



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA



**IMPLEMENTACIÓN DE MEJORAS EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES EN LA EMPRESA HENKEL VENEZOLANA S.A.**

Autores

Delgado, Natalie

Rondón, José

Valencia, Julio de 2012



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA



**IMPLEMENTACIÓN DE MEJORAS EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES EN LA EMPRESA HENKEL VENEZOLANA S.A.**

Tutor académico

Prof. Iván Parra C.

Tutor industrial

Lic. Betsabé Díaz Cróquer

Autores

Delgado, Natalie

Rondón, José

Valencia, Julio de 2012



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA



**IMPLEMENTACIÓN DE MEJORAS EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES EN LA EMPRESA HENKEL VENEZOLANA S.A.**

*Trabajo Especial de Grado presentado ante la ilustre Universidad de Carabobo para
optar al título de Ingeniero Químico*

Tutor académico

Prof. Iván Parra C.

Tutor industrial

Lic. Betsabé Díaz Cróquer

Autores

Delgado, Natalie

Rondón, José

Valencia, Julio de 2012



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA



CONSTANCIA DE APROBACIÓN

Los abajo firmantes, miembros del jurado designado para estudiar el Trabajo Especial de Grado Titulado: **“IMPLEMENTACIÓN DE MEJORAS EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN LA EMPRESA HENKEL VENEZOLANA S.A.”**, realizado por los bachilleres: Delgado H. Natalie E., C.I. 19.131.502 y Rondón R. José R., C.I. 16.207.453, hacemos constar que hemos revisado y aprobado dicho trabajo y que no nos hacemos responsables de su contenido, pero lo encontramos correcto en su forma y presentación.

Prof. Iván Parra C.

Presidente

Prof. Jeanet Finol

Jurado

Prof. Tony Espinosa

Jurado

Valencia, 16 de julio de 2012

AGRADECIMIENTOS

*A la **Universidad de Carabobo**, nuestra Alma Mater, por brindarnos una excelente formación académica y los conocimientos y habilidades necesarias para lograr nuestras metas.*

*A **Henkel Venezolana S.A.** por darnos la oportunidad de desarrollar esta investigación en su compañía.*

*A **Servicios y Gestión Ambiental - SGA, C.A.** por su colaboración y apoyo en todo momento.*

*A la **Lic. Betsabé Díaz Cróquer** y al **TSU. Elías Rea** por su colaboración, atención y disposición de prestarnos su ayuda.*

*Al **Sr. Miguel Campos** y a las **Lcdas. Janeth González** y **Roselyn Falcón** por sus atenciones durante la estadía en la empresa.*

*Al **Prof. Iván Parra** siempre dispuesto a ayudarnos incondicionalmente y aclarar cualquier duda con mucha paciencia, dedicación y amor por su trabajo.*

*A los **Profesores de nuestra Facultad**, por sus orientaciones y contribución a la formación académica para llevar a cabo esta meta.*

*A nuestros **Padres, hermanos y amigos** y a todas aquellas personas que de una u otra forma contribuyeron en este gran logro.*

A todos Ustedes, mil gracias.

DEDICATORIA

A Dios Todopoderoso, ingeniero universal, que siempre ilumina mi camino y me llena de esperanza para poder alcanzar mis sueños y metas contra cualquier adversidad.

A mis Padres Rafael y Yasmin, fuentes de sabiduría y apoyo inagotable, por darme la vida, que a través de sus sacrificios, dedicación, constancia y preocupación lograron convertirme en lo que soy, reciban este, su triunfo.

A mis hermanos: Rafael, Pebbles y José Elias. Por ser mis grandes amigos y apoyarme incondicionalmente en todo momento para seguir adelante, todos mis logros estarán siempre dedicados a ustedes.

*A **Natalie**, mi fiel compañera, por su apoyo y comprensión, por darme la fuerza de voluntad para seguir adelante y así alcanzar juntos este triunfo. Gracias por confiar en mí.*

A mis sobrinos Santiago, Valeria, Sofía y María José, por brindarme cada día momentos de alegría y felicidad.

A todos aquellos grandes amigos y compañeros, por los interminables días y noches compartidos, luchas y sacrificios necesarios para llegar al cumplimiento de este gran logro.

A todas aquellas personas que a pesar de las adversidades siempre creyeron en mí.

Mi triunfo, nuestro triunfo.

José Rafael Rondón Rivera

DEDICATORIA

A Dios Todopoderoso por darme sabiduría, fuerzas, comprensión y mucha paciencia en los momentos más difíciles y por todo lo bueno y afortunada que ha sido mi vida.

A mis Padres F. Rubén y O. Magaly por enseñarme que las cosas se obtienen con trabajo, sinceridad y humildad y que todo tiene su momento en la vida.

A mi hermana Nohelis por brindarme su apoyo, sinceridad total, alegría y comprensión para entender nuestras vidas y por estar a mi lado incondicionalmente.

A mi familia en especial a mis Tías: Luisa, Nancy, Iskel, Jackeline y Conchita por ser mi ejemplo de honestidad y de mujeres fuertes y trabajadoras.

A mis compañeros de la UC y amigos: Eliney, Giovanna, Endwin y Bottaro sin su apoyo y ánimos de seguir adelante en los momentos más duros, no hubiese podido (ustedes son mi tribu por si no la tenían).

A José Rafael (Refo) por llegar a mi vida cuando menos lo pensaba y cambiarla totalmente y darle un giro positivo y por lograr ésta meta juntos, somos invencibles.

***A todos mil gracias,
Natalie E. Delgado H.***



RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo principal implementar mejoras en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de una Empresa que elabora una amplia gama de productos, entre los que destacan: sanitizantes, tratamiento de superficie, adhesivos (base acuosa) y surfactantes a nivel industrial. Se realiza un análisis de los procesos industriales de generación de efluentes y las condiciones actuales de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales. Luego de ejecutar pruebas de tratabilidad, se diseñan alternativas de mejoras del sistema, seleccionando entre estas propuestas la más adecuada, la cual debe generar un aumento de la eficiencia y cumplir con la normativa ambiental vigente, posteriormente esta alternativa es introducida, acompañada de su plan de control operativo y finalmente se determina la relación costo-beneficio del establecimiento de este proyecto.

Este trabajo fue realizado en la sede de Henkel Venezolana S.A ubicada en la zona industrial Pruinca en Guacara, Estado Carabobo.

Esta investigación fue desarrollada utilizando como metodología principal el ciclo de Deming-PHVA/PDCA, el cual describe la secuencia de acción mediante cuatro (4) sencillos pasos: planificar, hacer, verificar y actuar. Se trata de una investigación a partir de datos originales o primarios. La metodología utilizada se basó en la toma de datos de forma directa; sin manipular o controlar variables. Sin embargo, se utilizó información de series históricas, y en general, la recolección y organización de datos se analizó mediante procedimientos estadísticos y modelos matemáticos. El análisis del proceso productivo se llevo a cabo mediante la recopilación de datos para verificar y calcular la calidad del efluente identificando de esta manera los parámetros que incumplen la normativa ambiental, seguidamente se realizaron simulaciones del proceso de coagulación-floculación a través de prueba de jarras, proceso seleccionado como el más adecuado para el tipo de contaminantes presentes utilizando una matriz cualitativa y otra cuantitativa. Se realizó el análisis de las unidades necesarias para poder adecuar e implementar la nueva lógica de tratamiento, diseñando las unidades faltantes y realizando cambios a aquellas existentes. Tomando en cuenta para cada unidad de tratamiento los parámetros de control y sus respectivos rangos óptimos de operación,



las causas y consecuencias de las posibles desviaciones y las medidas tanto preventivas como correctivas, se elaboró una carta de control operativo utilizada como principal herramienta para asegurar el óptimo funcionamiento de la PTAR. El cálculo del costo de ejecución del proyecto se determinó tomando en cuenta los costos de implementación y modificación de unidades, expresados en el visor de costos referenciales del Colegio de Ingenieros de Venezuela, y los costos por mantenimiento y operación. El ahorro ponderado del proyecto abarca la multa máxima establecida por la normativa ambiental y el costo aproximado de dos días de parada de producción.

Se logró determinar que la calidad de los efluentes generados en el proceso productivo orienta a la utilización de una lógica de tratamiento físico-químico. Además se establece la necesidad de aplicar un estricto control operativo de la PTAR con el fin de mejorar y mantener la eficiencia de dichos procesos. En el mismo orden de ideas, se comprueba que los costos de ejecución del proyecto de Bs. 356.543,42 no son comparables con los beneficios, tanto económicos de Bs. 2.837.800,00 (ahorro) como ambientales, obtenidos por la aplicación.

Entre las conclusiones más relevantes se tienen que el efluente generado en las áreas productivas de la empresa es enviado a la PTAR existente a razón de 0,44 L/s promedio, con un valor máximo de 1,76 L/s y un mínimo de 0,22 L/s con desviaciones media de 0,27 L/s y estándar de 0,39 L/s. Entre los parámetros evaluados con concentraciones superiores a los límites máximos permitidos por el Decreto 3.219 se encontraron: sólidos suspendidos, sólidos sedimentables, aceites y grasas vegetales y animales, detergentes, fenoles, sulfatos, aluminio, sulfitos y hierro. La alternativa a implementar que cumple con la mayor puntuación de criterios es la coagulación-floculación.

Entre las recomendaciones más importantes resaltan: adquirir instrumentación necesaria como pH-metro para dosificación de químicos y turbidímetro para llevar a cabo el control de los parámetros establecidos por la normativa ambiental así como evaluar la eficiencia del proceso; y si se requiere llegar a cuerpo de aguas, se sugiere realizar un estudio para implementar la unidad de ósmosis inversa como segunda etapa de tratamiento, desviando solamente entre el 40 y 50 % del caudal producido.



ÍNDICE GENERAL

	Pág.
Introducción	1
Capítulo I: Planteamiento del Problema	3
1.1 Descripción del problema	3
1.2 Formulación del problema	7
1.2.1 Situación actual	7
1.2.2 Situación deseada	7
1.3 Objetivos	8
1.3.1 General	8
1.3.2 Específicos	8
1.4 Justificación	9
1.5 Limitaciones	9
Capítulo II: Marco Teórico	11
2.1 Antecedentes	11
2.1.1 FEAL, Á. (2009, Junio)	11
2.1.2 BELLO, Y., LARA, R. (2006, Marzo).....	11
2.1.3 SAINZ, J. A. (2004, Enero)	12
2.1.4 VARÓ, G. Colaboradores: SÁNCHEZ Y., PRATS R. (2003, Junio).....	12
2.1.5 FRAGACHÁN, A., LORENZÓN, E. (2005, Noviembre)	13
2.2 Fundamentos teóricos.....	14
2.2.1 Concepto de aguas residuales	14
2.2.2 Análisis estadístico de caudales de aguas residuales	16
2.2.3 Características físicas, químicas y biológicas del agua residual	17
2.2.3.1 Características físicas: definición y utilidad	18
2.2.3.2 Características químicas: definición y aplicación	20
2.2.3.3 Gases	27
2.2.3.4 Características biológicas: definición y aplicación.....	28
2.2.4 Elección de los procesos del tratamiento	29
2.2.5 Fases de tratamientos	30



	Pág.
2.2.5.1 Pre-tratamientos.....	30
2.2.5.2 Tratamientos primarios.....	32
2.2.5.3 Tratamientos secundarios	35
2.2.5.4 Tratamientos terciarios.....	36
Capítulo III: Marco Metodológico	41
3.1 Tipo de investigación	41
3.2 Desarrollo sistemático de la investigación	41
3.2.1 Análisis de los procesos industriales de generación de efluentes y las condiciones actuales de la planta de tratamiento de aguas residuales de Henkel Venezolana S.A.....	42
3.2.1.1 Análisis del proceso industrial	42
3.2.1.2 Identificación de los materiales y compuestos utilizados en el proceso productivo	42
3.2.1.3 Identificación de cada una de las áreas de generación de efluentes	43
3.2.1.4 Determinación de los efluentes que llegan a la Planta de Tratamiento	43
3.2.1.5 Análisis de la caracterización suministrada por parte de la empresa	45
3.2.1.6 Verificación del cumplimiento de los parámetros de la normativa ambiental vigente en el Decreto N° 3.219	47
3.2.2 Realización de pruebas de tratabilidad para el diseño de alternativas de mejora del sistema de tratamiento de aguas residuales.....	47
3.2.2.1 Determinación de unidades de tratamiento a simular en los ensayos de tratabilidad	48
3.2.2.2 Planificación de los ensayos	48
3.2.2.3 Ejecución de ensayos de tratabilidad, entre ellos pruebas de jarra, a los efluentes generados en el proceso productivo	49



	Pág.
3.2.2.4 Caracterizaciones de las aguas resultantes para determinar las eficiencias de los ensayos correspondientes a cada unidad de tratamiento	50
3.2.2.5 Análisis comparativo de las unidades utilizadas actualmente, con aquellas simuladas en los ensayos	51
3.2.2.6 Estudio de unidades existentes a ser rediseñadas o sustituidas, y de unidades nuevas que deban adicionarse	52
3.2.2.7 Diseño de alternativas de mejora a partir de aquellas unidades simuladas que evidenciaron mejor eficiencia	53
3.2.3 Selección de la alternativa más adecuada, que genere un aumento de la eficiencia en la planta de tratamiento de aguas residuales y cumpla con la normativa ambiental vigente.	53
3.2.3.1 Descripción de cada propuesta de mejora	53
3.2.3.2 Determinación de los criterios de selección	53
3.2.3.3 Ponderación de cada criterio	54
3.2.3.4 Identificación de atributos de cada alternativa en función de los criterios	54
3.2.3.5 Análisis técnico de cada iniciativa de mejora	55
3.2.3.6 Aplicación de las matrices de selección cualitativa y cuantitativa ..	55
3.2.3.7 Selección de la alternativa que obtenga la mejor puntuación en ambas matrices de selección	56
3.2.4 Implementar la alternativa seleccionada	57
3.2.4.1 Diseño de nuevas unidades de tratamiento	57
3.2.4.2 Implementación de nuevas unidades	58
3.2.4.3 Rediseño de unidades existentes	58
3.2.4.4 Ejecución de cambios, sustitución o eliminación de unidades actuales	60
3.2.5 Elaboración del plan de control operativo de la planta de tratamiento de aguas residuales	61
3.2.5.1 Determinación de parámetros de control	61



	Pág.
3.2.5.2 Asignación de personal capacitado para la evaluación de parámetros de control	61
3.2.5.3 Determinación de la unidad que se requiere controlar	61
3.2.5.4 Selección del método de evaluación	62
3.2.5.5 Elección de la frecuencia del control de parámetros	62
3.2.5.6 Selección de rangos óptimos de cada parámetro	62
3.2.5.7 Explicación de por qué se deben realizar las mediciones para el control operativo.....	63
3.2.5.8 Determinación de las consecuencias que generan los parámetros fuera de rango o especificación	63
3.2.5.9 Verificación de los equipos utilizados para la medición de los parámetros	63
3.2.5.10 Elaboración de documentación o registros de control.....	64
3.2.5.11 Determinación de un plan de reacción	64
3.2.5.12 Elaboración de la carta o planilla de control con las Acciones Correctivas aplicadas y el análisis de la causa raíz de la desviación del rango óptimo	64
3.2.6 Determinación de la relación costo-beneficio de la implementación de la alternativa seleccionada	63
3.2.6.1 Determinación de indicadores económicos.....	65
3.2.6.1.1 Determinación de los costos por implantación de las unidades de tratamiento faltantes	66
3.2.6.1.2 Determinación de los costos por modificación de las unidades de tratamiento actuales	66
3.2.6.1.3 Determinación de los costos por mantenimiento	66
3.2.6.1.4 Determinar costos de operación	66
3.2.6.2 Determinación de la relación costo-beneficio	67
3.2.6.2.1 Determinación del beneficio y ahorro generado por las mejoras propuestas	67



	Pág.
3.2.6.2.2 Determinación de los costos necesarios para poner en marcha el nuevo proyecto.....	67
3.2.6.2.3 Determinación de los beneficios ambientales	68
Capítulo IV: Análisis de Resultados	70
4.1 Análisis de los procesos industriales de generación de efluentes y las condiciones actuales de la planta de tratamiento de aguas residuales de Henkel Venezolana S.A.	70
4.1.1 Análisis del proceso industrial.....	70
4.1.2 Identificación de los materiales y compuestos utilizados en el proceso productivo	71
4.1.3 Identificación de cada una de las áreas de generación de efluentes	72
4.1.4 Determinación de los efluentes que llegan a la Planta de Tratamiento	73
4.1.5 Análisis de la caracterización suministrada por parte de la empresa	75
4.1.6 Verificación del cumplimiento de los parámetros de la normativa ambiental vigente en el Decreto N° 3.219	76
4.2 Realización de pruebas de tratabilidad para el diseño de alternativas de mejora del sistema de tratamiento de aguas residuales.	78
4.2.1 Determinación de unidades de tratamiento a simular en los ensayos de tratabilidad	78
4.2.2 Planificación de los ensayos.....	79
4.2.3 Ejecución de ensayos de tratabilidad, entre ellos pruebas de jarra, a los efluentes generados en el proceso productivo	82
4.2.4 Caracterizaciones de las aguas resultantes para determinar las eficiencias de los ensayos correspondientes a cada unidad de tratamiento	85
4.2.5 Análisis comparativo de las unidades utilizadas actualmente, con aquellas simuladas en los ensayos.....	87
4.2.6 Estudio de unidades existentes a ser rediseñadas o sustituidas, y de unidades nuevas que deban adicionarse	89
4.2.7 Diseño de alternativas de mejora a partir de aquellas unidades simuladas que evidenciaron mejor eficiencia.....	91



	Pág.
4.3 Selección de la alternativa más adecuada, que genere un aumento de la eficiencia en la planta de tratamiento de aguas residuales y cumpla con la normativa ambiental vigente.....	93
4.3.1 Descripción de cada propuesta de mejora	93
4.3.2 Determinación de los criterios de selección.....	96
4.3.3 Ponderación de cada criterio	97
4.3.4 Identificación de atributos de cada alternativa en función de los criterios	98
4.3.5 Análisis técnico de cada iniciativa de mejora.....	100
4.3.6 Aplicación de las matrices de selección cualitativa y cuantitativa.....	103
4.3.7 Selección de la alternativa que obtenga la mejor puntuación en ambas matrices de selección	104
4.4 Implementar la alternativa seleccionada	104
4.4.1 Diseño de nuevas unidades de tratamiento.....	104
4.4.2 Implementación de nuevas unidades	105
4.4.3 Rediseño de unidades existentes	106
4.4.4 Ejecución de cambios, sustitución o eliminación de unidades actuales .	108
4.5 Elaboración del plan de control operativo de la planta de tratamiento de aguas residuales.....	111
4.5.1 Determinación de parámetros de control.....	111
4.5.2 Asignación de personal capacitado para la evaluación de parámetros de control.....	111
4.5.3 Determinación de la unidad que se requiere controlar	113
4.5.4 Selección del método de evaluación	114
4.5.5 Elección de la frecuencia del control de parámetros	114
4.5.6 Selección de rangos óptimos de cada parámetro.....	115
4.5.7 Explicación de por qué se deben realizar las mediciones para el control operativo.....	115
4.5.8 Determinación de las consecuencias que generan los parámetros fuera de rango o especificación	116



	Pág.
4.5.9 Verificación de los equipos utilizados para la medición de los parámetros	117
4.5.10 Elaboración de documentación o registros de control	118
4.5.11 Determinación de un plan de reacción	118
4.5.12 Elaboración de la carta o planilla de control con las Acciones Correctivas aplicadas y el análisis de la causa raíz de la desviación del rango óptimo.....	119
4.6 Determinación de la relación costo-beneficio de la implementación de la alternativa seleccionada.....	119
4.6.1 Determinación de indicadores económicos	119
4.6.1.1 Determinación de los costos por implantación de las unidades de tratamiento faltantes.....	119
4.6.1.2 Determinación de los costos por modificación de las unidades de tratamiento actuales.....	120
4.6.1.3 Determinación de los costos por mantenimiento.....	120
4.6.1.4 Determinar costos de operación.....	120
4.6.2 Determinación de la relación costo beneficio.....	121
4.6.2.1 Determinación del beneficio y ahorro generado por las mejoras propuestas	121
4.6.2.2 Determinación de los costos necesarios para poner en marcha el nuevo proyecto.....	122
4.6.2.3 Determinación de los beneficios ambientales	122
Conclusiones	123
Recomendaciones	127
Referencias bibliográficas	128
Apéndice A. Cálculos típicos	132
Apéndice B. Datos experimentales	140
Apéndice C. Resultados	144
Apéndice D. Tablas y figuras bibliográficas	175
Apéndice E. Cotizaciones de implementación y rediseño de unidades	184
Apéndice F. Análisis de cotizaciones	186



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla		Pág.
3.1	Caudales estimados de efluentes a PTAR y sus desviaciones media y estándar	44
3.2	Valores mínimos, promedios y máximos de caracterizaciones trimestrales y desviaciones media y estándar más importantes del efluente crudo.....	45
3.3	Valores mínimo, promedio y máximo de las cargas promedio de DBO, N y P del efluente crudo y entrada del tratamiento biológico	46
3.4	Valores mínimo, promedio y máximo de la relación de la DBO respecto a la DQO, N y P del efluente crudo y entrada del tratamiento biológico.....	47
3.5	Unidad, operación o sistema de tratamiento según remoción de los contaminantes	48
3.6	Prueba de jarras 1	49
3.7	Prueba de jarras 3.....	49
3.8	Prueba de jarras 4.....	50
3.9	Jarra con dosis recomendable, tamaño del floc producido en la coagulación e índice de floculación de Willcomb de cada prueba de jarras.....	51
3.10	Caracterización del efluente crudo y tratado, y parámetros establecidos por la normativa ambiental	51
3.11	Eficiencias teóricas y obtenidas	52
3.12	Valor asignado a cada atributo para la selección de los criterios	54
3.13	Matriz de selección de alternativas cualitativa.....	56
3.14	Matriz de selección de alternativas cuantitativa	56
3.15	Dimensiones de tanques y unidades.....	59
3.16	Volumen útil y total de tanques y unidades	60
3.17	Tiempos de retención de tanques y unidades	60
3.18	Métodos y frecuencia de evaluación de parámetros operativos por unidad de tratamiento y sus rangos óptimos	62
3.19	Carta de control.....	65



Tabla		Pág.
3.20	Costos, ahorro y relación costo beneficio de la implementación de la alternativa.....	68
4.1	Caudales estimados de efluentes a PTAR y sus desviaciones media y estándar	74
4.2	Unidad, operación o sistema de tratamiento según remoción de los contaminantes	78
4.3	Jarra con dosis recomendable, tamaño del floc producido en la coagulación e índice de floculación de Willcomb de cada prueba de jarras.....	86
4.4	Caracterización del efluente crudo y tratado, y parámetros establecidos por la normativa ambiental	87
4.5	Eficiencias teóricas y obtenidas	88
4.6	Dimensiones de tanques y unidades.....	107
4.7	Volumen útil y total de tanques y unidades	107
4.8	Tiempos de retención de tanques y unidades	108
B.1	Caracterización del efluente crudo a PTAR.....	140
B.2	Caracterización del efluente final de PTAR.....	141
B.3	Caracterización del efluente a la salida del tratamiento físico-químico (entrada del tratamiento biológico) de PTAR.....	142
B.4	Eficiencias de tratamiento físico-químico de la PTAR	143
C.1	Lista de inventario de almacén de materiales y sustancias peligrosas.....	145
C.2	Valores mínimos, promedios y máximos de caracterizaciones trimestrales y desviaciones media y estándar más importantes del efluente crudo.....	148
C.3	Valores mínimos, promedios y máximos de caracterizaciones trimestrales y desviaciones media y estándar más importantes de la salida final del efluente	149
C.4	Valores mínimo, promedio y máximo de las cargas promedio de DBO, N y P del efluente crudo y entrada del tratamiento biológico	158
C.5	Valores mínimo, promedio y máximo de la relación de la DBO respecto a la DQO, N y P del efluente crudo y entrada del tratamiento biológico.....	158



Tabla		Pág.
C.6	Prueba de jarras 1	159
C.7	Prueba de jarras 2	159
C.8	Prueba de jarras 3	159
C.9	Prueba de jarras 4	160
C.10	Prueba de jarras 5	161
C.11	Matriz de selección de alternativas cualitativa	162
C.12	Matriz de selección de alternativas cuantitativa	163
C.13	Métodos y frecuencia de evaluación de parámetros operativos por unidad de tratamiento y sus rangos óptimos	165
C.14	Reporte diario	167
C.15	Formato de registro de acciones correctivas, preventivas y de mejora	168
C.16	Carta de control	170
C.17	Costos, ahorro y relación costo-beneficio de la implementación de la alternativa	174
D.1	Ingeniería conceptual del tratamiento a realizar respecto a la relación DBO/DQO	175
D.2	Operaciones y procesos unitarios y sistemas de tratamiento utilizados para eliminar la mayoría de los contaminantes presentes en el agua residual....	176
D.3	Eliminación de constituyentes por medio de operaciones y procesos de tratamientos avanzados	177
D.4	Procesos y operaciones unitarios empleados en la recuperación del agua residual y potencial de eliminación de contaminantes	178
D.5	Índice de floculación de Willcomb	179
D.6	Factores importantes que se deben tener en cuenta en la selección y evaluación de las operaciones y procesos unitarios	180
E.1	Presupuesto de implementación de trampa de sólidos y grasas y aceites..	184
E.2	Presupuesto de rediseño de unidades actuales	185
F.1	Análisis de precios unitarios de la implementación de trampa de sólidos y grasas y aceites	186
F.2	Análisis de precios unitarios del rediseño de unidades actuales	193



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Pág.
1.1	Diagrama de bloques de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.....	4
2.1	Esquema de los sistemas flotación por aire disuelto	34
2.2	Diagrama de flujo del sistema de ósmosis inversa con pre-tratamiento de ultrafiltración	39
2.3	Ósmosis inversa de etapa única.....	40
4.1	Diagrama de bloques general del proceso productivo.....	71
4.2	Efluente crudo	82
4.3	Efluente tratado en prueba de jarras 5	85
4.4	Efluente tratado en prueba de jarras 5 (reacción 48 horas después).....	85
4.5	Tanque (ATKN-04) en su etapa de construcción	106
4.6	Unidades actuales a modificar (lógica de tratamiento).....	110
4.7	Unidades actuales a modificar (lechos).....	110
C.1	Diagrama de flujo del proceso productivo	139
C.2	Comportamiento de la DBO en el efluente crudo entre abril de 2009 y enero 2011	150
C.3	Comportamiento de la DQO en el efluente crudo entre abril de 2009 y enero 2011	151
C.4	Comportamiento del pH en el efluente crudo entre abril de 2009 y enero 2011	152
C.5	Comportamiento de los aceites y grasas vegetales y animales en el efluente crudo entre abril de 2009 y enero 2011.....	153
C.6	Comportamiento de los sólidos suspendidos en el efluente crudo entre abril de 2009 y enero 2011.....	154
C.7	Comportamiento de los sólidos sedimentables en el efluente crudo entre abril de 2009 y enero 2011.....	155
C.8	Comportamiento del fósforo total en el efluente crudo entre abril de 2009 y enero 2011	156



Figura		Pág.
C.9	Comportamiento del nitrógeno total en el efluente crudo entre abril de 2009 y enero 2011	157
C.10	Diagrama del proceso de la PTAR a implementar	164
C.11	Diagrama de flujo de plan de reacción de la PTAR.....	169
D.1	Diamante del fuego según Norma NFPA 704	182
D.2	Comparador para estimar el tamaño del floc producido en la coagulación .	183



INTRODUCCIÓN

El principal objetivo de esta investigación se basa en implementar mejoras a la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la empresa Henkel Venezolana S.A., realizando un análisis de los procesos industriales de generación de efluentes en las condiciones actuales de la planta de tratamiento de aguas residuales, consecutivamente se realizan pruebas de tratabilidad para el diseño de alternativas de mejora del sistema de tratamiento de aguas residuales, se selecciona entre las alternativas propuestas la que genere un aumento de la eficiencia y cumpla con la normativa ambiental vigente, posteriormente se implementa y elabora su plan de control operativo. Finalmente se determina la relación costo-beneficio de la alternativa seleccionada.

El área de aplicación donde se desarrolla esta investigación es la Ingeniería Ambiental, específicamente la rama de tratamiento de aguas residuales, donde se involucran procesos biológicos y químicos, en el que ocurren respectivamente reacciones biológicas y químicas, además de diversas operaciones unitarias principalmente las transferencias de momento y masa.

A través del estudio detallado se logra analizar e identificar los efluentes generados en dichos procesos de producción, por medio de una revisión de cada una de las áreas y consulta con el personal que labora en Henkel Venezolana S.A., se procede a realizar pruebas de tratamiento de los efluentes generados para elaborar distintas posibilidades de mejora del sistema de tratamiento, al escoger las unidades apropiadas para su diseño o rediseño y mejora, dependiendo de la efectividad de la prueba de tratabilidad ejecutada, se analiza cada alternativa generada utilizando para ello matrices de selección cuantitativas y cualitativas, teniéndose en cuenta las unidades de tratamiento existentes, las caracterizaciones del efluente y los rangos de los parámetros a cumplir dentro de la normativa ambiental así como: costos, espacio físico, disponibilidad y operabilidad entre otros, estableciendo éstos como criterios de selección. Las opciones a implementar dependerán intrínsecamente de cada alternativa y sus especificaciones. Haciendo un seguimiento de los parámetros escogidos para la alternativa seleccionada y aplicada, se traza una línea de calidad operativa o plan de



control de las unidades de tratamiento. Mediante el empleo de indicadores económicos, se obtiene la información necesaria para la determinación de la relación costo-beneficio del proyecto.

La estructura de presentación de esta investigación cuenta en el Capítulo I la descripción y formulación del problema, objetivos, justificación y limitaciones. En el Capítulo II se exponen de forma resumida artículos de referencias más importantes y los fundamentos teóricos que sustentan esta investigación. En el Capítulo III se incluye la metodología empleada para el desarrollo y cumplimiento de los objetivos planteados. En el Capítulo IV se suministran los resultados obtenidos, así como el análisis de cada uno. Finalmente se expresan las conclusiones y recomendaciones generadas de la investigación.

Este trabajo especial de grado es de gran importancia ya que logra solventar una problemática real presente en Henkel Venezolana S.A., lo cual es ventajoso para la empresa porque representará una alternativa para el mejoramiento del desempeño industrial, evitando así agravar o crear penalizaciones y hacer mejoras ambientales, evitando el deterioro de nuestros ecosistemas y la conservación de los recursos hídricos nacionales, brindando a su vez la oportunidad de mantener sus efluentes dentro de las especificaciones exigidas por el Decreto 3.219 y por el mismo Grupo HENKEL.

Adicionalmente, el proyecto es de utilidad metodológica ya que el desarrollo sistemático de esta investigación servirá como apoyo a futuras investigaciones que se realicen en el área ambiental, específicamente en el área de tratamiento de aguas residuales y ello puede tener aplicación de mejoras ambientales en distintos campos industriales.



CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

A continuación se presenta una perspectiva preliminar fundamentada en el origen del problema y en la formulación del mismo, cuya base radica en la descripción de la situación actual y la deseada por la empresa. Finalmente se indican los objetivos planteados.

1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La empresa HENKEL fue fundada inicialmente en Düsseldorf, Alemania a finales del siglo XVIII por Fritz Henkel. A principios de los años 70 la empresa abrió operaciones en nuestro país. La sede de Henkel Venezolana S.A. está ubicada en la zona industrial Pruinca en Guacara, Estado Carabobo.

Esta empresa elabora una amplia gama de productos, entre los que destacan: tratamiento de superficie, adhesivos (base acuosa) y surfactantes a nivel industrial. El proceso productivo de Henkel Venezolana S.A. se inicia con la recepción de materia prima cuya utilización es aprobada o no, por control de calidad. Si ésta es aprobada, pasa a producción en donde se selecciona según sus características a que equipo debe ser alimentada. Los equipos que componen la producción son básicamente reactores entre los cuales están el reactor plástico, vidriado y de polvo, además de un grupo de mezcladores. La producción se realiza en una etapa, es decir, se emplea un sólo equipo para la elaboración del producto final el cual es llevado a control de calidad para luego ser almacenado y despachado.

Las aguas provenientes del proceso productivo son descargadas directamente a la planta de tratamiento, exceptuando las aguas empleadas en el reactor plástico, las cuales son reutilizadas dos veces en el proceso y luego almacenadas en un tanque, que al llenarse, es descargado a la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR). La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Henkel Venezolana S.A., consta de unidades de recepción y homogeneización, tratamiento físico-químico, tratamiento biológico, desinfección y tratamiento de lodos (actualmente en desuso y/o colapsados). (Ver figura 1.1)

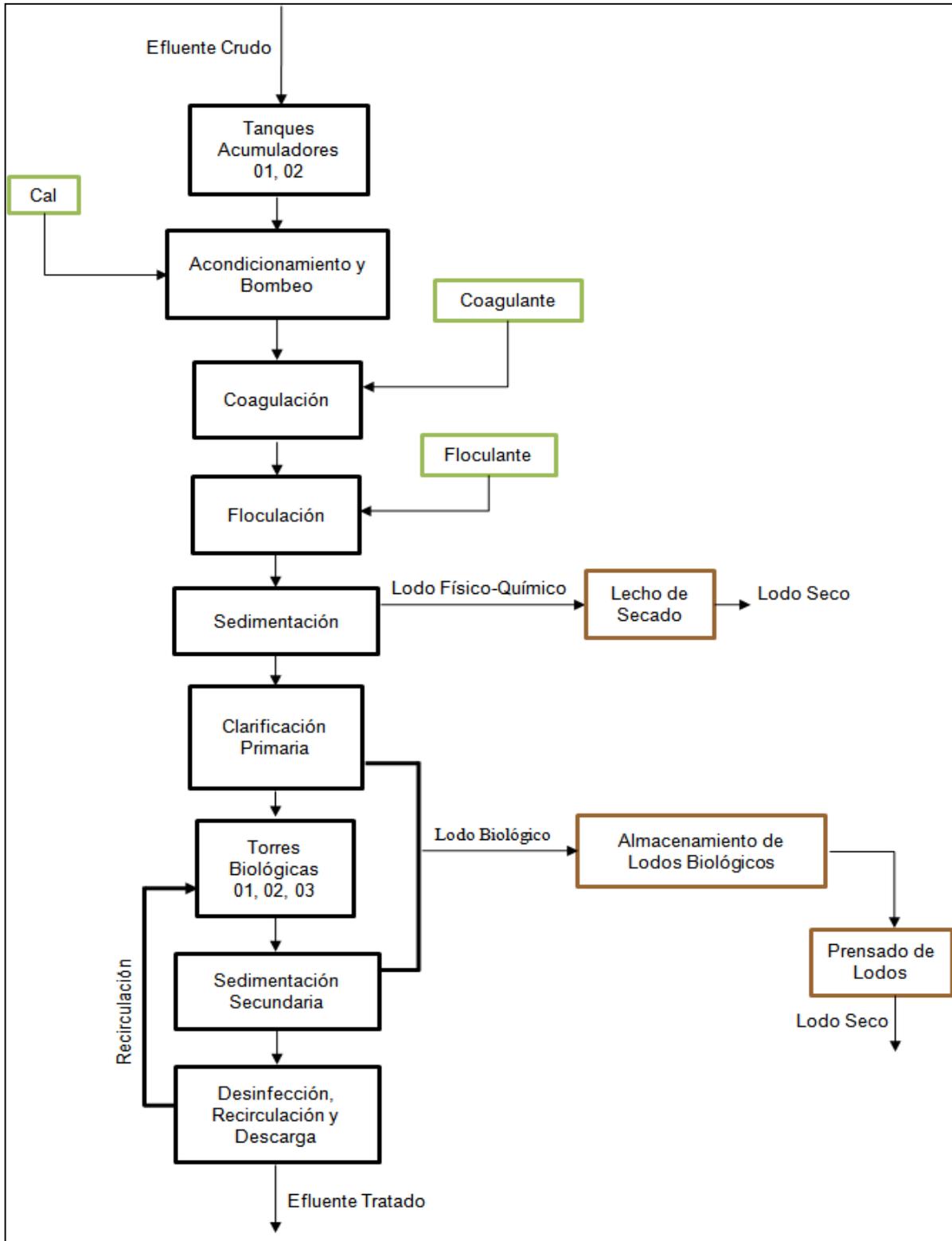


Figura 1.1. Diagrama de bloques de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.



