales para el punto N° 2 en el muestreo N° 1 .....	117
Tabla N° 32: Mediciones de volumen y tiempo y resultados de caudales para el punto N° 3 en el muestreo N° 1 .....	118
Tabla N° 33: Mediciones de volumen y tiempo y resultados de caudales para el punto N° 4 en el muestreo N° 1 .....	118
Tabla N° 34: Caudales calculados y caudal promedio de cada muestra captada en el punto N° 1 durante el muestreo N° 1 .....	120
Tabla N° 35: Caudales calculados y caudal promedio de cada muestra captada en el punto N° 2 durante el muestreo N° 1 .....	120
Tabla N° 36: Caudales calculados y caudal promedio de cada muestra captada en el punto N° 3 durante el muestreo N° 1 .....	121
Tabla N° 37: Caudales calculados y caudal promedio de cada muestra captada en el punto N° 4 durante el muestreo N° 1 .....	121
Tabla N° 38: Volumen necesario de cada sub muestra para la preparación de la muestra compuesta del punto N° 1 .....	123
Tabla N° 39: Volumen necesario de cada sub muestra para la preparación de la muestra compuesta del punto N° 2 .....	123
Tabla N° 40: Volumen necesario de cada sub muestra para la preparación de la muestra compuesta del punto N° 3 .....	123

Tabla N° 41: Volumen necesario de cada sub muestra para la preparación de la muestra compuesta del punto N° 4 .....	124
Tabla N° 42: Concentración de contaminantes esperadas en el efluente de la etapa de Separación de Espuma.....	126
Tabla N° 43: Concentración de contaminantes esperadas en el efluente de la etapa de Balance/Aireación .....	126
Tabla N° 44: Concentración de contaminantes esperadas en el efluente de la etapa de Sedimentación .....	128
Tabla N° 45: Eficiencia de la etapa de Separación de Espuma.....	130
Tabla N° 46: Eficiencia de la etapa de Balance / Aireación .....	130
Tabla N° 47: Eficiencia de la etapa de Filtro Biológico / Sedimentación .....	131

## Lista de Abreviaturas

<b>Abreviatura</b>	<b>Significado</b>
DBO	Demanda Bioquímica de Oxígeno
DQO	Demanda Química de Oxígeno
DFP	Diagrama de Flujo del Proceso
FT	Fósforo Total
NT	Nitrógeno Total
PTARI	Planta de Tratamiento De Aguas Residuales Industriales
ST	Sólidos Totales
STV	Sólidos Totales Volátiles
SS	Sólidos Suspendidos



## INTRODUCCIÓN

Actualmente, el auge de la actividad industrial ha conducido a un mayor consumo de agua potable, y por consiguiente, a la generación de grandes cantidades de aguas residuales, las cuales deben tener la calidad establecida por la normativa vigente, antes de ser descargadas a cuerpos de agua o a sistemas cloacales.

En el caso de la empresa de manufactura de cosméticos donde se lleva a cabo este trabajo especial de grado, los efluentes líquidos son vertidos a la red cloacal después de ser acondicionados por el sistema de tratamiento de dicha empresa. No obstante, en análisis anteriores se evidencia que la empresa no cumple con lo dispuesto en el Decreto N° 883: Normas para la Clasificación y el Control de la Calidad de los Cuerpos de Agua y Vertidos o Efluentes Líquidos, el cual constituye la normativa vigente que regula este tipo de actividades en Venezuela.

Esta situación acarrea inconvenientes para la empresa en un futuro, por lo que con este trabajo especial de grado, se pretende proporcionar un análisis profundo en cuanto al funcionamiento del sistema de tratamiento, además de detectar los problemas, tanto de operación como de diseño, que presenta el mismo; y a partir de ello, proponer ajustes a corto y largo plazo que permitan una mayor eficiencia de las etapas de la planta de tratamiento y por consiguiente, cumplir con lo dispuesto en la normativa mencionada.

Para lograr este objetivo, se inicia con una revisión bibliográfica que proporcione los principios bajo los cuales opera cada etapa del sistema de tratamiento, así como una revisión histórica donde se abarquen aspectos como el Proyecto de Diseño y Manual de Operación de la planta de tratamiento y los análisis anteriormente realizados al efluente de la misma. Posteriormente, es necesario planificar y realizar la caracterización del efluente industrial que sea representativa del proceso productivo de la

empresa, para lo cual se toma en cuenta la planificación de producción establecida. El muestreo abarca distintos puntos de la planta, con la finalidad de determinar las eficiencias de remoción de contaminantes de una etapa a otra.

Esta caracterización permite establecer si el efluente que se descarga a la red cloacal cumple o no con el Decreto N° 883, específicamente en su Artículo 15. Basado en este análisis, y en investigaciones realizadas anteriormente de sistemas de tratamientos similares, se proponen ajustes al proceso productivo o a la operación y diseño del sistema de tratamiento, con la finalidad de obtener un mejor funcionamiento, y por ende, un efluente que cumpla con la norma.

Para una mejor comprensión, el contenido de este trabajo especial de grado se estructuró en cinco (5) capítulos. El Capítulo I contiene los fundamentos de la investigación, como lo son Planteamiento del Problema, Antecedentes y Objetivos General y Específicos. En el Capítulo II se presentan los fundamentos teóricos, así como la descripción detallada de la empresa y de cada uno de los procesos que conforman el sistema de tratamiento en cuestión. El Capítulo III es una descripción de la Metodología a emplearse para el cumplimiento de los objetivos de esta investigación. En el Capítulo IV se discuten y analizan los resultados de las diferentes mediciones y el muestreo realizado en los puntos de la planta de tratamiento previamente establecidos. Finalmente, el Capítulo V contiene las Conclusiones a las que se llegó luego del análisis realizado, así como las Recomendaciones que se plantean para posteriores investigaciones. Además, se presentan las Referencias Bibliográficas empleadas, así como la sección de Apéndice, donde se detallan los cálculos efectuados en este trabajo especial de grado, tablas de resultados y el Decreto N° 883.

## CAPÍTULO I

### FUNDAMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN

Este capítulo contiene el planteamiento del problema que será desarrollado en el presente trabajo de investigación, seguido de los objetivos general y específicos que persigue el mismo, así como también los antecedentes referentes al tema.

#### **Planteamiento del Problema**

Todo proceso de manufactura tiene asociado un efluente de agua residual que debe cumplir con una calidad establecida antes de ser vertido a los cuerpos de agua (ríos, lagos, mares) o a los sistemas cloacales, como es el caso. El área de fabricación de cosméticos de cuidado personal genera un efluente líquido que necesariamente, en la mayoría de los casos, debe ser acondicionado antes de su descarga, por lo que en la industria donde se llevará a cabo este trabajo de investigación, se cuenta con una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Industriales (PTARI), la cual fue puesta en funcionamiento desde octubre de 2008. A partir de esta fecha, se han venido realizando análisis fisicoquímicos trimestrales, con la finalidad de determinar si la empresa en estudio cumple con lo establecido en el Decreto N° 883, demostrando que el efluente residual se mantuvo dentro de los rangos establecidos en el Decreto correspondiente, a excepción del primer trimestre de 2010 donde se evidenció que los parámetros como la Demanda Química de Oxígeno (DQO) y los Sólidos Totales (ST) no cumplieron los límites señalados para descargar el efluente a la red cloacal.

Adicionalmente, en el año 2011, nuevamente los análisis realizados al efluente residual evidenciaron que este no es apto para su vertido a los sistemas cloacales, debido a que parámetros como DBO, DQO, Detergentes

Aniónicos y de ST y Sólidos Suspendidos (SS), superaron los límites máximos establecidos en la normativa.

Esta situación amerita un análisis detallado que permita dilucidar si se trata de que las caracterizaciones realizadas no han sido suficientemente representativas del efluente que se descarga en la empresa, o si hay un funcionamiento inadecuado de una o varias unidades que conforman el sistema de tratamiento, en la modalidad de lechos bio-percoladores.

En vista de esta incertidumbre, la presente investigación está orientada a analizar la situación actual del sistema y proponer los ajustes necesarios al proceso productivo y/o a la planta de lechos bio-percoladores empleada para el tratamiento de las aguas residuales que se generan en la empresa en cuestión, identificando las posibles descargas que pudiesen afectar a dicho sistema de tratamiento, con la finalidad de dar cumplimiento al Decreto N° 883 en cuanto a vertidos de efluentes líquidos industriales.

## **Objetivos**

### **General**

- Analizar el comportamiento de una planta de lechos bio-percoladores empleada para el tratamiento de los efluentes líquidos generados en una empresa de manufactura de cosméticos.

### **Específicos**

1. Identificar las corrientes de efluentes líquidos en cuanto a caudales y frecuencia de descarga a la planta de tratamiento de aguas residuales de la empresa.

2. Caracterizar el efluente representativo de agua residual industrial que se genera en el proceso productivo de la empresa.
3. Determinar la eficiencia de cada una de las etapas que componen la planta de tratamiento de aguas residuales industriales en actividad en la empresa.
4. Comparar la calidad del efluente tratado por el sistema de tratamiento en actividad con el Decreto N° 883: Normas para la clasificación y el control de la calidad de los cuerpos de agua y vertidos o efluentes líquidos.
5. Proponer los ajustes necesarios en el proceso productivo y/o en el sistema de tratamiento que permita mejorar la calidad de las descargas de efluentes líquidos de la empresa.

### **Antecedentes**

Entre las referencias consultadas de trabajos previos realizados en el área, se tiene que **Padilla y Garmendia (1965)** llevaron a cabo un estudio del funcionamiento del lecho percolador biológico en un modelo a escala de laboratorio, instalado en el Laboratorio de Procesos Unitarios del Departamento de Ingeniería Sanitaria (Escuela de Ingeniería Civil de la UCV), el cual tiene una altura total de 2,10 m, cuyo enfoque principal fue la remoción de DBO. Para ello, utilizaron agua recolectada en el colector izquierdo del Río Valle, la cual hicieron pasar a través del filtro a diferentes caudales de baja rata (con cargas orgánicas entre 80 g DBO/m<sup>3</sup>d y 400 g DBO/m<sup>3</sup>d) y alta rata (con cargas orgánicas entre 400 g DBO/m<sup>3</sup>d y 4800 g DBO/m<sup>3</sup>d), tomando en cuenta parámetros como la temperatura, composición del líquido cloacal y reducción de nitrógeno en sus diferentes formas (orgánico, amoniacal, nitritos y nitratos). Adicionalmente, se consideró

la influencia de la altura del lecho por lo que se estudió el comportamiento de estas variables a seis (6) diferentes profundidades con la finalidad de determinar una profundidad óptima de diseño. Con base a la metodología usada, se obtuvo como resultado que al aumentar la carga procesal en el lecho bio-percolador (manteniendo constante el resto de las variables) se incrementó la eficiencia en cuanto a la remoción de DBO del líquido cloacal. Como profundidad óptima de operación, se obtuvo que entre 0,9 y 1,2 m se obtienen los valores mas altos de eficiencia (hasta un 99,8 %) en cuanto a remoción de DBO, mientras que a profundidades mayores a 1,5 m parece existir una inversión del proceso, y específicamente a 1,8 m (en este caso, profundidad establecida como óptima para el diseño de la unidad) empieza a desarrollarse un proceso anaerobio.

Por otra parte, **Ríos y Sgambatti (1970)** propusieron determinar el período de retención a diferentes caudales (de baja, mediana y alta rata), de un lecho bio-percolador a escala de laboratorio, empleando un modelo de reactor de vidrio instalado en el Laboratorio de Procesos Unitarios de la UCV, con altura útil de 2,10 m. Para verificar el correcto funcionamiento se empleó inicialmente agua potable y en la siguiente etapa, se hizo bombear un caudal constante de líquido residual doméstico captado del colector izquierdo del Río Valle, condición que permitió la formación de la película biológica. Finalmente, la maduración o estabilización del sistema se obtuvo a los quince (15) días, momento en que se alcanzó el 59% de eficiencia en cuanto a la remoción de DBO, siendo este valor cercano a la eficiencia final del sistema. Como resultado de las pruebas realizadas empleando una sustancia de fluoresceína sódica como trazador, se obtuvieron tiempos de retención experimentales entre 10,51 min y 43,69 min (los cuales disminuyen a medida que se aumenta el caudal) para el líquido residual doméstico, y a partir de estos se determinaron las expresiones que permiten obtener del período de

retención medio, tanto para el agua potable como para el líquido residual doméstico, y a su vez una expresión que logra relacionar ambos tiempos.

En la investigación de **Rivera, Valdés, Castro, Nieves y De La Torre (1999)** se llevó a cabo un estudio del sistema de un lecho bio-percolador a escala piloto operando a tasa alta donde se determinó la eficiencia de remoción de DQO del residual lácteo para tres relaciones de recirculación, con una carga orgánica aplicada entre 1,2 y 2,0 kg DQO/m<sup>3</sup>d. Otros parámetros tomados en cuenta fueron la remoción de sólidos y de Nitrógeno Total (NT). Para el estudio se tomaron en cuenta tres (3) relaciones de recirculación (R=1, R=2 y R=3) al lecho bio-percolador para tres (3) arreglos diferentes, como puede observarse en la Figura N° 1 (Forma de Reciclo A: se recircula la corriente de la salida del filtro directamente a la entrada de este, Forma de Reciclo B: se recircula la corriente de salida del filtro a la entrada del sedimentador primario colocado antes de la entrada del filtro, Forma de Reciclo C: se recircula la corriente de salida del sedimentador secundario colocado luego de la salida del filtro a la entrada del mismo).

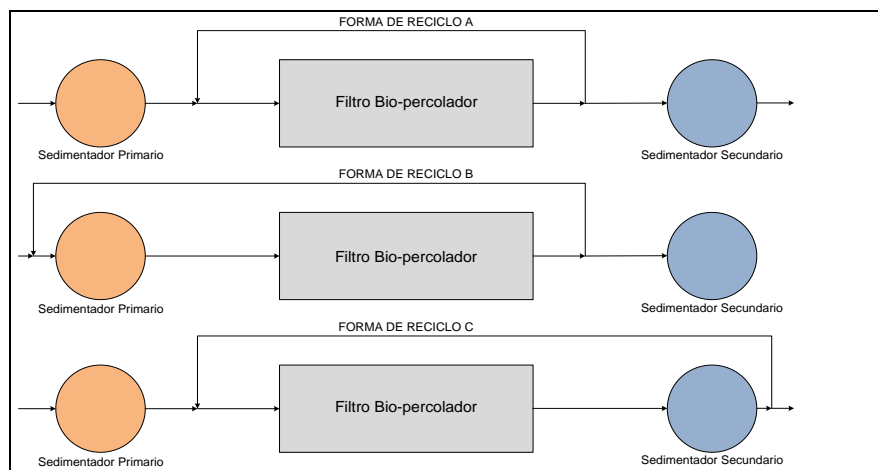


Figura N° 1: Formas de reciclo estudiadas por Rivera, Valdés, Castro, Nieves y De La Torre (1999)

Como resultado del proceso experimental, estos investigadores concluyen que a mayor razón de recirculación, en este caso  $R=3$ , más favorable es la remoción de componentes como la materia orgánica, sólidos y NT y que en combinación con un arreglo donde exista una previa separación de sólidos (Forma de Reciclo B), se obtiene la mayor eficiencia de remoción para todos los parámetros evaluados (87,4 % de DQO, 58,7% de ST, 61,3% de NT) ya que evita obstrucciones en el empaque del filtro.

El estudio de **Maheesan y Srinikethan (2011)** se basó en evaluar el desempeño de un sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas conformado por un filtro bio-percolador seguido por un humedal de flujo vertical intermitente, operando bajo condiciones de laboratorio durante un período de noventa (90) días. Se analizaron muestras tomadas en diferentes puntos del sistema en cuanto a DBO, DQO, SS, NT y Fósforo Total (FT), cuyas concentraciones en el afluente fueron 195 mg/l, 570 mg/l, 115 mg/l, 22 mg/l y 6 mg/l, respectivamente para cada parámetro. Se demostró que el sistema estudiado puede ser usado efectivamente para tratamiento de aguas residuales con ventajas como simplicidad en cuanto a su funcionamiento, no es necesaria la mecanización para su operación y exige un menor consumo de energía. Adicionalmente, se evidenció que el filtro bio-percolador se muestra más efectivo en cuanto a la remoción de carga orgánica (con eficiencias de remoción para DBO y DQO de 83% y 82% respectivamente), mientras que el humedal de flujo vertical intermitente presenta mayor eficiencia para la remoción de nutrientes (con eficiencias de remoción para NT y FT de 97% y 64% respectivamente) y sólidos (con una eficiencia de remoción de 71%).



Después de haber presentado algunos de los trabajos de investigación sobre lechos bio-percoladores, a continuación, se presentan los antecedentes del funcionamiento del sistema que actualmente opera en la fábrica de cosméticos en estudio. En cuanto a los análisis fisicoquímicos efectuados anteriormente al efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales proveniente de la empresa, se realiza énfasis en cinco (5) parámetros que se encontraron fuera de los límites establecidos en el Decreto N° 883 en el mes de octubre del 2011, como lo son DBO, DQO, Detergentes, ST y SS, lo que se evidencia en sus respectivos registro históricos a través de la Figura N° 2, Figura N° 3, Figura N° 4, Figura N° 5 y Figura N° 6 mostradas a continuación.

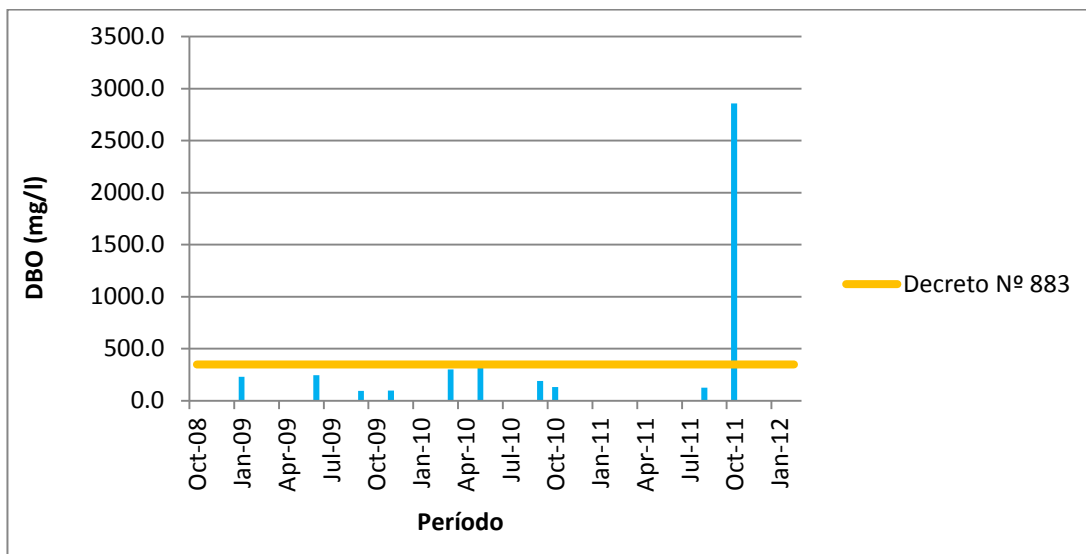


Figura N° 2: Registro histórico de DBO a la salida de la PTARI

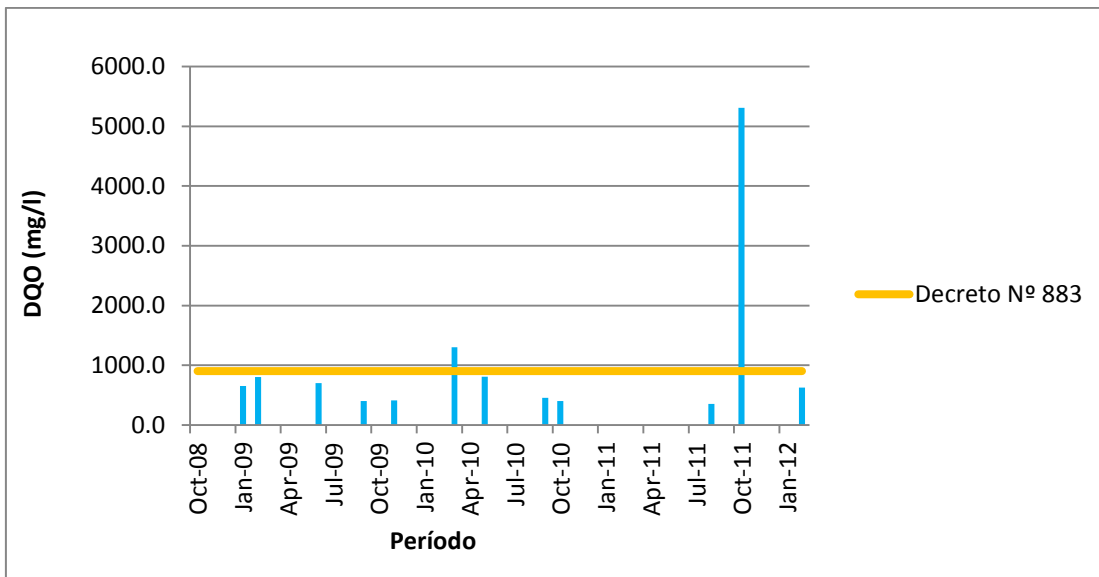


Figura N° 3: Registro histórico de DQO a la salida de la PTARI

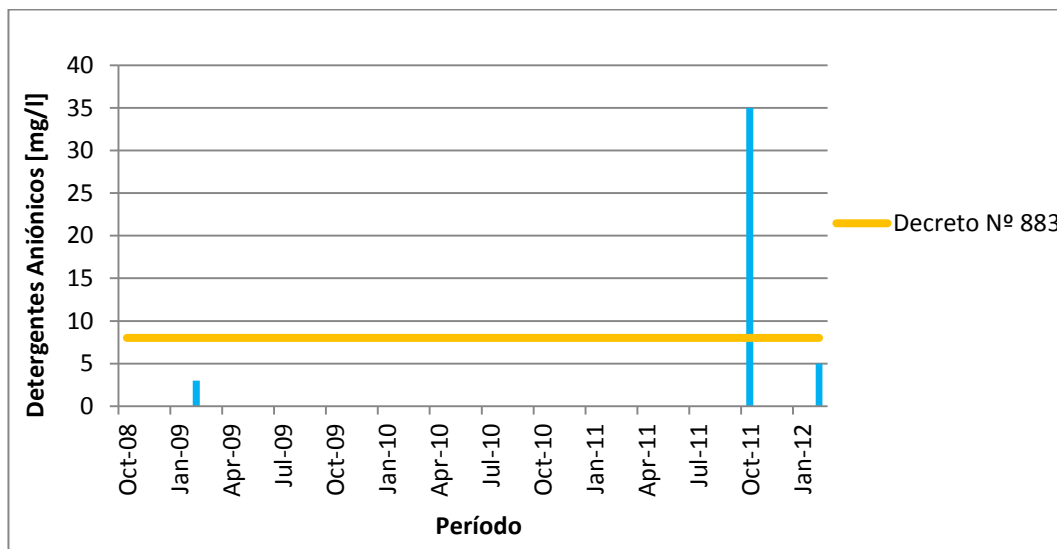


Figura N° 4: Registro histórico de Detergentes Aniónicos a la salida de la PTARI

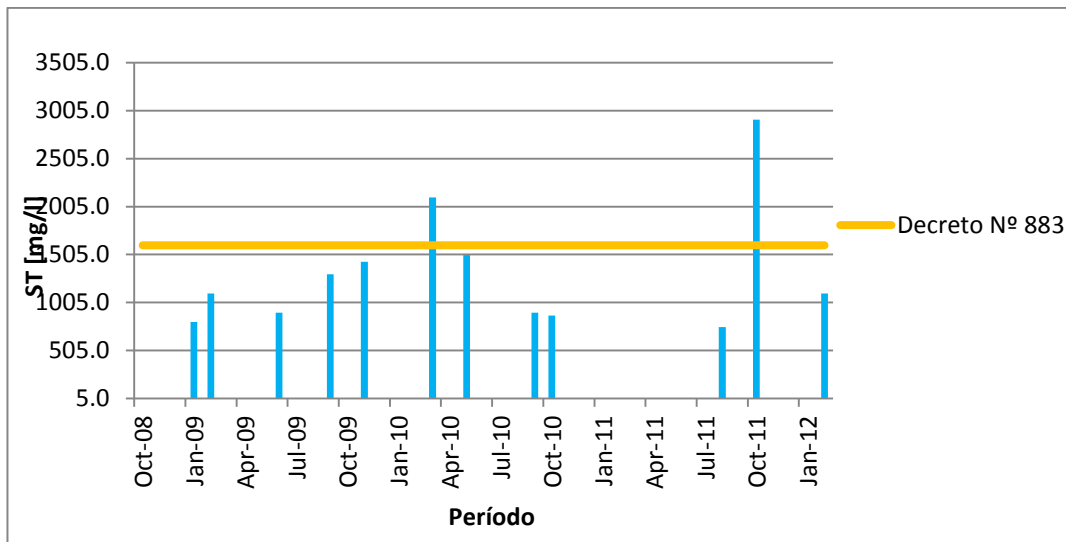


Figura N° 5: Registro histórico de ST a la salida de la PTARI

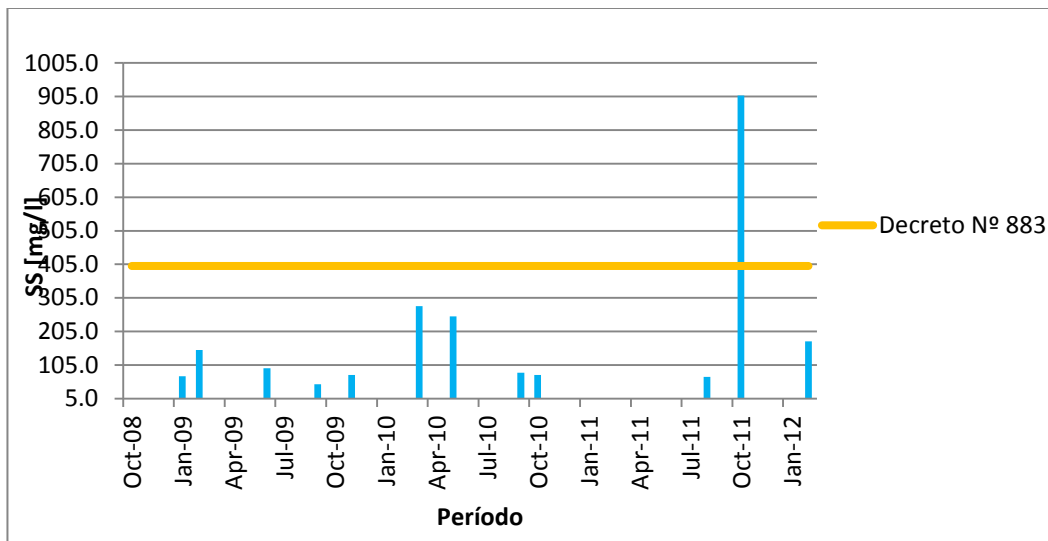


Figura N° 6: Registro histórico de SS a la salida de la PTARI

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO Y DESCRIPCION DE LA EMPRESA DE COSMETICOS

Este capítulo contiene los principios y bases teóricas que sustentan el presente trabajo de investigación, así como la descripción de la empresa y su sistema de tratamiento de los efluentes líquidos industriales.

#### **Información General de la Empresa**

Es una compañía con especialidad en la producción de cosméticos, que se encuentra ubicada en Santa Teresa del Tuy, Municipio Independencia, Estado Miranda.

Entre los productos que se comercializan se encuentra champús, acondicionadores, geles, cremas para peinar, lociones corporales, desodorantes, baños de crema y colonias.

La materia prima utilizada consta de extractos de productos naturales, surfactantes, gelatinas y aditivos para uso en la producción de cosméticos. El proceso industrial se rige por mezclados tipo “batch” según normas de proporción de los componentes y los efluentes generados en esta área, así como también en el área de lavado y envasado, son enviados por red de tuberías a la PTARI.

#### **Características de las Aguas Residuales en la Industria de Cosméticos.**

Los contaminantes en las aguas industriales son típicamente una mezcla compleja de compuestos orgánicos e inorgánicos. Generalmente, no es ni

práctico ni posible obtener un análisis completo de la mayoría de estos efluentes.

