

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES EN LA EMPRESA OWENS-ILLINOIS DE VENEZUELA C.A.

Presentado ante la ilustre
Universidad Central de
Venezuela para optar al Título
de Ingeniero Químico.
Por la Br. Gómez G., Luisa F.

Caracas, Noviembre 2.003.

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES EN LA EMPRESA OWENS-ILLINOIS DE VENEZUELA C.A.

TUTOR ACADÉMICO: Ing. Eudoro López.
TUTOR INDUSTRIAL: Ing. Ricardo Pereira.

Presentado ante la ilustre
Universidad Central de
Venezuela para optar al Título
de Ingeniero Químico.
Por la Br. Gómez G., Luisa F.

Caracas, Noviembre 2.003.

Gómez G., Luisa F.

EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES EN LA EMPRESA OWENS-ILLINOIS DE VENEZUELA C.A.

Tutor Académico: Prof. Eudoro López. Tutor industrial: Ing. Ricardo Pereira. Tesis. Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Química. Año 2.003.

Palabras Claves: Evaluación, Técnico-Económica, Tratamiento de Aguas Residuales.

Resumen. El objeto del presente trabajo de investigación fue la evaluación técnica y económica de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Industriales de la empresa Owens Illinois de Venezuela, C.A., con la finalidad de proponer alternativas y correcciones que puedan solventar las necesidades y exigencias actuales de capacidad y calidad de agua tratada.

La metodología empleada fue la técnica de volumen fijo, medición de altura de fluido en un canal Parshall y un balance de masa para la determinación de los caudales; así como también un muestreo compuesto para lograr la caracterización físico-química de las corrientes, por último la recopilación de precios y consumos de todos los compuestos químicos y demás insumos que requiere la planta, incluyendo una evaluación de la actividad de mantenimiento y control por parte de los operadores.

El trabajo de investigación concluye que las deficiencias técnicas que está presentando la planta son debidas al gran aumento del caudal y la inserción de nuevas corrientes con diferentes características físico-químicas como corrientes de alimentación.

La solución propuesta es la instalación de un desbaste y de un tanque que almacene todas las corrientes de entrada a la planta, de tal forma que pueda amortiguar ó disminuir el caudal de alimentación de la planta de tratamiento y la desviación de las corrientes de entrada con diferentes características físico-químicas a la Planta Sanitaria que también posee la empresa.

Los abajo firmantes, miembros del Jurado designado por el Consejo de Escuela de Ingeniería Química, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por la Br. Luisa Gómez, titulado:

“Evaluación Técnico-Económica de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Industriales en la empresa Owens-Illinois de Venezuela C.A.”

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

Prof. José Francisco Fernández
Jurado

Prof. María Rincones.
Jurado

Prof. Eudoro López
Tutor

Ing. Ricardo Pereira.
Tutor

DEDICATORIA

A mi madre...
por su cariño, comprensión,
abnegación, aliento y compañía.

A mi padre...
por su apoyo,
respaldo y colaboración.

A Guillermo...
por su amor incondicional,
fidelidad y confianza a toda prueba.

AGRADECIMIENTOS

Gracias a todas aquellas personas que colaboraron a la elaboración y culminación de mi tesis.

Gracias a:

DIOS: Por guiarnos a todo en nuestro camino.

MIS PADRES : Por su cariño, respaldo, generosidad, cuidado, apoyo y lucha incesante.

MI FAMILIA: Anate, Sebastián, Pedro, Yolena, Miguel, David, Heidi, Eduardo, Pacho, Mariate y mi Abuelita; por su compañía, cariño y aliento.

GUILLERMO: Por creer en mí, guiarme cuando más lo necesitaba, ayudarme en todo momento, cuidarme siempre y quererme de verdad.

MIS TUTORES: Ricardo Pereira y Eudoro López, por su amable orientación a lo largo del trabajo de investigación.

PROFESORES DE LA UCV: Especialmente al Ing. Nelson Macquhae, por enseñarme a enfrentar la universidad y darme una oportunidad única. Gracias a todos por su paciencia, pedagogía y conocimientos que me ayudaron a formarme como profesional.

PERSONAL DE LA OWENS Y CONTRATISTAS: A los Ings. Eligio Piquer, Edgar Jiménez, Yole Micoti, Juan Pablo Álvarez, Luisana Torres, Carmona, Quiroz, Quevedo, Zambrano, Milver, Marcano, y a los operadores de la planta Carlos, Luis y el Viejito. Gracias por su colaboración y ayuda en todo momento.

AMIGOS (de la Owens): Ludmila, Mauricio, Ángel, Oscar, Miguel, Carrero, José Luis, Jean Carlos y Juan; gracias a todos por ayudarme a vivir en Valencia, a trabajar en un ambiente muy caluroso, húmedo, y hostil para una mujer.

AMIGOS (de la Escuela): Freppy, Desireé, Gonzalo, Luis, Bárbara, Armando, Gustavo, Tahneé, Javier, Juan, Nazareth, Gerardo y Helen; gracias a todos por los momentos compartidos (académicos ó no), en los que por encima de todo luchamos juntos para lograr nuestra meta.

AMIGOS (de la vida): Yesmi, Eduardo, Wladimir, Ingrid, Deborah, Angeli, Guayoyo, Julieta y Juan Carlos Martínez; por darme apoyo, compañía, alegrías y ayuda mientras hemos estado juntos.

SUMARIO

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo general la evaluación técnico-económica de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Industriales (P.T.A.R.I) de la empresa Owens Illinois de Venezuela, C.A; con la finalidad de poder proponer alternativas y medidas que puedan suplir las necesidades y requerimientos actuales de capacidad y calidad de agua tratada que exige el Ministerio de Ambiente y de los Recursos Naturales.

La evaluación técnica se realizó a través de diversas etapas, las cuales incluyen diversas inspecciones de campo, establecimiento de puntos y modalidades de muestreo; con lo cual se pudo obtener el número de corrientes descargadas en la planta de tratamiento, sus caudales, frecuencia de descarga, intervalos de duración, y caracterizaciones físico-químicas de las corrientes. Las caracterizaciones fueron realizadas en el Laboratorio de Aguas de la empresa Kimberly Clark y en el Laboratorio de Aguas de la Universidad Nacional Experimental Politécnica, “Antonio José de Sucre” (UNEXPO). Aunado a todo lo anterior, se investigó el origen y producción de tales corrientes de descarga con la finalidad de conocer el sistema de generación de efluentes.

A partir de los datos obtenidos, en la evaluación técnica se determinó que existe un incremento de 600 % sobre el caudal de alimentación de diseño, debido al aumento en el número de corrientes de descarga y a una expansión en el área de producción. Adicionalmente se verificó que las características físico-químicas de las corrientes adicionales, presentan diferencias marcadas entre sí y en comparación con los de la alimentación original.

La evaluación económica requirió de recopilación de información a través de los proveedores, departamento de compras y departamento de almacén, inspecciones no avisadas a los operadores y seguimiento del mantenimiento preventivo y correctivo que se le realiza a la planta de tratamiento. Esta evaluación permitió la obtención del costo del agua tratada, el cual osciló para el año 2.002 de 60 a 85 Bs/m³ La investigación demostró que existen grandes fallas en el control de polímeros, productos químicos y demás insumos que consume la planta, así como también que existen deficiencias en el mantenimiento preventivo lo que conlleva a grandes gastos en mantenimiento correctivo.

Con los resultados obtenidos de las dos evaluaciones, se procedió a tomar ciertas medidas como lo son la elaboración de nuevos formatos para la recopilación de datos obtenidos por los operadores y el cambio de métodos de medición.

Aunado a las medidas tomadas, se propone la instalación de un desbaste y un tanque de amortiguación de caudal antes de la entrada al desbaste actual, el cual pueda controlar y disminuir la corriente de alimentación al sistema, el redireccionamiento de las corrientes provenientes del lavado de vidrio hacia la Planta de Aguas Sanitarias que posee la empresa, el cambio de la introducción de la corriente proveniente de la potabilización de aguas en el tanque de espesamiento de lodos, el cual está mejor acondicionado para su tratamiento y la reubicación de la corriente de lavado de máquinas hacia el nuevo tanque de igualación a instalar lo cual evitaría la contaminación del agua tratada que está siendo conducida al canal industrial.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
SUMARIO	v
ÍNDICE DE FIGURAS	x
ÍNDICE DE TABLAS	xi
LISTA DE SÍMBOLOS	xiv
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1	2
<i>1. FUNDAMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN</i>	2
<i>1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</i>	2
<i>1.2 OBJETIVOS</i>	2
<i>1.2.1 OBJETIVO GENERAL</i>	2
<i>1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS</i>	3
<i>1.3 ANTECEDENTES DE LOS TRATAMIENTOS DE EFLUENTES DE PROCESOS DE PRODUCCIÓN Y RECICLAJE DE VIDRIO</i>	3
CAPÍTULO 2	4
<i>2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</i>	4
<i>2.1. PRODUCCIÓN DE VIDRIO</i>	4
<i>2.2 LUBRICANTES Y ACEITES UTILIZADOS EN LA PLANTA</i>	5
<i>2.3 COMPUESTOS QUÍMICOS PARA EL TRATAMIENTO DEL AGUA DE ENFRIAMIENTO</i>	5
<i>2.4 ENVASES PRODUCIDOS EN LA PLANTA</i>	6
<i>2.5 CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES PROVENIENTES DE LA PRODUCCIÓN Y RECICLAJE DE VIDRIO</i>	7
<i>2.5.1 PARÁMETROS FÍSICOS</i>	7
<i>2.5.2 PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS</i>	7
<i>2.6 NORMATIVA AMBIENTAL</i>	8
<i>2.7 SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES</i>	9
<i>2.7.1 PRETRATAMIENTOS</i>	9
<i>2.7.1.1 DESBASTE</i>	10
<i>2.7.1.2 HOMOGENEIZACIÓN Y REGULACIÓN DEL CAUDAL</i>	10
<i>2.7.1.3 NEUTRALIZACIÓN</i>	10
<i>2.7.1.4 DESACEITADO Y DESENGRASADO</i>	11

2.7.1 SISTEMAS DE TRATAMIENTO PRIMARIO	11
2.7.2.1 <i>SEDIMENTACIÓN</i>	11
2.7.2.2 <i>COAGULACION Y FLOCULACION</i>	11
2.7.3 SISTEMAS DE TRATAMIENTO SECUNDARIO	12
2.7.3.1 <i>BIODEGRADACIÓN Y CRECIMIENTO BIOLÓGICO</i>	12
2.7.3.2 <i>PROCESOS DE TRATAMIENTO AEROBIOS</i>	12
2.7.3.3 <i>PROCESOS DE TRATAMIENTO ANAEROBIOS</i>	13
2.7.4 SISTEMAS DE TRATAMIENTO TERCARIO	13
2.8 DISPOSITIVOS PARA LA MEDICIÓN DE FLUJO	13
CAPÍTULO 3	17
3. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE ESTUDIO	17
3.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA EMPRESA OWENS ILLINOIS Y SUS PROCESOS	17
3.1.1. MATERIA PRIMA	17
3.1.2. PROCESO PRODUCTIVO	18
3.1.3 SISTEMA DE AGUAS Y SUS USOS	20
3.1.3.1. <i>EXTRACCIÓN</i>	20
3.1.3.2. <i>AGUA DE PROCESOS</i>	22
3.1.3.3. <i>AGUA RECICLADA</i>	24
3.1.4 TRATAMIENTO ACTUAL DE LAS AGUAS RESIDUALES	24
3.1.4.1 <i>TRATAMIENTO PRIMARIO</i>	24
3.1.4.2 <i>TRATAMIENTO FÍSICO-QUÍMICO</i>	26
3.1.4.3 <i>TRATAMIENTO DE LODOS</i>	26
3.1.5 TRATAMIENTO DE LAS AGUAS SANITARIAS	27
3.2 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA RECICLADORA DE VIDRIO RENCY C.A. Y SU PROCESO PRODUCTIVO	29
CAPÍTULO 4	31
4. METODOLOGÍA	31

4.1 DETERMINACIÓN DE CAUDALES	31
4.2 CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DE LAS CORRIENTES DE ENTRADA Y SALIDA DE LOS EQUIPOS DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO	33
4.3 DETERMINACIÓN DEL COSTO DE LA OPERACIÓN Y EL PROCESO DE MANTENIMIENTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO	35
CAPÍTULO 5	36
5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	36
5.1 DETERMINACIÓN DE CAUDALES	36
5.1.1 VOLUMEN FIJO	36
5.1.2 CANAL PARSHALL	38
5.1.3 DATOS TEÓRICOS DEL VOLUMEN BOMBEADO	38
5.1.4 BALANCE DE MASA	39
5.2 CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DE LAS ENTRADAS Y SALIDAS DE LOS EQUIPOS DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO	41
5.2.1 KIMBERLY CLARK	41
5.2.2 U.N.E.X.P.O	42
5.2.3 LABORATORIO ECOLÓGICO ORDAZ	42
5.2.4 EVALUACIÓN TÉCNICA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES	44
5.2.4.1 DESBASTE	45
5.2.4.2 TRAMPA DE GRASAS Y ACEITES	46
5.2.4.3 TANQUE DE IGUALACIÓN	47
5.2.4.4 TANQUE DE COAGULACIÓN-FLOCULACIÓN	47
5.2.4.5 TANQUE DE SEDIMENTACIÓN PRIMARIA	48
5.2.4.6 TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE LODO	49
5.2.4.7 TANQUE DE ESPESAMIENTO DE LODO	49
5.2.4.8 FILTRO PRENSA	50
5.2.4.9 TANQUE DE AGUA TRATADA	50
5.3 DETERMINACIÓN DEL COSTO DE LA OPERACIÓN Y EL PROCESO DE MANTENIMIENTO	52
CAPÍTULO 6	64
6. PRESENTACIÓN Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS	64

6.1 DESCRIPCIÓN DE LA PROPUESTA GENERAL	64
6.2 DESCRIPCIÓN Y DISCUSIÓN DE LAS VARIANTES DE LA PROPESTA GENERAL	65
6.2.1 INSTALACIÓN DE TRATAMIENTO BIOLÓGICO	65
6.2.2 APROVECHAMIENTO DE LA PLANTA SANITARIA	72
CONCLUSIONES	78
RECOMENDACIONES	80
BIBLIOGRAFÍA	81
ANEXO A. Formatos nuevos para la toma de mediciones de los operarios de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Industriales	83
ANEXO B. Datos obtenidos en los diferentes tipos y períodos de muestreo	90
ANEXO C. Cálculos tipo	150

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura N° 1. Esquema de un canal de aforo Parshall, vista en planta.	14
Figura N° 2. Esquema de un canal de aforo Parshall, vista lateral.	15
Figura N° 3. Diagrama del Proceso Productivo de la empresa Owens Illinois de Venezuela, C.A.	19
Figura N° 4. Esquema de gestión del sistema de aguas y sus usos.	21
Figura N° 5. Proceso físico-químico de potabilización de agua de pozo.	23
Figura N°6. Diagrama de flujo del sistema físico-químico de la Planta de Tratamiento de Efluente Industriales.	25
Figura N°7. Diagrama de proceso de la Planta de Tratamiento de Aguas Sanitarias.	28
Figura N°8. Esquema de toma de mediciones para la determinación de caudales.	32
Figura N°9. Esquema de los lugares seleccionados para la toma de muestras con la finalidad de lograr la caracterización físico-química de las corrientes.	34
Figura N°10. Balance de Masa para la entrada y salida de la Planta de Tratamiento de Efluentes Industriales.	40
Figura N°11. Costo de polímeros utilizados en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Industriales. Enero 2.001- Octubre 2.002.	56
Figura N°12. Comparación del costo de polímeros (Tratamientos Químicos vs. Lipesa)	57
Figura N°13. Porcentajes del costo anual del tratamiento de la Planta de Residuales Industriales. Enero 2.001- Diciembre 2.001.	58
Figura N°14. Porcentajes del costo anual del tratamiento de la Planta de Residuales Industriales. Enero 2.002- Octubre 2.002.	59
Figura N°15. Costo de Recolección de Aceite Recuperado de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Industriales.	60
Figura N°16. Costo mensual de tratamiento de la Planta de Residuales Industriales.	61
Figura N°17. Costo unitario mensual del agua tratada en la Planta Residuales Industriales.	62

ÍNDICE DE TABLAS

		Pág.
Tabla N°1.	Valores máximos de parámetros físico-químicos a ser vertidos en el lago de Valencia; reflejados en la Gaceta Oficial número 5.305.	9
Tabla N°2.	Dimensiones de aforadores Parshall en relación al ancho de garganta.	15
Tabla N°3.	Metodología analítica a utilizar en la determinación de parámetros de caracterización de las corrientes de entrada y salida de los equipos de la Planta de Tratamiento.	35
Tabla N°4.	Resumen de los datos utilizados para la determinación del caudal total generado por el efluente proveniente de la planta de lavado de vidrio.	36
Tabla N° 5.	Datos utilizados para la determinación del caudal de dos de las corrientes de salidas: Rebose y Canal Industrial.	38
Tabla N° 6.	Datos utilizados para la determinación del caudal generado por el efluente proveniente del proceso productivo de la empresa Owens Illinois de Venezuela, C.A.	38
Tabla N° 7.	Datos utilizados para la determinación del caudal total generado por la Lechada de cal proveniente del proceso de Potabilización de Agua.	39
Tabla N° 8.	Resultados promedios de los análisis físico-químicos realizados en el laboratorio de la empresa Kimberly Clarck.	41
Tabla N° 9.	Resultados promedios de los análisis físico-químicos realizados en el laboratorio de la Universidad Nacional Experimental Politécnica “Antonio José de Sucre”.	42
Tabla N°10.	Resultados de los análisis físico-químicos realizados en el Laboratorio Ecológico Ordaz.	43
Tabla N°11.	Parámetros de comparación entre las corrientes de entrada actuales y las condiciones de diseño de la Planta de Tratamiento.	44
Tabla N°12.	Comparación de los análisis físico-químicos de agua tratada de la Planta de Tratamiento de Efluentes Industriales, con los rangos que exige el M.A.R.N.	45
Tabla N°13.	Datos requeridos para la evaluación de la Trampa de Grasas y Aceites.	46
Tabla N°14.	Datos requeridos para la evaluación del Tanque de Igualación.	47
Tabla N°15.	Datos requeridos para la evaluación del Tanque Sedimentador Primario.	48

Tabla N°16.	Datos requeridos para la evaluación del Tanque de Almacenamiento de Lodos.	49
Tabla N°17.	Porcentajes de remoción de parámetros físico-químicos en los equipos principales del sistema de tratamiento.	51
Tabla N°18.	Porcentajes de remoción de diseño de los parámetros físico-químicos en los equipos principales del sistema de tratamiento.	51
Tabla N°19.	Costos de productos químicos para la operación y mantenimiento de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Industriales durante el año 2.001.	53
Tabla N°20.	Costos de productos químicos para la operación y mantenimiento de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Industriales durante el año 2.002.	54
Tabla N° 21.	Resultados de los análisis físico-químicos realizados a la descarga de las torres de enfriamiento.	65
Tabla N° 22:	Datos utilizados para la determinación del caudal total generado por la descarga proveniente de las purgas de las torres de enfriamiento.	67
Tabla N° 23:	Porcentajes de las nuevas corrientes de entrada de la planta.	68
Tabla N° 24:	Valores recomendados del Factor de Compensación de turbulencia (F_2).	74

LISTA DE SÍMBOLOS

AG	Aceites y Grasas, mg/l
CT	Coliformes Totales, NMP/100 ml
DBO	Demanda Bioquímica de Oxígeno, mg/l
DQO	Demanda Química de Oxígeno, mg/l
DBO/DQO	Relación de DBO entre la DQO, adimensional.
MARNR	Ministerio de Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables
NT	Nitrógeno Total Kjeldahl, mg/l
P	Fósforo Total, mg/l
pH	Concentración del ión hidrógeno, adimensional.
PTARI	Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Industriales
PTARS	Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Sanitarias
PETA	Planta Experimental de Tratamiento de Aguas, UCV
PPT	Potasio Total, mg/l
SD	Sólidos Disueltos, mg/l
SFT	Sólidos Fijos Totales, mg/l
SS	Sólidos Sedimentables, ml/l
SSF	Sólidos Suspendidos Fijos, mg/l
SSV	Sólidos Suspendidos Volátiles, mg/l
SSVLM	Sólidos Suspendidos Volátiles en el líquido de mezcla, mg/l
SST	Sólidos Suspendidos Totales, mg/l
STT	Sólidos Totales, mg/l
SVT	Sólidos Volátiles Totales, mg/l
T	Temperatura, °C

INTRODUCCIÓN

La producción y reciclado de vidrio son procesos en los cuales existe una gran generación de residuos líquidos, los cuales son altamente contaminantes y afectan enormemente el equilibrio ambiental, ya que en su mayoría son aceites y grasas. La gran cantidad de agua residual generada en estos procesos industriales, requiere un sistema de tratamiento de aguas residuales.

La planta de tratamiento de aguas residuales industriales de la empresa Owens-Illinois de Venezuela C.A, consta de un tratamiento primario y uno físico-químico, donde se llevan a cabo el desbaste, la separación de grasas y aceites, la coagulación-floculación y la precipitación, sedimentación y espesamiento de lodos.

Actualmente existen dos grandes problemáticas; en cuanto a la operación de la planta de tratamiento, una sobrecarga del sistema, ya que la misma fue diseñada para manejar $562 \text{ m}^3/\text{día}$ y en estos momentos se está manejando más de $3.400 \text{ m}^3/\text{día}$. A esta sobrecarga de masa acuífera, se le añaden los residuos industriales que provienen de la recicladora Rency C.A, y la mala distribución de la descarga de las corrientes de agua de escorrentía que cae sobre la empresa Owens-Illinois, ya que la misma, al igual que el agua residual, descarga en la planta de tratamiento.

Como segunda problemática se presenta la calidad del agua residual a tratar, debido a que el sistema de tratamiento fue diseñado básicamente para un agua residual predominante en aceites y grasas, pero con la añadidura de los residuos de Rency, C.A, los cuales manejan un vidrio que proviene de basureros y rellenos sanitarios, donde se genera agua residual con una alta carga bacteriana y orgánica, así como también altos niveles de todo tipo de sólidos. Debido a las dos poderosas razones explicadas anteriormente, surge la necesidad de realizar este trabajo de investigación, que evalúe las condiciones actuales de la planta.

El estudio se basará en una evaluación técnica del proceso en general, así como en particular para cada uno de los equipos, para de esta forma determinar su eficiencia y plantear posibles alternativas de mejora que beneficien el tratamiento. La evaluación técnica será complementada con una evaluación económica, con la finalidad de obtener el costo unitario del agua residual tratada.

Como antecedentes se manejan un trabajo de ampliación y mejoramiento de una planta de tratamiento de efluentes industriales, y un proyecto de instalación de un sistema de tratamiento de aguas residuales generadas por una recuperadora de vidrio.

I. FUNDAMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN

En este capítulo se presentan el planteamiento del problema, se puntualiza el objetivo general, se enumeran los objetivos específicos que persigue el trabajo de investigación, y así como también los antecedentes referentes al tópico a tratar.

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La planta de tratamiento de efluentes industriales que se diseñó para tratar las aguas provenientes de los procesos de la empresa Owens-Illinois, las cuales tienen las siguientes características, sólidos en todas sus formas, una mínima ó inexistente carga bacteriana y un alto contenido de hidrocarburos; se ha visto afectada en los últimos 6 años por otra corriente que se ha adicionado al proceso con características distintas a la anterior.

La corriente que se añadió al tratamiento en la planta, proviene de la recuperadora de vidrio, Rency C.A.; la cual mantiene una descarga continua durante el día con un caudal máximo de 6 l/s. Lo que conlleva a una mayor concentración de carga orgánica y sólidos totales, así como también a un incremento notable en el volumen de afluente a la entrada de la planta de tratamiento de aguas residuales.

Todo esto lleva a que la planta no trabaje en forma adecuada y se vea afectada en ciertas ocasiones por derrames, los cuales se han hecho más frecuentes debido al considerable incremento de los efluentes arrojados por la empresa Owens Illinois, que en la actualidad están en el orden de 40 l/s, mientras el caudal de diseño es de 6,5 l/s. El importante aumento del caudal, unido a la descarga de la recuperadora, traen como consecuencia más importante que los valores de las caracterizaciones físico-químicas no se encuentren bajo la norma estipulada en el Art. 36 del M.A.R.N.R, que determina los rangos de las descargas en la cuenca del Lago de Valencia, y por lo tanto sea necesario evaluar el funcionamiento general de la planta buscando una solución en beneficio del medio ambiente.

Conjuntamente con estos inconvenientes, una vez que sale el agua tratada hacia el canal industrial, se contamina nuevamente con agua residual que proviene de un lavado de máquinas que se encuentra a las afueras de la empresa.

1.2 OBJETIVOS

A continuación se presentan el objetivo general y cada uno de los objetivos específicos que orientan la investigación.

1.2.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar el sistema de tratamiento de las aguas residuales industriales de la empresa Owens-Illinois de Venezuela C.A y determinar los costos asociados con su operación y mantenimiento, a fin de optimizar su funcionamiento, proponiendo alternativas y correcciones las cuales logren solventar las necesidades y exigencias actuales de capacidad y calidad de agua tratada.

1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Clasificar las descargas, canales de recolección y conducción de las aguas residuales, que recibe actualmente la planta de tratamiento de acuerdo a su caudal, caracterización físico-química, frecuencia y tiempo de generación.
- Determinar los requerimientos de operación y mantenimiento de la Planta de Tratamiento de Efluentes Residuales industriales.
- Conocer y evaluar la eficiencia de los equipos que componen el sistema de tratamiento, en cuanto a la remoción de carga orgánica, sólidos en todos sus tipos, nitrógeno y grasas.
- Determinar la calidad del agua tratada por la planta de tratamiento.
- Proponer alternativas para mejorar el sistema de tratamiento de las aguas residuales industriales.
- Estimar el costo que acarrea la operación y el mantenimiento del sistema de tratamiento.

1.3 ANTECEDENTES DE LOS TRATAMIENTOS DE EFLUENTES DE PROCESOS DE PRODUCCIÓN Y RECICLAJE DE VIDRIO

Se encontraron pocos estudios evaluativos tanto de la parte técnica como económica de los sistemas de tratamientos de aguas residuales para industrias productoras y recicladoras de vidrio, entre los cuales tenemos los siguientes:

En 1.999, se realizó un estudio en la Universidad de Carabobo, en el área de tratamiento de efluentes industriales, realizado por la Br. Virginia Valencia, el estudio se basa en la **"Ampliación y Mejoramiento de la planta de tratamiento de efluentes industriales de la empresa Owens-Illinois"**. El objetivo principal fue rediseñar los procesos y equipos de la planta de tratamiento de efluentes industriales, con el propósito de suplir los requerimientos actuales de capacidad y calidad de agua tratada. El estudio concluye que con la instalación de dos sistemas de tratamiento (físico-químico y biológico) se podrán solventar el déficit de tratamiento que se presentó en cuanto a la capacidad manejada, asegurando la calidad de acuerdo a la normativa vigente, lamentablemente el mismo no ha sido construido hasta estos momentos.

En el 2.001, se realizó un proyecto en la empresa Owens-Illinois de Venezuela CA, en el área de tratamiento de efluentes industriales, realizado por el Ing. Ricardo Pereira, el cual se basa en presentar un **"Proyecto de la planta de tratamiento de las aguas residuales que generan la Recuperadora de Vidrio"**. El objetivo principal fue el rediseño de los procesos y equipos correspondientes a planta de tratamiento de efluentes de la recuperadora de vidrio, además de eliminar inconvenientes que tiene la planta por no presentar una calidad constante de agua tratada. Este estudio permitió concluir lo fundamental y factible que es la instalación de una planta propia de tratamiento de efluentes de la recuperadora de vidrio, también señalan la necesidad de modificar o mejorar las instalaciones actuales en la productora de vidrio y en la planta recuperadora de vidrio; sin que se consideren los costos asociados.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

A continuación se presentan los fundamentos teóricos en cuanto a la producción y reciclado de vidrio, sus efectos contaminantes, la normativa ambiental que los regula, y los sistemas de tratamiento de aguas residuales existentes para así permitir un mejor desarrollo de la investigación y objetivos de este trabajo.

2.1. PRODUCCIÓN DE VIDRIO

Los sistemas de producción de vidrio son del tipo manual, semi-industrial, e industrializado, dependiendo de los niveles de producción, acabado de producto y maquinaria utilizada. En cuanto al proceso de producción, entre las características más importantes están: la estructura física de la planta, la tecnología utilizada, el tipo y acabado de la producción, y las vías de eliminación de residuos tanto sólidos y gaseosos como líquidos.

La estructura física en el caso particular en cuestión, funge como almacenamiento de todo el proceso productivo y operativo, así como también para almacenamiento de materia prima y producto terminado.

La tecnología utilizada es una de las más nuevas y efectiva con que se cuentan en el mercado, las cuales permiten que todo el proceso de producción y control sea automatizado, permitiendo la calidad total respaldada por el ISO 9000.

La producción en cuanto a acabado y tipo, depende de la finalidad que tiene cada uno de los envases si son del tipo retornable, no retornables, para productos farmacéuticos, infantiles, perecederos, líquidos ó sólidos.

Los desechos gaseosos son vertidos a la atmósfera a través de chimeneas e incineradores; los que son de nuestro particular interés, los líquidos, son tratados a través de dos plantas de tratamiento de agua, una residual sanitaria y por último la residual industrial que será el objeto de estudio.

Los desechos líquidos que genera la producción de vidrio están representados básicamente por diferentes tipos de grasas y aceites que se utilizan a lo largo del proceso y compuestos químicos unos que constituyen el tratamiento químico para las torres de enfriamiento de agua y otros que hacen parte del tratamiento superficial interno y externo que se le realiza al envase como producto. De esta forma, a continuación se presentan los tipos de lubricantes y compuestos químicos utilizados tanto para el mantenimiento como en el proceso productivo.

2.2 LUBRICANTES Y ACEITES UTILIZADOS EN LA PLANTA

El contenido principal de las aguas residuales industriales son las grasas provenientes de la gran cantidad de lubricantes y aceites que se usan dentro de la planta, tanto para producción como mantenimiento. A continuación se presentará las características de las mayormente usadas:

- Turbo Lub 46, (PDV): Aceite industrial para la lubricación de los cojinetes de las turbinas. Presenta como compuestos principales: Bases lubricantes, refinadas y aditivos antiherrumbantes, antioxidantes y antiespumantes.
- Kleenmold 358 y 170, (Elna Internacional): Lubricante para moldeado y soplado de vidrio. Presenta como compuestos principales: Aceite lubricante a base de compuestos del petróleo, ácidos grasos sulfurosos, sales de calcio y grafito.
- Grafilub ISO 46, (PDV): Lubricante para moldeado y soplado de vidrio. Presenta como compuestos principales: Bases lubricantes refinadas, grafito coloidal y aditivos grasos.
- Biosol L, (Elna Internacional): Lubricante y refrigerante de cuchillas. Es un aceite vegetal de tipo spray.
- Teen-o-Blue, (ChemCres Inc, C. A): Solvente, desengrasante, autoemulsionable. Presenta como compuestos principales: Solventes orgánicos destilados del petróleo, emulsificantes y humectantes.
- Alkalim, (Sertequim): Desengrasante Alcalino Biodegradable. Presenta como compuestos principales: Ácido Oleico, Nodal 1 y 4, Soda, y Oxibutanol.

2.3 COMPUESTOS QUÍMICOS PARA EL TRATAMIENTO DEL AGUA DE ENFRIAMIENTO

Como contaminación secundaria, en cuanto a cantidad, en las aguas residuales industriales están presentes varios compuestos utilizados en el tratamiento químico de las torres de enfriamiento, los cuales tienen función biocida, bactericida e inhibidora de corrosión.