Los efluentes generados en las áreas de proceso son enviados a un tanque de recepción principal donde el efluente es homogeneizado a través de agitación constante por aire. El efluente desborda en un segundo tanque de homogeneización que alimenta el tanque de bombeo principal. Ambos tanques tienen entradas independientes de las diferentes etapas de producción. También se tiene un tanque de acumulación de aguas de lluvias, pero su conexión hacia el tanque de bombeo está bloqueada. Existe un tercer tanque de forma rectangular y con baffles, que se supone era una trampa de aceite y grasa, esta entrada también está bloqueada. Debido a la excesiva entrada de sólidos sedimentables a estos tanques de igualación, los mismos están ocupados en un alto porcentaje de su altura total por estos sólidos, lo cual disminuye considerablemente su tiempo de residencia hidráulico y puede generar olores.

El efluente que se recibe en el tanque de bombeo es enviado al proceso de tratamiento físico-químico. Para ello se dispone de bombas para el servicio de succión desde los tanques de homogeneización y alimentación a la unidad de coagulación. El proceso de acondicionamiento consiste en la adición de cal para control de pH previo al proceso físico-químico, se cuenta con agitación por aire.

En el proceso de tratamiento físico-químico el efluente es puesto en contacto con aditivos químicos encargados de la desestabilización de compuestos presentes, formación de flóculos y posterior remoción por sedimentación. El efluente floculado descarga en un tanque de sedimentación donde se separan los flóculos formados para ser desechados en forma de lodo hacia lechos de secado. La descarga se realiza por gravedad y una vez secos, los lodos son almacenados en tambores para su disposición.

Previo al tratamiento biológico, se cuenta con dos (2) sedimentadores primarios circulares de fondo cónico, cuya finalidad es la remoción por sedimentación, de las partículas remanentes en el efluente del proceso físico-químico. Su alimentación es por bombeo desde el tanque de sedimentación de lodos físico-químico. El efluente clarificado de los Sedimentadores Primarios descarga en una Torre Biológica donde se lleva a cabo la estabilización de la materia orgánica biodegradable presente en el agua residual.

El Agua Residual se alimenta a las secciones en su parte superior por medio de



vertederos y el efluente percola a través del relleno sintético originándose el contacto entre el efluente y la biopelícula adherida. El efluente tratado descarga por el fondo de la torre hacia un tanque acumulador desde donde se bombea el efluente hacia dos sedimentadores secundarios en paralelo, donde son separados el efluente del lodo biológico formado en la torre y el lodo acumulado en el fondo del sedimentador, que descarga hacia la alimentación del filtro prensa (fuera de operación) o al lecho de secado (también fuera de operación). El efluente clarificado es enviado hacia tanque de recirculación y descarga, de donde se bombea parte del efluente tratado hacia la torre biológica y descarga de efluente tratado hacia canal de recolección municipal. Como etapa final de tratamiento, se realiza la dosificación de solución de hipoclorito de sodio, ésta se realiza en el tanque de recirculación y descarga.

La calidad del efluente que recibe la Planta de Tratamiento, se estableció partiendo de las caracterizaciones realizadas por un laboratorio externo desde el mes de abril de 2010 a enero de 2011, resaltando las siguientes observaciones: valores promedios de DBO 5.665,43 mg/L; relación DBO/DQO valor promedio de 0,30, evidenciando la presencia de material no biodegradable en el efluente, relación entre la DBO y concentraciones de nutrientes, tales como: nitrógeno y fósforo (DBO:N:P), arrojaron en el efluente crudo un valor promedio de 100:4,50 para DBO:N y 100:16,01 para DBO:P, siendo la relación DBO:P superior a las máxima recomendada para la aplicación de un tratamiento biológico. Adicionalmente, los datos evaluados muestran parámetros con concentraciones superiores a los límites máximos permitidos por la normativa ambiental vigente en el Decreto N° 3.219 Gaceta Oficial Extraordinaria N° 5.305, correspondiente a la calidad de las descargas de efluentes al lago de Valencia: DBO, DQO, sólidos suspendidos, sólidos sedimentables, aceites y grasas, detergentes, fósforo total, fenoles, zinc, nitrógeno, aluminio, hierro y sulfitos.

Esta recopilación de datos, realizadas por un laboratorio externo a la empresa, evidencia que el sistema de tratamiento de aguas residuales en Henkel Venezolana S.A., no mantiene dentro de las especificaciones los valores de los parámetros del efluente líquido, lo que podría contaminar los cuerpos de agua en donde este efluente desemboca y de esta manera afectar a las comunidades cercanas a la cuenca del lago de Valencia. Además la empresa podría ser objeto de penalizaciones por parte de



organismos gubernamentales lo que representa un gasto y afecta su prestigio.

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Este trabajo de investigación pretende proponer e implementar alternativas para el mejoramiento del sistema de Tratamiento de Aguas Residuales de la empresa Henkel Venezolana S.A., a través del diagnóstico de las condiciones operativas al generar opciones para obtener efluentes que cumplan con las exigencias del Decreto 3.219 y del Grupo HENKEL.

1.2.1 Situación actual

Debido a cambios en la línea de producción de la empresa, las Aguas Residuales presentan una alteración tanto en el grado de contaminación como en el tipo de contaminantes, entre los cuales destacan: sólidos suspendidos y sedimentables, aceites y grasas, detergentes, fenoles, sulfatos, aluminio, sulfitos y hierro. Para el caudal de Aguas Residuales que se genera actualmente (38.220 L/día) se evidencia que algunas de las unidades de Tratamiento se encuentran sub-diseñadas y otras por el contrario presentan un evidente sobre-diseño lo cual genera un descontrol operativo de la PTAR, adicionalmente varias unidades importantes se encuentran fuera de servicio o inexistentes. De continuar esta situación la empresa puede enfrentar problemas legales por incumplimiento del Decreto 3.219, trayendo como principal consecuencia efecto irreversible sobre el ambiente y posibles sanciones por parte de los entes gubernamentales.

1.2.2 Situación deseada

Lograr el mejoramiento del sistema de Tratamiento de Aguas Residuales de Henkel Venezolana S.A. y cumplir con los parámetros exigidos por el Decreto 3.219 y el Grupo HENKEL.

En cuanto al alcance, se pretende generar y seleccionar alternativas, efectuar un



monitoreo de los parámetros del efluente para corregir si es necesario fallas en el sistema. Si las alternativas generadas son aplicadas, se podrá lograr el mejoramiento del Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales, disminuyendo el daño ambiental ocasionado y el gasto que implica para la empresa las penalizaciones por violaciones a la norma ambiental mencionada, así como los gastos ocasionados por fallas en la operatividad de las unidades de tratamiento.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 General

Implementar mejoras a la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la empresa HENKEL VENEZOLANA S.A.

1.3.2 Específicos

1. Analizar los procesos industriales de generación de efluentes y las condiciones actuales de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de HENKEL VENEZOLANA S.A.
2. Realizar pruebas de tratabilidad para el diseño de alternativas de mejora del sistema de Tratamiento de Aguas Residuales.
3. Seleccionar entre las alternativas propuestas la más adecuada, la cual genere un aumento de la eficiencia en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales y cumpla con la Normativa Ambiental vigente.
4. Implementar la alternativa seleccionada.
5. Elaborar el plan de control operativo de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.
6. Determinar la relación costo-beneficio de la implementación de la alternativa seleccionada.



1.4 JUSTIFICACIÓN

El mejoramiento del sistema de tratamiento de aguas residuales es de gran importancia para la empresa HENKEL VENEZOLANA S.A., ya que permite mantener los efluentes dentro de las especificaciones exigidas por el Decreto 3.219 y por el mismo Grupo HENKEL. Este trabajo es ventajoso para la empresa porque presentará una alternativa para el mejoramiento en el desempeño industrial de la compañía, evitando así agravar o crear penalizaciones y una mala reputación.

La realización de esta investigación tendrá un valor teórico pues permitirá a sus autores adquirir conocimientos más amplios en el área de Tratamiento de Aguas y los reglamentos que rigen esta actividad industrial. Adicionalmente, este estudio representa la aplicación práctica de los conocimientos adquiridos a lo largo de la formación profesional universitaria en la industria y afines, además de adquirir destrezas en el desempeño laboral.

Este proyecto es de utilidad metodológica, ya que el desarrollo sistemático de esta investigación servirá como un apoyo a futuras investigaciones que se realicen en el área ambiental, específicamente en el área de tratamiento de aguas residuales.

Las soluciones generadas como consecuencia de la propuesta y resultados obtenidos en este trabajo de investigación, pueden tener aplicaciones de mejoras ambientales en muchos campos industriales, evitando el deterioro de nuestros ecosistemas y la conservación de los recursos hídricos nacionales.

1.5 LIMITACIONES

La empresa no cuenta con los dispositivos necesarios para el análisis y monitoreo de los parámetros del efluente, lo cual acarrea gastos adicionales al hacerse necesario la contratación de un laboratorio externo. La ejecución de este proyecto también dependerá de la aprobación económica por parte de la Directiva de la Empresa para la modificación de la infraestructura, contratación de laboratorios externos para la realización de análisis ambientales y la adquisición de equipos y reactivos necesarios para el tratamiento de los efluentes. Otra limitación importante sería el espacio



disponible en planta para el rediseño, sustitución y adición de las unidades de tratamiento. Adicionalmente, la restricción de acceso a cierta información que la empresa considera confidencial por ser parte de su línea comercial, limita la determinación cuantitativa y cualitativa del efluente generado.



CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

A continuación se exponen de forma resumida referencias bibliográficas más importantes y los fundamentos teóricos que sustentan la realización de esta investigación.

2.1 ANTECEDENTES

2.1.1 FEAL, Á. (2009, Junio). Se abordan los principios que se consideran fundamentales para la definición de técnicas de depuración de sólidos en suspensión (SS), presentes en los vertidos industriales. Este artículo se enfoca desde la naturaleza física de los SS como partículas, con peso y determinado tamaño.

Se establecieron diferentes tipos o grupos de tratamientos para las aguas residuales por dos categorías: las que aplican los efectos físicos y las que incluyen tratamientos tipos químicos y biológicos, es decir operaciones y procesos unitarios respectivamente. Se puede conseguir la sedimentación de las partículas coloidales o más finas mediante su precipitación química, a través de los efectos de coagulación y floculación, en un tratamiento combinado físico-químico. Los coagulantes típicamente usados por su efectividad comprobada son: sulfatos de hierro y de aluminio, sulfato ferroso, cloruro férrico, ácidos o bases fuertes y polielectrolitos.

2.1.2 BELLO, Y., LARA, R. (2006, Marzo). Esta investigación tiene como propósito fundamental evaluar el arranque y puesta en marcha del sistema de tratamiento de aguas residuales en una empresa tabacalera. La misma se lleva a cabo mediante la identificación de los factores que inciden en el incremento de los niveles de nitrógeno y fósforo; el diagnóstico de los equipos y unidades que conforman la planta de tratamiento; la caracterización y análisis de las aguas del proceso de tratamiento, esta última por medio de curvas del comportamiento de los niveles de nitrógeno y fósforo; el cálculo de la eficiencia del sistema de tratamiento; y por último, se realiza una valoración para verificar que los niveles de nitrógeno y fósforo a la salida del sistema cumplan con los requerimientos ambientales exigidos por el Ministerio del Ambiente y



los Recursos Naturales Renovables. Entre las conclusiones más importantes obtenidas del estudio de caracterización realizado durante la etapa inicial de estabilización de la planta, se tiene que la falta de extracción del lodo de desecho en los sedimentadores es la principal causa de que las altas edades del fango, comprendidas entre 24 y 122 días, sobrepasen considerablemente el valor de diseño 10,5 días, el comportamiento de los niveles de nitrógeno y demanda bioquímica de oxígeno durante el mes de marzo evidencia que el sistema implementado para la eliminación de estos parámetros en su etapa inicial se está llevando a cabo en las condiciones para las cuales fue diseñado; las eficiencias de remoción obtenidas son de $(98,7 \pm 0,2) \%$ para la demanda bioquímica de oxígeno, $(92 \pm 4) \%$ para la demanda química de oxígeno; $(60 \pm 20) \%$ para el nitrógeno y de $(48 \pm 18) \%$ para el fósforo.

2.1.3 SAINZ, J. A. (2004, Enero). En esta investigación se describen las bases de cálculo y los criterios de selección de los distintos tipos de separadores a utilizar en plantas industriales que tengan aguas residuales con presencia de grasas y aceites, especialmente aquellas que manejan elevadas cargas de combustibles líquidos u otros tipos de hidrocarburos. Las técnicas analíticas empleadas en la determinación de grasas y aceites se realizaron a través de métodos gravimétricos instrumentales mediante espectrofotometría por infrarrojos y un ensayo de STS (*susceptibility to oil separation*), el cual da como resultado las grasas y aceites totales (el conjunto de estos compuestos que se encuentran en estado libre, emulsionados y disueltos).

Para que se pueda lograr el proceso de separación se debe eliminar el agua residual de las grasas y aceites contaminantes, además que se deben cumplir las siguientes condiciones para los contaminantes: que esté en fase líquida, se encuentren en estado libre, tengan una densidad menor que la del agua y el tamaño de la gota sea mayor a un valor predeterminado en el diseño.

2.1.4 VARÓ, G. Colaboradores: SÁNCHEZ Y., PRATS R. (2003, Junio). Esta investigación caracteriza las aguas provenientes del proceso productivo en una industria de acabados de piel. Los efluentes de esta industria se caracterizan por poseer una elevada demanda química de oxígeno (DQO), así como contenidos



elevados de aceites y grasas, sólidos y color debido a los reactivos utilizados durante el proceso productivo. Sólo se enfoca en determinar las características de los efluentes que producen este tipo de industrias, pero no se estudian ni proponen métodos para ajustar los valores de los parámetros a las exigencias de la normativa. Dentro de los métodos utilizados en la caracterización de las aguas residuales se encuentran los procedimientos electrométricos, espectrofotométrico UV selectivo, gravimétricos, colorimétricos, entre otros. El valor medio encontrado para los parámetros color, sólidos en suspensión DBO, DQO, cromo total, sobrepasan las concentraciones máximas establecidas en la normativa del RD 849/1986.

De este estudio se concluyó que las aguas vertidas poseen una elevada conductividad, demanda química de oxígeno, turbidez, aceites y grasas en la etapa de neutralizado, ya que al colocar las pieles en contacto con el agua sueltan aquellos componentes adquiridos en la curtición.

2.1.5 FRAGACHÁN, A., LORENZÓN, E. (2005, Noviembre). Esta investigación proyectó evaluar alternativas para el mejoramiento del sistema de tratamiento de aguas residuales en una empresa que elabora una amplia gama de productos químicos.

Para llevar a cabo la realización de este trabajo, se realizó un diagnóstico del proceso de tratamiento de aguas residuales, con la finalidad de identificar las áreas críticas. Luego, se generaron alternativas de solución y se seleccionaron las más adecuadas que dieron resultados confiables en el mejoramiento del sistema. Finalmente, se implementaron a escala piloto las alternativas seleccionadas y se estimó la rentabilidad de las mismas con el fin de verificar si éstas generaron beneficios. Para el cumplimiento de estos objetivos se requirió una metodología basada en un muestreo directo. Uno de los logros más relevantes de la investigación fue la tendencia polinomial de la concentración de los parámetros que se encontraron fuera de especificaciones en los últimos tres años.



2.2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.2.1 CONCEPTO DE AGUAS RESIDUALES

Aguas residuales, utilizadas o servidas provenientes de una comunidad, industria, granja u otro establecimiento, con contenido de materiales disueltos y suspendidos. Extraído del Decreto N° 883. Normas para la clasificación y control de la calidad de los cuerpos de agua y vertidos o efluentes líquidos.

Los vocablos sinónimos: líquido cloacal, agua servida, líquido residual o agua usada, son utilizados en el campo de la Ingeniería Sanitaria para nominar aquellas aguas de abastecimiento que, habiendo sido usadas para fines diversos, acusan en su composición, generalmente, pequeñas cantidades de sustancias extrañas agregadas por los comercios, industrias y núcleos domésticos que las utilizan (Rivas, 2006).

Los contaminantes del agua se clasifican en tres categorías: (1) **químicos**, (2) **físicos** y (3) **biológicos**. Los contaminantes químicos comprenden tanto productos químicos orgánicos como inorgánicos. El aspecto fundamental resultante de la contaminación por compuestos orgánicos es la disminución de oxígeno como resultante de la utilización del existente en el proceso de degradación biológica de dichos compuestos. Ésta disminución de oxígeno disuelto lleva a perturbaciones indeseables del medio y de la biota en ella asentada. En el caso de la contaminación derivada de la presencia de compuestos inorgánicos el resultado más importante es su posible efecto tóxico, más que la disminución en oxígeno. Sin embargo, hay casos en los cuales los compuestos inorgánicos presentan una demanda de oxígeno, contribuyendo a la disminución del mismo.

Los iones de metales pesados, tóxicos para los seres humanos, son importantes contaminantes de este grupo. Se presentan en las aguas residuales industriales resultado de las operaciones de tratamiento de superficies, así como de las industrias de fabricación de pigmentos y pinturas, incluyen mercurio, arsénico, cobre, zinc, níquel, cromo, plomo, cadmio; su presencia, aun en pequeñas cantidades (concentraciones mínimas detectables), puede causar serios problemas. La contaminación por nitratos es también un aspecto peligroso. Los fluoruros, por otro lado, parecen ser beneficiosa su



presencia en aguas potables en unas cantidades mínimas.

Algunos contaminantes físicos incluyen (1) cambios térmicos (contaminación térmica), es el caso de aguas procedentes de plantas industriales, relativamente calientes después de haber sido utilizadas en los intercambiadores (enfriadores); (2) el color; (3) turbidez (originada por la descarga de aguas que contienen sólidos en suspensión); (4) espumas (los detergentes constituyen una causa importante de formación de espumas); (5) radiactividad. Adicionalmente, los contaminantes biológicos son los responsables de la transmisión de enfermedades en las aguas de abastecimiento (Ramalho, 2003).

Para la caracterización del agua residual se emplean tanto métodos de análisis cuantitativos, para la determinación precisa de la composición química del agua residual, como análisis cualitativos para el conocimiento de las características físicas y biológicas. En esta sección se describen los contaminantes de interés en el tratamiento del agua residual:

- a. Los *sólidos en suspensión*, pueden dar lugar al desarrollo de depósitos de fango y de condiciones anaerobias cuando se vierte agua residual sin tratar al entorno acuático.
- b. La *materia orgánica biodegradable* compuesta principalmente por proteínas, carbohidratos, grasas animales; la materia orgánica biodegradable se mide, en la mayoría de las ocasiones, en función de la DBO (demanda bioquímica de oxígeno) y de la DQO (demanda química de oxígeno), si se descarga al entorno sin tratar su estabilización biológica puede llevar al agotamiento de los recursos naturales de oxígeno y al desarrollo de condiciones sépticas.
- c. Los *patógenos* pueden transmitir enfermedades contagiosas por medio de estos organismos presentes en el agua residual.
- d. Los *nutrientes*, conformados esencialmente para el crecimiento, por el nitrógeno, fósforo y carbono; cuando se vierten al entorno acuático, los mismos pueden favorecer el crecimiento de una vida acuática no deseada; cuando se vierten al terreno en cantidades excesivas, también pueden provocar la contaminación del agua subterránea.



- e. Los *contaminantes prioritarios* son compuestos orgánicos e inorgánicos determinados en base a su carcinogenicidad, mutagenicidad, teratogenicidad o toxicidad aguda conocida o sospechada, muchos de estos compuestos se hallan presentes en el agua residual.
- f. La *materia orgánica refractaria* tiende a resistir los métodos convencionales de tratamiento, un ejemplo típico los fenoles y los pesticidas agrícolas.
- g. Los *metales pesados* son, frecuentemente, añadidos al agua residual en el curso de ciertas actividades comerciales e industriales, y puede ser necesario eliminarlos si se pretende reutilizar el agua residual.
- h. Los *sólidos inorgánicos disueltos*, tales como; calcio, sodio y sulfatos, se añaden al agua de suministro a consecuencia del uso del agua y es posible que se deban eliminar si se va a reutilizar el agua residual (Metcalf & Eddy, Inc, 1996).

2.2.2 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE CAUDALES DE AGUAS RESIDUALES

En el desarrollo de sistemas de gestión de aguas residuales suele ser necesario determinar las características estadísticas de los caudales. El primer paso en la obtención de las características estadísticas de una serie de datos consiste en ver si los datos se ajustan a una distribución normal o si son sesgados. En la mayoría de los casos prácticos, la determinación del tipo de distribución se lleva a cabo representando los datos en diferentes papeles probabilísticos y comprobando si pueden o no ser ajustados por una recta. Si se trata de una distribución normal, los parámetros que se emplean para caracterizar la serie de datos incluyen, entre otros, la media, la mediana, la moda, la desviación típica, el coeficiente de asimetría y el coeficiente de curtosis. Si se trata de una distribución sesgada, resulta relevante la media geométrica así como la desviación típica (Metcalf & Eddy, Inc, 1996).

El término precisión indica la reproducibilidad de las medidas; en otras palabras, la cercanía entre resultados obtenidos *exactamente de la misma manera*. En general, la precisión de una medida se determina con facilidad, simplemente al repetir la medida



en muestras duplicadas. Por lo general son tres los términos que se utilizan para describir la precisión de un conjunto de datos duplicados: desviación estándar, varianza y coeficiente de una variación, los tres son funciones que informan sobre cuánto difiere de la medida de un resultado x_i , lo que se llama desviación de la media o absoluta. La mayoría de las pruebas utilizan la desviación estándar de la muestra, la probabilidad de que estas pruebas estadísticas proporcionen los resultados correctos aumenta cuando aumenta el grado de confianza de s (desviación estándar), a medida que aumenta el número de datos (N), s se convierte en una mejor manera de estimar la desviación estándar de la población, σ , cuando N es mayor que veinte (20), por lo general s es un buen estimador de σ (Skoog, West, Holler y Crouch, 2005).

2.2.3 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS Y BIOLÓGICAS DEL AGUA RESIDUAL

Las características físicas más importantes del agua residual son el contenido total de sólidos, término que engloba la materia en suspensión, la materia sedimentable, la materia coloidal y la materia disuelta. Otras características físicas importantes son el olor, la temperatura, la densidad, el color y la turbiedad.

El estudio de las características químicas de las aguas residuales se aborda en los siguientes: (1) la materia orgánica, (2) la medición del contenido orgánico, (3) la materia inorgánica y (4) los gases presentes en el agua residual. El hecho de que la medición del contenido en materia orgánica se realice por separado viene justificado por su importancia en la gestión de la calidad del agua y en el diseño de las instalaciones de tratamiento de aguas.

Dentro de la caracterización biológica se tiende por lo general a estudiar: (1) principales grupos de microorganismos biológicos presentes, tanto en aguas superficiales como residuales, así como aquellos que intervienen en los tratamientos biológicos; (2) organismos patógenos presentes en las aguas residuales; (3) organismos utilizados como indicadores de contaminación; (4) métodos empleados para determinar los organismos indicadores, y (5) métodos empleados para determinar la toxicidad de las aguas tratadas.



2.2.3.1 Características Físicas: definición y utilidad

Sólidos totales. Analíticamente, se define el contenido de sólidos totales como la materia que se tiene como residuo después de someter al agua a un proceso de evaporación entre 103 y 105 °C. No se define como sólida aquella materia que se pierde durante la evaporación debido a su alta presión de vapor. Los sólidos sedimentables se definen como aquellos que sedimentan en el fondo de un recipiente de forma cónica en el transcurso de un período de 60 minutos. Los sólidos totales, o residuo de la evaporación, pueden clasificarse en filtrables o no filtrables (sólidos en suspensión) haciendo pasar un volumen conocido del líquido por un filtro. La fracción filtrable de los sólidos corresponde a sólidos coloidales y disueltos. La fracción coloidal está compuesta por las partículas de materia de tamaños entre 0.001 y 1 µm. Los sólidos disueltos están compuestos de moléculas orgánicas e inorgánicas e iones en disolución en el agua. No es posible eliminar la fracción coloidal por sedimentación. Normalmente, para eliminar la fracción coloidal es necesaria la oxidación biológica o la coagulación complementadas con la sedimentación.

Olores. Normalmente, los olores son debidos a los gases liberados durante el proceso de descomposición de la materia orgánica. El agua residual reciente tiene un olor peculiar, algo desagradable, que resulta más tolerable que el del agua residual séptica. El olor más característico del agua residual séptica es debido a la presencia del sulfuro de hidrógeno que se produce al reducirse los sulfatos a sulfitos por acción de microorganismos anaerobios. Las aguas residuales industriales pueden contener compuestos olorosos en sí mismo, o compuestos con tendencia a producir olores durante diferentes procesos de tratamiento. La problemática de los olores está considerada como la principal causa de rechazo a la implantación de instalaciones de tratamiento de aguas residuales.

Temperatura. La temperatura del agua residual suele ser siempre más elevada que la del agua de suministro, hecho principalmente debido a la incorporación de agua caliente procedente de las casas y los diferentes usos industriales. La temperatura del



agua un parámetro muy importante dada su influencia, tanto sobre el desarrollo de la vida acuática como sobre las reacciones químicas y velocidad de reacción, así como sobre la aptitud del agua para ciertos usos útiles. Por otro lado, el oxígeno es menos soluble en agua caliente que en agua fría. El aumento en la velocidad de las reacciones químicas que produce un aumento de la temperatura, combinada con la reducción del oxígeno presente en las aguas superficiales, es causa frecuente de agotamiento de las concentraciones de oxígeno disuelto. Estos efectos se ven amplificados cuando se vierten cantidades considerables de agua caliente a las aguas naturales receptoras. Es preciso tener en cuenta que un cambio brusco de temperatura puede conducir a un fuerte aumento en la mortalidad de la vida acuática. Además, las temperaturas anormalmente elevadas pueden dar lugar a una indeseada proliferación de plantas acuáticas y hongos.

Densidad. Se define la densidad del agua residual como su masa por unidad de volumen. Es una característica física importante del agua residual dado que de ella depende la potencial formación de corrientes de densidad en fangos sedimentación y otras instalaciones de tratamiento. La densidad de las aguas residuales domésticas que no contengan grandes cantidades de residuos industriales es prácticamente la misma que la del agua a la misma temperatura. En ocasiones, se emplea como alternativa a la densidad el peso específico del agua residual, obtenido como cociente entre la densidad del agua residual y la densidad del agua. Ambos parámetros, la densidad y el peso específico, dependen de la temperatura y varían en función de la concentración total de sólidos en el agua residual.

Color. El agua residual reciente suele tener un color grisáceo. Sin embargo, al aumentar el tiempo de transporte en las redes de alcantarillado y al desarrollarse condiciones más próximas a la anaerobia, el color del agua residual cambia gradualmente de gris a gris oscuro, para finalmente adquirir color negro. Llegado este punto, suele clasificarse el agua residual como séptica. Algunas aguas residuales industriales pueden añadir color a las aguas residuales domésticas. En la mayoría de los casos, el color gris, gris oscuro o negro del agua residual es debido a la formación



de sulfuros metálicos por reacción del sulfuro liberado en condiciones anaerobias con los metales presentes en el agua residual.

Turbiedad. La turbiedad, como medida de las propiedades de transmisión de la luz del agua, es otro parámetro que se emplea para indicar la calidad de las aguas vertidas o de las aguas naturales en relación con la materia coloidal y residual en suspensión. Aun así, no es posible afirmar que existe una relación entre la turbiedad y la concentración de sólidos en suspensión del agua no tratada. No obstante, si están razonablemente ligados la turbiedad y los sólidos en suspensión en el caso de efluentes procedentes de la decantación secundaria en el proceso de fangos activados.

2.2.3.2 Características Químicas: definición y aplicación

Materia orgánica. Cerca de 70 % de los sólidos en suspensión y del 40 % de los sólidos filtrables del agua residual de concentración media son de naturaleza orgánica. Son sólidos que provienen de los reinos animal y vegetal, así como de las actividades humanas relacionadas con la síntesis de compuestos orgánicos. Junto con las proteínas, los hidratos de carbono, las grasas y aceites, y la urea, el agua residual también contiene gran número de moléculas orgánicas sintéticas en pequeñas cantidades, cuya estructura puede ser desde muy simple a extremadamente compleja, tales como: agentes tensoactivos, contaminantes orgánicos prioritarios, compuestos orgánicos volátiles y pesticidas de uso agrícola, entre otros.

Proteínas. Las proteínas son los principales componentes del organismo animal, mientras que su presencia es menos relevante en el caso de organismos vegetales. La composición química de las proteínas es muy compleja e inestable, pudiendo adoptar diferentes mecanismos de descomposición. Algunas son solubles en agua, mientras que otros no lo son. Todas las proteínas contienen carbono, común a todas las sustancias orgánicas, oxígeno e hidrógeno. Además, como característica distintiva, contienen una elevada cantidad de nitrógeno y en muchos casos, también contienen azufre, fósforo y hierro. La urea y las proteínas son los principales responsables de la



presencia de nitrógeno en las aguas residuales. La existencia de grandes cantidades de proteínas en el agua residual puede ser origen de olores fuertemente desagradables debido al proceso de descomposición.

Hidratos de carbono. Ampliamente distribuidos por la naturaleza, los hidratos de carbono incluyen azúcares, almidones, celulosa y fibra de madera, compuestos todos ellos presentes en el agua residual. Los hidratos de carbono contienen carbono, oxígeno e hidrógeno. Algunos hidratos de carbono son solubles en agua, principalmente los azúcares, mientras que otros, como los almidones, son insolubles. Desde punto de vista del volumen y la resistencia a la descomposición, la celulosa es el hidrato de carbono cuya presencia en el agua residual es más importante. La destrucción de la celulosa es un proceso que se desarrolla sin dificultad en el terreno, principalmente gracias a la actividad de diversos hongos, cuya acción es especialmente notable en condiciones ácidas.

Grasas, grasas animales y aceites. El término grasa, de uso extendido, engloba las grasas naturales, aceites, ceras y otros constituyentes presentes en las aguas residuales. Las grasas se hallan entre los compuestos orgánicos de mayor estabilidad, y su descomposición por acción bacteriana no resulta sencilla. La presencia de grasas y aceites en el agua residual puede provocar problemas en las plantas de tratamiento. Si no se elimina el contenido en grasa antes del vertido del agua residual, puede interferir con la vida biológica en aguas superficiales y crear películas y acumulaciones de materia flotante desagradables.

Agentes tensoactivos. Los agentes tensoactivos están formados por moléculas de gran tamaño, ligeramente solubles en agua, y que son responsables de la aparición de espumas en las plantas de tratamiento y en la superficie de los cuerpos de agua receptores de los vertidos de agua residual. Tienden a concentrarse en la interfase aire-agua. Durante el proceso de aireación del agua residual se concentran en la superficie de las burbujas de aire creando una espuma muy estable.



Contaminantes prioritarios. La elección de qué contaminantes deben ser considerados como prioritarios se ha hecho en función de su relación o potencial relación con procesos carcinógenos, mutaciones, teratomas o su alta toxicidad. Muchos de los contaminantes prioritarios de origen orgánico corresponden a compuestos orgánicos volátiles (COV). Entre los compuestos residuales típicos producidos en actividades agrícolas, comerciales e industriales que están clasificados como contaminantes prioritarios se encuentran: arsénico, selenio, cadmio, cromo, plomo, mercurio, plata, benceno, etil-benceno, tolueno, metoxicloro, entre otros.

Compuestos orgánicos volátiles (COV). Normalmente se consideran como compuestos orgánicos volátiles aquellos compuestos orgánicos que tienen su punto de ebullición por debajo de los 100 °C, y/o una presión de vapor mayor que 1 mmHg a 25 °C. El vertido de estos compuestos a las plantas de tratamiento, especialmente a las obras de cabecera de plantas, tiene especial importancia por cuanto puede afectar directamente a la salud de los trabajadores.

Pesticidas y productos químicos de uso agrícola. Estos productos no son constituyentes comunes de las aguas residuales, sino que suelen incorporarse a las mismas, fundamentalmente, como consecuencia de la escorrentía de parques, campos agrícolas y tierras abandonadas. Muchos de estos compuestos químicos están catalogados como contaminante prioritarios.

Medida del contenido orgánico. A lo largo de los años, se han ido desarrollando diferentes ensayos para la determinación del contenido orgánico de las aguas residuales. En general, los diferentes métodos pueden clasificarse en dos grupos, los empleados para determinar altas concentraciones de contenido orgánico y los empleados para determinar las concentraciones a nivel de traza. El primer grupo incluye los siguientes ensayos de laboratorio: (1) demanda bioquímica de oxígeno (DBO), (2) demanda química de oxígeno (DQO) y (3) carbono orgánico total (COT).



Demanda bioquímica de oxígeno (DBO). El parámetro de contaminación orgánica más ampliamente empleado, aplicable tanto a aguas residuales como a aguas superficiales, es la DBO a 5 días (DBO_5). La determinación del mismo está relacionada con la medición del oxígeno disuelto que consumen los microorganismos en el proceso de oxidación bioquímica de la materia orgánica; es decir, es la cantidad de oxígeno requerido para la respiración de los microorganismos responsables de la estabilización (oxidación) de la materia orgánica a través de su actividad metabólica en medio aerobio, la demanda bioquímica de oxígeno representa indirectamente una medida de la concentración de materia orgánica biodegradable contenida en el agua. Como consecuencia de una actividad biológica, la DBO está influenciada, principalmente, por los factores tiempo y temperatura (Rivas, 2006).

Los resultados de los ensayos de DBO se emplean para: (1) determinar la cantidad aproximada de oxígeno que se requerirá para estabilizar biológicamente la materia orgánica presente; (2) dimensionar las instalaciones de tratamiento de aguas residuales; (3) medir la eficacia de algunos procesos de tratamiento, y (4) controlar el cumplimiento de las limitaciones a que están sujetos los vertidos.