Por las razones anteriores se han desarrollado una serie de métodos empíricos para la evaluación de la concentración de contaminantes en aguas, cuya aplicación no requiere un conocimiento completo de la composición química específica de las aguas consideradas. Los métodos normalizados más importantes para análisis de aguas se dividen en:

- Determinación de parámetros físico-químicos: turbiedad, color, olor, sólidos totales.
- Determinación de contaminantes inorgánicos específicos: metales y aniones.
- Determinación de contaminantes orgánicos: DQO, DBO, Carbono Orgánico Total. (Romero J., 2002)

En virtud de conocer las características de efluentes de empresas de manufactura de cosméticos, se presentan valores de DQO típicos de este tipo de industria por medio del boletín de Crespi (1996), un estudio del tratamiento para el agua residual de diferentes empresas españolas, entre las cuales destaca la característica del efluente de cuatro (4) industrias de cosméticos, observándose que el valor de DQO oscila entre 3000 y 30000 mg/l. Estos valores se presentan en la Tabla N° 1.

Tabla N° 1: Valores de DQO promedios para diferentes empresas cosméticas españolas.

Industria	DQO <sub>a</sub> [mg/l]	Etapas Depuradoras de Aguas Residuales	DQO <sub>e</sub> [mg/l]
Cosmética (1)	3000 – 4000	HA – CF – FAO <sub>2</sub> +Be	80 – 120
Cosmética (2)	3000 – 5000	HA – CF – FP - FA	120 – 160
Cosmética (3)	25000 – 30000	HA – CF – FA+Be	400 – 600
Cosmética (4)	20000 – 25000	HA – CF – FA+Be	500 – 600

Fuente: Crespi (1996)

Donde:

DQO<sub>a</sub>: Concentración de DQO en el afluente al sistema de tratamiento [mg/l]

DQO<sub>e</sub>: Concentración de DQO en el efluente del sistema de tratamiento [mg/l]

HA = homogeneización aireada,

CF= coagulación-floculación.

FA = fangos activados

FP = filtro percolador

Be = adición de bacterias específicas

FAO<sub>2</sub> = fangos activados con oxígeno puro

Es importante destacar que para todos los arreglos del sistema de tratamiento presentados en la Tabla N° 1, se obtienen porcentajes de remoción de DQO entre 96% y 98%, demostrando que un sistema efectivo de remoción de materia orgánica aplicadas entre los 3000 y 30000 mg/l para efluentes de industrias cosméticas. Estos sistemas están compuesto básicamente por una etapa de homogeneización aireada (o balance / aireación), seguido de un proceso de coagulación-floculación, y finalmente un tratamiento biológico.

### Tratamientos de Efluentes de la Industria de Cosméticos.

Para realizar un análisis adecuado, y de ser necesario proponer los ajustes correctivos, es ineludible conocer el funcionamiento de la planta de tratamiento. En tal sentido, se presenta se presenta a continuación el diagrama de flujo de la misma, mostrados en la Figura N° 7, Figura N° 8 y Figura N° 9 , seguido de una descripción detallada de las etapas que la conforman.

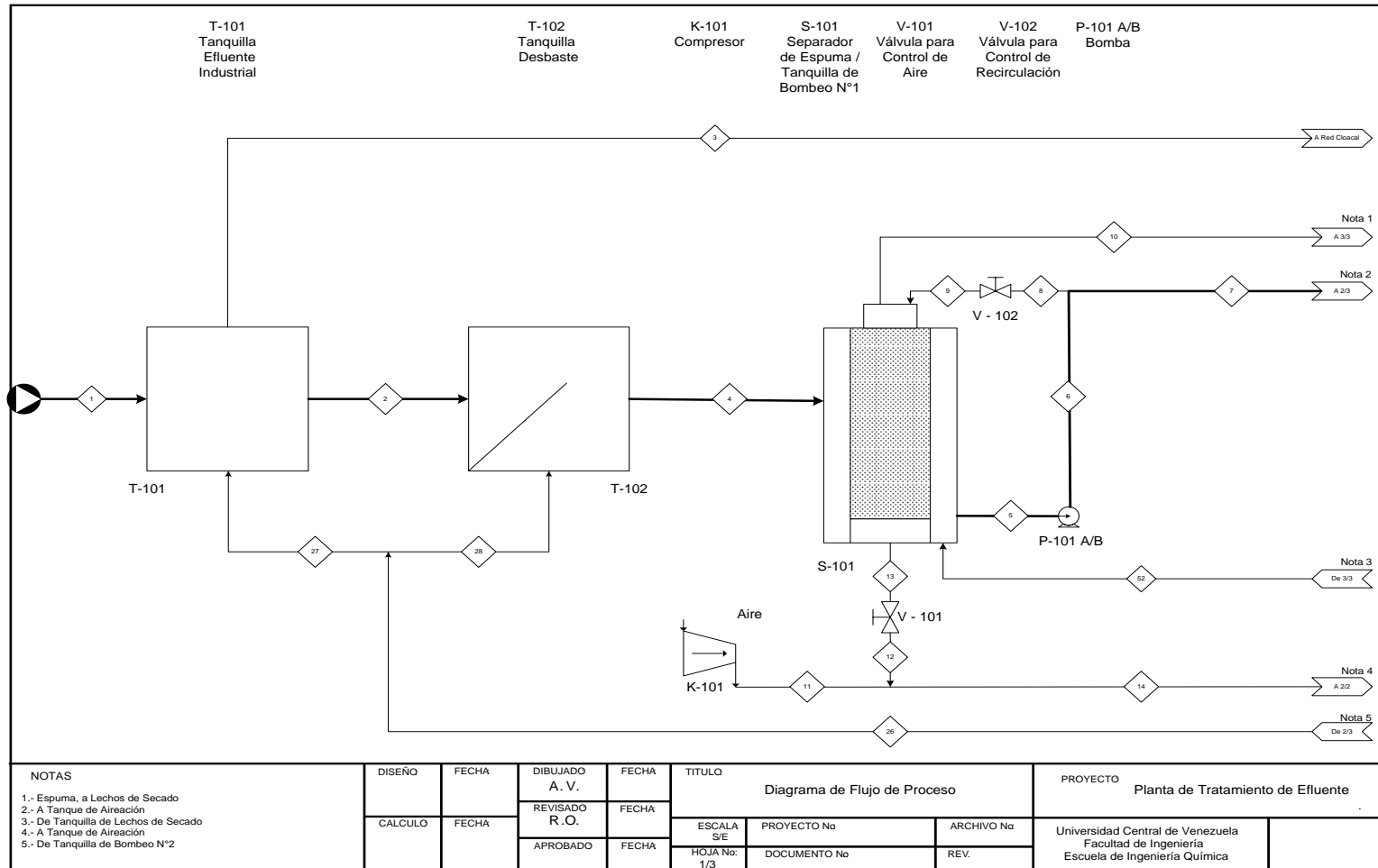


Figura N° 7: Diagrama de Flujo de la PTARI de la Industria de Cosméticos

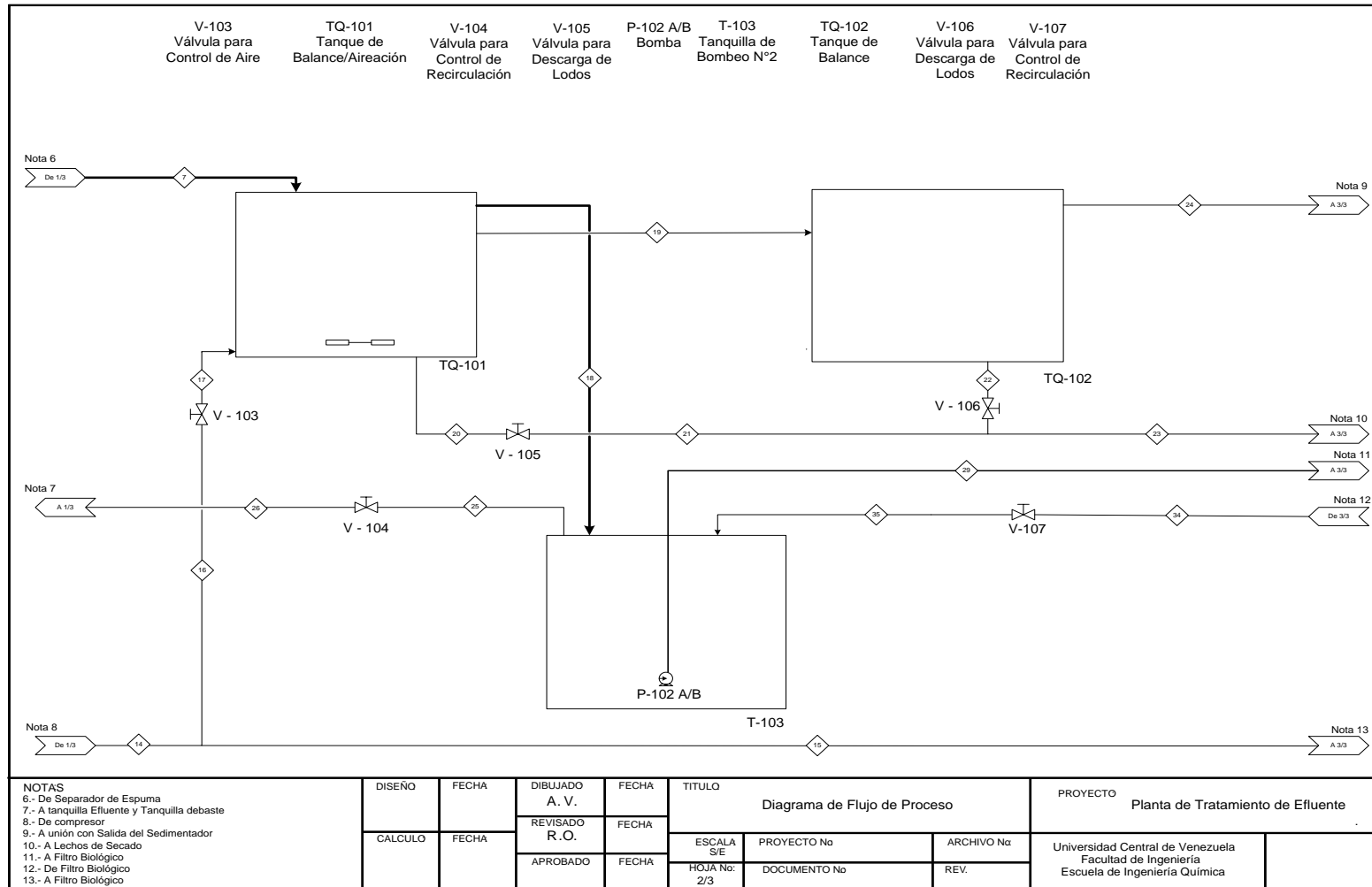


Figura N° 8: Diagrama de Flujo de la PTARI de la Industria de Cosméticos (Continuación)



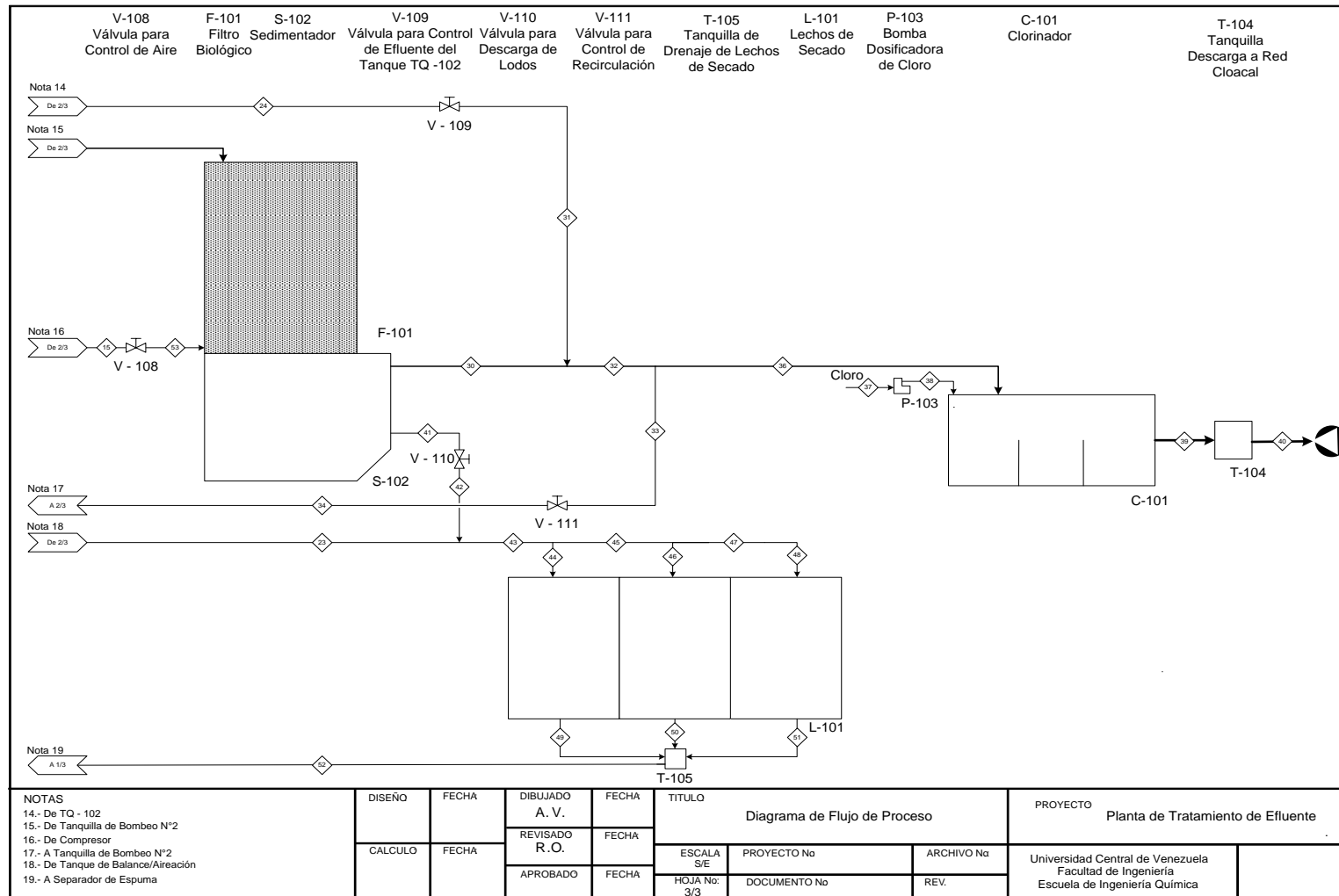


Figura N° 9: Diagrama de Flujo de la PTARI de la Industria de Cosméticos (Continuación)

De acuerdo al Proyecto de Tratamiento de Efluentes (2007), la función del sistema es proporcionar un tratamiento a la descarga de los desechos industriales, con el objeto de reducir las concentraciones de los parámetros contaminantes, para no sobrepasar los límites máximos permitidos, establecidos en el Artículo 15 del Decreto N°883, el cual se presenta en el Apéndice 2. El proceso se basa en la implementación de un sistema primario de separación de detergentes en forma de espuma, seguido por una etapa de balance / aireación, una etapa de tratamiento biológico, compuesto por un filtro bio-percolador, sedimentación secundaria, y por último la desinfección del efluente. Adicionalmente, los lodos generados son dispuestos a un sistema de lechos de secado.

Es importante destacar que en este sistema no se contempla la etapa de coagulación – floculación (CF) dispuestos en las cuatro (4) industrias españolas, analizadas en Tabla N° 1.

### **Parámetros de Diseño**

A continuación en la Tabla N° 2, se presentan los valores máximos en cuanto a los parámetros del efluente de la industria cosmética, que fueron considerados para el diseño de la PTARI. Se observa que los valores de DBO se encuentran en el rango de 3000 mg/l y 30000 mg/l presentado en la Tabla N° 1.

Tabla N° 2: Parámetros de Diseño de la PTARI de la Industria de Cosméticos

Parámetro	Límites Máximos de Diseño [mg/l]
DQO	7000
DBO	4000
STV	5000
SS	450
Aceites y Grasas	150
NT	16
FT	3
Detergentes Aniónicos	5

Fuente: Proyecto de la Planta de Tratamiento de Efluentes (2007)

## Descripción de los Procesos de la PTARI de la Industria de Cosméticos

### Desbaste

Se realiza mediante sistemas de rejillas o tamices, en vertidos industriales que tienen sólidos de tamaño variable en suspensión. Es un método económico y efectivo que evita el paso de sólidos al sistema que puedan obstruir equipos como bombas (Romero J., 2002).

En la PTARI de esta industria de cosméticos el desbaste consiste en una tanquilla con una capacidad volumétrica aproximada de 1 m<sup>3</sup>, donde se encuentra una rejilla con separadores de barra cuyo espacio entre alambres es de 1/8", instalados con bastidor. Además, cuenta con una tubería dosificadora de agua recirculada, previamente tratada, proveniente de la estación de bombeo N° 2. (Manual de Operación de la Planta Tratamiento de Efluentes, 2007). En la Figura N° 10, se pueden apreciar los elementos de esta etapa, como lo son la tubería dosificadora de agua recirculada y la rejilla.



Figura N° 10: Tanquilla de Desbaste de la PTARI

### **Separador de Espuma**

En esta etapa se usa como principio la flotación por inducida, la cual tiene la finalidad de separar sólidos o líquidos de una fase líquida. La separación viene dada por la introducción de finas burbujas de gas (usualmente aire), las cuales atrapan la materia particulada, permitiendo su ascenso a la superficie. La ventaja con respecto a la sedimentación es que se pueden remover en mayor cantidad las partículas que sedimentan muy lentamente. Esta operación también se emplea para eliminar grasas y aceites emulsionados. El equipo destinado para tal fin, generalmente consiste en un ducto estrecho en cuyo fondo se coloca una salida de aire que produce pequeñas burbujas en el fluido. Cuando estas burbujas alcanzan la superficie, se acumulan formando una espuma densa, la cual puede ser retirada por equipos mecánicos de barrido (Metcalf & Eddy, 1991).

En el equipo instalado en la PTARI, el ducto cuenta con un recolector de espuma en la parte superior, así como una tubería dispuesta de tal manera que la espuma se dirija a los lechos de secado. Este conjunto se encuentra dentro de la tanquilla de bombeo N° 1, la cual posee conexiones a la tanquilla

de bombeo N° 2 y a la tanquilla de drenaje de los lechos de secado. Esta tanquilla cuenta con una profundidad útil de 2,0 m, y sección cuadrada de 1,8 m, para un volumen aproximado de 6,5 m<sup>3</sup>. (Proyecto de Tratamiento de Efluentes, 2007). En la Figura N° 11 se puede apreciar una vista del conjunto tanquilla - separador de espuma.



Figura N° 11: Tanquilla de Bombeo N°1 de la PTARI

En la Figura N° 12 se observa sus partes, como lo son la tubería de entrada al ducto en la parte inferior y el recolector de espuma en la parte superior.



Figura N° 12: Partes del Separador de Espuma de la PTARI

### **Tanque de Balance / Aireación**

La homogeneización se utiliza para conseguir que todas las fluctuaciones del afluente se unifiquen, evitando descargas puntuales que pudieran afectar a los tratamientos posteriores. Si los picos de temperatura, caudal, carga orgánica y sobre todo pH se compensan, se hace posible que los tratamientos posteriores tengan carácter continuo. (Romero J., 2002).

En esta etapa, según el manual de operación de la PTARI, se le debe suministrar aire con difusores de burbuja fina instalados en el fondo a fin de mejorar las condiciones de biodegradación, evitar la septicidad y la sedimentación de sólidos suspendidos.

En la Figura N° 13 se muestra el primer tanque de Balance / Aireación que se encuentra en la PTARI, ya que en esta se tienen dos (2) tanques para esta etapa; así como las diferentes conexiones de tubería que posee, como lo son el suministro de aire (tubería azul), salida de agua por rebose (tubería verde superior) y la descarga de lodos (tubería verde inferior). Ambos tanques suman un volumen útil de 13 m<sup>3</sup>.



Figura Nº 13: Primer tanque de Balance / Aireación de la PTARI

### **Filtro Biológico o Lecho Bio-percolador**

Consiste en un reactor en el que se coloca al azar un medio sólido de soporte, en cuya superficie se da el crecimiento de la bio-película. Este tipo de sistemas se denomina de cultivo adherido ya que el agua residual se pone en contacto con películas microbianas adheridas a superficies. Generalmente incluyen sedimentación primaria y secundaria además del reactor biológico.

El fundamento de esta unidad consiste en la oxidación aeróbica llevada a cabo por los microorganismos que se adhieren por sí mismos al medio y crecen formando una película densa de naturaleza viscosa y gelatinosa. El agua residual moja la película en delgadas capas y las sustancias orgánicas disueltas pasan al interior de la bio-película debido a gradientes de concentración. En la superficie pegajosa podrían quedar retenidas las

partículas suspendidas y coloidales, y ahí se descomponen dando productos solubles. El oxígeno necesario para las reacciones aerobias de la superficie de la bio-película proviene del agua residual y del aire introducido en los huecos del medio por la convección natural o mediante sopladores. Los desechos producidos durante el proceso metabólico se difunden hacia el exterior de los huecos y son transportados por las corrientes de agua y aire existentes. (Metcalf & Eddy, 1991)

Los filtros bio-percoladores cuentan normalmente con un sistema de distribución del agua residual sobre el medio, ubicado en el tope del equipo. Como medio de empaque, se usa comúnmente roca triturada debido a que es fuerte, durable y químicamente resistente para el crecimiento de la bio-película. Con tamaño de roca de 50 a 100 mm se consigue un área superficial específica de 50 a 65 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>, con porosidades de 40 a 50%. Sin embargo, actualmente es común el empleo de medios de soporte de plástico de formas variadas, ya que tienen la ventaja de que puede determinarse con precisión el área superficial específica y la porosidad; consiguiéndose hasta 200 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup> de área y porosidad de 95%. (Metcalf & Eddy, 1991)

Un término que suele presentar confusión, son las bio-torres, las cuales son básicamente filtros bio-percoladores profundos (un filtro bio-percolador puede alcanzar hasta una profundidad útil de 3 m, mientras que la bio-torre puede llegar a ser de 12 m). Debido a ello, para evitar el peso excesivo que se generaría al utilizar roca triturada como medio de soporte, se utilizan medios de soporte modulares ligeros colocados alternadamente, fabricados con hojas planas corrugadas de PVC (policloruro de vinilo) soldadas, que proporcionan rigidez a la columna vertical. Además, la porosidad y forma regular que presenta este tipo de medio de soporte, supera los problemas de pérdidas de energía que existen en los reactores empacados. Los medios modulares se apilan para formar una columna de hasta 12 m de altura, con lo



que se obtiene un volumen grande en una estructura de contención relativamente pequeña. En general, las bio-torres tienen varias ventajas en comparación con los filtros bio-percoladores clásicos, como lo son mayores tasas de carga y minimización de la obstrucción debido a la porosidad y naturaleza del medio de soporte y mejor ventilación que resuelve los problemas de olor bajo la mayoría de las condiciones de operación. En cambio sus desventajas son: mayor costo de bombeo requerido por la recirculación de un gasto grande y la mayor pérdida de carga hidráulica a través de toda la profundidad del lecho. (Metcalf & Eddy, 1991)

El filtro biológico que opera en la PTARI posee un volumen total de 25 m<sup>3</sup>, con una profundidad de 3,6 m, largo 2,8 m y ancho 2,1 m. Contiene empaque de tipo plástico colocado de manera aleatoria dentro del recipiente contenedor, ocupando una profundidad de 1,7 m para un volumen total de 10 m<sup>3</sup>. Adicionalmente, cuenta con suministro de aire por inyección en la parte inferior con la finalidad de garantizar las condiciones aeróbicas en zonas del lecho donde no exista circulación natural de aire (Proyecto Tratamiento de Efluentes, 2007).

En la Figura N° 14, se muestra una vista externa del filtro bio-percolador instalado en la PTARI y el sedimentador secundario ubicado en la parte inferior de este, mientras que en la Figura N° 15 se observa una vista superior del interior del lecho, donde es posible identificar los canales de distribución del tope y el relleno o empaque del lecho.



Figura N° 14: Filtro Bio-percolador y Sedimentador Secundario de la PTARI

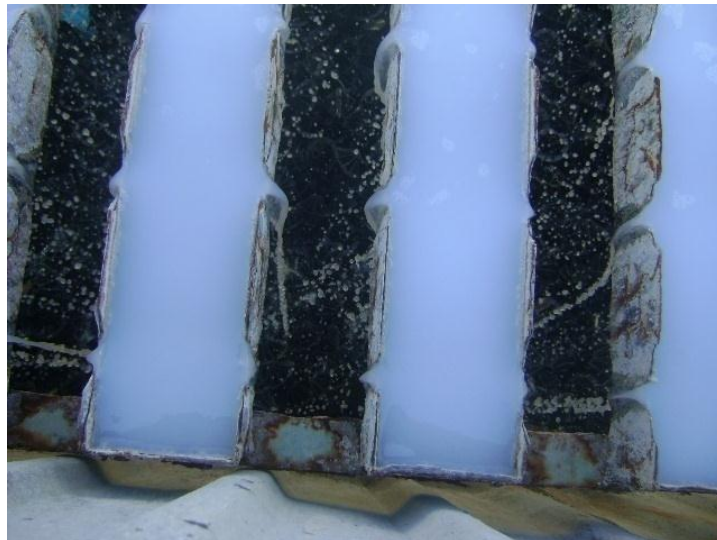


Figura N° 15: Vista de los canales de distribución y empaque del lecho, tomada desde el tope del filtro bio-percolador instalado en la PTARI

## Tanque Sedimentador

Esta unidad recibe el líquido proveniente del filtro bio-percolador, permitiendo la sedimentación de la biomasa que se desprende del medio plástico del lecho, depositándose en el fondo del tanque dispuesto en forma de tolva tronco-piramidal. Estos lodos son extraídos del cono por un tubo sifón que los dispone a lechos de secado. (Proyecto de Tratamiento de Efluentes, 2007). En la Figura N° 14 se muestra una imagen del tanque sedimentador o sedimentador secundario, el cual forma parte de la torre biológica.

El tanque de sedimentación posee las siguientes medidas: profundidad de 1,5 m, largo 2,9 m y ancho total 2,5 m, para un volumen de 8,1 m<sup>3</sup>. (Proyecto de Tratamiento de Efluentes, 2007).

Se muestra a continuación en la Tabla N° 3, el porcentaje de remoción de los parámetros contaminantes para la cual fue diseñado las etapas de Separación de Espuma, Tanque de Balance / Aireación, Filtro Bio-percolador y Tanque de Sedimentación. Cabe destacar que estas eficiencias son calculadas en base a la concentración de afluente y efluente de cada etapa.

Tabla N° 3: Eficiencias de Diseño para el Sistema de la PTARI de la Industria de Cosméticos

Parámetro	Remoción de Diseño [%]			
	Separador de Espuma	Tanque de Balance / Aireación	Filtro Bio-percolador	Tanque Sedimentador
STV	60	30	90	10
SS	30	-	-	80
DQO	60	55	90	5
DBO	60	50	85	5
Aceites y Grasas	90	5	25	-
NT	-	15	20	-
FT	90	15	10	15
Detergentes Aniónicos	60	35	40	20

Adaptado de: Proyecto de Tratamiento de Efluentes, 2007.

## Desinfección

El efluente que sale del sedimentador pasa al tanque de contacto o de cloración. Aquí el agua ya tratada recibe una dosis de un compuesto de cloro (se usa una solución de hipoclorito de sodio con dosificación aproximada de 0,5 l/h) para su desinfección. Este tanque tiene un volumen útil de aproximadamente 1,7 m<sup>3</sup>, para un tiempo de retención de aproximadamente sesenta (60) minutos (Proyecto Tratamiento de Efluentes, 2007). En la Figura N° 16 se tiene una fotografía del tanque de desinfección o cloración.



Figura N° 16: Tanque de Desinfección o Clorinador de la PTARI

## Lechos de Secado

Los lodos que se van acumulando en el fondo de las cámaras de sedimentación se deben purgar periódicamente, vertiéndolos en los lechos de secado. Dichos lechos cuentan con un volumen total de secado de 15 m<sup>3</sup>.

Así, se convierten en desechos sólidos manejables, que se colocan en recipientes para luego enviarlos al lugar de disposición final. (Proyecto Tratamiento de Efluentes, 2007). En la Figura N° 17 se muestran los lechos de secado que operan en la PTARI.



Figura N° 17: Lechos de Secado de la PTARI

## CAPÍTULO III

### MARCO METODOLÓGICO

En el presente capítulo se describen los métodos, técnicas y procedimientos que se llevaron a cabo para cumplir con los objetivos propuestos en este trabajo de investigación.

#### Fases de la investigación

La naturaleza del presente trabajo especial de grado es analítica y experimental, ya que se planteó determinar la eficiencia de un sistema de tratamiento de aguas residuales industrial, siguiendo todos los procedimientos necesarios. El método a seguir se desarrolló en seis (6) fases, de acuerdo al diagrama de la Figura N° 18 .