- CL-1432, (Cheamtreat, Inc.): Solución de Hidróxido de Potasio. Los principales componentes son: Hidróxido de Potasio, Ácido Fosfórico, Pirofosfato de Tetrapotasio, Tolitrazole, Sal de Sodio, 1-Hidroxietileno, Ácido Difosfórico.
- CL-2150, (Cheamtreat, Inc.): Microcida Industrial para torres de enfriamiento con recirculación. Ingredientes activos: 5-Cloro-2 Metil-4 Isotiazolina, 2-Metil-4Isotiazolina.
- CL-2150, (Cheamtreat, Inc.): Solución de Hidróxido de Sodio para el tratamiento de sistemas cerrados. Ingredientes activos: Molibdato de Sodio e Hidróxido de Sodio.

2.4 ENVASES PRODUCIDOS EN LA PLANTA

La empresa Owens Illinois de Venezuela, C.A. genera diferentes tipos de envases, los cuales básicamente están divididos en retornables y no retornables. La diferencia fundamental entre un envase retornable y otro no retornable, es el tratamiento superficial. A los envases retornables se les añade una solución a base de monoestearato de poli-oxi-etileno, mientras los no retornables se les añade una solución que contiene tetracloruro de estaño (SnCl_4) más monoestearato de poli-oxi-etileno. El tetracloruro de estaño, se incluye en gran cantidad, debido a que es más económico y abarata la solución. Lamentablemente la botella se convierte en no retornable porque si esa botella se fundiera en los hornos para generar vidrio nuevo, el SnCl_4 que contiene la botella, afectaría la mezcla para producir vidrio y el mismo estaría por encima de las especificaciones de calidad, determinándose como impuro, aparte de que el SnCl_4 daña las paredes del horno ya que se funde con el recubrimiento de cerámica que el horno posee.

Existe una gran importancia en la especificación del envase, debido a que se requerirá un tratamiento superficial interno y externo diferente para cada envase, lo que va a generar diferentes residuos de carácter líquido, los cuales son los que el presente estudio contempla. A continuación se presentarán los renglones de producción entre los cuales podemos encontrar: los envases para químicos, los de alimentos sólidos, los de cerveza, los de bebidas gaseosas, por último licores y vinos.

- Químicos: Se refiere a todo tipo de envase (botella y goteros) que tenga por finalidad almacenar cualquier producto de carácter químico ó farmacéutico, los cuales en general son de color ámbar y de tamaño mediano ó pequeño. Este tipo de envase no recibe tratamiento superficial interno y externo, debido a que los químicos en el mismo podrían reaccionar negativamente con el fármaco ó sustancia química que vaya a contener el envase.

- Alimentos sólidos: Estos envases generalmente son del tipo flint (transparentes) para mostrar la frescura del producto y poseen un tamaño mediano. Existen varios tipos: boca ancha y boca angosta, con acabados especiales y accesorios (tapas). Los envases boca ancha y angosta reciben en su tratamiento superficial DG-11 (tetracloruro de estaño + monoestearato de poli-oxi-etileno) y DG-15 [ácido oleico + Duradote (emulsión en agua de polietileno emulsificado con oleato de potasio)], a los de acabados especiales se les aplica sólo DG-11 y a los accesorios ó tapas solo DG-15.

- Cerveza: Estos envases son del tipo flint y ámbar, básicamente se diferencian en ser ó no retornables. A las retornables se les coloca en el tratamiento superficial DG-2 (monoestearato de poli-oxi-etileno) y los no retornables se les añade DG-11.

- Bebidas gaseosas: Son envases de tipo flint ó de vidrio verde, al igual que las cervezas pueden ser ó no retornables. A los retornables se les añade DG-2 y a los no retornables se les añade DG-11.

- Licores y Vinos: Son del tipo flint y ámbar y pueden ó no tener acabados especiales. A los vinos y champañas se les añade DG-15 y a los licores se les añade DG-15 y DG-11.

2.5 CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES PROVENIENTES DE LA PRODUCCIÓN Y RECICLAJE DE VIDRIO

Las características físico-químicas de los efluentes líquidos de una planta productora y recicladora de vidrio son altamente contaminantes y tiene como principal particularidad tener grandes cantidades de grasas, aceites y carga orgánica.

Los parámetros a través de los cuales será evaluada el agua residual que llega a la planta de tratamiento en estudio, van a ser los siguientes:

2.5.1 PARÁMETROS FÍSICOS

- **Sólidos Flotantes (SF, g/l):** Son todos aquellos sólidos que se encuentran flotando en la superficie del agua. Sus dimensiones les permiten ser removidos por un sistema de desbaste.
- **Sólidos Suspendidos Totales (SST, mg/l):** Están conformados por los sólidos suspendidos fijos y los sólidos suspendidos volátiles. El primero mide principalmente la cantidad de sólidos inorgánicos presentes y el segundo los sólidos orgánicos. La prueba de sólidos suspendidos comprende: sólidos de diámetro mayor a una micra (son removidos por aplicación de tratamientos sencillos de sedimentación simple); sólidos de 1 a 1×10^3 micras de diámetro (coloides) removibles por aplicación de sustancias químicas coagulantes.¹¹
- **Turbidez (NTU):** Es la expresión de la propiedad óptica que causa que los rayos de luz sean dispersados y absorbidos en lugar de ser transmitidos en línea recta a través de la muestra. La turbidez en el agua puede ser causada por la presencia de partículas suspendidas y disueltas de gases, líquidos y sólidos tanto orgánicos como inorgánicos, con un ámbito de tamaños desde el coloidal hasta partículas macroscópicas. La eliminación de la turbiedad, se lleva a cabo mediante procesos de coagulación, floculación, asentamiento y filtración.¹⁵
- **Temperatura (T, °C):** Influye en la cantidad de oxígeno disuelto, el cual depende de la temperatura e influye en los procesos aerobios y en la intensidad de las reacciones químicas. La tasa de sedimentación de sólidos es mayor en aguas cálidas que en aguas frías, por el cambio de viscosidad.¹¹

2.5.2 PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS

- **Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_{5,20}, mg/l):** Es la cantidad de oxígeno en miligramos requerida por los microorganismos para la oxidación bioquímica de la materia orgánica de un litro de agua residual, en determinadas condiciones (20°C) y durante un tiempo dado (5 días). Es el parámetro más ampliamente usado para diseñar unidades de tratamiento biológico, evaluar la eficiencia de los procesos de tratamiento y fijar las cargas permisibles en fuentes receptoras.¹¹
- **Demanda Química de Oxígeno (DQO, mg/l):** Es la cantidad total de oxígeno en miligramos necesario para oxidar tanto la materia orgánica, degradable biológicamente, como el resto de la materia orgánica oxidable químicamente, en un litro de agua residual mediante un agente químico oxidante, por lo general dicromato de potasio, en un medio ácido y a altas

temperatura. Para la oxidación se requiere la ayuda de un catalizador como el sulfato de plata.¹¹

- **Grasas y aceites:** Comprende las grasas (sólidas), aceites (líquidos) y las ceras, los cuales tienden a hidrolizarse para producir ácidos grasos y alcoholes. Son compuestos de carbono, hidrógeno y oxígeno que flotan en el agua residual, recubren las superficies con las cuales entran en contacto; interfieren con la actividad biológica, debido a que impiden la transferencia de oxígeno en el agua.⁸
- **pH:** Medida de la concentración del ión hidrógeno en el agua, expresada como el logaritmo negativo de la concentración molar de ión hidrógeno. Es una medida estándar de la neutralidad de los líquidos. Permite predecir el tipo del tratamiento ya que influye directamente en los procesos biológicos involucrados, generalmente debe ser mantenido entre 6,5 y 8,5.¹¹ La medición debe indicar la temperatura a la cual fue hecha.
- **Nitrógeno Total (NT, Mg N/l):** Comprende el contenido de varios compuestos: nitrógeno orgánico, amoniacal, nitritos y nitratos. Todas las anteriores son compuestos que se pueden convertir bioquímicamente y a su vez son componentes del ciclo del nitrógeno. Se denomina NTK, nitrógeno total Kjeldhal, al nitrógeno orgánico más el nitrógeno amoniacal.
- **Fosfatos (P, mg P/l):** Las formas frecuentes en que se encuentra el fósforo en soluciones acuosas son ortofosfatos (PO_4^{-3} , HPO_4^{-2} , H_2PO_4^- y H_3PO_4), polifosfatos (moléculas con dos o más átomos de fósforo) y fosfato orgánico. Son esenciales en el crecimiento de protistas y plantas. Debido a los crecimientos indeseables de algas que ocurren en aguas superficiales, existe marcado interés en removerlo de las aguas residuales.

2.8 NORMATIVA AMBIENTAL

Existe una gran serie de normas, los cuales se han promulgado con la finalidad de proteger las cuencas hidrográficas y masas de aguas, de las diferentes descargas industriales y domésticas. En Venezuela, en el caso particular que nos compete, la cuenca del Lago de Valencia, se tiene la normativa presentada a continuación.

Los rangos y límites referentes a la calidad de los vertidos a cuerpos de agua, que formen parte, de la cuenca del Lago de Valencia, se encuentran reflejados (ver tabla N°1) en la Gaceta Oficial número 5.305, de fecha: lunes 1 de febrero de 1.999; Decreto N° 3.219, Sección VI, Artículo 36.²

Artículo 36.- Sin perjuicio de límites de las cargas máxicas establecidas en este decreto para los parámetros críticos de control, se fijan los rangos y límites máxicos de concentraciones en los vertidos líquidos que sean o vayan a ser descargados, en forma directa o indirecta, al Lago de Valencia y red hidrográfica tributaria, siguientes:

Tabla N° 1: Valores máxicos de parámetros físico-químicos a ser vertidos en el lago de Valencia; reflejados en la Gaceta Oficial número 5.305.²

Parámetros Físico-Químicos	Límites máximos ó rangos
Aceites minerales e hidrocarburos	20 mg/l
Aceites y grasas (vegetales y animales)	20 mg/l
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	60 mg/l
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	350 mg/l
Fósforo total (expresado como fósforo)	1,0 mg/l
Nitrógeno total (expresado como nitrógeno)	10 mg/l
pH	6-9
Sólidos flotantes	Ausentes
Sólidos sedimentables	1,0 ml/l
Sólidos suspendidos	80 mg/l
Sulfatos	600mg/l
Organismos coliformes totales	Máximo 1.000 NMP/100 ml

2.7 SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Cuando la capacidad de auto depuración del cuerpo de agua se sobrepasa, debe purificarse el agua residual de descarga. La intensidad del tratamiento dependerá de las características del efluente y del cuerpo receptor. La eficiencia se mide básicamente mediante la disminución de sólidos y la remoción de carga orgánica. Los procesos utilizados en las plantas de tratamiento de aguas residuales, se clasifican en general de la siguiente forma: pretratamiento, tratamiento primario, secundario y terciario. Debido a que la planta objeto de estudio sólo cuenta con los dos primeros tipos de tratamiento, en la siguiente explicación se realizará énfasis en ellos, en cuanto a los tratamientos secundarios y terciarios se describirán brevemente.

2.7.1 PRETRATAMIENTOS

Antes de su tratamiento propiamente dicho, las aguas crudas se someten, generalmente, a un pretratamiento que comprende un cierto número de operaciones físicas. Tiene por objeto separar del agua la mayor cantidad posible de las materias que por su naturaleza ó tamaño, crearían problemas en los tratamientos posteriores.

Una estación de tratamiento puede incluir una o varias de estas operaciones, según su importancia y la calidad del agua cruda; a continuación se presentan las operaciones de pretratamiento:

- Desbaste.
- Homogeneización y Regulación del caudal.
- Neutralización.
- Desaceitado y Desengrasado.

2.7.1.1 Desbaste

Es un proceso de separación que consiste en la utilización de rejas para separar y evacuar fácilmente las materias voluminosas arrastradas por el agua cruda, que podrían disminuir la eficacia de los tratamientos siguientes, o complicar la realización de los mismos. Este

pretratamiento protege a la estación de la posible llegada abrupta de grandes objetos capaces de provocar obstrucciones en las distintas unidades de la instalación. Dependiendo de la naturaleza y tamaño del material a separar, se utilizarán rejas, rejillas ó tamices.¹⁹

La operación puede ser más ó menos eficaz, según la separación entre los barrotes de la reja, pueden distinguirse:

- Desbaste fino, con una separación de 3 a 10 mm.
- Desbaste medio, con una separación de 10 a 25 mm.
- Predesbaste, con una separación de 50 a 100 mm.

Las rejas utilizadas en el desbaste pueden ser de limpieza manual, o de limpieza automática. En caso de la limpieza manual, debe calcularse ampliamente la superficie de la reja, para evitar la necesidad de intervenciones demasiado frecuentes, especialmente si la separación entre barrotes es inferior a 20 mm. Cuando la limpieza es automática, los dispositivos de recogida y de evacuación de residuos deben dimensionarse en función del peso de los mismos, en especial la capacidad de almacenamiento del receptáculo móvil de recogida debe ser, como mínimo para 24 horas.¹⁴

2.7.1.2 Homogeneización y Regulación del caudal

El sistema amortigua variaciones de caudal causadas por descargas no controladas, hasta conseguir la uniformidad en el caudal. Se realiza también una agitación mecánica para garantizar que los sólidos se mantendrán en suspensión y generalmente se aprovecha este proceso para regularizar el pH del agua residual, añadiendo un ácido ó base según sea el requerimiento. El volumen requerido para la homogeneización se determina mediante la realización de los llamados diagramas de caudal en función del tiempo.²⁰

2.7.1.3 Neutralización

El tratamiento consiste básicamente en medir el pH del agua a neutralizar y dosificar el agente neutralizante, hasta llevar el valor del pH a 7 ó a un valor dentro de límites establecidos previamente; los cuales son apropiados para los tratamientos posteriores de floculación ó simplemente para la descarga.¹⁴ Los principales agentes neutralizantes son: cal, soda y ácido sulfúrico, los cuales se seleccionan de acuerdo a los siguiente: a su facilidad de manejo, bajo precio, inocuidad de los productos finales de reacción, facilidad de compra y suministro.

2.7.1.4 Desaceitado y Desengrasado

El desaceitado es una separación líquido-líquido, en tanto que el desengrase es una operación de separación sólido-líquido, siempre que la temperatura del agua sea lo suficientemente baja para permitir la coagulación de las grasas. Los aceites y las grasas, generalmente más ligeros que el agua, tienden a subir a la superficie. Por ello, todo dispositivo en que se reduzca la velocidad del flujo, y que ofrezca una superficie tranquila, actúa como separador de grasa y aceite. El volumen

se calcula basándose en un tiempo de retención. La entrada de líquido en el sistema debe realizarse de 15 a 20 cm por debajo del nivel del agua, con el fin de no emulsionar nuevamente las grasas separadas.¹⁷ La recogida en superficie y la evacuación, dentro de lo posible, se efectuará por vertido, ó por arrastre sobre una cinta sin fin.

2.7.2 SISTEMAS DE TRATAMIENTO PRIMARIO

Estos sistemas se aplican al agua residual luego del pretratamiento. En este punto, el agua residual contiene una serie de partículas en suspensión, sólidos orgánicos suspendidos y coloidales, sedimentables por sí mismos o por coagulación-floculación y una demanda bioquímica de oxígeno considerable, los cuales son eliminados por procesos de sedimentación físicos, físico-químicos ó biológicos.

Los tratamientos primarios persiguen: la reducción de los sólidos en suspensión que no han sido retenidos en el pretratamiento, la oxigenación de los lodos concentrados para evitar los malos olores producidos normalmente por condiciones anaerobias y la eliminación de espumas y elementos flotantes.

2.7.3.2 Sedimentación

En términos de tratamiento de aguas residuales la sedimentación consiste en la separación, por la acción de la gravedad, de las partículas suspendidas cuyo peso específico es mayor que el del agua. En la mayoría de los casos, el objetivo principal es la obtención de un efluente clarificado, y producir un lodo cuya concentración de sólidos permita su fácil tratamiento y manejo.

2.7.3.3 Coagulación y Floculación

Son procesos complementarios entre sí, con la ayuda de compuestos químicos, para permitir la separación de una suspensión coloidal en condiciones de velocidad satisfactoria. El proceso involucra dos acciones diferentes:

- **Coagulación:** Es una reacción química donde se neutralizan las cargas eléctricas de coloides y emulsiones provocando una desestabilización. Esto se logra mediante la dosificación de reactivos químicos y agitación vigorosa para favorecer la mezcla rápida, de forma que la reacción se lleve a cabo en el menor tiempo posible. El tiempo de contacto es corto, generalmente de 30 a 120 segundos. El mecanismo del ayudante químico, es de agregación ó de absorción para anular las fuerzas repulsivas entre las partículas coloidales, ó simplemente, actuar sobre la hidrofilia de las mismas, provocando una coagulación.¹⁹ Los coagulantes principalmente usados son sales de aluminio ó de hierro, en algunos casos se utilizan productos de síntesis, tales como los polielectrolitos catiónicos.
- **Floculación:** Por el contrario de la coagulación, la floculación no es una reacción química. Tiene lugar en el seno de una agitación moderada que no destruye los flóculos ya formados. Debido a la agitación suave, es preciso mantener los tiempos de retención, generalmente entre 15 y 30 minutos¹¹. Los coloides descargados logran ponerse en contacto hasta alcanzar un diámetro de partícula de 0,1 micras ó más, cambiando de forma, tamaño y densidad, constituyéndose de esta forma los flóculos que se precipitarán por acción de la gravedad.

2.7.4 SISTEMAS DE TRATAMIENTO SECUNDARIO

El tratamiento primario, remueve gran parte de la materia en suspensión pero aún queda el resto de la materia orgánica biodegradable, suspendida ó disuelta. Los sistemas de tratamiento secundario generalmente son procesos biológicos que buscan una doble acción: la metabólica y la floculación de las partículas en suspensión. Existen tres tipos de procesos de tratamientos biológicos:

2.7.4.1 Biodegradación y Crecimiento Biológico

La biodegradación de la materia orgánica se logra cuando es utilizada como fuente de alimento por parte de la población microbiana del medio. El crecimiento microbiológico envuelve procesos de biodegradación y de síntesis celular. Los organismos difieren en su requerimiento de oxígeno: los aerobios necesitan la presencia de oxígeno libre y son responsables de la degradación primaria de la materia orgánica, mientras que los anaerobios existen en ausencia de oxígeno y son responsables de la estabilización de lodos orgánicos concentrados con altos niveles de materia orgánica. Las formas facultativas tienen preferencias por un ambiente de oxígeno, pero pueden vivir en ausencia del mismo si es necesario.

En términos de requerimiento de temperatura, hay tres tipos principales de organismos: los psicrófilicos, que viven en una temperatura cercana a 4 °C; los mesófilicos, son los más comunes y viven a temperaturas comprendidas entre 15 y 40 °C, por último los termófilicos, que viven a temperaturas entre 50 a 70 °C. En la práctica esos límites de temperatura se rebasan y se encuentran organismos que crecen activamente a cualquier temperatura entre 4 y 70 °C. ¹⁵

2.7.3.2 Procesos de Tratamiento Aerobios

Los tratamientos aeróbicos se pueden dividir en: tratamientos biológico con Biomasa Suspendida, Biomasa Fija y Biomasa Móvil.

Tratamientos biológico con Biomasa Suspendida:

- a.) Lodos Activados.
- b.) Lagunas de Estabilización Aerobia.
- c.) Lagunas Aireadas.

Tratamientos biológicos de Biomasa Fija:

- a.) Biodiscos.
- b.) Los Lechos Percoladores.

Tratamientos biológicos de Medios Móviles:

- a.) Contactores biológicos RBC ó Biodiscos.
- b.) Sistemas de Lechos Fluidizados.

2.7.3.3 Procesos de Tratamiento Anaerobios

Los procesos de tratamientos anaerobios suceden en dos etapas; en la primera, las cadenas largas de la materia orgánica compleja son desdobladas para formar cadenas más cortas y ácidos grasos que serán asimilados en una segunda etapa por las bacterias formadoras de metano. El resultado final de la reacción anaerobia es que la mayor parte de la energía aportada por el agua residual es transformada principalmente en gas y no se traduce en crecimiento celular, lo que reduce la cantidad de sólidos en el efluente. Entre otras aplicaciones del tratamiento se tienen: tanques sépticos, tanques de Imhoff, digestión de dos etapas y digestión de alta rata.

2.7.4 SISTEMAS DE TRATAMIENTO TERCIARIO

Los tratamientos terciarios se utilizan para eliminar o disminuir la presencia de algún componente no suficientemente eliminado con los tratamientos primario y secundario. Con ese tipo de tratamiento se disminuye: el contenido de nitrógeno, fósforo, sólidos en suspensión, materia orgánica, DBO, sólidos suspendidos, metales y sales disueltas.

Entre los diferentes tipos de tratamiento terciario se encuentran: eliminación de fósforo y nitrógeno, adsorción sobre carbón activado, ósmosis inversa, intercambio iónico, tratamientos de desinfección, etc.

2.8 *DISPOSITIVOS PARA LA MEDICIÓN DE FLUJO*

Los dispositivos de medición de flujo se construyen para obtener respuestas hidráulicas previsibles relacionadas con el flujo de agua residual en la mayoría de los casos o cualquier líquido que atravesase por el dispositivo.¹⁶ Los datos de flujo se pueden recolectar con mediciones instantáneas ó continuas. Las mediciones instantáneas deben realizarse cuando se hacen los muestreos para que la concentración del contaminante pueda correlacionarse con los datos de flujo, mientras las mediciones para toma de muestras continuas, se realizan una vez que se extrae del volumen total, un volumen definido, luego de hacer varias tomas de muestras periódicas, de esta forma el resultado será representativo del período de muestreo.

Entre los dispositivos de medición se incluyen vertederos y canales, que relacionan la altura del agua con el flujo; el medidor venturi, que relaciona la presión diferencial con el flujo; y el medidor electromagnético, que relaciona el voltaje eléctrico inducido con el flujo.²¹ Los métodos de medición se diseñan de acuerdo a las necesidades de espacio, grado de precisión y costo, otros factores tomados en cuenta son, el hecho que sea para canales abiertos ó flujos en tuberías.

Existe una gran diversidad de dispositivos de medición, pero debido a que en la planta de tratamiento objeto de estudio se utiliza un canal Parshall, a continuación se explicará este dispositivo en detalle.

El aforador del tipo canal Parshall, está constituido por una sección de convergencia por un piso nivelado, una garganta con un piso en pendiente hacia aguas arriba, gracias a ello el caudal avanza a una velocidad crítica a través de la garganta y con una onda estacionaria en la zona de divergencia. El principio de operación es el siguiente: cuando la corriente en canales abiertos

pasa por una contracción en el canal produce una carga hidráulica que es proporcional al flujo, así que teniendo esta relación de proporcionalidad podemos determinarlo. ¹⁶

El tamaño del medidor está dado por el ancho de la sección de la garganta. Los medidores Parshall se han desarrollado con anchos de garganta desde 1 pulg hasta 50 pies ¹⁶. Las dimensiones para corrientes libres y flujo en un medidor Parshall no sumergido, se determinan con la siguiente ecuación general: ¹³

$$Q = 4,1 \times W \times H_a^{3/2}$$

Donde H_a , es la altura de un líquido en un punto superior a la garganta donde la pendiente del suelo sea cero; y la W será el ancho de la garganta en pies, ¹³ las cuales se indican en las figuras N° 1 y 2. En el caso particular de la planta sería, una W igual a 0,5 pies equivalente a 6 pulg.

Figura N° 1. Esquema de un canal de aforo Parshall, vista en planta. ¹⁶

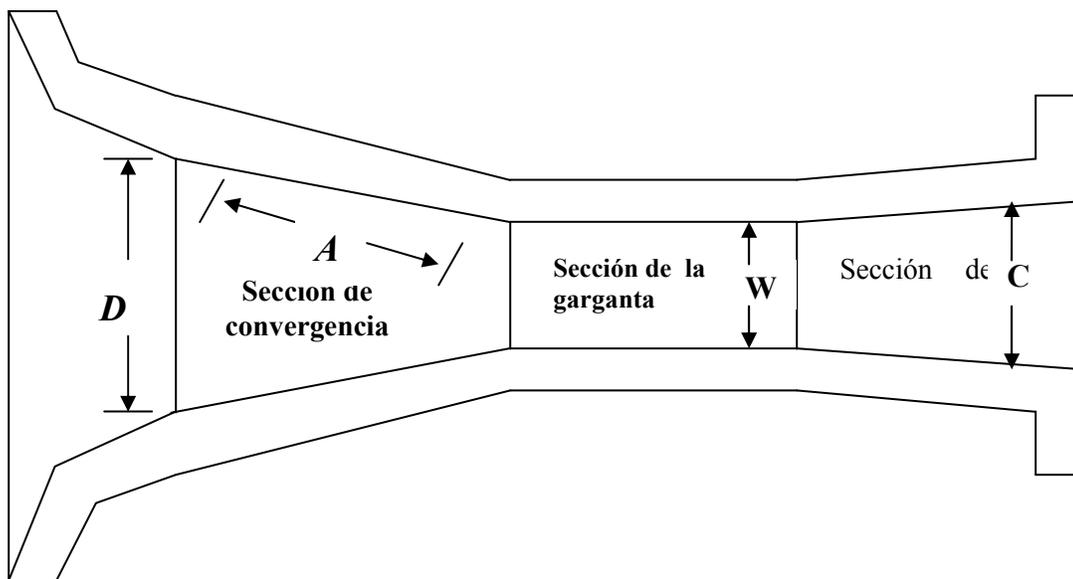
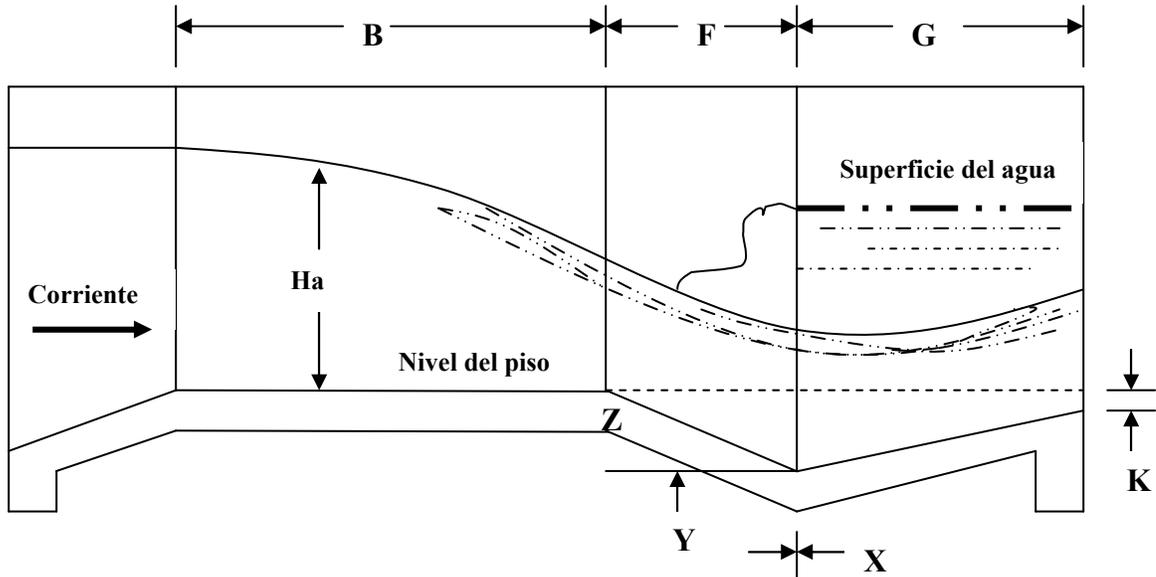


Figura N° 2. Esquema de un canal de aforo Parshall, vista lateral.¹⁶



La dimensión de los aforadores con un ancho de garganta de 1 a 8 pies, se indican a continuación, en el tabla N° 2.

Tabla N° 2. Dimensiones de aforadores Parshall en relación al ancho de garganta.¹³

	W (pie)	(pulg)	A (H)	B (H)	C (H)	D (H)	F (H)	G (H)
		3	1,53	1,50	0,58	0,84	0,50	1,00
		6	2,03	2,00	1,30	1,30	1,00	2,00
		9	2,88	2,83	1,25	1,88	1,00	1,47
1	0		4,50	4,40	2,00	2,77	2,00	3,00
1	6		4,74	4,65	2,50	3,36	2,00	3,00
2	0		5,00	4,90	3,00	3,95	2,00	3,00
3	0		5,50	5,39	4,00	4,82	2,00	3,00
4	0		6,00	5,88	5,00	6,42	2,00	3,00
6	0		7,00	6,86	7,00	8,74	2,00	3,00
8	0		7,99	7,84	9,00	11,14	2,00	3,00

Sus principales ventajas son que sólo existe una pequeña pérdida de carga a través del aforador, que deja pasar fácilmente sedimentos ó desechos, por lo tanto la arena y los sólidos suspendidos no afectan la operación del dispositivo. El medidor es tan simple como preciso.

Para fabricar los canales de aforo Parshall se han utilizado diversos materiales. Se pueden prefabricar a partir de láminas de metal, madera, ladrillo y argamasa, utilizando un armazón de metal prefabricado para garantizar mediciones exactas. Aunque los más comunes son los construidos con cemento, debido a que son menos costosos, como el que se presenta en la planta que es objeto del presente estudio.²¹

3. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE ESTUDIO

A continuación se explicará con más detalle las características de la empresa, la materia prima, el proceso productivo, los residuos que se generan del mismo, y los sistemas de tratamiento integrado que tiene la Owens-Illinois de Venezuela, la cual sería la primera de las dos empresas generadoras del residuo líquido que clarifica la planta de tratamiento objeto de estudio.

3.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA EMPRESA OWENS ILLINOIS Y SUS PROCESOS

Owens-Illinois es una empresa de tipo transnacional de proceso productivo continuo. En el ámbito mundial, se ha constituido como la empresa líder en la fabricación de envases de vidrio, de ahí que el 85% de los envases de vidrio utilizados en el mundo sean elaborados directamente por Owens-Illinois ó bajo su tecnología.⁹

Se encuentra ubicada en la Carretera Los Guayos-Guacara (camino vecinal Las Garcitas) a 15 kilómetros de la ciudad de Valencia. De las múltiples Owens Illinois que existen en el mundo, esta es una de las más importantes de América Latina, y la más grande del país.

Su producción principal se caracteriza en envases de vidrio tipo flint (incolore ó transparente) y ámbar (marrón), con una máxima de producción de 6.570.000 gruesas por año (una gruesa es equivalente a doce docenas de unidades, es decir, 144 envases).⁹ La producción está dirigida a satisfacer la demanda en el ámbito nacional y de exportación.

La empresa presenta un autoabastecimiento de agua, a través de diferentes pozos que existen en terrenos de su propiedad. Se cuenta con tres plantas de tratamiento para la misma, una de potabilización, una para aguas sanitarias y una de aguas residuales industriales.

3.1.1. MATERIA PRIMA

La composición del vidrio está dividida en dos maneras, unos componentes denominados *mayores* que son los que se utilizan en mayor proporción y proporcionan la mezcla para la formación del vidrio, y otros denominados *menores* que son los que se le agregan al vidrio en una proporción menor para darle características específicas como el color y mejorar su calidad.

Los componentes mayores son la arena sílice, el feldespato, el carbonato de sodio, el carbonato de calcio (caliza) y el casco de vidrio (vidrio proveniente del reciclaje), por otra parte los menores serían el sulfato de sodio, selenio y cobalto⁹. A continuación se realizará una breve descripción de sus funciones:

Arena sílice: Es el ingrediente básico formador en la mezcla, se obtiene por fusión de la arena.

Feldespato: Es el elemento que aporta el aluminio, haciendo el vidrio más resistente al ataque químico del ambiente y funciona como fundente que permite que la mezcla tenga un punto de fusión a temperaturas aproximadas de 1500 °C.

Carbonato de sodio: Es fundente por excelencia, que se agrega a la mezcla para disminuir el punto de fusión de la arena.

Carbonato de calcio (caliza): Aporta el calcio a la composición proporcionando consistencia y dureza a la mezcla, lo que hace al envase resistente al manejo.

Casco de vidrio: El casco de vidrio por ser 100% reciclable en la proporción adecuada mejora la formación de la mezcla, disminuye el punto de fusión de la misma y abarata los costos de la materia prima, debido a que es un vidrio de desecho.