Demanda química de oxígeno (DQO). El ensayo de la DQO se emplea para medir el contenido de materia orgánica tanto de las aguas naturales como de las residuales, y representa al igual que la DBO la expresión del poder polucional de un agua. En el ensayo, se emplea un agente químico fuertemente oxidante en medio ácido para la determinación del equivalente de oxígeno de la materia orgánica que puede oxidarse. El ensayo de la DQO también se emplea para la medición de la materia orgánica presente en aguas residuales tanto industriales como municipales que contengan compuestos tóxicos para la vida biológica. La DQO está basada en el hecho de que todos los compuestos orgánicos (con raras excepciones) pueden ser oxidados a dióxido de carbono y agua mediante la acción, en medio ácido, de agente fuertemente oxidante (Rivas, 2006).

La DQO de un agua residual suele ser mayor que su correspondiente DBO, siendo esto debido al mayor número de compuestos cuya oxidación tiene lugar por vía química frente a los que se oxidan por vía biológica. En muchos tipos de aguas



residuales es posible establecer una relación entre los valores de la DBO y la DQO. Una vez establecida la correlación entre ambos parámetros, pueden emplearse las medidas de la DQO para el funcionamiento y control de las plantas de tratamiento (Metcalf & Eddy, Inc, 1996).

Carbono orgánico total (COT). Otro método para medir la materia orgánica presente en el agua es el método COT, especialmente indicado para pequeñas concentraciones de materia orgánica. El ensayo se lleva a cabo inyectando una cantidad conocida de la muestra en un horno a alta temperatura o en un medio químicamente oxidante. En presencia de un catalizador, el carbono orgánico se oxida a anhídrido carbónico, la producción del cual se mide cuantitativamente con un analizador de infrarrojos. La aireación y la acidificación de la muestra antes del análisis eliminan los posibles errores debidos a la presencia de carbono inorgánico. Si se conoce la presencia de compuestos orgánicos volátiles en la muestra, se suprime la aireación para evitar su separación. El ensayo puede realizarse en muy poco tiempo. No obstante, algunos compuestos orgánicos presentes pueden no oxidarse, lo cual conducirá a valores medidos del COT ligeramente inferiores a las cantidades realmente presentes en la muestra (Metcalf & Eddy, Inc, 1996).

Materia inorgánica. Son varios los componentes inorgánicos de las aguas residuales y naturales que tiene importancia para la determinación y control de la calidad del agua. Las concentraciones de las sustancias inorgánicas en el agua aumentan tanto por el contacto del agua con las diferentes formaciones geológicas, como por las aguas residuales, tratadas o sin tratar, que a ella se descargan. Puesto que las concentraciones de los diferentes constituyentes inorgánicos pueden afectar mucho los usos del agua, conviene examinar la naturaleza de algunos de ellos, especialmente aquellos que han sido incorporados al agua superficial durante su ciclo de uso.

Potencial de Hidrógeno (pH). La concentración del ion hidrógeno es un parámetro de calidad de gran importancia tanto para el caso de aguas naturales como



residuales. El intervalo de concentraciones para la adecuada proliferación y desarrollo de la mayor parte de la vida biológica es bastante estrecho y crítico. El agua residual con concentraciones de ion hidrógeno inadecuadas presenta dificultades de tratamiento con procesos biológicos, y el efluente puede modificar la concentración de iones hidrógeno en las aguas naturales, si ésta no se modifica antes de la evacuación de las aguas. El pH de los sistemas acuosos puede medirse convenientemente con un pHmetro. Para el mismo procedimiento de medición también se emplean soluciones indicadoras y papeles de pH que cambian de color a determinados valores. El color de la solución o del papel se compara entonces con el color de series normalizadas.

Cloruros. Otro parámetro de calibre importante es la concentración de cloruros. Puesto que los métodos convencionales de tratamiento de las aguas no contemplan la eliminación de cloruros en cantidades significativas, concentraciones de cloruros superiores a las normales pueden constituir indicadores de que la masa de agua receptora está siendo utilizada para el vertido de aguas residuales.

Alcalinidad. La alcalinidad de un agua residual está provocada por la presencia de hidróxidos, carbonatos y bicarbonatos de elementos como el calcio, el magnesio, el sodio, potasio o el amoníaco. La alcalinidad ayuda a regular los cambios de pH producidos por la adición de ácidos. Normalmente, el agua residual es alcalina, propiedad que adquiere de las aguas de tratamiento, el agua subterránea, y los materiales añadidos en los usos domésticos. La concentración de alcalinidad en un agua residual es importante en aquellos casos en los que se empleen tratamientos químicos, eliminación biológica de nutrientes, y cuando haya que eliminar el amoníaco mediante arrastre por aire.

Nitrógeno. Los elementos nitrógeno y fósforo son esenciales para el crecimiento de protistas y plantas, razón por la cual reciben el nombre de nutrientes o bioestimuladores. Puesto que el nitrógeno es absolutamente básico para la síntesis de proteínas, será preciso conocer datos sobre la presencia del mismo en las aguas, y en qué cantidades, para valorar la posibilidad de tratamiento de las aguas residuales



domésticas e industriales mediante procesos biológicos. Cuando el contenido de nitrógeno sea insuficiente, es preciso añadirlo para hacer tratable el agua residual.

Formas del nitrógeno. El contenido total en nitrógeno está compuesto por nitrógeno orgánico, amoníaco, nitrito y nitrato.

Fósforo. El fósforo también es esencial para el crecimiento de algas y otros organismos biológicos. Debido a que en aguas superficiales tienen lugar nocivas proliferaciones incontroladas de algas, actualmente existe mucho interés en limitar la cantidad de compuestos de fósforo que alcanzan las aguas superficiales por medio de vertidos de aguas residuales domésticas, industriales, y a través de las escorrentías naturales. Las formas más frecuentes en las que se presentan fósforo en soluciones acuosas incluyen el ortofosfato, el polifosfato y los fosfatos orgánicos.

Azufre. El ion sulfato se encuentra, de forma natural, tanto en la mayoría de las aguas de abastecimiento como en el agua residual. Para la síntesis de proteínas, es necesario disponer de azufre, elemento que posteriormente será liberado en el proceso de degradación de las mismas. Los sulfatos se reducen químicamente a sulfuros y a sulfuro de hidrógeno bajo la acción bacteriana en condiciones anaerobias. El sulfuro de hidrógeno acumulado en tuberías puede sufrir entonces oxidación biológica para pasar a formar ácido sulfúrico, corrosivo para las tuberías de alcantarillado.

Metales pesados. Como constituyente importante de muchas aguas también se encuentran cantidades, a nivel de traza, de muchos metales. Entre ellos podemos destacar el níquel, el manganeso, el plomo, el cromo, cadmio, el cinc, el cobre, el hierro y el Mercurio. Muchos de estos metales también están catalogados como contaminantes prioritarios debido a su toxicidad; la presencia de cualquiera de ellos en cantidades excesivas interferirá en gran número de los usos del agua. Es por ello que, a menudo, resulta conveniente medir y controlar las concentraciones de dichas sustancias.



2.2.3.3 Gases

Los gases que con mayor frecuencia se encuentran en aguas residuales brutas son el nitrógeno (N_2), el oxígeno (O_2), el dióxido de carbono (CO_2), el sulfuro de hidrógeno (H_2S), el amoníaco (NH_3), y el metano (CH_4). Los tres primeros son gases de común presencia en la atmósfera, y se encuentran en todas las aguas en contacto con la misma. Los tres últimos proceden de la descomposición de la materia orgánica presente en las aguas residuales.

Oxígeno disuelto. El oxígeno disuelto es necesario para la respiración de los microorganismos aerobios, así como para otras formas de vida. Sin embargo, el oxígeno es sólo ligeramente soluble en agua. La cantidad real de oxígeno y otros gases que pueden estar presente en la solución, viene condicionada por los siguientes aspectos: (1) solubilidad del gas; (2) presión parcial del gas en la atmósfera; (3) temperatura, y (4) pureza del agua (salinidad, sólidos en suspensión, etcétera.). Es considerado, en unión con el análisis de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), la determinación más significativa para los efluentes (Rivas, 2006).

Sulfuro de hidrógeno. Se forma durante el proceso de descomposición de la materia orgánica que contiene azufre, o en la reducción de sulfitos y sulfatos minerales, mientras que su formación queda inhibida en presencia de grandes cantidades de oxígeno. Es un gas incoloro, inflamable, con un olor típicamente característico que recuerda al de huevos podridos. El ennegrecimiento del agua residual y el fango se debe, generalmente, a la formación del sulfuro de hidrógeno que se combina con el hierro presente para formar sulfuro ferroso (FeS) u otros sulfuros metálicos.

Metano. El principal subproducto de la descomposición anaerobia de la materia orgánica del agua residual es el gas metano. El cual es un hidrocarburo combustible de alto valor energético, incoloro e inodoro. Normalmente, no se encuentra en grandes cantidades en el agua residual, puesto que incluso pequeñas cantidades de oxígeno tienden a ser tóxica para los organismos responsables de la producción del metano. No



obstante, en ocasiones, se produce metano como resultado de un proceso de descomposición anaerobia que puede darse en depósitos acumulados en el fondo. En las plantas de tratamiento, el metano se genera en los procesos de tratamiento anaeróbicos empleados para la estabilización de los fangos de aguas residuales.

2.2.3.4 Características Biológicas: definición y aplicación

Microorganismos. Los principales grupos de organismos presentes tanto en aguas residuales como superficiales se clasifican en organismo eucariotas, eubacterias y arqueobacterias. La categoría protista, dentro de los organismos eucariotas, incluye las algas, los hongos y los protozoos. Las plantas tales como los helechos, los musgos, las plantas hepáticas y las plantas de semilla están clasificadas como eucariotas multicelulares. Los vertebrados y los invertebrados están clasificados como animales eucariotas multicelulares. Los virus, también presentes en el agua residual, se clasifican en función del sujeto infectado.

Bacterias. El papel que desempeñan las bacterias en los procesos de descomposición y estabilización de la materia orgánica, tanto en el marco natural como en las plantas de tratamiento es amplio y de gran importancia. Por ello resulta imprescindible conocer sus características, funciones, metabolismo y proceso de síntesis. Los coliformes también se emplean como indicadores de la contaminación por desechos humanos.

Hongos. Junto con las bacterias, los hongos son los principales responsables de la descomposición del carbono en la biosfera. Desde el punto de vista ecológico, los hongos presentan ciertas ventajas sobre las bacterias: pueden crecer y desarrollarse en zonas de baja humedad y en ámbitos con pH bajos. Sin la colaboración de los hongos en los procesos de degradación de la materia orgánica el ciclo del carbono se interrumpiría en poco tiempo, y la materia orgánica empezaría a acumularse.

Algas. Las algas pueden presentar serios inconvenientes en las aguas



superficiales, puesto que pueden reproducirse rápidamente cuando las condiciones son favorables. Uno de los problemas más importante al que se enfrenta la ingeniería sanitaria en el campo de la gestión de la calidad del agua es el de encontrar el proceso de tratamiento que hay que aplicar a las aguas residuales, de modo que los efluentes no favorezcan el crecimiento de algas y demás plantas acuáticas. La solución puede implicar la eliminación del carbono así como de las diferentes formas de nitrógeno y fósforo y alguno de los elementos que se hallan presentes a nivel de traza, como el hierro y el cobalto.

Protozoos. Los protozoos de importancia para el ingeniero sanitario son las amebas, los flagelados y los ciliados libres y fijos. Los protozoos se alimentan de bacterias y otros microorganismos microscópicos. Tiene una importancia capital, tanto para el funcionamiento de los tratamientos biológicos como la purificación de cursos de agua ya que son capaces de mantener el equilibrio natural entre los diferentes tipos de microorganismos, ciertos protozoos son patógenos.

Plantas y animales. Las diferentes plantas y animales que son importantes para el ingeniero sanitario tienen tamaños muy variados: desde los gusanos y rotíferos microscópicos hasta crustáceos macroscópicos. El conocimiento de estos organismos resulta útil a la hora de valorar el estado de lagos y corrientes, al determinar la toxicidad de las aguas residuales evacuadas al medio ambiente, y a la hora de determinar la efectividad de la vida biológica en los tratamientos secundarios empleados para destruir los residuos orgánicos (Metcalf & Eddy, Inc, 1996).

2.2.4 ELECCIÓN DE LOS PROCESOS DEL TRATAMIENTO

El análisis y la elección de los procesos de tratamiento que permitan cumplir con los rendimientos de eliminación establecidos en los permisos de vertido es uno de los aspectos más interesantes y sugestivos del proyecto de una planta de tratamiento. La metodología del análisis de procesos que conducirá a la elección de los procesos de tratamiento para una planta determinada, consta de diferentes pasos y evaluaciones



que variarán en función de la complejidad del proyecto y de la experiencia del ingeniero proyectista. El rendimiento de una planta de tratamiento en la medida del éxito del diseño, tanto si se realiza por la calidad del efluente como si se analiza en base a los porcentajes de eliminación alcanzados para los contaminantes más importantes.

Entre los factores más importantes que se deben tener en cuenta en la elección y evaluación de los procesos de tratamiento, se encuentran: el potencial de aplicación del proceso, el intervalo y la variación de caudal aplicable, características del agua a tratar, eficiencia del tratamiento, residuos, tratamiento de los lodos, limitaciones ambientales, necesidades químicas, necesidades de personal, fiabilidad, complejidad, compatibilidad y disponibilidad de espacio, entre otros (Metcalf & Eddy, Inc, 1996).

Sistemas de simulación y ensayos de tratabilidad. Estos sistemas consisten en simular en un vaso de precipitado o jarra el proceso de coagulación que se produce en la planta de tratamiento y evaluar distintos parámetros durante o al final de los ensayos para caracterizar su funcionamiento. Las pruebas de jarra pueden utilizarse tanto para controlar la coagulación-floculación de una planta de tratamiento existente como para obtener los datos de diseño para el proyecto de nuevas unidades. El objetivo de este ensayo es poder determinar la dosis de coagulantes que produce la más rápida desestabilización de las partículas coloidales en la planta y hace que se forme un floc pesado y compacto que quede fácilmente retenido en los sedimentadores y no se rompa al pasar por el filtro. El aparato de prueba de jarra consta básicamente de un agitador múltiple de velocidad variable que puede crear turbulencia simultáneamente en seis vasos de precipitado. En el mismo se trata de reproducir las condiciones en las cuales se produce la floculación en la planta de tratamiento (Arboleda, 2000).

2.2.5 FASES DE TRATAMIENTOS

2.2.5.1 Pre-tratamientos

Se define como el proceso de eliminación de los constituyentes de las aguas residuales cuya presencia pueda provocar problemas de mantenimiento y



funcionamiento de los diferentes procesos, operaciones y sistemas auxiliares. Como ejemplos de pre tratamientos podemos citar el desbaste para la eliminación de sólidos gruesos, la flotación para la eliminación de grasas y aceites, y el desarenado para eliminación de la gruesa materia en suspensión que puede ocasionar obstrucciones en los equipos y un desgaste excesivo de los mismos (Metcalf & Eddy, Inc, 1996).

Trampas de grasa y aceite. Son unidades de tratamiento específicamente diseñadas para separar grasas y aceites, contaminantes muy frecuentes en aguas residuales de cualquier planta industrial, antes de conducir las aguas a la unidad de tratamiento final. El proceso de separación consiste en la eliminación del agua residual, las grasas y aceites contaminantes que cumplan las siguientes condiciones: estén en fase líquida, se encuentran en estado libre, y tenga una densidad menor que la del agua. El proceso de separación de las grasas y aceites se basa en la diferencia de peso específico entre el agua y el aceite, por lo que en el caso de que ambos pesos específicos sean muy próximos o superior al del aceite a separar, este procedimiento no es de aplicación (Sainz, 2004).

Homogeneización de caudales. La homogeneización consiste, simplemente, en amortiguar por laminación las variaciones de caudal, con el objeto de conseguir un caudal constante o casi constante. Entre las principales ventajas que produce la homogeneización de los caudales figuran, la mejora de la calidad del efluente y del rendimiento de los tanques de sedimentación secundaria al trabajar con cargas de sólidos constantes, así como el amortiguamiento de las cargas aplicadas, mejoran el control de la dosificación de los reactivos y la fiabilidad del proceso (Metcalf & Eddy, Inc, 1996).

Métodos de control directo del pH: neutralización de las aguas residuales ácidas por método de control directo del pH. Los factores que guían la selección de un reactivo de neutralización son: 1) costo de compra; 2) capacidad de utilización; 3) velocidad de reacción, y 4) almacenamiento y vertido de los productos de la neutralización.



Para la neutralización de aguas residuales ácidas, la cal es el reactivo más utilizado, siendo la principal razón para su uso el bajo costo de la misma. Por otro lado, cualquier ácido fuerte puede ser utilizado para la neutralización de aguas residuales alcalinas, sin embargo, las consideraciones económicas limitan la elección del ácido sulfúrico (H_2SO_4) o ácido clorhídrico (HCl), para los cuales las reacciones son esencialmente instantáneas (Ramalho, 2003).

2.2.5.2 Tratamientos primarios

En el tratamiento primario se elimina una fracción de los sólidos en suspensión y de la materia orgánica del agua residual. Esta eliminación suele llevarse a cabo mediante operaciones físicas y químicas tales como la decantación, la flotación por aire, la sedimentación y la coagulación - floculación. El efluente del tratamiento primario suele contener una cantidad considerable de materia orgánica y una DBO alta.

Coagulación-floculación de las impurezas del agua. Se llama coagulación-floculación al proceso por el cual las partículas se aglutinan en pequeñas masas, con peso específico superior al del agua, llamadas floc. Dicho proceso se usa para la remoción de turbiedad orgánica e inorgánica que no se puede sedimentar rápidamente, remoción de color verdadero y aparente, y la eliminación de precipitados químicos suspendidos, entre otros. Hay que distinguir dos aspectos fundamentales en la coagulación-floculación del agua:

- a. La desestabilización de las partículas suspendidas, o sea la remoción de las fuerzas que las mantiene separadas (coagulación).
- b. El transporte de ellas dentro del líquido para que hagan contacto, generalmente estableciendo puentes entre sí y formando una malla tridimensional de coágulos porosos (floculación).

La coagulación comienza en el mismo instante en que se agregan al agua los coagulantes y dura solamente fracciones de segundo. Básicamente consiste en una



serie de reacciones físicas y químicas entre los coagulante, la superficie las partículas, la alcalinidad del agua y el agua misma.

La floculación es el fenómeno por el cual las partículas ya desestabilizadas chocan unas con otras para formar coágulos mayores, siendo promovido éste proceso por agitación controlada (Arboleda, 2000).

Los coagulantes los podemos clasificar en dos grupos: los polielectrolitos, o ayudantes de coagulación, y los coagulantes metálicos. A su vez los polielectrolitos podemos clasificarlos como:

- Polímeros naturales iónicos, entre los que destacan los compuestos algínicos y los almidones.
- Polímeros sintéticos, como la poliacrilamida y la sílica activada.

Estos polímeros pueden ser agregados al agua de tres maneras distintas: como coagulantes, como ayudantes de coagulación y como ayudantes de floculación, siendo ésta última manera la que arroja mejores resultados.

También existe una gran variedad de coagulantes metálicos, entre las cuales el sulfato de aluminio, por su bajo costo y su manejo relativamente sencillo, se usa con mayor frecuencia en plantas de tratamiento, formando un floc ligeramente pesado (Arboleda, 2000).

Flotación por aire disuelto (DAF). Es estos sistemas, el aire se disuelve en el agua residual a una presión de varias atmósferas, y a continuación se libera la presión hasta alcanzar la atmosférica. En la Figura 2.1 se puede apreciar el esquema de los sistemas DAF. En las instalaciones de pequeño tamaño, se puede presurizar a 275-230 kPa mediante una bomba la totalidad del caudal a tratar, añadiéndose el aire comprimido en la tubería de aspiración de la bomba. El caudal se mantiene bajo presión en un calderín durante algunos minutos, para dar tiempo a que el aire se disuelva. A continuación, el líquido presurizado se alimenta el tanque de flotación a través de la válvula reductora de presión, lo cual provoca que el aire deje de estar en disolución y que se formen diminutas burbujas distribuidas por todo el volumen del líquido. En las instalaciones de mayor tamaño, se recircula parte del efluente el proceso, el cual se



presurizado, y se semisatura con aire. El caudal recirculado se mezcla con la corriente principal sin presurizar antes de la entrada al tanque de flotación, lo que provoca que el aire de estar en disolución entre en contacto con las partículas sólidas a la entrada del tanque. Las principales aplicaciones de la flotación por aire disuelto se centran en el tratamiento de vertidos industriales y en el espesado de lodos (Metcalf & Eddy, Inc, 1996).

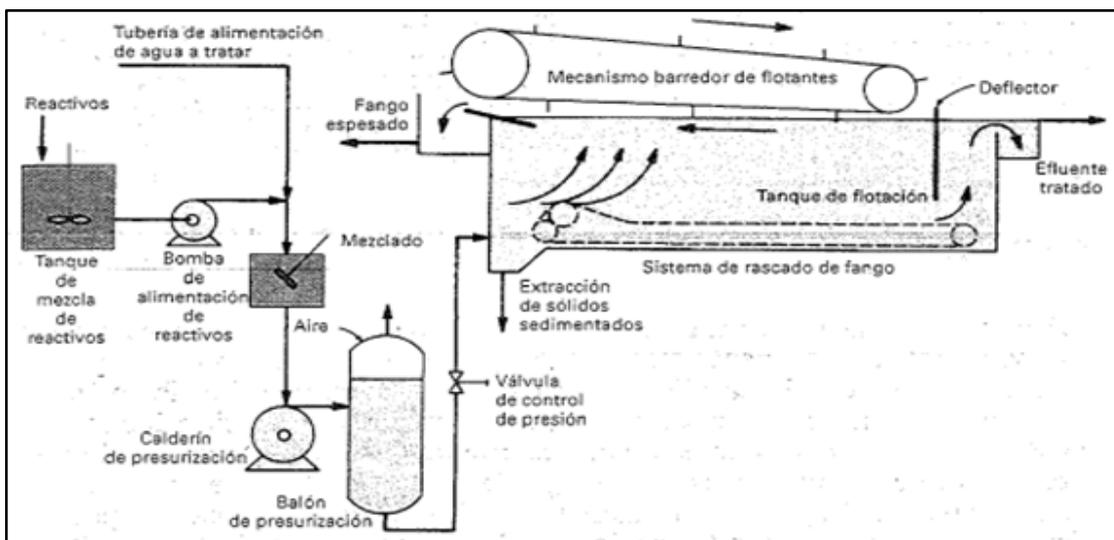


Figura 2.1. Esquema de los sistemas de flotación por aire disuelto.

Sedimentación. Consiste en la separación, por la acción de la gravedad, de las partículas suspendidas cuyo peso específico es mayor que el del agua. Es una de las operaciones unitarias más utilizada en el tratamiento de las aguas residuales, se emplea para la eliminación de arenas, materia en suspensión, tanques de decantación primaria, flocúlos químicos cuando se emplea la coagulación química, y para la concentración de sólidos en los espesadores de lodo. En la mayoría de los casos, el objetivo principal es la obtención de un efluente clarificado, pero también es necesario producir un lodo cuya concentración de sólidos permita su fácil tratamiento y manejo (Metcalf & Eddy, Inc, 1996).

Clarificación primaria. Equipo diseñado para lograr el desplazamiento de partículas discretas en soluciones diluidas, entendiéndose por partículas discretas



aquellas que no cambian sensiblemente el tamaño, peso y forma en un medio líquido. Las partículas sedimentan como entidades individuales y no existe interacción sustancial con las partículas vecinas ni el resto del fluido. Los clarificadores primarios se diseñan para una separación determinada, normalmente de 40 a 60 %, de los sólidos suspendidos (Arboleda, 2000; Metcalf & Eddy, Inc, 1996; Ramalho, 2003; Rivas, 2006).

Sedimentación secundaria. En este modelo los sólidos en suspensión son partículas aglomerables, que se encuentra en soluciones relativamente diluidas. Estas partículas al descender se adhieren o aglutinan entre sí cambiando de tamaño, forma y peso específico durante la caída. Por lo general, se utilizan luego de un tratamiento (reactor) biológico, para separar los lodos generados del efluente tratado (Arboleda, 2000).

2.2.5.3 Tratamientos secundarios

El tratamiento secundario de las aguas residuales está principalmente encaminado a la eliminación de los sólidos en suspensión y de los compuestos orgánicos biodegradables, aunque a menudo se incluye la desinfección como parte del tratamiento secundario. Se define el tratamiento secundario convencional como la combinación de diferentes procesos normalmente empleados para la eliminación de estos constituyentes, e incluye el tratamiento biológico con fangos activados, de reactores de lecho fijo, sistemas de lagunaje y la sedimentación.

Procesos de cultivo fijo. Son los procesos de tratamiento biológico en los que los microorganismos responsables de la conversión de la materia orgánica u otros constituyentes del agua residual en gases y tejido celular están fijados a un medio inerte, tal como materiales cerámicos y plásticos diseñados especialmente para cumplir con esta función. Las principales aplicaciones de estos procesos son la eliminación de la materia orgánica del agua, normalmente medida como DBO, desnitrificación, y estabilización de lodos, entre otras. La descomposición de los residuos se puede acelerar mediante el control del medio ambiente y el entorno de los microorganismos. El



proceso de tratamiento biológico consiste en el control del medio ambiente de los microorganismos, de modo que se consiguen condiciones de crecimiento óptimas (Metcalf & Eddy, Inc, 1996).

2.2.5.4 Tratamientos terciarios

Tratamiento avanzado. Corresponde al nivel de tratamiento necesario, más allá del tratamiento secundario convencional para la eliminación de constituyentes de las aguas residuales que merecen especial atención, como: los nutrientes, los compuestos tóxicos y los excesos de materia orgánica o de sólidos en suspensión.

Desinfección. Consiste en la destrucción selectiva de los organismos que causan enfermedades. En el campo de las aguas residuales, las tres categorías de organismos entéricos de origen humano de mayor consecuencia en la producción de enfermedades son las bacterias, los virus y los quistes amebianos. De todos los desinfectantes empleados, el cloro es quizás el más universalmente utilizado; los compuestos de cloro comúnmente empleados en las plantas de tratamiento de aguas residuales son el cloro gaseoso (Cl_2), el hipoclorito de sodio (NaOCl), el hipoclorito de calcio [$\text{Ca}(\text{OCl})_2$], y el dióxido de cloro (ClO_2), siendo actualmente la aplicación de este último la forma más extensamente adoptada (Metcalf & Eddy, Inc, 1996).

Control y eliminación de nutrientes. La eliminación y control de los nutrientes presentes en el agua residual es importante por diversas razones; normalmente, es necesaria para evitar acelerar los procesos de eutrofización, evitar la nitrificación que pueda limitar los recursos de oxígeno o en los que pueda proliferar el arraigamiento de plantas acuáticas, y la recarga de aguas subterráneas que puedan ser usadas indirectamente para el abastecimiento público de agua. Los principales nutrientes contenidos en las aguas residuales son el nitrógeno y el fósforo, y su eliminación puede llevarse a cabo mediante procesos químicos, biológicos o una combinación de ambos. En muchos casos, la eliminación de nutrientes se realiza en combinación con el tratamiento secundario; por ejemplo, se pueden añadir sales metálicas en los tanques



de aireación para provocar la precipitación del fósforo en el proceso de decantación final.

Eliminación del fósforo empleando cal. Mediante la adición de cal se logra precipitar normalmente alrededor del 65 % al 80 % del fósforo, debido a la reacción entre el calcio y el hidróxido con el ortofosfato, la cual forma compuestos insolubles (hidroxiapatita). La eliminación del fósforo mediante la adición de cal está quedando en desuso debido a: (1) el notable aumento de la masa de lodos, y (2) los problemas asociados con el manejo, almacenamiento, y dosificación de la cal; normalmente, la dosificación óptima de funcionamiento se debe determinar mediante ensayos «in situ» (Metcalf & Eddy, Inc, 1996).

Tratamiento de residuos tóxicos y eliminación de contaminantes específicos. En los efluentes industriales vertidos a las redes de alcantarillado, las concentraciones de contaminantes tóxicos suelen controlarse mediante pretratamientos específicos antes de su vertido a la red. En algunos casos, la eliminación de las sustancias tóxicas se lleva a cabo en las plantas de tratamiento; muchas de las sustancias tóxicas, como los metales pesados, se eliminan mediante algún tratamiento físico-químico como la coagulación química, floculación, sedimentación o filtración; también es posible eliminarlos parcialmente en los tratamientos secundarios. Las aguas residuales que contienen compuestos orgánicos volátiles se pueden tratar mediante adsorción carbónica o arrastre con aire; mediante procesos de intercambio iónico, también es posible eliminar pequeñas concentraciones de algunos contaminantes específicos.

Procesado de lodos: filtros prensa de banda. Son los filtros más innovadores para la deshidratación de lodos, estos filtros emplean una banda continua de tela filtrante donde los lodos procedentes del sistema se extienden, eliminándose el agua por gravedad; a continuación, la banda que contiene el lodo se pone en contacto con otra banda en movimiento, que presiona la banda con los lodos contra unos rodillos, aumentando la presión. Una vez formada la torta, ésta se elimina mediante una cuchilla



y cae por gravedad sobre una banda transportadora, los filtros prensa de banda producen tortas con contenidos del 20 al 30 % en sólidos (Perry, 2001).

Ultrafiltración. Se presenta como la barrera más eficiente para sólidos en suspensión, bacterias, virus, endotoxinas y otros patógenos para la producción de agua de alta pureza y bajo índice de ensuciamiento sobre membranas (SDI); es utilizada como pre-tratamiento de agua superficial, agua de mar y efluentes biológicamente tratados, anteriores a los sistemas de desmineralización por membranas, tales como: ósmosis inversa y nanofiltración. Dependiendo de la concentración de sólidos en suspensión se puede optar por distintos tipos de membranas; las membranas basadas en polisulfona (PES) cuentan con una gran permeabilidad (UNITEK® [Página Web en línea]. Disponible en: <http://www.unitek.com.ar/index.php>).

Ultrafiltración vs Sistemas convencionales:

- Su diseño compacto permite la reducción del espacio físico de instalación.
- 50 % menos área en comparación a tratamientos convencionales (Dosificador productos químicos, mezclador estático, flocodecantador, filtro multimedia)
- Eliminación del uso de coagulantes.
- Baja presión de operación (< 2 bar).
- Menor consumo de químicos.
- Remoción eficiente de patógenos en agua.
- Alarga la vida útil de membranas de ósmosis inversa cuando es usado como pre-tratamiento con aguas de alto SDI.

(UNITEK® [Página Web en línea]. Disponible en: <http://www.unitek.com.ar/index.php>).

En la siguiente figura se ilustra un diagrama de flujo de un sistema que incorpora la ultrafiltración como pre-tratamiento para la ósmosis inversa (Metcalf & Eddy, Inc, 1996).

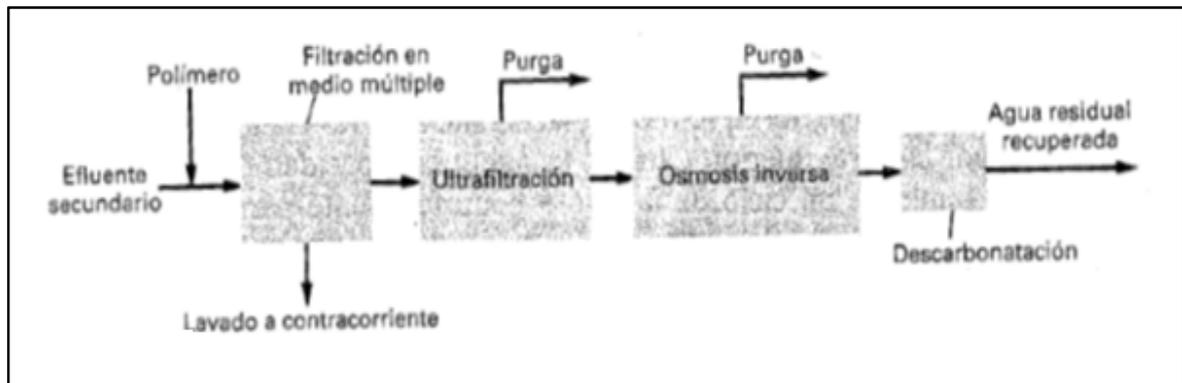


Figura 2.2. Diagrama de flujo del sistema de ósmosis inversa con pre-tratamiento de ultrafiltración.

Ósmosis inversa. La ósmosis es el fenómeno por el cual el disolvente de una solución pasa a través de una membrana semipermeable mientras los otros componentes o solutos no pueden atravesarla, si hay agua pura a ambos lados de la membrana no existe flujo a través de ella porque el potencial químico es igual a ambos lados.

Si en uno de los lados se agregan sales formando una solución, el agua circulará del lado del agua pura hacia el de mayor concentración, intentando igualar los potenciales químicos por el efecto de la diferencia de presiones. Llegará un momento en que se pare el flujo, en este momento, la diferencia de altura entre las dos columnas líquidas corresponde a la presión osmótica de la solución. Si, a continuación, sobre la columna más elevada se sobrepone una presión exterior, el agua circulará en sentido inverso al anterior; el flujo inverso creado a través de la membrana mediante la sobrepresión, hará aumentar el volumen de agua pura a expensas de la solución; a este último fenómeno se le llama ósmosis inversa.

El flujo de agua se puede hacer aumentar incrementando la presión exterior aplicada, sin que esto represente mayor paso de sales, por consiguiente, con mayor presión se obtiene una mayor calidad de agua. Sin embargo, la mayor presión significa un mayor costo de energía y el diseño de la instalación para conseguir y resistir esta mayor presión; con el incremento de presión hay que controlar además que no se supere la carga superficial máxima.



El sistema de ósmosis inversa es un proceso de separación por membrana de flujo transversal, el cual es capaz de rechazar macromoléculas y sustancias disueltas en un solvente, generalmente agua; las sustancias retenidas en la corriente de descarte en el proceso de separación pueden ser orgánicas e inorgánicas con tamaños del orden del Angstrom; la retención de las mismas depende de su peso molecular, geometría, carga y otros factores (UNITEK® [Página Web en línea]. Disponible en: <http://www.unitek.com.ar/index.php>).

En sistemas que utilizan ósmosis inversa suele ser necesario hacer un pre-tratamiento del efluente para así evitar fallos en las membranas. En la siguiente figura se muestra un diagrama de flujo típico del proceso de ósmosis inversa de etapa única (Metcalf & Eddy, Inc, 1996).