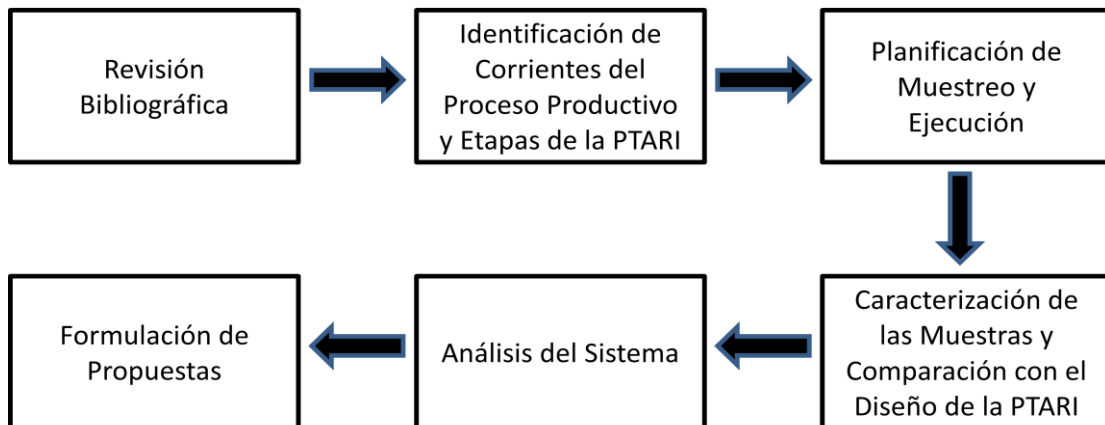


Figura N° 18: Fases de la Investigación

## **1. Documentación o Revisión Bibliográfica.**

En esta sección se recopiló información bibliográfica sobre el tema en cuestión, haciendo mayor énfasis en aspectos relacionados con las aguas residuales, las etapas de sistemas de tratamiento, y la importancia de estos.

Igualmente se investigó acerca de la norma actual vigente en nuestro país que rige la disposición de las aguas residuales para la clasificación y el control de la calidad de los cuerpos de agua y vertidos o efluentes líquidos (Decreto N° 883), con la finalidad de conocer los parámetros que se deben evaluar en la caracterización de las muestras captadas y la comparación de los resultados obtenidos con los permisibles por la normativa.

Se contó con el Proyecto de Diseño y Manual de Operación de la PTARI, donde se consultó información técnica del sistema de tratamiento, como parámetros de diseño de la misma, dimensiones y características de equipos, así como eficiencias de operación de las etapas que conforman la planta.

Adicionalmente, fue importante la revisión de los datos históricos procedentes de los registros de análisis anteriormente realizados al efluente industrial, los cuales permitieron establecer los momentos en los cuales, la descarga a la red cloacal no cumplió con la normativa ambiental, así como la frecuencia con la que ocurrió este hecho.

## **2. Identificación de corrientes del proceso productivo y etapas de la PTARI.**

Se identificaron las áreas que dirigen sus efluentes hacia la PTARI, determinando que las que generan mayor aporte son: Mezclado, Bulk, Envasado y Lavado.

Seguidamente se realizaron inspecciones durante la producción en las diferentes áreas, tomando en cuenta los procedimientos de lavados para las marmitas, máquinas, tanques de almacenamiento y contenedores de materia prima o productos, así como también la frecuencia y tipo de producto contenido en los equipos antes del lavado.

### **Determinación del caudal promedio aportado por área**

Para esto, fue necesaria la utilización de un recipiente de plástico con capacidad de 4 l y 2 cronómetros. Uno de ellos se usó para determinar el tiempo que se tardaba en llenar el recipiente de agua residual, mientras que con el otro se determinó el tiempo de lavado o descarga total de la misma.

Para fijar cada caudal, se procedió a dividir el volumen obtenido entre el tiempo requerido, como se muestra en la Ecuación N° 1 a continuación.

$$Q_i = \frac{V_i}{t_i} \quad \text{Ecuación N° 1}$$

Donde:

Q<sub>i</sub>= Caudal medido [l/s].

V<sub>i</sub>= Volumen de efluente recolectado [l].

t<sub>i</sub>= Tiempo que se tarda en recolectar dicho volumen [s].

Para cada lavado de marmita, máquina, tanque de almacenamiento y otros contenedores, se realizó un total de tres (3) mediciones y con la cual se calculó el caudal promedio, por medio de la Ecuación N° 2.

$$Q = \sum_{i=1}^3 \frac{Q_i}{3} \quad \text{Ecuación N° 2}$$

Donde:

Q= Caudal promedio para el equipo en estudio [l/s].

Q<sub>i</sub>= Caudal medido [l/s].



### **Inspecciones a la PTARI**

Con la finalidad de realizar un análisis del sistema de tratamiento, se realizaron inspecciones periódicas, así como consultas al personal encargado del manejo y control de la PTARI, determinando aspectos importantes sobre su funcionamiento, operación y mantenimiento. El siguiente paso, consistió en la descripción de cada una de las etapas de la PTARI con el objetivo de especificar el tipo de tratamiento que se lleva a cabo, así como la identificación de los afluentes provenientes de distintas etapas del proceso de manufactura de la empresa.

### **3. Planificación y Ejecución de Muestreos.**

Con conocimiento del origen de cada uno de los afluentes de la PTARI, así como de la planificación de producción de la empresa para el período en el que se realizó el muestreo, fue posible establecer los puntos de captación de muestra, tipo, cantidad y frecuencia de las mismas, para determinar las características físico-químicas del afluente y efluente, así como de entrada y salida de las etapas que permitieron determinar la eficiencia de estas. La planificación de producción se tomó en cuenta al momento de establecer la representatividad del efluente de la empresa muestreado. En general, las muestras fueron de tipo compuesta, ya que para cada punto de muestreo se realizó una mezcla de todas las captaciones instantáneas en el transcurso del día.

Con la finalidad de realizar caracterizaciones representativas, inicialmente se plantearon dos (2) muestreos que permitieran evaluar diferentes condiciones, tomándose en cuenta principalmente los parámetros que no han cumplido con el Decreto N° 883 en ocasiones anteriores, específicamente en octubre de 2011, de acuerdo a los registros correspondientes de análisis.

El primer muestreo se planificó para cuando la producción del día abarcara variedad de productos, siendo esta una condición normal o común, ya que la mayor parte del tiempo se opera bajo este esquema de producción. Un segundo muestreo estaba previsto para una condición pico, es decir cuando existiera manufactura de sólo un tipo de producto como champú o acondicionador, sin embargo, este tipo de producción no se tiene planificada actualmente. Debido a esto, se considera innecesario un segundo muestreo, ya que la producción variada que se llevó a cabo durante el día de la realización del primer muestreo ya permite asegurar una caracterización representativa del efluente, como se demuestra en los resultados de los datos de la producción de la industria, mostrados en el Capítulo IV.

### **Método de Muestreo**

Para este muestreo, los puntos donde se realizó la captación fueron los mostrados a continuación en la Figura N° 19 .

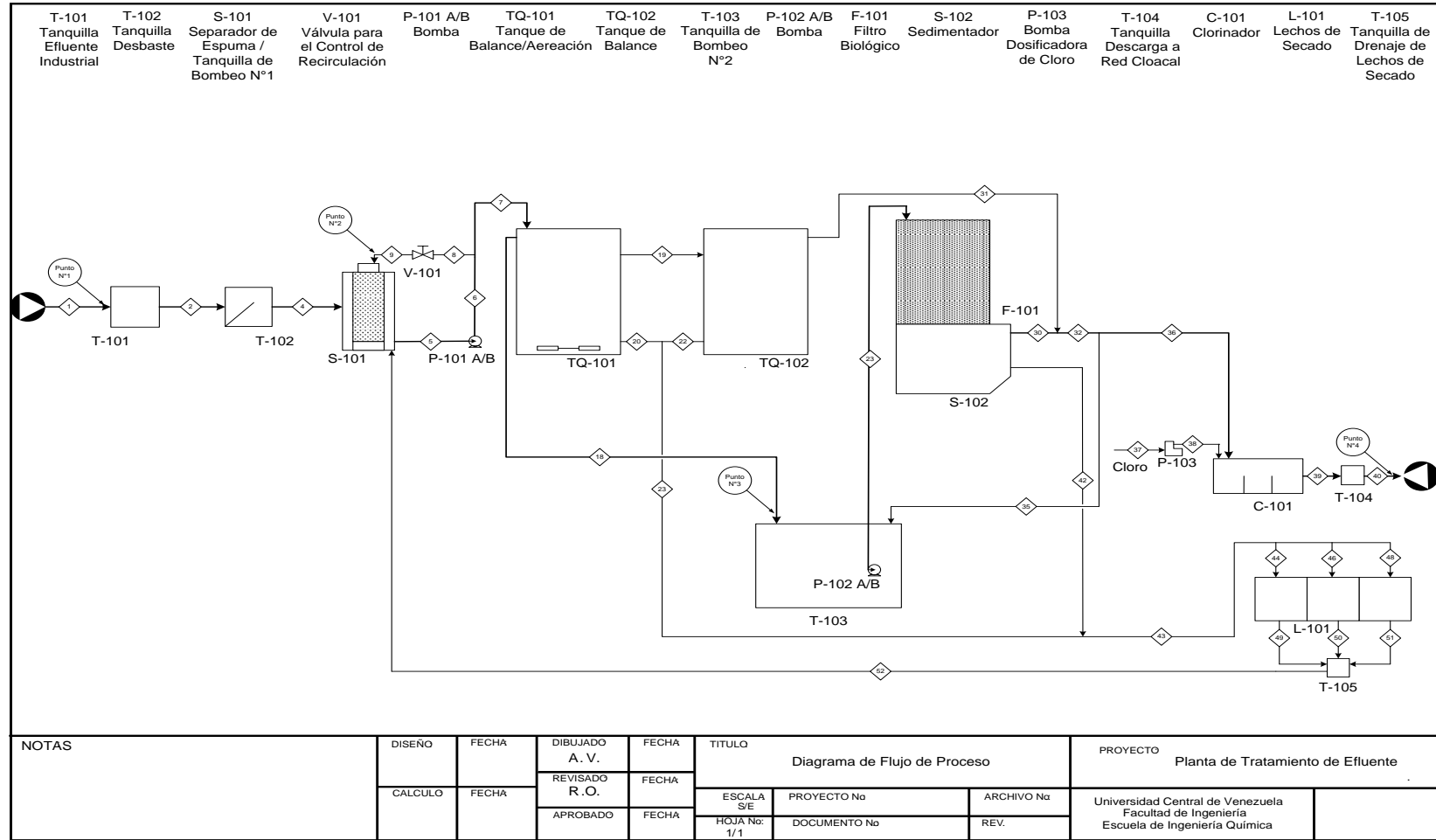


Figura N° 19: DFP de la PTARI de la Industria de Cosméticos con indicación de los puntos de captación de muestras

El método empleado para la captación de muestras y medición del caudal promedio en cada punto señalado, se describe seguidamente:

**Punto N° 1 - Tanquilla de recepción del efluente industrial:** La captación se realizó utilizando un recipiente o tobo de plástico de capacidad aproximada de 4 l con marcas o graduaciones a diferentes niveles. Este se colocó a la salida de la tubería que descarga en la tanquilla y se tomaron tres (3) mediciones de tiempo que tardaba el agua en alcanzar la marca correspondiente a los 4 l en el recipiente recolector usado.

**Punto N° 2 - Salida del Separador de Espuma:** A la salida de este equipo, la tubería correspondiente se bifurca en dos (2) líneas, la primera descarga directamente al interior del Tanque de Balance / Aireación, punto que resultó de difícil acceso para la captación de muestras. La segunda línea recircula el fluido, por lo que descarga al tope del ducto del Separador de Espuma, en cuyo punto no es posible colocar el recipiente recolector o tobo, por lo que debió utilizarse un cilindro graduado de capacidad 500 ml. El procedimiento en este caso fue similar al del punto N° 1, realizando tres (3) mediciones del tiempo que tardaba el fluido en alcanzar el mencionado volumen.

**Punto N° 3 - Salida del Tanque de Balance / Aireación:** La salida del Tanque de Balance / Aireación descarga directamente a la tanquilla de la estación de bombeo N° 2, por lo que la captación se llevó a cabo de igual forma que se hizo en el punto N° 1, debido a que en este caso se disponía de las condiciones para utilizar el recipiente recolector o tobo.

**Punto N° 4 - Salida del Tanque de Cloración:** A la salida de esta etapa, el efluente se dirige a la tanquilla de descarga a la red cloacal. En este caso, se empleó el recipiente recolector o tobo para tomar la muestra, sin embargo, resultó difícil que el agua alcanzara la marca correspondiente a los 4 l como en los casos anteriores, debido a la posición de la tubería en la tanquilla. Por esta razón se tomó un volumen desconocido, para el cual se midió el tiempo,

y posteriormente se determinó el volumen recolectado utilizando un cilindro graduado de 500 ml.

La frecuencia de captación de muestras fue de una (1) hora, tomándose con diferencia de diez (10) minutos de un punto a otro, y se usaron recipientes plásticos proporcionados por la empresa donde se realizó el presente trabajo de investigación, de capacidad 800 ml, por lo que se consideró llenar dos (2) envases por cada muestra captada.

Para el registro de datos generados durante la captación de muestras, se empleó el siguiente formato, presentado en la Figura N° 20.

Fecha: \_\_\_\_\_ Punto de captación: \_\_\_\_\_

Número de Sub-Muestra	HORA	MEDICIÓN DE CAUDAL			pH	T (°C)	Conductividad Específica. (µS/cm)	ASPECTO
		V (l)	T (s)	Q (L/s)				
#1	7:30 am							
#2	8:30 am							
#3	9:30 am							
#4	10:30 am							
#5	11:30 am							
#6	12:30 pm							

Figura N° 20: Formato de registro de datos durante la captación de muestras

Para el cálculo del caudal de cada una de las mediciones realizadas, se utilizó la Ecuación N° 1. Una vez obtenido los valores de caudal, se procedió a emplear la Ecuación N° 2 para determinar el caudal promedio de cada muestra recolectada.

Otro factor que se consideró fue el registro de valores de pH, temperatura y conductividad específica en sitio, para cada muestra generada.

### **Medición de pH y Temperatura**

Para la medición de pH y temperatura, se empleó un equipo pH-metro de la marca y modelo Metrohm 827 pH Lab.

### **Medición de Conductividad Específica**

La medición de conductividad específica se llevó a cabo con un equipo Metrohm 644 Conductometer, el cual posee una constante asociada de  $0,74 \text{ cm}^{-1}$ .

### **Preparación de Muestras Compuestas**

Una vez captadas las muestras y analizados los parámetros en sitio, se procedió al cálculo de los volúmenes necesarios de cada sub-muestra para formar la muestra compuesta correspondiente a cada punto. Dicho cálculo se realizó mediante la Ecuación N° 3, mostrada a continuación:

$$\frac{Q_{sm}}{V_{sm}} = \frac{\sum Q_{sm}}{V_{Tm}} \quad \text{Ecuación N° 3}$$

Donde:

$Q_{sm}$ : Caudal de cada sub-muestra [l/s].

$V_{sm}$ : Volumen necesario de cada sub-muestra para formar la muestra compuesta [l].

$V_{Tm}$ : Volumen total de la muestra compuesta [l].

Por otra parte, la toma de muestra, fue ejecutada por los autores del presente trabajo de investigación siguiendo los lineamientos establecidos en las Normas Venezolana Covenin o en su defecto en el manual "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater".

Estas muestras captadas fueron trasladadas a la Planta Experimental de Tratamiento de Agua (PETA) de la UCV, siendo este el ente encargado de la de la caracterización fisicoquímica y biológica del efluente y afluente.

#### **4. Caracterización de las Muestras.**

En base al registro de caracterizaciones trimestrales desde la instalación de la PTARI, realizadas tanto del afluente como al efluente tratado, se estimó cuáles son los parámetros críticos que en ocasiones han sobrepasado el límite máximo permitido señalado en el Decreto N° 883, o se han encontrado cercanos a dichos límites, siendo estos DBO, DQO, Detergentes, STV y SS; de manera de realizar los análisis de las aguas con especial atención a dichos parámetros. Además, las muestras compuestas preparadas se distribuyeron en envases plásticos y de vidrio, ya que para la determinación de parámetros como Aceites y Grasas y Detergentes es necesario que la muestra sea conservada en envases de vidrio, de acuerdo a la Norma Venezolana COVENIN 2709:2002 Aguas Naturales, Industriales y Residuales. Guía para las técnicas de muestreo (2002).

En la Tabla N° 4 se resumen los parámetros a determinar en la muestra de cada punto, así como su distribución:

Tabla N° 4: Parámetros a determinar en cada punto de captación y distribución de la muestra compuesta

Punto N°	Parámetros a determinar	Distribución
1	DBO, DQO, ST, SS, Aceites y Grasas, Detergentes Aniónicos, NT, FT, Aluminio Total.	1 env. plástico (4 l) 2 env. vidrio (1 l cada uno)
2	DBO, DQO, ST, SS, Aceites y Grasas, Detergentes Aniónicos.	1 env. plástico (2 l) 2 env. vidrio (1 l cada uno)
3	DBO, DQO, ST, SS, Aceites y Grasas, Detergentes Aniónicos.	1 env. plástico (2 l) 2 env. vidrio (1 l cada uno)
4	DBO, DQO, ST, SS, Aceites y Grasas, Detergentes Aniónicos, NT, FT, Aluminio Total.	1 env. plástico (4 l) 2 env. vidrio (1 l cada uno)

Debido a que en el muestreo N° 1, por razones ajenas a la voluntad del personal que labora en la PETA de la UCV, las muestras no pudieron ser conservadas bajo las condiciones necesarias para su análisis, se definió un segundo muestreo, realizado en fecha 1° de agosto de 2012. El muestreo N° 2 se realizó siguiendo exactamente el mismo procedimiento de captación de muestras, con la diferencia de que en esta ocasión fue ejecutada por parte del personal que labora en el Laboratorio de la PETA de la UCV.

## 5. Análisis del Sistema de Tratamiento.

### **Cálculo de la concentración de contaminantes esperadas a la salida de cada etapa**

Con el fin de realizar una comparación entre la eficiencia de diseño con la eficiencia actual de cada etapa, se determinaron las concentraciones esperadas de los parámetros contaminantes mediante el porcentaje de remoción de cada etapa, indicada en el Proyecto de Tratamiento de Efluentes (2007). Estas concentraciones se establecieron mediante la Ecuación N° 4.



$$C_e = C_a * (100\% - \%RD) \quad \text{Ecuación N° 4}$$

Donde:

$C_e$ : Concentración esperada del efluente de la etapa [mg/l]

$C_a$ : Concentración del afluente de la etapa [mg/l]

$\%RD$ : Porcentaje de remoción de diseño de la etapa [%]

### **Cálculo de la concentración de contaminantes esperada a la salida de la etapa de Filtro Biológico/Sedimentador**

Como no es posible tomar muestras del flujo que va desde la etapa de Filtro Biológico al Sedimentador Secundario, se procedió a realizar un análisis en conjunto de estos; y para determinar la concentración de contaminantes esperada en el efluente del sedimentador, se empleó la Ecuación N° 4, Ecuación N° 5 y Ecuación N° 6 .

$$C_{ef} = C_a * (100\% - \%RD_f) * (100\% - \%RD_s) \quad \text{Ecuación N° 5}$$

$$C_{es} = C_{af} * (100\% - \%RD_s) \quad \text{Ecuación N° 6}$$

Donde:

$C_{ef}$ : Concentración esperada del efluente del Filtro Biológico [mg/l]

$C_{es}$ : Concentración esperada del efluente del sedimentador [mg/l]

$C_a$ : Concentración del afluente de la etapa [mg/l]

$\%RD_f$ : Porcentaje de remoción de diseño del Filtro Biológico [%]

$\%RD_s$ : Porcentaje de remoción de diseño del Sedimentador [%]

### **Cálculo del porcentaje de remoción en cada etapa**

La eficiencia del sistema de tratamiento estudiado, fue estimada en base a los porcentajes de remoción de contaminantes, los cuales se determinaron tomando los valores de dichos parámetros a la entrada y salida del proceso, como se muestra en la Ecuación N° 7

$$\%R = \frac{C_a - C_e}{C_a} * 100\% \quad \text{Ecuación N° 7}$$

Donde:

%R: Porcentaje de remoción de la etapa [%]

C<sub>e</sub>: Concentración del efluente de la etapa [mg/l]

C<sub>a</sub>: Concentración del afluente de la etapa [mg/l]

Los valores obtenidos mediante la caracterización del afluente, fueron comparados con los parámetros de diseño, a fin de establecer si existen cambios significativos en cuanto a las variables fisicoquímicas y caudales para lo que estaba capacitada la planta al inicio de sus operaciones. Además se verificó si el efluente generado del sistema de tratamiento cumple con límites permisibles, descritos en el Decreto N° 883.

### **Determinación de dosis adecuada de Cal para mantener el pH óptimo a la entrada del Filtro Biológico.**

Para determinar la dosis adecuada de Cal, se recolectó una muestra del efluente de la etapa de Separación de Espuma durante una semana, y a cada una de esta se le determinó el pH.

Seguidamente se procedió a medir la densidad y tomar 200 g de esta para realizar un ajuste de pH a escala de laboratorio.

Con los datos obtenidos y empleando la Ecuación N° 8 se procedió a determinar la dosis de Cal a emplear.

$$m_{cal} = \frac{m_{cal\ lab} * \rho_{muestra}}{m_{muestra}} * 1000 * V_{tanquilla} \quad \text{Ecuación N° 8}$$

Donde

m<sub>cal</sub>: Dosificación adecuada de Cal [g]

m<sub>cal lab</sub>: Masa de Cal usada en laboratorio para ajustar el pH [g]

m<sub>muestra</sub>: Masa de efluente usado en el laboratorio para realizar la prueba de ajuste de pH [g]

$\rho_{\text{muestra}}$ : Densidad del efluente usado en el laboratorio para realizar la prueba de ajuste de pH [g/cm<sup>3</sup>]  
 $V_{\text{Tanquilla}}$ : Volumen de la tanquilla de bombeo N°1 (L)

Al realizar las pruebas se obtuvo 400 g como dosificación mínima y 800 g como máxima por cada dos horas. Se comenzó con la adición de 400 g de Cal, pero con este se obtenían valores cercanos al límite inferior establecido por la normativa u operación del filtro biológico, por lo que se consideró la dosificación de 800 g por cada dos horas.

## **6. Propuestas para un mejor funcionamiento del Sistema de Tratamiento.**

Una vez analizado el sistema de tratamiento de aguas residuales, se plantearon propuestas de mejora, que permitan un mejor funcionamiento del mismo. Además, se dispuso de una serie de trabajos de investigación que se han realizado previamente en esta área, que sirvieron de referencia para proponer mejoras al proceso en estudio.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En este capítulo se presentan, de manera secuencial y en correspondencia con lo establecido en los objetivos específicos de la investigación, los resultados obtenidos durante la realización de este trabajo especial de grado, así como su respectivo análisis.

#### **IV.1 Identificación de los efluentes líquidos que se generan en el proceso productivo de la empresa.**

La empresa donde se llevó a cabo este trabajo especial de grado, es reconocida por su amplia trayectoria a nivel nacional en cuanto a la fabricación de productos cosméticos, ofreciendo al mercado diversas líneas para el cuidado del cabello, cuidado de la piel, desodorantes y fragancias. Los procesos de elaboración de estos productos, básicamente constan de las mismas etapas, en cada una de las cuales se generan efluentes líquidos que son dirigidos a través del sistema de drenaje directamente a la planta de tratamiento de aguas residuales industriales, objeto de estudio de esta investigación. En la Figura N° 21 se presenta el diagrama de flujo general del proceso de manufactura.

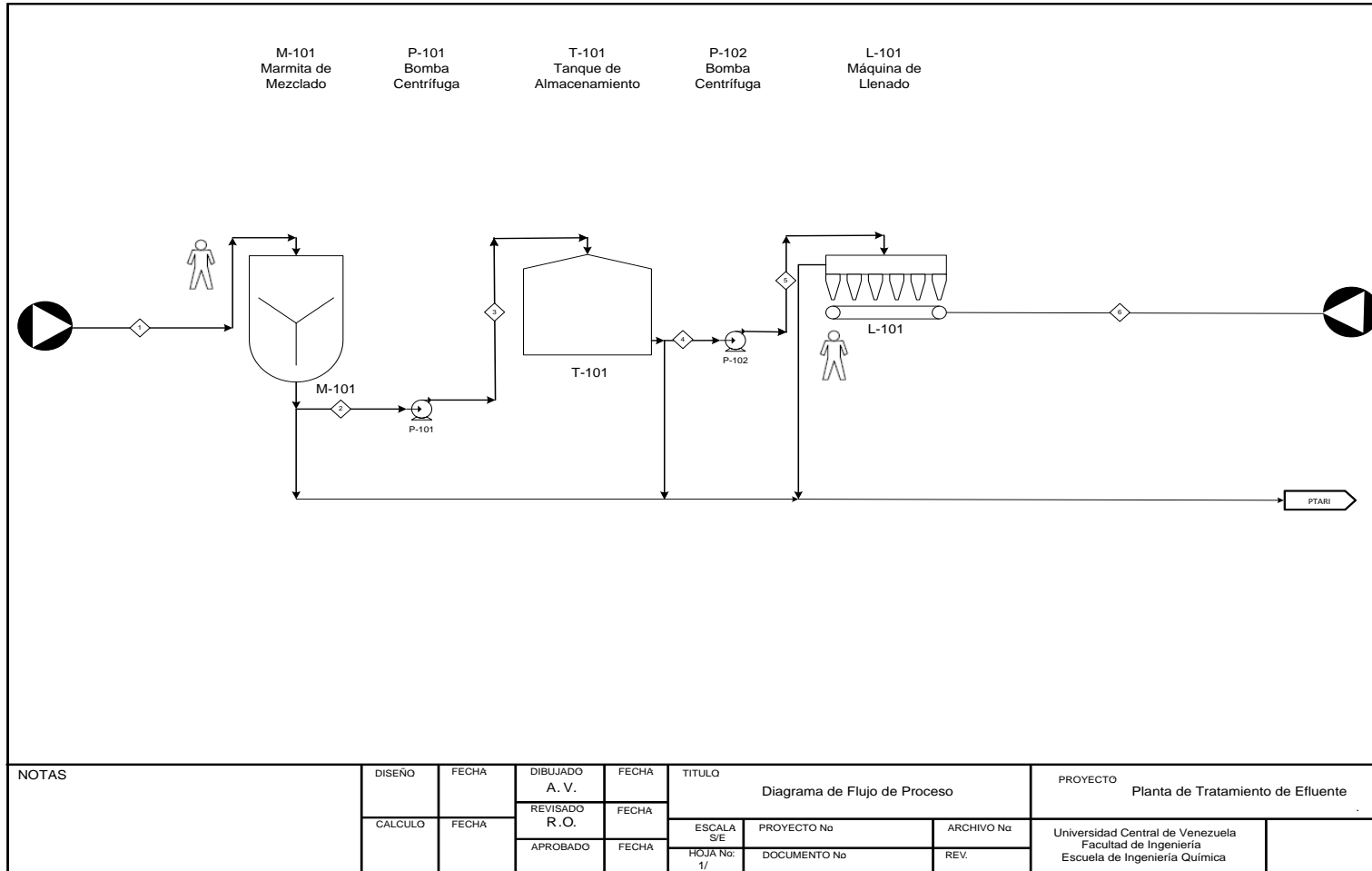


Figura N° 21: Diagrama de flujo del proceso de manufactura de la empresa cosmética

El proceso productivo inicia con el mezclado de las materias primas en proporciones formuladas y secretas para la elaboración de cada producto específico. Cabe destacar, que tanto a las materias primas como al material de empaque, se le realizan análisis fisicoquímicos y ensayos físicos, respectivamente, con la finalidad de verificar que estos cumplen con los requisitos y parámetros establecidos por control de calidad, que permitan garantizar productos de óptima calidad y satisfacción para el consumidor.

El proceso de manufactura es realizado en el Área de Mezclado, una sección de la planta donde se dispone de once (11) marmitas o tanques mezcladores que operan por cargas. Al finalizar la mezcla de un determinado producto (aproximadamente cada tres (3) horas, dependiendo del tipo de producto), se procede al lavado de la marmita, y de requerirlo, se carga la misma con agua hasta un nivel específico y se le adiciona un componente antiespumante.

En el caso del lavado de una marmita donde se haya mezclado champú, esta se carga hasta un nivel de aproximado de 200 L y se le adiciona una sustancia antiespumante, se agita durante un corto período de tiempo para retirar restos de productos de las paredes del recipiente, y finalmente se descarga este volumen de agua residual a los desagües que se dirigen a la planta de tratamiento en estudio. De manera similar ocurre con las marmitas donde se va a mezclar gel de diferente color, esta se carga completamente y se agrega sal para facilitar el desprendimiento de este producto de las paredes del recipiente.