Sulfato de sodio: Funciona como un refinador, eliminando las impurezas presentes en la mezcla.

Selenio y cobalto: Son decolorantes que se agregan sólo para la formación del vidrio flint, con el fin de hacerlo más cristalino.

En la producción de vidrio ámbar se combina la reducción del ácido sulfúrico con el ácido férrico. En el caso del vidrio verde, este se obtiene con la adición de cromita de hierro.

3.1.2 PROCESO PRODUCTIVO

A continuación se explicará en forma precisa y clara cada uno de los pasos del proceso de producción (ver fig.N°3), haciendo acotaciones de los aceites y grasas utilizadas en cada punto del mismo los cuales constituyen la principal fuente de residuos industriales los cuales son tratados en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Owens Illinois de Venezuela, C.A (PTRI-OI).

Materia prima: Una vez que llega a la planta, se le notifica al departamento de silos y hornos, donde se procede a hacer un muestreo, se inspecciona el material y por último se pesa. A este material se le hace un análisis granulométrico y contenido FeO_3Si . Si el material es aceptado se procede a la descarga del mismo. El material es almacenado en diferentes compartimentos llamados *bines*.⁹

Pesado y Mezcla: Existe un sistema de pesado automático, mezclado y trasladado al horno, que agrega a cada uno de los componentes de la materia prima en las proporciones adecuadas para obtener el producto final con las características deseadas.

Fundición: Con la ayuda de los cargadores de tipo tornillo sin fin, la mezcla pasa al horno donde se realiza el proceso de fusión y refinamiento. El combustible (gas natural) se mezcla con el aire para producir la combustión. Esto hace que la mezcla se funda transformándose en vidrio. La fusión se realiza en los hornos a una temperatura promedio de 1.500 °C. El vidrio pasa luego por un refinador que disminuirá y mantendrá su temperatura en 1.200 °C hasta los canales alimentadores.⁹

Formación: En esta etapa la máquina da forma a los envases de vidrio a través del uso de premoldes y moldes. Los envases según su forma y tipo se fabrican por doble soplado o por prensa-soplado, pudiendo hacerse 1, 2 ó 3 envases a la vez en la misma sección de maquinaria. En esta área se utilizan lubricantes y aceites que son en gran parte la futura contaminación del agua de proceso, la cual es el objetivo de estudio. Entre los aceite utilizados se tienen: lubricantes

de premolde (aceite Kleembold 170 y 197), lubricantes de acabados (aceite Kleeblood 358 y Grafilub 46), lubricantes para los fondos y tapas de moldes (Molac X), aceite para la formación de lo que constituye el agua de refrigeración de las tijeras cortadoras (Shearlube).

Recocido: En este proceso los envases ya formados pasan por unas maquinarias en forma de túneles denominadas archas, allí se someten a un enfriamiento gradual, eliminando o reduciendo al mínimo las altas tensiones y compresiones en el vidrio, con la finalidad de proporcionar a los envases una mayor resistencia a la acción mecánica de agentes externos que ocurren durante su manejo. La resistencia exterior de los envases es lograda con la aplicación de tratamientos superficiales, el cual consiste en una capa de diferentes soluciones que tienen como base el tetracloruro de estaño. De omitirse este proceso cualquier impacto leve ó un mínimo cambio de temperatura rompería el envase.

Inspección visual y electrónica: A la salida del archa, los envases pasan por diferentes etapas de inspección visual y electrónica que mediante sofisticadas máquinas, se encargan de rechazar todos aquellos envases que presenten defectos que pueden afectar la calidad final del envase, tales como: acabados desequilibrados, roturas verticales, roturas de fondo y partículas extrañas. Paralelo al sistema de inspección automática, se encuentra trabajando el departamento de control de calidad, tomando muestras de la producción para analizarlas en el laboratorio. En el sistema de transporte interno de envase se utilizan lubricantes en las cadenas (Tribol Lube), y para las bandas transportadoras (Tribol Safe Spray). Como se explicó en el proceso de formación , los anteriores lubricantes son los agentes contaminantes de las aguas de proceso.

Selección y empaque: Es la operación de inspeccionar las botellas visualmente, desechando aquellas defectuosas. El empaque puede ser de forma manual ó de forma automática. El empaque automático se realiza mediante máquinas paletizadoras de alta velocidad.

Almacén y despacho: El producto terminado y empacado es almacenado en un corto período de detención para luego ser despachado a los clientes.

Otros aceites y lubricantes en general que se utilizan son: Tribol NMG, aceites para cajas de transmisión (Engralup), lubricante para los tornos (MT30), aceite hidráulico 380-620, aceite para turbinas (TurboLub 32 y 46) y desengrasante alcalino a base de aceite oleico. Todos ellos contaminantes del agua de proceso.

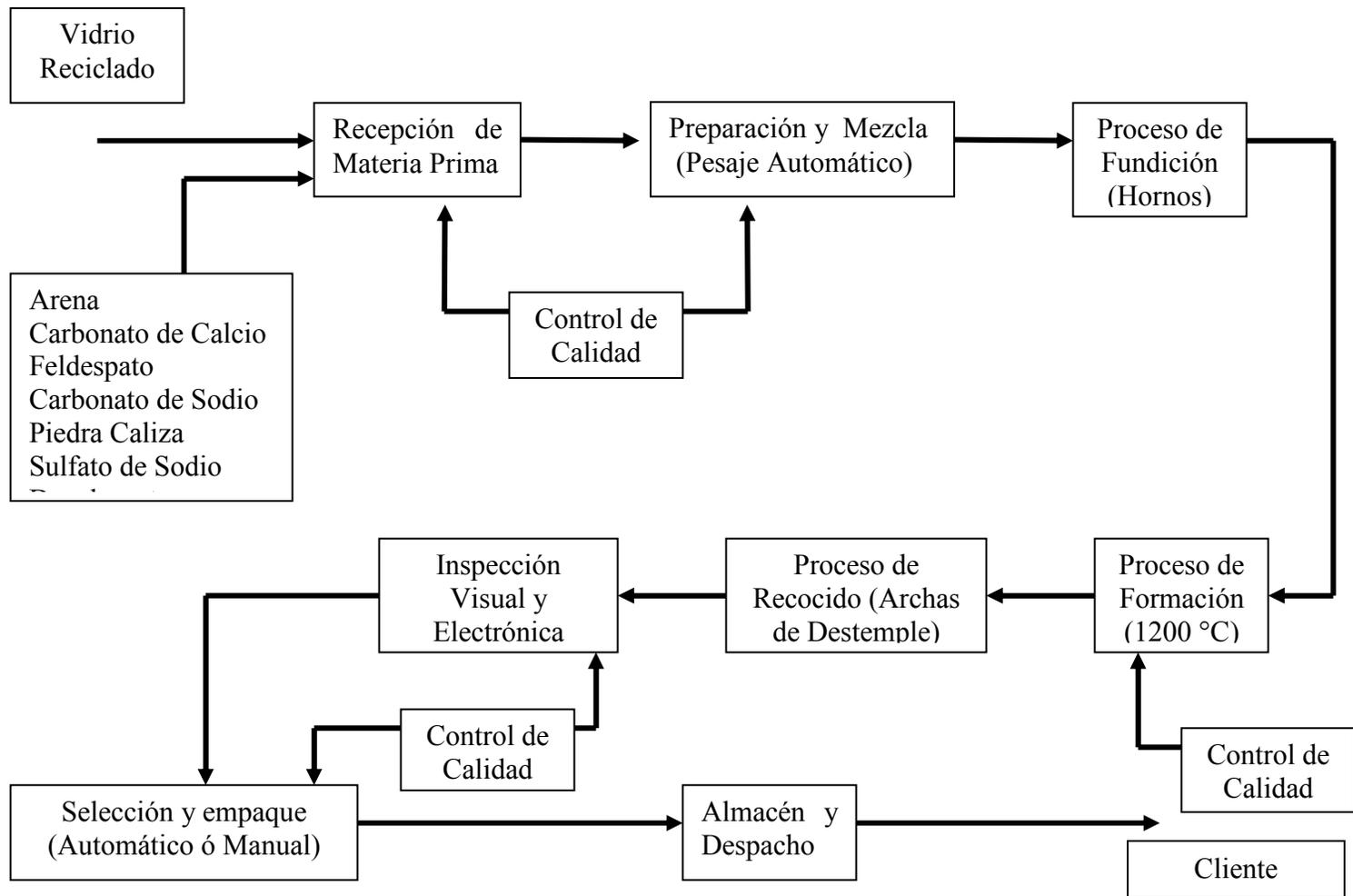


Figura N°3. Diagrama del Proceso Productivo de la empresa Owens-Illinois de Venezuela, C.A.

3.1.3 SISTEMA DE AGUAS Y SUS USOS

El sistema de aguas que utiliza la Owens Illinois de Venezuela, es bastante extenso y delicado, por lo tanto requiere de diferentes subsistemas de tratamiento, evaluación y distribución de este servicio a lo largo de todas sus instalaciones.

Básicamente está constituida por siete tipos de agua, las cuales se dividen de la siguiente manera: agua potable, la cual luego es tratada para darle diferentes características para cada uno de los diferentes procesos (tratamientos superficiales de los envases, lubricación y enfriamiento del sistema dosificador de gota, torres de enfriamiento y sistemas cerrados de enfriamiento), agua reciclada, agua residual industrial y agua sanitaria.

El sistema de aguas dentro de la empresa comienza con la extracción de agua de 4 pozos, a la cual se le practica una inspección mensual para verificar su calidad. Una vez extraída el agua, ésta pasa al proceso de potabilización, donde los controles se realizan cada hora (en diferentes etapas del proceso), una vez potabilizada se almacena momentáneamente en un tanque principal para luego distribuirla a través de una red de tuberías a todo lo largo de la empresa, en las áreas de producción tales como: las torres de enfriamiento, formación de agua de tijeras, tratamiento superficial; y en el área de consumo humano que corresponde al comedor, baños y bebederos.

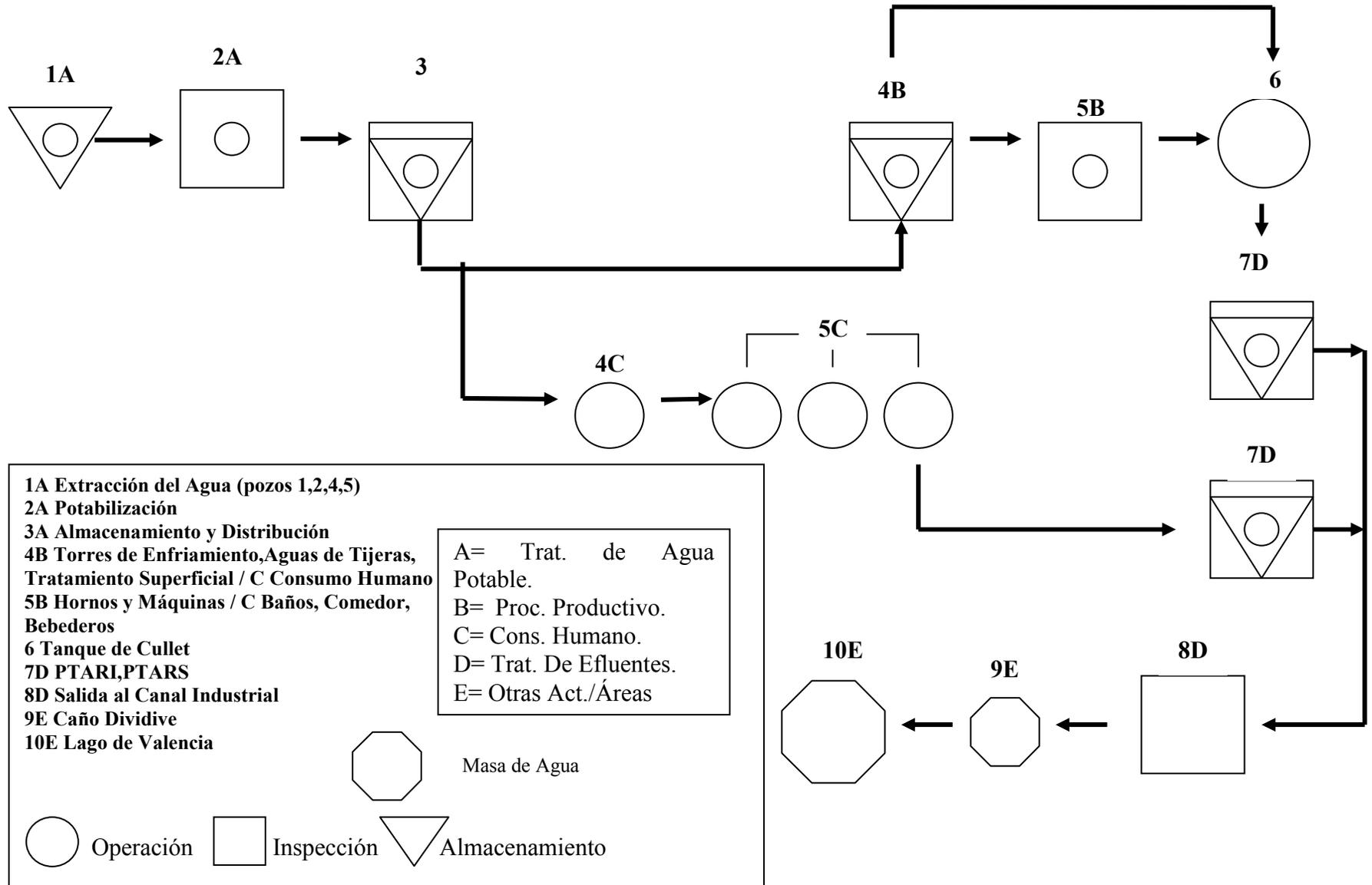
En las tres áreas de producción anteriormente nombradas, se realiza una inspección manual diaria, además el agua es constantemente controlada automáticamente; después de pasar estas áreas, el agua va a los hornos y máquinas, donde a partir de ese momento se convierte en agua residual, la cual es recogida en un enorme tanque, llamado tanque de Cullet, que se encuentra en forma subterránea en la empresa. A través de bombas, se impulsa el agua residual del proceso productivo, a la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Industriales; por otra parte toda el agua residual que sale de las operaciones de consumo humano, es enviado a la Planta de Tratamiento de Aguas Sanitarias.

En las instalaciones de tratamiento se realizan controles de operación, mantenimiento, uso de reactivos y productos. Una vez tratada el agua en las dos plantas, la misma se conduce al Canal Industrial, el cual se dirige al caño Dividive y desemboca en el Lago de Valencia. Se realizan caracterizaciones de agua en la entrada y salida de las plantas de tratamiento, así como también en la salida del Canal Industrial, una vez por mes, por parte de un laboratorio externo que sirve como auditor, así como las realizadas también por el Ministerio de Ambiente y de los Recursos Naturales, en su inspección mensual reglamentaria. La operación, inspección y almacenamiento del agua a través de las instalaciones de la empresa se expresa en forma esquemática en la figura N°4.

3.1.3.1. Extracción

Se realiza de los cuatro pozos ubicados en los terrenos de la planta a través de un sistema de bombeo, posteriormente se realiza el tratamiento del agua (potabilización), para el consumo del personal y del proceso productivo. El agua de los pozos tiene las siguientes características: dureza 300-350 mg/l como CaCO_3 , pH de 7,0-7,5. El sistema de tratamiento fisico-químico disminuye la dureza, estabiliza el pH y baja los valores de conductividad y el contenido de sólidos, haciéndola potable.

Figura N° 4 . Esquema de gestión del sistema de aguas y sus usos.



El tratamiento se inicia con la recepción del agua en un filtro primario que eliminan sólidos grandes e impurezas producto del bombeo (ver figura N°5). Luego pasa a un tanque reactor, donde por reacciones químicas de precipitación entre el hidróxido de calcio (cal hidratada) y el sulfato de aluminio añadidos, disminuye la dureza y se eliminan sólidos por precipitación. El agua clarificada pasa al tanque clarificador, donde se estabiliza el pH de 7 a 7,5 por adición ácido sulfúrico concentrado (98%).

Posteriormente, el agua del clarificador es bombeada hacia tres filtros de carbón activado y grava. En el punto de salida de los filtros, se aplica el tratamiento de cloración, usando cloro. Finalmente, el agua tratada es almacenada en el tanque principal (500 m³) que suministra a toda la empresa a través de una red de tuberías, hacia el tratamiento superficial, el agua para las tijeras de corte, baños, comedor, torres de enfriamiento y bebederos.

3.1.3.2. Agua de Procesos

El agua de pozo, una vez llevada a la condición de potable, es utilizada para mantener el continuo funcionamiento del proceso productivo; entre los principales usos del agua se tienen:

- **Tratamientos superficiales de los envases:** Requieren un agua lo más pura posible, por lo que se hace uso de filtros de carbón activado, suavizadores y desionizadores como tratamiento previo. Este tratamiento es para proporcionarle mayor resistencia y brillo a los envases.
- **Lubricación y enfriamiento del sistema dosificador de gota:** Requiere un agua suavizada para la mezcla, la cual es inyectada a los sistemas cortadores de gota (vidrio fundido), para enfriar y lubricar. Debido a que el sistema es continuo se generan grandes cantidades de efluentes al día, los cuales son descargados en los tanques subterráneos de almacenamiento de agua, llamados Tanques Cullet (ver figura N°4). Dichos tanques descargan directamente en la Planta de Tratamiento de Efluentes Industriales.
- **Torres de enfriamiento:** Requieren un agua con ciertas especificaciones de dureza y contenido de sólidos disueltos. Se usa un tratamiento previo con suavizadores y se añaden químicos (inhibidores de corrosión, dispersantes y biocidas) dentro de las torres, con la finalidad de mantener las condiciones de trabajo antes mencionadas. Estos sistemas trabajan con purgas continuas y con programas de mantenimiento y limpieza 2 veces al año; las descargas llegan directamente al tanque de almacenamiento Cullet, el cual descarga directamente en la planta de tratamiento de efluentes industriales.

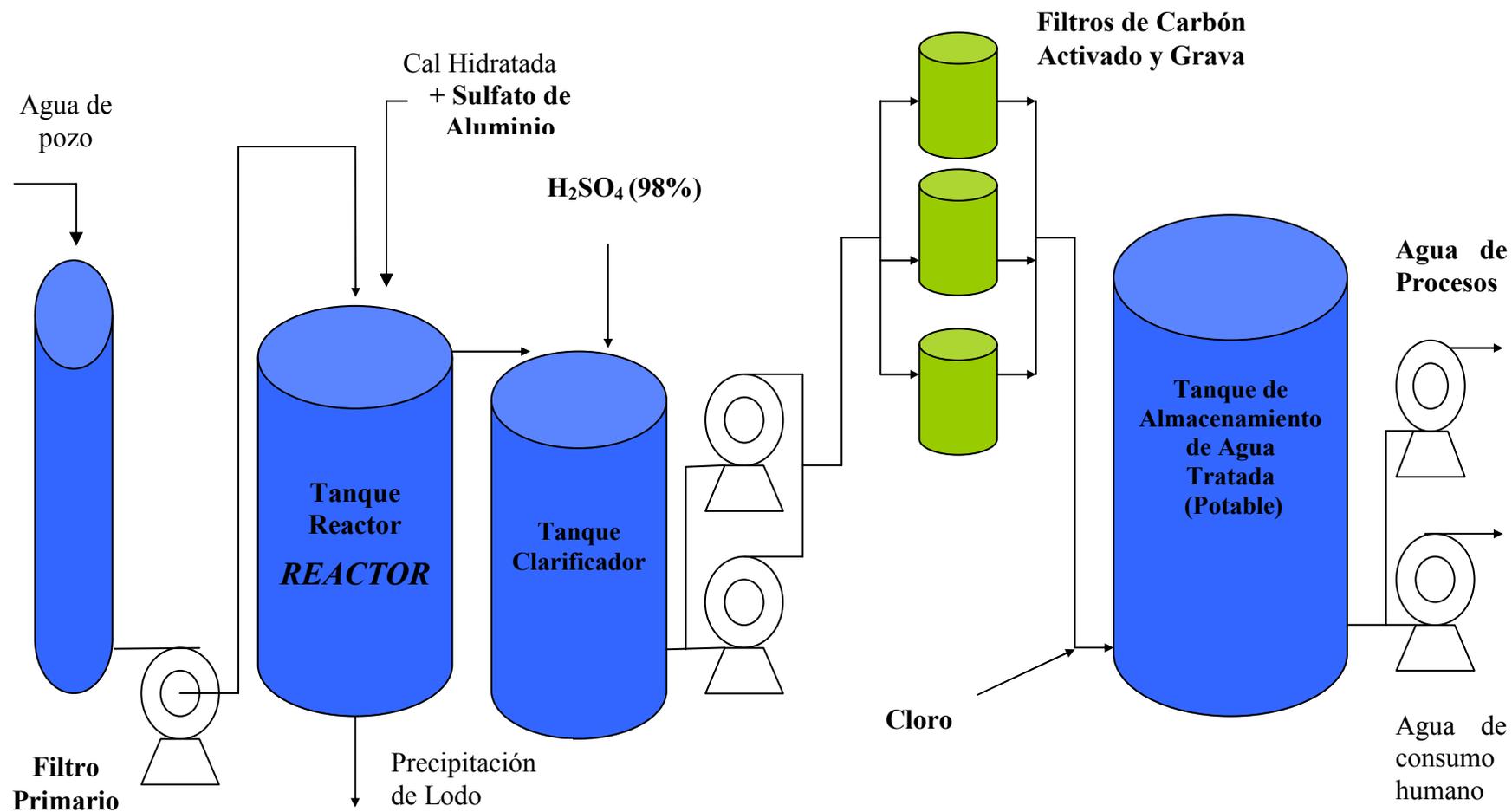


Figura N°5. Proceso físico-químico de potabilización de agua de pozo.

- **Sistemas cerrados de enfriamiento:** Estos son alimentados con agua suavizada e igualmente se les añaden químicos específicos para cada sistema. El mantenimiento se realiza cada seis meses con un vaciado y una carga nueva de agua y químicos. La descarga llega al tanque de almacenamiento de agua Cullet, que luego lleva el agua residual a la planta de tratamiento de efluentes industriales.

3.1.3.3. AGUA RECICLADA

Varios años atrás el agua tratada de la Planta de Tratamiento de Efluentes Industriales era vertida directamente al canal industrial que desemboca directamente en el Caño Dividive y de allí al Lago de Valencia. Debido a que se producía un agua de excelente calidad y por debajo de los parámetros exigidos por el reglamento se ideó aprovecharla para sustituir el agua de pozo en actividades las cuales no era absolutamente necesaria un agua completamente pura, potable ó tratada químicamente. De esta forma se aprovechó mejor el recurso agua, se prolongó la vida útil de los pozos y se disminuyó los volúmenes de agua vertida al Lago de Valencia. Los principales usos del agua reciclada actualmente son:

- Lavado de vidrio recuperado (en la recicladora de vidrio Rency C.A).
- Limpieza de la Planta de Tratamiento de las Aguas Residuales Industriales.

Una vez cumplida su función, el agua retorna a la planta de tratamiento.

3.1.4 TRATAMIENTO ACTUAL DE LAS AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES

La planta de tratamiento de efluentes industriales es de tipo físico-químico, y está diseñada para tratar 562 m³/día como caudal promedio. El proceso es el siguiente (ver figura N°6):

Pretratamiento (Desbaste): Esta unidad consta de un sistema de rejillas, cuya función es la separación de sólidos que por su tamaño puedan interferir en el desarrollo del tratamiento ó puedan causar daños al sistema de bombeo. El sistema de limpieza de la rejilla es manual. El tipo de rejillas es de barras de sección rectangular, con una inclinación con respecto a la horizontal de 45°, un espesor de barras de 0,98 cm y una separación entre barras de 1 cm.

3.1.4.1 Tratamiento primario

Separador de Aceites y Grasas: En esta una unidad ocurren 2 procesos; la separación de aceites y grasas del agua por diferencia de densidad y acción de la gravedad, así como también la eliminación de los sólidos sedimentables por sedimentación simple. La unidad está dividida en 3 cámaras, donde quedará retenida la grasa. El volumen del tanque es de 98 m³ y el tiempo de retención es 1 hora. Los aceites se recolectan con un sistema de barrido superficial con mopas absorbentes. El buen funcionamiento de esta unidades puede constatarse a través de la última cámara ó testigo, en la cual el agua debe tener una apariencia libre de estos contaminantes. Los aceites y grasas recolectados son dirigidos a través de una tubería hacia el tanque de almacenamiento de grasas y aceites, el cual presenta una tubería hacia la primera cámara con la

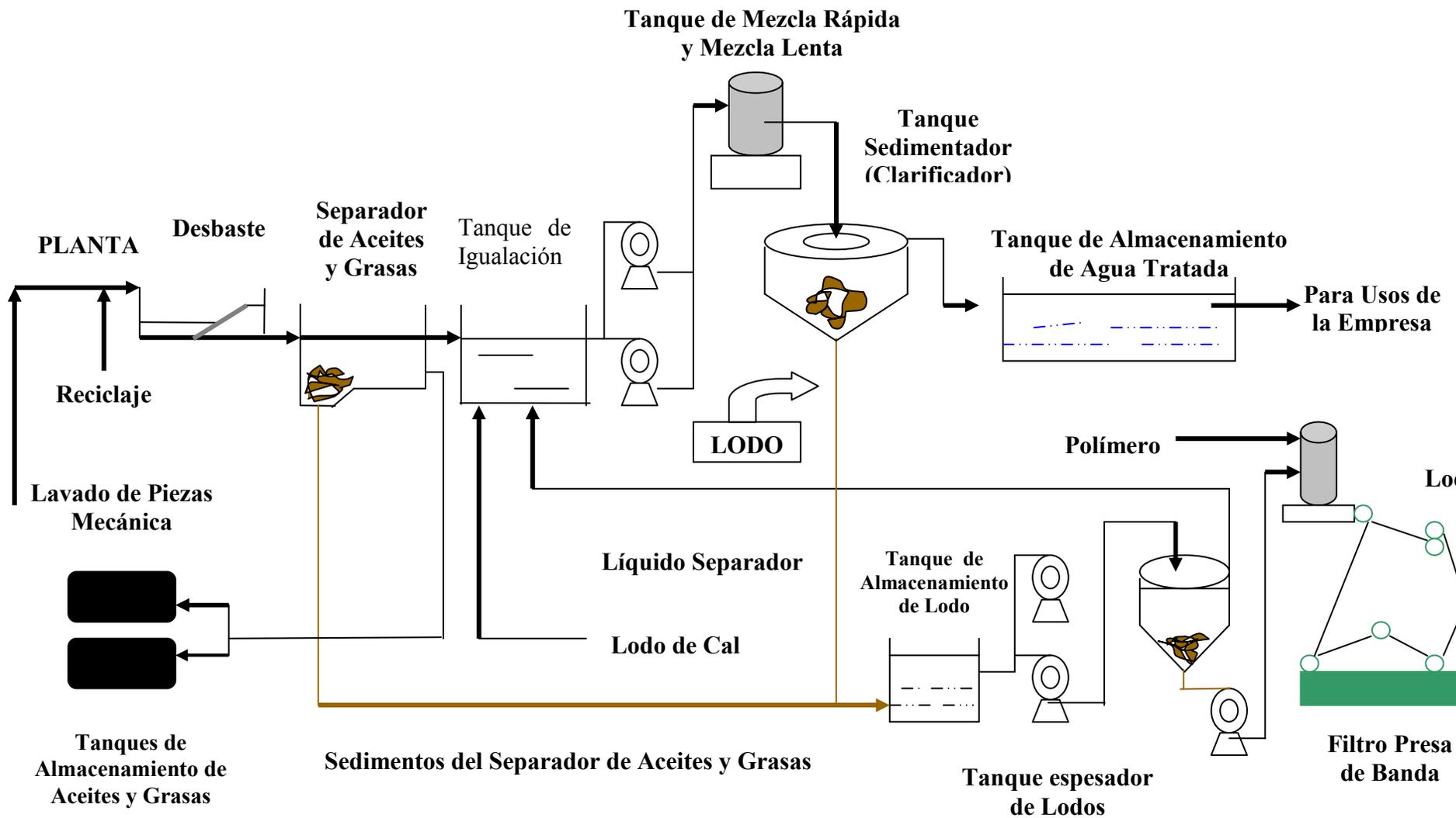


Figura N°6. Diagrama de flujo del sistema físico-químico de la Planta de Tratamiento de Efluentes Industriales.

intención de purgar el agua que es arrastrada durante esta operación. El lodo sedimentado es bombeado así al tanque de almacenamiento de lodo para su posterior tratamiento.

Tanque de Igualación-Compensación-Bombeo: En esta unidad, el agua residual libre de gran parte de los aceites, grasas y sólidos sedimentables, es aireada y homogeneizada. Allí se amortiguan las variaciones del caudal y se ajusta el valor del pH, con la inserción de ácido sulfúrico al 98%, debido a que el proceso siguiente requiere un pH determinado para una buena reacción y una buena floculación. Al tanque de igualación se añade una corriente proveniente del proceso de potabilización del agua, la cual está constituida por una lechada de cal, la misma ayuda al proceso de coagulación y sedimentación, para una mejor limpieza del agua residual. El volumen del tanque es de 70,65 m³

3.1.4.2 Tratamiento Físico-químico

Está basado en la eliminación por sedimentación con el uso de químicos (polímeros floculantes y sulfato de aluminio) y a un pH específico de trabajo. El tratamiento disminuye la DBO, elimina los sólidos suspendidos y algunos aceites solubles.

Coagulación-Floculación: En esta unidad, el agua residual proveniente del tanque de igualación-compensación, bajo una fuerte agitación y breve tiempo de residencia se mezcla con los químicos para lograr la coagulación. Luego la unidad realiza una mezcla muy lenta que promueve la floculación mediante la aglomeración (por suaves choques) de los coloides coagulados, que por acción de la gravedad precipitarán y sedimentarán.

Tanque de Sedimentación: El agua residual clarificada (sobrenadante) de este proceso se encuentra libre en un 95 % de sólidos suspendidos y aceites solubles. Esta es almacenada en un tanque de 70 m³, diseñado con un sistema de aireación que mejora la calidad final de la DBO y un sistema adicional de regulación automática de pH. Desde allí el agua tratada es bombeada continuamente hacia la empresa Recicladora de Vidrio Rency, C.A, además es utilizada para el riego de áreas verdes y el mantenimiento de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Industriales, como también para el mantenimiento de la Planta de Tratamiento de Aguas Sanitarias.

3.1.4.3 Tratamiento de lodos

Tanque de almacenamiento de lodos: Los lodos generados por precipitación y sedimentación, son drenados en un tanque de almacenamiento por la parte inferior del cono de sedimentación, el cual tiene un volumen total de 33 m³. En dicho tanque el lodo es aireado y homogeneizado durante un tiempo de residencia para luego ser bombeado en lotes de 10 m³ hacia el tanque de espesamiento y acondicionamiento de lodo. En el tanque de almacenamiento de lodos se aplica aireación para mantener los sólidos en suspensión, así como para buscar una mejor estabilización del lodo.

Tanque de espesamiento de lodo: En esta unidad el lodo es deshidratado con la ayuda de polímeros y un tiempo de residencia de 1 hora; logrando disminuir el volumen total del lodo. El líquido separado es reintegrado al proceso en el tanque de igualación-compensación. El lodo es bombeado hacia un filtro prensa que se desplaza con bandas, en el cual con la ayuda de químicos se termina de deshidratar espesándose aun más y permitiendo obtener una torta de lodo consistentemente fácil de prensar. El producto de prensado son hojuelas de 5 a 7 milímetros de espesor con un mínimo contenido de humedad que fácilmente secan por exposición a las condiciones ambientales de intemperie. Las hojuelas de residuo seco son retiradas con la ayuda de un payloader, una vez a la semana aproximadamente, este material lo retira una contratista de la empresa y lo saca de las instalaciones de la planta.