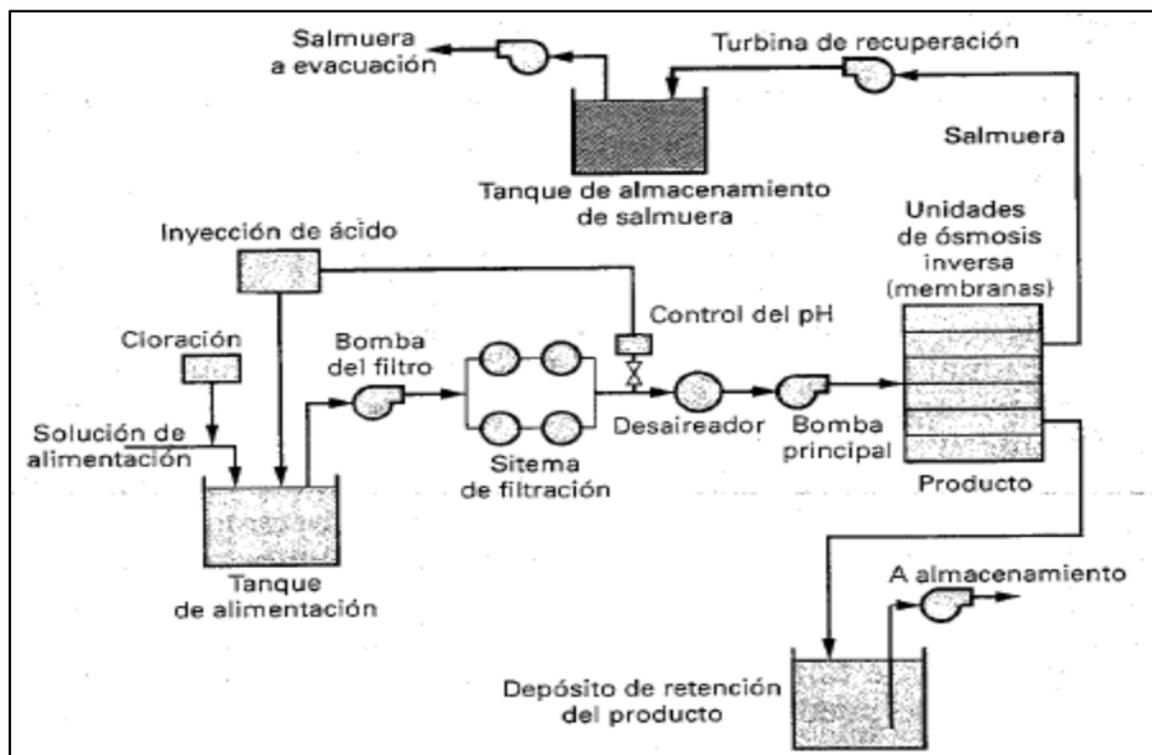


Figura 2.3. Ósmosis inversa de etapa única.



CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

Esta sección manifiesta la metodología empleada para el desarrollo y cumplimiento de los objetivos planteados.

3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

Según los objetivos planteados, el tipo de investigación realizada es de campo de carácter proyectivo, ya que el análisis sistemático del problema se basa en la realidad, con el propósito de describirlo, interpretarlo, entender su naturaleza y factores constituyentes así como explicar sus causas y efectos, haciendo uso de métodos característicos o enfoques de investigaciones conocidas o en desarrollo. Los datos de interés son recogidos de forma directa en la realidad, sin manipular o controlar variables, en este sentido se trata de una investigación a partir de datos originales o primarios; sin embargo se aceptan también estudios que impliquen la construcción o uso de series históricas y en general la recolección y organización de datos publicados para su análisis mediante procedimientos estadísticos, modelos matemáticos, etc.

Se propondrán mejoras factibles en las situaciones suscitadas a través del estudio de los hechos, puesto que se lleva a cabo un proceso sistemático de obtención y análisis de información, destinado a generar alternativas para la toma de decisiones.

3.2 DESARROLLO SISTEMÁTICO DE LA INVESTIGACIÓN

Esta investigación fue desarrollada utilizando como metodología principal el ciclo de Deming-PHVA/PDCA, el cual se describe de la siguiente forma:

- *Planificar*-Establecer los objetivos y procesos necesarios para conseguir resultados de acuerdo con los requisitos de la empresa y sus políticas.
- *Hacer*-Implementar el proceso.
- *Verificar*-Realizar el seguimiento y medición de la PTAR y el efluente tratado respecto a las políticas ambientales, los objetivos y requisitos establecidos.
- *Actuar*-Tomar decisiones para mejorar continuamente el desempeño de la planta.



3.2.1 ANÁLISIS DE LOS PROCESOS INDUSTRIALES DE GENERACIÓN DE EFLUENTES Y LAS CONDICIONES ACTUALES DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE HENKEL VENEZOLANA S.A.

A través del estudio detallado de la información disponible se logra analizar, identificar y verificar los efluentes generados en dichos procesos de producción, por medio de una revisión de cada una de las áreas y consulta con el personal que labora en la misma para poder saber la procedencia de los efluentes de aguas residuales generados, para ello se llevaron a cabo las siguientes actividades:

3.2.1.1 Análisis del proceso industrial.

A través de las consultas realizadas al personal que labora en la planta, se realizó un diagrama de bloques general del proceso productivo describiendo la clasificación de sus productos, etapas del proceso y producción anual.

3.2.1.2 Identificación de los materiales y compuestos utilizados en el proceso productivo.

Para esta actividad se utilizó un inventario detallado del almacén de materiales y sustancias peligrosas suministrado por el personal de la empresa, en esta lista se puede apreciar las sustancias utilizadas como materia prima en el proceso productivo; además de su clasificación según la Norma NFPA 704 (Asociación Nacional de Protección contra el Fuego, por sus siglas en inglés: *National Fire Protection Association*); adicionalmente se hicieron observaciones a los productos con indicaciones especiales según sea el caso del tipo de sustancia: oxidante, corrosivo, reactivo con agua o combustible. Se evidenció mediante un diagrama de flujo detallado el proceso de fabricación, haciendo énfasis en la naturaleza de los materiales y sustancias peligrosas.



3.2.1.3 Identificación de cada una de las áreas de generación de efluentes.

Igualmente para esta parte, Henkel Venezolana S.A suministró un plano del sistema de drenajes donde se pueden apreciar las áreas de almacén, producción, mantenimiento, servicios industriales, entre otras, y las conexiones de cada una de estas áreas por tuberías a la Planta de Tratamientos de Aguas Residuales.

3.2.1.4 Determinación de los efluentes que llegan a la Planta de Tratamiento.

La calidad del efluente que recibe la planta de tratamiento, se estableció partiendo de los datos y parámetros obtenidos de las caracterizaciones trimestrales, realizadas por un laboratorio externo a la empresa, así como también las caracterizaciones trimestrales correspondientes al efluente tratado.

Para proceder al diseño de alternativas de la PTAR de Henkel Venezolana S.A., uno de los primeros y fundamentales pasos es el cálculo del caudal de efluente generado, y la identificación cualitativa y cuantitativa de los parámetros del efluente. En esta parte se calcularon los valores: mínimos, promedios y máximos de cada uno de ellos, tomando en cuenta las caracterizaciones trimestrales realizadas por un laboratorio externo.

Para establecer el caudal mínimo se seleccionó el valor mínimo observado para las mediciones del caudal promedio, y el caudal máximo se eligió utilizando el valor máximo observado para las mediciones de caudal máximo. Para los mínimos y máximos de cada parámetro se tomaron los expresados en las caracterizaciones como valor mínimo y máximo respectivamente de todo el período de caracterizaciones.

Los promedios fueron calculados con la siguiente ecuación:

$$\bar{X} = \frac{(\sum_{i=1}^n X_i)}{n} \quad (\text{Metcalf \& Eddy, Inc, 1996}) \quad (3.1)$$

donde:

\bar{X} : valor promedio (unidad del parámetro requerido)



X_i : valor observado (unidad del parámetro requerido)

n : número total de datos (Adim)

Las características estadísticas, es decir las desviaciones media y estándar del caudal y de los parámetros más relevantes se estimaron con las siguientes ecuaciones:

$$d_m = \frac{\sum_{i=1}^n |\bar{X} - X_i|}{n} \quad (\text{Metcalf \& Eddy, Inc, 1996}) \quad (3.2)$$

donde:

d_m : desviación media (unidad del parámetro requerido)

$$s = \sqrt{\frac{\sum (\bar{X} - X_i)^2}{n-1}} \quad (\text{Metcalf \& Eddy, Inc, 1996}) \quad (3.3)$$

donde:

s : desviación estándar (unidad del parámetro requerido)

Finalmente los valores calculados para el efluente crudo y la salida final son expresados mediante las siguientes tablas:

TABLA 3.1. CAUDALES ESTIMADOS DE EFLUENTES A PTAR Y SUS DESVIACIONES MEDIA Y ESTÁNDAR

PARÁMETRO	UNIDAD	MÍNIMO	MÁXIMO	PROMEDIO	DESVIACIÓN MEDIA (d _m)	DESVIACIÓN ESTÁNDAR (s)



TABLA 3.2. VALORES MÍNIMOS, MÁXIMOS Y PROMEDIOS DE CARACTERIZACIONES TRIMESTRALES Y DESVIACIONES MEDIA Y ESTÁNDAR MÁS IMPORTANTES DEL EFLUENTE CRUDO*

PARÁMETRO	UNIDAD	MÍNIMO	MÁXIMO	PROMEDIO	DESVIACIÓN MEDIA (d _m)	DESVIACIÓN ESTÁNDAR (s)	DECRETO 3.219

*Se repite la misma tabla para la salida final del efluente.

3.2.1.5 Análisis de la caracterización suministrada por parte de la empresa.

En esta sección se calculan y evalúan las relaciones de la demanda bioquímica de oxígeno respecto a la demanda química de oxígeno (DBO/DQO), el nitrógeno (DBO:N) y fósforo (DBO:P) en la entrada del tratamiento físico-químico (efluente crudo) y la entrada del tratamiento biológico (salida del tratamiento físico-químico); y se verifica que la relación de nutrientes DBO:N:P sea 100:5:1 respectivamente, para obtener estos factores para cada nutriente, se utilizan las siguientes ecuaciones:

$$C_{prom_{nut_i}} = nut_i \cdot \bar{Q}_i \cdot F_{c_1} \quad (\text{Metcalf \& Eddy, Inc, 1996}) \quad (3.4)$$

donde:

$C_{prom_{nut_i}}$: carga promedio del nutriente observado (kg/día)

nut_i : valor observado de nutriente (DBO, N ó P) (mg/L)

\bar{Q}_i : caudal promedio observado (m³/día)

F_{c_1} : factor de conversión 1 (1 kg.L/1000 mg.m³)

$$DBO/DQO_i = \frac{DBO_i}{DQO_i} \quad (\text{Metcalf \& Eddy, Inc, 1996}) \quad (3.5)$$



donde:

DBO/DQO_i : relación entre la demanda bioquímica de oxígeno y la demanda química de oxígeno observado (Adim)

DBO_i : valor observado de DBO (mg/L)

DQO_i : valor observado de DQO (mg/L)

$$DBO:N_i = DBO:P_i = \frac{C_{promN} \text{ ó } P_i}{C_{promDBO_i}} \quad (\text{Metcalf \& Eddy, Inc, 1996}) \quad (3.6)$$

donde:

$DBO:N_i$: relación entre la demanda bioquímica de oxígeno y nitrógeno observado (Adim)

$DBO:P_i$: relación entre la demanda bioquímica de oxígeno y fósforo observado (Adim)

Luego de aplicar las ecuaciones anteriores para las caracterizaciones trimestrales, se procede a calcular los valores mínimos, promedios y máximos para las cargas promedio de cada nutriente y las relaciones obtenidas en cada trimestre tanto para el efluente crudo (entrada del tratamiento físico-químico) como para la entrada del tratamiento biológico (salida del tratamiento físico-químico), los resultados son expresados en las siguientes tablas:

TABLA 3.3. VALORES MÍNIMOS, MÁXIMOS Y PROMEDIOS DE LAS CARGAS PROMEDIOS DE DBO, N Y P DEL EFLUENTE CRUDO Y ENTRADA DEL TRATAMIENTO BIOLÓGICO

EFLUENTE	CARGAS PROMEDIOS	UNIDAD	MÍNIMO	MÁXIMO	PROMEDIO



TABLA 3.4. VALORES MÍNIMO, MÁXIMO Y PROMEDIO DE LA RELACIÓN DE LA DBO RESPECTO A LA DQO, N Y P DEL EFLUENTE CRUDO Y ENTRADA DEL TRATAMIENTO BIOLÓGICO

EFLUENTE	RELACIÓN	UNIDAD	MÍNIMO	MÁXIMO	PROMEDIO

3.2.1.6 Verificación del cumplimiento de los parámetros de la normativa ambiental vigente en el Decreto N° 3.219 Gaceta Oficial Extraordinaria N° 5.305, correspondiente a la calidad de las descargas de efluentes al Lago de Valencia.

La verificación del cumplimiento del Decreto 3.219 Gaceta Oficial Extraordinaria N° 5.305, se realizó comparando los valores promedios obtenidos en el análisis de las caracterizaciones trimestrales con los establecidos en el Decreto, lo cual puede ser apreciado mediante un cuadro comparativo en las tablas 3.1 y 3.2.

3.2.2 REALIZACIÓN DE PRUEBAS DE TRATABILIDAD PARA EL DISEÑO DE ALTERNATIVAS DE MEJORA DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.

Considerando que se desea disminuir el grado de contaminación de las aguas residuales del proceso productivo, se procede a realizar pruebas que pretenden simular los procesos de tratamiento de los efluentes generados para elaborar distintas opciones posibles de perfeccionamiento del sistema, al escoger la(s) unidad(es) apropiada(s) para su diseño o rediseño y mejora, dependiendo de la efectividad de la prueba de tratabilidad ejecutada.



3.2.2.1 Determinación de unidades de tratamiento a simular en los ensayos de tratabilidad.

Para realizar la selección de cuales unidades debían ser tomadas en cuenta para ejecutar las simulaciones en los ensayos de tratabilidad, se tomaron como referencias los datos bibliográficos que definen cuales operaciones y procesos unitarios o sistemas de tratamiento son los utilizados para eliminar la mayoría de los contaminantes presentes en el agua residual, expresando las alternativas generadas en la siguiente tabla:

TABLA 3.5. UNIDAD, OPERACIÓN O SISTEMA DE TRATAMIENTO SEGÚN REMOCIÓN DE LOS CONTAMINANTES

PRINCIPALES CONTAMINANTES REMOVIDOS	UNIDAD / OPERACIÓN / SISTEMA DE TRATAMIENTO

3.2.2.2 Planificación de los ensayos (logística, equipos, reactivos a utilizar).

Una cuidadosa planificación de los ensayos de tratabilidad es la clave y una de las principales preocupaciones al momento de analizar las condiciones de operación de una planta de tratamiento o la eficiencia de las unidades, por lo que se efectuó un estudio cuidadoso de la bibliografía que explica detalladamente las variables a controlar, estableciendo dentro de la logística los procedimientos a seguir, así como los equipos requeridos para tal fin, y por último las sustancias y reactivos químicos necesarios. En capítulos siguientes se indicará el procedimiento utilizado para realizar dichos ensayos, la toma de muestras se realizó siguiendo los lineamientos generales sobre las técnicas de captación de muestras de agua, contenidos en la Norma Venezolana COVENIN 2709:2002.



3.2.2.3 Ejecución de ensayos de tratabilidad, entre ellos pruebas de jarra, a los efluentes generados en el proceso productivo.

Siguiendo la programación establecida en el punto anterior, se realizaron distintos ensayos de tratabilidad al efluente; los datos obtenidos de los ensayos de tratabilidad se registraron haciendo uso de distintas tablas como las mostradas a continuación:

TABLA 3.6. PRUEBA DE JARRAS 1*

JARRA	VOLUMEN DE COAGULANTE ($V_c \pm 0,01$) mL	VOLUMEN DE FLOCULANTE ($V_F \pm 0,05$) mL

*Se repite la misma tabla para la prueba de jarras 2

TABLA 3.7. PRUEBA DE JARRAS 3

JARRA	POTENCIAL DE HIDRÓGENO (pH) Adim	VOLUMEN DE COAGULANTE ($V_c \pm 0,01$) mL	VOLUMEN FLOCULANTE ($V_F \pm 0,05$) mL	VOLUMEN DE AYUDANTE DE REMOCIÓN DE FÓSFORO (CAL) ($V_{AC} \pm 0,01$) mL



TABLA 3.8. PRUEBAS DE JARRAS 4*

JARRA		
POTENCIAL DE HIDRÓGENO (pH) Adim		
VOLUMEN DE COAGULANTE ($V_c \pm 0,01$) mL		
VOLUMEN FLOCULANTE ($V_F \pm 0,05$) mL		
VOLUMEN DE AYUDANTE DE REMOCIÓN DE FÓSFORO (CAL) ($V_{AC} \pm 0,01$) mL		
VOLUMEN PARA AJUSTE DE pH ($V_{pH} \pm 0,01$) mL		

*Se repite la misma tabla para la prueba de jarras 5

3.2.2.4 Caracterizaciones de las aguas resultantes para determinar las eficiencias de los ensayos correspondientes a cada unidad de tratamiento.

Una vez llevadas a cabo las pruebas de tratabilidad del efluente, específicamente las pruebas de jarra, se ejecutaron análisis mediante la inspección visual de los estados de coagulación y floculación, para luego contrastar utilizando como referencia el comparador para estimar el tamaño de coágulo producido, del WRA (Instituto de Investigación del Agua de Inglaterra, por sus siglas en inglés: Water Research Institute), y el índice de floculación de Willcomb; resumiendo la inspección visual de cada ensayo en la siguiente tabla:



TABLA 3.9. JARRA CON DOSIS RECOMENDABLE, TAMAÑO DEL FLOC PRODUCIDO EN LA COAGULACIÓN E ÍNDICE DE FLOCULACIÓN DE WILLCOMB DE CADA PRUEBA DE JARRAS

PRUEBA	JARRA CON DOSIS RECOMENDADA	TAMAÑO DEL FLOC PRODUCIDO EN LA COAGULACIÓN	ÍNDICE DE FLOCULACIÓN DE WILLCOMB

Una vez obtenidos los resultados del estudio comparativo, se solicitó a un laboratorio externo la caracterización del efluente crudo y de la muestra tratada en la prueba de jarra que obtuvo mejores resultados en las etapas de coagulación y floculación. Los valores obtenidos en estas caracterizaciones y los parámetros establecidos por la normativa ambiental vigente, fueron expresados en una tabla como la mostrada a continuación:

TABLA 3.10. CARACTERIZACIÓN DEL EFLUENTE CRUDO Y TRATADO, Y PARÁMETROS ESTABLECIDOS POR LA NORMATIVA AMBIENTAL

PARÁMETRO	UNIDAD	EFLUENTE CRUDO	EFLUENTE TRATADO	DECRETO 3.219	
				DESCARGA DIRECTA (Art. 36)	DESCARGA A RED CLOACAL (Art. 38)*

**Los valores del Decreto 3.219 sólo se aplican a la salida de la PTAR en descargas al lago de Valencia y a la red hidrográfica tributaria; la descarga a red cloacal es sólo un valor referencial.*

3.2.2.5 Análisis comparativo de las unidades utilizadas actualmente, con aquellas simuladas en los ensayos.

Para poder realizar un estudio comparativo de las unidades actuales y las



unidades simuladas en ensayos, se toman en consideración los valores de eficiencia calculados a partir de los parámetros reportados del proceso actual de tratamiento, y se comparan con todos los valores correspondientes a las unidades simuladas. Para realizar el cálculo de la eficiencia de remoción de contaminantes presentes en el efluente crudo mediante las unidades de tratamiento presentes y las simuladas, se utilizó la siguiente ecuación:

$$\varepsilon = \frac{\text{Parámetro}_{EC} - \text{Parámetro}_{ET}}{\text{Parámetro}_{EC}} \cdot 100 \quad (\text{Parra, 2003}) \quad (3.7)$$

donde:

ε : eficiencia de remoción de nutrientes (Adim)

Parámetro_{EC} : valor reportado del efluente crudo (unidad del parámetro requerido)

Parámetro_{ET} : valor reportado del efluente tratado (unidad del parámetro requerido)

Los valores resultantes de los cálculos de eficiencias de remoción de contaminantes, serán reportados utilizando tabla como la siguiente:

TABLA 3.11. EFICIENCIAS TEÓRICAS Y OBTENIDAS

PARÁMETROS CRÍTICOS	EFICIENCIAS DE REMOCIÓN (Adim)	
	EFLUENTE TRATADO ANTERIORMENTE	EFLUENTE TRATADO CON DOSIS NUEVAS

3.2.2.6 Estudio de unidades existentes a ser rediseñadas o sustituidas, y de unidades nuevas que deban adicionarse.

Se realizó un análisis exhaustivo de las unidades de proceso existentes para lograr un nivel de adecuación y acondicionamiento que permita mejorar la capacidad de tratamiento del efluente y, adicionalmente, determinar las deficiencias del proceso ocasionadas por la falta de unidades que controlen parámetros críticos.



3.2.2.7 Diseño de alternativas de mejora a partir de aquellas unidades simuladas que evidenciaron mejores eficiencias.

Tomando como base tanto la información bibliográfica como la recopilada del estudio comparativo de las unidades actuales y las unidades simuladas en ensayos, así como de la necesidad de adecuación de las unidades existentes e instalación de nuevas unidades, se procedió a realizar el planteamiento de las posibles opciones de mejora de la planta de tratamiento.

3.2.3 SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA MÁS ADECUADA, QUE GENERE UN AUMENTO DE LA EFICIENCIA EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES Y CUMPLA CON LA NORMATIVA AMBIENTAL VIGENTE.

Se analiza cada alternativa generada utilizando para ello matrices de selección cuantitativas y cualitativas, teniéndose en cuenta las unidades de tratamiento existentes, las caracterizaciones del efluente y los rangos de los parámetros a cumplir dentro de la normativa ambiental así como costos, espacio físico, disponibilidad y operabilidad entre otros, estableciendo éstos como criterios de selección.

3.2.3.1 Descripción de cada propuesta de mejora.

Para realizar la descripción de cada iniciativa de mejora, se explicó brevemente la lógica de tratamiento y cada una de las fases del sistema desde una perspectiva global, puntualizando la función de cada unidad de tratamiento, y proporcionando consideraciones y puntos claves sobre las condiciones operativas de las mismas.

3.2.3.2 Determinación de los criterios de selección.

Para lograr establecer los factores de mayor importancia en la valoración y selección de procesos de tratamiento, se prestó especial atención a la información



detallada presente en la bibliografía y al mismo tiempo se hizo énfasis en las capacidades de implementación y requerimientos propios de la empresa, dados a conocer por la mesa técnica encargada de velar por los intereses de la misma así como por las recomendaciones suministradas por expertos en la materia.

3.2.3.3 Ponderación de cada criterio.

A cada categoría de selección establecida a utilizar como herramienta de análisis y diferenciación de las alternativas propuestas, se le fue asignada consecutivamente una ponderación en forma porcentual. Los valores de puntuación de cada categoría fueron establecidos dependiendo de la importancia asignada a cada una en particular, con el objeto de cumplir con los requerimientos tanto ambientales como económicos de la empresa.

3.2.3.4 Identificación de atributos de cada alternativa en función de los criterios.

Una vez establecidos los criterios de selección, a cada alternativa se le asignaran atributos en función de dichos parámetros designados. En primer lugar, para la matriz de selección cualitativa estos atributos se muestran en escala del uno al cinco, representando el cinco la condición más favorable y el uno el menos favorable, como se muestra a continuación.

TABLA 3.12. VALOR ASIGNADO A CADA ATRIBUTO PARA LA SELECCIÓN DE LOS CRITERIOS

VALOR	ATRIBUTO
1	Malo
2	Regular
3	Bueno
4	Muy bueno
5	Excelente



Finalmente, para el caso de la matriz de selección cuantitativa, los criterios se analizan directamente usando información obtenida de fuentes comerciales y expertos en la materia que suministraron los posibles valores monetarios reales, intrínsecos a la aplicación de cada mejora; es decir, costos de aplicación, operatividad, ocupación de espacio y costos de mantenimiento.

3.2.3.5 Análisis técnico de cada iniciativa de mejora.

Para lograr el análisis técnico detallado de cada posible sistema de mejora, se especificaron los parámetros operativos de cada una de las fases de tratamiento, al igual que los requerimientos técnicos y las consideraciones pertinentes a cada caso en particular.

3.2.3.6 Aplicación de las matrices de selección (Moody) cualitativa y cuantitativa.

Al emplear la información obtenida del análisis técnico de cada iniciativa de mejora para ejecutar la aplicación de las matrices cualitativas y cuantitativas de selección, se lograron determinar valores respectivos para cada criterio, en la escala de atributos designada. Una vez realizada la comparación, análisis y valoración total de los atributos para cada alternativa, solamente las alternativas que obtuvieron las dos (2) mejores puntuaciones en la matriz de selección cualitativa serán analizadas utilizando la matriz de selección cuantitativa, siendo descartadas las demás opciones.

A continuación se proporcionan los formatos de ambas matrices de selección utilizadas.



TABLA 3.13. MATRIZ DE SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS CUALITATIVA

CRITERIOS	ALTERNATIVAS DE TRATABILIDAD		
	1	2	3
TOTAL			

TABLA 3.14. MATRIZ DE SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS CUANTITATIVA

CRITERIOS	PONDERACIÓN (P) %	ALTERNATIVAS DE TRATABILIDAD			
		ATRIBUTO (A) Adim	(PXA)%	ATRIBUTO (A) Adim	(PXA)%
TOTAL					

3.2.3.7 Selección de la alternativa que obtenga la mejor puntuación en ambas matrices de selección.

Una vez obtenidos los resultados de las matrices de selección en el punto anterior, se procede a la elección de la opción de tratamiento que alcanzó la mejor ponderación total en ambas matrices, para luego establecer ésta como la alternativa de tratamiento correcta a ser diseñada y llevada a ejecución.



3.2.4 IMPLEMENTAR LA ALTERNATIVA SELECCIONADA.

De acuerdo a las especificaciones de la alternativa seleccionada se procede al diseño e instalación de la(s) nueva(s) unidad(es) de tratamiento así como al rediseño, sustitución o eliminación de aquella(s) unidad(es) que no cumpla(n) a cabalidad sus funciones de tratamiento o se encuentre(n) en mal funcionamiento y desvíe(n) la efectividad del proceso. Las opciones a implementar dependerán intrínsecamente de cada alternativa y sus especificaciones.

3.2.4.1 Diseño de nuevas unidades de tratamiento.

Haciendo uso de los datos bibliográficos respectivos a las trampas de grasas y aceites, se procedió a realizar el cálculo necesario para obtener el volumen requerido de la trampa como parámetro operativo y de diseño más importante, el cual debe ser calculado para un tiempo de retención mínimo establecido a caudal máximo; normas de diseño encontradas en la bibliografía señalan valores recomendados para el tiempo de retención y ángulo de la pendiente del fondo. Para el cálculo del volumen requerido se utilizo la ecuación:

$$Vol_{requerido} = Q_{max} \cdot T_{ret} \cdot F_{c_2} \quad (\text{Sainz, 2004}) \quad (3.8)$$

donde:

$Vol_{requerido}$: volumen requerido de trampa (m³)

Q_{max} : caudal máximo de operación (m³/día)

T_{ret} : tiempo de retención teórico (h)

F_{c_2} : factor de conversión 2 (1 día/ 24 h)

Adicionalmente, esta unidad también permitirá remover ciertos sólidos flotantes y suspendidos, los cuales al igual que las grasas y aceites serán removidos por mecanismos especialmente diseñados para tal fin.



3.2.4.2 Implementación de nuevas unidades.

Se dispuso de unidades estructurales existentes para otros fines no especificados por la empresa, adaptándolas según las especificaciones obtenidas en el punto anterior. A través de la medición directa de las unidades se obtuvieron las dimensiones físicas y se realizó el cálculo del volumen total, mediante la siguiente ecuación:

$$Vol = a \cdot l \cdot h \quad (\text{Navarro, 2000}) \quad (3.9)$$

donde:

Vol : volumen unidad rectangular (m³)

a : ancho de la unidad de tratamiento (m)

l : largo de la unidad de tratamiento (m)

h: altura de la unidad de tratamiento (m)

De manera similar se determinó el volumen útil de la unidad, utilizando esta vez el valor de la altura útil establecida por recomendación del personal técnico como un valor no mayor al 95% de la altura total del tanque. Esto se realiza como medida de precaución y seguridad para evitar futuros derrames de las unidades de almacenamiento.

3.2.4.3 Rediseño de unidades existentes.

Mediante el uso de información bibliográfica y datos técnicos obtenidos de los ensayos de tratabilidad, se lograron modificar y adecuar los parámetros operativos de las unidades existentes con el objetivo de aplicar la alternativa de rediseño y mejora de las unidades de tratamiento existentes. Mediante la inspección visual y medición directa se obtuvieron las dimensiones de las unidades a ser utilizadas como tanques de: recolección y bombeo, efluentes ácidos y básicos, neutralización, reacción para la coagulación-floculación, sedimentador de lodos, almacenamiento del efluente tratado, recirculación y almacenamiento o disposición de lodos. Las dimensiones de cada



tanque o unidad son mostradas en la tabla 3.15. Una vez obtenida esta información se procedió a determinar tanto los volúmenes de las unidades (expresados en la tabla 3.16) como los tiempos de retención hidráulico; utilizando para determinar los volúmenes las ecuaciones que dependen de la forma geométrica, como se indica a continuación:

Para unidades rectangulares, se utiliza la ecuación 3.9.

Para unidades piramidales, se tiene:

$$Vol_{piramidal} = \frac{h_p}{3} \cdot (A_1 + A_2 + \sqrt{A_1 \cdot A_2}) \quad (\text{Stewart, 2001}) \quad (3.10)$$

donde:

$Vol_{piramidal}$: volumen de sección piramidal truncada de la unidad (m³)

h_p : altura de la pirámide (m)

A_1 : área menor de la sección piramidal truncada (m²)

A_2 : área mayor de la sección piramidal truncada (m²)

Los valores de A_1 y A_2 se determinan mediante el producto de los lados de las bases pequeña y grande, respectivamente.

TABLA 3.15. DIMENSIONES DE TANQUES Y UNIDADES

TIPO	PARÁMETRO	ERROR (ε)	UNIDAD	ATKN-03	ATKN-01	ATKN-02	ATKN-05	ATKN-06	ATKN-07	ATKN-07	ATKN-08	ATKN-09	ATKN-10A	ATKN-10B



TABLA 3.16. VOLUMEN ÚTIL Y TOTAL DE TANQUES Y UNIDADES

VOLUMEN (V)	ERROR (ε)	UNIDAD	ATKN-03	ATKN-01	ATKN-02	ATKN-05	ATKN-06	ATKN-07	ATKN-07	ATKN-08	ATKN-09	ATKN-10A	ATKN-10B
ÚTIL													
TOTAL													

Y para determinar los tiempos de retención hidráulico se necesitó de la ecuación 3.8, usada en la etapa de diseño de nuevas unidades, además de ciertos artificios matemáticos, los cuales son mostrados en la tabla 3.17. Adicionalmente, se establecieron ciertos requerimientos técnicos e instrumentales, necesarios para la adecuada operatividad de las unidades.

TABLA 3.17. TIEMPOS DE RETENCIÓN DE TANQUES Y UNIDADES

TIEMPOS DE RETENCIÓN HIDRÁULICO ($T_{RH} \pm \epsilon$)	ERROR (ε)	UNIDAD	ATKN-03	ATKN-01	ATKN-02	ATKN-05	ATKN-06	ATKN-07	ATKN-07	ATKN-08	ATKN-09	ATKN-10A	ATKN-10B
A CAUDAL MÁXIMO													
A CAUDAL PROMEDIO													
MÍNIMO REQUERIDO													

3.2.4.4 Ejecución de cambios, sustitución o eliminación de unidades actuales.

Luego de recopilar en el punto anterior la data necesaria sobre los cambios a ejecutar en las unidades existentes, se procedió a la restructuración y ordenamiento de las mismas.



3.2.5 ELABORACIÓN DEL PLAN DE CONTROL OPERATIVO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.

Haciendo un seguimiento de los parámetros escogidos para la alternativa seleccionada y aplicada, se realiza una línea de calidad operativa o plan de control de las unidades de tratamiento.

3.2.5.1 Determinación de parámetros de control.

Tomando como base los valores promedios obtenidos en el análisis de las caracterizaciones trimestrales, los establecidos por la normativa ambiental vigente y la descripción técnica de la mejora seleccionada y aplicada en el sistema de tratamiento, se procedió a establecer cuáles serían los parámetros de operación a controlar, con el objeto de mantener la calidad del efluente y las eficiencias de las unidades de tratamiento.

3.2.5.2 Asignación de personal capacitado para la evaluación de parámetros de control.

Se describe el perfil ocupacional del personal necesario para operar la planta de tratamiento, sus competencias y habilidades, suministrando esta información al Departamento de Recursos Humanos, quienes tomaran decisiones al respecto.

3.2.5.3 Determinación de la unidad que se requiere controlar.

Basados en los parámetros de control establecidos anteriormente, se define cual unidad de tratamiento va a ser controlada a detalle por el personal encargado.



3.2.5.5 Selección del método de evaluación (inspección visual, análisis, cálculo, etc.).

Debido a la marcada diferencia entre las metodologías a aplicar para controlar cada uno de los parámetros de operación de la unidad de tratamiento que se requiere controlar, no se puede establecer una sola técnica de evaluación por lo que en cambio se utilizan diversos métodos de evaluación, en forma sucesiva, generando respuestas a las interrogantes sobre los parámetros de operación.

3.2.5.6 Elección de la frecuencia del control de parámetros.

La reiteración del control de parámetros fue establecida basándose en los requerimientos teóricos dados por la información bibliográfica así como por las recomendaciones suministradas por expertos en la materia.

3.2.5.7 Selección de rangos óptimos de cada parámetro.

Para establecer rangos óptimos de cada parámetro a controlar, se utilizó la información recopilada de las caracterizaciones realizadas a las aguas resultantes de los ensayos de tratabilidad, la información bibliográfica y normas ambientales, además de datos técnicos propios de la alternativa diseñada. La siguiente tabla se utilizará con el objeto de registrar y establecer una relación de las unidades controladas, con los parámetros de control establecidos, los métodos de evaluación de las unidades y su frecuencia, así como los rangos determinados en este punto.

TABLA 3.18. MÉTODOS Y FRECUENCIA DE EVALUACIÓN DE PARÁMETROS OPERATIVOS POR UNIDAD DE TRATAMIENTO Y SUS RANGOS ÓPTIMOS

UNIDAD	PARÁMETRO	MÉTODO DE EVALUACIÓN	FRECUENCIA	RANGOS ÓPTIMOS



3.2.5.8 Explicación de por qué se deben realizar las mediciones para el control operativo (Descripción del Control). Parámetros de Cumplimiento Regulatorio (PCC), los relacionados con la Calidad o Eficiencia del Tratamiento (PCE) y los relacionados con chequeo de seguimiento de un Control Operativo (PCO).

Se describen detalladamente las razones y la justificación por la cual se debe aplicar un estricto control operativo a las unidades de tratamiento.

3.2.5.9 Determinación de las consecuencias que generan los parámetros fuera de rango o especificación.

Se establecen los efectos generados por condiciones de operación que difieren de los valores óptimos establecidos, y que pudieran perjudicar la calidad del efluente y las eficiencias de las unidades de tratamiento. Esto se realizó mediante el análisis de la información contenida en recursos bibliográficos.

3.2.5.10 Verificación de los equipos utilizados para la medición de los parámetros (necesidad de calibración y su frecuencia, quien lo mide, quien lo analiza y quien toma decisión o actúa sobre ellos).

La comprobación del estado de los equipos utilizados para la medición de los parámetros debe realizarse cumpliendo las normativas establecidas por el Servicio Autónomo Nacional de Normalización, Calidad, Metrología y Reglamentos Técnicos (SENCAMER), fundamentado en la recomendaciones de los lineamientos contenidos en las Normas Venezolanas COVENIN 3698:2001, COVENIN 3696:2001 y COVENIN 3699:2001.