Este mismo comportamiento se evidencia al realizar cambios del tipo de producto que se esté mezclando en una marmita determinada, por ejemplo, cuando se culmina el mezclado de un producto y se va a manufacturar otro, esta debe llenarse hasta su totalidad con agua y calentarse hasta aproximadamente 70°C para evitar que el producto que se va a mezclar presente restos del producto anterior.

Este lavado se complementa con el uso de mangueras que dosifican el agua a alta presión, también denominadas mangueras Hidro-Jet. Esta acción se repite varias veces para asegurar la correcta limpieza de la marmita, no obstante, actualmente se dispone de una misma marmita para realizar varias mezclas seguidas de un producto específico, permitiendo un menor gasto de agua durante el lavado. A continuación, se presentan mediciones de caudal en las distintas áreas del proceso productivo, a fin de establecer rangos de caudal de descarga a la PTARI. En la Tabla N° 5 se muestran algunas mediciones de caudal de descarga de agua residual de diferentes marmitas luego del mezclado de productos.

Tabla N° 5: Mediciones de descargas de agua residual del Área de Mezclado

Marmita N°	Descarga	Caudal [l/s]	Tiempo de Descarga [min]
1	Restos de crema para peinar y agua a 70°C	2,87	13,35
1	Restos de acondicionador y agua	0,47	14,65
2	Restos de loción y agua	0,90	15,75
3	Restos de champú, agua y antiespumante	2,73	1,22
4	Restos de champú, agua y antiespumante	2,63	1,27
4	Restos de desodorante y agua	0,56	11,33
7	Restos de gel, agua y sal	2,82	11,82

Como se puede observar, los caudales de descarga más altos se dan en las marmitas donde se mezclan champú y gel, así como también en el caso donde se tiene restos de crema para peinar y agua a 70°C, la cual se lavó en estas condiciones debido a que el siguiente producto a mezclar era una variedad de champú.

De igual forma, se registran caudales más bajos en los casos donde sólo se emplea agua para el lavado y, debido a la naturaleza de los productos, no es

necesaria la adición de antiespumante, sal o llenar la marmita a su totalidad con agua a 70 °C.

Debido a que anteriormente se planificaban producciones donde se utilizaban varias marmitas para mezclar un mismo tipo de producto, el gasto de agua para el lavado de dichos equipos era elevado cuando se necesitaba cambiar el tipo de producto a mezclar, por lo que se decidió en cuanto sea posible asignar una marmita para el mezclado de productos del mismo tipo, evitando cambio tan frecuentes en una misma marmita y por consiguiente menor gasto de agua y de otras soluciones, como antiespumante y sal.

De acuerdo a lo previamente explicado, si se toma en cuenta que las mediciones se realizaron durante una producción típica, el rango de caudal de descarga de agua residual que aporta el área de mezclado a la PTARI se encuentra entre 0,5 y 3 l/s aproximadamente, considerando que no se pueden realizar lavados simultáneos en esta área debido a que la presión del agua disminuye durante el uso de una manguera Hidro-Jet, a tal punto que no es posible emplear dos (2) al mismo tiempo.

Adicionalmente, es importante mencionar que durante el lavado de una marmita, la descarga de efluentes puede ser de tres (3) formas:

- Durante tiempo mayores a 11,33 min a un caudal menor a 0,9 l/s, como es el caso donde el lavado es solo con manguera Hidro-Jet;
- Se tiene el proceso donde se descarga durante un tiempo menor a 1,27 min pero a un caudal mayor a 2,63 l/s, que es el caso del lavado de la marmita donde se ha realizado champú;
- Y la situación más crítica, que es el caso de lavado de marmitas donde se mezclan geles y cuando hay cambio en el tipo de producto, donde se descarga caudales mayores a 2,82 l/s durante un tiempo mayor de 11,82 min.



Por lo anterior, se demuestra que la política tomada por la empresa sobre evitar el cambio de productos en una misma marmita, además del ahorro de agua para el lavado, mejora las condiciones del afluente de la PTARI ya que se está evitando la descarga de grandes caudales durante largos periodos de tiempo.

Una vez elaborado el producto, se procede a descargarlo por medio de bombas en tanques de almacenamiento. En esta área (denominada Área de Bulk), se tienen doce (12) tanques de almacenamiento, y al igual que las marmitas de mezclado, actualmente se dispone de un mismo tanque para varias cargas seguidas de un producto específico, requiriendo de menor volumen de agua durante su correspondiente lavado. De igual forma, para esta área se obtuvieron mediciones de caudal de agua residual durante el lavado de un tanque de almacenamiento, los cuales se muestran en la Tabla N° 6.

Tabla N° 6: Mediciones de descargas de agua residual del Área de Bulk

Tanque N°	Descarga	Caudal [l/s]	Tiempo de Descarga [min]
5	Restos de crema para peinar y agua	0,77	9,32
6	Restos de acondicionador y agua	0,50	10,45
7	Restos de loción y agua	0,48	8,95
7	Restos de champú, agua y antiespumante	1,12	6,53
8	Restos de acondicionador y agua	0,64	10,10
8	Restos de champú, agua y antiespumante	1,47	5,18
10	Restos de loción y agua	0,79	8,52

De manera similar que en el área de mezclado, se demuestra nuevamente que durante el lavado de un tanque que haya contenido champú, se incrementa el caudal y disminuye el tiempo de descarga, ya que este debe llenarse con cierta cantidad de agua para la adición del antiespumante haciendo, entre otras cosas, que sea más fácil la remoción del producto. Por otra parte, los caudales más bajos y el incremento del tiempo de descarga se

obtienen cuando el lavado del tanque requiere sólo de agua para remoción de los productos.

Además, para el lavado de los tanques de almacenamiento se dispone sólo de una manguera Hidro-Jet; si se toma en cuenta lo antes nombrado y que además las mediciones anteriores se realizaron en condiciones normales de producción, el rango de caudal de descarga de agua residual desde esta área a la PTARI, se encuentra entre 0,5 y 1,5 l/s aproximadamente.

Luego del almacenamiento, se bombea a las líneas de llenado ubicadas dentro del Área de Envasado, donde se dispone de seis (6) máquinas que poseen hasta diez (10) picos cada una para el llenado de dicho producto en su correspondiente envase. Cada línea de producción cuenta con hasta tres (3) operadoras que se encargan de colocar el envase en la correa transportadora, verificar y controlar el llenado y colocar las tapas. De igual forma, una vez realizado el llenado de un producto, proceso que tiene una duración entre dos (2) y tres (3) horas (aunque para algunos productos como desodorantes, el envasado puede extenderse durante todo un turno de ocho (8) horas), es necesario hacer pasar agua y solución sanitizante a través de la máquina para asegurar su limpieza antes de proceder a envasar un producto diferente. Algunas mediciones de caudal de agua residual de una máquina de llenado se pueden observar en la Tabla N° 7.

Tabla N° 7: Mediciones de descargas de agua residual del Área de Envasado

Máquina N°	Descarga	Caudal [l/s]	Tiempo de Descarga [min]
1	Restos de champú, agua, antiespumante y sanitizante	0,42	25,13
1	Restos de champú, agua, antiespumante y sanitizante	0,39	31,23
2	Restos de desodorante, agua y sanitizante	0,26	34,12
2	Restos de acondicionador, agua y sanitizante	0,30	29,85
3	Restos de crema para peinar, agua y sanitizante	0,24	32,72

En la tabla anterior se observan caudales más altos en los casos donde se lavan restos de producto en la maquina N° 1, ya que esta máquina es la que posee mayor cantidad de picos y por lo tanto mayor cantidad de bombas. Adicionalmente, es de notar el uso de sanitizantes para el lavado de las máquinas de envasado. Estas soluciones permiten la desinfección de los equipos con la finalidad de evitar la contaminación bacteriológica del próximo producto a envasar. Además, en los casos del lavado de la máquina correspondiente al envasado de gel, se desmonta la tolva de dicha máquina y se traslada al Área de Lavado, donde se hace uso de agua a temperatura ambiente y sal como agente limpiador para remover los restos de productos con mayor facilidad, ya que por la naturaleza altamente viscosa de este producto, el mismo tiende a adherirse a las paredes del equipo.

Es importante señalar, que en esta área tampoco puede hacerse uso de dos (2) mangueras Hidro-Jet al mismo tiempo, debido a que por esta se hace pasar agua caliente, seguido de agua fría y por último agua con sanitizante, solución que es preparada en el área de Bulk y puede ser bombeada sólo para una máquina a la vez.

Tomando en cuenta, al igual que en las áreas de mezclado y bulk, que las mediciones se realizaron durante una producción típica y la premisa de que dos (2) mangueras Hidro-Jet no pueden usarse para el lavado al mismo tiempo, se puede establecer que el rango de caudal de descarga de agua residual desde esta área a la PTARI se encuentra entre 0,20 y 0,50 l/s aproximadamente.

Las descargas de agua proveniente de las áreas anteriormente descritas se realizan a una tanquilla de desagüe que se encuentra a lo largo del Área de Bulk y se comunica con el Área de Envasado. Esta tubería subterránea, adicionalmente recolecta agua residual del Área de Lavado, donde se realiza el lavado de envases contenedores de materia prima, tanques móviles donde

también se almacenan productos antes de su envasado y como se mencionó, las tolvas de las máquinas que envasan geles. La frecuencia de lavado en esta área no se puede determinar con exactitud ya que el lavado de contenedores de materias primas se puede realizar luego de que estos se vacían en el área de mezclado o se dejan acumular varios para proceder al lavado de los mismos, mientras que el lavado de tanques móviles contenedores de producto se realiza al momento de finalizar el envasado del mismo al igual que en el caso de las tolvas de las máquinas de geles. De igual manera, se obtuvieron valores de caudal en cada caso para esta área, a partir de las mediciones mostradas en la Tabla N° 8.

Tabla N° 8: Mediciones de descargas de agua residual del Área de Lavado

Tipo de Recipiente a Lavarse	Descarga	Caudal [l/s]	Tiempo de Descarga [min]
Tolva	Restos de gel, agua y sal	0,31	11,46
Tolva	Restos de gel, agua y sal	0,35	14,32
Tanque Móvil	Restos de baño de crema	0,47	26,15
Tanque Móvil	Restos de gel, agua y sal	0,52	18,52
Contenedor de Materia Prima	Restos de materia prima y agua	0,43	3,26
Contenedor de Materia Prima	Restos de materia prima y agua	0,46	5,37

De la tabla anterior, se puede destacar, que los valores de caudales más bajos se obtienen en el lavado de las tolvas que contienen restos de gel, ya que se utiliza una línea de suministro de agua con menor caudal y presión. De igual forma, en el caso de tanques móviles y contenedores de materia prima, el caudal se encuentra en el mismo orden de magnitud para ambos,

pues en el lavado de estos se utiliza una manguera Hidro-Jet, a diferencia de las tolvas que contienen gel.

El menor tiempo de descarga se observa en los contenedores de materias primas, debido a su capacidad; mientras que el mayor tiempo se emplea en el lavado de tanques móviles con restos de baño de crema, ya que por la característica de esta sustancia, se dificulta la remoción de las paredes del recipiente.

De acuerdo a lo anterior, el caudal en esta área se establece entre 0,30 y 0,50 l/s, con frecuencia de descarga discontinua, ya que como se mencionó anteriormente, generalmente los operadores de dicha área realizan el lavado cuando se tienen acumulación de varios recipientes.

Una vez establecidos los rangos de caudales de cada área, se muestra el recorrido del agua residual a través de las diferentes áreas de la planta hasta la PTARI, así como los rangos de caudales correspondientes, en el siguiente diagrama de bloques de la Figura N° 22.

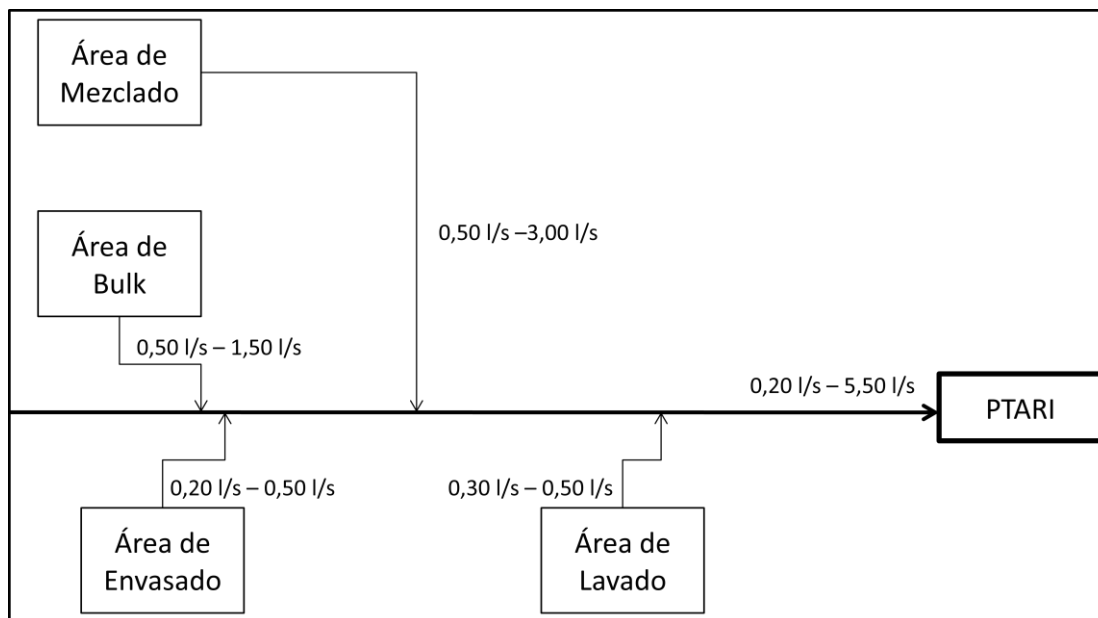


Figura Nº 22: Recorrido del efluente de agua residual hacia la PTARI y rango de caudales de cada área

Considerando que el caudal mínimo de agua residual a la entrada de la PTARI se efectúa sólo cuando en una de las áreas detalladas anteriormente, se está realizando el lavado de los equipos, y el caudal máximo cuando las áreas de mezclado, bulk, envasado y lavado se encuentran descargando efluentes simultáneamente; se puede establecer un rango de caudal a la entrada de la PTARI entre 0,20 l/s y 5,50 l/s aproximadamente.

Una vez identificadas las áreas de las que provienen los efluentes que descargan a la PTARI y obtenido mediciones de caudales, es importante señalar que durante la mayor parte de la jornada de operación de la empresa, la descarga es prácticamente continua aunque la producción se realiza por cargas, ya que los horarios de descanso de los operadores de los diferentes turnos no coinciden. Esto se debe al hecho de que el mezclado de productos, el vaciado de estos desde los tanques de almacenamiento hacia el área de envasado, el llenado en las máquinas correspondientes y el lavado de contenedores no se realiza simultáneamente, así como son procesos que

no tienen la misma duración, por lo que ocasiona que la descarga de efluentes esté ocurriendo la mayor parte del tiempo de operación, pero presentando gran diferencia en cuanto los valores de caudal.

Durante los muestreos realizados, se hicieron mediciones de caudal a la entrada de la PTARI, cuyas fluctuaciones se reflejan en la Figura N° 23, presentada a continuación.

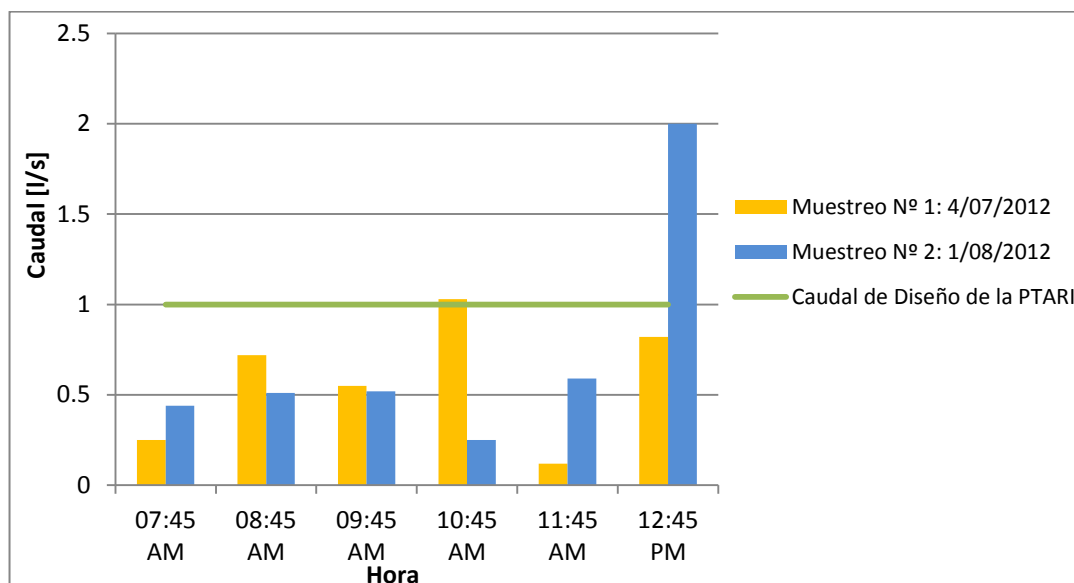


Figura N° 23: Caudales a la entrada de la PTARI registrados durante los muestreos realizados

Como puede observarse, los caudales registrados se mantienen dentro del rango de caudal estimado previamente; sin embargo, durante ninguno de los muestreos se presentó valores cercanos al caudal máximo, el cual se estableció a partir de la consideración de que se descarguen efluentes de las áreas de mezclado, bulk, envasado y lavado al mismo tiempo, condición que, como se puede demostrar, es poco frecuente de acuerdo a los valores obtenidos. En cuanto a las variaciones de caudal que se pueden observar de

un muestreo a otro, como se explicó anteriormente, la descarga de efluentes a la PTARI presenta fluctuaciones importantes debido a que la frecuencia de lavado de los equipos no es fija, lo que implica un aporte prácticamente continuo de agua residual al sistema de tratamiento de la empresa.

Al comparar con el caudal de diseño especificado en el Proyecto de Tratamiento de Efluentes (2007), 1 l/s, se verifica que existen momentos donde se supera este valor, incluso duplicándose.

#### **IV.2 Caracterización del efluente representativo de agua residual industrial que se genera en el proceso productivo de la empresa.**

Como se indicó en el Capítulo III de este trabajo especial de grado, para llevar a cabo un análisis del funcionamiento de la PTARI es necesario realizar una caracterización del efluente industrial que sea representativa del proceso productivo. En este orden, se recolectó la información relacionada a la producción de la empresa durante tres meses, correspondientes a febrero, mayo y septiembre de 2012, durante las cuales se contabilizó el número de días de la semana durante los cuales se manufactura un producto determinado, llevado a porcentaje. El resultado de este conteo se presenta en la Figura N° 24, Figura N° 25 y Figura N° 26.



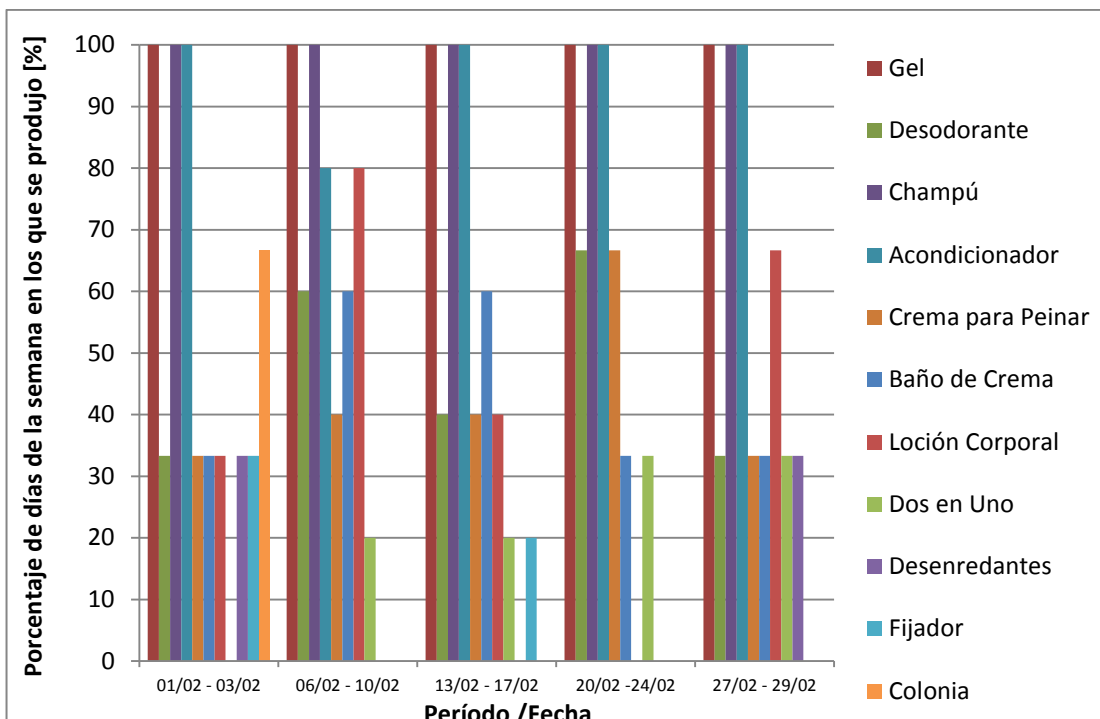


Figura N° 24: Porcentajes de producción de cada producto de acuerdo a la planificación de producción del mes de Febrero 2012

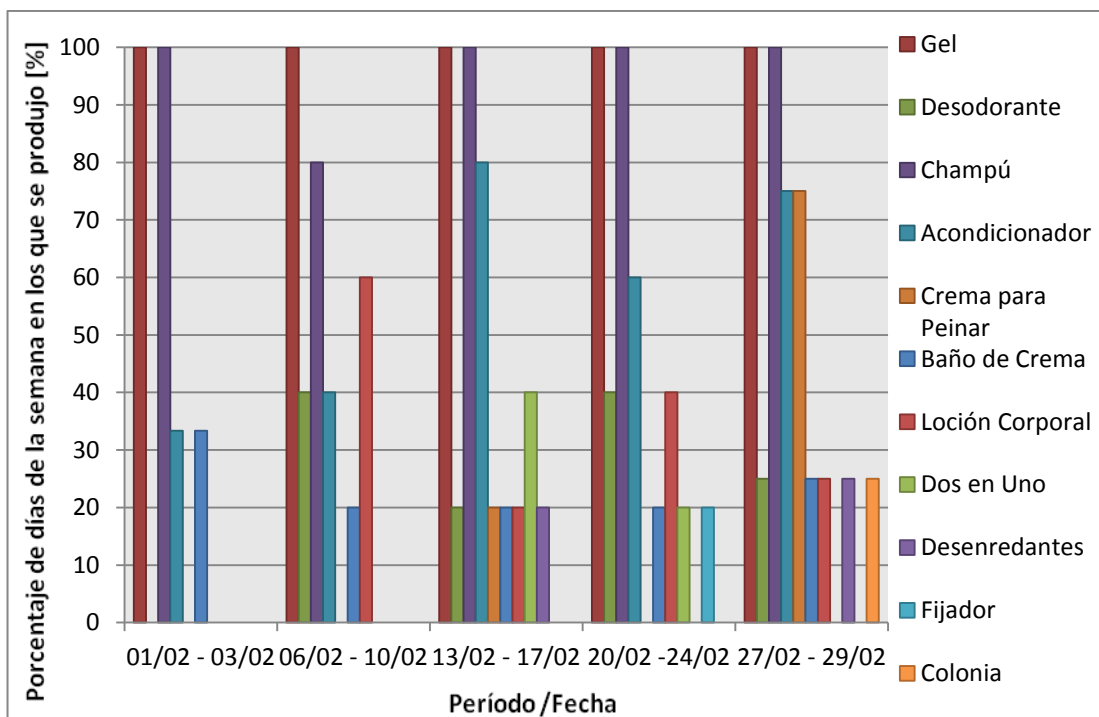


Figura N° 25: Porcentajes de producción de cada producto de acuerdo a la planificación de producción del mes de Mayo 2012

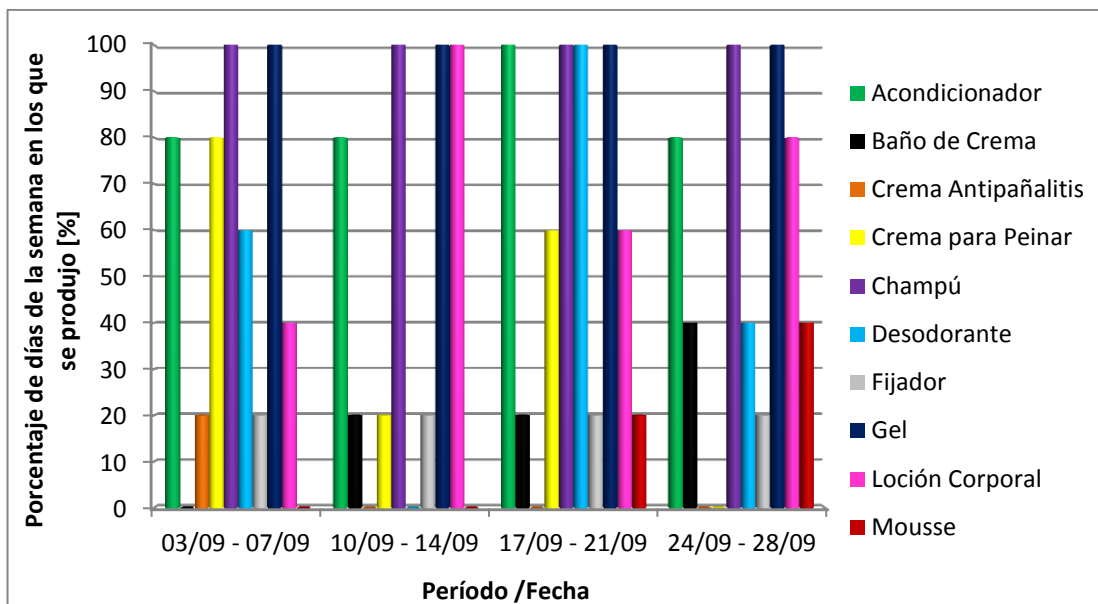


Figura N° 26: Porcentajes de producción de cada producto de acuerdo a la planificación de producción del mes de Septiembre 2012

Como puede observarse, se tiene que los productos que mayormente se elaboran en la empresa son champú y gel para el cabello en sus distintas presentaciones, los cuales se fabricaron todos los días de cada una de las semanas del mes de febrero, mayo y septiembre. De igual forma, cabe destacar que los acondicionadores y lociones corporales son productos que se elaboraron durante todas las semanas del mes mencionado aunque no necesariamente todos los días de dichas semanas. Otros productos, como cremas para peinar, baños de crema, desodorantes, fijador, mousse, desenredantes y colonias, se presentan en la producción semanal aunque con menor frecuencia, y en algunos casos no en todas las semanas. Por otra parte, productos que se elaboran esporádicamente son la crema antipañalitis, debido a que son productos con menor demanda del mercado consumidor. De esto se puede deducir, que la producción diaria típica de la empresa siempre incluye champú y gel, la mayor parte del tiempo acondicionador y

loción corporal, y con menor frecuencia otros productos como baño de crema, crema para peinar, desodorante, fijador, colonia y mousse.

En este sentido se puede establecer que un día típico representativo de la producción industrial y por consiguiente del efluente generado, es aquel que corresponde a manufactura de champú y gel.

A continuación se presentan los resultados en los muestreos realizados

### **Muestreo N° 1: 4 de Julio de 2012**

Con la finalidad de realizar un muestreo representativo del efluente industrial, se tomó en la producción establecida para esta fecha, y además se registró la hora de lavado de los equipos de cada área a fin de asociar tanto las mediciones en sitio generadas durante el muestreo, como los resultados del análisis de las muestras recogidas. Dicho registro se presenta a continuación en la Tabla N° 9.