3.1.5. TRATAMIENTO DE LAS AGUAS SANITARIAS

El tratamiento de las aguas sanitarias generadas dentro de las instalaciones de la empresa Owens Illinois de Venezuela, se realizan en una pequeña planta diseñada para tratar $390 \text{ m}^3/\text{día}$,⁶ con un proceso de aireación mecánica para suplir de oxígeno a las bacterias aerobias que necesitan para biodegradar la masa orgánica (ver figura N°7). Este proceso de tratamiento se denomina Aireación Prolongada, (flujo continuo mezcla completa con purga de lodos por la línea de recirculación).

El objetivo de esta planta es darle un tratamiento a las aguas residuales provenientes de actividades de consumo humano (comedor, baños y bebederos), con la finalidad de reducir en un 95% la carga orgánica y sólidos suspendidos en un 85%.⁶ El efluente final se desinfecta reduciendo en un 99,9% su contenido bacteriano, y de esta forma poder verterlo al canal industrial, que desemboca al caño Dividive, el cual es afluente del Lago de Valencia; este proceso ocurre en las siguientes fases:

Desbaste de sólidos: A través de un sistema de rejillas para eliminar los sólidos grandes presentes en los efluentes.

Homogenización y Regulación: Las descargas de aguas residuales sanitarias son enviadas a un tanque de almacenamiento, en el que a través de un sistema de bombeo serán enviadas a las siguientes unidades de tratamiento a un caudal constante y continuo.

Aireación Convencional: Se trata la descarga de agua sanitaria con una microbiota, en presencia de oxígeno, suministrado a través de sopladores de aire para estabilizar la materia orgánica. En este sistema, la biomasa se mantiene en agitación en el estanque de aireación desde donde pasa a la unidad de sedimentación. La biomasa sedimentada es devuelta parcialmente al tratamiento biológico, para mantener una población adecuada, y una parte se purga del sistema como lodo en exceso. El tiempo de retención para la aireación convencional es de 5 a 15 .

Tanque de Sedimentación: Se retienen los flóculos biológicos generados en el sistema de aireación y sedimentan los sólidos en forma de lodos por acción de la gravedad hacia dos tolvas en forma de pirámides.

Desinfección: La descarga final clarificada se desinfecta con hipoclorito de calcio para eliminar los restos de materia orgánica hasta en un 99%. El tiempo de contacto con el hipoclorito de calcio es de 30 minutos aproximadamente. El agua tratada se verterá al canal industrial.

Purga de Lodos: Parte de los lodos generados en el tanque de sedimentación, recirculan al tanque de aireación y los restantes son drenados a los **lechos de secado** de arena y grava, deshidratándose por acción del medio ambiente y son eliminados en sacos. Estos lodos de tipo orgánico son utilizados como abono orgánico en las inmediaciones de la Planta de Tratamiento.

3.2 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA RECICLADORA DE VIDRIO RENCY C.A. Y SU PROCESO PRODUCTIVO

La contratista recicladora de vidrio Rency C.A; está ubicada en la vía hacia el campo deportivo de la empresa Owens Illinois, entre las áreas de Planta de Fuerza, Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Industriales y el Caney de esparcimiento; esta planta utiliza agua reciclada con la finalidad de lavar vidrio procesado, en ella se da la recepción, pesado, separación, clasificación, lavado y almacenaje de vidrio proveniente de basureros, rellenos sanitarios y centros de reciclaje, una vez extraído de allí, el vidrio es reciclado sirviendo como materia prima al proceso productivo de la Owens-Illinois. El proceso productivo puede describirse de la siguiente forma:

Pesado y clasificación: El vidrio que viene de diversas regiones del país a través de recicladoras ubicadas en estados del centro-occidente del país tales como: Cojedes, Zulia, Trujillo y Aragua; en primer lugar es pesado por diferencia con respecto al camión en que es transportado. Una vez determinado su peso es depositado en los terrenos de la empresa en donde es clasificado por colores (ámbar, flint y verde).

Limpieza manual primaria: Luego es trasladado utilizando equipos tipo payloader, para colocarlo en la tolva de alimentación, a continuación pasa por la mesa de selección manual donde son retirados tapas, chapas, pedazos de plástico, etiquetas, etc.

Limpieza física primaria: Una vez termina la primera limpieza manual, el vidrio pasa por un molino lavadora, con un tornillo sin fin (trituradora), donde el vidrio es reducido a dimensiones más pequeñas.

Limpieza magnética: A continuación pasa por una criba seleccionadora donde se encuentran separadores magnéticos para retener partes metálicas.

Limpieza física secundaria: El vidrio pasa a una criba lavadora donde es rociado por agua, para remover toda la arena y tierra que pudiera tener adherida, de la banda transportadora cae en un tanque de lavado, para remover todos esos residuos, donde el vidrio es retirado por medio de un elevador.

Limpieza manual secundaria: Por último pasa por una selección manual nuevamente y es depositados en los almacenes (separados por el tamaño de poro: vidrio ½ pulgada y vidrio 7/8 de pulgada).

En esta área se manejan aproximadamente 200.000 kg a 400.000 kg de vidrio por día y es enviado a la planta Owens como materia prima para su proceso de fundición y fabricación de envases de vidrio.

La planta de lavado de vidrio utiliza el agua reciclada proveniente de la planta de tratamiento de aguas residuales industriales, que posteriormente luego de lavar el vidrio se depositan en un tanque sedimentador, el agua pasa por rebose del tanque conectado por tuberías hacia la planta de tratamiento de aguas industriales donde se completa el proceso de reciclado de agua.

El lodo retenido que queda del proceso de lavado de vidrio, es removido manualmente por los operadores, donde es depositado y secado para luego ser trasladado al relleno sanitario local. Esta área genera aproximadamente 15.000 kg mensuales de sedimentos secos producto de la primera fase de limpieza del vidrio y 32 m³ de lodo húmedo que luego se seca producto del lavado mensual.

4. METODOLOGÍA

El trabajo de investigación se desarrolló en tres fases principalmente: la primera consistió en la determinación de los caudales de todos los afluentes y efluentes de la planta de tratamiento, en la segunda fase se caracterizó las entradas y salidas de cada uno de los equipos que comprenden el sistema de limpieza y por último se determinó el costo del proceso de operación y mantenimiento que requiere la planta de tratamiento. Las tres fases permitieron una correcta evaluación técnico-económica del sistema de tratamiento de aguas residuales de la Owens-Illinois de Venezuela, C.A.

4.1 DETERMINACIÓN DE CAUDALES

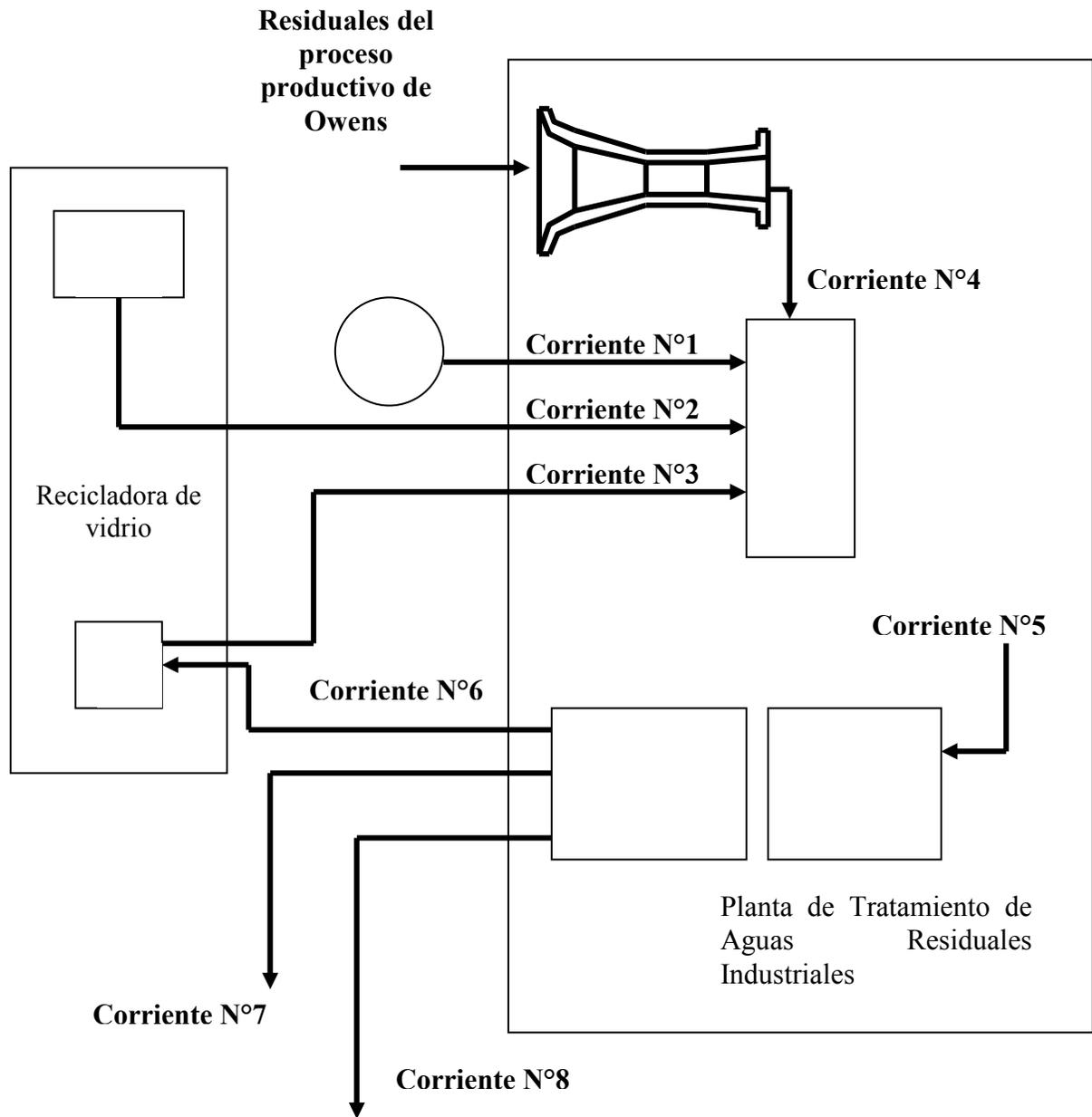
Esta fase comenzó con un período de visualización general del sistema de tratamiento, donde se precisaron cada una de las corrientes afluentes y efluentes que contiene la planta, se investigó su periodicidad ó continuidad, y la forma en que son vertidas ó extraídas de la misma, para así poder decidir los diferentes métodos que podrían utilizarse para su cuantificación. Cuando la observación respondió a todos los puntos anteriormente enumerados, se procedió a definir el plan de acción a llevar a cabo, con el fin de determinar cada uno de los caudales.

La determinación de caudales para todos los efluentes y afluentes de la planta dependió de la ubicación ó procedencia de los mismos (ver figura N° 8). Las corrientes de residuos que provienen de la recicladora Rency, C.A, así como dos de las tres corrientes de salida de la planta (rebose y canal industrial), se les cuantificó con el método de volumen fijo (cuñete de 18 litros) y medición del tiempo de llenado. El tiempo de muestreo se realizó en 15 días, cada medición se realizó tres veces, cada hora, en un período comprendido entre las 9:00 a.m y las 4:00 p.m, (ver anexo B, tablas B.1 a B.19).

La corriente de entrada que contempla los residuos de proceso de la Owens-Illinois, C.A; desemboca en un canal Parshall, por lo tanto para definir esta corriente se utilizó la fórmula matemática que relaciona la altura del líquido con el caudal del efluente, se realizaron mediciones de hora, duración y altura de descarga, para así determinar su frecuencia, extensión y caudal. El muestreo se realizo durante 5 días (ver anexo B, tablas N° B.20,B.21,B23 y B.24), en un período comprendido entre las 9: 00 a.m a 1:00 p.m y de 2:00 a 4:00 p.m.

Existe una corriente proveniente del proceso de potabilización de agua, la cual entra directamente al tanque de igualación para ayudar al posterior proceso de coagulación y sedimentación, la cual entra al sistema tres veces en un turno (cada turno tiene 8 horas), la misma fue determinada utilizando datos teóricos tales como el volumen desalojado por la bomba de descarga y número de descargas por turno. Teniendo el volumen descargado total diario se obtiene el caudal en flujo continuo.

Por último la corriente de salida del agua tratada que es reutilizada por la recicladora Rency, C.A, no pudo ser determinada por ningún método experimental ya que la tubería conecta directamente con la lavadora secundaria de su proceso, por lo tanto una vez obtenidos todos los caudales anteriores, se realizó un balance de masa entre las corrientes de entrada y salida que permitió precisar este último.



Leyenda:

A : Lavadora principal.

B : Tanque de recuperación de desechos.

C : Tanque de sólidos menores.

D : Canal Parshall.

E : Desbaste.

F : Tanque de Agua Tratada.

G : Tanque de Igualación.

Corriente N° 1: **Desechos provenientes de B.**

Corriente N° 2 : **Desechos provenientes de A.**

Corriente N° 3 : **Desechos provenientes de C.**

Corriente N° 4 : **Desechos provenientes de D.**

Corriente N° 5 : **Lechada de Cal.**

Corriente N° 6 : **Agua tratada hacia C.**

Corriente N° 7 : **Agua tratada que sale como rebose de la planta.**

Corriente N° 8 : **Agua tratada hacia el Canal Industrial.**

Figura N° 8. Esquema de toma de mediciones para la determinación de caudales.

4.2 CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DE LAS CORRIENTES DE ENTRADA Y SALIDA DE LOS EQUIPOS DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO

En la segunda fase se realizó una revisión bibliográfica acerca de cada uno de los equipos que conforman el sistema de tratamiento, los cuales están gráficamente expresados en la figura N° 6 y detalladamente explicados en el título 3.1.4. La investigación también permitió la documentación de otras experiencias con diferentes sistemas de tratamiento, lo cual dará referencia para posibles alternativas de mejora u optimización. Los datos utilizados de la investigación para las posibles alternativas de solución se encuentran explicados en el capítulo 6.

La caracterización de las entradas y salidas de cada uno de los equipos que comprenden el sistema de tratamiento se realizó a través de captación de muestras compuestas, los cuales estuvieron comprendidos en dos etapas, debido a limitaciones de uso de laboratorio y reactivos. A excepción de una entrada que existe en el tanque de igualación, el cual constituye una lechada de cal proveniente del sistema de la planta potabilizadora de agua; este muestreo fue de tipo simple, debido a lo estable de su composición en el tiempo, además el caudal que presenta (menos del 1 %), es muy pequeño comparado con el caudal total de entrada. La caracterización de esta corriente fue realizada en el Laboratorio Ecológico Ordaz, contratista que realiza las auditorías externas de la empresa.

En la primera etapa se realizó un muestreo y análisis semanal por dos meses, donde se realizaron las siguientes ensayos: sólidos suspendidos totales, turbidez, fósforo, nitratos, y DQO. Las mismas se realizaron en el laboratorio de aguas de la empresa Kimberly Clark, ubicada en la ciudad de Maracay, estado Aragua. Las pruebas de esta etapa se realizaron con la ayuda del Espectrofotómetro DR/2010, de la Hach Company, utilizando métodos de análisis aceptados por la USEPA, los cuales son adaptaciones del Standard Method for the Examination of Water and Wastewater (1.995).¹

En la segunda etapa se realizó un muestreo y análisis semanal por espacio de un mes, en este muestreo se realizaron las siguientes ensayos: DBO, DQO, grasas, sólidos suspendidos totales, turbidez, y coliformes totales, en el laboratorio de aguas de la Universidad Nacional Experimental Politécnica, “Antonio José de Sucre” ubicada en Barquisimeto, estado Lara. Los métodos de análisis usados para estas determinaciones están basados en los Métodos de Análisis, dados en el Standard Method for the Examination of Water and Wastewater (1.995).¹ En las dos etapas del muestreo compuesto, se realizaron pruebas in situ, de temperatura y pH.

En la tabla N° 3 se muestra la metodología analítica que fue usada en la determinación de los parámetros mencionados anteriormente, según lo establecido en el Standard Method of Examination for Water and Wastewater.

En la figura N° 9, se representa en forma esquemática la ubicación de cada uno de los puntos de toma de muestra, dentro de las instalaciones de la planta para una mejor visualización. Las muestras para caracterización de la corriente N°9 (Fig. N° 9), son la mezcla de las corrientes N° 1, 2 y 3 de la Fig. N° 8, decisión tomada por razones de costo de las pruebas.

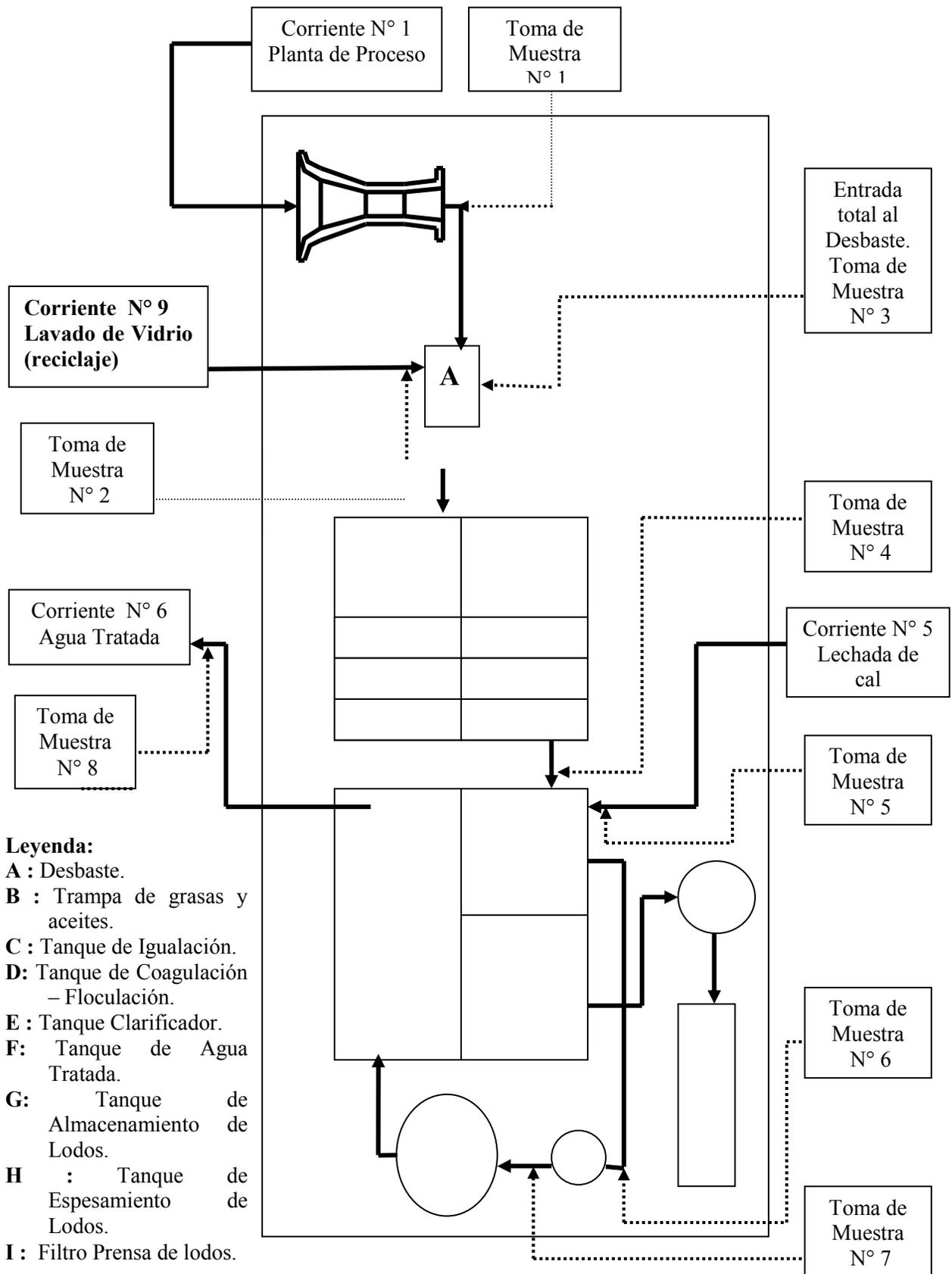


Figura n° 9. Esquema de los lugares seleccionados para la toma de muestras con la finalidad de lograr la caracterización fisico-química de las corrientes.

Tabla N°3: Metodología analítica a utilizar en la determinación de parámetros de caracterización de las corrientes de entrada y salida de los equipos de la planta de tratamiento. ¹⁴

PARÁMETRO	MÉTODO ANALÍTICO
Temperatura	Termómetro (2550)
pH	Potenciométrico (4500-H)
Sólidos sedimentables	Volumétrico (2540-F)
Sólidos totales, disueltos, fijos y volátiles	Gravimétrico (2540, B, B', C, E)
Demanda Química de Oxígeno, DQO	Reflujo Cerrado (5220-C)
Demanda Bioquímica de Oxígeno, DBO	Diluciones (5210-B)
Fosfatos	(4110-B)
Nitrógeno total	Macro-Kjeldahl (Titulación (4500-B,C)

4.3 DETERMINACIÓN DEL COSTO DE LA OPERACIÓN Y EL PROCESO DE MANTENIMIENTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO

La determinación del costo contempló varios pasos: primero, un seguimiento de la forma en que los operadores realizan la medición de los consumos, de los compuestos químicos e insumos que requiere la planta, en segundo lugar, la estandarización de estos sistemas de medición y por último la recopilación de los gastos varios que acarrea la planta, en cuanto a servicios, mantenimiento preventivo y correctivo, recolección de aceites, recolección de lodos, salarios y las auditorías realizadas por un laboratorio externo, que se le hace a la planta mensualmente.

Los gastos de compuestos químicos, materiales de limpieza, las auditorías externas, así como también los de servicios de recolección de lodos y aceite, fueron recopilados de dos formas, para poder comprobar si existía concordancia en los datos: a través del control que llevan a diario los operadores, y los despachos realizados por el departamento de almacén de la empresa.

El seguimiento a los operadores se hizo a diario, a través de inspecciones no avisadas, lo cual permitió observar que existía la necesidad de realizar una estandarización de los sistemas de medición, a través de la elaboración de nuevos y únicos formatos para llevar el control de la operación y mantenimiento.

Una vez realizados todos los ajustes, para la obtención de consumos más confiables, y tomando en cuenta las variables de precios, tasa de dólar promedio, y cambio de polímeros en el proceso, se pudo obtener el costo del litro del agua tratada, a lo largo de todo el año 2.001 y 2.002 (ver anexo B, tablas B.49 a B.70).

5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los resultados y su respectivo análisis serán presentados de manera tal que se satisfaga cada uno de los objetivos del estudio, así como también se responda al problema global propuesto en el presente trabajo de investigación.

5.1 DETERMINACIÓN DE CAUDALES

Las mediciones realizadas se dividen en cuatro grupos, dependiendo de la técnica que fue utilizada: volumen fijo con medición de tiempo de llenado, canal Parshall, datos teóricos de volumen bombeado y por último, balance de masa.

5.1.1 VOLUMEN FIJO

El método de volumen fijo fue aplicado a tres corrientes de entrada a la planta que provienen de la Recicladora de vidrio (lavadora principal, tanque de sólidos menores, tanque de recuperación de desechos) y a dos de las tres corrientes de salida de la planta (rebose y canal industrial), las cuales están representadas en la figura N°8.

Las mediciones se efectuaron directamente en el punto de descarga cada hora, durante 8 horas diarias. Se observó una descarga continua, con muy pocas variaciones. Se tomaron datos de tiempo de llenado en función de un cuñete de 18 l. Cada dato reportado es el promedio resultante de tres ensayos para la misma muestra (ver anexo B, tablas B.1, B.2, B.3 y B.4). A continuación se muestra la tabla resumen de las corrientes de entrada del residual de lavado de vidrio (ver tabla N°4) y la de dos de las tres corrientes de salida de la planta de tratamiento (ver tabla N°5).

Tabla N° 4: Datos utilizados para la determinación del caudal total generado por el efluente proveniente de la planta de lavado de vidrio.

Valores promedio	Tanque de recuperación de desechos (Corriente N° 1)	Lavadora principal (Corriente N°2)	Tanque de sólidos menores (Corriente N°3)
Tiempo de llenado (s)	12,76	35,29	48,64
Caudal puntual (l/s)	1,41	0,51	0,37
Duración diaria del reciclo de vidrio (h)	11	11	11
Caudal en flujo continuo (l/s)	0,65	0,23	0,17

A continuación en la tabla N° 5, se muestra la tabla resumen de dos de las corrientes de salida, Rebose y Canal Industrial.

Tabla N° 5: Datos utilizados para la determinación del caudal de dos de las corrientes de salida: Rebose y Canal Industrial.

Valores promedio	Rebose (Corriente N° 7)	Canal Industrial (Corriente N° 8)
Tiempo de llenado (s)	18,08	5,55
Caudal en flujo continuo (l/s)	0,64	4,46

5.1.2 CANAL PARSHALL

El Canal Parshall es el sistema de medición instalado en la planta para la determinación del caudal de entrada de los efluentes del proceso productivo de la empresa Owens Illinois de Venezuela, C.A (ver figura N°9).

La observación diaria, en períodos de 8 horas diarias, permitió establecer que la descarga se realiza por lotes, teniendo un promedio de 12 descargas por hora, las cuales tenían una duración promedio de 3,05 min, la determinación de la frecuencia y la duración de la misma se puede observar en la tablas N° B.20 a B.24 del anexo B. Las mediciones se efectuaron directamente en el punto más alto de la descarga en la sección de convergencia, antes de que comience el desnivel. A continuación se muestra la tabla resumen de la corriente de entrada de efluentes del proceso productivo (ver tabla N°6).

Tabla N° 6: Datos utilizados para la determinación del caudal generado por el efluente proveniente del proceso productivo de la empresa Owens Illinois de Venezuela, C.A.

Valores promedio	Canal Parshall (Corriente N°4)
Número de descarga por hora	12
Duración de la descarga (min)	3,05
Altura de descarga (cm)	26,77
Caudal puntual de descarga (l/s)	63,81
Caudal de descarga en flujo continuo (l/s)	38,92

5.1.3 DATOS TEÓRICOS DE VOLUMEN BOMBEADO

La corriente de lechada de cal que ayuda al proceso de coagulación en el sistema de tratamiento de agua residual industrial, proveniente del proceso de potabilización de agua, es descargada al tanque de igualación en forma de lotes (ver fig. N° 8), con una frecuencia de 3 veces por turno (cada turno es de 8 horas), lo cual es controlado por los operadores.

Debido a que la cantidad de los lotes es fija para los tres turnos de trabajo, la medición del caudal de esta corriente, requirió únicamente del conocimiento del volumen desalojado por la bomba de descarga del tanque de almacenamiento de la lechada de cal. La descarga de la bomba se hace, hasta dejar en el tanque un cierto nivel predeterminado, por eso se maneja el término de volumen desalojado.

A continuación se muestra la tabla resumen de la corriente de entrada de la lechada de cal proveniente del proceso de potabilización del agua (ver tabla N°7).

Tabla N° 7. Datos utilizados para la determinación del caudal total generado por la lechada de cal proveniente del proceso de potabilización del agua.

Datos Fijos	Lechada de Cal (Corriente N° 5)
Volumen bombeado al tanque de igualación (m ³)	4,0
Número de descargas por turno de 8 horas	3,0
Número de descargas diarias en los tres turnos	9,0
Caudal diario calculado (m ³ /día)	36,0
Caudal en flujo continuo (l/s)	0,4

5.1.4 BALANCE DE MASA

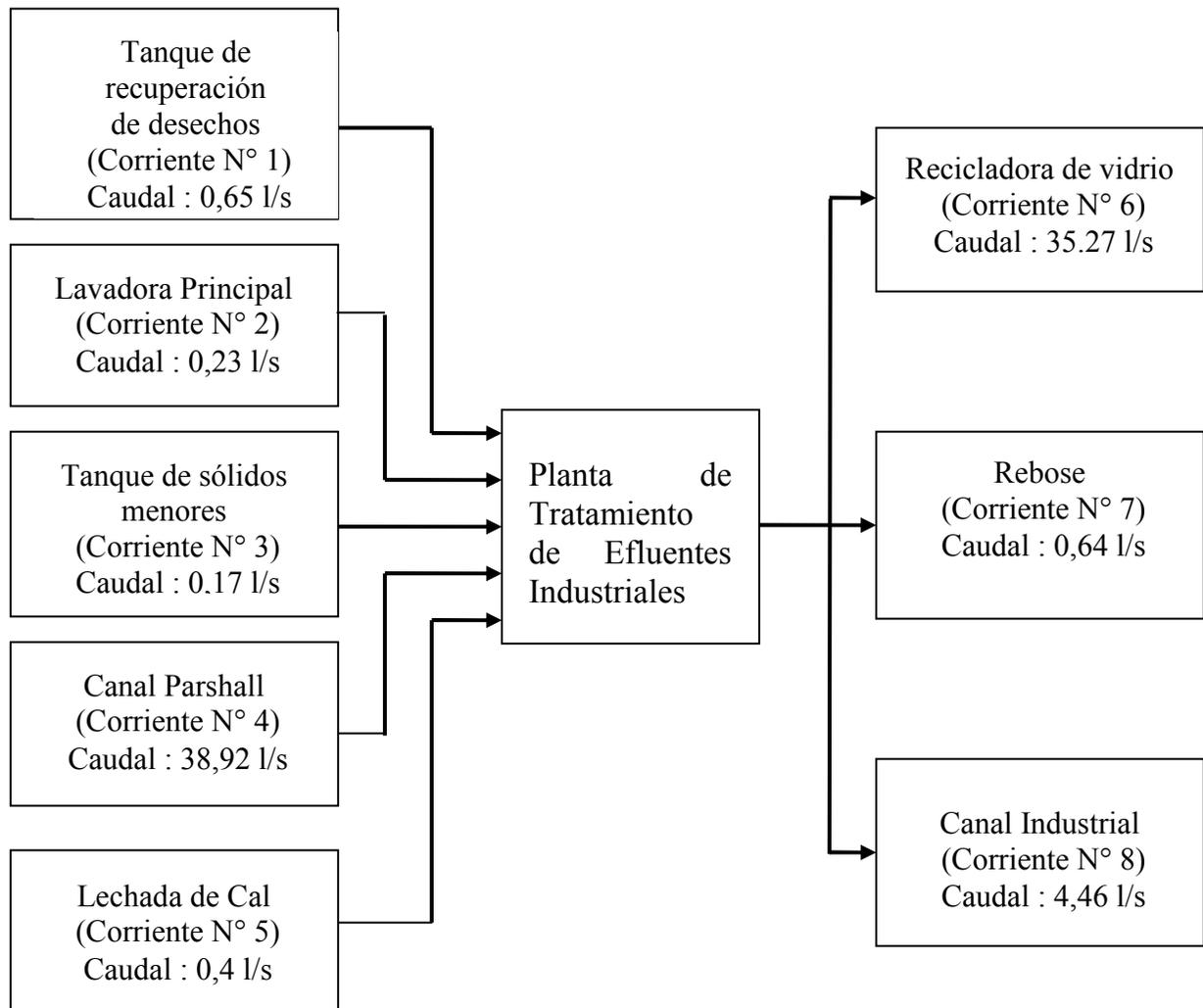
La corriente de salida de agua tratada, que se recicla nuevamente al proceso de lavado de la recicladora de vidrio Rency, C.A (ver fig. N° 8), no puede ser medida directamente, debido a que la tubería que conduce el agua tratada de la planta, atraviesa una pared y enseguida se inserta en la lavadora de sólidos menores, que esta pegada a la pared sin espacio alguno, ni ninguna interrupción.

Ante la imposibilidad de realizar un método directo y experimental de medición, se recurrió a realizar un balance de masa del sistema de agua a lo largo de toda la planta de tratamiento, debido a que ya se han definido las demás corrientes (7 de un total de 8). Teniendo entonces definidas las siete corrientes, se pudo despejar el valor del caudal de la corriente faltante, es decir la N°6, correspondiente a la salida de agua tratada que es reciclada a la lavadora de sólidos menores (ver fig. N° 8). El balance de masa se representa en la figura N° 10 de manera esquemática para una mejor comprensión. Los valores expresados en la figura N° 10, que pertenecen a los caudales de las corrientes N° 1,2,3,4,5,7 y 8, los cuales provienen y están especificados en los siguientes puntos: N° 5.1.1, 5.1.2 y 5.1.3, los cálculos tipo correspondientes están definidos en el anexo C, capítulo 1.