3.2.5.12 Elaboración de documentación o registros de control.

Tomando en consideración todos los factores y parámetros relacionados al control operativo de las unidades de tratamiento, se procedió a la elaboración de los registros de control necesarios para recopilar toda la información concerniente al proceso de saneamiento del efluente y poder crear registros históricos tanto de los parámetros contaminantes como de las eficiencias de remoción de los mismos. Adicionalmente, dichos registros de control contienen elementos que permiten su identificación y trazabilidad, esta elaboración de documentos se basó en ciertos lineamientos expuestos en la Norma ISO 14001:2005 Sistemas de Gestión Ambiental.

3.2.5.13 Determinación de un plan de reacción.

Del mismo modo que en el punto anterior, basándose en lineamientos expuestos en la Norma ISO 14001:2005 Sistemas de Gestión Ambiental y con el objeto de evitar el incumplimiento de los parámetros de la normativa ambiental vigente, se elaboró un procedimiento de respuesta ante situaciones no deseadas, que incluye las acciones preventivas y correctivas a considerar.

3.2.5.14 Elaboración de la carta o planilla de control con las Acciones Correctivas aplicadas y el análisis de la causa raíz de la desviación del rango óptimo (ACR).

Para facilitar tanto la identificación de las posibles causas de la desviación de un parámetro desde su rango óptimo, como la ejecución de las medidas preventivas y correctivas, se ensambló una carta de control que contiene los lineamientos que funcionarían de guía al operador de las unidades de tratamiento, los parámetros a evaluar en cada unidad se describen en la siguiente tabla:



TABLA 3.19. CARTA DE CONTROL*

UNIDAD	PARÁMETRO DE CONTROL	RANGO ÓPTIMO	CAUSA RAÍZ	CONSECUENCIA DE LA DESVIACIÓN	MEDIDA PREVENTIVA	MEDIDA CORRECTIVA

*Esta tabla se utiliza para cada unidad de la PTAR a controlar

3.2.6 DETERMINACIÓN DE LA RELACIÓN COSTO-BENEFICIO DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LA ALTERNATIVA SELECCIONADA.

Mediante el empleo de indicadores económicos, se obtiene la información necesaria para la determinación de la relación costo-beneficio, una vez obtenida dicha información y con el objeto de establecer una relación tangible entre el costo y el beneficio de la implementación, se utilizó la siguiente expresión matemática:

$$R_{C-B} = \frac{C_{proyecto}}{Ahorro} \quad (\text{Parra, 2003}) \quad (3.11)$$

donde:

R_{C-B} : relación costo-beneficio (Bs.)

$C_{proyecto}$: costo total del proyecto de mejora (Bs.)

$Ahorro$: beneficio y ahorro generado por la propuesta de mejora (Bs.)

Estableciéndose que para valores de la relación costo-beneficio (R_{C-B}) menores a la unidad se presenta una alta tendencia de factibilidad de la implementación de las mejoras al sistema.

3.2.6.1 Determinación de indicadores económicos.

Se procedió a establecer los indicadores económicos necesarios que permiten la evaluación del costo del proyecto.



3.2.6.1.1 Determinación de los costos por implantación de las unidades de tratamiento faltantes.

A través de la información obtenida durante la etapa de diseño de las nuevas unidades de tratamiento a implementar, se lograron determinar los costos relacionados a la implementación determinados por las dimensiones y requerimientos técnicos e instrumentales necesarios tomando como base el visor 3.11 guías referenciales de costos del Colegio de Ingenieros de Venezuela.

3.2.6.1.2 Determinación de los costos por modificación de las unidades de tratamiento actuales.

De igual manera que el punto anterior, la modificación y adecuación de las unidades existentes generaron costos, estos fueron determinados utilizando la información de rediseño y tomando como precios base el visor 3.11 guías referenciales de costos del Colegio de Ingenieros de Venezuela.

3.2.6.1.3 Determinación de los costos por mantenimiento.

Los costos generados por el mantenimiento de las unidades, implican la sustitución de equipos y limpieza de los residuos y lodos que puedan obstruir y acumularse en los sistemas de tratamiento, se determinaron mediante presupuestos de contratistas externas.

3.2.6.1.4 Determinar costos de operación.

Los costos intrínsecos de operatividad de las unidades de tratamiento, fueron calculados haciendo uso de la información obtenida de las pruebas de tratabilidad así como los gastos acarreados tanto por el pago del personal técnico encargado del control de las unidades como por los análisis trimestrales de control de parámetros, exigidos por los entes gubernamentales.



3.2.6.2 Determinación de la relación costo-beneficio.

Haciendo un análisis comparativo entre los indicadores económicos determinados en secciones anteriores y comparándolos con los beneficios obtenidos al evitar sanciones por parte de los entes gubernamentales, se logró estimar la relación costo beneficio de la implementación de las alternativas de mejora de la planta de tratamiento de aguas residuales.

3.2.6.2.1 Determinación del beneficio y ahorro generado por las mejoras propuestas.

Para lograr la determinación del beneficio y ahorro generado por la propuesta de mejora de las unidades de tratamiento, se establecieron las pérdidas monetarias que generarían las multas y la prohibición temporal de actividades productivas y comerciales de la empresa, como medida de sanción por el incumplimiento de la normativa ambiental vigente, esto se calculó mediante el uso de la expresión matemática:

$$\text{Ahorro} = \text{Perd}_m + \text{Perd}_p \quad (\text{Parra, 2003}) \quad (3.12)$$

donde:

Perd_m : pérdidas monetarias por multas (Bs.)

Perd_p : pérdidas monetarias por prohibición temporal de actividades (Bs.)

3.2.6.2.2 Determinación de los costos necesarios para poner en marcha el nuevo proyecto.

Se establecieron los costos necesarios para poner en marcha el nuevo proyecto, como el total obtenido de la sumatoria de los costos de implementación de nuevas unidades, los costos de modificación de unidades existentes, costos por mantenimiento y de operación, haciendo uso de la ecuación:

$$C_{\text{proyecto}} = C_1 + C_2 + C_3 + C_4 \quad (\text{Parra, 2003}) \quad (3.13)$$



donde:

C_1 : costos de implementación de nuevas unidades (Bs.)

C_2 : costos de modificación de unidades existentes (Bs.)

C_3 : costos por mantenimiento (Bs.)

C_4 : costos de operación (Bs.)

En resumen se puede verificar todos los costos estimados y la relación costo-beneficio en la tabla siguiente:

TABLA 3.20. COSTOS, AHORRO Y RELACIÓN COSTO-BENEFICIO DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LA ALTERNATIVA

	IMPLEMENTACIÓN DE NUEVAS UNIDADES		RELACIÓN COSTO-BENEFICIO
COSTO DEL PROYECTO (Bs.)	MODIFICACIÓN DE UNIDADES EXISTENTES		
	MANTENIMIENTO		
	OPERACIÓN		
	TOTAL		
	AHORRO PONDERADO (Bs.)	MULTAS	
DOS (2) DÍAS DE PARADA DE PRODUCCIÓN			
TOTAL			

3.2.6.2.3 Determinación de los beneficios ambientales.

Aún cuando existen gran cantidad de posibles beneficios ambientales relacionados al proyecto de mejora de las unidades de tratamiento no siempre es factible poder cuantificarlos con base en supuestos razonables, a fin de incorporarlos en la evaluación; sin embargo, sí pudieron identificarse muchos de estos beneficios por su marcada importancia en la reducción del impacto ambiental producido por las



actividades industriales en la rama de producción dentro de la cual se encuentra la empresa.



CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE RESULTADOS

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos y su respectivo análisis.

4.1 ANÁLISIS DE LOS PROCESOS INDUSTRIALES DE GENERACIÓN DE EFLUENTES Y LAS CONDICIONES ACTUALES DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE HENKEL VENEZOLANA S.A.

4.1.1 Análisis del proceso industrial.

Henkel Venezolana S.A., es principalmente una empresa de diversos productos de limpieza y sanitización con una producción anual promedio de 4.550 toneladas aproximadamente. Estos pueden clasificarse de la siguiente manera:

- Lubricantes para cadenas transportadoras de envases con bebidas.
- Aditivos para lavado de botellas.
- Detergentes para limpieza en sitio (CIP).
- Detergentes para limpieza institucional.
- Jabones multiusos.
- Sanitizantes de superficies en contacto con alimentos.
- Otros.

En la figura 4.1 se indica el diagrama de bloques que describe de manera general el proceso productivo llevado a cabo. Dicho proceso se realiza bajo los más altos estándares de calidad y siempre comprometidos con la seguridad y protección del ambiente. Las etapas del proceso comprenden: recepción de materia prima, control de calidad, producción, nuevamente otra fase de control de calidad, almacenamiento y despacho. Otra etapa en paralelo o en conjunto con el proceso productivo es la recuperación de efluentes (PTAR), como se muestra detalladamente en la figura 1.1 del Capítulo I.

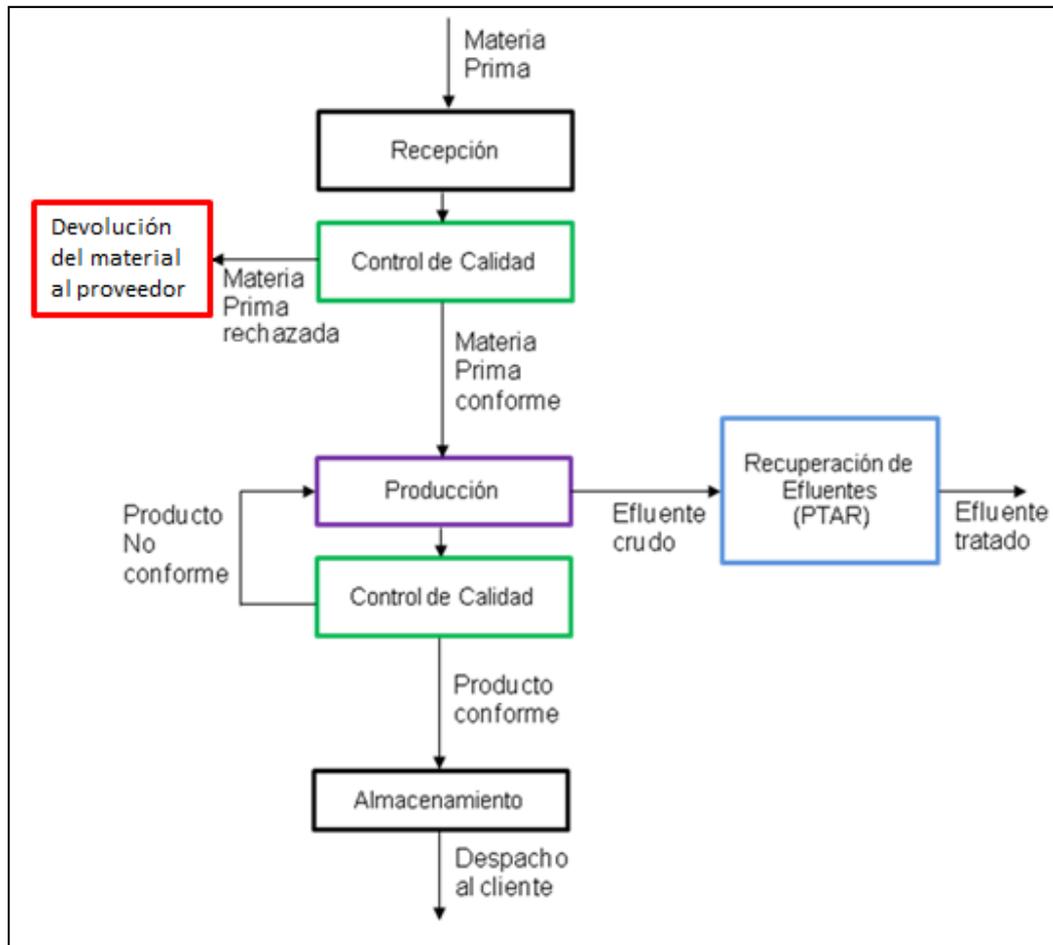


Figura 4.1. Diagrama de bloques general del proceso productivo.

4.1.2 Identificación de los materiales y compuestos utilizados en el proceso productivo.

Mediante una lista detallada de materiales y sustancias peligrosas ubicadas en el almacén, se lograron identificar todos los materiales utilizados en el proceso productivo, ésta puede ser apreciada en la tabla C.1 del Apéndice C.

Los materiales y sustancias peligrosas expuestas se encuentran clasificadas según la Norma NFPA 704 (Asociación Nacional de Protección contra el Fuego, por sus siglas en inglés: *National Fire Protection Association*) y tomando en cuenta los lineamientos de la Norma Venezolana COVENIN 3060:2002, siendo estas normas las que explican el *diamante del fuego*, utilizado para comunicar los riesgos de los



materiales peligrosos y establecen la clasificación de riesgos, los símbolos y las dimensiones de las señales de identificación de materiales peligrosos. Es importante tener en cuenta que el uso responsable de este diamante o rombo en la industria, implica que todo el personal conozca tanto los criterios de clasificación como el significado de cada número sobre cada color (Ver figura D.1 del Apéndice D). Adicionalmente, se hicieron observaciones a los productos con indicaciones especiales según sea el caso del tipo de sustancia, como por ejemplo:

Oxidantes: *Nitrato de sodio, Clorato de sodio, Dicromato de sodio 10 % y Solución de nitrato de níquel;*

Corrosivos: *Ácido fosfórico 85 %, Ácido nítrico, Clorito de sodio 80 %, Hidróxido de sodio, Sulfato hidroxilamina concentrado y Nonil fenol;*

Reactivos con agua: *Sodio dodecil benceno, Ácido sulfúrico 95 - 98 % y Ácido sulfúrico técnico;*

Combustibles: *Ácido cresílico.*

Conociendo el proceso productivo y la naturaleza de los materiales y sustancias peligrosas, se puede detallar y apreciar en la figura C.1 del Apéndice C, el diagrama de flujo detallado del proceso de fabricación.

Es de gran interés destacar que este procedimiento de identificación y análisis de la naturaleza de los materiales y compuestos, utilizados en el proceso productivo, es de suma importancia debido que a través de éste se logra discernir el tipo de contaminantes presentes en el efluente, así como su potencial daño y futuras vías o sistemas de tratamiento.

4.1.3 Identificación de cada una de las áreas de generación de efluentes.

Las aguas provenientes del proceso productivo son descargadas directamente a la planta de tratamiento, exceptuando las aguas empleadas para la limpieza del reactor plástico, las cuales son reutilizadas dos veces en el proceso con el objeto de reducir el consumo de agua, y luego almacenadas en un tanque, que al llenarse, es descargado a la PTAR. Cabe destacar que la naturaleza del efluente generado dependerá directamente de la producción realizada durante un lapso no específico de tiempo,



variando totalmente entre efluentes de carácter alcalino más comúnmente generados, hasta efluentes sumamente ácidos producidos con muy poca frecuencia.

Para industrias químicas la bibliografía recomienda desviar entre los primeros 8 y 12 minutos aproximadamente las aguas pluviales para redirigir las aguas de lavado a la PTAR; una vez transcurrido este tiempo se redireccionan hacia los canales de recolección municipales según Metcalf & Eddy, Inc (1996).

Al no existir datos característicos de la zona donde se encuentra ubicada la planta, se utilizó como referencia una precipitación media anual superior a 750 mm y considerando que las precipitaciones máximas anuales tienen periodos de 15 minutos, 30 minutos, 1 hora y 3 horas, datos suministrados por la Dirección de Hidrología y Meteorología del Ministerio del Ambiente, se establece que los primeros 15 minutos de precipitación son suficientes para garantizar que los contaminantes (polvo, solventes, químicos, etc.) que puedan estar alojados en la infraestructura de la planta sean arrastrados por las primeras precipitaciones hacia la PTAR (en un tanque de tormenta) y una vez eliminados desviar las aguas pluviales a su destino. El tiempo establecido supera al dado por la bibliografía ya que se tomaron condiciones extremas de precipitación anual.

4.1.4 Determinación de los efluentes que llegan a la Planta de Tratamiento.

Las caracterizaciones trimestrales realizadas al efluente crudo y a la salida final de la PTAR pueden ser observadas en las tablas B.1 y B.2 del Apéndice B. Esta información fue suministrada por directivos de la mesa técnica representante de la empresa, los cuales comunicaron explícitamente como requerimiento el uso exclusivo de estos datos.

El efluente generado en las áreas productivas de la empresa es enviado a la PTAR existente a razón de 0,44 L/s promedio con una desviación media de 0,27 L/s y una desviación estándar de 0,39 L/s, de acuerdo a lo reportado en las caracterizaciones trimestrales realizadas por laboratorio externo, ver tabla 4.1. Como análisis estadístico en este caso se calcularon dos tipos de desviaciones, donde la estándar o llamada también normal o típica, por lo general es utilizada para distribución sesgada de datos y



puede ser indiferente del número de datos. Sin embargo, existe la discrepancia en otras bibliografías que para un número menor de veinte (20) datos se debe utilizar la desviación media para obtener un valor más cercano al real según Skoog, West, Holler y Crouch (2005). Los valores corresponden con las mediciones realizadas entre abril de 2009 y enero de 2011, para un total de siete (7) caracterizaciones trimestrales representativas de la calidad del efluente generado por el proceso productivo durante el lapso de tiempo establecido.

Como parte de la identificación cualitativa y cuantitativa del efluente crudo y su salida final, se expresaron en las tablas C.2 y C.3 del Apéndice C los valores mínimos, promedios y máximos de cada parámetro expresado en las caracterizaciones trimestrales y se determinaron las características estadísticas (desviaciones media y estándar) de los parámetros más relevantes: DBO, DQO, pH, aceites y grasas vegetales y animales, sólidos suspendidos, sólidos sedimentables, fósforo total y nitrógeno total. El comportamiento de estos parámetros en el efluente crudo puede ser observado mediante las figuras C.2 a la C.9 del Apéndice C.

Se asume que una dispersión y desviaciones significativas pueden haber sido provocadas por variabilidad del proceso productivo (poca estandarización) y por ende la calidad del efluente producido, lo que incluye diferencias en las medidas de caudal y concentración de los contaminantes presentes.

TABLA 4.1. CAUDALES ESTIMADOS DE EFLUENTES A PTAR Y SUS DESVIACIONES MEDIA Y ESTÁNDAR

PARÁMETRO	UNIDAD	MÍNIMO	PROMEDIO	MÁXIMO	DESVIACIÓN MEDIA (d _m)	DESVIACIÓN ESTÁNDAR (s)
Caudal operativo (Q)	L/s	0,22	0,44	1,76	0,27	0,39
Caudal diario (Q _d)	m ³ /día	18,72	38,22	152,64	23,42	34,10

Fuente: Caracterizaciones trimestrales laboratorios externos. Abril 2009-Enero 2011.



4.1.5 Análisis de la caracterización suministrada por parte de la empresa.

Inicialmente se calcularon las cargas promedios de cada nutriente, las cuales se encuentran reflejadas en la tabla C.4 del Apéndice C, luego se obtuvieron las relaciones de la demanda bioquímica de oxígeno respecto a: la demanda química de oxígeno (DBO/DQO), al nitrógeno (DBO:N) y al fósforo (DBO:P) en la entrada del tratamiento físico-químico (efluente crudo) y en la entrada del tratamiento biológico (salida del tratamiento físico-químico), dichos resultados se encuentran en la tabla C.5 del Apéndice C.

Teóricamente, si se emplean unidades de tratamiento biológicas, la relación entre la DBO y las cargas de nutrientes tales como nitrógeno y fósforo (DBO:N:P), deben mantenerse entre 2,5 a 5 kg de nitrógeno por cada 100 kg de DBO y entre 0,5 a 1 kg de fósforo por cada 100 kg de DBO; esto con la finalidad de que se lleve a cabo la actividad biológica en las condiciones correctas de operación.

Estas relaciones arrojaron en el efluente crudo un valor promedio de 100:4,52 para DBO:N y 100:16,01 para DBO:P, siendo la relación DBO:P superior a la máxima recomendada. Esta última, al ser tan elevada, indica que las bacterias son incapaces de consumirla totalmente en su actividad de síntesis y transformación de la materia orgánica, y se corre el peligro de salir de norma en este parámetro, lo cual se evidenció en la caracterización de salida (tabla C.3 del Apéndice C).

La presencia de nutrientes en exceso pudiese ocasionar un efluente tratado con concentraciones de N y P superiores a los límites permitidos por la normativa ambiental. En cambio, el déficit de nutrientes afecta el desarrollo de las condiciones adecuadas de operación asociadas a la degradación de materia orgánica.

Se obtuvieron relaciones máximas de 8,77 kg de nitrógeno/100 kg de DBO y de 40,71 kg de fósforo/100 kg de DBO, así como valores mínimos de 0,76 kg de nitrógeno/100 kg de DBO y de 3,20 kg de fósforo/100 kg de DBO.

La relación entre las concentraciones de DBO y la DQO, es indicativa de la biodegradabilidad del efluente a ser tratado. En la tabla D.1 del Apéndice D se expresan las correlaciones existentes entre el DBO/DQO, y la orientación que este valor da sobre cual tipo de tratamiento debe ser aplicado al efluente o la ingeniería conceptual de



dicho tratamiento.

Si el proceso de tratamiento incluye unidades de tipo biológico, esta relación debe ser igual o mayor a 0,65 unidades (adimensional). Valores inferiores demuestran la presencia de material no biodegradable en el efluente crudo, que no será removido en procesos biológicos y que deben ser tratados en unidades de tratamiento químicos ó físico-químico. Esta materia orgánica no biodegradable, puede ser incluso tóxica para el tratamiento biológico y generar su muerte súbita, agravándose si se trata de un tratamiento por bio-película (Metcalf & Eddy, Inc, 1996).

En este caso específico la relación DBO/DQO arrojó un valor promedio de 0,30 evidenciando la presencia de material no biodegradable en el efluente crudo. Sin embargo la evaluación del conjunto de datos arrojó un valor máximo de 0,65 y un mínimo de 0,13 mostrando que la calidad del efluente que recibe la planta varía considerablemente dependiendo de la producción.

La calidad del efluente que recibe la PTAR orienta al requerimiento de tratamiento químico y/o físico-químico, o bien al acondicionamiento del efluente crudo para ser tratado en unidades biológicas, siendo la última opción no viable tanto operativa como económicamente, ya requeriría la adición de nutrientes y carga orgánica al efluente para poder ser tratado por dichas unidades, aumentando los costos de operatividad aunado a los costos propios de operación de las torres biológicas.

4.1.6 Verificación del cumplimiento de los parámetros de la normativa ambiental vigente en el Decreto N° 3.219 Gaceta Oficial Extraordinaria N° 5.305, correspondiente a la calidad de las descargas de efluentes al Lago de Valencia.

Tomando en cuenta los valores resumidos en el punto 4.1.4, se pueden observar altas concentraciones en el efluente crudo de DBO con un valor promedio de 5.665,43 mg/L, un máximo de 16.063,00 mg/L y un mínimo de 1.197,00 mg/L tomando como referencia el Decreto 3.219, obtenidos de las caracterizaciones trimestrales expresados en la tabla C.2 del Apéndice C.

Cabe destacar que se evidenció que los productos elaborados en la época del



diseño de la PTAR tenían alto ingrediente orgánico y por lo tanto se justificó en ese entonces una etapa de pulimento biológico; actualmente la realidad es otra y es inviable con ese grado de biodegradabilidad, un funcionamiento óptimo y eficiente de esta etapa.

Adicionalmente, los datos evaluados muestran los siguientes parámetros con concentraciones superiores a los límites máximos permitidos por la normativa ambiental vigente: sólidos suspendidos, sólidos sedimentables, aceites y grasas vegetales y animales, detergentes, fenoles, sulfatos, aluminio, sulfitos y hierro.

Se pueden resumir las causas de estas desviaciones:

- Los sólidos tanto suspendidos y sedimentables, se deben al desprendimiento excesivo de bio-película, por condiciones de baja biodegradabilidad del agua de entrada al reactor biológico.
- Aceites y grasas vegetales y animales y detergentes, por la falta de trampa de aceite y grasa y fallas en el tratamiento primario (coagulación-floculación).
- Fenoles: el mismo debió ser oxidado antes del tratamiento biológico, con la adición de un oxidante, este valor sólo se salió de norma en dos ocasiones (octubre 2.009 y mayo 2.010), los otros valores estuvieron muy por debajo de la norma. En base a información suministrada por personal técnico que labora en la empresa se estableció que este parámetro está asociado a ensayos de elaboración de productos que contienen como materia prima el compuesto nonil fenol; solvente utilizado principalmente como materia prima en la fabricación de detergentes, ó el nipacide px, compuesto químico anti-microbiano utilizado para controlar las bacterias, algas y hongos en adhesivos, emulsiones, pinturas, y los tanques de lavado.
- Los sulfatos y el aluminio, se estableció que están asociados a un exceso de inyección del coagulante sulfato de aluminio, ya que erróneamente fue utilizado por operarios de la PTAR para corregir pH.



4.2 REALIZACIÓN DE PRUEBAS DE TRATABILIDAD PARA EL DISEÑO DE ALTERNATIVAS DE MEJORA DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.

4.2.1 Determinación de unidades de tratamiento a simular en los ensayos de tratabilidad.

Esta determinación se realizó tomando como referencia las tablas D.2, D.3 y D.4 del Apéndice D donde se presentan la mayoría de los contaminantes presentes en el agua residual, las operaciones y procesos unitarios y sistemas de tratamiento utilizados comúnmente para eliminarlos, además de tratamientos avanzados y su potencial de eliminación.

Conjuntamente, se tomó en cuenta la relación de la DBO/DQO calculada en el punto 4.1.5, donde se considera que la calidad del efluente que recibe la PTAR orienta al requerimiento de tratamiento químico y/o físico-químico. Por lo tanto la selección de las posibles unidades de tratamiento, de acuerdo a los contaminantes más críticos fuera de norma expresados en el punto 4.1.6, son:

TABLA 4.2. UNIDAD, OPERACIÓN O SISTEMA DE TRATAMIENTO SEGÚN REMOCIÓN DE LOS CONTAMINANTES

PRINCIPALES CONTAMINANTES REMOVIDOS	UNIDAD / OPERACIÓN / SISTEMA DE TRATAMIENTO
Sólidos Suspendidos, DBO, DQO, Fósforo	Coagulación-Floculación y Sedimentación con cal (Alternativa 1)
DBO, DQO, Sulfatos, Fósforo y Sólidos disueltos	Ultrafiltración y Ósmosis inversa (Alternativa 2)
Sólidos Suspendidos	Flotación por aire disuelto (Alternativa 3)



4.2.2 Planificación de los ensayos (logística, equipos, reactivos a utilizar).

La única unidad o tratamiento a simular en esta sección es la alternativa 1 (coagulación-floculación) generada en el punto anterior. Esto se debe a diversos factores intrínsecos a cada alternativa, entre los cuales figuran: el costo de los equipos necesarios para recrear las condiciones de operatividad, como por ejemplo, las membranas semipermeables y compresores; lograr las condiciones extremas de presión necesarias para llevar a cabo aquellos procesos con principios de funcionamiento basados en la transferencia de fluidos a través de membranas semipermeables; además de no contar con la disponibilidad de espacio físico para la ejecución de la simulación, y por último pero no menos importante, los posibles riesgos a la seguridad del personal, presentes al tratar de simular sistemas hidráulicos y neumáticos de alta presión. Este proceso de selección se realiza de manera más detallada en el objetivo siguiente mediante la aplicación de matrices de selección cualitativa y cuantitativa.

Para llevar a cabo la simulación de coagulación-floculación, se realizan pruebas de jarras, donde se ejecutó el siguiente procedimiento general según Arboleda (2000):

1. Determinar pH, luego identificar color y nivel de turbidez mediante inspección visual.
2. Añadir dosis progresivas de coagulante al agua en cada vaso precipitado, se hacen girar las paletas entre 100 a 150 rpm durante un minuto. Esto produce una mezcla completa, muy semejante a la que se obtiene en un salto hidráulico.
3. Una vez hecha la mezcla rápida, agregar floculador y disminuir la velocidad de rotación de las paletas entre 15 y 20 rpm y dejar flocular el agua durante 15 minutos.
4. Suspender la agitación, extraer las paletas y dejar sedimentar durante un tiempo no menor a 30 minutos según Parra (2003).

Una vez transcurrido el tiempo necesario para la sedimentación, se pueden hacer las determinaciones de tipo:



- a. *Cualitativo*: evaluación del tamaño del floc producido mediante la tabla D.5 (índice de floculación de Willcomb) del Apéndice D.
- b. *Cuantitativo*: comparación para estimar el tamaño del floc producido en la coagulación según WRA (Instituto de Investigación del Agua de Inglaterra, por sus siglas en inglés: Water Research Institute), mediante la figura D.2 del Apéndice D.

Es importante destacar que para las tomas de muestras realizadas durante la ejecución de la prueba de jarras se tomaron en cuenta precauciones generales, parte de las cuales fueron tomadas de los lineamientos sobre las técnicas de captación de muestras de agua, contenidos en la Norma Venezolana COVENIN 2709:2002. Estas precauciones se muestran a continuación:

- Las muestras fueron tomadas en días significativos de producción.
- Para realizar el análisis de las aguas, las muestras son recolectadas en recipientes de plástico con su respectiva tapa, y refrigerados con hielo comercial para ser trasladados a un laboratorio externo.
- La muestra no debe deteriorarse o contaminarse antes de llegar al laboratorio.
- Antes de llenar el envase con la muestra se lavó dos o tres veces con el agua de muestreo.
- Se recolectó una muestra compuesta representativa del efluente generado de aproximadamente 20 litros para cada prueba de jarras.

Inicialmente se realizaron pruebas de jarras utilizando cloruro férrico como coagulante, éste le dió coloración al efluente y tuvo muy baja eficiencia (turbidez muy alta). Seguidamente se optó por utilizar policloruro de aluminio aunque se obtuvo una buena clarificación del efluente, se necesitaban dosis muy alta e implicaba costos elevados para la empresa. Finalmente se planificó realizar las pruebas con sulfato de aluminio sólido; éste alcanzó una aceptable clarificación pero por recomendaciones técnicas se cambió al sulfato de aluminio (libre de hierro) concentrado (líquido) como coagulante, obteniendo el mejor rendimiento.



La remoción de fósforo suele ser difícil básicamente cuando están presentes uno o ambos de los siguientes factores:

1. Las formas de fósforo en el efluente son del tipo fósforo orgánico o polifosfatos. Por otro lado en el caso de ser orto-fosfatos la eliminación es más sencilla.
2. La alcalinidad del agua es elevada, ya que en este caso los polímeros inorgánicos con base de aluminio se consumen neutralizando la alcalinidad antes de conseguir el efecto de reversión y reacción con el fósforo.

Los métodos más comúnmente empleados para remover fósforo son el uso de sales de aluminio, sales de hierro y uso del ión calcio. En cualquiera de los métodos debe haber suficiente tiempo de reacción y además operar en el pH adecuado.

El polímero aniónico WET CLEAR 993 es un ayudante de coagulación (floculante) excelente, el cual es recomendado por Industrias WET Venezuela, C.A. y puede ser empleado también para la remoción del fósforo.

Adicionalmente, se utilizó ácido clorhídrico para ajuste de pH y cal con el fin de ejecutar la remoción de fósforo total del efluente. Para la realización de estos ensayos se utilizaron los siguientes materiales, equipos, sustancias y reactivos:

- Equipo prueba de jarras.
- 5 vasos precipitados de 2.000 mL cada uno.
- Pipetas graduadas de 1 a 10 mL.
- Cilindros graduados de 20 a 50 mL.
- 5 frascos de vidrios con sus tapas de 120 mL.
- Sulfato de aluminio (libre de hierro) concentrado al 50 %v/v.
- Sulfato de aluminio diluido al 25 %v/v.
- Polímero aniónico WET CLEAR 993 al 0,05 %p/v.
- Cal hidratada al 30 %p/v.
- Ácido clorhídrico al 30%v/v.

En cada prueba se estipuló evaluar:

- **Prueba de jarras 1:** dosis correctas de coagulante sulfato de aluminio (libre de hierro) concentrado, sin ajuste de pH de la muestra.



- **Prueba de jarras 2:** dosis correctas de floculante WET CLEAR 993 al 0,05 %p/v.
- **Prueba de jarras 3:** dosis requeridas de sulfato de aluminio concentrado para ajuste de pH.
- **Prueba de jarras 4:** dosis correctas de sulfato de aluminio concentrado libre de hierro con previo ajuste de pH con ácido clorhídrico al 30 %v/v.
- **Prueba de jarras 5:** dosis correctas de sulfato de aluminio diluido al 25 %v/v con previo ajuste de pH con ácido clorhídrico.

4.2.3 Ejecución de ensayos de tratabilidad, entre ellos pruebas de jarra, a los efluentes generados en el proceso productivo.

La muestra del efluente crudo presentó las siguientes características: color blanquecino, alta turbidez, presencia de sólidos y un pH de 9, el cual se aprecia en la siguiente de figura:



Figura 4.2. Efluente crudo.

Para la realización de las pruebas de jarras, se utilizaron en las cinco pruebas sulfato de aluminio libre de hierro concentrado y polímero aniónico WET CLEAR 993 al 0,05 %p/v. Los resultados obtenidos se pueden apreciar en las tablas C.6 a la C.10



del Apéndice C.

Para la prueba de jarras 1 (tabla C.6 del Apéndice C): la jarra dos (2) presentó la dosis más adecuada de coagulante con 2 mL de sulfato de aluminio, donde se observó una coagulación tipo “A” casi imperceptible de 0,3 a 0,5 mm según el comparador para estimar el tamaño del producido en la coagulación en la figura D.2 del Apéndice D, con un índice de floculación de Willcomb igual a cero (0), el cual puede ser apreciado en la tabla D.5 del Apéndice D, lo cual equivale a floc coloidal, sin ningún signo de aglutinación, en el mismo orden de ideas la sedimentación fue lenta.

Para la prueba de jarras 2 (tabla C.7 del Apéndice C): para este ensayo la jarra cinco (5) presentó la dosis más apropiada de floculante con 10 mL de polímero, observando una coagulación tipo “A” casi imperceptible de 0,3 a 0,5 mm según el comparador para estimar el tamaño producido en la coagulación, índice de floculación de Willcomb igual a dos (2), lo que equivale a un floc muy pequeño, visible, casi imperceptible para un observador no entrenado.

Estas dos primeras pruebas se realizaron con la finalidad de llevar a cabo el tratamiento físico-químico sin variar el pH existente, por falta de productos ácidos para tal fin y por la carencia de efluentes ácidos para realizar una mezcla idónea entre éstos y el batch actual de pH básico, por lo cual la siguiente prueba se ejecutó con altos volúmenes de sulfato de aluminio disponible en planta para cuantificar la cantidad del mismo que se requiere en situaciones como la presentada. Cabe destacar que no es conveniente que el pH sea ajustado a valores idóneos con el coagulante, ya que esto ocasiona sobredosificación del mismo.

Para la prueba de jarras 3 (tabla C.8 del Apéndice C): en esta prueba se utilizó cal hidratada al 30 %p/v y polímero aniónico WET CLEAR 993 al 0,05 %p/v. La jarra dos (2) presentó una coagulación tipo “A” casi imperceptible de 0,3 a 0,5 mm según el comparador para estimar el tamaño producido en la coagulación, índice de floculación de Willcomb igual a cero (0), lo que equivale a floc coloidal, sin ningún signo de aglutinación, asimismo el pH fue de 6, por otro lado la sedimentación fue lenta.