Tabla N° 9: Productos contenidos en los equipos de cada área antes de ser lavados y horas de lavado

<b>Hora de Lavado</b>	<b>Producto contenido en la marmita</b>	<b>Producto contenido en la máquina de llenado</b>
7:25 am	Ninguno	Champú
9:00 am	Champú	Acondicionador
9:30 am	Ninguno	Crema para peinar
10:00 am	Champú	Ninguno
10:30 am	Gel	Champú
10:50 am	Ninguno	Ninguno
11:05 am	Ninguno	Ninguno
12:30 pm	Ninguno	Champú
1:00 pm	Acondicionador	Ninguno

Como puede observarse, la producción del día en el cual se realizó el muestreo N° 1, incluye productos que constituyen una condición normal o típica en cuanto a la producción de la empresa de acuerdo a la Figura N° 24, Figura N° 25 y Figura N° 26. Adicionalmente, se observa que en

determinados momentos, la descarga de efluentes del área de mezclado coincide con el lavado en el área de envasado, por lo que se espera que el caudal a la entrada de la PTARI presente un incremento en dichos instantes. Esta suposición se confirma al observar los valores mostrados en la Tabla N° 10, donde se tienen los datos de caudal medidos en sitio durante la captación de muestras.

Tabla N° 10: Mediciones en sitio durante el muestreo del 4 de julio 2012

<b>Sitio de Captación: PUNTO N° 1 TANQUILLA DE RECEPCIÓN EFLUENTE INDUSTRIAL</b>						
<b>Muestra</b>	<b>Hora</b>	<b>Caudal [l/s]</b>	<b>Temp. [°C]</b>	<b>pH</b>	<b>Conductividad Específica. [µS/cm]</b>	<b>Aspecto</b>
1	7:45 am	0,25	26	8,1	355	Turbia, blanca
2	8:45 am	0,72	27,5	7,5	N.D	Turbia, blanca
3	9:45 am	0,55	29	7,5	1776	Turbia, gris/azul
4	10:45 am	1,03	30	8,2	1776	Traslúcida
5	11:45 am	0,12	28,5	7,9	1776	Turbia, blanca
6	12:45 pm	0,82	29	8,0	1776	Turbia, blanca

De la Tabla N° 10 cabe destacar que el valor más bajo de caudal se registró durante el período de descanso de los operadores de las áreas de bulk, envasado y lavado, sin embargo, para esta hora los operadores del área de mezclado sí se encontraban en sus respectivos puestos de trabajo. No obstante, no se puede atribuir este caudal a dicha área, ya que en comparación con los valores arrojados por las mediciones de la Tabla N° 5, es relativamente bajo. Por esta razón, es posible que este caudal provenga del desagüe del laboratorio de control de calidad fisicoquímico, en el cual se llevan a cabo análisis a las mezclas de productos que se fabrican en la empresa, y cuya analista tiene un período de descanso a partir de las 12:00 pm.

También, es importante señalar, que los caudales más altos se registraron a las 10:45 am, lo cual coincide con los datos mostrados en la Tabla N° 10, donde se tiene que a las 10:30 am se inició el lavado de equipos en ambas áreas, por lo que la descarga de efluentes es mayor a cuando sólo se descarga agua residual de una sección del proceso productivo.

En cuanto a las temperaturas del efluente industrial, se observa que no hubo variación importante, registrándose temperaturas ligeramente más bajas en horas tempranas de la mañana, no obstante, a lo largo del tiempo de muestreo, la temperatura se mantiene entre los 26 °C y 30 °C. De igual forma, los valores de pH se encontraron entre 7,5 y 8,2, lo que permite establecer que el efluente industrial, bajo una producción variada, tiene un pH casi neutro.

Por otra parte, se observa que la conductividad específica es alta en una de las mediciones, lo cual implica un alto contenido de sólidos disueltos en la descarga, posiblemente por la sal incorporada cuando se lava la marmita donde se mezcló gel (10:30 am).

Las muestras captadas tal como se explicó en el marco metodológico, no pudieron ser conservadas como se requería para la realización de los análisis correspondientes, y solo se realizó el ensayo de DBO, el cual arrojó los resultados mostrados en la Tabla N° 11.

Tabla N° 11: Resultados de DBO<sub>5,20</sub> del muestro del 4 de julio de 2012

Punto N°	Punto de Muestreo	DBO <sub>5,20</sub> [mg/l]	Carga Orgánica (Kg DBO/d)
1	Tanquilla de efluente industrial	5300	266
2	Salida del separador de espuma	1100	55
3	Salida del tanque homogeneizador N°1	645	32
4	Efluente final de la PTARI	330	17

Como se puede observar, a la entrada de la PTARI, el valor de DBO se encuentra por encima del límite de diseño señalado en la Tabla N° 2 como 4000 mg/l, sin embargo se observa que existe un alto porcentaje de remoción de una etapa a otra (79 % en el Separador de Espuma, 41 % en el Tanque de Balance / Aireación y 49 % en la Torre Biológica), lo que ocasiona que a la salida del sistema de tratamiento, el valor de DBO en el efluente está por debajo del límite establecido para dicho parámetro (350 mg/l) en el Decreto N° 883. Lo anterior permite afirmar que el sistema de tratamiento está en capacidad de remover gran parte de la materia orgánica expresada como DBO, para un efluente industrial bajo condiciones normales de producción, como se pudo demostrar previamente.

### **Muestreo N° 2: 1º de Agosto de 2012**

Al igual que el muestreo N° 1, se tomó en cuenta la producción del día en el que se llevó a cabo la captación de muestras, para lo que también se registraron las horas de lavado de los diferentes equipos de las áreas de mezclado y envasado, las cuales se presentan en la Tabla N° 12.

Tabla N° 12: Productos contenidos en los equipos de cada área antes de ser lavados y horas de lavado

<b>Hora de Lavado</b>	<b>Producto contenido en la marmita</b>	<b>Producto contenido en la máquina de llenado</b>
7:40 am	Ninguno	Champú
9:00 am	Ninguno	Baño de Crema
9:40 am	Acondicionador	Ninguno
10:00 am	Ninguno	Champú
10:30 am	Ninguno	Champú
10:40 am	Ninguno	Ninguno
11:05 am	Champú	Ninguno
12:00 pm	Ninguno	Ninguno
12:40 pm	Acondicionador	Champú
1:20 pm	Gel	Champú

De acuerdo a la tabla anterior, se puede demostrar que la producción del día correspondiente al muestreo N° 2 es variada y típica de la empresa, debido a que se elaboraron productos como champú, gel, acondicionador y baño de crema, los cuales son manufacturados la mayor parte del tiempo según el análisis de la producción presentado anteriormente.

De igual manera, se observa que la descarga simultánea de efluentes provenientes de las áreas de mezclado y envasado, se inició aproximadamente a las 12:40 pm, por lo que se espera que en las mediciones realizadas en sitio durante el muestreo se observe un incremento de caudal a esta hora. Los resultados de estas mediciones de caudal en sitio se muestran a continuación en la Tabla N° 13.

Tabla N° 13: Mediciones en sitio durante el muestreo del 1 de agosto 2012

<b>Sitio de Captación: PUNTO N° 1 TANQUILLA DE RECEPCIÓN EFLUENTE INDUSTRIAL</b>						
<b>Muestra</b>	<b>Hora</b>	<b>Caudal [l/s]</b>	<b>Temp. [°C]</b>	<b>pH</b>	<b>Conductividad Específica. [µS/cm]</b>	<b>Aspecto</b>
1	7:45 am	0,44	28,5	7,1	710	Turbia, blanca
2	8:45 am	0,51	31	7,4	295	Turbia, blanca
3	9:45 am	0,52	35	9,3	495	Turbia, blanca
4	10:45 am	0,25	29,6	7,8	260	Turbia, blanca
5	11:45 am	0,59	29,6	7,7	348	Turbia, blanca
6	12:45 pm	2	30,1	7,1	227	Turbia, blanca
7	1:30 pm	1,28	32,8	7,0	370	Turbia, blanca
8	2:00 pm	0,37	28,9	6,6	213	Turbia, blanca

Como se puede observar en la Tabla N° 13, los valores de caudal más altos se obtienen para las horas 12:45 pm y 1:30 pm, confirmando lo presentado

en la Tabla N° 12 respecto a la descarga simultanea de efluentes de las áreas de mezclado y envasado en la hora mencionada. Se pudo apreciar además, que la temperatura del efluente industrial fue, en general, superior a los medidos en el muestreo N° 1, obteniéndose un rango de temperatura entre los 28,5 °C y 35 °C. Este aumento de temperaturas, se puede atribuir al hecho de que se realizaron mayor número de lavados en el área de mezclado empleando agua a 70 °C, operación que se aplica cuando es necesario cambiar el tipo de producto que se va a mezclar en una determinada marmita. Sin embargo, como se ha mencionado, la descarga de las diferentes áreas del proceso productivo de la empresa no es fija en cuanto a caudal y frecuencia, por lo que también es posible que el incremento de los valores de temperatura a la entrada de la PTARI se deba a que al momento de la descarga de agua de lavado a alta temperatura, no se realizaran otras descargas significativas de agua a temperatura menor, lográndose un efluente con mayor temperatura que el caracterizado en el muestreo N° 1.

Los resultados de los análisis realizados a las muestras compuestas, se presentan a continuación en la Tabla N° 14, Tabla N° 15 Tabla N° 16 y Tabla N° 17.



Tabla N° 14: Resultados de análisis fisicoquímicos del efluente industrial del muestreo N° 2 en el Punto N° 1.

<b>Sitio de Captación: PUNTO N° 1 TANQUILLA DE RECEPCIÓN EFLUENTE INDUSTRIAL</b>	
<b>Parámetro</b>	<b>Punto N°1</b>
Aspecto	Turbia Blanca
Temperatura	-
Conductividad ( $\mu\text{S/cm}$ )	451
pH (Adim).	8,4
Demanda Bioquímica de Oxígeno ( $\text{mg/l O}_2$ )	3000
Demanda Química de Oxígeno ( $\text{mg/l O}_2$ )	6200
Nitrógeno Total KJELDAHL ( $\text{mg/l N}$ )	62
Fósforo Total ( $\text{mg/l P}$ )	23
Aluminio ( $\text{mg/l}$ )	0,2
Detergentes ( $\text{mg/l}$ )	990
Aceites y Grasas ( $\text{mg/l}$ )	492
Sólidos Totales Volátiles ( $\text{mg/l}$ )	2436
Sólidos Suspendidos ( $\text{mg/l}$ )	2646

Tabla N° 15: Resultados de análisis fisicoquímicos del efluente industrial del muestreo N° 2 en el Punto N° 2.

<b>Sitio de Captación: PUNTO N° 2 SALIDA DEL SEPARADOR DE ESPUMA</b>	
<b>Parámetro</b>	<b>Punto N°2</b>
Aspecto	Turbia Blanca
Temperatura	-
Conductividad ( $\mu\text{S/cm}$ )	1367
pH (Adim).	11
Demanda Bioquímica de Oxígeno ( $\text{mg/l O}_2$ )	4700
Demanda Química de Oxígeno ( $\text{mg/l O}_2$ )	8300
Nitrógeno Total KJELDAHL ( $\text{mg/l N}$ )	69
Fósforo Total ( $\text{mg/l P}$ )	15
Aluminio ( $\text{mg/l}$ )	4,1
Detergentes ( $\text{mg/l}$ )	1070
Aceites y Grasas ( $\text{mg/l}$ )	31
Sólidos Totales Volátiles ( $\text{mg/l}$ )	2726
Sólidos Suspendidos ( $\text{mg/l}$ )	3272

Tabla N° 16: Resultados de análisis fisicoquímicos del efluente industrial del muestreo N° 2 en el Punto N° 3.

<b>Sitio de Captación: PUNTO N° 3 SALIDA DEL TANQUE DE BALANCE / AIREACIÓN</b>	
<b>Parámetro</b>	<b>Punto N°3</b>
Aspecto	Turbia Blanca
Temperatura	-
Conductividad ( $\mu\text{S/cm}$ )	1660
pH (Adim).	10,3
Demanda Bioquímica de Oxígeno ( $\text{mg/l O}_2$ )	4800
Demanda Química de Oxígeno ( $\text{mg/l O}_2$ )	7000
Nitrógeno Total KJELDAHL ( $\text{mg/l N}$ )	69
Fósforo Total ( $\text{mg/l P}$ )	18
Aluminio ( $\text{mg/l}$ )	3,8
Detergentes ( $\text{mg/l}$ )	880
Aceites y Grasas ( $\text{mg/l}$ )	40
Sólidos Totales Volátiles ( $\text{mg/l}$ )	3484
Sólidos Suspendidos ( $\text{mg/l}$ )	3884

Tabla N° 17: Resultados de análisis fisicoquímicos del efluente industrial del muestreo N° 2 en el Punto N° 4.

<b>Sitio de Captación: PUNTO N° 4 TANQUILLA DE DESCARGA A RED CLOACAL</b>	
<b>Parámetro</b>	<b>Punto N°4</b>
Aspecto	Turbia Blanca
Temperatura	-
Conductividad ( $\mu\text{S/cm}$ )	1713
pH (Adim).	7,8
Demanda Bioquímica de Oxígeno ( $\text{mg/l O}_2$ )	3400
Demanda Química de Oxígeno ( $\text{mg/l O}_2$ )	6000
Nitrógeno Total KJELDAHL ( $\text{mg/l N}$ )	68
Fósforo Total ( $\text{mg/l P}$ )	17
Aluminio ( $\text{mg/l}$ )	4,1
Detergentes ( $\text{mg/l}$ )	744
Aceites y Grasas ( $\text{mg/l}$ )	28
Sólidos Totales Volátiles ( $\text{mg/l}$ )	2342
Sólidos Suspendidos ( $\text{mg/l}$ )	2770

De la Tabla N° 14 es importante destacar que, en comparación con los límites de diseño de la PTARI expresados en la Tabla N° 2, algunos parámetros como nitrógeno, fosforo, detergentes, aceites y grasas y SS a la entrada de la PTARI (Punto de Captación N° 1), sobrepasan los límites establecidos en el Proyecto de Tratamiento de Efluentes (2007), lo cual

implica que el efluente industrial en un día típico de producción no corresponde a los parámetros considerados en el diseño. No obstante, es importante señalar que a la entrada de la PTARI la concentración de materia orgánica en términos de DBO y DQO si se encuentra por debajo de los límites de diseño respectivos, por lo que se esperaría una alta eficiencia de remoción en cuanto a estos contaminantes, como pudo observarse en el muestreo N° 1, al menos para el valor de DBO. Una de las principales razones a las que se debe que el efluente no presente concordancia con los parámetros de diseño del sistema de tratamiento, es que para el momento en el cual se realizó el Proyecto de Diseño de la PTARI, es decir en el año 2007, la producción era considerablemente inferior a la producción actual que tiene la empresa; lo cual se refleja también en los aumentos bruscos de caudal que llegan a sobrepasar el caudal de diseño, como se comentó anteriormente.

Es importante hacer notar que el contenido de Aluminio fue prácticamente insignificante en el efluente industrial, lo cual se atribuye al hecho de que, como se observó en la Tabla N° 12, para el período durante el cual se realizó la captación de las muestras no se estaba manufacturando (y por consiguiente, lavando algún equipo que contuviera) productos desodorantes, los cuales emplean como materia prima un compuesto de aluminio.

Como se ha mencionado, para varios de los productos que se elaboran en la empresa, se emplea como materia prima compuestos grasos y aceites vegetales, los cuales proveen las propiedades suavizantes, deseables sobretodo en productos de cuidado del cabello y de la piel. Debido a ello, es de esperarse un determinado contenido de aceites y grasas en el efluente industrial; no obstante, en este caso se presenta un valor que excede el límite de diseño de la PTARI, lo que implica que el sistema de tratamiento no está capacitado para tratar aguas residuales con tan alta concentración de dichos compuestos.

Es importante mencionar también que tanto los acondicionadores como los baños de cremas son productos altamente grasosos, los cuales se manufacturaron el día en que se realizó el muestreo, y pudieron haber influido en el valor de aceites y grasas registrado en la Tabla N° 14. Se puede establecer entonces, que el diseño de la planta de tratamiento en cuestión no toma en cuenta la actual situación de la empresa, ya que para una producción típica, los parámetros exceden los límites de diseño, a excepción de los relacionados con la concentración de materia orgánica como DBO y DQO. Esto implica una remoción insuficiente de dichos parámetros debido a que la planta no fue concebida para tratar efluentes tan concentrados en cuanto a NT, FT, Detergentes, Aceites y Grasas y SS.

### **Comportamiento del Efluente Industrial durante Septiembre 2012.**

Con la finalidad de profundizar en el comportamiento del efluente industrial, que es el afluente al sistema de tratamiento, se realizaron mediciones diarias durante un período de cuatro (4) semanas correspondientes al mes de septiembre, de parámetros como pH, conductividad específica y sólidos totales, en muestras captadas a la entrada de la PTARI.

#### **- Mediciones de pH**

Los resultados de las mediciones de pH en las muestras diarias, se presentan a continuación en la Figura N° 27 .

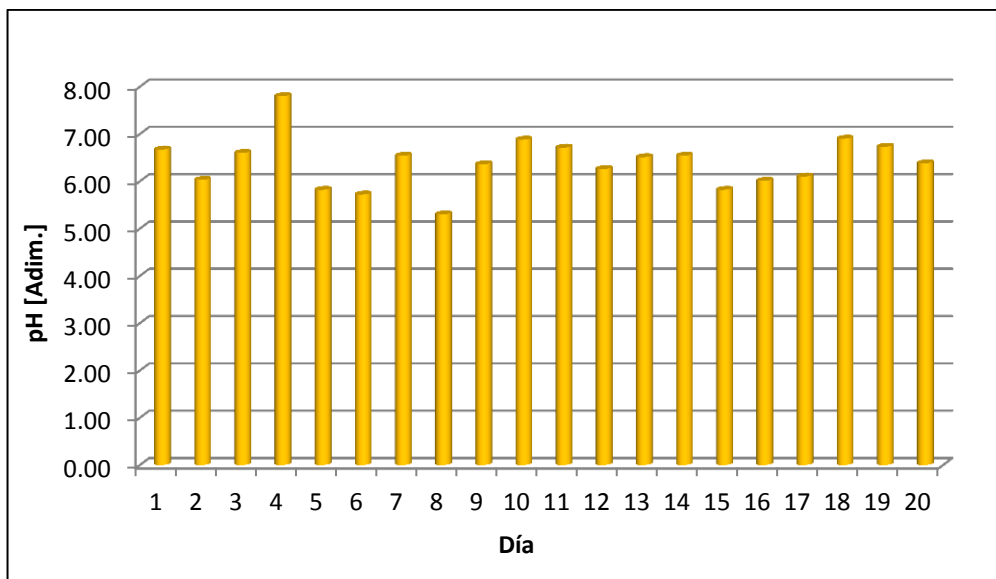


Figura N° 27: Mediciones de pH durante el mes de Septiembre 2012

En la figura anterior puede observarse que durante el período de observación, los valores de pH se mantuvieron superiores a 5 e inferiores a 7, salvo en una oportunidad que resultó cercano a 8. De acuerdo a lo anteriormente explicado respecto a la producción del mes de septiembre, se establece que el pH del efluente industrial es en promedio 6, es decir, prácticamente neutro, para una condición de producción normal o típica. Estos valores son similares a los que se presentan en los muestreos de los días 4 de julio y 1° de agosto de 2012.

#### - Mediciones de Conductividad Específica

Los resultados de las mediciones de conductividad específica en las muestras diarias, se presentan a continuación en la Figura N° 28.

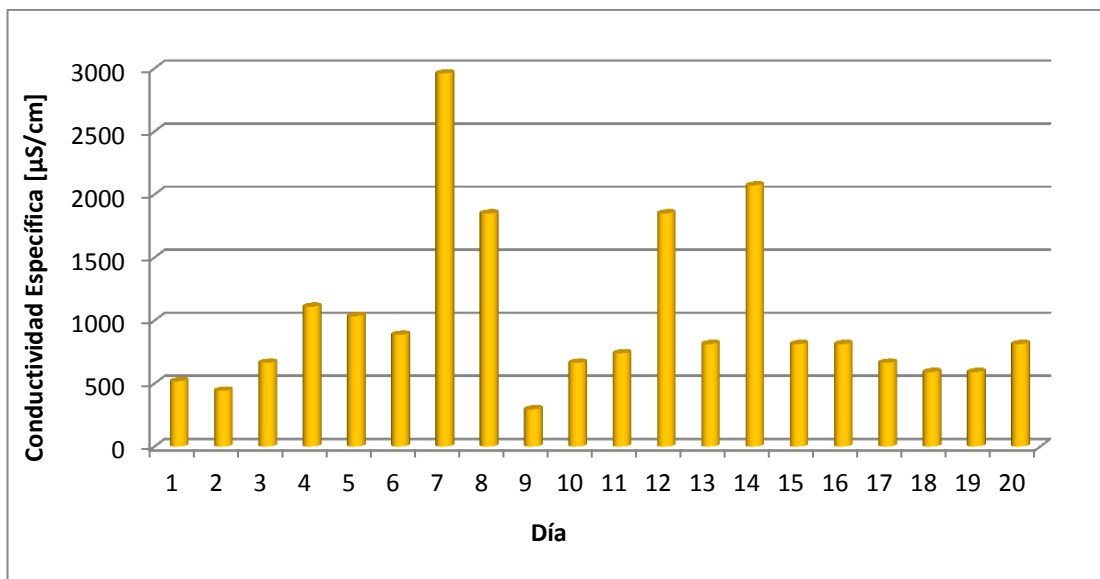


Figura N° 28: Mediciones de Conductividad Específica durante el mes de Septiembre 2012

En la figura presentada puede apreciarse que los valores de conductividad específica, en promedio, son inferiores a 1000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , sin embargo en más de una oportunidad se obtienen valores considerablemente altos de este parámetro, lo cual se asocia con el alto contenido de sólidos disueltos en el efluente, proveniente principalmente de la sal que se añade en algunos casos para remover restos de productos y materias primas.

**- Mediciones de Sólidos Totales**

Los resultados de las mediciones de sólidos totales en las muestras diarias, se presentan a continuación en la Figura N° 29.

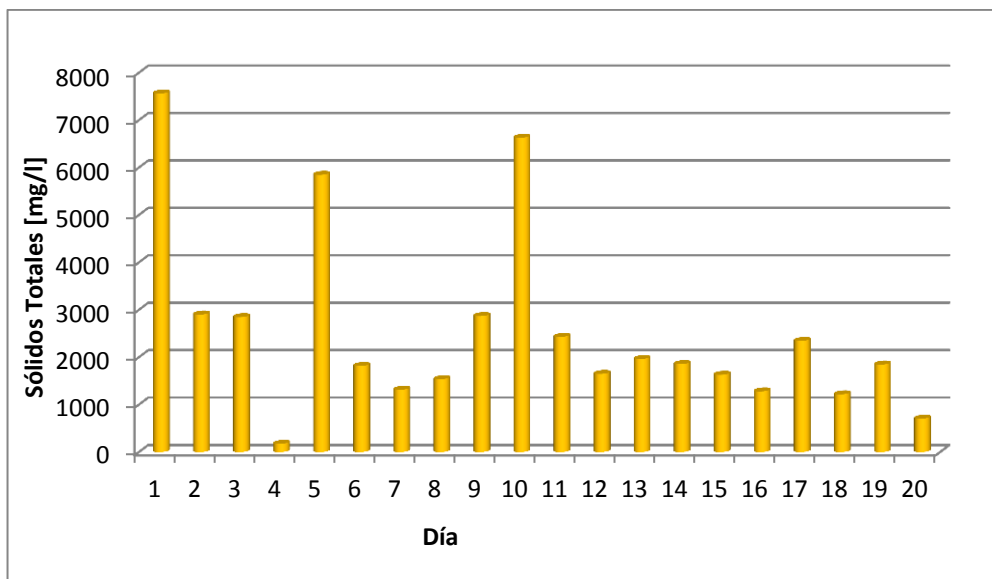


Figura N° 29: Mediciones de Sólidos Totales durante el mes de Septiembre 2012

En el caso de los sólidos totales, se puede observar que la mayoría de los días se registraron valores inferiores a 2000 mg/l, no obstante existen días donde el valor de dicho parámetro se incrementa de manera importante, alcanzando valores que superan los 5000 mg/l, como sucede en el primer, quinto y décimo día de medición. Se puede indicar que el alto contenido de sólidos totales está asociado a la sal que se añade cuando se requiere remover determinado tipo de producto de las paredes de los recipientes, tal es el caso de geles y fijadores, los cuales debido a naturaleza altamente viscosa no pueden retirarse completamente sólo con agua.

### **IV.3 Determinación de la eficiencia de cada una de las etapas que componen la PTARI en actividad en la empresa.**

Antes de determinar la eficiencia de cada etapa es importante describir la operación actual de la PTARI de la industria de cosméticos, en el cual se

lleva a cabo operaciones, específicamente adición de sustancias químicas no consideradas en el diseño.

**Operación Actual de la PTARI de la Industria de Cosméticos.**

**Espumador:** En esta unidad, la ubicación de las tuberías de entrada y salida de agua no permite un correcto funcionamiento de la etapa. Se evidencia que el difusor de aire se encuentra por debajo de la salida, esto ocasiona que parte de la mezcla aire-agua pase hacia la tanquilla de bombeo N° 1, en vez de subir hacia la superficie por dentro del espumador, como se detalla en la Figura N° 30.

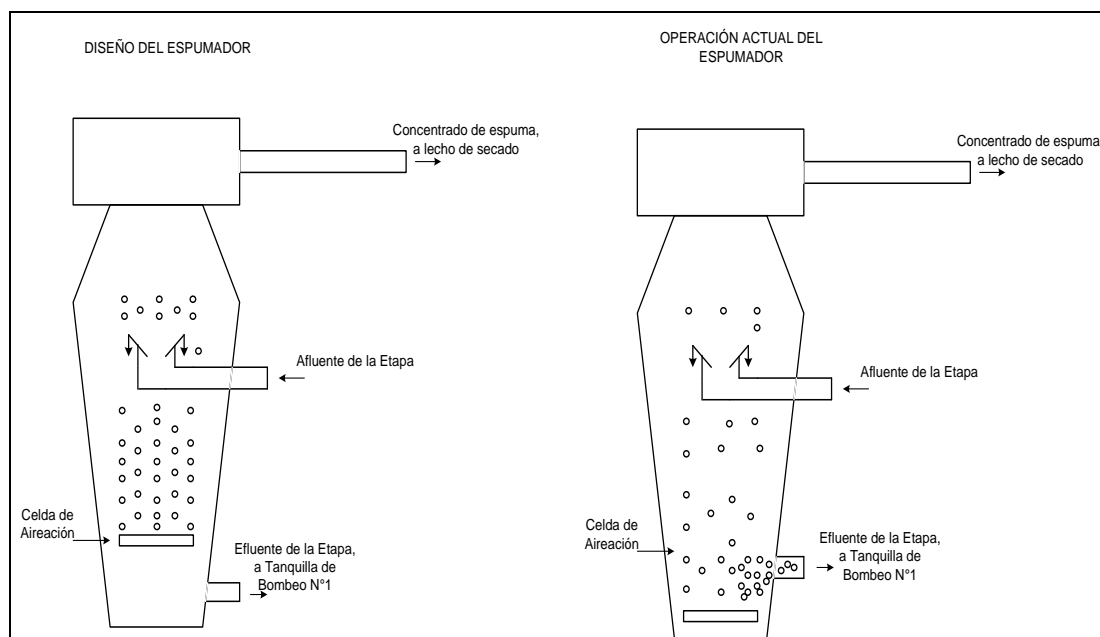


Figura N° 30: Esquema del Espumador



Además, las condiciones del recolector, el cual presenta un orificio en la parte superior, a través del cual se dosifican sustancias químicas; y de la tubería de descarga, cuyo diámetro dificulta la descarga de espuma a los lechos de secado, ocasionan que se produzcan derrames de espuma fuera del equipo y la tanquilla, como se puede observar en la Figura N° 31.



Figura N° 31: Derrame de espuma en el Separador de Espuma

Es importante mencionar, que la turbulencia inducida por el aire dentro del espumador, se utiliza para la agitación de las sustancias químicas que se añaden como: policloruro de aluminio, Cal y antiespumante; y que una vez incorporados, se cierre la válvula de aireación, evitando la formación de espuma dentro de la tanquilla de bombeo N°1, esta operación no está descrita en el diseño de la PTARI.

Además, se pudo observar que las partes metálicas tanto del ducto como del recolector del Separador de Espuma presentan signos de corrosión

avanzada, lo cual permite deducir que dicho equipo deberá ser reemplazado en un corto tiempo. Esta situación puede visualizarse a través de la Figura N° 32 y Figura N° 33 presentadas a continuación.