Como se puede observar en el esquema del Balance Masa (fig. N°10), actualmente está entrando a la planta un caudal de aproximadamente 40 l/s, comparándolo con el caudal de diseño que es de 6,5 l/s, se puede apreciar un exceso de un 600 %, ocasionando que el proceso no logre una estabilidad y ocurran derrames y desbordamientos constantemente, los cuales se ven empeorados en la época de lluvia.

El incremento en el caudal total implica necesariamente un aumento en la capacidad de los sistemas involucrados en el tratamiento, debido a que la capacidad de la planta actualmente se encuentra debajo de los requerimientos.

Figura N°10. Balance de Masa para la entrada y salida de la planta de tratamiento de efluentes residuales industriales.



Utilizando el principio del balance de masa: Entrada = Salida

$$\text{Tanque de recuperación de desechos} + \text{Lavadora Principal} + \text{Tanque de sólidos menores} + \text{Canal Parshall} + \text{Lechada de Cal} = \text{Recicladora de vidrio} + \text{Rebose} + \text{Canal Industrial}$$

$$(0,65 + 0,23 + 0,17 + 38,92 + 0,4) \text{ l/s} = \text{Recicladora de vidrio} + (0,64 + 4,46) \text{ l/s}$$

$$\text{Despejando tenemos : Recicladora de vidrio} = 35,27 \text{ l}$$

$$\text{De esta forma se cumple : } \mathbf{Entrada = Salida} \quad \mathbf{40,37 \text{ l/s} = 40,37 \text{ l/s}}$$

5.2 CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DE LAS ENTRADAS Y SALIDAS DE LOS EQUIPOS DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO

Las caracterizaciones realizadas se pueden dividir en tres grupos debido a limitaciones de utilización de laboratorios y reactivos, además de razones económicas. El primer grupo sería las caracterizaciones realizadas en el laboratorio de Aguas de la empresa Kimberly Clark, el segundo sería las realizadas en el Laboratorio de Aguas de la Universidad Nacional Experimental Politécnica, “Antonio José de Sucre” y el tercer grupo sería la realizada en el Laboratorio Ecológico Ordaz, contratista que realiza las auditorias externas de la empresa.

5.2.1 KIMBERLY CLARK

Los resultados de los análisis físico-químicos, efectuados en este laboratorio se encuentran reportados en las tablas B.25 a B.33 del anexo B, y el promedio de los resultados se presenta a continuación en la tabla N° 8. Los números de muestra están relacionados con el lugar de muestreo, en la figura N°9. Los símbolos de los parámetros de la tabla N° 8, se encuentran relacionados con su respectivo parámetro físico-químico en la lista de símbolos, al principio del trabajo de investigación.

En la tabla N°8 se puede observar que en la toma de muestras N° 4, 6 y 7, que corresponden a la salida del tanque de grasas, la salida del tanque de igualación y a la salida del tanque coagulación-floculación respectivamente; que todos los parámetros físico-químicos evaluados, van disminuyendo a lo largo del tratamiento pero muy deficientemente, lo que conlleva que en la toma N°8 que corresponde al agua tratada final, los parámetros estén fuera del artículo N°36 del M.A.R.N.R.

En la tabla N°8 también podemos observar que los parámetros físico-químicos de la corriente de entrada al desbaste, toma N°3, se asemejan más a la corriente residual de proceso de Owens (toma N°1), que a la proveniente del reciclaje de lavado de vidrio (toma N°2), esto es debido a que proporcionalmente la que viene Owens posee un caudal considerablemente mayor.

Tabla N° 8: Resultados promedios de los análisis físico-químicos realizados en el laboratorio de aguas de la empresa Kimberly Clark.

Parámetros	Número de muestra						
	1	2	3	4	6	7	8
DQO [mg/l]	901	1165	931	881	805	657	409
SST [mg/l]	741	1378	877	848	765	676	423
TU [NTU]	208	171	196	159	262	29	5
P [mg/l]	1,8	3,1	2,0	1,8	1,7	1,4	1,2
NT [mg/l]	19,7	12,0	18,1	16,8	16,0	13,7	11,5
CT[NMP/100ml]	1033	2930	1608	1511	1399	1201	1058
T [°C]	32	28	31	30	29	28	28
pH [adim.]	9,3	7,4	9,0	8,8	7,5	7,5	7,5

5.2.2 UNEXPO

Los resultados de los análisis físico-químicos, efectuados en este laboratorio se encuentran reportados en la tabla B.34 a B.38 del anexo B, y el promedio de los resultados se presenta a continuación en la tabla N° 9. Los número de muestra están relacionados con el lugar de muestreo en la figura N°9. Los símbolos de los parámetros de la tabla N° 9, se encuentran relacionados con su respectivo parámetro físico-químico en la lista de símbolos, al principio del trabajo de investigación.

Existe una considerable diferencia en los resultados obtenidos en el Laboratorio de Aguas de la empresa Kimberly Clark (ver tabla N°8), y los obtenidos en el Laboratorio de Aguas de la UNEXPO (tabla N°9), esto es debido a que, para el segundo período de muestreo el clima que se presentaba sobre la planta era de fuertes lluvias, prácticamente todos los días, lo cual hizo que los parámetros físico-químicos correspondiente al agua residual que estaba tratando la planta disminuyeran, debido a que el agua de lluvia disminuía su concentración. Es importante recordar que los canales de recolección de agua de lluvia desembocan en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, que es objeto de estudio.

Tabla N° 9: Resultados promedios de los análisis físico-químicos realizados en el laboratorio de aguas de la UNEXPO.

Parámetros	Número de muestra						
	1	2	3	4	6	7	8
DBO [mg/l]	255	635	407	379	366	273	134
DQO [mg/l]	1155	1656	1331	1259	1180	742	432
SST [mg/l]	702	1304	1024	983	954	801	735
SD [mg/l]	442	227	338	326	294	244	103
AG [mg/l]	170	78	164	73	70	66	59
pH [adim.]	9,4	7,2	9,1	8,9	7,6	7,6	7,5
T [°C]	33	29	32	32	30	30	29
CT [UFC x 100 ml]	1155	2988	1732	1581	1525	1022	883
NT [mg/l]	22,5	13,5	18,8	16,9	16,5	14,3	12,3
DBO/DQO	0,23	0,39	0,31	0,30	0,32	0,36	0,29

5.2.3 LABORATORIO ECOLÓGICO ORDAZ

Se realizó un muestreo de tipo simple, debido a lo estable de su composición en el tiempo, además el caudal que presenta (menos del 1 %), es muy pequeño comparado con el caudal total de entrada. La corriente de muestreo es la número 5, que tiene como número de muestra el N°5 (ver fig N°9), la cual constituye una lechada de cal proveniente del sistema de la planta potabilizadora de agua. Se efectuaron las siguientes pruebas: DBO, DQO, grasas, sólidos suspendidos totales, sólidos disueltos, nitrógeno total, temperatura y pH.

Los resultados de los análisis físico-químicos, efectuados en este laboratorio se encuentran reportados en la tabla N°10, la cual se presenta a continuación. El número de muestra está relacionado con el lugar de muestreo en la figura N°9.

Los parámetros físico-químicos más importantes en este caso son los sólidos suspendidos y disueltos, en el caso de los primeros, son bastante elevados y provienen del sulfato y de la cal que se encuentran en un porcentaje muy alto. En segundo lugar, la gran cantidad de sólidos disueltos es indicativo de la cantidad de compuestos inorgánicos que han sido removidos del agua de pozo.

Tabla N°10: Resultados de los análisis físico-químicos realizados en el Laboratorio Ecológico Ordaz.

	Número de muestra
Parámetros	5
DBO [mg/l]	300
DQO [mg/l]	416
Grasas [mg/l]	0
SST [mg/l]	7322
SD [mg/l]	4578
NT [mg/l]	16,8
T [°C]	28,5
pH [adim.]	11,3

5.2.4 EVALUACIÓN TÉCNICA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES

Como se ha explicado con anterioridad, la Planta de Tratamiento de Efluentes Industriales fue diseñada y puesta en marcha en el año 1.994, para el tratamiento de aguas residuales provenientes del proceso productivo de la empresa Owens-Illinois, pero a partir del año 1.998, se efectuaron algunos cambios con respecto a la alimentación general del sistema, en donde se adicionaron 3 corrientes provenientes del lavado de vidrio reciclado por la empresa Rency, C.A. En la tabla N° 11, se presenta una comparación entre los resultados promedios de las caracterizaciones físico-químicas (obtenidas en las tres etapas), de las corrientes de entrada a la planta, y la caracterización del agua de entrada a la planta, en que se basó el diseño en el año 1.994. El nombre de la corriente relacionado con un número en la tabla N°26, está representado en la figura N°10

Tabla N° 11: Parámetros de comparación entre las corrientes de entrada actuales y las condiciones de diseño de la Planta de Tratamiento.

Parámetros Físico-Químicos	CONDICIONES DE ENTRADA			
	Condición de Diseño	Condición Actual		
	Corriente única	Corriente 4	Corriente 9	Corriente 5
DBO [mg/l]	69	255	635	300
DQO [mg/l]	320	1028	1411	416
Grasas [mg/l]	10	170	78	0
SST [mg/l]	50	721	1341	7322
SD [mg/l]	405	442	227	4578
NT [mg/l]	-	21	13	17
CT [UFC x100 ml]	-	1094	2959	-
T [°C]		32,0	28,4	28,5
pH [adim.]	8	9,3	7,3	11,3
Caudal [m ³ /día]	562	3487,33		

Como se puede observar en la tabla N° 11, existen desviaciones muy marcadas entre una y otra corriente, con relación a todos los parámetros, especialmente DBO, DQO, sólidos suspendidos y disueltos. Otra observación importante es el aumento considerable del caudal de entrada actual con respecto al de diseño.

La corriente N° 4, representada en la figura N°9, proviene de la planta de procesos y está caracterizada por un alto contenido de sólidos suspendidos de tipo coloidal. Dichos sólidos son de origen inorgánico y un porcentaje menor de origen orgánico. Debido al alto porcentaje de sólidos disueltos, existe un alto nivel de materia inorgánica disuelta ó ionizada. Los sólidos disueltos provienen de las sales que se forman por la dilución en el agua de todos los compuestos químicos utilizados en las torres de enfriamiento de agua y en el tratamiento superficial de los envases.

La corriente N°9, representada en la figura N°9, proviene de un proceso de lavado de vidrio reciclado, que llega principalmente de botaderos de basura doméstica, por lo tanto está caracterizada por altos porcentajes de sólidos suspendidos (fijos y volátiles), y el valor bajo de sólidos disueltos, alto contenido de sólidos orgánicos (en su mayoría) e inorgánicos, de tipo

coloidal y sedimentable, lo que a su vez se refleja en una demanda de oxígeno (DBO y DQO) muy alta, rango para el cual la planta de tratamiento no fue diseñada.

La corriente N° 5, representada en la figura N°9, es básicamente un lodo producto de una reacción de precipitación entre sulfato de aluminio y cal aplicado al agua de pozo de la empresa, para llevarla a la condición de potabilidad. El elevado valor de sólidos suspendidos provienen del sulfato y de la cal que se encuentran en un porcentaje muy alto. La gran cantidad de sólidos disueltos es indicativo de la cantidad de compuestos inorgánicos que han sido removidos del agua de pozo.

En general, todas las variantes de cada una de las corrientes antes mencionadas logran unas características muy alejadas de las previstas para el diseño original, como alimentación de la planta de tratamiento. Esto constituye una gran perturbación para el sistema de tratamiento, por esta razón el tratamiento es deficiente y la calidad del agua tratada presenta variaciones, donde en algunos momentos no cumple con la normativa. Esto se pone en evidencia al comparar los resultados promedios de las dos etapas de las caracterizaciones del agua tratada (ver tabla N° 12), con los límites permitidos por el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales Renovables, según Gaceta 5.305.²

Tabla N° 12: Comparación de los análisis físico-químicos del agua tratada de la Planta de Tratamiento de Efluentes Industriales, con los rangos que exige el M.A.R.N.R.

Parámetros (mg/l)	Caracterizaciones Kimberly Clark	Caracterizaciones UNEXPO	LÍMITE M.A.R.N.R
Demanda Bioquímica de Oxígeno	-	134	60 mg/ml
Demanda Química de Oxígeno	409	432	350 mg/ml
Sólidos suspendidos totales	423	735	80 mg/ml
Sólidos Disueltos	-	103	1300 mg/ml
Aceites y Grasas	-	59	20 mg/ml
Potencial de hidrógeno (pH)	7,5	7,5	6 a 9
Temperatura Media	27,5	28,6	-
Organismos coliformes	1057	883	Max.1000npm/100ml
Fósforo total	1,1	-	1 mg/ml
Nitrógeno total	11,4	12	10 mg/ml
Relación DBO/DQO	-	0,29	-

Una vez analizada la Planta de Tratamiento, como un sistema global de limpieza, se analizará a continuación cada uno de los equipos que la constituyen, para así entender mejor en qué lugares, y cuáles son las razones porque están apareciendo estas fallas en sistema de tratamiento. El análisis se realizará de dos maneras, la primera en forma cualitativa utilizando los datos obtenidos por las caracterizaciones físico-químicas de las corrientes de entrada y salida de cada uno de los equipos y la segunda en forma cuantitativa, determinando las áreas de paso neto, volúmenes y tiempos de retención de cada equipo.

5.2.4.1 Desbaste: La inserción de las corrientes provenientes del lavado de vidrio (corrientes N°1, 2 y 3 en la fig. N°8), las cuales son abundantes en sólidos flotantes y sólidos suspendidos (ver tabla N° 11), para las cuales no estaba diseñado este tipo de desbaste, producen que las rejillas metálicas se estén tapando constantemente. Lo anterior aunado a un aumento

considerable del volumen del caudal de entrada, discutido en la sección 5.1, produce que la presión del agua sea superior a la capacidad de retención del desbaste y el mismo deje pasar los sólidos que están más presionados a la rejilla hacia la trampa de grasa. En consecuencia el desbaste no está siendo eficiente, y lo que es más grave al pasar sólidos al sistema podrían verse afectado, a corto o mediano plazo, por taponamientos, abrasión ó ruptura, cualquiera de los equipos de la planta.

La deficiencia del sistema de desbaste, también se evidencia en el cálculo del área de paso neta del sistema (ver anexo C, capítulo 2, cálculo 2.1.1), la cual se refiere al área funcional del desbaste necesaria para el caudal de alimentación que está entrando a la planta. El área de paso neta calculado fue de 732,22 cm², comparando el valor obtenido, con el área de paso neta de diseño (And = 183 cm²), se deduce que se requiere un nuevo diseño de sistema de canal y desbaste de mayor capacidad.

5.2.4.2 Trampa de Grasas y Aceites: La trampa de grasas y aceites que presenta esta planta, está diseñada básicamente para hidrocarburos y lubricantes, pero en las corrientes de lavado de vidrio reciclado (corrientes N°1, 2 y 3 en la fig. N°8), están entrando una cantidad considerable de grasas y aceites de tipo animal y vegetal, las cuales no pueden ser eliminados con el sistema de mopas, debido a que esos aceites son mucho menos viscosos y pesados. Este tipo de grasa y aceites solo es removible con un sistema de tratamiento biológico que la planta no posee. Aunado a este problema, el enorme aumento de la cantidad de hidrocarburos y lubricantes que está entrando constantemente a la trampa, en consecuencia al aumento de caudal, hace que las mopas no puedan recoger eficientemente el aceite, debido a que están constantemente saturadas.

La deficiencia de la trampa de grasas y aceites, también se evidencia en el cálculo del tiempo de residencia utilizando el caudal puntual de entrada al sistema de tratamiento (**Qap**), y el caudal en flujo continuo de entrada al sistema de tratamiento (**Qac**), manteniendo el volumen del tanque ya existente (**Vd**) el cual es de 98 m³. Los cálculos de **Qap** y **Qac** se encuentran en el anexo C, sección 2, cálculos 1.1 y 2.2. Los datos requeridos para evaluar la trampa de grasas y aceites de esta forma se muestran en la tabla N° 13.

Tabla N° 13: Datos requeridos para la evaluación de la trampa de grasas y aceites.

Datos requeridos para la evaluación de la trampa de grasas y aceites	Valores
Volumen del tanque actual [m ³]	98,0
Caudal puntual de entrada al sistema de tratamiento (Qap) [l/s]	65,90
Caudal en flujo continuo de entrada al sistema de tratamiento (Qac) [l/s]	39,97
Tiempo de residencia de diseño [h]	1
Tiempo de residencia calculado con el caudal puntual de alimentación (trp) [min]	24,78
Tiempo de residencia calculado con el caudal continuo (trc) [min]	40,86

El tiempo de residencia calculado con el caudal puntual de alimentación (**trp**), refleja el tiempo de residencia que está manteniendo el proceso actualmente, mientras el tiempo de residencia calculado con el caudal continuo (**trc**), refleja el tiempo de residencia que requiere el caudal de agua de alimentación al tanque para que exista una correcta separación de las grasas y aceites, utilizando el tanque que se tiene en estos momentos. Los cálculos de **trp** y **trc** se encuentran en el anexo C, capítulo 2, cálculos 2.2.1 y 2.2.2.

El tiempo de residencia calculado con el agua residual alimentada utilizando el caudal puntual (**trp**), demuestra que el agua residual permanece cortos períodos de tiempo (ver tabla N° 13) en el tanque de separación de aceites y grasas actual, lo cual no proporciona un tiempo de residencia lo suficientemente aceptable para una separación de aceites adecuada.

El tiempo de residencia calculado con el agua residual alimentada a un caudal continuo (**trc**), es de 40,88 minutos, por lo tanto el agua residual debería permanecer ese tiempo en el tanque de grasas y aceites, para que la separación del agua residual sea eficiente. Como se puede observar este tiempo es menor al de diseño (ver tabla N° 13), por lo tanto el tratamiento de desengrasado no se está realizando correctamente.

5.2.4.3 Tanque de Igualación: El tanque de igualación fue diseñado para mantener una descarga controlada al tanque de coagulación–floculación debido a que este proceso es muy delicado y debe estar bien controlado en cuanto a caudal, para tener una correcta proporción con los polímeros añadidos. Actualmente, esta descarga no es todo lo controlada que debería, debido a que como constantemente está lleno el tanque, el agua entra y sale prácticamente sin un tiempo de residencia. Otra de las funciones principales del tanque, son la remoción de sólidos suspendidos, los cuales como fue explicado anteriormente han aumentado considerablemente con la inserción de la corriente de lavado de vidrio, para lo cual no estaba diseñado, por lo tanto la remoción no es eficiente.

La evaluación del tanque también contempla el cálculo del volumen total del tanque (**Vti**) para las condiciones de alimentación que se encuentran actualmente (**QaTI**), y compararlo con el volumen que presenta actualmente que sería de 70,65 m³.

El volumen total se divide en dos: volumen de compensación (**Vc**), el cual representa el volumen capaz de amortiguar picos repentinos de un 20 % superior al medio de alimentación, por un tiempo de duración del mismo de dos horas máximo y el volumen mínimo (**Vmin**) que será el volumen mínimo requerido utilizando como tiempo de retención 1 hora, respetando el rango establecido en la Gaceta Oficial N°752 Extraordinaria, ³ la cual dice que la capacidad del volumen mínimo no será mayor que el equivalente a 12 horas de gasto diario medio, ni menor que media hora (30 minutos) del mismo. Los cálculos de **QaTI**, **Vc**, **Vmin** y **Vti** se encuentran en el anexo C, capítulo 2, cálculos 2.3 a 2.3.3 y los valores obtenidos se presentan a continuación en la tabla N° 14.

Tabla N° 14: Datos requeridos para la evaluación del tanque de igualación.

Datos requeridos para la evaluación del tanque de igualación	Valores
Caudal de alimentación al tanque de igualación [l/s]	40,37
Volumen de compensación capaz de amortiguar picos repentinos de un 20 % (Vc) [m ³]	29,05
Volumen mínimo requerido utilizando como tiempo de retención 1 horas (Vmin) [m ³]	145,33
Volumen total del tanque para las condiciones de alimentación actuales (Vti) [m ³]	174,38

5.2.4.4 Tanque de Coagulación-Floculación: En el tanque de coagulación–floculación se eliminan principalmente los coloides, los cuales provienen en su mayoría de la corriente de proceso de Owens-Illinois, C.A. Los sólidos disueltos son las sales producidas por la dilución en agua de los compuestos químicos utilizados básicamente en las torres de enfriamiento de agua.

Esta concentración ha aumentado en gran cantidad a través de los años, ya que para el año 1.994 (arranque de la planta), existían sólo 7 torres de enfriamiento de agua en la empresa, actualmente están en funcionamiento 16 torres, a las cuales inclusive se les aumentado su capacidad. Como se mencionó anteriormente el proceso de coagulación–floculación es bastante delicado y depende de una estabilidad entre la concentración de los polímeros coagulantes en el agua, para una cantidad de coloides determinada; al aumentar en gran cantidad los coloides, primero se necesita una mayor cantidad de polímero y al permanecer constante el volumen del tanque, con ello el del agua, el equilibrio cambia constantemente. Este desequilibrio del sistema hace el proceso más ineficiente y más costoso.

5.2.4.5 Tanque de Sedimentación Primaria: El diseño del tanque de sedimentación de la planta de tratamiento en cuestión, está orientado a la eliminación de sólidos; una vez que estos son sometidos a un proceso de coagulación-floculación, pero como se dijo anteriormente, este proceso no está siendo lo suficientemente eficiente, es decir no todos los coloides son floculados y por lo tanto no precipitan, formando parte entonces del agua final considerada tratada.

Inclusive en estos momentos debido al gran aumento de caudal el nivel del lodo que ya ha sido sedimentado, en ocasiones se encuentra por encima de la salida de la corriente del agua tratada, por lo tanto cuando se desagua el tanque de sedimentación para extraer el agua tratada, el lodo es arrastrado y el agua se contamina nuevamente.

La sobresaturación del tanque sedimentador primario también se evidencia en el cálculo de la Tasa de Desbordamiento Superficial (**Cs**), y la Carga sobre el vertedero de salida (**Cv**), El cálculo del **Cs**, depende del caudal de alimentación (**Qts**), y del área superficial del sedimentador (**As**), la cual se calcula del volumen actual del tanque (**Vts**), el cual es de 23 m³ y de la altura (**hs**) la cual es de 3,3 m.

El segundo parámetro será la Carga sobre el vertedero de salida (**Cv**), el cual está en función del perímetro de circunferencia del tanque (**Lv**), el cual se calcula como el 60 % del área de paso del fluido (con base al diámetro del tanque (**Dt**) y un 30 % de obstrucción al paso del mismo. Por último se verificará el tiempo de retención actual (**trs**), con el tiempo de retención de diseño el cual es de 2 horas.⁶ Los cálculos de los valores presentados en la tabla N°15, se encuentran en el anexo C, capítulo 2, cálculos 2.5 a 2.5.3.

Tabla N° 15: Datos requeridos para la evaluación del tanque sedimentador primario.

Datos requeridos para la evaluación del tanque sedimentador primario	Valores	Rangos permitidos de diseño
Caudal de alimentación [l/s]	40,37	-
Altura del sedimentador [m]	3,3	-
Área superficial del sedimentador (As) [m ²]	6,96	-
Diámetro del tanque sedimentador [m]	2,97	-
Perímetro de circunferencia del tanque sedimentador [m]	5,61	-
Tasa de Desbordamiento Superficial (Cs) [l/m ² . s]	5,79	0,21-0,94
Carga sobre el vertedero de salida (Cv) [m ² /día]	621,74	250
Tiempo de retención actual (trs) [min]	9,49	120

Como se puede observar en la tabla N°15 los valores de C_s y C_v se encuentran fuera de rango, por lo tanto se demuestra con el primer parámetro que existe una continua suspensión del lodo e incapacidad para la compactación y para el segundo que la carga de lodo sobre el vertedero es mayor a la que soporta el equipo, lo cual fue explicado anteriormente al comienzo de la evaluación técnica del sedimentador primario. También se puede observar que el tiempo de retención actual que tiene el equipo se encuentra muy por debajo de lo necesario para su correcto funcionamiento.

5.2.4.6 Tanque de Almacenamiento de Lodos: En el tanque de almacenamiento de lodos se debe realizar una aireación y homogeneizado durante un tiempo de residencia para mantener los sólidos en suspensión, así como para buscar una mejor estabilización del lodo. En estos momentos, prácticamente no existe este tiempo de residencia como tal, debido a la gran magnitud de caudal, por lo tanto no hay una correcta estabilización del lodo y se forma menos del que debería formarse.

Para comprobar las fallas del tanque de almacenamiento de lodo se calculó el tiempo de retención actual que posee el equipo y se comparó con el de diseño el cual es de un día y un tercio (1,33 días),⁶ para un caudal de lodo de diseño de 32.400 l de lodo/día.⁶ El tiempo de retención actual (**tral**) depende de ciertos factores como lo son el volumen del tanque (**Vtl**) y el caudal de alimentación de lodo (**Qlodo**), el cual a su vez depende de la concentración del lodo (0,06 l de lodo/l de muestra).

También se calculo el índice de producción de lodo (**PI**), el cual a su vez depende del valor de la concentración de sólidos en el colchón (8.000 mg/l). Los cálculos de todos los parámetros mencionados anteriormente se encuentran detallados en el anexo C, capítulo 2, cálculos 2.6 a 2.6.3 y se presentan en la tabla N° 16 que se encuentra a continuación.

Tabla N° 16: Datos requeridos para la evaluación del tanque de almacenamiento de lodos.

Datos requeridos para la evaluación del tanque de almacenamiento de lodos	Valores
Caudal de alimentación total de la planta de tratamiento [m ³ /día]	3.487,33
Concentración del lodo [ml de lodo/ l de muestra]	60
Densidad del lodo [mg/l]	8.000
Caudal de alimentación de lodo (Qlodo) [l de lodo/día]	209.239,8
Índice de producción de lodo (PI) [kg de lodo/día]	1673,91
Tiempo de retención actual [h]	3,78

Debido a que la función del tanque es sólo almacenar lodo hasta completar el volumen del mismo dependiendo del caudal de lodo; el tiempo de retención para el caudal actual, el cual es de 3,78 horas, que comparado con el de diseño (1,33 días), puede observarse que es mucho menor, por lo tanto ineficiente para que el proceso se lleve correctamente a cabo. Los requerimientos de aire debido al caudal actual aumentaron, pero debido a que el parámetro depende del volumen del tanque y la inserción de oxígeno, los cuales no han variado, existe una deficiencia en la aireación del lodo.

5.2.4.7 Tanque de espesamiento de lodo: En esta unidad el lodo es deshidratado con la ayuda de polímeros y un tiempo de residencia; logrando disminuir el volumen total del lodo.

Como se explicó anteriormente por efecto del exceso del caudal, el tiempo de residencia no es suficiente y por la misma razón explicada en el tanque de coagulación-floculación, el proceso de deshidratación con polímeros no es lo eficaz que debería de ser, debido a que el equilibrio que existe entre el volumen de lodo, tiempo de residencia y cantidad de deshidratantes, esta alterado. El tanque tiene el mismo volumen, hay mayor cantidad de lodo, se debe gastar mucho más polímero y por lo tanto el equilibrio de ese sistema ha variado mucho con respecto al de diseño.

Este espesador ha sido diseñado para trabajar por lotes de 10 m^3 (volumen del tanque); entonces para procesar un volumen de 33 m^3 de lodos (provenientes del tanque de almacenamiento de lodos), deben enviarse 3 lotes de 10 m^3 , con una duración mínima de procesamiento de 3 horas cada uno (tiempo de residencia de diseño). Pero en estos momentos se están procesando los 33 m^3 de lodos (**Vtl**), en un período de 3,78 horas (**tral**), cada lote de 10 m^3 que pasa al tanque de espesamiento, solo puede durar 1,14 h, debido a que el tanque de almacenamiento tiende a vaciarse ya que constantemente le esta llegando lodo del tanque sedimentador primario, lo cual es considerablemente menor al tiempo de residencia para el cual fue diseñado.

5.2.4.8 Filtro Prensa : El lodo del tanque de espesamiento se bombea al filtro prensa donde se desplaza con bandas, en el cual con la ayuda de químicos se termina de deshidratar espesándose aun más y permitiendo obtener una torta de lodo consistentemente fácil de prensar. Debido a la baja eficiencia del proceso de deshidratación en el tanque de espesamiento, se requieren de mayor cantidad de compuestos químicos en esta etapa para la formación de la torta de lodo. Debido a que las descargas a la prensa son más continuas, existe un mayor gasto de energía en la planta, ya que el funcionamiento de la misma tiene un gasto significativo. Inclusive la recolección de las hojuelas de residuo seco que antes se realizaban una vez por mes, por parte de una contratista, ahora tienen que recogerse una vez por semana, significando mayores gastos.

5.2.4.9 Tanque de Agua Tratada : El exceso de caudal de agua tratada (**QexT**) es de 33,86 l/s, (ver anexo B, capítulo 1, calculo 1.5.1), con respecto al que ingresaba para el momento de diseño, el mismo se está perdiendo a través de las corrientes de rebose que posee la planta y a través de una corriente de salida directa hacia el Canal Industrial que desemboca en el Lago de Valencia. En algunas ocasiones, en su mayoría en la época de lluvia, este tanque se desborda, cayendo el agua tratada en cualquiera de los otros tanques que se encuentran cercanos (almacenamiento de lodos, tanque de igualación y el tanque de grasas), lo que se produce en la nueva contaminación del agua, lo que conlleva a pérdidas económicas y de tiempo.

Los problemas que se están presentando en cada uno de los equipos que constituyen el sistema de tratamiento de aguas residuales, generan una muy baja eficiencia, la cual se puede observar en la tabla N° 17, donde se presentan los porcentajes de remoción de cada uno de los parámetros, para cada uno de los equipos principales, utilizando los valores de entrada y salida para cada equipo; empleando los resultados promedio de las caracterizaciones de las dos etapas en cada punto de muestreo. Los número de muestra están relacionados con el lugar de muestreo en la figura N°9.

Para una correcta evaluación de la eficiencia de remoción de parámetros fisico-químicos, en la tabla N° 18, se pueden apreciar los porcentajes de remoción de diseño.

Analizando las tablas N° 17 y 18, podemos observar que todos los equipos están trabajando muy por debajo de su porcentaje de remoción de diseño, debido a todos los problemas que se explicaron a fondo anteriormente.

Dirección de la corriente	Entrada	Salida	Eficiencia del Tanque De Grasas	Entrada	Entrada	Entrada total proporcional	Salida	Eficiencia del Tanque De Igualación	Entrada	Salida	Eficiencia del Tanque De Coagulación	Entrada	Salida	Eficiencia del Tanque De Sedimentación
Número de corriente	3	4		4	5		6		6	7		7	8	
Parámetros														
DBO [mg/l]	407	379	6,88	379	300	378	366	3,29	366	273	25,48	273	134	51,05
DQO [mg/l]	1131	1070	5,42	1070	416	1063	992	6,70	992	700	29,48	700	421	39,89
Grasas [mg/l]	164	73	55,49	73	0	72	70	3,83	70	66	5,76	66	59	9,92
SST [mg/l]	951	915	3,70	915	7322	979	860	12,23	860	738	14,14	738	579	21,63
SD [mg/l]	338	326	3,55	326	4578	369	294	20,36	294	244	16,87	244	103	57,89
NT [mg/l]	18	17	8,64	17	17	17	16	3,60	16	14	14,01	14	12	15,13
CT [UFCx100ml]	1670	1546	7,43	1546	-	1546	1462	5,40	1462	1111	24,01	1111	970	12,69

Tabla N° 17. Porcentajes de remoción de parámetros físico-químicos en los equipos principales del sistema de tratamiento.