Esta prueba es indicativa de que se debe realizar pruebas con mayor dosis de polímero o incrementar la concentración del mismo.

La dosis requerida para la coagulación de 6 mL equivale a dosificar en planta



para un batch de 24,5 m³, la cantidad de 73,5 litros de sulfato de aluminio lo cual es un consumo excesivo. En vista de esta situación se realizó otra prueba de jarras donde se utilizó previamente ácido clorhídrico al 30 %v/v para disminuir el pH y evitar la sobredosificación de coagulante, sulfato de aluminio concentrado, cal hidratada al 30 %p/v y polímero aniónico WET CLEAR 993 al 0,05 %p/v.

Para la prueba de jarras 4 (tabla C.9 del Apéndice C): se realizó en una sola jarra y presentó una coagulación tipo “C” casi imperceptible de 0,75 a 1,0 mm según el comparador para estimar el tamaño producido en la coagulación, un índice de floculación de Willcomb igual a cero (0), equivalente a floc coloidal, sin ningún signo de aglutinación, la sedimentación fue lenta.

Esta prueba fue la que obtuvo el mejor resultado de las pruebas ejecutadas, por lo cual la siguiente prueba de jarras se basó en el previo ajuste de pH del efluente con ácido clorhídrico e incorporación final de solución de cal al 30 %p/v a fin de remover el fósforo total del efluente.

Cabe destacar, que el uso de sulfato de aluminio concentrado como coagulante trae como consecuencia el posible aumento de los valores de parámetros como los sulfatos y aluminio, por lo que para evitar esa condición se aplicó a la siguiente prueba de jarras una acción preventiva que consiste en utilizar el doble del volumen de coagulante pero utilizando esta vez sulfato de aluminio al 25 %v/v, con esto se emplea la misma cantidad de sulfato buscando reducir la concentración de salida.

Finalmente, para la prueba de jarras 5 (tabla C.10 del Apéndice C): la jarra tres (3) presentó el mejor proceso de coagulación-floculación presentando una coagulación tipo “E”, un floc grueso entre 1,5 y 2,25 mm según el comparador para estimar el tamaño producido en la coagulación, un índice de floculación de Willcomb entre 4 y 6, lo que equivale a un floc disperso/claro, bien formado de tamaño, relativamente grande con buena sedimentación generando 200 mL de lodo por 1.000 mL de efluente.

Finalmente la dosificación de coagulante y floculante por batch se obtienen mediante los cálculos realizados en el punto A.2 del Apéndice A.

A continuación se muestran imágenes del efluente tratado mediante esta prueba de jarras y su reacción luego de 48 horas después de haber aplicado el tratamiento:



Figura 4.3. Efluente tratado en prueba de jarras 5.



Figura 4.4. Efluente tratado en prueba de jarras 5 (reacción 48 horas después).

4.2.4 Caracterizaciones de las aguas resultantes para determinar la eficiencia de los ensayos correspondientes a cada unidad de tratamiento.

Los resultados generales obtenidos del estudio comparativo de los estados de coagulación y floculación, realizados a las aguas resultantes de las pruebas se pueden resumir en la tabla mostrada a continuación:



TABLA 4.3. JARRA CON DOSIS RECOMENDABLE, TAMAÑO DEL FLOC PRODUCIDO EN LA COAGULACIÓN E ÍNDICE DE FLOCULACIÓN DE WILLCOMB DE CADA PRUEBA DE JARRAS

PRUEBA	JARRA CON DOSIS RECOMENDABLE	TAMAÑO DEL FLOC PRODUCIDO EN LA COAGULACIÓN	ÍNDICE DE FLOCULACIÓN DE WILLCOMB
1	2	Tipo A / 0,3 - 0,5 mm	0
2	5	Tipo A / 0,3 - 0,5 mm	2
3	2	Tipo A / 0,3 - 0,5 mm	0
4	1	Tipo C / 0,75 - 1,0 mm	0
5	3	Tipo E / 1,5 - 2,25 mm	4-6

Estos resultados indican que la simulación realizada en la jarra tres (3) de la prueba de jarras 5, establece las dosis correctas necesarias para producir la mejor coagulación-floculación, así como las cantidades de ácido requeridas para el ajuste del pH y de cal líquida para sedimentar el fósforo. Tanto a las aguas tratadas en esta jarra, como al efluente crudo, se le realizaron caracterizaciones por un laboratorio externo y los valores resultantes suministrados, están contenidos en la tabla 4.4.

Es de hacer notar que los valores del nitrógeno como del fósforo total estarían conforme a lo establecido en la normativa ambiental, si se adecuara la disposición final del efluente en la red cloacal en lugar de la descarga directa. Además se sabe que realizar un retratamiento de los efluentes contribuiría a la disminución de la concentración de los mismos con el riesgo de aumentar considerablemente la cantidad de sulfatos. Como se mencionó anteriormente, al realizar la simulación de tratamiento trabajando con sulfato diluido se redujo la concentración del mismo de 550 ppm a 320 ppm, entrando dentro de los parámetros permitidos.



TABLA 4.4. CARACTERIZACIÓN DEL EFLUENTE CRUDO Y TRATADO, Y PARÁMETROS ESTABLECIDOS POR LA NORMATIVA AMBIENTAL

PARÁMETRO	UNIDAD	EFLUENTE CRUDO	EFLUENTE TRATADO	DECRETO 3.219	
				DESCARGA DIRECTA (Art. 36)	DESCARGA RED CLOACAL (Art. 38)*
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	1.000,00	7,50	350,00	700,00
pH	Adim.	6,33	6,73	6,0-9,0	6,0-9,0
Nitrógeno Total	mg/L	40,00	20,00	10,00	40,00
Fósforo Total	mg/L	47,00	7,50	1,00	10,00
Sulfatos	mg/L	550,00	320,00	600,00	400,00
Turbidez	UNT	1.700,00	4,00	-	-
Sólidos Suspendidos	mg/L	1.900,00	54,00	80,00	400,00

**Los valores del Decreto 3.219 sólo se aplican a la salida de la PTAR en descargas al lago de Valencia y a la red hidrográfica tributaria; la descarga a red cloacal es sólo un valor referencial.*

4.2.5 Análisis comparativo de las unidades utilizadas actualmente, con las simuladas en los ensayos.

Los valores resultantes de los cálculos de eficiencia de remoción de contaminantes, tanto de las unidades anteriores como las implementadas, están reportados en la siguiente tabla:



TABLA 4.5. EFICIENCIA TEÓRICA Y OBTENIDA

PARÁMETROS CRÍTICOS	EFICIENCIA DE REMOCIÓN (Adim)	
	EFLUENTE TRATADO ANTERIORMENTE*	EFLUENTE TRATADO CON DOSIS NUEVAS
Demanda Química de Oxígeno	56,95	99,25
Nitrógeno Total	60,46	50,00
Fósforo Total	46,33	84,04
Sulfatos	-565,29	41,82
Sólidos Suspendedos	45,48	97,16

*La totalidad de los valores de eficiencia del proceso actual pueden observarse en la tabla B.4 del Apéndice B.

El proceso físico-químico de coagulación y floculación utilizado anteriormente en la PTAR en su momento fue ejecutado de la siguiente manera: al efluente se le realizaba un proceso de acondicionamiento que consistía en la adición de cal para control de pH, hasta pH neutro, previo el proceso físico-químico. Se contaba con agitación por aire. Este proceso previo ocasiona formación de sólidos prematuramente y acumulación en el tanque de bombeo. Esto aunado al inadecuado control del pH de reacción, ocasiona fallas operativas y disminución de la eficiencia del proceso. Seguidamente se agregaba sulfato de aluminio concentrado hasta llegar a pH 5 bajo un régimen de mezcla rápida. Cabe destacar que no es conveniente que el pH sea ajustado a valores idóneos con el coagulante, dicha actividad ocasiona sobredosificación del mismo, generando valores de eficiencia negativa en la remoción de sulfatos. Con respecto a las bombas dosificadoras, el caudal máximo entregado no era suficiente para inyectar la concentración necesaria de sulfato de aluminio para generar la coagulación durante el tiempo de retención establecido. Posteriormente el efluente pasaba a un tanque de floculación donde se adicionaba polímero bajo un régimen de mezcla lenta, esta última no era eficiente puesto que se realizaba por mezclado con fuerza hidráulica y no garantizaba una buena formación de flóculos en el proceso. Un mal funcionamiento del proceso de floculación puede ocasionar



rompimiento de los flóculos formados, afectando la separación del líquido y un posible arrastre en el efluente clarificado, lo que disminuye a su vez la eficiencia del proceso en cuanto a remoción de contaminantes.

En general, no se llevaba el adecuado control operativo del proceso, no se realizaba la determinación del tipo de químicos requeridos y su dosificación, ni la mejora o modificación de los medios empleados para la agitación y mezcla en las unidades.

A diferencia del proceso anterior, tanto las pruebas de jarras como el proceso implementado se realizan de esta manera: se efectúa neutralización hasta pH cercano a cinco (5) con ácido clorhídrico o soda cáustica dependiendo del valor registrado de pH, evitándose así la adición excesiva de coagulante para control del mismo que genera valores fuera de la norma ambiental y de cal líquida que genera grandes cantidades de lodo. Luego se agrega bajo mezcla rápida (100 rpm) sulfato de aluminio diluido hasta pH 4, seguidamente se reduce la velocidad de agitación (15 rpm) y se agrega el polímero floculante.

Finalmente se adiciona cal hasta aumentar el pH a valores próximos a 8,5 y se suspende la agitación para precipitar y sedimentar el fósforo remanente; es recomendable hacerlo de esta manera con la finalidad de no agregar exceso de cal. De no hacerlo en este orden se corre el riesgo de que no ocurra la reacción con fósforo, tal como se evidencia en los diferentes valores de eficiencia de remoción entre el sistema anterior y el tratado.

El aumento considerable en la eficiencia de eliminación de contaminantes se debe en gran medida al adecuado control operativo del proceso, que incluye la dosificación correcta de reactivos, orden apropiado de las etapas del proceso de coagulación-floculación, tiempos de reacción y regímenes de mezcla.

4.2.6 Estudio de unidades existentes a ser rediseñadas o sustituidas, y de unidades nuevas que deban adicionarse.

La planta de tratamiento de aguas residuales de Henkel Venezolana S.A., cuenta con un tanque de acumulación de aguas de lluvias (ATKN-03) pero su conexión hacia el tanque de bombeo principal (ATKN-05) está bloqueada. Sin embargo, planea utilizarse



adicionalmente como tanque de recolección de aguas residuales industriales y de bombeo futuro.

Además posee un tanque de recepción principal (ATKN-01) donde el efluente es homogeneizado a través de agitación constante por aire. El efluente rebosa en un segundo tanque de homogeneización (ATKN-02) que alimenta el tanque de bombeo principal (ver figura 1.1). Ambos tanques tienen entradas independientes de las diferentes etapas de producción. Debido a la excesiva entrada de sólidos sedimentables a estos tanques de igualación, los mismos presentan un alto porcentaje de su altura total ocupada por estos sólidos, lo cual disminuye considerablemente su tiempo de residencia hidráulico y genera malos olores.

Además se cuenta con un tercer tanque en desuso (ATKN-06), de forma rectangular y con baffles, que se supone era una trampa de aceite y grasa, el cual también posee la entrada bloqueada y se encuentra inoperativo. Puede ser utilizado como tanque de emergencia para almacenar cargas de impacto causadas por caudales provenientes de lluvias o producción excesiva de efluentes desde el proceso productivo, y para recibir la recirculación del efluente tratado.

Existe otro tanque en buenas condiciones (ATKN-04), actualmente sin uso, que por sus dimensiones y por la inminente necesidad de instalación, pudiera ser utilizado como trampa de sólidos y de aceites y grasas. En este tanque se debe colocar una pendiente en el fondo para acumular el lodo y poder extraer el mismo y en la superficie se deben colocar baffles para confinar y luego extraer los aceites y grasas libres. Se dispone de bombas para el servicio de succión desde los tanques de homogeneización y alimentación a la unidad de coagulación.

Conjuntamente, se tiene un sistema de tanques que funcionan como tanque de coagulación (ATKN-07), tanque de floculación (ATKN-08) y sedimentador de lodos físico-químico (ATKN-09). Además se cuenta con dos (2) lechos de lodos (ATKN-10A y ATKN-10B).

Previo al tratamiento biológico, se cuenta con dos (2) sedimentadores primarios circulares de fondo cónico, su alimentación es por bombeo desde el tanque de sedimentación de lodos físico-químico.



El efluente clarificado de los sedimentadores primarios descarga en una torre biológica donde se lleva a cabo la estabilización de la materia orgánica biodegradable presente en el agua residual. La torre está dividida en tres (3) secciones (B-01, B-02, B-03) y disponen de un relleno de material sintético donde se adhiere una película biológica compuesta por microorganismos responsables del proceso de degradación.

El agua residual se alimenta a las secciones en su parte superior por medio de vertederos y el efluente percola a través del relleno sintético originándose el contacto entre el efluente y la biopelícula adherida. El efluente tratado descarga por el fondo de la torre hacia un tanque acumulador (ATKN-11) desde donde se bombea efluente hacia dos sedimentadores secundarios en paralelo, donde son separados el efluente del lodo biológico formado en la torre.

El lodo acumulado en el fondo del sedimentador, se debería descargar hacia la alimentación del filtro prensa (fuera de operación) o al lecho de secado (también fuera de operación); sin embargo, al estar ambas unidades inhabilitadas no se dispone de una forma eficiente de manejar dicho desecho, presentándose como una situación crítica que requiere pronta solución. Para aliviar el exceso de lodo químico en planta, se ha solicitado al departamento de producción tótems en desuso para trasegar el lodo generado quedando en planta una gran cantidad de lodos esperando disposición final. El efluente clarificado es enviado hacia tanque de recirculación y descarga (ATKN-12), de donde se recircula parte del efluente tratado hacia la torre biológica, y se descarga otra parte del efluente tratado hacia canal de recolección municipal.

No obstante, y debido a las condiciones de operación actuales del proceso de tratamiento biológico, la presencia de material no biodegradable y las altas concentraciones de nitrógeno y fósforo no se recomienda incluir en la lógica de tratamiento, unidades de tipo biológico.

4.2.7 Diseño de alternativas de mejora a partir de aquellas unidades simuladas que evidenciaron mejor eficiencia.

El diseño de las opciones de mejora de la PTAR se realizó haciendo uso de la información obtenida en puntos anteriores, de donde puede resumirse que para las



condiciones actuales de calidad del efluente crudo, los mejores sistemas de tratamiento que podrían ser aplicados se ven definidos por sus unidades principales y tratamiento avanzado, las cuales rigen los principios de funcionamiento y factores operativos. Dichos sistemas son los siguientes:

Alternativa 1: Unidad principal: coagulación-floculación (simulada en pruebas de jarra).

Alternativa 2: Tratamiento avanzado (segunda etapa): ultrafiltración-ósmosis inversa.

Alternativa 3: Unidad principal: flotación por aire disuelto (DAF).

Sin embargo, indiferentemente de las unidades principales a escoger, todos los sistemas de tratamiento necesitan de unidades adicionales no menos importantes, que permiten adecuar las condiciones necesarias del caudal para una adecuada operatividad y eficiencia de las unidades principales. Entre éstas destacan los sistemas de bombeo del efluente, la trampa de sólidos y aceites y grasas, los tanques de recolección y bombeo de efluentes, tanques de homogeneización e igualación, tanques de almacenamiento de efluentes tratados y lodos. Adicionalmente, cada sistema de tratamiento requiere equipos e instrumentación particular, como es el caso de la unidad de coagulación-floculación que requiere de un sistema de control de proceso automatizado, sistemas de bombeo para la dosificación de reactivos para ajuste de pH, coagulantes-floculantes y cal líquida, equipos de agitación mecánica con control de velocidades ajustados a tiempo de reacción, medición de pH, entre otros. Del mismo modo, las alternativas restantes requieren de dispositivos especializados para la dosificación de reactivos, limpieza de membranas, bombas de alta presión, sistemas de purga y estructuras de soporte. Los diagramas específicos de cada una de estas alternativas se muestran detalladamente en la figura 2.1 para las unidades de flotación por aire disuelto, y en las figuras 2.2 y 2.3 para la ultrafiltración-ósmosis inversa.



4.3 SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA MÁS ADECUADA, QUE GENERE UN AUMENTO DE LA EFICIENCIA EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES Y CUMPLA CON LA NORMATIVA AMBIENTAL VIGENTE.

4.3.1 Descripción de cada propuesta de mejora.

Alternativa 1. Unidad principal: coagulación-floculación (simulada en pruebas de jarra).

Para la adecuación del proceso se propone la siguiente lógica de tratamiento:

El proceso inicia con el pre-tratamiento del efluente, realizando la segregación de los sólidos flotantes y aquellos fácilmente sedimentables, así como de los aceites y grasas, en una unidad diseñada para tal fin.

Se plantea implementar un proceso de coagulación-floculación por cargas con un volumen de operación de 24,5 m³. Para ello, se debe contar con un tanque de neutralización al cual se alimenta efluente crudo por bombeo desde los tanques de homogeneización o igualación hasta el volumen de carga estimado.

Seguidamente se procede al acondicionamiento del efluente mediante la dosificación de químicos para control de pH de reacción. Al lograr este valor, se bombea el efluente al tanque reactor donde inicia la etapa de coagulación con la dosificación de químicos correspondientes y un régimen de mezcla rápida, durante un lapso de tiempo de 0,5 a 5 minutos. Al culminar la fase anterior inicia el proceso de floculación, donde corresponde la dosificación de ayudantes de floculación y cal líquida para precipitar y sedimentar, en régimen de mezcla lenta y con tiempo de retención de 20 a 40 minutos.

Seguidamente el efluente es bombeado al sedimentador de lodo físico-químico donde se lleva a cabo la separación de los flóculos formados en forma de lodo. En esta unidad se obtiene un efluente clarificado que descarga por gravedad en un tanque de almacenamiento, que permite la acumulación de efluente tratado. Se plantea disponer de dos tanques adicionales, uno necesario para el almacenamiento y disposición final de lodos, y otro con la finalidad de depositar efluente que dependiendo de su calidad,



se tenga la posibilidad de recircular para su retratamiento en el proceso de tratamiento físico-químico. Finalmente, el efluente tratado que cumpla con la normativa ambiental, puede ser descargado a la red de recolección municipal.

Alternativa 2. Tratamiento avanzado (segunda etapa): ultrafiltración-ósmosis inversa. Se proponen las siguientes condiciones y secuencias de tratamiento:

Al igual que la alternativa anterior se requiere de unidades de pre-tratamiento que permitan separar los sólidos, aceites y grasas así como se debe contar con tanques de homogeneización o igualación, y con un tanque de neutralización.

En la mayoría de los casos, los sistemas de ósmosis inversa deben ir anteceditos por una etapa de pre-tratamiento adicional adecuada para evitar que las membranas se bloqueen a causa de sólidos suspendidos, dureza, materia orgánica, bacterias, sílice, óxidos metálicos e incluso cloro. Por lo tanto se debe tener un tratamiento primario como lo es la alternativa 1 y un sistema de ultrafiltración. Seguidamente, se dispone del dispositivo de ósmosis inversa que contiene una gran cantidad de equipos ensamblados en soportes de acero inoxidable. Entre los equipos instalados se incluye estaciones de dosificación de anti-incrustante, filtros de 5 micrones, bombas de alta presión, membranas de alto rechazo, contenedores de fibra de vidrio para membranas y paneles de instrumentación.

El problema más crítico a enfrentar en la operación de un sistema de ósmosis inversa es la posibilidad de ensuciamiento. Los procedimientos de limpieza química son efectivos, pero dicha limpieza no debería transformarse en sustituto de un pre-tratamiento adecuado. Los limpiadores no son generalmente efectivos en un 100 % e incluso algunos podrían afectar el rechazo de contaminantes de la membrana. Con un adecuado pre-tratamiento, un equipo de ósmosis inversa, no debería ser limpiado más de una vez al mes y la vida de las membranas debería ser de 5 años.

Normalmente se necesita también un sistema de post-tratamiento ya que el agua a la salida del sistema de ósmosis inversa normalmente es más ácida que la de alimentación porque tiene dióxido de carbono (CO_2) disuelto. Este post-tratamiento consiste en un proceso de neutralización y re-mineralización.



Alternativa 3. Unidad principal: flotación por aire disuelto (DAF).

Se presenta la siguiente lógica de tratamiento:

Para mejorar la eficiencia de unidades siguientes, se requiere el uso de unidades de pre-tratamiento que permitan separar los sólidos, aceites y grasas, tanques de homogeneización o igualación, y un tanque de neutralización. La unidad de flotación por aire disuelto (DAF) se compone de:

1. *Cámara de flotación:* unidad de geometría rectangular diseñada para proveer una velocidad horizontal de flujo controlada y máxima área superficial para una correcta separación de sólidos. Fabricada en acero al carbono reforzada con perfiles correspondientes para evitar deformaciones bajo tensiones normales durante la operación o montaje. Este recinto está equipado con:
 - 1.1. *Rascador superficial para flotado* (float skimmer).
 - 1.2. *Cámara colectora de flotado.*
 - 1.3. *Barredor de fondo o tornillo sin fin, y tolva colectora de lodos sedimentados.*
 - 1.4. *Baffle dissipador de energía en la entrada del efluente crudo.*
 - 1.5. *Baffle dissipador de energía en la salida del efluente tratado.*
 - 1.6. *Vertedero de salida de altura ajustable.*
 - 1.7. *Cámara colectora de efluente tratado.*
2. *Sistema de presurización.*
3. *Bomba de presurización o reciclo.*
4. *Panel de control.*

La cámara principal y los baffles son construidos en chapas de acero al carbono.

Las tuberías de aire están fabricadas de acero galvanizado, las de agua en PVC.

Toda la estructura metálica es pintada interior y exteriormente con pintura epóxica, logrando una excelente resistencia a las condiciones del efluente y del medio ambiente circundante.



4.3.2 Determinación de los criterios de selección.

Tomando en cuenta los requerimientos y limitaciones establecidas por parte de la mesa técnica en representación de la empresa, además de los factores importantes que se deben tener en cuenta en la selección y evaluación de las operaciones y procesos unitarios expresados en la tabla D.6 del Apéndice D y recomendaciones suministradas por expertos en la materia, se determinaron los siguientes criterios principales de selección, estableciendo estos como los más importantes para la ejecución del proceso de tratamiento que se implementara en las instalaciones de la planta:

1. Costos: implica el costo mínimo para ejecutar la alternativa de mejora. Es considerado factor crítico para la empresa.
2. Ocupación de espacio físico: actualmente la planta no cuenta con espacio físico para la instalación de nuevas unidades que tengan que ocupar un gran espacio, por lo tanto la empresa realizó la petición de utilizar o acondicionar las áreas donde actualmente se encuentra la PTAR evitando en lo posible el menor uso de espacio. Para este criterio es importante establecer si el proceso o tratamiento a ejecutar puede emplearse en conjunción con las instalaciones actuales de la PTAR. Es considerado factor crítico para la empresa.
3. Eficiencia (reducción de contaminantes): ésta puede ser estimada por la calidad del efluente tratado y si sus parámetros pueden cumplir con la normativa ambiental.
4. Operatividad: indica el grado de complejidad que puede presentar el tratamiento, tanto en condiciones rutinarias como en emergencias.
5. Seguridad: establece si el proceso u operación es seguro y saludable para sus operarios; es decir, que implique principalmente el menor grado de riesgos físicos (presión, vibraciones, desniveles, elementos contundentes o energizados, etc.), químicos y disergonómicos (manipulación de cargas, adopción de posturas forzadas, bipedestación).
6. Necesidad de químicos: requiere la aproximación de los recursos y cantidades que serán necesarios para el desarrollo y cumplimiento satisfactorio de las operaciones o procesos unitarios. Y que influencia tiene la adición de químicos



- sobre las características de los residuos del tratamiento y sobre el costo mínimo.
7. Personal calificado: principalmente se enfoca en la cantidad de empleados que se deben tener para manejar el proceso o tratamiento y el nivel de preparación que estos deben poseer sobre el mismo.
 8. Generación de residuos: es necesario conocer o estimar los tipos y cantidades de residuos sólidos, líquidos y gaseosos producidos para presupuestar y determinar su disposición final.

Cabe destacar que estos criterios fueron establecidos para la matriz de selección cuantitativa. Para la matriz de selección cualitativa sólo se tendrán en cuenta los más críticos: costo, operatividad (personal, caracterizaciones), ocupación de espacio físico y adicionalmente costos por mantenimiento, es decir, lo necesario que debe ser cubierto para repuestos, mantenimiento, explotación y su disponibilidad.

4.3.3 Ponderación de cada criterio.

A continuación se muestran los valores de ponderación asignados a cada criterio establecidos en el punto anterior:

Para los criterios costos, ocupación de espacio físico y eficiencia (reducción de contaminantes) se asignó una ponderación 20 % a cada uno, ya que son factores críticos de la empresa e importantes para el desarrollo de esta investigación.

Una ponderación de 10 % cada una para operatividad, personal calificado y generación de residuos, ya que estos pueden ser después de los críticos los que puedan tener mayor relevancia en la ejecución y operación del proceso unitario.

Y por último, pero no menos importante, la seguridad y necesidad de químicos con una ponderación del 5 % cada uno, ya que estos son tomados en cuenta tanto el aspecto legal como factor humano e influenciarán en el costo total de la operación.



4.3.4 Identificación de atributos de cada alternativa en función de los criterios.

Alternativa 1. Coagulación-Floculación: para esta alternativa la *ocupación de espacio físico* es excelente con un valor de cinco (5) unidades, ya que se puede adaptar perfectamente a las instalaciones actuales de la PTAR, sólo se debe reorganizar cada unidad para el proceso adecuado. Por otro lado los *costos* se le atribuyen un valor de cuatro (4) unidades, debido a que el espacio físico actual de la PTAR es ideal para la aplicación de este tratamiento, disminuye los gastos de implementación, aunque se debe contabilizar los acarreados al rediseño de unidades. En los casos de la *eficiencia* igualmente se le asigna un valor de cuatro (4) unidades, este tipo de tratamientos ofrece un alto porcentaje de remoción para los contaminantes aproximadamente 50 % para la mayoría de estos, ver tabla D.4 del Apéndice D, y la *operatividad* y *personal calificado*, ambos asignados con un atributo de cuatro (4) unidades cada uno, aunque el grado de complejidad de este tratamiento no es muy alto, el personal u operario debe contar con nociones básicas de tratamiento de aguas residuales, leyes ambientales, pruebas de tratabilidad y manejo de instrumentos y equipos como por ejemplo: bombas dosificadoras, éste puede ser entrenado perfectamente durante poco tiempo para tener total control de la PTAR. Por otro lado, aunque se manejan sustancias químicas y equipos energizados, haciendo cumplimiento de normas básicas de salud, seguridad y ambiente se puede evitar daños severos a la salud y seguridad del personal, por lo tanto se le atribuye un valor de cuatro (4) unidades al criterio de *seguridad*. Y por último con un valor igual a la unidad cada uno, se encuentran la *generación de residuos*, ya que se produce un lodo físico químico constantemente y éste debe tener una posterior disposición y la *necesidad de químicos*, lo cual es esencial para este tipo de tratamientos, ya que se necesitaría un coagulante, floculante y ayudante para la remoción de fósforo como en este caso lo es la cal, esto conduce a un alto consumo de químicos y un aumento en el presupuesto estipulado para la operación de la PTAR.

Alternativa 2. Ultrafiltración-Ósmosis inversa: en el caso de la ósmosis inversa si se observa la tabla D.4 del Apéndice D, presenta un alto porcentaje de remoción de



contaminantes y trabajando en conjunto con un equipo de ultrafiltración aumenta la vida útil de la membrana. Por lo tanto la *eficiencia* se le atribuye un valor de cinco (5) unidades, la *necesidad de químicos* en este tratamiento disminuye en comparación con la alternativa anterior, consecuentemente tiene un valor de cuatro (4) unidades al igual que la *generación de residuos*, aunque son generados la cantidad es menor. Para la *ocupación de espacio físico* se asignó un valor de tres (3) unidades, aunque no ocupa mucho espacio, el acondicionamiento para su instalación podría estar limitado a donde debe ser ubicado y es considerado actualmente un equipo de alto costo, por consecuencia el costo se le atribuye un valor igual a la unidad. En el caso de la seguridad se necesita tener en cuenta normas un poco más complejas para garantizar la seguridad del operario y del equipo, ya que trabaja con bombas de alta presión y se debe tener en cuenta dicha precaución, por lo tanto tiene un valor igual a dos (2). Finalmente la operatividad y personal calificado ambos con un valor igual a la unidad cada uno, por el mismo factor se seguridad y operación, estos equipos de tratamiento son relativamente nuevos y requieren de particulares cuidados para su buen funcionamiento, igualmente requiere de un personal experto que pueda manejar la complejidad del equipo.

Alternativa 3. Flotación por aire disuelto: en la tabla D.4 del Apéndice D se puede observar que para un tratamiento primario (como lo es el DAF) el porcentaje de remoción es relativamente medio y puede estar comprendido entre un 25 y 50 % de remoción de contaminantes, aunque para el caso del efluente a tratar la tendencia de los sólidos totales es a la sedimentación lo que restringe la utilidad de esta unidad que basa su principio de funcionamiento en la remoción de sólidos con tendencias a la flotación, por lo que se asigna un valor para la *eficiencia* de dos (2) unidades, en cuanto a la *necesidad de químicos* aunque es baja, siempre debe tomarse en cuenta que puede existir la necesidad de reactivos para acidificar u alcalinizar el efluente crudo o en tal caso neutralizar por lo que se le asigna un valor igualmente de cuatro (4) unidades. Para los costos se valorizó con tres (3) unidades, ya que se requeriría un presupuesto moderado para realizar la implementación de esta alternativa y total remodelación de las instalaciones actuales por lo que se le asigna el valor de la unidad



a la *ocupación de espacio físico*. En cuanto a la *generación de residuos*, éste tiene un atributo de tres (3) unidades, dicho tratamiento también genera cantidades apreciables de residuos que deben disponerse finalmente. Este sistema de tratamiento debe operar en presiones moderadas y altas por lo que conduce a un valor igual a la unidad para la *seguridad*, por lo tanto el personal que manipule este sistema debe tener total dominio de los parámetros operativos y del concepto como tal de la operación, ya que su complejidad requiere de cierto grado de conocimientos técnicos y teóricos por parte del operador, en conclusión un valor de dos (2) unidades es el asignado para los criterios de *operatividad y personal calificado*.

4.3.5 Análisis técnico de cada iniciativa de mejora.

A continuación se muestran algunos de los parámetros operativos y requerimientos técnicos más importantes para la puesta en ejecución de cada alternativa planteada.

Alternativa 1:

Unidad Principal: Coagulación-Floculación (simulada en pruebas de jarra).

Parámetros Operativos

- Volumen promedio: 38,30 m³/día.
- Volumen carga: 24,50 m³.
- N° de cargas: 2 cargas/día.
- Volumen máximo: 152,64 m³/día.
- Volumen carga: 24,50 m³.
- N° de cargas: 6,50 cargas/día.

Dosificación recomendada de reactivos

- Coagulante (sulfato de aluminio diluido al 25 %v/v): 42,875 L.
- Floculante (polímero aniónico WET CLEAR 993 al 0,05 %p/v): 490 L.
- Control de pH (ácido clorhídrico al 30 %v/v): 30,625 L.



- Ayudante de remoción de fósforo (cal hidratada al 30 %p/v): 30,625 L.

Tiempos de Proceso - Regímenes de agitación

- Coagulación: 5 min. / (100 - 150) rpm
- Floculación: 30 min. / (15 - 20) rpm
- Sedimentación: 45 min. / (0) rpm

Deben evaluarse los requerimientos de equipos e instalaciones necesarias para la operación del proceso propuesto. Entre ellos:

- a) Sistema de bombeo para alimentación de tanque de reacción o tanque coagulador-floculador.
- b) Adquisición e Instalación de equipo de agitación mecánica que incluye motor-reductor con variador de velocidades.
- c) Adquisición e instalación de medidor de pH en línea o portátil.
- d) Sistema de dosificación de químicos o ayudantes de reacción para control de pH, coagulación y floculación.
- e) Sistema de bombeo para descarga de efluente hacia sedimentador de lodos.
- f) Sistema de bombeo para recirculación de efluente tratado o transferencia a unidades de tratamientos siguientes.

Se debe contar con sistema de control de proceso automatizado, incluyendo control de llenado de tanque reactor, dosificación de químicos para ajuste de pH, arranque y parada de motor-reductores ajustados a tiempos de reacción, dosificación de coaguladores y floculadores, descarga de tanque reactor y otros.

Alternativa 2:

Tratamiento avanzado (segunda etapa): Ultrafiltración-Ósmosis inversa.

Ultrafiltración.

Parámetros Operativos

- Caudal máximo de entrada: 10 m³/h.
- Volumen efluente tratado: 240 m³/día.



- Volumen de residuos: 34 m³/día.
- Potencia consumida (400 v, 50 Hz): 5,2 kW.

Dimensiones

- Longitud: 4,8 m.
- Ancho: 0,8 m.
- Altura: 2 m.

Ósmosis inversa.

Parámetros Operativos

- Caudal máximo de entrada: 22 L/h.
- Volumen efluente tratado: 10 L/h.
- Presión de trabajo: 50-75 bar.
- Potencia consumida por bomba de alta presión (400 v, 50 Hz): 30 - 40 kW.

Dimensiones

- Longitud: 4 m.
- Ancho: 1 m.
- Altura: 1,6 m.
- Tubería de alimentación: 3"
- Tubería de permeado: 2"
- Tubería de concentrado: 2"
- Volumen de tanque de aclarado: 550 L.

Alternativa 3:

Unidad Principal: Flotación por aire disuelto (DAF).

Parámetros Operativos

- Capacidad de flujo: 195,84 m³/día.
- Capacidad de retención de lodos: 20 kg/h
- Área: 1,7 m²
- Presión de aire: 5,5 - 6 bar.



- Presión de reciclo: 5 bar.
- Factor de eficiencia de disolución de aire en agua: 0,5 - 0,8 Adim.

Tiempos de retención

- Cámara de flotación: 20 - 40 min.
- Tanque de presurización: 1 - 3 min.

4.3.6 Aplicación de las matrices de selección (Moody) cualitativa y cuantitativa.

Los atributos asignados a cada alternativa y su valor total para la matriz cualitativa se asignaron tomando en cuenta los costos generales que pueden generar la implementación de cada una de ellas. Para los *costos* se asignaron valores de 4, 1 y 2 correspondientes a las alternativas 1, 2 y 3 respectivamente; es decir, que la alternativa 1 sería la que menos presupuesto necesitaría ya que se cuenta con las instalaciones actuales y ésta pueden adaptarse fácilmente a dicha opción. Por otro lado, la ósmosis inversa tiene como desventaja que sólo elimina sólidos disueltos y los sólidos suspendidos y sedimentables la obstruyen, por lo tanto necesitaría una primera etapa de tratamiento para eliminar estos contaminantes como lo es la coagulación-floculación. En el caso del DAF, el gasto sería aún mayor para adecuar las instalaciones y obtener los equipos, el valor asignado a ella es mayor a la ósmosis inversa porque puede ser utilizada como unidad principal del tratamiento. Esto conlleva a una valoración del *espacio físico* de 5, 2 y 3 para cada alternativa. En cuanto a *operatividad* el personal que labore para las alternativas 2 y 3 debe estar altamente calificado y tener total dominio de estos sistemas, a diferencia de la alternativa 1 que puede tener nociones básicas sobre el manejo de instrumentación y químicos y tratamiento de aguas residuales, lo que conlleva a una valoración de 4 para la alternativa 1 y para el resto igual a la unidad.