Figura N° 32: Corrosión en el recolector del Separador de Espuma



Figura N° 33: Corrosión en el ducto del Separador de Espuma

Adicional a esto, se tiene el hecho de que los aceites y grasas se separan por diferencia de densidad en la tanquilla de bombeo N° 1, sin embargo, estos no son retirados por parte del operador ni de forma mecánica, por lo que siempre que el nivel en esta tanquilla se mantenga superior a la succión de la tubería de bombeo, los contaminantes se mantendrán en esta etapa. También, cabe mencionar que existe una tubería que conecta la tanquilla de bombeo N° 1 con la tanquilla de bombeo N° 2, cuya finalidad es evitar el rebose del agua en ambas tanquillas, por lo que si el nivel del agua que contiene el sobrenadante de compuestos grasos en la tanquilla de bombeo N° 1, alcanza la altura de la tubería mencionada, los aceites y grasas pasan a la tanquilla de bombeo N° 2, y por lo tanto a etapas aguas abajo del proceso, sin recibir el tratamiento adecuado, y por consiguiente, presentando una alta concentración en el efluente que descarga a la red cloacal .

La explicación anterior se puede detalla en el esquema que se muestra a continuación, en la Figura N° 34.

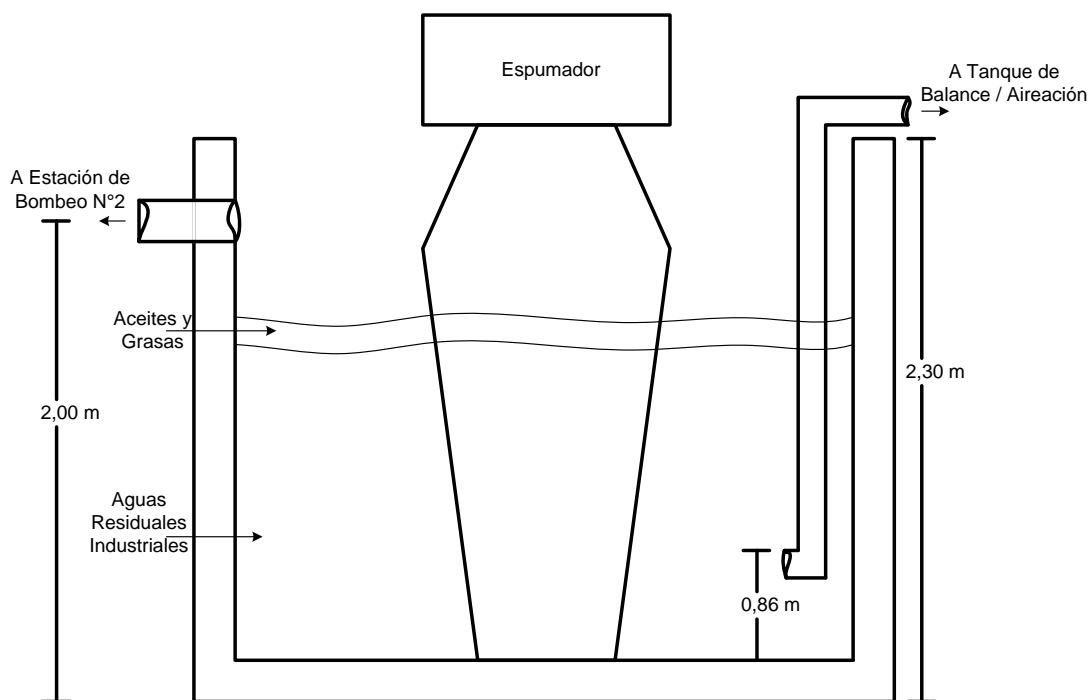


Figura N° 34: Esquema de la tanquilla de Bombeo N°1

De igual forma, en la fotografía presentada como Figura N° 35, se puede apreciar dicha situación.



Figura N° 35: Nivel de la tanquilla de bombeo N° 1 y tuberías de enlace con la tanquilla de bombeo N° 2

**Adición de Policloruro de Aluminio:** se realiza en la tanquilla de bombeo N° 1, específicamente dentro del Separador de Espuma, con la finalidad de eliminar sólidos suspendidos mediante coagulación, floculación, y posterior sedimentación. No obstante, el tipo de tratamiento en el que se basa el sistema de la PTARI en estudio es biológico (por ello la etapa de mayor importancia es la torre biológica), mientras que el proceso de coagulación y floculación está destinado para tratamientos fisicoquímicos de aguas residuales. Además, no se cuenta con un equipo diseñado para dicho proceso, el cual consta de una etapa de agitación rápida y posterior agitación lenta, además se requiere de un tiempo de retención y condiciones de no agitación para permitir la sedimentación de los flóculos formados, asimismo de un sistema de remoción de dichos sedimentos.

En este caso no se cuenta con ninguna de las condiciones necesarias, por lo que la sedimentación de lodos se da también en etapas posteriores como el tanque de balance / aireación, torre biológica y/o tanque de cloración, donde tampoco debería existir dicha acumulación de sólidos. La acumulación de

lodos en la torre biológica trae como consecuencia que el crecimiento de la capa de microorganismo no se produzca de forma idónea, por lo cual no se aprovecha toda la superficie de contacto, mientras que en el tanque de balance / aireación la precipitación de lodos provoca malos olores debido a la septicidad.

Otra consecuencia de la dosificación de policloruro de aluminio, es el aumento en la concentración de Aluminio en el agua, lo cual se demuestra en la Figura N° 36.

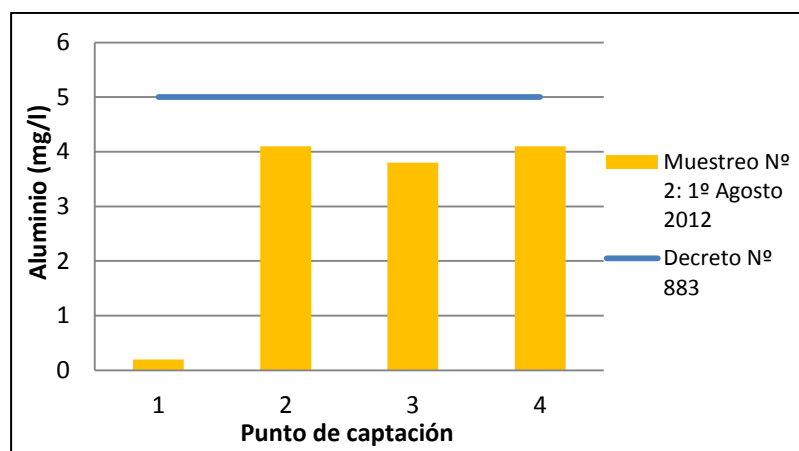


Figura N° 36: Concentración de Aluminio en el agua a lo largo de la PTARI

Como se mencionó anteriormente, la concentración de aluminio en el efluente industrial es considerablemente baja, debido a que en la producción no se incluyeron las variedades de desodorantes, cuya materia prima es un compuesto de aluminio. Sin embargo, se observa que en las etapas siguientes, este valor aumenta, lo cual se explica por la adición de policloruro de aluminio en el Separador de Espuma. A pesar del incremento en la concentración de aluminio, este no llegó a sobrepasar el límite establecido por la normativa.

**Adición de Antiespumante:** La etapa del Separador de Espuma está diseñada con la finalidad de remover aceites y grasas, fosforo, detergentes y parte de sólidos suspendidos mediante la flotación inducida por aire, como se explicó anteriormente. Sin embargo, como se detalló, su actual funcionamiento conlleva a la formación de espuma aguas abajo del proceso, ya que no se separa en esta etapa, por lo que se realiza la adición de una sustancia antiespumante a base de siliconas, la cual disminuye la tensión superficial en el efluente evitando la formación de espuma, dificultando la separación en esta etapa y arrastrando un alto contenido de los compuestos aguas abajo de proceso. De funcionar correctamente el Separador de Espuma, existiría la remoción eficiente de los compuestos mencionados, los cuales no formarían espuma en las etapas posteriores del tratamiento, por lo que no se haría necesaria la adición de dicha sustancia antiespumante.

**Tanque de Balance / Aireación:** En la PTARI, fue instalado un segundo tanque con las mismas dimensiones, para la etapa de balance / aireación, los cuales deben operar en serie, aunque sólo el primero de estos tiene instalado difusores para el suministro de aire.

Parte del agua del primer tanque sale por rebose a la tanquilla de bombeo N° 2, y al mismo tiempo otra parte pasa al segundo tanque por rebose a través de una tubería. En la Figura N° 37 y Figura N° 38 , se puede observar el segundo tanque de Balance / Aireación.



Figura N° 37: Conexión entre los tanques de Balance / Aireación de la PTARI



Figura N° 38: Segundo tanque de Balance / Aireación de la PTARI



El efluente de este último tanque, se une a la salida del sedimentador dirigiéndose a la etapa de cloración, esta situación provoca un aumento de concentración de los contaminantes, ya que este efluente solo se ha tratado en la etapa de separación de espuma.

Esta etapa actualmente es utilizada como sedimentación, ya que aquí precipitan parte de los lodos que se producen por el proceso de floculación, llevado a cabo por la adición del Policloruro de Aluminio en la etapa previa, es decir, el Separador de Espuma.

Debido a esto, el suministro de aire implicaría la agitación de dichos sedimentos, por lo que es aplicado únicamente cuando se va a realizar mantenimiento al tanque, con el fin de remover los lodos y facilitar su descarga. Con la operación antes descrita se aumentan los malos olores en el efluente debido a la septicidad del agua, por lo que para disminuirlos, el operador agrega Cal en el Separador de Espuma, generando un gasto innecesario de este insumo y el aumento en el pH en la corriente aguas abajo del proceso.

**Adición de Cal:** Como se mencionó el operador añade una determinada cantidad de cal diluida en el Separador de Espuma, con la finalidad principal de neutralizar los olores fétidos en el efluente que descarga a la red cloacal, los cuales como se explicó, tienen su origen en la falta de suministro de aire en el tanque de balance / aireación. Sin embargo, esta dosificación establecida y sin previa verificación de las condiciones del agua, genera valores de pH ligeramente alcalinos que pueden afectar el funcionamiento de del filtro bio-percolador, cuyas condiciones óptimas de pH son entre 6 y 8.

Como se observa estas condiciones de operación sin aparente evaluación y justificación, que además no se contempla en el diseño podría influir significativamente en el buen funcionamiento de la PTARI.

### **Comparación entre la eficiencia real y la eficiencia de diseño de las etapas de la PTARI**

A continuación se presenta mediante una serie de tablas, el porcentaje de remoción obtenido en las diferentes etapas del sistema, de acuerdo a los resultados arrojados por el muestreo N° 2, así como una comparación con la eficiencia registrada en el diseño de los mismos según el Proyecto de Tratamiento de Efluentes.

Primero se analizará el funcionamiento de la etapa de separación de espuma, las eficiencias del mismo son mostradas en la Tabla N° 18 a continuación.

Tabla N° 18: Comparación eficiencia de diseño con eficiencia obtenida durante el muestreo para la etapa de Separación de Espuma

Parámetro	Concentración del Afluente de la etapa [mg/l]	Remoción de Diseño [%]	Concentración Esperada del Efluente de la Etapa de Acuerdo a la Eficiencia de Diseño [mg/l]	Concentración Determinada del Efluente de la Etapa Mediante el Análisis Físicoquímico [mg/l]	Remoción Determinada Mediante el Análisis Físicoquímico [%]
DQO	6200	60	2480	8300	No hubo
DBO	3000	60	1200	4700	No hubo
Sólido Totales Volátiles	2436	60	974	2726	No hubo
Sólidos Suspendidos	2646	30	1058	3272	No hubo
Aceites y Grasas	492	90	49	31	94
Fósforo	23	90	2	15	35
Detergentes Aniónicos	990	60	396	1070	-

Como se explicó anteriormente, la operación de esta etapa no es óptima, lo cual se demuestra en la tabla anterior, donde se aprecia que no ocurre la remoción esperada de los parámetros contaminantes en el efluente industrial por el diseño de la etapa, con excepción de Aceites y Grasas el cual se observa que se obtuvo un 94% de eliminación, y el Fósforo, aunque con un porcentaje menor a la remoción de diseño.

La eliminación de fosforo se debe a la adición del policloruro de aluminio, ya que este se encuentra en el material suspendido y es arrastrado por el floculo formado sedimentos que se acumulan en el fondo de la tanquilla N°1.

La alta remoción de Aceites y Grasas en esta etapa se debe a que durante la captación de muestras, el nivel en la tanquilla N° 1 se mantuvo por encima de la succión de la bomba, lo cual, como se explicó anteriormente, evita que estas pasen a etapas aguas debajo de la PTARI.

Para dar continuidad a los análisis de la eficiencia de las etapas, se muestra la Tabla N° 19, en ella está contenida la comparación entre la remoción de diseño y la remoción calculada mediante el análisis fisicoquímico del efluente industria para la etapa de balance / aireación.

Tabla N° 19: Comparación eficiencia de diseño con eficiencia obtenida durante el muestreo para la etapa de Balance / Aireación

Parámetro	Concentración del Afluente de la etapa [mg/l]	Remoción de Diseño [%]	Concentración Esperada del Efluente de la Etapa de Acuerdo a la Eficiencia de Diseño [mg/l]	Concentración Determinada del Efluente de la Etapa Mediante el Análisis Físicoquímico [mg/l]	Remoción Determinada mediante el Análisis Físicoquímico [%]
DQO	8300	55	3735	7000	16
DBO	4700	50	2350	4800	No hubo
Sólido Totales Volátiles	2726	30	1908	3484	No hubo
Aceites y Grasas	31	5	29	40	No hubo
Nitrógeno	69	15	59	69	No hubo
Fósforo	15	15	13	18	No hubo
Detergentes aniónicos	1070	35	696	880	18

Nuevamente, se evidencia deficiencia en el sistema de tratamiento de aguas residuales, en este caso en la etapa de Balance / Aireación. La reducción de parámetros como la DQO se logró posiblemente a la precipitación inducida por la adición de policloruro de aluminio en la etapa previa a esta, por otra parte se puede atribuir a la dilución de los contaminantes que ocurre en el tanque de homogeneización.

En la Tabla N° 20 a continuación, se realiza el análisis de la etapa Filtro Biológico / Sedimentador, donde se compara la concentración esperada de acuerdo a lo indicado en el diseño con la concentración obtenida mediante los análisis físicoquímicos

Tabla N° 20: Comparación eficiencia de diseño con eficiencia obtenida durante el muestreo para la etapa de Filtro Biológico / Sedimentación

Parámetro	Concentración del Afluente de la etapa [mg/l]	Concentración Esperada del Efluente de la Etapa de Acuerdo a la Eficiencia de Diseño [mg/l]	Concentración Determinada del Efluente de la Etapa Mediante el Análisis Físicoquímico [mg/l]	Remoción Determinada mediante el Análisis Físicoquímico [%]
DQO	7000	665	6000	15
DBO	4800	684	3400	29
Sólido Totales Volátiles	3484	313	2342	33
Sólidos Suspendidos	3884	777	2770	28,6
Aceites y Grasas	40	30	28	30
Nitrógeno	69	55	68	1,45
Fósforo	18	14	17	5,55
Detergentes Aniónicos	880	422	744	15

Se evidencia una baja remoción de los parámetros contaminantes en el sistema Filtro biológico – Sedimentador, esta situación se debe a la operación incorrecta del filtro biológico, ya que la adición de Cal previo a esta etapa, aumenta en exceso el pH del medio, lo que podría dificultar la oxidación de la materia orgánica dentro del filtro biológico (pH óptimo: 6 – 8). Además, existe una ligera inclinación en los canales de distribución, lo cual evita que el efluente industrial caiga uniformemente sobre el medio plástico, observándose que parte de estos se encuentran secos y debido a que la capa de microorganismos crecen solo en los lugares húmedos, disminuye la eficiencia de operación.

### **Lechos de Secado**

En esta etapa, se ha observado baja eficiencia en cuanto al secado de los lechos, esto se debe que existe una tubería que conecta el drenaje de dichos lechos con la tanquilla de bombeo N° 1, y cuando el nivel en esta tanquilla supera los 2,0 m de altura aproximadamente, el líquido fluye hacia la tanquilla de drenaje mencionada. En esta tanquilla, al alcanzar el nivel cierta altura, también existe paso de agua hacia los lechos, de tal manera que los lodos se secan únicamente por evaporación, lo cual aumenta su tiempo de secado hasta por dos (2) meses, en vez de seis (6) a ocho (8) días como lo indica el manual de operación de la planta de tratamiento.

En la Figura N° 39, se puede observar la tubería que se menciona en la tanquilla N° 1, mientras que en la Figura N° 40 y Figura N° 41 se observa la tanquilla de drenaje de los lechos de secado cuando el nivel está por debajo de las tuberías que conectan con los lechos de secado, y cuando dicho nivel está por encima.



Figura N° 39: Tubería que conecta la tanquilla N° 1 con la tanquilla de drenaje de los Lechos de Secado



Figura N° 40: Tanquilla de drenaje de los Lechos de Secado, con el nivel de líquido por debajo de las salidas de las tuberías que conectan con dichos lechos



Figura N° 41: Tanquilla de drenaje de los Lechos de Secado, cuando el nivel del líquido está por encima de las salidas de las tuberías que conectan con dichos lechos

Un aumento en el tiempo de secado de esta índole provoca que los tres (3) lechos con lo que se cuentan, no sean suficiente para las purgas de los lodos periódicamente, lo que induce que las diferentes etapas se saturen de lodos al no poder realizarse la descarga frecuente de estos.

En la Figura N° 42 , se puede apreciar los lechos de secado el día 1° de agosto, días después de realizar la purga de lodos en varios equipos; mientras que en la Figura N° 43 se observan los mismos lechos el 19 de septiembre, aproximadamente dos (2) meses después, donde se detalla que aún no están completamente secos.

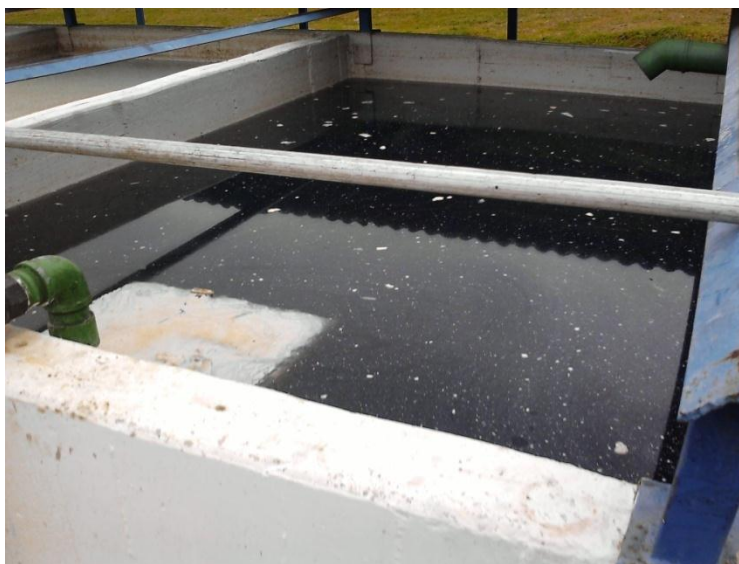


Figura N° 42: Lechos de Secado recién realizada la purga de equipos de la PTARI, el 1° de agosto de 2012





Figura N° 43: Lechos de Secado el 19 de septiembre de 2012

**Mediciones de pH, conductividad específica y sólidos totales a lo largo de la PTARI de la industria de cosmético.**

A fin de determinar el comportamiento de cada una de las etapas de tratamiento en estudio, se realizaron mediciones diarias de parámetros, como pH, conductividad específica y sólidos totales, a muestras captadas en los mismos puntos donde se realizó el muestreo de los días 4 de julio y 1 de agosto de 2012. Estos resultados se muestran en la Figura N° 44, Figura N° 45 y Figura N° 46, mostradas a continuación.

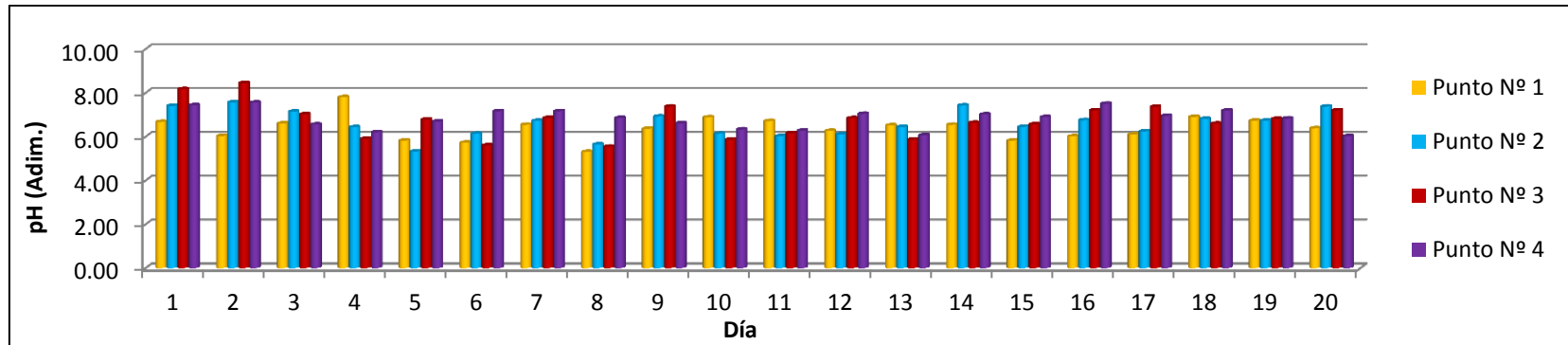


Figura Nº 44: Registro de valores de pH durante el mes de Septiembre 2012 a la salida de las etapas de la PTARI

06

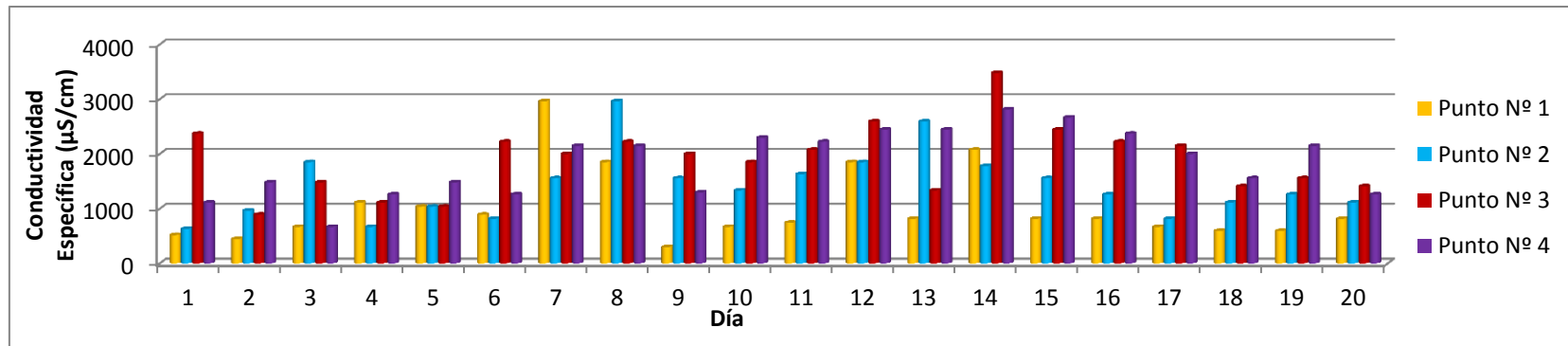


Figura Nº 45: Registro de valores de Conductividad Específica durante el mes de Septiembre 2012 a la salida de las etapas de la PTARI

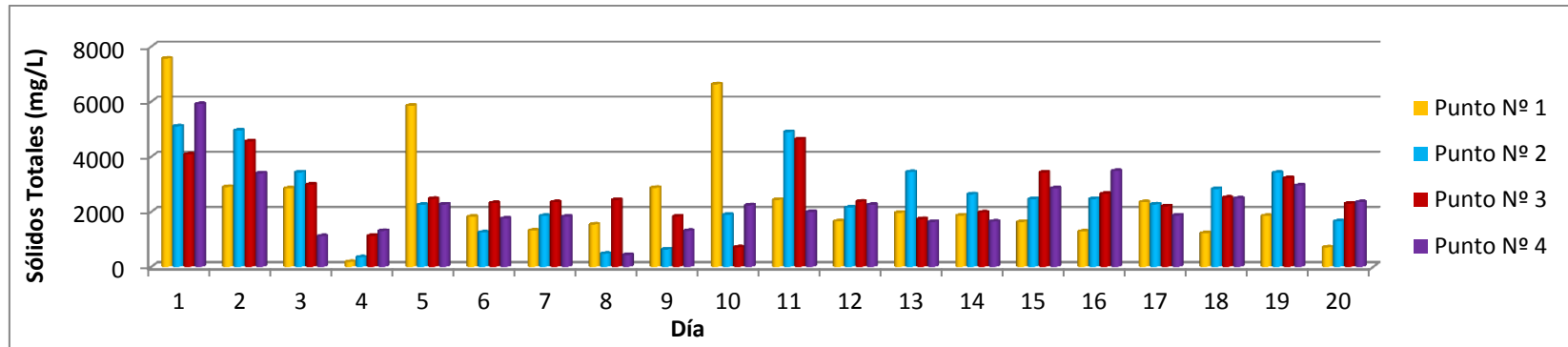


Figura Nº 46: Registro de valores de Sólidos Totales durante el mes de Septiembre 2012 a la salida de las etapas de la PTARI

Como se puede observar en la figura N°44, el pH a la salida del tanque de balance / aireación (Punto N° 3) se mantiene entre 6 y 8 durante la mayor parte de las mediciones realizadas, este es el rango óptimo de operación para la etapa del filtro biológico de acuerdo a lo mencionado anteriormente. Cabe destacar, que al momento de realizar estas mediciones no se había dosificado Cal en la tanquilla de bombeo N° 1, ya que se realizó la captación de muestras en horas tempranas del día. Debido a esto, se presentaron en algunos momentos (como el día 4, 6, 8 y 10) en los cuales el valor de pH se encontraba por debajo de 6 a la entrada del filtro biológico, aunque la tendencia general fue entre el rango mencionado. También es importante señalar, que de acuerdo a las mediciones presentadas, el efluente de descarga a la red cloacal se mantuvo siempre dentro del rango establecido por el Decreto N° 883 (6 – 9).

En cuanto a los valores de conductividad específica, se puede observar que no existe una tendencia de reducción de este parámetro de una etapa a otra, lo cual tiene explicación en el hecho de que debido a las deficiencias que se presentan en las etapas y a la adición de cloruro de sodio para el lavado de contenedores donde se haya almacenado gel, lo que influye directamente en el valor de conductividad específica del agua. También, es importante resaltar que los valores de conductividad sobrepasan los 1000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en numerosas oportunidades, alcanzándose valores que superan los 2000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y 3000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

Por otra parte, se evidencia que no existe una remoción de sólidos totales a lo largo del sistema de tratamiento, lo que se observa en el aumento del contenido de sólidos en las etapas. Esto se debe a la dosificación inapropiada de policloruro de aluminio, el cual como se ha venido mencionando, induce a la precipitación y acumulación de sedimentos donde no fueron concebidas para esta sedimentación, adicional al hecho de que la descarga de lodos no se realiza con la frecuencia necesaria. Cabe destacar

que a la salida del sistema de tratamiento, durante el período en el que se realizaron las mediciones, no se cumplió con lo dispuesto en el Decreto N° 883, ya que los valores superan el rango establecido por dicha normativa.

### **Comportamiento del sistema mediante la adición controla de Cal.**

Una vez se ha analizado el comportamiento del sistema sin la adición de Cal. Se presenta a continuación una serie de figuras, donde se verifica el comportamiento del sistema de tratamiento con la adición de esta sustancia química.

Los primeros 5 días se agregó 400 g de Cal cada 2 horas, mientras que los últimos 5 se añadió 800 g cada dos horas.

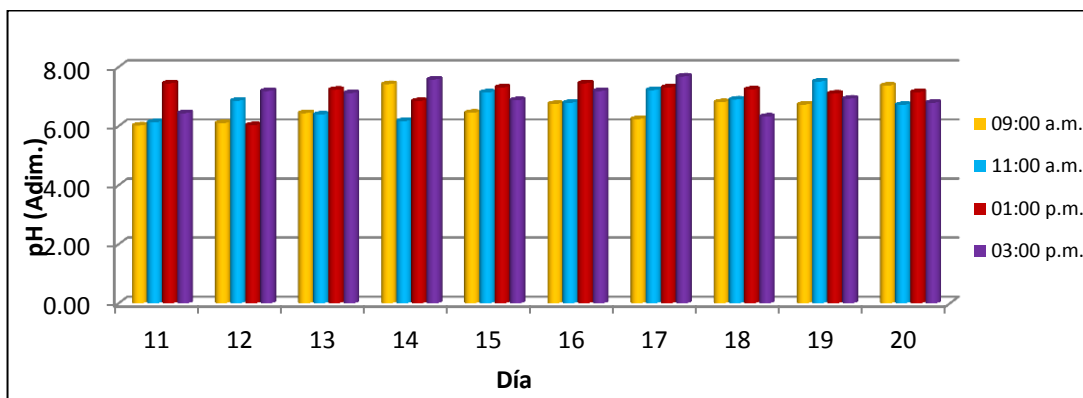


Figura N° 47: Comportamiento de la etapa de Separación de Espuma durante la dosificación de Cal

En la Figura N° 47 se observa que durante el muestreo de los últimos diez días, el pH del efluente de la etapa de Separación de Espuma se mantuvo en el mismo orden de magnitud, con excepción del día 11 a las 9:00 am y 11:00

am, el día 12 a las 9:00a.m y 1:00 pm y el día 14 a las 11:00 am, donde el pH estuvo cerca o por debajo a 6.