Equipos Principales	% Remoción de Grasas	% Remoción de Sólidos	% Remoción de DQO
Tanque de Grasas y Aceites	85	-	-
Tanque de Igualación	-	90	20
Tanque de Coagulación-Floculación	-	70	10
Tanque de Sedimentación	-	80	30

Tabla N° 18. Porcentajes de remoción de diseño de los parámetros físico-químicos en los equipos principales del sistema de tratamiento. ⁶

5.3 DETERMINACIÓN DEL COSTO DE LA OPERACIÓN Y EL PROCESO DE MANTENIMIENTO

Como se explicó en el capítulo IV, la determinación del costo contempló varios pasos, en la primera fase de seguimiento de las mediciones realizadas por parte de los operadores de los compuestos químicos e insumos que requiere la planta, se pudo determinar lo siguiente:

- Los operadores no estaban leyendo correctamente los medidores.
- No realizaban las mediciones a la hora exacta prevista, e inclusive a veces no la realizaban.
- No se llevaba un control correcto de las mediciones realizadas.
- Los formatos utilizados para la recolección de mediciones, estaban desactualizados y no eran prácticos, por lo tanto eran ineficientes.

Los resultados obtenidos en esta primera fase, dió a conocer la necesidad inmediata de estandarización de estos sistemas de medición y diseño de nuevos formatos para las planillas de recopilación de datos, para conocer en realidad el consumo de productos químicos para la operación y el mantenimiento, lo cual constituyó la segunda fase.

De la segunda fase se realizaron diferentes tipos de planillas y se cambió su sistema de control. Se realizaron planillas para el uso diario del operador, luego al cabo de una semana, en otra planilla se entregaría un pequeño informe semanal, luego los informes semanales se unirían en una planilla que represente día a día el consumo mensual. El diseño de las nuevas planillas se puede observar en el anexo A.

A partir de ésta investigación, las planillas semanales de consumo de polímeros, serán comparadas con las revisiones semanales que realiza el técnico que proviene de la compañía que provee los polímeros (coagulante, floculante y deshidratante). Las planillas de consumo de materiales y equipos, para el mantenimiento correctivo y preventivo de la planta, también serán comparadas con los reportes de entrada y salida del área de almacén de repuestos y productos de la empresa.

En la tercera fase, se realizó una investigación de los gastos varios que acarrea la planta, en cuanto a servicios, mantenimiento preventivo y correctivo, recolección de aceites, recolección de lodos, salarios y las auditorias realizadas a la planta mensualmente, por un laboratorio externo (Laboratorio Ecológico Ordaz).

Los gastos varios que acarrea la planta, fueron comparados con la planilla de actividades que realizan los operadores, también con los que lleva el ingeniero que dirige la planta y con los que se presentan en el departamento de compras de la empresa, presentándose considerables discrepancias, por lo tanto es necesario un mayor control entre las partes.

Los resultados de la recopilación y cálculo de datos, del gasto total de la planta mes a mes durante los dos períodos de evaluación, los cuales fueron de Enero a Diciembre del 2.001 y de Enero a Octubre 2.002, se encuentran reportados en las tablas N° 19 y 20 respectivamente.

Gastos	Año 2.001											
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Energía	44664,25	40341,90	44664,25	43223,47	43223,47	43223,47	43223,47	44664,25	43223,47	44664	43223,47	44664,25
Cemproaca	2658113,00	2658113,00	2658113,00	2658113,00	2658113,00	2658113,00	2658113,0	2658113	2658113,0	2658113	2658113,00	2658113,00
Polímeros	1541987,66	1861491,96	2657437,89	2570605,60	3441514,64	3111230,88	3908492,3	3908049	4144864,4	3405270	3689385,80	3439241,60
Químicos	4200,00	12600,00	10500,00	16800,00	31680,00	292100,00	118382,50	199648,5	193006,75	306408	215103,99	166472,89
Lab.Ordaz	270000,00	270000,00	270000,00	270000,00	270000,00	270000,00	270000,00	270000,0	270000,00	270000	270000,00	270000,00
Salarios	211517,10	211517,10	211517,10	211517,10	211517,10	211517,10	211517,10	211517,1	211517,10	211517	211517,10	211517,10
Aceite	800000,00	250000,00	1000000,00	800000,00	800000,00	840000,00	480000,00	880000,0	1000000,0	540000	485000,00	480000,00
Lodo	80000,00	80000,00	80000,00	80000,00	51000,00	80000,00	80000,00	80000,0	80000,00	80000	80000,00	80000,00
Mantenimiento	632413,00	127945,00	639710,00	10899991,00	201722,00	833338,00	410678,00	425445,8	1428677,0	433309	705184,11	1063852,69
Cambio de dólar	725,72	725,72	725,72	725,72	725,72	725,72	725,72	725,72	725,72	726	725,72	725,72
Caudal promedio	23,36	30,40	32,20	33,65	40,87	40,55	37,22	38,40	38,75	38,97	42,81	42,37
Total [Bs]	6242895,01	5512008,97	7571942,24	17550250,17	7708770,21	8339522,45	8180406,3	8677438	10029402	7949282	8357527,47	8413861,53
Total [Bs/m ³]	95,50	72,45	85,01	195,12	68,66	77,33	79,82	82,12	97,23	74,16	73,52	72,34
Total [\$]	8602,35	7595,23	10433,70	24183,23	10622,24	11491,38	11272,1	11957	13820	10954	11516,19	11593,81
Total [\$/m ³]	0,13	0,10	0,12	0,27	0,09	0,11	0,11	0,11	0,13	0,10	0,10	0,10

Tabla N° 19. Costos de productos químicos para operación y mantenimiento de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Industriales durante el año 2.001.

Gastos	AÑO 2.002									
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre
Energía	44664,25	40341,90	44664,25	43223,47	44664,25	43223,47	44664,25	44664,25	43223,47	44664,25
Cemproaca	2658113,00	2658113,00	2658113,00	2658113,00	2658113	2800000,0	2800000,0	2800000,0	2800000,0	2800000,0
Polímeros	3544807,86	3096141,58	2809751,98	1.876.903,20	1601634,4	2195782,8	1438228,0	1497956,4	1808829,0	1534438,8
Químicos	157473,75	137157,25	101645,13	171250,07	237366,71	193325,14	7768,29	27368,29	90504,86	68736,57
Lab.Ordaz	270000,00	270000,00	270000,00	270000,00	270000,00	270000,00	270000,00	270000,00	270000,00	270000,00
Salarios	211517,10	211517,10	211517,10	211517,10	211517,10	211517,10	211517,10	211517,10	211517,10	211517,10
Aceite	320000,00	400000,00	480000,00	450000,00	504700,00	479400,00	800000,00	400000,00	600000,00	600000,00
Lodo	80000,00	80000,00	80000,00	80000,00	80000,00	80000,00	80000,00	80000,00	80000,00	80000,00
Mantenimiento	467492,66	1158186,00	463744,37	433847,16	906415,00	10660726	676584,50	1832040,00	862635,69	568764,00
Cambio de dólar	765,50	1015,50	906,00	855,00	1120,51	1366,00	1346,76	1411,76	1462,75	1366,00
Caudal promedio	35,53	38,59	37,90	36,56	37,61	38,66	35,34	37,66	37,44	36,10
Total [Bs]	7754068,62	8051456,83	7119435,83	6194854,00	6514410,47	16933974,65	6328762,14	7163546,04	6766710,12	6178120,72
Total [Bs/m ³]	79,14	83,97	68,25	63,55	62,92	159,20	64,93	69,10	65,63	62,09
Total [\$]	10129,42	7928,56	7858,10	7245,44	5813,79	12396,76	4699,25	5074,20	4626,02	4522,78
Total [\$/m ³]	0,10	0,08	0,08	0,07	0,06	0,12	0,05	0,05	0,04	0,05

Tabla N° 20. Costos de productos químicos para operación y mantenimiento de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Industriales durante el año 2.002.

Leyenda de las tablas N° 34 y 35:

Energía: Constituye el costo de la energía, de acuerdo al consumo promedio mensual. Este costo nunca se había contabilizado anteriormente, ya que no existía inclusive el equipo que midiera el consumo de energía total que realizaba la planta únicamente. Una vez instalado el equipo, se realizaron las mediciones y se obtuvo un promedio mensual de 22,35 Kvh, en el mes de Octubre.

Cemproaca: Constituye el costo del servicio de la contratista que se encarga de la operación y mantenimiento de la planta. Incluye los salarios de los operadores.

Polímeros: Constituye el costo de los polímeros coagulante, floculante y deshidratante, que requiere la planta para su operación.

Químicos: Constituye el costo del ácido sulfúrico y el hipoclorito de sodio, que requiere la planta para su operación.

Lab.Ordaz: Constituye el costo de las caracterizaciones físico-químicas realizadas a manera de auditorías, por la empresa Laboratorio Ecológico Ordaz.

Salarios: Representa un porcentaje del salario (15%), del Ingeniero encargado del Sistema de Aguas de la empresa y el del jefe del departamento (10%), que corresponde esta área (Planta de Fuerza). En proporción a sus responsabilidades en la empresa y la responsabilidad en específico de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Industriales.

Aceite: Constituye el costo que se paga por el servicio mensual de recolección de aceites.

Lodo: Constituye el costo que se paga por el servicio mensual de recolección de las hojuelas de residuo seco en que se convierte el lodo una vez que pasa por el filtro prensa.

Mantenimiento: Constituye el costo que se realiza en materiales de limpieza (escobas, traperos, baldes, desengrasantes, pintura, etc), y la reposición de piezas ó equipos que se encuentren en mal estado, de forma preventiva ó correctiva (ligas, tornillos, arandelas, bombas, tuberías, etc).

Cambio de dólar [Bs/\$]: Tasa promedio mensual del cambio de dólar correspondiente.

Total [Bs]: Total del costo en bolívares de la operación y mantenimiento mensual de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Industriales.

Total [Bs/m³]: Total del costo en bolívares de la operación y mantenimiento mensual de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Industriales, por metro cúbico (m³), de agua tratada.

Total [\$]: Total del costo en dólares de la operación y mantenimiento mensual de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Industriales.

Total [\$/m³]: Total del costo en dólares de la operación y mantenimiento mensual de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Industriales, por metro cúbico (m³), de agua tratada.

De los resultados obtenidos al determinar el costo de la operación y mantenimiento de la planta de tratamiento, se puede realizar el siguiente análisis económico. En la tabla N° 19 se puede apreciar que existe una tendencia a la alza en el consumo de polímeros desde el mes de Enero hasta Septiembre donde comienza una caída, debido a la realización de pruebas de jarra para el reajuste del equilibrio de los polímeros, lo cual produjo una mejora en el tratamiento y además un ahorro del producto, ya que el mismo se estaba desperdiciando.

Como se puede observar en la tabla N° 20 y en la fig. N°11, el gasto en polímeros a partir del mes de Abril, comenzó a disminuir en forma significativa, esto fue debido a un conveniente cambio de proveedor de polímeros, de la empresa Tratamientos Químicos al proveedor Lipesa, los cuales resultaron ser más económicos, e inclusive más efectivos para el tratamiento del agua residual en cuestión. En la fig N° 11 se expresa gráficamente el desarrollo del gasto en polímeros, para los dos proveedores y en la fig N° 12, se representa el ahorro que ha percibido la empresa con el cambio de polímero. La recopilación del precio de los polímero y del gasto de cada mes se encuentra en el anexo B, tablas B.39, B.40, B.49 a B.70.

En cuanto al gasto de mantenimiento, como se puede ver en la tabla N° 19 y 20, se tienen significativas variaciones, debido a que en los últimos años, se ha descuidado el mantenimiento preventivo y por lo tanto cuando aparecen las fallas y hay que solventarlas inmediatamente, este abandono genera que las reparaciones sean más costosas y además aparezcan de improviso, sin forma alguna de amortiguación. El incremento más significativo fue en el mes de Abril del 2.001 debido a una reparación importante en el sistema de coagulación-floculación y en el mes de Junio del 2.002, ya que en él se pago una gran serie de reparaciones que se tuvieron que realizar en el mes de Mayo, por fallas abruptas del sistema. Los gastos de mantenimiento preventivo y correctivo realizado durante estos dos últimos años se encuentran reflejados en la tabla B.47 y B.48 del anexo B.

En cuanto a los químicos utilizados, tales como el ácido sulfúrico y el hipoclorito de sodio, su consumo dentro de la planta ha disminuido, pero los precios han aumentado por lo tanto el gasto general, se ha mantenido constante en líneas generales. La recopilación del precio del ácido sulfúrico y el hipoclorito de sodio y del gasto de cada mes se encuentra en el anexo B, tablas B.41, B.42 y B.49 a B.70 respectivamente para cada caso.

En los demás rubros, tales como la contratista Cemproaca, Laboratorio Ecológico Ordaz, recolección de lodos, y los salarios de los ingenieros a cargo, lo cual en total constituye un 37% en el año 2.001 (ver fig N° 13) y 41% en el año 2.002 (ver fig N° 14), del gasto total mensual de la planta; no se ha presentado variaciones en el precio del servicio que han prestado durante el período evaluado (ver tabla B.43, B.44 y B.45 del anexo B), el cual sería desde Enero 2.001 a Octubre 2.002, beneficiando así la economía del tratamiento.

En cuanto a la recolección del aceite recuperado en el tanque separador de grasas y aceites, el precio por litro recuperado tampoco ha variado al igual que en los servicios nombrados anteriormente (ver tabla B.43, anexo B), pero debido a que la calidad del agua residual si varía, y a través del tiempo la cantidad de aceite recuperado no es el mismo para cada mes, el costo de la recolección de aceites varía de mes a mes, lo cual puede observarse en la figura N° 15. En las figuras N° 16 y 17 se puede apreciar el costo total y el costo unitario por m³ de agua tratada del total del tratamiento, donde podemos ver que en líneas generales se mantiene constante, exceptuando para los meses de Abril 2.001 y Junio de 2.002, debido a las razones anteriormente explicadas.

CAPÍTULO VI

6. PRESENTACIÓN Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS

De acuerdo con los dos criterios básicos de selección que incluyen eficiencia y costo, se evaluarán las dos posibles alternativas de solución al problema planteado en el capítulo I, del presente trabajo de investigación.

Se estableció como base para el planteamiento de alternativas, la segregación de las corrientes cuyas características físico-químicas sean sustancialmente diferentes, de forma que se pueda realizar un aprovechamiento al máximo de los equipos ya existentes y/o la adición de la cantidad estricta necesaria de equipos extras con la finalidad de suplir el déficit de tratamiento que presenta el sistema actual y a su vez lograr un costo de inversión inicial mucho menor. Siguiendo los lineamientos anteriormente mencionados presentaremos una propuesta general con dos variantes.

6.1 DESCRIPCIÓN DE LA PROPUESTA GENERAL

La propuesta general consiste en la unificación de todas las corrientes de salida de las 18 torres de enfriamiento que posee la empresa y el envío directo hacia el canal industrial que desemboca en el Lago de Valencia, de tal forma que reduzca en gran medida el caudal de alimentación que tiene actualmente a la planta. Aunado a esto podría realizarse un cambio de la corriente de entrada N° 5 (ver figura N° 9), la cual en vez de entrar al tanque de igualación, entraría al tanque de almacenamiento de lodos y por último la corriente de lavado de piezas mecánicas que se menciona en el planteamiento del problema en el capítulo I, será insertada en el desbaste inicial como otra corriente de entrada nueva que tendría la planta, la cual tiene un caudal aproximado de 0,1 l/s, debido a su despreciable caudal, no afectará considerablemente el volumen del caudal de entrada inicial de la planta de tratamiento de aguas residuales industriales.

La explicación de la propuesta general es la siguiente: vertiendo directamente el agua de la purga de las torres de enfriamiento en el canal industrial sin pasar a la planta de tratamiento de aguas residuales, se eliminará el problema principal que tiene la planta, el cual es el considerable exceso del caudal de alimentación. Esta propuesta es posible debido a que se realizó una caracterización físico-química (ver tabla N° 21) del agua proveniente de las torres de enfriamiento y se pudo observar que los parámetros se encuentran bajo el artículo 36, de rangos y límites referentes a la calidad de los vertidos a cuerpos de agua, que forman parte de la Cuenca del Lago de Valencia, por lo tanto no requieren ningún tipo de tratamiento y pueden ser vertidos directamente en el canal industrial que desemboca en el Lago de Valencia.

Aunado a lo anterior, con la redirección de la corriente de lechada de cal, se disminuirá la inserción en esa etapa del tratamiento, de la gran cantidad de sólidos suspendidos que trae esa corriente, para lo cual el tanque de igualación actual no está preparado y además se insertará en el tanque de espesamiento de lodos, el cual tiene una mayor capacidad de amortiguación y en donde se producirá una mezcla con los lodos producidos en el sedimentador, aumentando así la capacidad de espesamiento del lodo. Por último al direccionar los residuos del lavado de máquinas (mencionados en el capítulo I en el planteamiento del problema), hacia el desbaste inicial, se evitará la contaminación del agua tratada que ya ha salido de la planta y se dirige hacia el Caño Dividive.

Tabla N° 21: Resultados de los análisis físico-químicos realizados a la descarga de las torres de enfriamiento.

Parámetros	Torre de Enfriamiento
DBO [mg/l]	15
DQO [mg/l]	102
Grasas [mg/l]	0
SST [mg/l]	65
SD [mg/l]	76
NT [mg/l]	5
T [°C]	29
pH [adim.]	8,3

6.2 DESCRIPCIÓN Y DISCUSIÓN DE LAS VARIANTES DE LA PROPUESTA GENERAL

La propuesta general como se explicó anteriormente tiene dos variantes ó alternativas, que se relacionan con la necesidad de tratamiento biológico para la corriente de agua residual total que está tratando la planta actualmente. Las variantes consisten básicamente en colocar tratamiento biológico a la Planta de Residuales construyendo un tanque de aireación convencional ó en llevar las corrientes residuales provenientes del lavado de vidrio reciclado, a la Planta Sanitaria y construir un desbaste y una trampa de grasas y aceites que pueda eliminar los contaminantes que contienen esta nueva entrada de agua residual, que tiene características físico-químicas (gran cantidad de sólidos suspendidos, grasas y aceites), las cuales son diferentes a las de diseño original de la Planta Sanitaria.

6.2.1 INSTALACIÓN DE TRATAMIENTO BIOLÓGICO

La primera alternativa comenzaría con la instalación de un tanque de aireación convencional después del tanque sedimentador en la planta de tratamiento de aguas residuales industriales, la cual utilizaría un reciclo de lodos proveniente del tanque de espesamiento de lodos y al mismo tiempo el desecho saldría al tanque de almacenamiento de lodos. El agua que sale del tanque de aireación convencional iría al tanque de agua tratada que se encuentra en la actualidad.

La primera alternativa tiene como aspecto positivo la instalación de un equipo nuevo que pueda realizar el tratamiento biológico que le falta a la corriente proveniente del lavado de vidrio reciclado que esta actualmente entrando a la planta, este mejoramiento del sistema de tratamiento estaría adecuado a las necesidades reflejadas, por las caracterizaciones realizadas al agua residual.

Esta nueva instalación va a tener una mayor duración en el tiempo y puede construirse contemplando futuros aumentos del caudal. Es también posible en cuanto a las necesidades de espacio que amerita además en colaboración con algunos operadores de la empresa Rency, C.A, podría tenerse mayor personal para el cuidado y mantenimiento de estas nuevas instalaciones.

Para la correcta evaluación de la primera alternativa planteada, a continuación se presentarán los cálculos necesarios para el diseño y el costo de la alternativa de solución.

Diseño de Tanque de Aireación Extendida:

Para el diseño del tanque de Aireación extendida primero es necesario realizar ciertas suposiciones las cuales vamos a enumerar a continuación:

- 1) Los sólidos suspendidos volátiles del afluente al reactor son despreciables.
- 2) La concentración del lodo de retorno (X_r) es de 10.000 mg/l de sólidos en suspensión.
- 3) La relación de recirculación de lodo es de 0,8.
- 4) El régimen del reactor es de Convencional.
- 5) Los sólidos suspendidos volátiles en el líquido de mezcla (SSVLM) son 2.000 mg/l lo que representan un 80 % de los sólidos suspendidos totales en el líquido de la mezcla (SSLM).
- 6) El tiempo de retención celular (θ_c) es de 10 días.
- 7) Los coeficientes cinéticos Y y K_d son de 0,65 y $0,06 \text{ d}^{-1}$ respectivamente.
- 8) Se estima que el efluente contenga alrededor de 20 mg/l de sólidos biológicos de los que un 80 % son volátiles y un 65 % son biodegradables. Se considerará también que la DBO_5 de los sólidos biodegradables se puede obtener multiplicando la DBO última por el factor 0,68 (el valor de K es de $0,1 \text{ d}^{-1}$).
- 9) El agua residual contiene nitrógeno y fósforo y otros nutrientes a nivel de trazas en cantidades suficientes para el crecimiento biológico.

Una vez enumeradas y definidas las suposiciones, condiciones y coeficientes cinéticos necesarios, se presentan a continuación los cálculos que requiere el diseño del tanque de aireación:

1) Determinación del nuevo caudal de alimentación.

Primeramente debemos determinar el nuevo caudal de alimentación de la planta considerando la redistribución de las aguas de las torres de enfriamiento hacia el canal industrial.

Conociendo la capacidad de las torres de enfriamiento y tomando los tiempos de descarga de la purga que están programados electrónicamente, se determinó el caudal de descarga que tienen cada una de las torres de enfriamiento, los resultados son los siguientes (ver tabla N° 22):

Tabla N° 22: Datos utilizados para la determinación del caudal total generado por la descarga proveniente de las purgas de las torres de enfriamiento.

Número de torre	Capacidad [m ³]	Descargas diarias	Litros de descarga	Caudal [l/s]
Torre # 1	10	12	120.000	1,38
Torre # 2	12	11	132.000	1,52
Torre # 3	12	11	132.000	1,52
Torre # 4	15	10	150.000	1,73
Torre # 5	10	12	120.000	1,38
Torre # 6	15	10	150.000	1,73
Torre # 7	15	10	150.000	1,73
Torre # 8	12	12	144.000	1,66
Torre # 9	20	6	120.000	1,38
Torre # 10	20	6	120.000	1,38
Torre # 11	15	10	150.000	1,73
Torre # 12	15	10	150.000	1,73
Torre # 13	10	12	120.000	1,38
Torre # 14	12	12	144.000	1,66
Torre # 15	15	11	165.000	1,90
Torre # 16	10	11	110.000	1,27
Torre # 17	10	10	100.000	1,15
Torre # 18	15	10	150.000	1,73
TOTAL [L/S]				27,96

La determinación del nuevo caudal de alimentación de la planta de aguas residuales se obtiene de la siguiente forma (ver caudal de alimentación actual en tabla N° 11) :

Caudal de alimentación nuevo = Caudal de alimentación actual – Caudal de descarga de las torres de enfriamiento

$$\text{Caudal de alimentación nuevo} = (40,37 - 27,96) \text{ l/s} = 12,41 \text{ l/s} = 1.072,22 \text{ m}^3/\text{d}$$

2) Determinación de la DBO de alimentación (S₀).

Una vez obtenido el caudal total de alimentación vamos a desglosar las diferentes corrientes de entrada para saber que porcentaje representa cada una (ver tabla N° 23) y así poder obtener el valor ponderado de la DBO de entrada de alimentación considerando la extracción de corriente de descarga de las torres de enfriamiento.

Los caudales de las corrientes provenientes del lavado de vidrio están señaladas en la tabla N°5 y suman un total de 1,05 l/s y el caudal proveniente de la lechada de cal se observa en la tabla N° 7 el cual es de 0,4 l/s. Teniendo los dos caudales anteriormente nombrados y el nuevo caudal de entrada total de la planta, podemos determinar el caudal de entrada que corresponde a la planta de proceso de Owens-Illinois.

$$\begin{aligned}
 \text{Caudal de entrada de Owens} &= \text{Caudal nuevo de entrada total} - \text{Caudal de lechada de cal} - \text{Caudal de entrada de la recicladora de vidrio} \\
 \text{Caudal de entrada de Owens} &= 12,41 \text{ l/s} - 0,4 \text{ l/s} - 1,05 \text{ l/s} \\
 \text{Caudal de entrada de Owens} &= 10,96 \text{ l/s}
 \end{aligned}$$

Tabla N° 23: Porcentajes de las nuevas corrientes de entrada de la planta.

Nombre de las corrientes de entrada a la planta	Porcentaje de la corriente (%)
Corrientes provenientes del lavado de vidrio	8,46
Corrientes proveniente de la lechada de cal	3,22
Corriente proveniente del proceso de Owens-Illinois	88,31
Corriente total de alimentación	100

Los valores de DBO de las diferentes corriente de entrada se pueden observar en la tabla N° 11, donde tenemos 255 mg/l para la corriente que proviene de Owens, 635 mg/l para la corriente que viene del lavado de vidrio y 300 mg/l para la corriente de lechada de cal.

$$\begin{aligned}
 \text{DBO de la nueva corriente de alimentación (} S_0 \text{)} &= 255 \text{ mg/l} * 0,883 + 635 \text{ mg/l} * 0,084 + 300 \text{ mg/l} * 0,032
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{DBO de la nueva corriente de alimentación (} S_0 \text{)} &= 288 \text{ mg/l}
 \end{aligned}$$

3) Estimación de la DBO₅ soluble del efluente (S).

$$\begin{aligned}
 \text{DBO}_5 \text{ del efluente} &= \text{DBO}_5 \text{ soluble del efluente que escapa al tratamiento (S)} + \text{DBO}_5 \text{ soluble del efluente que escapa al tratamiento} + \text{DBO}_5 \text{ de los sólidos en suspensión del afluente}
 \end{aligned}$$

Despejando S y utilizando los valores determinados anteriormente en la suposición número 8 referentes a los sólidos biológicos del efluente, tenemos:

$$S = 20 \text{ mg/l} - 20 \text{ mg/l} * 0,65 * 1,42 * 0,68$$

S = 7,4 mg/l de DBO₅ soluble

4) Determinación de eficiencias.

Eficiencia del tratamiento biológico, analizado en término del DBO₅.

$$E_{\text{DBO}_5} = \frac{(288 - 7,4)\text{mg/l} * 100}{288 \text{ mg/l}} = 97,43 \%$$

Eficiencia conjunta de la planta:

$$E_{\text{total}} = \frac{(288 - 20)\text{mg/l} * 100}{288 \text{ mg/l}} = 93,05 \%$$

5) Cálculo del volumen del reactor.

Donde:

V = Volumen del reactor.

Y = 0,65 ; coeficiente cinético.

Q = 1.072,22 m³/d; caudal de la nueva corriente de alimentación.

θ_c = 10 d ; tiempo de retención celular.

S₀ = 288 mg/l ; DBO₅ de la nueva corriente de alimentación.

S = 7,4 mg/l ; DBO₅ soluble del efluente.

X = 2.000 mg/l = SSVLM

k_d = 0,06 d⁻¹ ; coeficiente cinético.

$$V = \frac{Y * Q * \theta_c * (S_0 - S)}{X * (1 + k_d * \theta_c)}$$

$$V = \frac{0,65 * 1.072,22 \text{ m}^3/\text{d} * 10\text{d} * (288 - 7,4)\text{mg/l}}{2.000 \text{ mg/l} * (1 + 0,06 \text{ d}^{-1} * 10 \text{ d})}$$

$$V = \frac{1955622,05 \text{ m}^3 \cdot \text{mg/l}}{3.200 \text{ mg/l}}$$

$$V = 611,13 \text{ m}^3$$

6) Cálculo de la masa de lodo producido.

a) La producción observada es:

$$Y_{\text{obs}} = \frac{Y}{(1 + k_d * \theta_c)} = \frac{0,65}{1 + 0,06 \text{ d}^{-1} * 10 \text{ d}} = 0,41$$

b) La producción de biomasa (P_B) es:

$$P_B = Y_{\text{obs}} * (S_0 - S) * Q$$

$$P_B = 0,41 * (288 - 7,4) \text{ mg/l} * 1.072,22 \text{ m}^3/\text{d} * (1 \text{ g} / 1000 \text{ mg}) * (1 \text{ kg} / 1000\text{g}) * (1000 \text{ l} / \text{m}^3)$$

$$P_B = 123,35 \text{ kg de SS/ d}$$

c) Masa total de lodo Basado en el total de sólidos suspendidos.

$$P_{\text{X(SS)}} = P_B / 0,8 = 123,35 \text{ kg de SS/ d} / 0,8 = 154,19 \text{ kg de SS/ d}$$

7) Calculo del flujo de descarga de lodo.

a) Flujo de descarga de lodo, si la descarga se realiza desde el tanque de aireación.

$$Q_{Da} = V / \theta_c$$

$$Q_{Da} = 611,13 \text{ m}^3 / 10 \text{ d}$$

$$Q_{Da} = 61,10 \text{ m}^3 / \text{d}$$

b) Flujo de descarga de lodo, si la descarga se realiza desde la línea de reciclo.

$$Q_{Db} = (V * X) / (\theta_c * X_r)$$

Donde:

$$X = \text{SSVLM} = 2.500 \text{ mg/l}$$

X_r = Concentración del lodo de retorno * fracción de sólidos volátiles

$$= 10.000 \text{ mg/l de sólidos en suspensión} * 0,8$$

$$Q_{Db} = (611,13 \text{ m}^3 * 2.000 \text{ mg/l}) / (10 \text{ d} * 10.000 \text{ mg/l de SS} * 0,8)$$

$$Q_{Db} = 1222260 \text{ m}^3.\text{mg/l} / 80000 \text{ d.mg/l}$$

$$Q_{Db} = 15,27 \text{ m}^3 / \text{d}$$

8) Caudal de reciclo.

Donde :

Q_r = Caudal de reciclo.

$$Q_r = Q * R$$

$R = 0,8$; Relación de reciclo, suposición de diseño.

$$Q_r = 1.072,22 \text{ m}^3 / \text{d} * 0,8 = 857,77 \text{ m}^3 / \text{d}$$

9) Determinación del tiempo de retención hidráulica (θ_h).

$$\theta_h = V / Q = 611,13 \text{ m}^3 / (1.072,22 \text{ m}^3/\text{d} * (1 \text{ d} / 24 \text{ h}))$$

$$\theta_h = 611,13 \text{ m}^3 / 44,67 \text{ m}^3/\text{h} = 13,67 \text{ h}$$

10) Determinación del oxígeno requerido.

a) Calculo de la masa esencial de DBO_L del agua de desecho de entrada que es tratada en el proceso, asumiendo que el DBO_5 es igual a $0,68 DBO_L$.

$$\text{Masa de } DBO_L \text{ utilizada} = Q * (S_0 - S) / 0,68$$

$$= 1.072,22 \text{ m}^3/\text{d} * (288 - 7,4) \text{ mg/l} * (1\text{g}/1000\text{mg}) * (1 \text{ kg} / 1000\text{g}) * (1000 \text{ l}/1\text{m}^3) / 0,68$$

$$\text{Masa de } DBO_L \text{ utilizada} = 442,44 \text{ kg} / \text{d}$$

b) Calculo del oxígeno requerido.

Donde:

$$K_g \text{ de } O_2 / \text{d} = \text{Masa de } DBO_L \text{ utilizada} - 1,42 * P_B$$

$$= 442,44 \text{ kg} / \text{d} - (1,42 * 123,35 \text{ kg} / \text{d})$$

$P_B = 123,35 \text{ kg} / \text{d}$ = Producción de Biomasa

$$= 267,28 \text{ kg} / \text{d}$$

11) Revisión de la relación F/M y el factor volumétrico de carga.

a) Determinación de la relación F/M

$$F / M = S_0 / (\theta h * X)$$
$$= 288 \text{ mg/l} / (13,67 \text{ h} * 2.000 \text{ mg/l})$$

$$F / M = 0,01 \text{ h}^{-1} = 0,24 \text{ d}^{-1}$$

b) Determinación del factor volumétrico de carga.

$$\text{Carga Volumétrica} = (S_0 * Q) / V$$
$$= (288 \text{ g/m}^3 * 1.072,22 \text{ m}^3/\text{d}) (1 \text{ kg} / 10^3 \text{ g}) / 611,13 \text{ m}^3$$

$$\text{Carga Volumétrica} = 0,51$$

12) Cálculo de Oxígeno Requerido.