Para los *costos de mantenimiento* se asignó una valoración de 4, 2 y 3 para cada alternativa (1, 2 y 3 respectivamente), las alternativas 4 y 3 deben contar con transporte y disposición de desechos en gran cantidad a diferencia de la alternativa 2 donde estos



pueden ser de menor volumen. Además que el mantenimiento de tanques y lechos puede ser menos complejo y costoso que realizarlo a una membrana de ósmosis inversa. Estos valores asignados a la matriz de selección cualitativa pueden ser apreciados en la tabla C.11 del Apéndice C, obteniendo las alternativas 1 y 3 con la mayor puntuación.

La aplicación de la matriz de selección cuantitativa puede ser observada en la tabla C.12 del Apéndice C, donde la alternativa 1 *coagulación-floculación* tuvo un total de 375, y la alternativa 3 *flotación por aire disuelto* con 215. Por lo que se descarta la alternativa 3 por tener el menor porcentaje de aplicación.

4.3.7 Selección de la alternativa que obtenga la mejor puntuación en ambas matrices de selección.

Del resultado de la aplicación de ambas matrices se obtuvo que la mejor alternativa de tratamiento es la coagulación-floculación (alternativa 1), la cual tendrá un menor costo para su implementación en las instalaciones de la empresa, ya que brinda la oportunidad de mantener las unidades actuales reorganizando su funcionamiento para una eficiente remoción de contaminantes. Aunque pueda implicar un costo moderado en mantenimiento, su grado de complejidad es medio y el entrenamiento que requiere el personal es moderado, así como la cantidad de operarios.

4.4 IMPLEMENTAR LA ALTERNATIVA SELECCIONADA.

4.4.1 Diseño de nuevas unidades de tratamiento.

Debido a la urgente necesidad de separar los sólidos, grasas y aceites que entran a los tanques de homogeneización se diseñó para tal fin una unidad “trampa”, haciendo uso de la información obtenida de la investigación de Sainz (2004); ésta establece que *el volumen de la trampa debe calcularse para un tiempo de retención mínimo de treinta (30) minutos a caudal máximo*, por lo que para el valor de caudal máximo de 152,64 m³/día se requiere una unidad con 3,168 m³ de volumen útil, y a su



vez debe estar dotada de baffles divisorios, necesarios para controlar el flujo en la entrada y permitir la retención de los aceites, grasas y sólidos flotantes en la superficie de la unidad. Estos baffles deben tener una altura de un 1/2 de la altura total de la unidad para permitir el flujo por la parte inferior de los mismos y evitar corrientes de choque. El fondo de la unidad debe poseer una pendiente con inclinación descendente comprendida entre 45° a 60° con respecto a la horizontal, para facilitar la acumulación y posterior remoción de sólidos mediante mecanismos de arrastre. La remoción de sólidos flotantes, aceites y grasas se realiza por medio de mecanismos especializados de arrastre (float/oil skimmer).

4.4.2 Implementación de nuevas unidades.

Se propuso utilizar una unidad existente en desuso (ATKN-04), a la cual se le realizaran modificaciones estructurales e instalación de equipos necesarios para cumplir con los requerimientos establecidos en el punto anterior de diseño de la trampa de sólidos, grasas y aceites. Esta unidad se muestra en la figura 4.5 en sus condiciones iniciales, y se encuentra actualmente en proceso de aprobación de presupuesto por parte de la mesa técnica.

Este tanque, cuyas dimensiones son 5,70 metros de largo; 2,0 metros de ancho; 2,0 metros de altura total y 1,7 metros de altura útil, posee un volumen útil aproximado de 19,38 m³ y un tiempo de residencia hidráulica de tres horas a caudal máximo y de doce horas a caudal promedio aproximadamente, lo que supera sin generar inconvenientes, los parámetros de diseño de esta unidad de tratamiento.



Figura 4.5. Tanque (ATKN-04) en su etapa de construcción.

4.4.3 Rediseño de unidades existentes.

Las dimensiones de cada tanque o unidad existente son mostradas en la tabla 4.6 y los resultados de los cálculos de volúmenes de las unidades están expresados en la tabla 4.7.

Una vez obtenidos los volúmenes, fue posible determinar los tiempos de retención hidráulica de las unidades existentes y comparar estos con los tiempos mínimos recomendados para las unidades requeridas en la alternativa planteada, tal como se muestra en la tabla 4.8.



TABLA 4.6. DIMENSIONES DE TANQUES Y UNIDADES

TIPO	PARÁMETRO	ERROR (ε)	UNIDAD	ATKN-03	ATKN-01	ATKN-02	ATKN-05	ATKN-06	ATKN-07	ATKN-07	ATKN-08	ATKN-09	ATKN-10A	ATKN-10B
RECTANGULARES	Largo (l)	0,05	m	1,5	4,33	4,36	2,68	0,94	3,58	3,58	3,02	7,55	5,20	2,35
	Ancho (a)	0,05	m	1,5	4,93	4,93	2,68	4,5	2,12	2,12	1,51	3,10	3,10	3,10
	Altura útil	0,05	m	3,5	3,42	3,42	3,42	3,42	1,66	1,66	1,04	2,08	2,08	2,08
	Altura total (h)	0,05	m	3,7	3,82	3,82	3,82	3,82	1,80	1,80	1,24	2,48	2,48	2,48
PIRAMIDALES	Área menor (A ₁)	0,04	m ²								0,16			
	Área mayor (A ₂)	0,23	m ²								4,56			
	Altura pirámide	0,05	m								0,36			

TABLA 4.7. VOLUMEN ÚTIL Y TOTAL DE TANQUES Y UNIDADES

VOLUMEN (V ± ε)	ERROR (ε)	UNIDAD	ATKN-03	ATKN-01	ATKN-02	ATKN-05	ATKN-06	ATKN-07	ATKN-07	ATKN-08	ATKN-09	ATKN-10A	ATKN-10B
ÚTIL	2,66	m ³	7,88	73,01	73,51	24,56	14,47	12,60	12,60	5,41	48,68	33,53	15,15
TOTAL	2,85	m ³	8,33	81,55	82,11	27,44	16,16	13,66	13,66	6,32	58,04	39,98	18,07

Mediante esta comparación se puede confirmar que las unidades actuales cumplen o exceden los tiempos mínimos requeridos dados por la bibliografía para unidades en específico, como se establece a continuación:

- La unidad ATKN-03 cumple con el tiempo de retención necesario para ser utilizada como tanque de recolección y bombeo futuro, a caudal promedio.
- Las unidades ATKN-01, ATKN-02, ATKN-10A y ATKN-10B exceden los tiempos requeridos para utilizarse como tanques de almacenamientos e igualación.
- La unidad ATKN-05 supera los tiempos de retención necesarios para ser modificada como tanque de neutralización de efluentes.



- Los tanques ATKN-07, ATKN-08 y ATKN-09 poseen la capacidad en términos de tiempos de retención para ser utilizados como reactor de coagulación-floculación, sedimentador de lodos y tanque de almacenamiento y descarga, respectivamente.

TABLA 4.8. TIEMPOS DE RETENCIÓN DE TANQUES Y UNIDADES

TIEMPOS DE RETENCIÓN HIDRÁULICA ($T_{RH} \pm \epsilon$)	ERROR (ϵ)	UNIDAD	ATKN-03	ATKN-01	ATKN-02	ATKN-05	ATKN-06	ATKN-07	ATKN-07	ATKN-08	ATKN-09	ATKN-10A	ATKN-10B
A CAUDAL MÁXIMO	1,18	h	1,24	11,48	11,56	3,86	2,27	1,98	1,98	0,85	7,65	5,27	2,38
A CAUDAL PROMEDIO	2,47	h	4,97	46,09	46,41	15,51	9,13	7,95	7,95	3,42	30,73	21,17	9,57
MÍNIMO REQUERIDO	-	h	4,95	8,00	8,00	8,00	8,00	0,08	0,50	0,75	1,50	8,00	8,00

Por consiguiente, se puede deducir que se cuenta con la capacidad para realizar las operaciones mediante el ajuste de los sistemas de bombeo y realizando la sustitución y adecuación de ciertas unidades.

4.4.4 Ejecución de cambios, sustitución o eliminación de unidades actuales.

Mediante la información obtenida en el punto anterior, se realizó la restructuración y adecuación de sistemas de tuberías, control de bombeo y dosificación; logrando de esta forma modificar la secuencia de tratamiento actual; ajustando las unidades existentes de la siguiente manera:

Se utilizará el tanque de acumulación de aguas de lluvias (ATKN-03) para esta



función y adicionalmente como tanque de recolección de aguas residuales industriales y de bombeo futuro. Los tanques de recepción principal (ATKN-01) y de homogeneización (ATKN-02), de ahora en adelante serán utilizados como tanques de homogeneización, uno para almacenar efluentes ácidos y otro para efluentes alcalinos. El tanque de bombeo principal actual (ATKN-05), se modificó como tanque de neutralización de efluentes y desde el cual se realiza la alimentación al proceso de tratamiento físico-químico. Seguidamente los tanques que funcionan como tanque de coagulación (ATKN-07), tanque de floculación (ATKN-08) y sedimentador de lodos físico-químico (ATKN-09) fue factible adecuarlos como reactor de coagulación-floculación, sedimentador de lodos y tanque de almacenamiento y descarga de efluentes tratados, respectivamente. Además los lechos de lodos (ATKN-10A y ATKN-10B), van a ser utilizados como tanque de recirculación y tanque de almacenamiento de lodo. Se realizó la sugerencia de reactivar la unidad de filtro prensa como herramienta eficaz para el manejo de lodos. Como fue discutido anteriormente, debido a las condiciones de calidad del efluente no se recomienda incluir en la lógica de tratamiento, unidades de tipo biológico. En la figura C.10 del Apéndice C puede apreciarse el diagrama del proceso completo de la PTAR que muestra todas las unidades diseñadas, por modificar o adecuar que serán implementadas. Las unidades que serán modificadas se pueden apreciar en las figuras a continuación:



Figura 4.6. Unidades actuales a modificar (lógica de tratamiento).

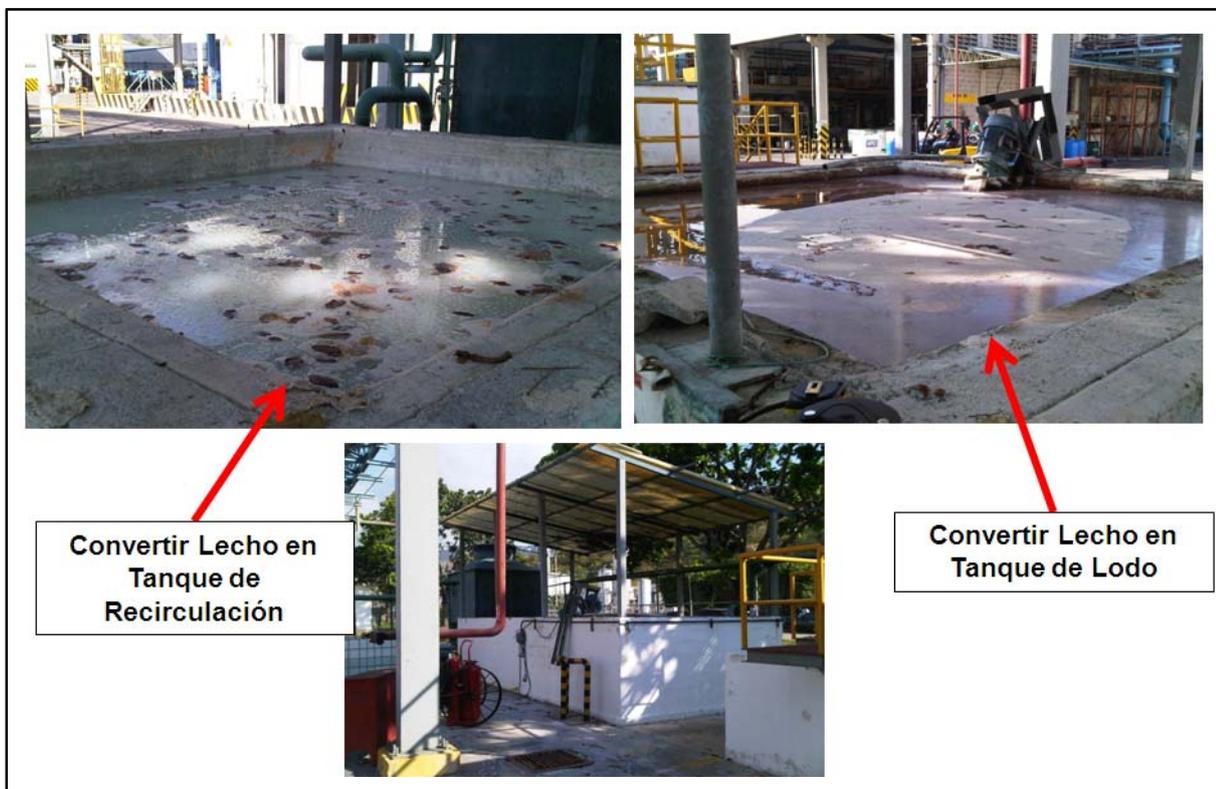


Figura 4.7. Unidades actuales a modificar (lechos).



4.5 ELABORACIÓN DEL PLAN DE CONTROL OPERATIVO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.

4.5.1 Determinación de parámetros de control.

Anteriormente se estimaron ciertos parámetros como los más relevantes para la PTAR, luego analizando el tipo de tratamiento, se lograron definir los siguientes parámetros de control, los cuales verifican la eficiencia de cada unidad controlada y el buen desarrollo de su funcionamiento por lo tanto, se tienen:

- Concentraciones de aceites y grasas (A y G), sólidos suspendidos (SS), sólidos sedimentables (SSe), sólidos flotantes (SF), DQO, Aluminio (Al), nitrógeno (N) y fósforo (P).
- Potencial de hidrógeno (pH).
- Dosificación de coagulante y floculante.
- Turbidez.

4.5.2 Asignación de personal capacitado para la evaluación de parámetros de control.

En esta sección se indican los perfiles básicos de los operarios y supervisor encargado de la PTAR.

Para el caso del *operador*, es la persona encargada de la supervisión y control del correcto desarrollo de los procesos de la PTAR, así como de los equipos, comunicando al supervisor encargado cualquier incidencia o anomalía que afecte a los equipos. Su función principal es vigilar continuamente los diferentes parámetros de control y supervisar el desarrollo del proceso de remoción de contaminantes.

Competencias y actividades del operador de la PTAR:

- Supervisión visual y control del correcto desarrollo de los procesos en la PTAR (*bombeo y acondicionamiento del efluente, neutralización, coagulación, floculación, sedimentación, retratamiento, tratamiento de*



lodos) así como del perfecto estado de los equipos que la componen.

- Vigilar continuamente los parámetros de control.
- Verificar que los parámetros de control estén acordes con lo establecido en la carta de control de cada unidad.
- Comunicación al supervisor de cualquier incidencia o anomalía que afecte a los equipos de la planta.
- Realización de guardias y retenes con el fin de que la planta no permanezca en ningún momento sin vigilancia.
- Recepción de productos químicos y reactivos bajo condiciones de seguridad.
- Control del retiro de los productos y subproductos de desecho para su posterior tratamiento o eliminación.
- Inspeccionar los circuitos de protección eléctrica, verificando el contacto en conexiones y advirtiendo la posible presencia de polvo, humedad y oxidación.
- Examinar vibraciones y ruidos en los equipos de la PTAR.
- Elaboración de las hojas diarias del análisis de los parámetros de control.
- Aportar sugerencias y medidas correctoras respecto a los planes diarios de actuación.
- Puesta en marcha y parada de la planta en caso de emergencia.
- Representación de la planta en ausencia de otro supervisor.

Perfil formativo del operador de la PTAR:

1. Nivel académico: Técnico superior universitario.
2. Tener conocimientos sobre tratamiento de aguas residuales y electricidad básica.
3. Tener conocimientos sobre la normativa ambiental.

El *supervisor encargado*, tiene como función la coordinación y control del trabajo de los operarios con el fin de mantener las consignas establecidas por el jefe de planta. Asigna a los operarios tareas específicas.



Competencias y actividades del supervisor encargado de la PTAR:

- Coordina y controla el trabajo de los operarios con el fin de mantener las consignas establecidas por el jefe de planta. Asigna a los operarios tareas específicas.
- Supervisión y control del correcto desarrollo de los procesos de la PTAR.
- Actuación sobre los elementos de planta a petición del responsable de planta.
- Supervisión del mantenimiento y limpieza de los equipos de la planta.
- Gestión del almacenamiento de reactivos, piezas, etc.
- Coordina y dirige la recepción de materiales en la planta.
- Elaboración de informes técnicos reportando el funcionamiento e incidencias de la PTAR.
- Entrenamiento de nuevos empleados.

Perfil formativo del supervisor encargado de la PTAR:

1. Nivel académico: Ingeniería Industrial o Química / Licenciatura en Química ó Ciencias Ambientales.
2. Tener conocimientos sobre tratamientos avanzados de aguas residuales, electricidad, mecánica y química.
3. Tener conocimientos sobre la normativa ambiental.
4. Tener conocimientos de gestión de la calidad y medio ambiente.

4.5.3 Determinación de la unidad que se requiere controlar.

Tomando como base los parámetros de control establecidos en punto anteriores se determinó que las unidades más relevantes a controlar para el tratamiento coagulación-floculación son:

- Trampa de sólidos y aceites y grasas.
- Tanque de neutralización
- Coagulador-Floculador (prueba de jarras)
- Tanque de agua tratada.



Se consideran las unidades antes mencionadas como las principales y más importantes debido a que éstas determinan la lógica de tratamiento de la alternativa ejecutada y por ende, su adecuado control establece la eficiencia de remoción de contaminantes de la PTAR y la calidad del efluente tratado.

4.5.4 Selección del método de evaluación (inspección visual, análisis, cálculo, etc.).

Los procedimientos de evaluación seleccionados dependen directamente de los dispositivos de tratamiento, y fueron establecidos tomando como base los parámetros de operación y control de los mismos, considerando las propiedades y fundamentos físicos y químicos intrínsecos a cada parámetro. Estableciendo los procedimientos a aplicar en cada unidad en la tabla C.13 del Apéndice C.

Para el caso de aquellos parámetros en estados fácilmente identificables y reconocibles, aplicar una detallada inspección visual de las condiciones del efluente fue suficiente para poder determinar la presencia de los mismos. De manera similar los valores de pH y turbidez pueden ser obtenidos fácilmente utilizando instrumentación diseñada para tal fin. Específicamente para el caso de los sólidos sedimentables puede aplicarse el análisis de sedimentación mediante la medición de la cantidad de sólidos acumulados en el fondo de un recipiente de forma cónica (cono de Imhoff) en el transcurso de un período de 60 minutos. Por otro lado, debido a que no se dispone en planta de los equipos, reactivos e instrumentación necesaria para la determinación de parámetros como concentraciones de DQO, fósforo y nitrógeno, y no se encuentra estipulada dentro de la planificación la adquisición de los mismos, se recomendó su valoración por análisis específicos realizados por laboratorios externos.

4.5.5 Elección de la frecuencia del control de parámetros.

Inicialmente se debe llevar un completo y estricto control a cada batch que llega a la PTAR para poder establecer una trazabilidad del comportamiento del efluente, seguidamente es recomendado inspeccionar cada parámetro en concordancia con su



importancia y efectos sobre las condiciones operativas; sin embargo, existen restricciones de tipo económico establecidas por la empresa que limitan la frecuencia con la cual laboratorios externos realizaran los análisis al efluente a solamente un estudio cada tres meses. Las frecuencias de control establecidas a cada parámetro están registradas en la tabla C.13 del Apéndice C. El control operativo de unidades y parámetros es la herramienta más importante a la hora de prevenir desviaciones significativas en el sistema e incumplir con la normativa ambiental vigente.

4.5.6 Selección de rangos óptimos de cada parámetro.

Cada unidad de tratamiento posee distintos rangos óptimos recomendados para cada parámetro de control, los cuales se encuentran registrados en la tabla C.13 del Apéndice C. Específicamente para las unidades utilizadas como trampa de sólidos, aceites y grasas; tanque de neutralización y tanque reactor de coagulación y floculación los valores y rangos de cada parámetro fueron establecidos comparando con la información obtenida de las caracterizaciones de entrada a la PTAR; seleccionando valores que permitieran mejorar la eficiencia de remoción de contaminantes con el objetivo de cumplir con los requerimientos gubernamentales. Finalmente y para comprobar tal cumplimiento se regulan los valores de los parámetros en la unidad de almacenamiento de aguas tratadas utilizando lo establecido en la normativa ambiental vigente, con el fin de tomar acciones preventivas o correctivas, o proceder a la descarga final de las aguas.

4.5.7 Explicación de por qué se deben realizar las mediciones para el control operativo (Descripción del Control). Parámetros de Cumplimiento Regulatorio (PCC), los relacionados con la Calidad o Eficiencia del Tratamiento (PCE) y los relacionados con chequeo de seguimiento de un Control Operativo (PCO).

Un adecuado y riguroso control de parámetros de cumplimiento regulatorio facilita la misión para la cual se diseñó la PTAR, que es cumplir con los estatutos



establecidos en la normativa ambiental vigente y evitar cualquier consecuencia legal con los organismos gubernamentales. Entre los PCC más significativos destacan la DQO, nutrientes, pH, sólidos, turbidez, aceites y grasas.

Los parámetros de eficiencia del tratamiento establecen la capacidad de remoción de las unidades instaladas, viéndose reflejada en la calidad del efluente tratado. Además proporcionan información valiosa para la creación de registros históricos que facilitan tanto el estudio de las condiciones operativas actuales de la PTAR como su trazabilidad. Los más importantes a considerar son las concentraciones de DQO, nutrientes y sólidos.

Los parámetros de control operativo permiten la adecuación de la lógica de tratamiento a las condiciones cambiantes del efluente, mediante la ejecución de acciones preventivas y correctivas, al ser indicadores directos de las condiciones operativas de la PTAR. Los PCO contemplan los parámetros mencionados en el punto 4.5.1 en su totalidad.

4.5.8 Determinación de las consecuencias que generan los parámetros fuera de rango o especificación.

Desde un punto de vista global la consecuencia más grave sería el incumplimiento de la normativa ambiental, lo cual perjudicaría severamente a la empresa. Entre otras se tiene la reducción de eficiencia de la remoción en las unidades y el aumento de los costos operativos y de mantenimiento de las unidades. Valores de parámetros como A y G, SSe y SF fuera de los niveles establecidos ocasionan fallas operativas al acumularse en las unidades y reducir los tiempos de residencia hidráulica perjudicando procesos como la coagulación-floculación (Metcalf & Eddy, Inc, 1996). Investigaciones realizadas demuestran que la influencia del pH es de fundamental importancia en la formación del floc, y por consiguiente valores fuera de rango del mismo propician desviaciones en las dosis correctas de reactivos necesarias, siendo necesario realizar pruebas de jarra para determinar las cantidades adecuadas a dosificar. Al mismo tiempo dosificaciones de coagulantes y floculantes inferiores a las necesarias no permiten la formación del floc al no producirse la desestabilización de las



partículas suspendidas en el agua mientras que una sobredosificación podría causar re-estabilización de las mismas, aumento de gastos operativos y generar valores negativos de eficiencia en la remoción de contaminantes. Un rango óptimo de turbidez sirve de indicador sobre la eficiencia del proceso de coagulación-floculación y la concentración de sólidos suspendidos, por lo que valores de la misma que difieran de los establecido provocaran el incumplimiento de la normativa ambiental de las misma manera que para valores de DQO y nutrientes fuera de rangos operativos fijados.

4.5.9 Verificación de los equipos utilizados para la medición de los parámetros (necesidad de calibración y su frecuencia, quien lo mide, quien lo analiza y quien toma decisión o actúa sobre ellos).

Según lo establece los lineamientos contenidos en la Norma Venezolana COVENIN 3699:2001, la verificación de los instrumentos de medición en los campos de la protección ambiental debe proporcionar el aseguramiento de los resultados correctos de las mediciones y mejorar la exactitud de estos instrumentos. Esta verificación puede ser también importante en relación con cualquier consecuencia legal de contaminación ambiental inaceptable. Un gran número de factores influyen en la frecuencia de recalibración y deberán ser tomados en cuenta por el personal técnico, el laboratorio externo contratado y la autoridad de certificación, representada por el Servicio Autónomo Nacional de Normalización, Calidad, Metrología y Reglamentos Técnicos (SENCAMER). Los factores más importantes son: tipo de equipamiento, recomendaciones del fabricante, alcance y severidad del uso, tendencias al deterioro y a la deriva, condiciones ambientales, exactitud de la medición buscada, entre otros. Normalmente el costo de la calibración no puede ser ignorado en la determinación de los intervalos de recalibración, y esto puede, ser un factor limitante (COVENIN 3696:2001). Por consiguiente, los equipos a ser utilizados en la PTAR para la medición del pH y la turbidez serán verificados anualmente por la empresa mediante soluciones buffers, y recalibrados con la misma frecuencia por la autoridad de certificación o por el laboratorio externo contratado, así mismo el mantenimiento será realizado durante el proceso de calibración con frecuencia anual o según indicaciones del fabricante.



4.5.10 Elaboración de documentación o registros de control.

Una vez establecidos los parámetros de control y las unidades a controlar, se elaboró una planilla de registro de control con el fin de recopilar la información diaria concerniente al proceso de tratamiento, este registro permite la trazabilidad histórica tanto de los contaminantes como la eficiencia de remoción del tratamiento. Por otro lado haciendo énfasis en los lineamientos de la Norma ISO 14001:2005 Sistemas de Gestión Ambiental, se elaboró otro registro de control donde se almacenan las posibles desviaciones que pueda presentar el sistema, el análisis de su causa raíz y las acciones preventivas, correctivas y de mejora, esto con el fin de llevar una estadística porcentual de las acciones efectivas en relación al total de acciones tomadas. Ambos registros pueden ser apreciados en las tablas C.14 y C.15 del Apéndice C.

4.5.11 Determinación de un plan de reacción.

Para realizar el procedimiento de evaluación y llevar a cabo acciones correspondientes a la causa raíz cuando un parámetro no se encuentre dentro de su rango óptimo, se construyó un diagrama de flujo general que indica el plan de reacción a seguir de acuerdo a la situación, el cual puede ser observado en la figura C.11 del Apéndice C.

Dentro de las principales *acciones preventivas* a tomar se presentan:

- Mantener control constante de la calidad del efluente crudo.
- Cuando un parámetro se encuentre fuera de su rango óptimo recircular el efluente indeseable y no enviar a la siguiente etapa.
- Investigar el uso de sustancias nuevas en el proceso industrial.
- Realizar pruebas de jarras y ajustar la cantidad de coagulante y floculante de acuerdo al batch a tratar.
- Implantar un control operativo estricto.

Como *acciones correctivas* están:

- En caso de la unidad de trampa de sólidos y aceites y grasas: extracción continua del aceite acumulado (utilizando dispositivo oil skimer) y por



mecanismos de arrastre para los sólidos sedimentables.

- Para el tanque de neutralización: corrección de pH del efluente no deseado a través de mezcla de efluentes ácidos y alcalinos a conveniencia, o en su defecto a través de inyección de ácido o soda.
- Adecuar y realizar pruebas en el coagulador-floculador con nuevas dosis de coagulante y de floculante.
- Si se presentan dosis altas de fósforo adicionar cal para eliminarlo, corregir entrada de efluente indeseable, aplicar retratamiento y realizar un mantenimiento mayor de la planta, explicar a los operadores la necesidad de implementar un control operativo estricto.

4.5.12 Elaboración de la carta o planilla de control con las Acciones Correctivas aplicadas y el análisis de la causa raíz de la desviación del rango óptimo (ACR).

Para cada unidad seleccionada anteriormente, se expresa en la tabla C.16 del Apéndice C los rangos óptimos para cada parámetro de control aplicado a éstas, además de indicar las posibles causas que puedan generar una desviación de los valores óptimos.

Esta carta puede utilizarse como herramienta guía del operador de la PTAR, lo cual le permite realizar medidas correctivas apropiadas a los parámetros operativos o preventivas para evitar la desestabilización del sistema.

4.6 DETERMINACIÓN DE LA RELACIÓN COSTO-BENEFICIO DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LA ALTERNATIVA SELECCIONADA.

4.6.1 Determinación de indicadores económicos.

4.6.1.1 Determinación de los costos por implantación de las unidades de tratamiento faltantes.



En esta sección se calculó el costo aproximado del diseño de la trampa de sólidos y grasas y aceites, tomando como base el visor 3.11 guías referenciales de costos (marzo 2012) del Colegio de Ingenieros de Venezuela la cual indica el precio mínimo que puede tener la ejecución de la obra, el presupuesto total se indica en la tabla E.1 del Apéndice E y el análisis de precios unitarios para cada partida se encuentra en la tabla F.1 del Apéndice F. La implementación de esta unidad tiene un costo total de Bs. 27.293,86.

4.6.1.2 Determinación de los costos por modificación de las unidades de tratamiento actuales.

En esta sección se incluyeron los costos generados por la instalación de nuevos sistemas de tuberías y bombas para la adecuación del nuevo orden de tratamiento, estos costos fueron determinados tomando como base el visor 3.11 guías referenciales de costos del Colegio de Ingenieros de Venezuela para un total de Bs. 166.254,28 asignados a los costos por modificación de las unidades actuales. El presupuesto general se encuentra en la tabla E.2 del Apéndice E y el análisis detallado de precios unitarios por cada partida a ejecutar se refleja en la tabla F.2 del Apéndice F.

4.6.1.3 Determinación de los costos por mantenimiento.

Incluye los costos ocasionados por el transporte y disposición de los lodos, mantenimiento de bombas y tuberías y limpieza de tanques de ser requerido. Estos costos fueron estimados mediante cotizaciones solicitadas a contratistas externas de la empresa obteniendo un total de Bs. 90.000,00.

4.6.1.4 Determinar costos de operación.

Esta estimación abarca las caracterizaciones que deben realizarse al efluente cada tres meses, prueba de jarras de necesitarse, dosificación de coagulante y floculante: sulfato de aluminio diluido al 25 %v/v y polímero WET CLEAR 993 al 0,05



%p/v, ácido clorhídrico, soda y cal líquida, además del salario del personal que labora en la PTAR, obteniendo así un total de Bs. 72.995,28 este valor fue suministrado por la empresa.

4.6.2 Determinación de la relación costo-beneficio.

4.6.2.1 Determinación del beneficio y ahorro generado por las mejoras propuestas.

El ahorro estipulado se determinó mediante las posibles deudas que podría adquirir la empresa por violación de la Ley de Aguas y prohibición temporal de las actividades productivas. Dicha ley en los artículos 113, 119, 120, 121, 123, 124, 125 y 126 especifica multas de 50 a 5000 unidades tributarias por violación de las condiciones, fallas o notificación de vertidos, e incumplimiento de controles de calidad de aguas. Además aplica si se generan voluntaria e involuntariamente acciones capaces de degradar la calidad de las aguas, incumpliendo con los límites de calidad de vertidos, al usar drenajes de aguas pluviales para la disposición de afluentes líquidos contaminantes o cualquier actividad de vertidos que incumplan las normativas técnicas. Los controles que no cumplan con el manejo de calidad de aguas y la ocurrencia de vertidos imprevistos o de emergencia que no sean notificados al Ministerio que ejerza la autoridad nacional de las aguas serán sancionados de 25 a 2500 unidades tributarias. Por lo tanto, las pérdidas monetarias totales por multas son Bs. 450.000,00 equivalentes a la máxima multa establecida en los artículos mencionados anteriormente.

Para las pérdidas monetarias concernientes a la prohibición temporal de las actividades productivas por no cumplir con los límites máximos establecidos por la normativa ambiental la empresa debe acatar dos días de parada de la planta, corregir la situación en el transcurso, realizar la cancelación de los salarios de 131 trabajadores (aproximando que todos tiene un sueldo mínimo mensual de Bs. 1780,44 y diario de Bs. 68,47) y el valor estimado a 17,5 toneladas diarias de producción (1 tonelada se estima aproximadamente en Bs. 40.540,00) que incluyen parada de proveedores,



almacén, maquinaria, contratistas y convenios con los compradores; es decir, que dos días de producción equivalen a Bs.1.418.900,00. Por lo cual se tiene un ahorro total de Bs. 2.837.800,00.

4.6.2.2 Determinación de los costos necesarios para poner en marcha el nuevo proyecto.

El costo total para implementar la alternativa seleccionada es de Bs. 353.669,90, lo que incluye implementación de nuevas unidades (trampa de sólidos y grasas y aceites), modificación de unidades existentes, mantenimiento y operación.

En general se obtiene una relación costo-beneficio igual a 0,12564 lo que indica por ser menor a la unidad que existe una alta factibilidad de implementar la alternativa seleccionada (coagulación-floculación). Se demuestra que la implementación generaría a futuro un ahorro sustentable a la empresa en relación con los costos que se producirían seguir laborando con la PTAR actual.

4.6.2.3 Determinación de los beneficios ambientales.

Dentro de los principales beneficios se tiene la disminución de emisiones de contaminantes a la cuenca del lago de Valencia, evitándose la degradación del medio acuático y los recursos hídricos, garantizando mejoras significativas en la calidad de las aguas y en la capacidad del ecosistema para regenerarse a largo plazo. Por otro lado se reducen efectos adversos sobre el suelo, los cultivos y aguas subterráneas que pudieran generar peligros a la salud pública.



CONCLUSIONES

Esta sección contiene las conclusiones obtenidas de los objetivos realizados.

1. Se generan dos tipos de efluentes; los más comunes de carácter alcalino y los ácidos con menos frecuencia, varían según la producción.
2. La dispersión de las desviaciones, se atribuyen a la variabilidad del proceso productivo (poca estandarización) y por ende la calidad del efluente producido.
3. El efluente generado en las áreas productivas de la empresa es enviado a la PTAR existente a razón de 0,44 L/s promedio, con un valor máximo es de 1,76 L/s y un mínimo de 0,22 L/s. Con desviaciones media de 0,27 L/s y estándar de 0,39 L/s.
4. La relación DBO/DQO arrojó un valor promedio de 0,30, un máximo de 0,65 y un mínimo de 0,13 para el efluente crudo, lo que orienta al requerimiento de tratamiento químico y/o físico-químico.
5. Para la relación DBO:N se alcanzó un valor promedio de 4,52, con un máximo de 8,77 y un mínimo de 0,76 y para la relación de DBO:P se obtuvo un valor promedio de 16,01, con un máximo de 40,71 y un mínimo de 3,20.
6. Los parámetros evaluados que tuvieron concentraciones superiores a los límites máximos permitidos por el Decreto 3.219 son: sólidos suspendidos, sólidos sedimentables, aceites y grasas vegetales y animales, detergentes, fenoles, sulfatos, aluminio, sulfitos y hierro.
7. Las tres alternativas generadas fueron: coagulación-floculación y sedimentación con cal, ultrafiltración-ósmosis inversa y flotación por aire disuelto.
8. Solamente fue simulado el proceso de coagulación-floculación mediante ensayos de prueba de jarras.
9. La muestra del efluente crudo presentó características como color blanquecino, alta turbidez, presencia de sólidos y pH igual a 9.
10. La jarra dos (2) de la prueba de jarras 1 presentó la dosis adecuada de coagulante con 2 mL de sulfato de aluminio evidenciando una coagulación tipo "A" con un tamaño del floc de 0,3 a 0,5 mm y un índice de floculación de



Willcomb igual a cero (0).