En la Figura N° 48 se muestra las variaciones de pH, en la etapa de Balance/Aireación durante la dosificación de Cal.

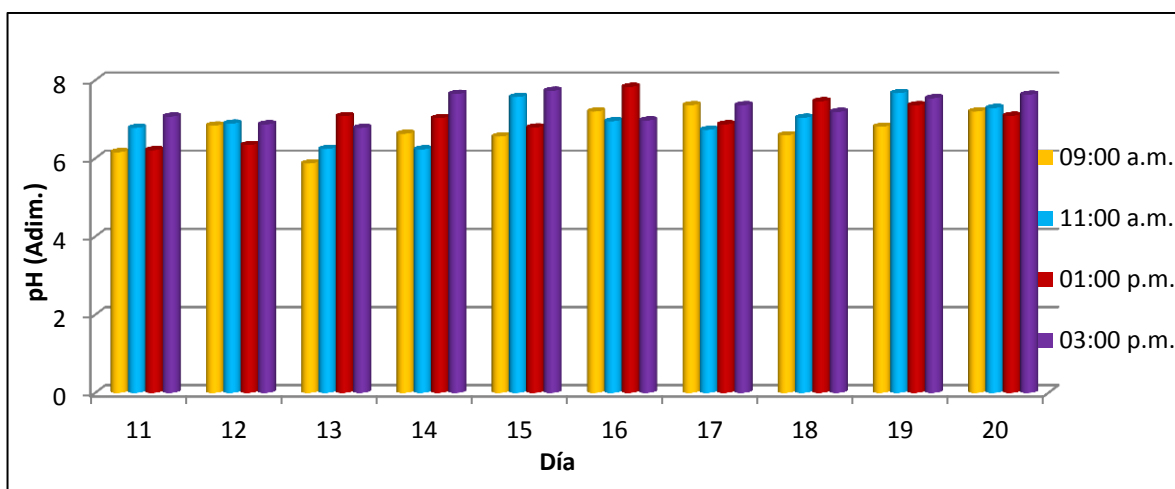


Figura N° 48: Comportamiento de la etapa de Balance/Aireación durante la dosificación de Cal

De manera similar a la Figura N° 47, en la Figura N° 48 se observa que durante el muestreo de los primeros cinco (5) días, el pH en el efluente de la etapa de Balance/Aireación presentó valores cercanos o por debajo de 6, lo cual es muy crítico en esta etapa, ya que esta es la que suministra el afluente a la estación de bombeo N° 2, para ser bombeado al filtro biológico y como ya se fue mencionado, se requiere de pH entre 6 y 8 para su optima operación.

Continuando con el análisis de las variaciones de pH en las etapas a lo largo del día, a continuación se muestra en la Figura N° 49 el comportamiento de la etapa de Filtro Biológico / Sedimentador.

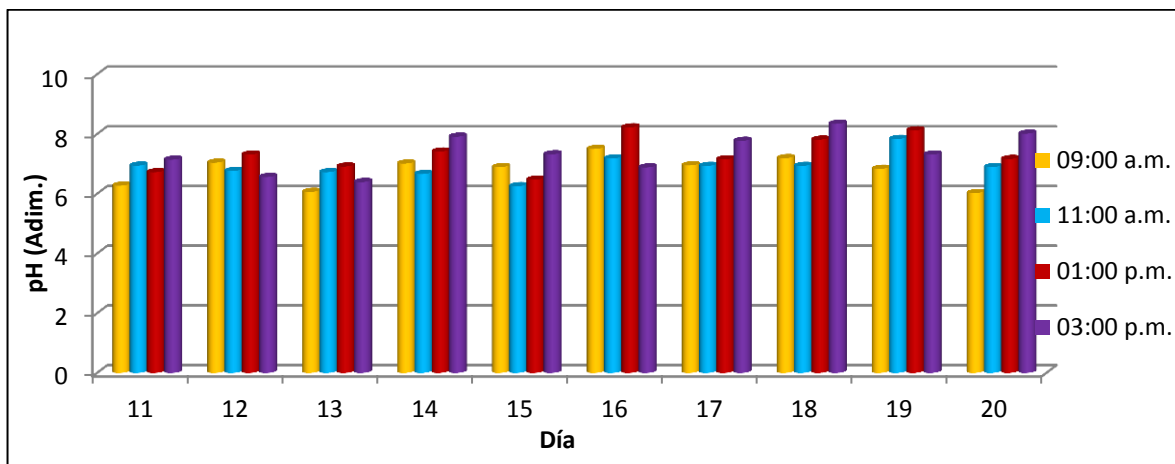


Figura N° 49: Comportamiento de la etapa de Filtro Biológico/Sedimentador durante la dosificación de Cal

En esta figura se observa el mismo comportamiento de las anteriores, con excepción del día N° 20 que aunque se obtuvo pH de 6.02, se está cumpliendo con el Decreto N° 883 al estar dentro del rango de 6 – 9.

#### **IV.4 Comparación de la calidad del efluente tratado por la planta de tratamiento de agua en actividad con el Decreto N° 883: Normas para la Clasificación y el Control de la Calidad de los Cuerpos de Agua y Vertidos o Efluentes Líquidos.**

Para comprobar el funcionamiento de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la empresa, a continuación se realiza la comparación del efluente tratado con los límites máximos permitidos para las descargas a redes cloacales (Decreto N° 883), estos datos han sido recopilados y plasmado en la Tabla N° 21.

Tabla N° 21: Comparación efluente de la PTARI con el Decreto N° 883 de descarga de efluentes líquidos a redes cloacales

Parámetro	Valores obtenidos en el análisis del efluente final de la PTARI	Decreto N° 883 del 11/10/1995. Descarga a redes cloacales
pH	7,8	6 – 9
DBO (mg/l O <sub>2</sub> )	3400	350
DQO (mg/l O <sub>2</sub> )	6000	900
Nitrógeno Total KJELDAHL (mg/l N)	68	40
Fósforo Total (mg/l P)	17	10
Aluminio (mg/l)	4,1	5
Detergentes (mg/l)	744	8
Aceites y Grasas (mg/l)	28	150
Sólidos Totales (mg/l)	3732	1600
Sólidos Suspendidos Totales (mg/l)	2770	400

Tomando en cuenta los parámetros reflejados en la tabla anterior, se puede observar que la mayoría sobrepasa los límites permisibles por el decreto, con excepción del pH, Aluminio, Aceites y Grasas.

Debido a esto, se puede indicar que el día del muestreo, las etapas encargadas de la remoción de estos parámetros, como lo son el Separador de Espuma, Tanque de Balance / Aireación, Filtro Biológico y Tanque de Sedimentación, no funcionaron de manera óptima o presentaron una eficiencia muy baja. Las causas de esto fueron analizadas en la sección anterior, durante la cual se profundizó sobre las eficiencias de remoción de contaminantes y actual funcionamiento de cada etapa.

#### **IV.5 Propuestas de ajustes necesarios en el proceso productivo y/o en el sistema de tratamiento que permita mejorar la calidad de las descargas de efluentes líquidos de la empresa.**

De acuerdo a lo anteriormente discutido en relación a la eficiencia y funcionamiento de cada etapa, se proponen los siguientes ajustes al sistema



de tratamiento, con la finalidad de optimizar la operación de dichas etapas y obtener un efluente que cumpla con lo dispuesto en el Decreto N° 883, respecto a los vertidos de efluentes líquidos industriales a la red cloacal.

## **SUSTANCIAS QUÍMICAS**

- Eliminar la adición de antiespumante, para así favorecer el principio de la etapa de Separación de Espuma. Esta acción permitiría la formación de espumas en este equipo, logrando la separación de aceites y grasas, detergentes y sólidos suspendidos. De esta manera, se evita la formación de grandes cantidades de espuma aguas abajo del proceso.
- Eliminar la adición de policloruro de aluminio, ya que la PTARI de la Industria de Cosméticos no está diseñada para realizar una etapa de tratamiento fisicoquímico.
- Es importante considerar el nivel de la tanquilla de bombeo N° 1 así como el pH del agua, al momento de establecer una dosis más precisa de cal, por lo que deben realizarse pruebas de ajuste de pH frecuentemente.

## **SEPARADOR DE ESPUMA**

- Retirar con frecuencia las grasas y aceites que se acumulan en la tanquilla de bombeo N° 1, a fin de evitar que estos contaminantes continúen aguas abajo del proceso de tratamiento.
- Aumentar la altura del difusor de aire, de tal manera que se ubique entre la entrada y salida del separador, o bien modificar su diseño de manera que exista una división entre la cámara de salida del agua y la

cámara de aireación. De esta manera, se tendría una salida de agua sin espuma.

- Eliminar el orificio que presenta el recolector de espuma, para evitar el derrame de esta y que descargue únicamente en los Lechos de Secado. De esta manera se asegura que la espuma producida en el interior del ducto, sólo pueda salir por dicha tubería y descargar a los lechos de secado.
- La aireación debe ser de manera continua y constante para cumplir con el principio de funcionamiento de esta etapa, el cual es remover aceites y grasas y detergentes mediante la flotación inducida por aire.
- Recubrir las partes metálicas de este equipo con sustancias anticorrosivas que eviten el deterioro de las superficies y alarguen el tiempo de vida útil de dicho equipo.

### **HOMOGENEIZACIÓN / AIREACIÓN**

- Mantener la aireación continua y constante en el tanque de balance / aireación, cumpliendo así con el principio de funcionamiento de esta etapa, el cual es evitar septicidad en el agua y sedimentación de lodos en esta etapa. Al implementar esto, se eliminarían en gran parte los olores desagradables que actualmente se generan y deben ser neutralizados con la adición de Cal.

### **FILTRO BIOLÓGICO**

- Establecer un control de pH a la entrada del filtro biológico que indique la dosificación de Cal en etapas previas si el pH no se encuentra dentro del rango óptimo.

- Corregir el sistema de distribución de agua en el tope del filtro, eliminando los desniveles de los canales, de esta manera se garantiza mayor contacto del agua con la superficie del material filtrante y se obtiene una mayor eficiencia en la etapa.
- Poner en funcionamiento el suministro de aire al filtro con la finalidad de evitar zonas anaeróbicas dentro del mismo, lo cual disminuye la eficiencia de la oxidación biológica.

### **LECHOS DE SECADO**

- Aumentar la altura de la tubería que enlaza la tanquilla de drenaje de esta etapa con la tanquilla del Separador de Espuma, garantizando con esto el rápido secado por la parte inferior de los lodos.
- Disponer uno de los lechos solo para la descarga del Separador de Espuma, ya que esta etapa debe operar de manera continua y la espuma requiere de un menor tiempo para el secado. De esta manera, se puede realizar la descarga del lecho de secado correspondiente con mayor frecuencia, ya que aunque la espuma se generaría continuamente, su secado es considerablemente rápido en comparación con los lodos generados en otras etapas del proceso.

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Este capítulo contiene las conclusiones de este trabajo especial de grado, así como las recomendaciones para investigaciones futuras en el área.

A continuación se presentan las conclusiones a la cuales se llegó una vez realizado el análisis y discusión de los resultados generados de los muestreos y mediciones efectuadas, tanto en el proceso productivo como en la planta de tratamiento en cuestión.

- El efluente que se descarga a la PTARI provienen principalmente de las áreas de mezclado, bulk o almacenamiento, envasado y lavado, las cuales forman parte del proceso productivo de la empresa.
- El caudal mínimo del efluente industrial se registra cuando se lavan equipos sólo en el área de envasado, 0,24 l/s.
- El caudal máximo del efluente industrial se registra cuando todas las áreas (mezclado, envasado, bulk y lavado) descargan efluentes, procedentes del lavado de equipos en estas, 5,28 l/s.
- El vertido de efluentes líquidos a la planta de tratamiento es prácticamente continuo a excepción de los horarios de descanso del personal operario.
- La condición normal o típica de la producción en la empresa en cuestión incluye siempre elaboración de champú y gel para el cabello, frecuentemente de acondicionadores y lociones corporales y con menor frecuencia de otros productos.
- Para una producción típica de la empresa, los caudales se mantienen dentro de los rangos establecidos de 0,24 l/s – 5,28 l/s, ocasionando que en oportunidades sobrepase el valor de caudal de diseño de 1 l/s.
- La planta de tratamiento instalada no esta tratando adecuadamente el efluente industrial representativo de la producción de la empresa.

- Durante la condición normal de producción de la empresa, la planta de tratamiento presenta deficiencias en cuanto a la remoción de contaminantes respecto a los valores establecidos en el diseño.
- El efluente que se descarga a la red cloacal, para una producción típica de la empresa, no cumple con lo dispuesto en el Decreto N° 883, específicamente en lo que se refiere a DBO, DQO, nitrógeno total, fosforo total, detergentes, sólidos totales y sólidos suspendidos totales.
- Es necesario eliminar la adición de policloruro de aluminio y antiespumante, y establecer un control de adición de Cal.
- Es necesario realizar las modificaciones propuestas en las distintas etapas del proceso, en particular en lo que se refiere al separador de espuma, tanque de balance/aireación, lechos bio-percoladores y lechos de secado de lodos para restablecer su condición a lo previsto en el diseño.

## RECOMENDACIONES

A continuación se ofrecen las recomendaciones dirigidas a los ajustes necesarios que permitan mejorar la calidad del efluente líquido descargado

- Contratar personal capacitado para la operación de la planta de tratamiento en el horario durante el cual el actual operador no labora, con la finalidad de mantener el funcionamiento del sistema de tratamiento en cuestión durante toda la jornada en la que se descarga el efluente industrial.
- Evaluar la incorporación, previo al tanque de balance / aireación, un sistema de floculación – coagulación – sedimentación para la remoción de sólidos, el cual cuente con un sistema de agitación rápida, agitación lenta y sedimentación. Esta etapa también podría permitir la remoción de fósforo del efluente.
- Realizar un análisis detallado para cada etapa del sistema así como de todos los problemas que estas presenten, lo que permitirá desarrollar nuevas propuestas de ajustes y en caso de ser necesario, el re-diseño de dichas etapas.
- Evaluar la implementación de los ajustes propuestos con la finalidad de verificar si proporcionan una mejora del sistema, y con ello se consigue que el efluente que se descargue a la red cloacal cumpla con lo establecido en el Decreto N° 883.
- Considerar la posibilidad de instalar sistemas de control, especialmente de nivel, en las tanquillas de estación de bombeo N° 1 y estación de bombeo N° 2.
- Considerar la eliminación de fuentes de contaminación, como pozos de agua residual proveniente de la filtración la tubería de descarga industrial, que actualmente presenta el área cercana a la planta de tratamiento.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Crespi M. (1996). Depuración de las Aguas Residuales en la Industria de los Tensioactivos. Boletín INTEXTER (U. P. C) N°110: 49-58.

Maheesan P.M., Srinikethan G., Harikumar P.S. (2011). Evaluación del funcionamiento del sistema integrado filtro bio-percolador y humedal en una planta de tratamiento. International Journal of Engineering Science and Technology [Revista en línea]. Disponible: <http://www.ijest.info/docs/IJEST11-03-01-040.pdf> . [Consulta: 2012, febrero 3].

Manual de Operación, Planta Tratamiento de Efluentes. Octubre 2007. Industria de Cosméticos.

Metcalf & Eddy, Inc. (1991). Wastewater Engineering Treatment and Reuse. Tercera Edición. Editorial McGraw Hill.

Padilla L., María A. y Garmendia R., Sarah (1965). Estudio de efectividades en un modelo de filtro percolador. Trabajo Especial de Grado. Universidad Central de Venezuela, Caracas.

Proyecto Tratamiento de Efluentes. Julio 2007. Industria de Cosméticos.

Ríos L., Adolfo J. y Sgambatti A., José M (1970). Determinación del período de retención a diferentes gastos de un filtro bio-percolador a escala de laboratorio. Trabajo Especial de Grado. Universidad Central de Venezuela, Caracas.

Rivera, A. y otros (1999). Influencia de la recirculación en un sistema de filtro percolador. Revista Internacional de Contaminación Ambiental, año/vol. 15 (número 001): 33-39. Disponible:

<http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=37015105> [Consulta: 2012, febrero 17].

Romero R. Jairo A. (2002). Tratamiento de Aguas residuales - Teoría y principios de diseño. Colombia. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. 1232 p.



## APÉNDICES

### **Apéndice 1: Cálculos Tipo y Tablas de Resultados.**

A continuación se plantean los cálculos tipo empleados durante la realización de este trabajo especial de grado, así como las tablas de los resultados obtenidos.

- **Cálculo de caudales de cada área, a partir de las mediciones de volumen recolectado y tiempo.**

Para el cálculo de los caudales en cada área se empleó la Ecuación N° 1:

$$Q_i = \frac{V_i}{t_i}$$

Donde:

$Q_i$ = Caudal medido [l/s].

$V_i$ = Volumen de efluente recolectado [l].

$t_i$ = Tiempo que se tarda en recolectar dicho volumen [s].

Sustituyendo el volumen recolectado en la medición N° 1 para la marmita N° 1, en el área de mezclado, así como el tiempo que se necesitó para alcanzar dicho volumen, se obtiene:

$$Q_1 = \frac{4 \text{ l}}{1,41 \text{ s}} = 2,84 \frac{\text{ l}}{\text{ s}}$$

Procediendo de igual forma para todas las mediciones realizadas en cada una de las áreas, se obtuvieron los siguientes resultados, presentados a continuación en la Tabla N° 22, Tabla N° 23, Tabla N° 24 y Tabla N° 25.

Tabla N° 22: Mediciones de volumen y tiempo y resultados de caudales en el área de mezclado

Marmita N°		Descarga		
1		Restos de crema para peinar y agua a 70°C		
Medición N°	V [l]	T [s]	Q [l/s]	
1	4	1,41	2,84	
2	4	1,39	2,88	
3	4	1,38	2,89	
Marmita N°		Descarga		
1		Restos de acondicionador y agua		
Medición N°	V [l]	T [s]	Q [l/s]	
1	4	8,70	0,46	
2	4	8,16	0,49	
3	4	8,70	0,46	
Marmita N°		Descarga		
2		Restos de loción y agua		
Medición N°	V [l]	T [s]	Q [l/s]	
1	4	4,35	0,92	
2	4	4,49	0,89	
3	4	4,49	0,89	
Marmita N°		Descarga		
3		Restos de champú, agua y antiespumante		
Medición N°	V [l]	T [s]	Q [l/s]	
1	4	1,48	2,71	
2	4	1,45	2,76	
3	4	1,47	2,72	
Marmita N°		Descarga		
4		Restos de champú, agua y antiespumante		
Medición N°	V [l]	T [s]	Q [l/s]	
1	4	1,53	2,62	
2	4	1,54	2,60	
3	4	1,50	2,67	
Marmita N°		Descarga		
4		Restos de desodorante y agua		
Medición N°	V [l]	T [s]	Q [l/s]	
1	4	6,78	0,59	
2	4	7,41	0,54	
3	4	7,27	0,55	
Marmita N°		Descarga		
7		Restos de gel, agua y sal		
Medición N°	V [l]	T [s]	Q [l/s]	
1	4	1,43	2,80	
2	4	1,42	2,82	
3	4	1,41	2,84	

Tabla N° 23: Mediciones de volumen y tiempo y resultados de caudales en el área de bulk

Tanque N°		Descarga		
5		Restos de crema para peinar y agua		
Medición N°	V [l]	T [s]	Q [l/s]	
1	4	5,33	0,75	
2	4	5,19	0,77	
3	4	5,06	0,79	
Tanque N°		Descarga		
6		Restos de acondicionador y agua		
Medición N°	V [l]	T [s]	Q [l/s]	
1	4	8,00	0,50	
2	4	7,69	0,52	
3	4	8,33	0,48	
Tanque N°		Descarga		
7		Restos de loción y agua		
Medición N°	V [l]	T [s]	Q [l/s]	
1	4	8,16	0,49	
2	4	8,33	0,48	
3	4	8,51	0,47	
Tanque N°		Descarga		
7		Restos de champú, agua y antiespumante		
Medición N°	V [l]	T [s]	Q [l/s]	
1	4	3,51	1,14	
2	4	3,54	1,13	
3	4	3,67	1,09	
Tanque N°		Descarga		
8		Restos de acondicionador y agua		
Medición N°	V [l]	T [s]	Q [l/s]	
1	4	6,45	0,62	
2	4	6,35	0,63	
3	4	5,97	0,67	
Tanque N°		Descarga		
8		Restos de champú, agua y antiespumante		
Medición N°	V [l]	T [s]	Q [l/s]	
1	4	2,70	1,48	
2	4	2,72	1,47	
3	4	2,74	1,46	
Tanque N°		Descarga		
10		Restos de loción y agua		
Medición N°	V [l]	T [s]	Q [l/s]	
1	4	5,06	0,79	
2	4	5,13	0,78	
3	4	5,00	0,80	

Tabla N° 24: Mediciones de volumen y tiempo y resultados de caudales en el área de envasado

<b>Máquina N°</b>	<b>Descarga</b>		
1	Restos de champú, agua, antiespumante y sanitizante		
<b>Medición N°</b>	<b>V [l]</b>	<b>T [s]</b>	<b>Q [l/s]</b>
1	4	9,52	0,42
2	4	9,30	0,43
3	4	9,76	0,41
<b>Máquina N°</b>	<b>Descarga</b>		
1	Restos de champú, agua, antiespumante y sanitizante		
<b>Medición N°</b>	<b>V [l]</b>	<b>T [s]</b>	<b>Q [l/s]</b>
1	4	11,11	0,36
2	4	10,53	0,38
3	4	9,30	0,43
<b>Máquina N°</b>	<b>Descarga</b>		
2	Restos de desodorante, agua y sanitizante		
<b>Medición N°</b>	<b>V [l]</b>	<b>T [s]</b>	<b>Q [l/s]</b>
1	4	14,81	0,27
2	4	14,29	0,28
3	4	17,39	0,23
<b>Máquina N°</b>	<b>Descarga</b>		
2	Restos de acondicionador, agua y sanitizante		
<b>Medición N°</b>	<b>V [l]</b>	<b>T [s]</b>	<b>Q [l/s]</b>
1	4	12,50	0,32
2	4	13,33	0,30
3	4	14,29	0,28
<b>Máquina N°</b>	<b>Descarga</b>		
3	Restos de crema para peinar, agua y sanitizante		
<b>Medición N°</b>	<b>V [l]</b>	<b>T [s]</b>	<b>Q [l/s]</b>
1	4	16,00	0,25
2	4	16,00	0,25
3	4	18,18	0,22

Tabla N° 25: Mediciones de volumen y tiempo y resultados de caudales en el área de lavado

Tipo de Contenedor		Descarga		
Tolva		Restos de gel, agua y sal		
Medición N°	V [l]	T [s]	Q [l/s]	
1	4	12,12	0,33	
2	4	13,33	0,30	
3	4	13,33	0,30	
Tipo de Contenedor		Descarga		
Tolva		Restos de gel, agua y sal		
Medición N°	V [l]	T [s]	Q [l/s]	
1	4	11,11	0,36	
2	4	11,43	0,35	
3	4	11,76	0,34	
Tipo de Contenedor		Descarga		
Tanque Móvil		Restos de baño de crema		
Medición N°	V [l]	T [s]	Q [l/s]	
1	4	8,89	0,45	
2	4	8,16	0,49	
3	4	8,51	0,47	
Tipo de Contenedor		Descarga		
Tanque Móvil		Restos de gel, agua y sal		
Medición N°	V [l]	T [s]	Q [l/s]	
1	4	7,27	0,55	
2	4	7,55	0,53	
3	4	8,33	0,48	
Tipo de Contenedor		Descarga		
Contenedor de Materia Prima		Restos de materia prima y agua		
Medición N°	V [l]	T [s]	Q [l/s]	
1	4	10,00	0,40	
2	4	8,70	0,46	
3	4	9,30	0,43	
Tipo de Contenedor		Descarga		
Contenedor de Materia Prima		Restos de materia prima y agua		
Medición N°	V [l]	T [s]	Q [l/s]	
1	4	8,70	0,46	
2	4	9,09	0,44	
3	4	8,33	0,48	

- **Cálculo de caudales promedio de cada área, a partir de los caudales calculados de cada medición.**

Para el cálculo de los caudales promedio en cada área se empleó la Ecuación N° 2:

$$Q = \sum_{i=1}^3 \frac{Q_i}{3}$$

Donde:

Q= Caudal promedio para el equipo en estudio [l/s].

Q<sub>i</sub>= Caudal medido [l/s].

Sustituyendo los caudales previamente calculados, de la marmita N° 1 del área de mezclado, se obtiene:

$$Q = \frac{2,84 \frac{l}{s} + 2,88 \frac{l}{s} + 2,89 \frac{l}{s}}{3} = 2,87 \frac{l}{s}$$

Procediendo de igual forma para todos los caudales calculados en cada una de las áreas, se obtuvieron los siguientes resultados, presentados a continuación en la Tabla N° 26, Tabla N° 27, Tabla N° 28 y Tabla N° 29.