Se asume que la eficiencia de oxígeno transferido por el equipo de aireación es de un 8 %. Se utilizará un factor de seguridad de 2, para determinar el volumen de los sopladores. Se asume que el aire contiene 23,2 % de oxígeno en peso.

a) Aire requerido teóricamente (A_{TR}).

$$A_{TR} = K_g \text{ de } O_2 / (1.201 \text{ kg/m}^3 * 0,232)$$
$$= 267,28 \text{ kg/d} / 278,63 \text{ kg/m}^3$$

$$A_{TR} = 0,95 \text{ m}^3 / \text{d}$$

b) Aire requerido actualmente (A_{AR}).

$$A_{AR} = 0,95 \text{ m}^3 / \text{d} / 0,08 = 11,87 \text{ m}^3 / \text{d}$$

c) Aire requerido de diseño (A_{DR}).

$$A_{DR} = 2 * A_{AR} = 23,75 \text{ m}^3 / \text{d}$$

6.2.1.1 Costo de la instalación del Tratamiento Biológico.

En cuanto al costo de la alternativa de solución, primero vamos a comenzar con lo que se requiere en la propuesta general, que consiste en la redirección del residual de las torres de enfriamiento al canal industrial, el cambio de la corriente de entrada N° 5 (ver figura N° 9), la cual en vez de entrar al tanque de igualación, entraría al tanque de almacenamiento de lodos y por último la corriente de lavado de piezas mecánicas que se menciona en el planteamiento del problema en el capítulo I, será insertada en el desbaste inicial como otra corriente de entrada nueva que tendría la planta.

Para el redireccionamiento de las aguas de torres de enfriamiento se requieren aproximadamente 150 m, para el cambio de la corriente de lechada de cal, unos 10 m y para la corriente de lavado de piezas mecánicas, cerca de 60 m; por lo tanto se requieren 220 m de tubería en total. La tubería elegida es de PVC para aguas servidas de 110 mm, reforzada cada 3m, a 19.545 Bs/m.

Para todo el trayecto se requieren aproximadamente 5 codos y 1 expansión por cada una de las 18 torres de enfriamiento, es decir que en total serían 90 codos y 18 expansiones, también se requieren 22 uniones. Los codos tienen un costo de 2.157 Bs, las expansiones de 1.972 Bs y las uniones de 1.470 Bs.

Por lo tanto en cuanto a la propuesta general de solución, el costo sería de:

Costo de tubería:	220 m * 19.546 Bs/m = 4.300.120 Bs
Costo de codos:	90 codos * 2.157 Bs/codo = 194.130 Bs
Costo de expansiones:	18 expansiones * 1.972 Bs/expansión = 35.496 Bs
Costo de uniones:	22 uniones * 1.470 Bs/uniones = 32.340 Bs
Total :	= (4.300.120 + 194.130 + 35.496 + 32.340) Bs
<i>Total de la Propuesta General = 4.562.086 Bs</i>	

Al igual que para la obtención del costo de la propuesta general, se obtuvo información mediante revistas especializadas y cotizaciones a empresas particulares, para obtener el precio de la construcción del tanque de aireación extendida de 611,13 m³, el cual llevaremos a 650 m³ para tener un volumen manejable y la cantidad estimada es de **40 millones de Bolívares**. Sumando el costo de la propuesta general con la instalación del tratamiento biológico, el costo total de la primera alternativa de solución es de **44.562.086 millones de Bs**.

6.2.2 UTILIZACIÓN DE LA PLANTA SANITARIA

La segunda alternativa consiste en unir las tres corrientes en un tanque, del cual solo saldría una corriente, y luego llevar esta tubería hasta el terreno donde se ubica la Planta de Tratamiento de Aguas Sanitarias, perteneciente a la empresa Owens-Illinois,CA.

Esta alternativa requeriría de una bomba de achique, para impulsar la descarga a través de aproximadamente 1 km de tubería y llevar el residual a la Planta Sanitaria, también tendría que construirse un nuevo desbaste para esta planta debido a que el actual no está diseñado para frenar una constante entrada de sólidos flotantes y suspendidos, la cual es una característica importante de la corriente proveniente del lavado de vidrio reciclado. Luego del desbaste es necesario también la construcción de un trampa de grasa y aceites para eliminar estos contaminantes antes de entrar al tratamiento biológico y así no afectar negativamente los posteriores procesos de tratamiento.

Esta alternativa es viable en el sentido de que la Planta de Aguas Sanitarias, está trabajando de una forma bastante holgada debido a que el caudal de entrada promedio es de 1,5 l/s, comparados con los 4 l/s de diseño, por lo tanto la entrada de este caudal adicional no repercutiría negativamente porque estaría entre los límites del sobre diseño, tampoco perturbaría en cuanto a la caracterización, ya que en su mayoría es materia orgánica, para lo cual está diseñada. Para la correcta evaluación de la segunda alternativa planteada, a continuación se presentarán los cálculos necesarios para el diseño y el costo de la puesta en marcha.

Diseño del desbaste:

Para el diseño del desbaste primero debemos determinar el nuevo caudal de entrada que tendrá la Planta Sanitaria, debido a la inserción de las corrientes provenientes del reciclado de vidrio.

1) Caudal de alimentación (Q).

Donde :

Q = Caudal de alimentación.

$$Q = Q_a + Q_r$$

$$Q = 1,5 \text{ l/s} + 1,05 \text{ l/s}$$

Qa = Caudal actual de alimentación.

$$Q = 2,55 \text{ l/s}$$

Qr = Caudal proveniente del reciclado de vidrio

2) Área de paso neta (**An**).

La corriente de lavado de vidrio posee una gran cantidad de sólidos suspendidos por ende se tomara un factor de seguridad de 4 veces el caudal de entrada par dar un mayor tiempo de funcionabilidad al desbaste antes de requiera una nueva limpieza. El área de paso neta también depende de la velocidad del agua (**v**), su valor no excede de 90 m/s. ¹⁹

$$An = Q / v = (4 * 2,55 \text{ l/s}) * (1 \text{ m}^3 / 1000 \text{ l}) / 0,9 \text{ m/s} = 0,01 \text{ m}^2 = 100 \text{ cm}^2$$

3) Número de Barras (**Nb**).

Respetando el valor mínimo establecido⁶ de 35 cm para el ancho de canal (**a**), se asumirá un ancho de 0,8 m (80 cm), debido a la gran cantidad de sólidos suspendidos y flotantes que arrastra la corriente a tratar. La separación mínima entre barras (**D**) tiene un valor común de 1 a 2 cm para las rejillas, se asume un valor de 1 cm debido al tamaño de los sólidos. El grosor de las barras de frente al flujo (**W**) generalmente se considera igual ó menor a **D**, por lo que se asume un valor de 0,95 cm.

$$Nb = (a - D) / (W + D) = (80 - 1) \text{ cm} / (1 + 1) \text{ cm} = 39,5 = 40 \text{ barras}$$

4) Características del canal.

a) Cálculo del ancho del canal ocupado por barras (**a_B**).

$$a_B = Nb * W$$

$$a_B = 40 \text{ barras} * 1 \text{ cm} = 40 \text{ cm}$$

b) Cálculo del ancho útil (**a_U**).

$$a_U = a - a_B$$

$$a_U = (80 - 40) \text{ cm} = 40 \text{ cm}$$

c) Cálculo de la altura útil mínima del canal (**H_u**).

$$H_u = An / a_U$$

$$H_u = 100 \text{ cm}^2 / 40 \text{ cm} = 2,5 \text{ cm}$$

a) Cálculo del área mojada (**Am**).

$$Am = \text{Ancho del canal} * H_u$$

$$Am = 80 \text{ cm} * 2,5 \text{ cm} = 200 \text{ cm}$$

b) Cálculo del perímetro mojado (**Pm**).

$$Pm = \text{Ancho de canal} + (2 * H_u)$$

$$Pm = 80 \text{ cm} + (2 * 2,5 \text{ cm}) = 85 \text{ cm}$$

Diseño del Tanque de Grasas y Aceites:

Una vez diseñado el nuevo desbaste para la Planta de Tratamiento Sanitario, se realizará el diseño de la trampa de Grasas y Aceites necesario antes de comenzar el tratamiento biológico, debido a que la corriente proveniente del lavado de vidrio contiene una considerable cantidad de aceites para lo cual no está preparada actualmente la Planta de Tratamiento Sanitario.

1) Velocidad de elevación del glóbulo de aceite (**Vt**).

Donde:

Vt = Velocidad de elevación del glóbulo de aceite.

g = 9,81 m / s² de la gravedad.

ρ_w = 995 kg/m³ = Densidad del agua residual a 29°C.

$$Vt = \frac{g * (\rho_w - \rho_o) * D^2}{18 * \mu}$$

$$Vt = 9,81 \text{ m/s}^2 * ((995 - 951) \text{ kg/m}^3) * (1,5 * 10^{-4} \text{ m})^2 / (18 * 6 * 10^{-4} \text{ N.s/m}^2)$$

$\rho_o = 951 \text{ kg/m}^3 = \text{Densidad del aceite a } 29^\circ\text{C}.$
 $D = 1,5 * 10^{-4} \text{ m} = \text{diámetro del globo de aceite.}$
 $\mu = 6 * 10^{-4} \text{ N.s/m}^2 \text{ a } 29^\circ\text{C}.$

$$V_t = 8,99 * 10^{-4} \text{ m/s}$$

2) Velocidad horizontal máxima permisible (V_H).

Donde:

$$V_H \leq 15 * V_t$$

$V_H = \text{Velocidad horizontal máxima de flujo.}$

$$V_H \leq 15 * 8,99 * 10^{-4} \text{ m/s}$$

$V_t = \text{Velocidad de elevación del glóbulo de aceite.}$

$$V_H \leq 0,013 \text{ m/s}$$

3) Factor de Compensación de turbulencia (F_2).

El Factor de Compensación de Turbulencia se extrae de la siguiente tabla N° 24.

Donde:

$V_H = \text{Velocidad horizontal máxima de flujo.}$

$V_t = \text{Velocidad de elevación del glóbulo de aceite.}$

Tabla N° 24: Valores recomendados del Factor de Compensación de turbulencia (F_2).

V_H / V_t [adim.]	F_2 [adim.]
20	1,45
15	1,37
10	1,27
6	1,14
3	1,07

$$V_H / V_t = 0,013 \text{ m/s} / 8,99 * 10^{-4} \text{ m/s} = 14,46 \approx 15$$

De la tabla N° 24, se obtiene $F_2 = 1,37$

Se calcula el valor de F:

$$F = 1,2 * F_2 = 1,2 * 1,37 = 1,64$$

4) Área de sección transversal mínima del tanque separador (A_c).

Donde:

$$A_c = Q / V_H$$

$Q = 2,55 \text{ l/s} = \text{Caudal de alimentación.}$

$$A_c = 2,55 \text{ l/s} * (1 \text{ m}^3 / 1000 \text{ l}) / 0,013 \text{ m/s}$$

$V_H = 0,013 \text{ m/s} = \text{Velocidad horizontal máxima de flujo.}$

$$A_c = 0,196 \text{ m}^2$$

5) Área horizontal mínima del tanque separador (A_H).

Donde:

$Q = 2,55 \text{ l/s}$ = Caudal de alimentación.

$V_t = 8,99 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$ = Velocidad de elevación del glóbulo de aceite.

$F = 1,64$ = Factor de turbulencia, adim .

$$A_H = Q \cdot F / V_t$$

$$A_H = 2,55 \text{ l/s} \cdot (1 \text{ m}^3 / 1000 \text{ l}) \cdot 1,64 / 8,99 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$$

$$A_H = 4,65 \text{ m}^2$$

6) Carga superficial (CS).

Por seguridad y facilidad de operación y mantenimiento se adoptan dos tanques separadores API de acción horizontal igual a $4,65 \text{ m}^2$, cada uno proveerá la siguiente carga superficial.

Donde:

CS = Carga superficial.

$Q = 2,55 \text{ l/s}$ = Caudal de alimentación.

$A_H = 4,65 \text{ m}^2$ = Área horizontal mínima del tanque separador.

$$CS = Q / A_H$$

$$CS = 2,55 \text{ l/s} \cdot (1 \text{ m}^3 / 1000 \text{ l}) \cdot (86400 \text{ s/1 d}) / (2 \cdot 4,65 \text{ m}^2)$$

$$CS = 23,69 \text{ m} / \text{d}$$

7) Longitud del separador (L).

Donde:

L = Longitud del separador.

$F = 1,64$ = Factor de turbulencia, adim .

$V_H = 0,013 \text{ m/s}$ = Velocidad horizontal máxima de flujo.

$P = 1 \text{ m}$ = Profundidad supuesta para el tanque.

$V_t = 8,99 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$ = Velocidad de elevación del glóbulo de aceite.

$$L = (F \cdot V_H \cdot P) / V_t$$

$$L = (1,64 \cdot 0,013 \text{ m/s} \cdot 1 \text{ m}) / 8,99 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$$

$$L = 23,71 \text{ m}$$

8) Ancho del tanque separador (B).

Donde:

B = Ancho del tanque separador.

$A_c = 0,013 \text{ m/s}$.

$P = 1 \text{ m}$ = Profundidad supuesta para el tanque.

$$B = A_c / P$$

$$B = 0,196 \text{ m}^2 / 1 \text{ m}$$

$$B = 0,196 \text{ m}$$

El valor obtenido es el ancho mínimo requerido, pero para poder obtener una relación de d/B apropiada, se supondrá un ancho de 2 m.

9) Área de orificios (Ao).

Se coloca una pantalla difusora de 2 m de ancho por 1 m de altura, con orificios de diámetro de 5 cm, separados 15 cm entre centros. La pantalla se extiende desde por encima del nivel de operación del separador hasta una distancia de 0,4 m por encima del fondo del tanque. En total la pantalla tendrá cinco filas de trece orificios en cada una.

$$A_o = \frac{13 * 5 * \pi * (0,05)^2}{4} = 0,13 \text{ m}^2$$

10) Velocidad de paso en pantalla (Vp).

Donde:

$$V_p = 2,55 \text{ l/s} * (1 \text{ m}^3 / 1000 \text{ l}) / (2 * 0,13 \text{ m}^2) =$$

Vp = Velocidad de paso en pantalla.

Q = 2,55 l/s = Caudal de alimentación.

A_H = 0,13 m² = Área de orificios.

$$V_p = 9,8 * 10^{-3} \text{ m/s}$$

11) Altura de la lámina de agua sobre el vertedero rectangular de la salida.

Donde:

$$H = (Q / (1,84 * 2 * 2))^{0,66}$$

L = longitud del tanque.

Q = 2,55 l/s = Caudal de alimentación.

$$H = 2,55 \text{ l/s} * (1 \text{ m}^3 / 1000 \text{ l}) / (1,84 * 2 * 2)$$

$$H = 5,2 * 10^{-3} \text{ m}$$

12) Tiempo de retención.

Donde:

$$T = (L * A * P) / Q$$

L = longitud del tanque.

A = Ancho del tanque .

P = Profundidad del tanque.

Q = 2,55 l/s = Caudal de alimentación.

$$T = (25\text{m} * 2\text{m} * 1\text{m}) / (2,55 \text{ l/s} * (60 \text{ s/1min}) *$$

$$(1 \text{ m}^3 / 1000 \text{ l}))$$

$$T = 326,79 \text{ min} = 5,44 \text{ h}$$

6.2.2.1 Costo del Reacondicionamiento de la Planta Sanitaria.

La determinación del costo de la ampliación de la Planta Sanitaria con la instalación del desbaste y la Trampa de Grasas y Aceites, comienza con el costo de la tubería necesaria para desplazar el agua residual proveniente del lavado de vidrio reciclado hacia la Planta Sanitaria, la cual es de aproximadamente 1 km, de tipo PVC para aguas servidas de 110 mm, reforzada cada 3m; además se requieren 15 codos, 3 uniones y 3 expansiones.

Como se menciona en la evaluación económica de la propuesta anterior , la tubería elegida tiene un costo de 19.545 Bs/m, los codos tienen un costo de 2.157 Bs, las expansiones de 1.972 Bs y las uniones de 1.470 Bs.

Por lo tanto en cuanto a la propuesta general de solución, el costo sería de:

Costo de tubería:	1.000 m * 19.546 Bs/m = 19.546.000 Bs
Costo de codos:	15 codos * 2.157 Bs/codo = 32.355 Bs
Costo de expansiones:	3 expansiones * 1.972 Bs/expansión = 5.916 Bs
Costo de uniones:	3 uniones * 1.470 Bs/uniones = 4.410 Bs
Total :	= (19.546.000 + 32.355 + 5.91+ 4.410) Bs
<i>Total de la Propuesta General = 19.588.681Bs</i>	

Al igual que para la obtención del costo de la propuesta general, se obtuvo información mediante revistas especializadas y cotizaciones a empresas particulares, para obtener el precio de la construcción del desbaste de 80 cm y de los dos tanques de grasas y aceites de 50 m³, y la cantidad estimada para el desbaste es de **5 millones de Bolívares** y para los tanques de grasas y aceites, sería de **60 millones de Bolívares**, cada uno. Sumando el costo de la propuesta general con la instalación de las tuberías para llevar el agua residual a la Planta Sanitaria, el desbaste y los tanques de grasas y aceites, el costo total de la segunda alternativa de solución es de **144.588.681 millones de Bs.**

Considerando que la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Industriales es un servicio que tiene la empresa, más no un sistema que genere beneficios económicos, la alternativa planteada más económica será la idónea. En este caso en particular la primera alternativa, es decir la instalación del tratamiento biológico, no sólo es la más económica, sino también la mejor en cuanto a logística, distribución de espacio e inclusive tiene una operación y mantenimiento más sencillo y económico.

CONCLUSIONES

Los análisis de los resultados obtenidos por el presente trabajo de investigación se han puntualizado y permiten que se obtengan las siguientes conclusiones referentes a la evaluación técnico-económica de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Industriales.

1. El déficit de la capacidad de la planta de tratamiento de efluentes industriales, con respecto a la de diseño se calculó en 33,63 l/s. La causa principal está en el importante incremento de la producción en la empresa, lo que conlleva a un aumento del gasto del agua, evidenciado en la puesta en marcha de 9 nuevas torres de enfriamiento de agua, 5 nuevos hornos y 3 nuevas líneas de decoración, desde el momento de arranque de la planta en 1.994.
2. La inserción de las corrientes residuales del proceso de reciclado de vidrio proveniente de la empresa Rency, produce un desequilibrio en el sistema de tratamiento, ya que estas presentan características notablemente diferentes (alta carga orgánica y bacteriana, junto con una gran cantidad de sólidos), a las características físico-químicas de la corriente de entrada, para el momento del diseño de la planta (gran cantidad de grasas y aceites, en forma de hidrocarburos, así como también sólidos disueltos en forma de sales).
3. La calidad del agua tratada esta por fuera de las especificaciones del Artículo 36, sección VI, de la gaceta oficial N° 5.305, la cual expresa los rangos y límites referentes a la Calidad de los Vertidos a Cuerpos de Agua, que formen parte de la Cuenca del Lago de Valencia, debido principalmente al incremento del caudal de alimentación y al desequilibrio producido por la inserción de la corriente proveniente del lavado de vidrio reciclado.
4. Los porcentajes de remoción de los parámetros físico-químicos principales (sólidos, D.Q.O y grasas) están muy por debajo de los de diseño. La deficiencia en el Tanque de Grasas y Aceite es de un 35%, en el Tanque de Igualación es de un 86%, en el Tanque de Coagulación Floculación es de un 80 % y el Tanque Sedimentador Primario es de un 72%.
5. La evaluación económica demostró que existen grandes deficiencias en el control del consumo de los polímeros, compuestos químicos y demás insumos utilizados en la planta, así como también que la falta de mantenimientos preventivos a tiempo, conllevan a acciones de carácter correctivo que encarecen en gran medida el tratamiento.
6. El costo del agua tratada de la planta de Tratamiento de Aguas Residuales Industriales presenta una tendencia a la baja y existe un promedio de disminución del 14 % del año 2.002 con respecto al 2.001. En el año 2.001 el costo unitario de agua tratada oscilaba entre 70 y 100 Bs/m³, mientras para el año 2.002 oscilaba entre 60 y 85 Bs/m³.
7. La propuesta general para la solución de los requerimientos técnicos y de capacidad que posee la planta, es la desviación del agua residual proveniente de las torres de enfriamiento, al canal industrial sin pasar por la planta de tratamiento, el cambio de la inserción de la corriente proveniente de la potabilización de aguas en el tanque de espesamiento de lodos, y la reubicación de la corriente de lavado de máquinas hacia el

desbaste lo cual evitaría la contaminación del agua tratada que está siendo conducida al canal industrial.

8. La alternativa técnica de solución propuesta, más idónea sería la instalación del tratamiento biológico, debido a que es mucho más rentable, requiere una inversión inicial menor; considerando principalmente que esta es una planta de servicio y no un proceso que genere ingresos, la solución más económica es la más viable.

RECOMENDACIONES

El trabajo en la planta de tratamiento y el trabajo en oficina efectuado para la correcta realización del trabajo de investigación, permitió visualizar ciertas medidas que podrían mejorar el mantenimiento y operación de la planta de tratamiento y otras que podrían permitir un mejor desarrollo de posteriores investigaciones, por lo tanto se presentan a continuación.

1. Realizar pruebas de pH y contenido de sólidos diariamente, así como pruebas de DQO semanalmente, aparte de las realizadas mensualmente por el laboratorio externo, con la finalidad de que la empresa mantenga un chequeo continuo de la calidad final y pueda tomar acciones correctivas inmediatas.
2. Realizar pruebas de jarra las cuales determinen las concentraciones idóneas de polímeros coagulantes, floculantes y deshidratantes utilizados en el sistema de tratamiento, los cuales en este momento no están en equilibrio con el tiempo de residencia y volúmenes de los equipos. Se pueden realizar pruebas periódicamente de tal forma de inspeccionar que las concentraciones de polímeros se mantengan de acuerdo a la calidad de agua residual a tratar.
3. Realizar caracterizaciones físico-químicas del lodo seco que conforma el residual del tratamiento, el cual podría dársele un uso más beneficioso para la empresa, que la simple disposición en rellenos.
4. Controlar efectivamente la realización del mantenimiento preventivo de todos los equipos que constituyen el sistema de tratamiento de la Planta de Aguas Residuales Industriales.
5. Cambiar el sistema de distribución de agua de lluvia, para descargarla directamente al Canal Industrial el cual desemboca en el Lago de Valencia, debido a que en estos momentos el agua de lluvia va a parar a los tanques de almacenamiento Cullet y luego a la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Industriales, lo cual incrementa en gran medida el caudal de alimentación de la planta.

BIBLIOGRAFÍA

- 1) APHA; AWWA; WEF. "Standard methods for the examination of Water and Wastewater." Ed. 19. Washington, D.C, 1.995.
- 2) REPÚBLICA DE VENEZUELA, Gaceta Oficial del M.A.R.N.R, número 5.305, de fecha: lunes 1 de febrero de 1.999; Decreto N° 3.219, Sección VI, Artículo 5, Clasificación de los tipos y subtipos de agua industrial. Artículo 36, Rangos y Límites Referentes a la Calidad de los Vertidos a Cuerpos de Agua, que formen parte de la Cuenca del Lago de Valencia.
- 3) REPÚBLICA DE VENEZUELA, Gaceta Oficial del M.A.R.N.R, número 752. Normas de diseño de equipos de tratamiento de aguas residuales.
- 4) LABORATORIO ECOLÓGICO ORDAZ, Informes mensuales de las caracterizaciones realizadas a la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Industriales de la empresa Owens-Illinois de Venezuela, C.A. 2.002
- 5) LEY DE AGUAS, capítulo I, Título VIII. Artículo 171,172,176. Proyecto en discusión para redefinir el valor y pago asociados al uso y aprovechamiento de las aguas.
- 6) AUTOR DESCONOCIDO. Manual de diseño de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Industriales y de la Planta de Aguas Residuales Sanitarias. 1.994.
- 7) METCALF & EDDY. "Ingeniería Sanitaria: Tratamiento, Evacuación y Reutilización de Aguas Residuales". Segunda Edición. España, 1.985.
- 8) KEMMER, FRANK. "Manual del agua, su naturaleza, tratamiento y aplicaciones." Primera Edición, 1.979.
- 9) OWENS ILLINOIS DE VENEZUELA, " El vidrio es puro, Recicla! ". Tríptico Informativo. 2.001.
- 10) PEREIRA, RICARDO. "Proyecto de la recuperadora de Vidrio". Owens-Illinois de Venezuela, C.A. Proyecto Industrial, Valencia, 2.001.
- 11) ROMERO, JAIRO. " Tratamiento de Aguas Residuales". Escuela Colombiana de Ingeniería. Bogota, Colombia. 1,999.
- 12) VALENCIA, VIRGINIA. "Ampliación y mejoramiento de la planta de tratamiento de efluentes industriales de la empresa Owens-Illinois de Venezuela, C.A." Trabajo especial de Grado, Escuela de Ingeniería Química. UC, Valencia, 1.999.
- 13) UCV, "Guía de canaletas Parshall ". Departamento de Ingeniería Sanitaria.
- 14) UCV, "Guía de Sedimentación". Departamento de Ingeniería Sanitaria.

- 15) VELÁSQUEZ, N Y QUINTERO, J. “Evaluación de una alternativa tecnológica para un sistema de producción de cerdos bajo el enfoque de tratamiento y aprovechamiento de los efluentes generados.” Trabajo especial de Grado, Escuela de Ingeniería Química. Universidad Central de Venezuela, Caracas 2.002.
- 16) www.avantel.net/~arbolag/glosa.htm
Glosario de términos relacionados con el análisis del agua.
- 17) www.fao.org/docrep/T0848s/t0848s06.htm
Métodos volumétricos de medición de caudal.
- 18) www.ingenieroambiental.com/informes/introduccionanalisisdelagua.htm
Introducción al análisis del agua.
- 18) www.infoagua.org
Conceptos teóricos de sistemas de tratamientos de agua.
- 19) www.japac.gob.mx/saneamiento/drquees.html
Conceptos teóricos de plantas de tratamiento de aguas residuales.
- 20) www.monografias.com/trabajos6/puag/puag.shtml
Purificación del agua.
- 21) www.p2.utep.edu/español/Manual8/Appolvi.cfm
Southwest Pollution Prevention Center. Técnicas para medición de flujo.
- 22) www.webcindario.com/infovidrio
Página de reciclaje de vidrio.

ANEXO A

**FORMATOS NUEVOS PARA LA TOMA DE
MEDICIONES DE LOS OPERADORES EN LA PLANTA
DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
INDUSTRIALES**

OWENS ILLINOIS DE VENEZUELA, C.A.
PLANTA DE TRATAMIENTO DE EFLUENTES INDUSTRIALES

Formato de control diario del caudal de agua en el
 Parshall y del tanque de polímero coagulante ()

Hora	Nivel del agua H (cm)	Caudal Q (l/s)	Observaciones	Nivel del tanque polímero () (cm)	Observaciones
07:00 AM					
08:00 AM					
09:00 AM					
10:00 AM					
11:00 AM					
12:00 AM					
01:00 PM					
02:00 PM					
03:00 PM					
04:00 PM					
05:00 PM					
06:00 PM					
07:00 PM					
08:00 PM					
09:00 PM					
10:00 PM					
11:00 PM					
12:00 PM					
01:00 AM					
02:00 AM					
03:00 AM					
04:00 AM					
05:00 AM					
06:00 AM					

	Caudal de agua en el parshall	Tanque de polímero politron (415)
Consumo total		
Consumo promedio		

OPERADORES: _____ -
 _____ -

Firma del operador: _____ -
 _____ -

REVISADO POR: _____ -

FECHA : _____ -

FIRMA: _____ -

OWENS ILLINOIS DE VENEZUELA, C.A.
PLANTA DE TRATAMIENTO DE EFLUENTES INDUSTRIALES

FORMATO DE CONTROL DIARIO DE POLÍMEROS Y PRODUCTOS QUÍMICOS

Día	Polímero Coagulante (ls)	Polímero Floculante (kg)	Polímero Deshidratante (ls)	Hipoclorito	Observaciones
Lunes					
Martes					
Miércoles					
Jueves					
Viernes					
Sábado					
Domingo					

TOTALIZACIÓN SEMANAL

Total de PC (ls)	Total de PF (kg)	Total de PD (ls)	Total de H (ls)	Observación semanal

Desde el día ____ al ____

Mes:

Año:

Revisado por:

Firma:

OWENS ILLINOIS DE VENEZUELA, C.A.
PLANTA DE TRATAMIENTO DE EFLUENTES INDUSTRIALES

TURNO: _____

FECHA : _____

OPERADOR: _____

ACTIVIDAD A REALIZAR

1	Medición del caudal en Parshall	SI		NO	
2	Limpieza de rejilla de desbaste	SI		NO	
3	Inspección de bombas tanque separador de aceites, accionamiento	SI		NO	
4	Inspección de recirculación de las bombas del tanque separador de aceites	SI		NO	
5	Limpieza de baffles y divisiones	SI		NO	
6	Verificación de la velocidad de la mopa recolectora de aceite	SI		NO	
7	Inspección del tanque de igualación	SI		NO	
8	Inspección de tanque de Mezcla Rápida, Motor Agitador	SI		NO	
9	Inspección de tanque de Mezcla Lenta, Motor Agitador	SI		NO	
10	Verificación de los niveles de los tanques de los químicos	SI		NO	
11	Verificación de bombas y dosificación de los polímeros coagulantes y floculantes	SI		NO	
12	Drenaje del tanque de sedimentación	SI		NO	
13	Preparación del polímero coagulante	SI		NO	
14	Preparación del polímero floculante	SI		NO	
15	Preparación del polímero deshidratante	SI		NO	
16	Toma de muestras, inspección del agua tratada	SI		NO	
17	Inspección del tanque de lodo	SI		NO	
18	Inspección del tanque espesador de lodo	SI		NO	
19	Prensado del lodo	SI		NO	
20	Lavado de la planta, piso barrido; Limpieza general	SI		NO	
21	Limpieza de la caseta de sopladores	SI		NO	
22	Limpieza de baño y laboratorio	SI		NO	
23	Pasar el aceite del 3er. al 2do. tanque separador	SI		NO	
24	Llenado de tambores de aceite	SI		NO	
25		SI		NO	
26		SI		NO	
27		SI		NO	
28		SI		NO	

OBSERVACIONES: _____

REVISADO POR: _____ -

FIRMA: _____ -

OWENS ILLINOIS DE VENEZUELA, C.A.
PLANTA DE TRATAMIENTO DE EFLUENTES INDUSTRIALES

CONTROL DE INVENTARIO DE PRODUCTOS QUÍMICOS

MES: _____

AÑO: _____

Descripción	Unidades	Stock	Consumo	Cantidad recibida	Total stock
Polímero Coagulante ()	ls				
Polímero Floculante ()	kg				
Polímero Deshidratante ()	ls				
Soda Caústica	ls				
Ácido Sulfúrico	ls				
Hipoclorito de Sodio (Sist. físico-químico)	ls				
Hipoclorito de Sodio (Sist.biológico)	ls				
Sulfato de aluminio	kg				
Desengrasante	ls				
Jabón líquido	ls				

REVISADO POR: _____ -

FIRMA: _____ -

REVISADO POR: _____ -

FIRMA: _____ -

OWENS ILLINOIS DE VENEZUELA, C.A.