Tabla N° 26: Caudales calculados y caudales promedio en el área de mezclado

<b>Marmita N°</b>	<b>Descarga</b>	
1	Restos de crema para peinar y agua a 70°C	
<b>Medición N°</b>	<b>Q<sub>i</sub> [l/s]</b>	<b>Q [l/s]</b>
1	2,84	2,87
2	2,88	
3	2,89	
<b>Marmita N°</b>	<b>Descarga</b>	
1	Restos de acondicionador y agua	
<b>Medición N°</b>	<b>Q<sub>i</sub> [l/s]</b>	<b>Q [l/s]</b>
1	0,46	0,49
2	0,49	
3	0,46	
<b>Marmita N°</b>	<b>Descarga</b>	
2	Restos de loción y agua	
<b>Medición N°</b>	<b>Q<sub>i</sub> [l/s]</b>	<b>Q [l/s]</b>
1	0,92	0,90
2	0,89	
3	0,89	
<b>Marmita N°</b>	<b>Descarga</b>	
3	Restos de champú, agua y antiespumante	
<b>Medición N°</b>	<b>Q<sub>i</sub> [l/s]</b>	<b>Q [l/s]</b>
1	2,71	2,73
2	2,76	
3	2,72	
<b>Marmita N°</b>	<b>Descarga</b>	
4	Restos de champú, agua y antiespumante	
<b>Medición N°</b>	<b>Q<sub>i</sub> [l/s]</b>	<b>Q [l/s]</b>
1	2,62	2,63
2	2,60	
3	2,67	
<b>Marmita N°</b>	<b>Descarga</b>	
4	Restos de desodorante y agua	
<b>Medición N°</b>	<b>Q<sub>i</sub> [l/s]</b>	<b>Q [l/s]</b>
1	0,59	0,56
2	0,54	
3	0,55	
<b>Marmita N°</b>	<b>Descarga</b>	
7	Restos de gel, agua y sal	
<b>Medición N°</b>	<b>Q<sub>i</sub> [l/s]</b>	<b>Q [l/s]</b>
1	2,80	2,82
2	2,82	
3	2,84	



Tabla N° 27: Caudales calculados y caudales promedio en el área de bulk

<b>Tanque N°</b>	<b>Descarga</b>	
5	Restos de crema para peinar y agua	
<b>Medición N°</b>	<b>Q<sub>i</sub> [l/s]</b>	<b>Q [l/s]</b>
1	0,75	0,77
2	0,77	
3	0,79	
<b>Tanque N°</b>	<b>Descarga</b>	
6	Restos de acondicionador y agua	
<b>Medición N°</b>	<b>Q<sub>i</sub> [l/s]</b>	<b>Q [l/s]</b>
1	0,50	0,50
2	0,52	
3	0,48	
<b>Tanque N°</b>	<b>Descarga</b>	
7	Restos de loción y agua	
<b>Medición N°</b>	<b>Q<sub>i</sub> [l/s]</b>	<b>Q [l/s]</b>
1	0,49	0,48
2	0,48	
3	0,47	
<b>Tanque N°</b>	<b>Descarga</b>	
7	Restos de champú, agua y antiespumante	
<b>Medición N°</b>	<b>Q<sub>i</sub> [l/s]</b>	<b>Q [l/s]</b>
1	1,14	1,12
2	1,13	
3	1,09	
<b>Tanque N°</b>	<b>Descarga</b>	
8	Restos de acondicionador y agua	
<b>Medición N°</b>	<b>Q<sub>i</sub> [l/s]</b>	<b>Q [l/s]</b>
1	0,62	0,64
2	0,63	
3	0,67	
<b>Tanque N°</b>	<b>Descarga</b>	
8	Restos de champú, agua y antiespumante	
<b>Medición N°</b>	<b>Q<sub>i</sub> [l/s]</b>	<b>Q [l/s]</b>
1	1,48	1,47
2	1,47	
3	1,46	
<b>Tanque N°</b>	<b>Descarga</b>	
10	Restos de loción y agua	
<b>Medición N°</b>	<b>Q<sub>i</sub> [l/s]</b>	<b>Q [l/s]</b>
1	0,79	0,79
2	0,78	
3	0,80	

Tabla N° 28: Caudales calculados y caudales promedio en el área de envasado

<b>Máquina N°</b>	<b>Descarga</b>	
1	Restos de champú, agua, antiespumante y sanitizante	
<b>Medición N°</b>	<b>Q<sub>i</sub> [l/s]</b>	<b>Q [l/s]</b>
1	0,42	0,42
2	0,43	
3	0,41	
<b>Máquina N°</b>	<b>Descarga</b>	
1	Restos de champú, agua, antiespumante y sanitizante	
<b>Medición N°</b>	<b>Q<sub>i</sub> [l/s]</b>	<b>Q [l/s]</b>
1	0,36	0,39
2	0,38	
3	0,43	
<b>Máquina N°</b>	<b>Descarga</b>	
2	Restos de desodorante, agua y sanitizante	
<b>Medición N°</b>	<b>Q<sub>i</sub> [l/s]</b>	<b>Q [l/s]</b>
1	0,27	0,26
2	0,28	
3	0,23	
<b>Máquina N°</b>	<b>Descarga</b>	
2	Restos de acondicionador, agua y sanitizante	
<b>Medición N°</b>	<b>Q<sub>i</sub> [l/s]</b>	<b>Q [l/s]</b>
1	0,32	0,30
2	0,30	
3	0,28	
<b>Máquina N°</b>	<b>Descarga</b>	
3	Restos de crema para peinar, agua y sanitizante	
<b>Medición N°</b>	<b>Q<sub>i</sub> [l/s]</b>	<b>Q [l/s]</b>
1	0,25	0,24
2	0,25	
3	0,22	

Tabla N° 29: Caudales calculados y caudales promedio en el área de lavado

<b>Tipo de Contenedor</b>	<b>Descarga</b>	
Tolva	Restos de gel, agua y sal	
<b>Medición N°</b>	<b>Q<sub>i</sub> [l/s]</b>	<b>Q [l/s]</b>
1	0,33	0,31
2	0,30	
3	0,30	
<b>Tipo de Contenedor</b>	<b>Descarga</b>	
Tolva	Restos de gel, agua y sal	
<b>Medición N°</b>	<b>Q<sub>i</sub> [l/s]</b>	<b>Q [l/s]</b>
1	0,36	0,35
2	0,35	
3	0,34	
<b>Tipo de Contenedor</b>	<b>Descarga</b>	
Tanque Móvil	Restos de baño de crema	
<b>Medición N°</b>	<b>Q<sub>i</sub> [l/s]</b>	<b>Q [l/s]</b>
1	0,45	0,47
2	0,49	
3	0,47	
<b>Tipo de Contenedor</b>	<b>Descarga</b>	
Tanque Móvil	Restos de gel, agua y sal	
<b>Medición N°</b>	<b>Q<sub>i</sub> [l/s]</b>	<b>Q [l/s]</b>
1	0,55	0,52
2	0,53	
3	0,48	
<b>Tipo de Contenedor</b>	<b>Descarga</b>	
Contenedor de Materia Prima	Restos de materia prima y agua	
<b>Medición N°</b>	<b>Q<sub>i</sub> [l/s]</b>	<b>Q [l/s]</b>
1	0,40	0,43
2	0,46	
3	0,43	
<b>Tipo de Contenedor</b>	<b>Descarga</b>	
Contenedor de Materia Prima	Restos de materia prima y agua	
<b>Medición N°</b>	<b>Q<sub>i</sub> [l/s]</b>	<b>Q [l/s]</b>
1	0,46	0,46
2	0,44	
3	0,48	

- **Cálculo de caudales en el muestreo N° 1, a partir de las mediciones de volumen recolectado y tiempo realizadas.**

Para el cálculo de cada uno de los caudales en el muestreo N° 1, a partir de las mediciones de volumen recolectado y tiempo, se empleó la Ecuación N° 1:

$$Q_i = \frac{V_i}{t_i}$$

Donde:

$Q_i$  = Caudal medido [l/s],

$V_i$  = Volumen de efluente recolectado [l],

$t_i$  = Tiempo que se tarda en recolectar dicho volumen [s],

Sustituyendo la medición N° 1 de volumen y tiempo para las 7:45 am en el punto N° 1 de la PTARI, se obtiene:

$$Q_1 = \frac{4 \text{ l}}{17,39 \text{ s}} = 0,23 \frac{\text{l}}{\text{s}}$$

Procediendo de igual forma para todas las mediciones de volumen y tiempo en todos los puntos de la PTARI donde se recolectaron muestras, se obtuvieron los siguientes resultados, presentados a continuación en la Tabla N° 30, Tabla N° 31, Tabla N° 32 y Tabla N° 33.

Tabla N° 30: Mediciones de volumen y tiempo y resultados de caudales para el punto N° 1 en el muestreo N° 1

<b>Sitio de Captación: PUNTO N° 1 TANQUILLA DE RECEPCIÓN EFLUENTE INDUSTRIAL</b>				
Hora	Medición N°	V [l]	T [s]	Q [l/s]
7:45 am	1	4	17,39	0,23
	2	4	15,38	0,26
	3	4	15,38	0,26
8:45 am	1	4	5,16	0,78
	2	4	5,52	0,72
	3	4	5,94	0,67
9:45 am	1	4	7,70	0,52
	2	4	6,43	0,62
	3	4	7,73	0,52
10:45 am	1	4	3,35	1,19
	2	4	3,96	1,01
	3	4	4,46	0,90
11:45 am	1	4	25,92	0,15
	2	4	37,43	0,11
	3	4	35,32	0,11
12:45 pm	1	4	5,00	0,8
	2	4	4,82	0,83
	3	4	4,82	0,83

Tabla N° 31: Mediciones de volumen y tiempo y resultados de caudales para el punto N° 2 en el muestreo N° 1

<b>Sitio de Captación: PUNTO N° 2 SALIDA DEL SEPARADOR DE ESPUMA</b>				
Hora	Medición N°	V [l]	T [s]	Q [l/s]
7:55 am	1	0,5	2,33	0,21
	2	0,5	1,85	0,27
	3	0,5	1,95	0,26
8:55 am	1	0,5	1,65	0,30
	2	0,5	1,14	0,44
	3	0,5	1,66	0,30
9:55 am	1	0,5	1,58	0,32
	2	0,5	1,80	0,28
	3	0,5	1,60	0,31
10:55 am	1	0,5	1,67	0,30
	2	0,5	1,69	0,30
	3	0,5	1,50	0,33
11:55 am	1	0,5	1,61	0,31
	2	0,5	1,66	0,30
	3	0,5	1,88	0,27
12:55 pm	1	0,5	1,52	0,33
	2	0,5	1,39	0,36
	3	0,5	1,28	0,39

Tabla N° 32: Mediciones de volumen y tiempo y resultados de caudales para el punto N° 3 en el muestreo N° 1

<b>Sitio de Captación: PUNTO N° 3 SALIDA DEL TANQUE DE BALANCE / AIREACIÓN</b>				
Hora	Medición N°	V [l]	T [s]	Q [l/s]
8:05 am	1	4	10,13	0,39
	2	4	10,02	0,40
	3	4	11,40	0,35
9:05 am	1	4	10,10	0,40
	2	4	11,72	0,34
	3	4	10,55	0,38
10:05 am	1	4	11,03	0,36
	2	4	11,43	0,35
	3	4	11,78	0,34
11:05 am	1	4	11,95	0,33
	2	4	11,80	0,34
	3	4	11,62	0,34
12:05 pm	1	4	10,97	0,36
	2	4	10,94	0,37
	3	4	11,53	0,35
1:05 pm	1	4	12,50	0,32
	2	4	11,43	0,35
	3	4	11,43	0,35

Tabla N° 33: Mediciones de volumen y tiempo y resultados de caudales para el punto N° 4 en el muestreo N° 1

<b>Sitio de Captación: PUNTO N° 4 TANQUILLA DE DESCARGA A RED CLOACAL</b>				
Hora	Medición N°	V [l]	T [s]	Q [l/s]
8:15 am	1	1,30	1,58	0,82
	2	1,15	1,28	0,90
	3	1,27	2,12	0,60
9:15 am	1	0,79	1,29	0,61
	2	0,80	1,14	0,70
	3	0,75	1,19	0,63
10:15 am	1	0,94	1,93	0,49
	2	0,73	1,21	0,60
	3	0,96	1,41	0,68
11:15 am	1	0,80	1,02	0,78
	2	0,68	1,26	0,54
	3	0,70	1,10	0,64
12:15 pm	1	0,55	1,12	0,49
	2	0,58	1,29	0,45
	3	0,40	1,01	0,40
1:15 pm	1	1,23	2,20	0,56
	2	0,77	1,48	0,52
	3	0,86	1,37	0,63

- **Cálculo de caudales promedio de cada muestra captada durante el muestreo N° 1, a partir de las mediciones realizadas.**

Para el cálculo de los caudales promedio de cada muestra captada durante el muestreo N° 1, se empleó la Ecuación N° 2:

$$Q = \sum_{i=1}^3 \frac{Q_i}{3}$$

Donde:

Q= Caudal promedio para cada muestra [l/s],

Q<sub>i</sub>= Caudal medido [l/s],

Sustituyendo los caudales calculados para la captación de las 7:45 am en punto N° 1 de la PTARI, se obtiene:

$$Q = \frac{0,23 \frac{l}{s} + 0,26 \frac{l}{s} + 0,26 \frac{l}{s}}{3} = 0,25 \frac{l}{s}$$

Procediendo de igual forma para todos los caudales calculados en cada una de las muestras captadas, se obtuvieron los siguientes resultados, presentados a continuación en las Tabla N° 34, Tabla N° 35, Tabla N° 36 y Tabla N° 37.

Tabla N° 34: Caudales calculados y caudal promedio de cada muestra captada en el punto N° 1 durante el muestreo N° 1

<b>Sitio de Captación: PUNTO N° 1 TANQUILLA DE RECEPCIÓN EFLUENTE INDUSTRIAL</b>			
<b>Hora</b>	<b>Medición N°</b>	<b>Q<sub>i</sub> [l/s]</b>	<b>Q [l/s]</b>
7:45 am	1	0,23	0,25
	2	0,26	
	3	0,26	
8:45 am	1	0,78	0,72
	2	0,72	
	3	0,67	
9:45 am	1	0,52	0,55
	2	0,62	
	3	0,52	
10:45 am	1	1,19	1,03
	2	1,01	
	3	0,90	
11:45 am	1	0,15	0,12
	2	0,11	
	3	0,11	
12:45 pm	1	0,80	0,82
	2	0,83	
	3	0,83	

Tabla N° 35: Caudales calculados y caudal promedio de cada muestra captada en el punto N° 2 durante el muestreo N° 1

<b>Sitio de Captación: PUNTO N° 2 SALIDA DEL SEPARADOR DE ESPUMA</b>			
<b>Hora</b>	<b>Medición N°</b>	<b>Q<sub>i</sub> [l/s]</b>	<b>Q [l/s]</b>
7:55 am	1	0,21	0,25
	2	0,27	
	3	0,26	
8:55 am	1	0,30	0,35
	2	0,44	
	3	0,30	
9:55 am	1	0,32	0,30
	2	0,28	
	3	0,31	
10:55 am	1	0,30	0,31
	2	0,30	
	3	0,33	
11:55 am	1	0,31	0,29
	2	0,30	
	3	0,27	
12:55 pm	1	0,33	0,36
	2	0,36	
	3	0,39	



Tabla N° 36: Caudales calculados y caudal promedio de cada muestra captada en el punto N° 3 durante el muestreo N° 1

<b>Sitio de Captación: PUNTO N° 3 SALIDA DEL TANQUE DE BALANCE / AIREACIÓN</b>			
<b>Hora</b>	<b>Medición N°</b>	<b>Q<sub>i</sub> [l/s]</b>	<b>Q [l/s]</b>
8:05 am	1	0,39	0,38
	2	0,40	
	3	0,35	
9:05 am	1	0,40	0,37
	2	0,34	
	3	0,38	
10:05 am	1	0,36	0,35
	2	0,35	
	3	0,34	
11:05 am	1	0,33	0,34
	2	0,34	
	3	0,34	
12:05 pm	1	0,36	0,36
	2	0,37	
	3	0,35	
1:05 pm	1	0,32	0,34
	2	0,35	
	3	0,35	

Tabla N° 37: Caudales calculados y caudal promedio de cada muestra captada en el punto N° 4 durante el muestreo N° 1

<b>Sitio de Captación: PUNTO N° 4 TANQUILLA DE DESCARGA A RED CLOACAL</b>			
<b>Hora</b>	<b>Medición N°</b>	<b>Q<sub>i</sub> [l/s]</b>	<b>Q [l/s]</b>
8:15 am	1	0,82	0,77
	2	0,90	
	3	0,60	
9:15 am	1	0,61	0,65
	2	0,70	
	3	0,63	
10:15 am	1	0,49	0,59
	2	0,60	
	3	0,68	
11:15 am	1	0,78	0,65
	2	0,54	
	3	0,64	
12:15 pm	1	0,49	0,45
	2	0,45	
	3	0,40	
1:15 pm	1	0,56	0,57
	2	0,52	
	3	0,63	

- **Cálculo del volumen de muestra recolectada para preparar la muestra compuesta en el muestreo N° 1.**

Para el cálculo del volumen de cada muestra, necesario para preparar la muestra compuesta en cada punto del muestreo N° 1, se empleó la Ecuación N° 3:

$$\frac{Q_{sm}}{V_{sm}} = \frac{\sum Q_{sm}}{V_{Tm}}$$

Donde:

$Q_{sm}$ : Caudal de cada sub-muestra [l/s],

$V_{sm}$ : Volumen necesario de cada sub-muestra para formar la muestra compuesta [l],

$V_{Tm}$ : Volumen total de la muestra compuesta [l],

Despejando el volumen de la sub muestra  $V_{sm}$  y sustituyendo los caudales calculados para el punto N° 1 de la PTARI, el volumen total de la muestra compuesta  $V_{Tm}$ , la cual en este caso se estimó en 6 l, así como el caudal de la sub muestra  $Q_{sm}$  de las 7:45 am, se obtiene:

$$V_{sm} = \frac{Q_{sm} * V_{Tm}}{\sum Q_{sm}}$$

$$V_{sm} = \frac{0,25 \frac{l}{s} * 6l}{0,25 \frac{l}{s} + 0,72 \frac{l}{s} + 0,55 \frac{l}{s} + 1,03 \frac{l}{s} + 0,12 \frac{l}{s} + 0,82 \frac{l}{s}}$$

$$= 0,43 \frac{l}{s}$$

Procediendo de igual forma para todos los caudales medidos en cada una de las muestras captadas, se obtuvieron los siguientes resultados, presentados a continuación en la Tabla N° 38, Tabla N° 39, Tabla N° 40 y Tabla N° 41.

Tabla N° 38: Volumen necesario de cada sub muestra para la preparación de la muestra compuesta del punto N° 1

<b>Sitio de Captación: PUNTO N° 1 TANQUILLA DE RECEPCIÓN EFLUENTE INDUSTRIAL</b>			
<b>Hora</b>	<b>Q<sub>sm</sub> [l/s]</b>	<b>V<sub>Tm</sub> [l]</b>	<b>V<sub>sm</sub> [l]</b>
7:45 am	0,25	6	0,43
8:45 am	0,72	6	1,24
9:45 am	0,55	6	0,95
10:45 am	1,03	6	1,77
11:45 am	0,12	6	0,21
12:45 pm	0,82	6	1,40

Tabla N° 39: Volumen necesario de cada sub muestra para la preparación de la muestra compuesta del punto N° 2

<b>Sitio de Captación: PUNTO N° 2 SALIDA DEL SEPARADOR DE ESPUMA</b>			
<b>Hora</b>	<b>Q<sub>sm</sub> [l/s]</b>	<b>V<sub>Tm</sub> [l]</b>	<b>V<sub>sm</sub> [l]</b>
7:55 am	0,25	4	0,53
8:55 am	0,35	4	0,75
9:55 am	0,30	4	0,65
10:55 am	0,31	4	0,67
11:55 am	0,29	4	0,63
12:55 pm	0,36	4	0,77

Tabla N° 40: Volumen necesario de cada sub muestra para la preparación de la muestra compuesta del punto N° 3

<b>Sitio de Captación: PUNTO N° 3 SALIDA DEL TANQUE DE BALANCE / AIREACIÓN</b>			
<b>Hora</b>	<b>Q<sub>sm</sub> [l/s]</b>	<b>V<sub>Tm</sub> [l]</b>	<b>V<sub>sm</sub> [l]</b>
8:05 am	0,38	4	0,71
9:05 am	0,37	4	0,69
10:05 am	0,35	4	0,65
11:05 am	0,34	4	0,63
12:05 pm	0,36	4	0,67
1:05 pm	0,34	4	0,63

Tabla N° 41: Volumen necesario de cada sub muestra para la preparación de la muestra compuesta del punto N° 4

<b>Sitio de Captación: PUNTO N° 4 TANQUILLA DE DESCARGA A RED CLOACAL</b>			
<b>Hora</b>	<b>Q<sub>sm</sub> [l/s]</b>	<b>V<sub>Tm</sub> [l]</b>	<b>V<sub>sm</sub> [l]</b>
8:15 am	0,77	6	1,26
9:15 am	0,65	6	1,06
10:15 am	0,59	6	0,96
11:15 am	0,65	6	1,07
12:15 pm	0,45	6	0,73
1:15 pm	0,57	6	0,93

- **Cálculo de las concentraciones esperadas en el efluente de cada etapa de la PTARI, durante el muestreo N° 2.**

Para el cálculo de las concentraciones esperadas en el efluente de las etapas de Separador de Espuma y de Balance / Aireación de la PTARI, a partir de los resultados del muestreo N° 2, se empleó la Ecuación N° 4:

$$C_e = C_a * (100\% - \%RD)$$

Donde:

$C_e$ : Concentración esperada del efluente de la etapa [mg/l]

$C_a$ : Concentración del afluente de la etapa [mg/l]

%RD: Porcentaje de remoción de diseño de la etapa [%]

Según el diseño de la PTARI se cuenta con una remoción de 40% de DQO y mediante el análisis fisicoquímico se determinó que el afluente en esta etapa contenía una concentración de 6200 mg/l de DQO, Se obtuvo la concentración de este contaminante a la salida del Separador de Espuma de la siguiente manera

$$C_e = 6200mg/l * (100\% - 60\%) = 6200mg/l * 40\%$$

$$C_e = 2480mg/l$$

Procediendo de la misma manera para todas las concentraciones de contaminantes en la etapa de separación de espuma presentados a continuación en la Tabla N° 42.

Tabla N° 42: Concentración de contaminantes esperadas en el efluente de la etapa de Separación de Espuma

Parámetro	Concentración del Afluente de la etapa [mg/l]	Remoción de Diseño [%]	Concentración Esperada del Efluente de la Etapa de Acuerdo a la Eficiencia de Diseño [mg/l]
DQO	6200	60	2480
DBO	3000	60	1200
Sólido Totales Volátiles	2436	60	974
Sólidos Suspendidos	2646	30	1058
Aceites y Grasas	492	90	49
Fósforo	23	90	2
Detergentes Aniónicos	990	60	396

Procediendo de igual forma para la etapa de Balance / Aireación, se obtuvieron los siguientes resultados, presentados a continuación en la Tabla N° 43.

Tabla N° 43: Concentración de contaminantes esperadas en el efluente de la etapa de Balance/Aireación

Parámetro	Concentración del Afluente de la etapa [mg/l]	Remoción de Diseño [%]	Concentración Esperada del Efluente de la Etapa de Acuerdo a la Eficiencia de Diseño [mg/l]
DQO	8300	55	3735
DBO	4700	50	2350
Sólido Totales Volátiles	2726	30	1908
Aceites y Grasas	31	5	29
Nitrógeno	69	15	59
Fósforo	15	15	13
Detergentes aniónicos	1070	35	696

Para el cálculo de las concentraciones esperadas en el efluente de la etapa conjunta de Filtro Biológico y Sedimentador Secundario de la PTARI, a partir de los resultados del muestreo N° 2, se empleó la Ecuación N° 5 y Ecuación N° 6:

$$C_{ef} = C_a * (100\% - \%RD_f) * (100\% - \%RD_s)$$

$$C_{es} = C_{af} * (100\% - \%RD_s)$$

Donde:

$C_{ef}$ : Concentración esperada del efluente del Filtro Biológico [mg/l]

$C_{es}$ : Concentración esperada del efluente del sedimentador [mg/l]

$C_a$ : Concentración del afluente de la etapa [mg/l]

$\%RD_f$ : Porcentaje de remoción de diseño del Filtro Biológico [%]

$\%RD_s$ : Porcentaje de remoción de diseño del Sedimentador [%]

Se determinó la concentración del afluente de la etapa mediante los resultados de los análisis fisicoquímicos y usando la Tabla N° 3, se estipula el porcentaje de remoción de diseño del filtro biológico, se tiene que la concentración de DQO en el afluente del filtro biológico es de 7000 mg/l y que los porcentaje de remoción de diseño para el filtro y sedimentador son de 90% y 5% respectivamente. Sustituyendo la concentración del afluente  $C_a$  de la etapa de Filtro Biológico y los porcentajes de remoción de diseño de ambas etapas (Filtro Biológico y Sedimentador Secundario)  $\%RD_f$  y  $\%RD_s$ , se obtiene:

$$C_{ef} = 7000 \text{ mg/l} * (100\% - 90\%) = 700 \text{ mg/l}$$

$$C_{es} = 700 \text{ mg/l} * (100\% - 5\%)$$

$$C_{es} = 665 \text{ mg/l}$$

Los resultados para la concentración de contaminantes esperada a la salida del sedimentador, se presenta en la Tabla N° 44 a continuación.

Tabla N° 44: Concentración de contaminantes esperadas en el efluente de la etapa de Sedimentación

Parámetro	Concentración del Afluente de la etapa [mg/l]	Remoción de Diseño del Filtro Biológico [%]	Remoción de Diseño del Sedimentador [%]	Concentración Esperada del Efluente de la Etapa de Acuerdo a la Eficiencia de Diseño [mg/l]
DQO	7000	90	5	665
DBO	4800	85	5	684
Sólido Totales Volátiles	3484	90	10	313
Sólidos Suspendidos	3884	-	80	777
Aceites y Grasas	40	25	-	30
Nitrógeno	69	20	-	55
Fósforo	18	10	15	14
Detergentes Aniónicos	880	40	20	422



- **Cálculo de los porcentajes de remoción de las etapas de la PTARI, en el muestreo N° 2.**

Para el cálculo de los porcentajes de remoción de cada etapa de la PTARI, a partir de los resultados del muestreo N° 2, se empleó la Ecuación N° 7:

$$\%R = \frac{C_a - C_e}{C_a} * 100\%$$

Donde:

%R: Porcentaje de remoción de la etapa [%]

C<sub>e</sub>: Concentración del efluente de la etapa [mg/l]

C<sub>a</sub>: Concentración del afluente de la etapa [mg/l]

Mediante el análisis fisicoquímico se determinó que la concentración de grasas fue de 492 mg/l y 31 mg/l respectivamente, usando la ecuación antes nombrada se determinó el porcentaje de remoción de este contaminante aceite en el afluente y efluente de la etapa de separación de espuma, de la siguiente manera.

$$\%R = \frac{492 - 31}{492} * 100\%$$

$$\%R = 94\%$$

Sustituyendo las concentraciones en el afluente C<sub>a</sub> y efluente C<sub>e</sub> de la etapa de Separador de Espuma, se obtienen los resultados presentados en la Tabla N° 45.

Tabla N° 45: Eficiencia de la etapa de Separación de Espuma

Parámetro	Concentración del Afluente de la etapa [mg/l]	Concentración Determinada del Efluente de la Etapa Mediante el Análisis Físicoquímico [mg/l]	Remoción Determinada Mediante el Análisis Físicoquímico [%]
DQO	6200	8300	-
DBO	3000	4700	-
Sólido Totales Volátiles	2436	2726	-
Sólidos Suspendidos	2646	3272	-
Aceites y Grasas	492	31	94
Fósforo	23	15	35
Detergentes Aniónicos	990	1070	-

Procediendo de igual forma para las etapas de Balance / Aireación y Filtro Biológico – Sedimentador Secundario, se obtuvieron los siguientes resultados, presentados a continuación en las Tabla N° 46 y Tabla N° 47:

Tabla N° 46: Eficiencia de la etapa de Balance / Aireación

Parámetro	Concentración del Afluente de la etapa [mg/l]	Concentración Determinada del Efluente de la Etapa Mediante el Análisis Físicoquímico [mg/l]	Remoción Determinada mediante el Análisis Físicoquímico [%]
DQO	8300	7000	16
DBO	4700	4800	-
Sólido Totales Volátiles	2726	3484	-
Aceites y Grasas	31	40	-
Nitrógeno	69	69	-
Fósforo	15	18	-
Detergentes aniónicos	1070	880	18

Tabla N° 47: Eficiencia de la etapa de Filtro Biológico / Sedimentación

Parámetro	Concentración del Afluente de la etapa [mg/l]	Concentración Determinada del Efluente de la Etapa Mediante el Análisis Fisicoquímico [mg/l]	Remoción Determinada mediante el Análisis Fisicoquímico [%]
DQO	7000	6000	15
DBO	4800	3400	29
Sólido Totales Volátiles	3484	2342	33
Sólidos Suspendidos	3884	2770	28,6
Aceites y Grasas	40	28	30
Nitrógeno	69	68	1,45
Fósforo	18	17	5,55
Detergentes Aniónicos	880	744	15

**Apéndice 2: Artículo 15 del Decreto N° 883 de las Normas para la Clasificación y el Control de la Calidad de los Cuerpos de Agua y Vertidos o Efluentes Líquidos.**

A continuación se presenta el Artículo 15 del Decreto N° 883, el cual señala los límites máximos permisibles en las descargas a redes cloacales.

media del cuerpo marino-costero en la zona de mezcla, comparada con la temperatura media del cuerpo receptor, no debe ser mayor de 3°C.

**ARTICULO 13.-** Quienes realicen operaciones de explotación o exploración petrolera en la Plataforma Continental y la Zona Económica Exclusiva, dispondrán de los sistemas necesarios para evitar la descarga de hidrocarburos o la mezcla de ellos, al medio marino.

**ARTICULO 14.-** Las descargas submarinas se harán a una profundidad y distancia tal que se logre una rápida dilución inicial y una satisfactoria dispersión y asimilación por el medio receptor y se minimice el retorno de los contaminantes a la línea de la costa. El Ministerio del Ambiente y de los Recursos Renovables, establecerá en la autorización correspondiente, conforme al artículo 21 de la Ley Orgánica del Ambiente, las condiciones particulares para las descargas submarinas. A tales efectos, los interesados presentarán los siguientes recaudos:

1. Descripción de las características de la tubería y efluentes a descargar.
2. Estudios sobre la calidad físico-química y bacteriológica del agua en el área de influencia de la descarga.
3. Estudio batimétrico y de corrientes submarinas y superficiales en el sitio de la descarga.
4. Rasgos de la línea de costa (configuración y morfología).
5. Características hidrográficas.
6. Geología de la zona.
7. Difusión horizontal y vertical estimada y posible estratificación del campo de aguas servidas.

## **SECCION V**

### **De la descarga a redes cloacales**

**ARTICULO 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:

<b>Parámetros Físico-Químicos</b>	<b>Límites máximos o rangos</b>
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 (DBO <sub>5,20</sub> )	350 mg/l
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	900 mg/l
Detergentes	8,0 mg/l
Dispersantes	8,0 mg/l
Fenoles	0,5 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	Ausentes
Sólidos suspendidos	400 mg/l
Sólidos totales	1600 mg/l
Sulfatos	400 mg/l
Sulfuros	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 $\alpha$	máximo 0,1 Bq/l.
Actividad $\beta$	máximo 1,0 Bq/l.

### **SECCION VI**