ACTIVIDADES A REALIZAR EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE EFLUENTES INDUSTRIALES

Actividad a realizar	Area	Frecuencia
Medición de caudal en Parshall	Parshall	Diaria
Limpieza de rejilla de desbaste, sacar sólidos	Desbaste	Diaria
Verificación de compuertas y tanque separador	Separador de aceites y grasas	Diaria
Inspección de bombas, tanque separador, accionamiento		Diaria
Inspección y verificación de recirculación		Diaria
Limpieza del sistema de skimmer		Cada 15 días
Limpieza de baffles y divisiones		Diaria
Verificación de velocidad de la mopa recolectora		Diaria
Inspección del tanque de igualación	Tanque de igualación	Diaria
Limpieza de paredes, tuberías, flotantes, barandas, etc.		Semanal
Inspección de bombas del tanque, automático, manual		Diaria
Inspección de difusores		Cada 15 días
Inspección tanque mezcla rápida, motor agitador	Tanque de demulsificación floculación sedimentación	Diaria
Inspección tanque mezcla lenta, motor agitador		Diaria
Limpieza de vertedero de salida y canales		Cada 15 días
Limpieza de tanque mezcla lenta y rápida		Cada 15 días
Verificación de los niveles de los tanques de químicos		Diaria
Verificación de dosificación y bombas de polímero		Diaria
Drenaje de tanque de sedimentación		Diaria
Preparación de polimeros		Diaria
Inspección de tubería de salida tanque de agua tratada	Tanque de agua tratada	Diaria
Limpieza de barandas y tuberías		Semanal
Toma de muestras, inspección de calidad tratada		Diaria
Inspección de sistema de bombeo		Diaria
Prueba de bombas sumergibles y tubería de salida		Semanal
Verificación de difusores		Cada 15 días
Inspección de tanque de lodos	Tanque de lodos	Diaria
Limpieza de barandas y tuberías		Semanal
Inspección de difusores		Cada 15 días
Inspección de válvula de tanque		Diaria
Pruebas de bombas sumergibles auto-manual		Diaria
Bombeo de lodos al tanque espesador		Cada 2 días
Verificación de reboses del tanque		Diaria
Inspección tanque espesador de lodos	Tanque espesador de lodos	Diaria
Inspección motor agitador		Diaria

Limpieza del tanque espesador		Cada 15 días
Verificación de canales y tuberías		Mensual
Inspección de filtro prensa	Filtro prensa de banda	Diaria
Verificación de bombas de lodos		Diaria
Engrasado de chumaceras		Diaria
Verificación de bombas de agua tratada		Diaria

Verificación de compresor de aire	Filtro prensa de banda	Diaria
Verificación de malla de filtro		Diaria
Inspección de tanque floculador y rodillos		Diaria
Limpieza de partes de equipos y bandas		Diaria
Limpieza de brocales recolectores		Diaria
Verificación de polímeros y agitadores		Diaria
Verificación de dosificador, válvulas		Diaria
Operación del filtro para prensado de lodos		Diaria
Notificación para bote de lodos prensados		Diaria
Inspección de tableros y circuitos eléctricos		Diaria
Lavado de planta, piso barrido, etc. Limpieza general	Planta	Diaria
Limpieza de caseta de sopladores	Caseta de control	Diaria
Verificación de tableros electrónicos		Cada 15 días
Inspección de soplador, aceite y filtro		Cada 15 días
Cambio de aceite y filtro de soplador		Cada 15 días
Limpieza de baños y laboratorio	Oficina	Diaria
Verificación de niveles de aceite en tanque recolector	Tanque de aceite	Semanal
Transvase de aceite residual a tanques o tambores		Semanal

ANEXO B

**DATOS OBTENIDOS EN LOS DIFERENTES TIPOS Y
PERÍODOS DE MUESTREO**

ANEXO C

CÁLCULOS TIPO

CAPÍTULO 1

DETERMINACIÓN DEL CAUDAL DE ALIMENTACIÓN TOTAL QUE TIENE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE EFLUENTES INDUSTRIALES

A continuación se presentaran los cálculos detallados de la determinación de cada uno de los caudales de las corrientes de la alimentación de la planta, utilizando los diferentes métodos disponibles.

1.1 CAUDAL RESIDUAL PROVENIENTE DE LA PLANTA DE LAVADO DE VIDRIO RECICLADO DE LA EMPRESA RENCY C.A.

Se efectuaron mediciones durante 15 días por 8 horas, aún cuando el tiempo de duración del proceso no es 8 horas, generalmente es de 11 horas, dependiendo de la carga diaria de vidrio a lavar. El residual de la planta de lavado de la recicladora Rency, C.A; es descargada a la planta de tratamiento a través de 3 corrientes (ver fig. 9 del capítulo 4): la primera proviene del tanque de recuperación de desechos, la segunda de la lavadora principal y la tercera del tanque de sólidos menores. Los resultados de la determinación del caudal de las tres corrientes están en la tabla N° 4, del capítulo 5. El caudal promedio puntuales obtenido para cada corriente es: 1,41 l/s, 0,51 l/s y 0,37 l/s, para cada uno (ver tabla B.4, Anexo B).

1.1.1 DETERMINACIÓN DEL CAUDAL TOTAL DIARIO DE AGUA RESIDUAL GENERADA POR LA PLANTA DE LAVADO DE VIDRIO

Se calculará para las tres corrientes antes descritas, utilizando los caudales promedios puntuales determinados anteriormente.

1.1.1.1 Descarga del tanque de recuperación de desechos:

Q_{ptd} = Caudal promedio puntual del tanque de recuperación de desechos x tiempo de lavado por día

$$Q_{ptd} = 1,41 \frac{l}{s} \times 11 \frac{\text{horas}}{\text{día}} \times 3.600 \frac{s}{\text{hora}} \times 0,001 \frac{m^3}{l} = 55,83 \frac{m^3}{\text{día}}$$

1.1.1.2 Descarga de la lavadora principal:

Q_{plp} = Caudal promedio puntual de la lavadora principal x tiempo de lavado por día

$$Q_{plp} = 0,51 \frac{l}{s} \times 11 \frac{\text{horas}}{\text{día}} \times 3.600 \frac{s}{\text{hora}} \times 0,001 \frac{m^3}{l} = 20,19 \frac{m^3}{\text{día}}$$

1.1.1.3 Descarga del tanque de sólidos menores:

Qpts = Caudal promedio puntual del tanque de sólidos menores x tiempo de lavado por día

$$\mathbf{Qpts} = 0,31 \frac{\text{l}}{\text{s}} \times 11 \frac{\text{horas}}{\text{día}} \times 3.600 \frac{\text{s}}{\text{hora}} \times 0,001 \frac{\text{m}^3}{\text{l}} = 12,27 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$$

La corriente de alimentación proveniente del lavado de vidrio reciclado, tendría como total diario, la suma de los caudales puntuales del tanque de recuperación de desechos, de la lavadora principal y del tanque de sólidos menores.

$$\mathbf{Qpd1} = \mathbf{Qtd} + \mathbf{Qlp} + \mathbf{Qts}$$

$$\mathbf{Qpd1} = 55,83 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} + 20,19 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} + 12,27 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} = 88,29 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$$

Debido a que el proceso de lavado de vidrio dura aproximadamente 11 horas diarias, este caudal debe ser transformado a caudal continuo.

1.1.1.4 Descarga del tanque de recuperación de desechos:

$$\mathbf{Qctd} = 55,83 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} \times 1.000 \frac{\text{l}}{\text{m}^3} \times \frac{1}{86.400} \frac{\text{día}}{\text{s}} = 0,65 \frac{\text{l}}{\text{s}}$$

1.1.1.5 Descarga de la lavadora principal:

$$\mathbf{Qclp} = 20,19 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} \times 1.000 \frac{\text{l}}{\text{m}^3} \times \frac{1}{86.400} \frac{\text{día}}{\text{s}} = 0,23 \frac{\text{l}}{\text{s}}$$

1.1.1.6 Descarga del tanque de sólidos menores:

$$\mathbf{Qcts} = 12,27 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} \times 1.000 \frac{\text{l}}{\text{m}^3} \times \frac{1}{86.400} \frac{\text{día}}{\text{s}} = 0,17 \frac{\text{l}}{\text{s}}$$

La corriente de alimentación proveniente del lavado de vidrio reciclado en flujo continuo, tendría como total diario, la suma de los caudales continuos del tanque de recuperación de desechos, de la lavadora principal y del tanque de sólidos menores.

$$\mathbf{Qcd1} = \mathbf{Qctd} + \mathbf{Qclp} + \mathbf{Qcts}$$

$$\mathbf{Qcd1} = 0,65 \frac{\text{l}}{\text{s}} + 0,23 \frac{\text{l}}{\text{s}} + 0,17 \frac{\text{l}}{\text{s}} = 1,05 \frac{\text{l}}{\text{s}}$$

1.2 CAUDAL RESIDUAL PROVENIENTE DE LA PLANTA DE PROCESO DE LA OWENS ILLINOIS

Para la verificación de la determinación del caudal proveniente de la planta de procesos (ver fig.9 del capítulo 4), el procedimiento se realizará de dos formas, una primera utilizando los valores teóricos de descarga de las bombas de los tanques de vaciado automático y otra segunda utilizando los datos obtenidos durante un muestreo directo realizando mediciones en el Parshall y utilizando la relación matemática que determina el caudal, utilizando la altura del fluido de descarga.

1.2.1 DETERMINACIÓN DE CAUDAL A PARTIR DE LOS VOLÚMENES DESCARGADOS POR LAS BOMBAS DE LOS TANQUES DE VACIADO AUTOMÁTICO

A partir de los datos de operación actuales y utilizando las fichas técnicas de las 2 bombas de descarga de efluentes de residuales del proceso de la Owens Illinois, se determinó que el caudal de entrada al canal Parshall es de 100 GPM ó 63,1 l/s; para cada una de ellas.

Por otra parte se determinó el número de descargas por hora y el tiempo promedio de duración de la descarga, realizando mediciones durante un período de 5 días, las cuales se presentan en las tablas B.5 a B.9 del anexo B.

1.2.1.1 Calculo del número de descargas por día (Nd):

Número de descargas por hora: 12

Número de horas por turno: 8

Número de descargas por turno: 96

Número de turnos por día: 3

Nd: Número de descargas por turno X Número de turnos por día

$$\mathbf{Nd:} \quad 96 \frac{\text{descargas}}{\text{turno}} \times 3 \frac{\text{turnos}}{\text{día}} = 288 \frac{\text{descargas}}{\text{día}}$$

1.2.1.2 Volumen puntual de agua residual recibido por descarga de la bomba (Vpb2)

Vpb2= Caudal de la bomba X tiempo de duración

$$\mathbf{Vpb2=} \quad 63,1 \frac{\text{l}}{\text{s}} \times 3,05 \frac{\text{minutos}}{\text{descarga}} \times 60 \frac{\text{s}}{\text{min}} \times 0,001 \frac{\text{m}^3}{\text{l}} = 11,54 \frac{\text{m}^3}{\text{descarga}}$$

1.2.1.3 Caudal del agua residual bombeado por día (Qdb2)

$Q_{db2} = V_{pb2} \times \text{número de descargas por día}$

$$Q_{db2} = 11,54 \frac{\text{m}^3}{\text{descarga}} \times 288 \frac{\text{descargas}}{\text{día}} = 3.323,52 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$$

1.2.1.4 Caudal diario llevado a flujo continuo (Qcb2)

$$Q_{cb2} = 3.323,52 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} \times \frac{1}{24} \frac{\text{día}}{\text{horas}} \times \frac{1}{3600} \frac{\text{hora}}{\text{s}} \times 1000 \frac{\text{l}}{\text{m}^3} = 38,46 \frac{\text{l}}{\text{s}}$$

1.2.2 DETERMINACIÓN A PARTIR DE MEDICIONES DE CAUDAL EN EL CANAL PARSHALL

Se midió directamente del canal Parshall la altura del líquido en un punto anterior a la garganta donde la pendiente del suelo sea cero (Ha) (ver fig.3 del capítulo 2). Después de varias mediciones (ver tabla B.5 a B.9 del anexo B), se tomaron los valores promedios.

Donde W (ancho de la garganta) mide 16 cm, que es lo mismo que 0,524 pies, el valor promedio de Ha obtenido (ver tabla N°2 del capítulo 2) es = 26,77cm, debido a que la barra de medición no está correctamente marcada, tiene una corrección de 1,175 para obtener centímetros reales.

1.2.2.1 Caudal puntual que pasa por el canal Parshall:

$$Q_p = 4,1 \times W \times Ha^{3/2} \quad [\text{pie}^3/\text{s}]$$

$$Q_{pp2} = 4,1 \times 0,524 \text{ pie} \times [26,77 \text{ cm} \times 1,175 \times 0,0328 \frac{\text{pie}}{\text{cm}}] = 2,25 \frac{\text{pie}^3}{\text{s}} \times 28,31 \frac{\text{l}}{\text{s}} = 63,81 \frac{\text{l}}{\text{s}}$$

1.2.2.2 VOLUMEN PUNTUAL DE AGUA RESIDUAL RECIBIDA POR DESCARGA (Vpp2)

Como el tiempo de duración promedio de la descarga recibida en el Parshall es 3,01 minutos se tiene que:

$V_{pp2} = Q_p \times \text{tiempo de duración}$

$$V_{pp2} = 63,81 \frac{\text{l}}{\text{s}} \times 3,05 \frac{\text{min}}{\text{descarga}} \times 60 \frac{\text{s}}{\text{minutos}} \times 0,001 \frac{\text{m}^3}{\text{l}} = 11,67 \frac{\text{m}^3}{\text{descargas}}$$

1.2.1.3 CAUDAL DE AGUA RESIDUAL RECIBIDA POR DÍA (Qpp2)

Se contabilizaron 288 descargas al día, en el Parshall por lo que:

$$Q_{pp2} = V_{p2} \times \text{número de descargas por día}$$

$$Q_{pp2} = 11,67 \frac{\text{m}^3}{\text{descarga}} \times 288 \frac{\text{descargas}}{\text{día}} = 3.363,04 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$$

1.2.1.4 CAUDAL DIARIO LLEVADO A FLUJO CONTÍNUO

$$Q_{cp2} = 3.363,04 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} \times \frac{1 \text{ día}}{24 \text{ horas}} \times \frac{1 \text{ hora}}{3.600 \text{ s}} \times 1.000 \frac{\text{litros}}{\text{m}^3} = 38,92 \frac{\text{l}}{\text{s}}$$

Como se puede observar a través de los dos métodos (sección 1.1 y 1.2), se obtiene resultados muy cercanos, lo cual verifica que las mediciones realizadas directamente en el Parshall, son bastante representativas del proceso. Debido a que el caudal obtenido a partir de las bombas de los tanques de vaciado automático (sección 1.1), es determinado gráficamente de acuerdo a las condiciones de trabajo de las mismas, y estas condiciones cambian en el tiempo, tomaremos como caudal de la corriente de alimentación N°1, el determinado en la sección 1.2, el cual es de 38,92 l/s.

1.3 CAUDAL RESIDUAL PROVENIENTE DEL PROCESO DE POTABILIZACIÓN DE AGUA

La corriente de lechada de cal proveniente del proceso de potabilización de agua, es descargada al tanque de igualación en forma de lotes (ver fig. N° 9 del capítulo 4), con una frecuencia de 3 veces por turno (8 horas), lo cual es controlado por los operadores. A pesar de no ser descargada en el desbaste de manera inicial, esta corriente también se considera de alimentación y que a partir del tanque de igualación pasa por los demás equipos que conforman el tratamiento.

Debido a que la frecuencia de los lotes es fija, la medición del caudal de esta corriente, requirió únicamente del conocimiento del volumen desalojado por la bomba de descarga del tanque de almacenamiento de la lechada de cal. La descarga de la bomba se hace, hasta dejar en el tanque un cierto nivel predeterminado, por eso se maneja el término de volumen desalojado.

Volumen total del tanque (m³): 5

Nivel de volumen predeterminado de reserva (m³): 1

Volumen bombeado al tanque de igualación (m³): 4

Número de descargas por turno de 8 horas: 3

Número de descargas diarias: 9

1.3.1 DETERMINACIÓN DEL CAUDAL TOTAL DIARIO DE LA LECHADA DE CAL GENERADA POR LA PLANTA POTABILIZADORA DE AGUA

1.3.1.1 Caudal diario de lechada de cal (Qdl3):

Q_{dl3} = Volumen bombeado al tanque de igualación x Número de descargas diarias

$$Q_{dl3} = 4 \frac{m^3}{descarga} \times 9 \frac{descargas}{día} = 36 \frac{m^3}{día}$$

1.3.1.2 Caudal en flujo continuo de lechada de cal (Qcl3):

$$Q_{cl3} = Q_{dl3} \times \frac{1}{0,001} \frac{m^3}{l} \times \frac{1}{86.400} \frac{día}{s} = 0,4 \frac{l}{s}$$

1.4 DETERMINACIÓN DEL CAUDAL TOTAL ACTUAL DE AGUA RESIDUAL A LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE EFLUENTES INDUSTRIALES (Q_t)

La suma de las corrientes de entrada provenientes del lavado de vidrio reciclado, aunado a la resultante del proceso productivo de la Owens Illinois, y al caudal derivado del proceso de potabilización de agua, se determinará el caudal total de entrada, de agua residual que recibe la planta de tratamiento de efluentes industriales.

$$Q_{pd1} \text{ (Total de entrada de la planta de lavado de vidrio)} = 88,29 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$Q_{pp2} \text{ (Entrada de la planta de proceso productivo)} = 3.363,04 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$Q_{cl3} \text{ (Entrada del proceso de potabilización de agua)} = 36 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$Q_t = Q_{pd1} + Q_{pp2} + Q_{cl3}$$

$$Q_t = 88,29 \frac{m^3}{día} + 3.363,04 \frac{m^3}{día} + 36,00 \frac{m^3}{día} = 3.487,33 \frac{m^3}{día}$$

El caudal total de alimentación de la planta de aguas residuales en flujo continuo sería:

$$Q_{tc} = 3.487,33 \frac{m^3}{día} \times \frac{1.000 \text{ l}}{m^3} \times \frac{1}{86.400} \frac{día}{s} = 40,36 \frac{l}{s}$$

1.5 CÁLCULO DEL CAUDAL EXCEDENTE DE AGUA RESIDUAL CON RESPECTO AL CAUDAL ORIGINAL DE DISEÑO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE EFLUENTES INDUSTRIALES (Q_{exc})

Se puede hablar de dos tipos de caudal excedente, debido a que la planta fue diseñada con el concepto de tratar únicamente el residual de la planta de proceso de la Owens-Illinois, y en estos momentos, está tratando a demás de esa, el residual de la planta lavadora de vidrio y la proveniente del proceso de potabilización. En cuanto al caudal de diseño de la planta de tratamiento, se tiene que es de 6,5 l/s.

1.5.1 CAUDAL EXEDENTE CON RESPECTO AL RESIDUAL PROVENIENTE DE LA PLANTA DE PROCESO

$$Q_{exe_p} = Q_{ppc} - Q_d$$

$$Q_{exe_p} = 38,92 \frac{l}{s} - 6,5 \frac{l}{s} = 32,42 \frac{l}{s}$$

1.5.2 CAUDAL EXCENTE TOTAL

$$Q_{exe_T} = Q_{tc} - Q_d$$

$$Q_{exe_T} = 40,36 \frac{l}{s} - 6,5 \frac{l}{s} = 33,86 \frac{l}{s}$$

CAPÍTULO 2

EVALUACIÓN CUANTITATIVA DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO ACTUAL ATRAVÉS DE LA VERIFICACIÓN DE ÁREAS, VOLUMENES Y TIEMPOS DE RETENCIÓN DE LOS EQUIPOS

La evaluación contempla la verificación de cada uno de los equipos, tomando la corriente total de entrada del residual del proceso productivo de Owens Illinois, junto con el residual proveniente de la empresa Rency C,A, y la proveniente del proceso de potabilización de agua.

2.1 VERIFICACIÓN DEL SISTEMA DE DESBASTE

La verificación se realiza calculando el área de paso neta del sistema de desbaste actual, para esto se hace uso del caudal puntual de entrada al sistema de tratamiento (**Qap**). Actualmente por allí pasan la corriente de descarga proveniente de la planta de procesos Owens (**Qpp2**), y las corrientes residuales del proceso de lavado de vidrio reciclado (ver tabla N°4, capítulo 5). La corriente proveniente de la potabilización del agua se añade en el tanque de igualación (ver fig.9, capítulo 4).

La velocidad teórica de fluido (**v**) tiene valores que van de 0,6 m/s para flujo laminar continuo a 0,90 m/s para fluidos a gran velocidad.¹⁹ En este caso se trata de fluidos bombeados, se asume la velocidad máxima teórica.

2.1.1 CALCULANDO EL ÁREA DE PASO NETA DEL SISTEMA DE DESBASTE

$$Q_{ap} = 63,81 \text{ l/s} + 1,41 \text{ l/s} + 0,51 \text{ l/s} + 0,17 \text{ l/s} = 65,9 \text{ l/s}$$

$$A_n = \frac{Q_{ap}}{v} = \frac{65,9 \text{ l/s}}{0,9 \text{ m/s}} \times \frac{1}{1000} \frac{\text{m}^3}{\text{l}} = 0,0732 \text{ m}^2 = 732,22 \text{ cm}^2$$

2.2 VERIFICACIÓN DEL TANQUE DE SEPARACIÓN DE ACEITES Y GRASAS

Se verifica el tiempo de residencia para el caudal puntual de entrada al sistema de tratamiento (**Qap**), y para el caudal en flujo continuo de entrada al sistema de tratamiento (**Qac**), manteniendo el volumen del tanque ya existente. Luego los resultados obtenidos se comparan con los del diseño original. Volumen de diseño del tanque de grasas y aceites (**Vd**) = 98 m³.

El tiempo de residencia calculado con el caudal puntual de alimentación, refleja el tiempo de residencia que está manteniendo el proceso actualmente, mientras el tiempo de residencia calculado con el caudal continuo, refleja el tiempo de residencia que requiere el caudal de agua de alimentación al tanque para que exista una correcta separación de las grasas y aceites, utilizando el tanque que se tiene en estos momentos.

2.2.1 TIEMPO DE RESIDENCIA UTILIZANDO EL CAUDAL PUNTUAL DE ALIMENTACIÓN

$$trp = \frac{Vd}{Qap} = \frac{98 \text{ m}^3}{65,9 \text{ l/s} \times 0,001 \text{ m}^3/\text{l}} = 1.487,1 \text{ s} = 24,78 \text{ minutos}$$

2.2.2 TIEMPO DE RESIDENCIA UTILIZANDO EL CAUDAL CONTÍNUO DE ALIMENTACIÓN

$$Qac = Qcd1 + Qcp2 = 38,92 \text{ l/s} + 1,05 \text{ l/s} = 39,97 \text{ l/s}$$

$$trc = \frac{Vd}{Qac} = \frac{98 \text{ m}^3}{39,97 \text{ l/s} \times 0,001 \text{ m}^3/\text{l}} = 2.451,83 \text{ s} = 40,86 \text{ min}$$

2.3 VERIFICACIÓN DEL TANQUE DE IGUALACIÓN

Para evaluar el tanque de igualación-neutralización, cuyo volumen es de $70,65 \text{ m}^3$. Se considerará que el caudal de alimentación a la planta de tratamiento es constante. El caudal de entrada del tanque de igualación ($QaTI$) será la suma de el caudal de alimentación continuo (Qac), más el caudal proveniente del proceso de potabilización del agua (ver tabla N° 7, capítulo 5). Se considerará como caudal máximo un valor 20 % superior al medio, el cual se estima durará 1 horas. El volumen del tanque es de $70,65 \text{ m}^3$.

$$QaTI = 39,97 \text{ l/s} + 0,4 \text{ l/s} = 40,37 \text{ l/s}$$

$$Qmáximo = QaTI + (QaTI \times 0,20) = 40,37 \text{ l/s} + (40,37 \text{ l/s} \times 0,20) = 48,44 \text{ l/s}$$

2.3.1 CÁLCULO DEL VOLUMEN DE COMPENSACIÓN (Vc)

Representa el volumen capaz de amortiguar picos repentinos de un 20 % superior al medio de alimentación, por un tiempo de duración del mismo de dos horas máximo.

$$Vc = (Qmáximo - QaTI) \times Td_{Qmáx}$$

$$Vc = (48,44 - 40,37) \frac{\text{l}}{\text{s}} \times 1 \text{ horas} \times \frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ hora}} \times 0,001 \frac{\text{m}^3}{\text{l}} = 29,05 \text{ m}^3$$

2.3.2 CÁLCULO DEL VOLUMEN MÍNIMO ($Vmin$)

Se tomará un tiempo de retención (tr) de una (1) hora, respetando el rango establecido en la Gaceta Oficial N°752 Extraordinaria, la cual dice que la capacidad del volumen mínimo no será mayor que el equivalente a 12 horas de gasto diario medio, ni menor que media hora (30 minutos) del mismo.

$$Vmin = QaTI \times tr$$

$$V_{\min} = 40,37 \frac{\text{l}}{\text{s}} \times 1 \text{ horas} \times \frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ hora}} \times \frac{0,001 \text{ m}^3}{1 \text{ l}} = 145,33 \text{ m}^3$$

2.3.3 CÁLCULO DEL VOLUMEN TOTAL (Vt)

$$V_{ti} = V_c + V_{\min} = (29,05 + 145,33) \text{ m}^3 = 174,38 \text{ m}^3$$

2.4 VERIFICACIÓN DEL TANQUE DE COAGULACIÓN-FLOCULACIÓN

No es necesario hacer ningún calculo de verificación, debido a que el volumen de dicho tanque está en función del caudal de diseño (6,5 l/s) y del tiempo de retención que requieren los químicos para provocar la precipitación; es por ello que un aumento de caudal como se presenta en éste caso no puede ser compensado por volumen ó por tiempo de retención, ya que se perturbaría el equilibrio del proceso.

2.5 VERIFICACIÓN DEL TANQUE SEDIMENTADOR PRIMARIO

Para determinar si el tanque de sedimentación primaria esta trabajando correctamente, se realizará el calculo de dos parámetros regulados para el diseño de este tipo de equipos, utilizando las condiciones de entrada que se están presentando actualmente, para observar si se está cumpliendo con los rangos estipulados para un correcto desempeño. Por ultimo se verificará el tiempo de retención actual , con el tiempo de retención de diseño el cual es de 2 horas.

El primer parámetro es la Tasa de Desbordamiento Superficial (Cs), la cual se encuentra⁶ en un rango entre 0,21 y 0,94 l/s.m², donde valores mayores de Cs son indicativos de una continua suspensión del lodo e incapacidad para la compactación. El calculo del Cs, depende del caudal de alimentación (Qts), el cual sería el mismo que el calculado anteriormente para el tanque de igualación (QaTI), y del área superficial del sedimentador (As), la cual se calcula del volumen actual del tanque (Vts) el cual es de 23 m³ y de la altura (hs) la cual es de 3,3 m.

El segundo parámetro será la Carga sobre el vertedero de salida (Cv), el cual está en función del perímetro de circunferencia del tanque (Lv), el cual se calcula como el 60 % del área de paso del fluido (con base al diámetro del tanque (Dt) y un 30 % de obstrucción al paso del mismo. Los valores de Cv establecidos como aceptables son menores a 250 m²/día.

2.5.1 CALCULO DE LA TASA DE DESBORDAMIENTO SUPERFICIAL (Cs)

$$A_s = \frac{V_{ts}}{h_s} = \frac{23 \text{ m}^3}{3,3 \text{ m}} = 6,96 \text{ m}^2$$

$$C_s = \frac{Q_{ts}}{A_s} = \frac{40,37 \text{ l/s}}{6,96 \text{ m}^2} = 5,79 \frac{\text{l}}{\text{s.m}^2}$$

2.5.2 CALCULO DE LA LA CARGA SOBRE EL VERTEDERO DE SALIDA

$$Dt = \sqrt{(4 \times As) / \Pi} = \sqrt{(4 \times 6,96 \text{ m}^2) / 3,1416} = 2,97 \text{ m}$$

$$Lv = \Pi \times Dt \times 0,60 = 3,1416 \times 2,97 \text{ m} \times 0,60 = 5,61 \text{ m}$$

$$Cv = \frac{Qts}{Lv} = \frac{40,37 \text{ l/s} \times 1 \text{ m}^3 / 1000 \text{ l} \times 86400 \text{ s} / 1}{5,61 \text{ m}} = 621,74 \text{ m}^3/\text{día.m.}$$

2.5.3 CALCULO DE TIEMPO DE RETENCIÓN ACTUAL

$$trs = \frac{Vts}{Qts} = \frac{23 \text{ m}^3 \times 1000 \text{ l} / 1 \text{ m}^3}{40,37 \text{ l/s}} = 569,72 \text{ s} = 9,49 \text{ min}$$

2.6 VERIFICACIÓN DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE LODOS

Mediante la realización de unas pruebas de filtración en el Laboratorio Ecológico Ordaz (auditor externo de la empresa), se pudo determinar algunos parámetros físicos del lodo, necesarios para la verificación del sistema de tratamiento del tanque almacenamiento de lodos. Estos parámetros son los siguientes:

Concentración del lodo: 60 ml de lodo/ l de muestra = 0,06 l de lodo/l de muestra

Densidad del lodo: 8.000 mg/l

2.6.1 ESTIMACIÓN DEL CAUDAL DIARIO DE LODO (Q lodo)

Este calculo se realiza a partir del caudal de alimentación total de la planta de tratamiento (Qt), calculado anteriormente en la sección 1, punto N° 4, del anexo A, debido que a partir de este equipo el caudal de alimentación se mantiene constante para los demás equipos del sistema.

Qlodo = Qt X Concentración del lodo

$$Qlodo = 3.487,33 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} \times \frac{0,06 \text{ l de lodo}}{\text{l de muestra}} \times \frac{1000 \text{ l}}{1 \text{ m}^3} = 209.239,8 \frac{\text{l de lodo}}{\text{día}}$$

2.6.2 CÁLCULO DEL ÍNDICE DE PRODUCCIÓN DE LODO

PI = Densidad del lodo X Qlodo

$$PI = 8.000 \frac{\text{mg}}{\text{l}} \times 209.239,8 \frac{\text{l de lodo}}{\text{día}} \times 1*10^{-6} \frac{\text{kg}}{\text{mg}} = 1673,91 \frac{\text{kg de lodo}}{\text{día}}$$

2.6.3 VERIFICACIÓN DEL TIEMPO DE RETENCIÓN EN EL TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE LODO (Tr)

El tiempo de retención se verifica utilizando el volumen de diseño del tanque de almacenamiento de lodo (**Vtl**), el cual es de 33 m³ y el caudal diario de lodo que está produciendo la planta.

$$\mathbf{Vtl} = \mathbf{Qlodo} \times \mathbf{tral}$$

$$\mathbf{tral} = \frac{\mathbf{Vtl}}{\mathbf{Qlodo}} = \frac{33 \text{ m}^3}{209.239,8 \frac{\text{l}}{\text{día}} \times 0,001 \frac{\text{m}^3}{\text{l}} \times \frac{1 \text{ día}}{86.400 \text{ s}}} = 13626,47 \text{ s} = 3,78 \text{ h}$$

2.7 VERIFICACIÓN DEL TANQUE DE ESPESADO Y ACONDICIONAMIENTO DE LODOS

Este sedimentador ha sido diseñado para trabajar por lotes de 10 m³ (volumen del tanque); para procesar un volumen de 33 m³ de lodos (provenientes del tanque de almacenamiento de lodos), deben enviarse 3 lotes de 10 m³, con una duración mínima de procesamiento de 3 horas cada uno (tiempo de residencia de diseño). Pero en estos momentos se están procesando los 33 m³ de lodos (**Vtl**), en un período de 3,78 horas (**tral**), por lo tanto cada lote de 10 m³ que pasa al tanque de espesamiento, solo puede durar 1,26 h (tercera parte del **tral**), debido a que el tanque de almacenamiento tiende a vaciarse ya que constantemente le está llegando lodo del tanque sedimentador primario, como se evidencia (1,26 h) es considerablemente menor al tiempo de residencia para el cual fue diseñado (3 h).

2.8 VERIFICACIÓN DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE AGUA TRATADA

Actualmente se requiere almacenar un volumen de agua tratada superior al diseño, sin variar el tiempo de retención. El exceso de agua tratada (**Qexet**) es de 33,86 l/s, el cual fue calculado anteriormente en la sección 1, cálculo 5.1, del presente anexo. Se proyecta almacenar toda el agua tratada proveniente del sistema de tratamiento en un tanque adicional cuya capacidad de almacenaje será calculado con el caudal excedente actual con respecto al caudal de diseño y tomando en consideración un factor de seguridad de 20%.