11. La jarra cinco (5) de la prueba de jarras 2 presentó la dosis correcta de floculante con 10 mL de polímero evidenciando una coagulación tipo "A" con un tamaño del floc de 0,3 a 0,5 mm y un índice de floculación de Willcomb igual a dos (2).
12. La jarra dos (2) de la prueba de jarras 3 con 6 mL de coagulante sulfato de aluminio y un ajuste de pH de 6, utilizando cal hidratada al 30 %p/v y polímero aniónico WET CLEAR 993 al 0,05 %p/v presentó una coagulación tipo "A" con un tamaño del floc de 0,3 a 0,5 mm, un índice de floculación de Willcomb igual a cero (0) y sedimentación lenta.
13. Para la jarra única de la prueba de jarras 4 presentó una dosis adecuada de sulfato de aluminio de 2 mL para una coagulación tipo "C" con un tamaño del floc de 0,75 a 1,0 mm y un índice de floculación de Willcomb igual a cero (0) con sedimentación lenta, utilizando un ajuste de pH de 4 mL de ácido clorhídrico.
14. Para la prueba de jarras 5, la jarra tres (3) con una dosis correcta de 3,5 mL de sulfato de aluminio diluido al 25 %v/v presentó el mejor proceso de coagulación-floculación con una coagulación tipo "E", floc grueso entre 1,5 y 2,25 mm, índice de floculación de Willcomb entre 4 y 6 con buena sedimentación generando 200 mL de lodo por 1.000 mL de efluente.
15. El efluente tratado en la prueba de jarras 5 cumple con lo establecido en la normativa ambiental de disposición final en red cloacal.
16. El efluente tratado en la prueba de jarras 5 tuvo una eficiencia de remoción de 99,25 % DQO, 50,00 % Nitrógeno, 84,04 % Fósforo, 41,82 % Sulfatos y 97,16 % Sólidos suspendidos.
17. Los criterios críticos de selección de la alternativa son los costos, espacio físico y eficiencia (reducción de contaminantes).
18. En la matriz cualitativa la alternativa 1 tuvo un total de diecisiete (17) unidades, la alternativa 2 un total de seis (6) y la alternativa 3 un total de nueve (9).
19. En la matriz de selección cuantitativa las alternativas tuvieron una puntuación de 375 para la coagulación-floculación y 215 para la flotación por aire disuelto.
20. La mejor alternativa de tratamiento es la coagulación-floculación (alternativa 1).
21. La nueva unidad de tratamiento a implementar que debe ser incorporada es una



- trampa de sólidos y grasas y aceites con un volumen útil de diseño de 3,168 m³.
22. La unidad ATKN-03 cumple con el tiempo de retención necesario para ser utilizada como tanque de recolección y bombeo futuro, a caudal promedio.
 23. Las unidades ATKN-01, ATKN-02, ATKN-10A y ATKN-10B exceden los tiempos requeridos para utilizarse como tanques de almacenamientos e igualación.
 24. La unidad ATKN-05 supera los tiempos de retención necesarios para ser modificada como tanque de neutralización de efluentes.
 25. Los tanques ATKN-07, ATKN-08 y ATKN-09 poseen la capacidad en términos de tiempos de retención para ser utilizados como reactor de coagulación-floculación, sedimentador de lodos y tanque de almacenamiento y descarga, respectivamente.
 26. El tanque de acumulación de aguas de lluvias (ATKN-03) se utilizará como tanque de recolección de aguas residuales industriales y de bombeo futuro.
 27. Los tanques de recepción principal (ATKN-01) y de homogeneización (ATKN-02), de ahora en adelante serán utilizados como tanques de homogeneización, uno para almacenar efluentes ácidos y otro para efluentes alcalinos.
 28. El tanque de bombeo principal actual (ATKN-05), se modificó como tanque de neutralización de efluentes y desde el cual se realiza la alimentación al proceso de tratamiento físico-químico.
 29. Los tanques que funcionan como tanque de coagulación (ATKN-07), tanque de floculación (ATKN-08) y sedimentador de lodos físico-químico (ATKN-09) se adecuaron como reactor de coagulación-floculación, sedimentador de lodos y tanque de almacenamiento y descarga de efluentes tratados, respectivamente.
 30. Los lechos de lodos (ATKN-10A y ATKN-10B) serán utilizados como tanque de recirculación y tanque de almacenamiento de lodo.
 31. Los parámetros de control que verifican la eficiencia del tratamiento son: concentraciones de aceites y grasas (A y G), sólidos suspendidos (SS), sólidos sedimentables (SSe), sólidos flotantes (SF), DQO, Aluminio (Al), nitrógeno (N) y fósforo (P), potencial de hidrógeno (pH), dosificación de coagulante y floculante y turbidez.
 32. Se debe llevar un estricto control por cada batch que llega a la PTAR y



establecer trazabilidad del comportamiento del efluente.

33. La implementación de la alternativa seleccionada generaría un ahorro total de Bs. 2.837.800,00.
34. El costo total para implementar este proyecto es de Bs. 356.543,42.
35. La relación costo-beneficio del proyecto es de 0,12564.
36. La alternativa seleccionada tiene una orientación de factibilidad alta para ser implementada.



RECOMENDACIONES

A continuación se manifiestan las recomendaciones más relevantes de esta investigación.

- Realizar un estudio a fondo del proceso productivo y la generación de efluentes asociados para llevar un registro histórico que permita la trazabilidad de eventos, con la intención de estandarizar el proceso y por consecuencia la generación de efluentes.
- No incluir tratamiento biológico en la lógica de tratamiento del efluente generado.
- Reactivar filtro prensa como herramienta eficaz para el manejo de lodos.
- Contratar un operario por turno y un supervisor encargado de la PTAR que cumplan con el perfil formativo para realizar sus competencias y actividades requeridas.
- Realizar medidas preventivas apropiadas a los parámetros operativos para evitar la desestabilización del sistema.
- Llevar estricto control de los parámetros de control para garantizar una alta eficiencia del tratamiento físico-químico.
- Adquirir instrumentación necesaria para llevar a cabo el control de los parámetros como pH-metro para controlar la dosificación de químicos y turbidímetro para control de la normativa ambiental a la salida y eficiencia.
- Utilizar carta de control como herramienta guía del operador de la PTAR.
- Adecuar al proceso de tratamiento un sistema de control automatizado (PLC).
- Si se desea llegar a cuerpo de aguas, se sugiere realizar un estudio para implementar la unidad de ósmosis inversa como segunda etapa de tratamiento, desviando solamente entre el 40 y 50 % del caudal producido.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

En esta sección se presentan todos los documentos, libros, trabajos de grado, artículos, información electrónica entre otros, que fue consultado para la realización del presente trabajo.

1. ARBOLEDA, J. (2000). *Teoría y práctica de la purificación del agua*. Tercera edición. Tomo 1. Colombia. McGraw-Hill.
2. BELLO, Y., LARA, R. (2006). *Evaluación del arranque y puesta en marcha del sistema de tratamiento de aguas residuales de una empresa tabacalera*. Universidad Central de Venezuela. Revista de la Facultad de Ingeniería, ISSN 0798-4065. (Nº 1, Vol. 21). 101-109.
3. CALVO, A., CRIADO, F., PERIÁÑEZ, R. (2005). *Curso práctico sobre calidad de la administración y servicios administrativos* [Material práctico en línea]. Universidad de Sevilla. Disponible en: http://www.forpas.us.es/documentacion/transparencias_curso_calidad.pdf [Consulta: 2012, Mayo 20].
4. DECRETO Nº 3.219. (1999). *Normas para la clasificación y el control de la calidad de las aguas de la cuenca del lago de Valencia*. Gaceta Oficial Nº 5.305 (Extraordinario). Republica Bolivariana de Venezuela.
5. DECRETO Nº 883. (1995). *Normas para la clasificación y el control de la calidad de los cuerpos de agua y vertidos o efluentes líquidos*. Gaceta Oficial Nº 5.021 (Extraordinario). Republica Bolivariana de Venezuela.
6. ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL CONJUNTO RESIDENCIALES MYKONOS. (2011). Valencia. Dirección de Hidrología y Meteorología del Ministerio del Ambiente.



7. FEAL, Á. (2009). *Depuración de sólidos en suspensión de vertidos industriales*. Ingeniería Química, ISSN 0210-2064. N° 472. 90-100.
8. FRAGACHÁN, A., LORENZÓN, E. (2005). *Evaluación de alternativas para el mejoramiento del sistema de tratamiento de aguas residuales en Henkel Venezolana, S.A.* Trabajo de Grado. Universidad de Carabobo. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Química.
9. GERARD, K. (1999). *Ingeniería Ambiental: Fundamentos, Entornos, Tecnologías y Sistemas de Gestión*. Primera edición. Volumen I. España. McGraw-Hill.
10. LEY DE AGUAS. Gaceta oficial N° 38.595. Enero 2 de 2007.
11. METCALF & EDDY, INC. (1996). *Ingeniería de Aguas Residuales. Tratamiento, Vertido y Reutilización*. Tercera edición. Volumen I y II. México. McGraw-Hill.
12. NAVARRO, E. (2000). *Formulario de Matemáticas Universitarias*. Distribuidora Zacarias Disza C.A.
13. NFPA (Asociación Nacional de Protección contra el Fuego, por sus siglas en inglés: *National Fire Protection Association*). (2007). *Sistema Estándar para la Identificación de los Riesgos de Materiales para Respuesta a Emergencias*. Norma NFPA 704. (Edición 2007. Versión en Español). Massachusetts, USA.
14. NORMA VENEZOLANA COVENIN 2634:2002. *Aguas Naturales, Industriales y Residuales. Definiciones*. Primera revisión. FONDONORMA.
15. NORMA VENEZOLANA COVENIN 2709:2002. *Aguas Naturales, Industriales y Residuales. Guía para las Técnicas de muestreo*. Primera revisión. FONDONORMA.



16. NORMA VENEZOLANA COVENIN 3060:2002. *Materiales Peligrosos. Clasificación, Símbolos y Dimensiones de Señales de Identificación*. Primera revisión. FONDONORMA.
17. NORMA VENEZOLANA COVENIN 3696:2001 (COPANT 1682:2000/OIML D-20). *Verificación Inicial y Posterior de los Instrumentos y Procesos de Medición*. FONDONORMA.
18. NORMA VENEZOLANA COVENIN 3698:2001 (COPANT 1689:2000/OIML D-10). *Guía para la Determinación de los Intervalos de Recalibración de los Equipos de Medición utilizados en Laboratorios de Ensayos*. FONDONORMA.
19. NORMA VENEZOLANA COVENIN 3699:2001 (COPANT 3699:2001/OIML D-12). *Campos de Aplicación de los Instrumentos de Medición sujetos a Verificación*. FONDONORMA.
20. NORMA VENEZOLANA ISO 14001:2005. *Sistemas de Gestión Ambiental. Requisitos con orientación para uso*. Primera revisión. FONDONORMA.
21. PARRA, I. (2003). *Conservación Ambiental* [Material bibliográfico]. Universidad de Carabobo. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Química.
22. PERRY, R. (2001). *Manual del Ingeniero Químico*. Séptima edición (cuarta edición en español). Volumen IV. España. McGraw-Hill.
23. PRTR-España. *Nonifenol y Etoxilatos de nonifenol (NP/NPE)* [Página Web en línea]. Disponible en: <http://www.prtr-es.es/Nonifenol-y-Etoxilatos-de-nonifenol,15651,11,2007.html> [Consulta: 2012, Mayo 26].
24. RAMALHO, R.S. (2003). *Tratamiento de Aguas Residuales*. Tercera edición. Barcelona, España. Editorial Reverté, S.A.



25. RIVAS, G. (2006). *Tratamiento de Aguas Residuales*. Tercera edición. España. Ediciones Vega, s.r.l.
26. SAINZ, J. A. (2004). *Separación de aceites de efluentes industriales*. Ingeniería Química, ISSN 0210-2064. N° 409, 93-99.
27. SKOOG, D., WEST, D., HOLLER, F. y CROUCH, S. (2005). *Fundamentos de Química Analítica*. Octava edición. México. International Thomson Editores S.A.
28. STEWART, J., REDLIN, L., WATSON, S. (2001). *Precalculo. Matemáticas para el Cálculo*. Tercera edición. México. International Thomson Editores, S.A.
29. UNITEK®. *Ingeniería en tratamiento de agua* [Página Web en línea]. Disponible en: <http://www.unitek.com.ar/index.php> [Consulta: 2012, Mayo 21].
30. VARÓ, G. Colaboradores: SÁNCHEZ Y., PRATS R. (2003). *Caracterización físico-química de las aguas residuales de la industria de curtición*. Ingeniería Química, ISSN 0210-2064. N° 403, 130-138.



APÉNDICE A. CÁLCULOS TÍPICOS

En esta sección se presentan los datos necesarios para llevar a cabo la investigación.

A.1 Determinación de los efluentes que llegan a la Planta de Tratamiento.

- 1) Cálculo del caudal promedio mediante la ecuación 3.1 y sustituyendo los valores de la tabla B.1 del Apéndice B:

$$\bar{Q} = \frac{(32,00 + 13,00 + 13,00 + 13,00 + 78,00 + 19,80 + 17,00)}{7} \text{L/s}$$

$$\bar{Q} = 26,54 \frac{\text{L}}{\text{min}} = 0,44 \frac{\text{L}}{\text{s}} = 38,22 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$$

De la misma manera se realizó para cada uno de los parámetros observados en las tablas B.1 y B.2 del Apéndice B.

- 2) Cálculo de las características estadísticas, es decir las desviaciones media sustituyendo los valores correspondientes en la ecuación 3.2 y la desviación estándar del caudal utilizando la ecuación 3.3 del caudal promedio:

Desviación media

$$d_m = \frac{|0,44 - 0,53| + |0,44 - 0,22| + |0,44 - 0,22| + |0,44 - 0,22| + |0,44 - 1,30| + |0,44 - 0,33| + |0,44 - 0,28|}{7} \text{L/s}$$

$$d_m = 0,27 \text{L/s}$$

Desviación estándar

$$s = \sqrt{\frac{((0,44 - 0,53)^2 + (0,44 - 0,22)^2 + (0,44 - 0,22)^2 + (0,44 - 0,22)^2 + (0,44 - 1,30)^2 + (0,44 - 0,33)^2 + (0,44 - 0,28)^2)}{7 - 1}} \left(\frac{\text{L}}{\text{s}}\right)^2$$



$$s = 0,39L/s$$

De la misma manera se realizó para los parámetros más relevantes: DBO, DQO, pH, Aceites y Grasas Vegetales y Animales, Sólidos suspendidos, Sólidos sedimentables, fósforo total y nitrógeno total. Los resultados se encuentran reflejados en las tablas C.2 y C.3 del Apéndice C respectivamente para el efluente crudo como para su salida final.

- 3) Cálculo de las cargas promedio de nutrientes DBO, N y P del efluente crudo y de a la entrada del tratamiento biológico sustituyendo los datos de las tablas B.1 y B.3 del Apéndice B en la ecuación 3.4 para cada nutriente:

Para el valor observado de la DBO en Abril de 2009 en el efluente crudo se tiene:

$$C_{prom_{DBO_{A-09}}} = 3793,00 \frac{mg}{L} \cdot 46,08 \frac{m^3}{día} \cdot \frac{1 kg \cdot L}{1000 mg \cdot m^3} = 174,781 \frac{kg}{día}$$

Se aplica la misma ecuación para todos los valores observados y se obtiene un valor promedio mediante la ecuación 3.1 de la carga de la DBO:

$$C_{prom_{DBO}} = 175,84 \frac{kg}{día}$$

Este procedimiento se realiza para los nutrientes restantes N y P, dichos resultados se encuentran en la tabla C.4 del Apéndice C.

- 4) Cálculo de las relaciones de las concentraciones de la DBO/DQO, sustituyendo los valores correspondientes del efluente crudo y de la entrada del tratamiento biológico mostrados en las tablas B.1 y B.3 del Apéndice B en la ecuación 3.5:



Para los valores observados de la DBO y la DQO en abril de 2009 en el efluente crudo se tiene:

$$DBO/DQO_{A-09} = \frac{3793,00 \text{ mg/L}}{18400,00 \text{ mg/L}} = 0,206 \text{ Adim}$$

Se aplica la misma ecuación para todos los valores observados y se obtiene un valor promedio mediante la ecuación 3.1 de la relación DBO/DQO :

$$\overline{DBO/DQO} = 0,30 \text{ Adim}$$

Para obtener las relaciones DBO:N o DBO:P se realiza el mismo procedimiento que anterior exceptuando que se parte de la ecuación 3.6:

$$DBO:N_{A-09} = \frac{12,396 \text{ kg/día}}{174,781 \text{ kg/día}} \cdot 100 = 8,015 \text{ Adim}$$

Finalmente el valor promedio se obtiene utilizando la ecuación 3.1:

$$\overline{DBO:N} = 4,52 \text{ Adim}$$

Este procedimiento se realiza idéntico para P, los resultados se encuentran en la tabla C.5 del Apéndice C.

A.2 Determinación de la dosificación de coagulante y floculante para un batch.

- 1) Dosificación de coagulante: esta dosificación se obtuvo mediante artificios matemáticos (relación de linealidad proporcional), tomando como referencia las dosis óptima conseguida en la jarra 3 de prueba 5, donde son utilizados 3,5 mL de coagulante en una jarra de 2 L, por lo tanto para un batch de 24,50 m³, se tiene:



$$Dosis_{coagulante-batch} = \frac{24,50 \text{ m}^3 \cdot 3,5 \text{ mL}}{2 \text{ L}} \cdot \frac{1000 \text{ L}}{1 \text{ m}^3} \cdot \frac{1 \text{ L}}{1000 \text{ mL}} = 42,875 \text{ L}$$

- 2) Dosificación de floculante: se determina mediante el procedimiento anterior.

A.3 Cálculo de la eficiencia de remoción de contaminantes para la unidad simulada en la prueba de jarras.

Sustituyendo los valores correspondientes a cada parámetro de la tabla 4.4 en la ecuación 3.7, se tiene para la DQO:

$$\varepsilon = \frac{1.000,00 - 7,50}{1.000,00} \cdot 100 = 99,25 \text{ Adim}$$

Para obtener las eficiencias actuales de la PTAR se realiza el mismo procedimiento pero tomando los datos correspondientes a cada parámetro de la tabla B.3 en la ecuación 3.7 y obtener como resultados la tabla B.4.

A.4 Aplicación de las matrices de selección.

- 1) Matriz de selección cualitativa: para esta matriz simplemente se realiza la sumatoria de los atributos de cada alternativa para obtener su valor total, los cuales se encuentran expresados en la tabla C.11 del Apéndice C.
- 2) Matriz de selección cuantitativa: la determinación del parámetro PxA para cada criterio, éste se obtiene del producto de la ponderación por el valor correspondiente del atributo, en el caso del costo de la alternativa 1, se tiene:

$$P \cdot A_{Costos} = 20 \% \cdot 4 = 80 \%$$



Esta determinación se realiza para cada uno de los criterios restantes de cada alternativa. Finalmente la sumatoria total de los parámetros PxA corresponderá al total de cada alternativa para la alternativa 1, se tiene:

$$P \cdot A_{TotalA_1} = (80 + 100 + 80 + 40 + 20 + 5 + 40 + 10)\% = 375 \%$$

Los porcentajes totales de cada alternativa se pueden apreciar en la tabla C.12 del Apéndice C.

A.5 Diseño de nuevas unidades de tratamiento.

- 1) Cálculo del volumen requerido: tomando los datos correspondientes en la tabla 4.1 y recomendados por la bibliografía de Sainz, 2004; se sustituyen en la ecuación 3.8, por lo tanto para la unidad ATKN-04, se tiene:

$$Vol_{requerido} = 152,64 \frac{m^3}{día} \cdot 0,5 h \cdot 1 \frac{1 día}{24 h} = 3,168 m^3$$

- 2) Cálculo de volumen total (unidad rectangular): sustituyendo las dimensiones de la unidad ATKN-04 en la ecuación 3.9, se tiene:

$$Vol_{T_{ATKN-04}} = 2 m \cdot 5,7 m \cdot 2 m = 22,8 m^3$$

- 3) Cálculo de volumen útil: se realiza el mismo procedimiento anterior, exceptuando el valor correspondiente a la altura, el cual será de 1,7 m según inspección visual realizada a ATKN-04. Por lo tanto el volumen útil es:

$$Vol_{U_{ATKN-04}} = 2 m \cdot 5,7 m \cdot 1,7 m = 19,38 m^3$$



- 4) Tiempo de residencia hidráulico: se despeja T_{ret} de la ecuación 3.8 y se sustituye el valor obtenido en el punto anterior y el caudal promedio de la tabla 4.1; este cálculo se realiza igualmente a caudal máximo, por lo tanto se tiene:

$$T_{ret} = \frac{19,38 \text{ m}^3}{38,22 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}} \cdot \frac{24 \text{ h}}{1 \text{ día}} = 12,16 \text{ h}$$

A.6 Rediseño de unidades existentes.

- 1) Cálculo de volumen total (unidad piramidal): se calculó haciendo la sumatoria del volumen de la sección rectangular más la piramidal. La rectangular se obtiene sustituyendo los valores de la tabla 4.6 en la ecuación 3.9 y la piramidal igualmente se toman los valores correspondientes de la tabla 4.6 y se sustituyen en la ecuación 3.10 y se obtiene:

$$Vol_{Rectangular_{ATKN-08}} = 1,51 \text{ m} \cdot 3,02 \text{ m} \cdot 1,24 \text{ m} = 5,65 \text{ m}^3$$

$$Vol_{piramidal_{ATKN-08}} = \frac{0,36}{3} \cdot \left(0,16 + 4,56 + \sqrt{0,16 \cdot 4,56} \right) = 0,67 \text{ m}^3$$

$$Vol_{T_{ATKN-08}} = (5,65 + 0,67) \text{ m}^3 = 6,32 \text{ m}^3$$

- 2) Cálculo de volumen útil (unidad piramidal): se realiza el mismo procedimiento anterior, exceptuando el valor correspondiente a la altura de la sección rectangular será sustituida por la útil, la cual se encuentra reflejada en la tabla 4.6 para la unidad ATKN-08; por lo tanto el volumen útil es:

$$Vol_{U_{ATKN-08}} = 5,41 \text{ m}^3$$



- 3) El tiempo de residencia hidráulico se calcula de la misma forma que el punto A.5 numeral 4.
- 4) Para el resto de las unidades a rediseñar (todas rectangulares) se calcula el volumen total y útil, además del tiempo de retención hidráulico a caudal promedio y máximo siguiendo el procedimiento del punto A.5, dichos resultados son reflejados en las tablas 4.7 y 4.8.

A.7 Determinación de la relación costo-beneficio de la implementación de la alternativa seleccionada.

- 1) Determinación del beneficio y ahorro generado por las mejoras propuestas: tomando en cuenta la multa máxima estipulada por la ley de Aguas de 5000 unidades tributarias para un total de pérdidas por multas de Bs. 450.000,00 y dos días de parada de la producción equivalente a Bs. 1.418.900,00, sustituyendo en la ecuación 3.12, se tiene:

$$Ahorro = (450.000,00 + 1.418.900,00) Bs.$$

$$Ahorro = 2.837.800,00 Bs.$$

- 2) Determinación de los costos necesarios para poner en marcha el nuevo proyecto: donde el costo por implementación de nuevas unidades es de Bs. 27.293,86; la inversión para modificar las unidades existentes es de Bs. 166.254,28; los acarreados al mantenimiento de la planta son Bs. 90.000,00 y los de operación Bs. 72.995,28. Por lo tanto se sustituyen en la ecuación 3.13 para obtener el costo total del proyecto:

$$C_{proyecto} = (27.293,86 + 166.254,28 + 90.000,00 + 72.995,28) Bs.$$

$$C_{proyecto} = 356.543,42 Bs.$$



- 3) Relación costo-beneficio: sustituyendo los valores anteriormente obtenidos en la ecuación 3.11, se tiene:

$$R_{C-B} = \frac{356.543,42}{2.837.800,00} Bs. = 0,12564$$



APÉNDICE B. DATOS EXPERIMENTALES

En esta sección se presentan los datos necesarios para llevar a cabo la investigación.

TABLA B.1. CARACTERIZACIÓN DEL EFLUENTE CRUDO A PTAR

Proyecto:

HENKEL S.A

Promotor:

CARACTERIZACIÓN EFLUENTE CRUDO PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Parámetro	Unidad	abr-09	jul-09	oct-09	may-10	jul-10	oct-10	ene-11	Promedio	Máximo	Mínimo	Límite Máx
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	3.793,00	1.197,00	16.063,00	7.750,00	3.412,00	4.940,00	2.503,00	5.665,43	16.063,00	1.197,00	60,00
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	18.400,00	9.283,00	24.800,00	23.800,00	15.440,00	11.244,00	15.173,00	16.877,14	24.800,00	9.283,00	350,00
pH	Adim	6,60	7,20	8,90	8,60	6,40	4,10	4,00	6,54	8,90	4,00	6,0 - 9,0
Aceites y Grasas Veg y Animales	mg/L	676,00	277,00	863,00	101,00	98,00	10,00	354,00	339,86	863,00	10,00	20,00
Aceites Minerales e Hidrocarburos	mg/L						7,00		7,00	7,00	7,00	20,00
Sólidos Suspendidos	mg/L	9.710,00	1.740,00	3.400,00	4.960,00	1.570,00	2.140,00	1.290,00	3.544,29	9.710,00	1.290,00	80,00
Sólidos Sedimentables	mg/L	200,00	2,00	36,00	8,00	1,20	7,00	0,10	36,33	200,00	0,10	1,00
Sólidos Flotantes	mg/L						Ausentes					Ausente
Detergentes	mg/L	4,00	5,00	11,00	22,00	0,10	41,00	3,00	12,30	41,00	0,10	2,00
Fósforo Total	mg/L	304,00	442,00	844,00	248,00	171,00	641,10	1.019,00	524,16	1.019,00	171,00	1,00
Fenoles	mg/L	2,05	0,74	2,10	1,00	0,20	0,01	0,30	0,91	2,10	0,01	0,05
Zinc	mg/L	203,12	67,60	859,25	403,94	78,87	74,36	64,06	250,17	859,25	64,06	5,00
Cloruros	mg/L	101,00	630,00	81,00	102,00	360,00	168,00	89,00	218,71	630,00	81,00	1.000,00
Sulfatos	mg/L	215,00	114,00	601,00	1.294,00	16,00	256,00	459,00	422,14	1.294,00	16,00	600,00
Nitrógeno Total	mg/L	269,00	105,00	213,00	661,00	100,00	37,55	56,00	205,94	661,00	37,55	10,00
Aluminio	mg/L	12,690	7,350	15,730	11,330	0,985	3,380	0,400	7,41	15,73	0,40	1,00
Sulfuros	mg/L						0,040		0,04	0,04	0,04	0,50
Sulfitos	mg/L						20,000		20,00	20,00	20,00	2,00
Cromo Total	mg/L						0,314		0,31	0,31	0,31	2,00
Plomo Total	mg/L						0,276		0,28	0,28	0,28	0,50
Cobre Total	mg/L						0,118		0,12	0,12	0,12	0,50
Níquel Total	mg/L						0,712		0,71	0,71	0,71	1,00
Hierro Total	mg/L						14,120		14,12	14,12	14,12	10,00
Caudal Promedio	L/min	32,00	13,00	13,00	13,00	78,00	19,80	17,00	26,54	78,00	13,00	
Caudal Máximo	L/min				14,00	106,00	50,40	24,00	48,60	106,00	14,00	
Caudal Promedio	m ³ /día	46,08	18,72	18,72	18,72	112,32	28,51	24,48	38,22	112,32	18,72	
Caudal Máximo	m ³ /día				20,16	152,64	72,58	34,56	69,98	152,64		
Horas de Trabajo	h/día	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0				

Nota:

(1) Límite Máximo Correspondiente a Decreto N° 3.219

(2) Se considera generación de efluentes 24 horas/día.

Fuente: Caracterizaciones trimestrales de laboratorios externos. Abril 2009 – Enero 2011.



TABLA B.2. CARACTERIZACIÓN DEL EFLUENTE FINAL DE PTAR

Proyecto:

Promotor:

HENKEL S.A

CARACTERIZACIÓN EFLUENTE SALIDA FINAL

Parámetro	Unidad	abr-09	ju-09	oct-09	may-10	ju-10	oct-10	ene-11	Promedio	Máximo	Mínimo	Límite Máx
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	10,00	10,00	10,00	10,00	22,00	860,00	470,00	198,86	860,00	10,00	60,00
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	68,00	72,00	33,00	69,00	149,00	1.887,00	2.663,00	705,86	2.663,00	33,00	350,00
pH	Adim	7,90	7,70	7,40	7,70	6,40	8,10	6,20	7,34	8,10	6,20	6,0 - 9,0
Aceites y Grasas Vég y Animales	mg/L	8,00	10,00	13,00	52,00	6,00	3,00	7,00	14,14	52,00	3,00	20,00
Aceites Minerales e Hidrocarburos	mg/L						2,00		2,00	2,00	2,00	20,00
Sólidos Suspendedos	mg/L	95,00	56,00	28,00	26,00	30,00	44,00	123,00	57,43	123,00	26,00	80,00
Sólidos Sedimentables	mg/L	0,00	0,00	0,50	0,50	1,00	0,60	1,00	0,51	1,00	0,00	1,00
Sólidos Flotantes	mg/L						Ausente					Ausente
Detergentes	mg/L	0,40	0,60	0,40	0,30	0,10	0,10	0,10	0,29	0,60	0,10	2,00
Fósforo Total	mg/L	29,00	11,00	9,00	33,00	23,00	113,20	168,00	55,17	168,00	9,00	1,00
Fenoles	mg/L	0,01	0,01	0,10	0,09	0,01	0,01	0,04	0,04	0,10	0,01	0,05
Zinc	mg/L	0,28	0,12	0,32	0,57	1,42	1,68	1,17	0,79	1,68	0,12	5,00
Cloruros	mg/L	30,00	144,00	14,00	99,00	67,00	243,00	273,00	124,29	273,00	14,00	1.000,00
Sulfatos	mg/L	371,00	600,00	85,00	215,00	121,00	149,00	68,00	229,86	600,00	68,00	600,00
Nitrógeno Total	mg/L	12,00	9,00	6,00	4,00	3,00	5,85	17,00	8,12	17,00	3,00	10,00
Aluminio	mg/L	0,580	0,001	0,010	0,001	0,87	1,981	0,001	0,49	1,98	0,00	1,00
Sulfuros	mg/L						0,060		0,06	0,06	0,06	0,50
Sulfitos	mg/L						33,000		33,00	33,00	33,00	2,00
Cromo Total	mg/L						0,105		0,11	0,11	0,11	2,00
Plomo Total	mg/L						0,009		0,01	0,01	0,01	0,50
Cobre Total	mg/L						0,023		0,02	0,02	0,02	0,50
Níquel Total	mg/L						0,625		0,63	0,63	0,63	1,00
Hierro Total	mg/L						1,139		1,14	1,14	1,14	10,00
Caudal Promedio	L/min	32,00	13,00	13,00	13,00	78,00	19,80	17,00	26,54	78,00	13,00	
Caudal Máximo	L/min				14,00	106,00	50,40	24,00	48,60	106,00	14,00	
Caudal Promedio	m ³ /día	46,08	18,72	18,72	18,72	112,32	28,51	24,48	38,22	112,32	18,72	
Caudal Máximo	m ³ /día				20,16	152,64	72,58	34,56	69,98	152,64		
Horas de Trabajo	h/día	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0				

Nota:

(1) Límite Máximo Correspondiente a Decreto N° 3.219

(2) Se considera generación de efluentes 24 horas/día.



**TABLA B.3. CARACTERIZACIÓN DEL EFLUENTE A LA SALIDA DEL TRATAMIENTO FÍSICO-QUÍMICO
(ENTRADA DEL TRATAMIENTO BIOLÓGICO) DE PTAR**

Proyecto:

Promotor:

HENKEL S.A

CARACTERIZACIÓN EFLUENTE SALIDA TRATAMIENTO F-Q (Entrada Tratamiento Biológico)

Parámetro	Unidad	abr-09	jul-09	oct-09	may-10	jul-10	oct-10	ene-11	Promedio	Máximo	Mínimo	Límite Máx
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	717,00	90,00	8.160,00	2.220,00	3.010,00	1.391,00	742,00	2.332,86	8.160,00	90,00	60,00
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	2.540,00	5.477,00	12.187,00	5.793,00	12.507,00	3.503,00	6.507,00	6.930,57	12.507,00	2.540,00	350,00
pH	Adim	6,90	6,40	8,50	6,90	6,30	7,25	7,10	7,05	8,50	6,30	6,0 - 9,0
Aceites y Grasas Vég y Animales	mg/L	129,00	147,00	445,00	220,00	36,00	3,00	26,00	143,71	445,00	3,00	20,00
Aceites Minerales e Hidrocarburos	mg/L						2,00		2,00	2,00	2,00	20,00
Sólidos Suspendidos	mg/L	475,00	323,00	1.970,00	1.200,00	3.310,00	633,00	460,00	1.195,86	3.310,00	323,00	80,00
Sólidos Sedimentables	mg/L	20,00	1,00	4,00	0,50	0,10	0,10	0,100	3,69	20,00	0,10	1,00
Sólidos Flotantes	mg/L						Ausente					Ausente
Detergentes	mg/L	1,00	0,90	14,00	9,00	0,10	0,10	0,10	3,60	14,00	0,10	2,00
Fósforo Total	mg/L	70,00	153,00	380,00	272,00	238,00	79,46	120,00	187,49	380,00	70,00	1,00
Fenoles	mg/L	0,97	1,20	1,90	0,50	0,30	0,01	0,90	0,83	1,90	0,01	0,05
Zinc	mg/L	10,19	17,50	39,19	23,87	59,38	7,14	24,74	26,00	59,38	7,14	5,00
Cloruros	mg/L	243,00	310,00	334,00	74,00	74,00	114,00	121,00	181,43	334,00	74,00	1.000,00
Sulfatos	mg/L	2.258,00	774,00	1.292,00	1.356,00	400,00	212,00	116,00	915,43	2.258,00	116,00	600,00
Nitrógeno Total	mg/L	58,00	59,00	54,00	152,00	84,00	10,28	22,00	62,75	152,00	10,28	10,00
Aluminio	mg/L	14,860	1,730	69,580	21,340	3,16	8,364	3,059	17,44	69,58	1,73	1,00
Sulfuros	mg/L						0,020		0,02	0,02	0,02	0,50
Sulfitos	mg/L						40,000		40,00	40,00	40,00	2,00
Cromo Total	mg/L						0,148		0,15	0,15	0,15	2,00
Plomo Total	mg/L						0,020		0,02	0,02	0,02	0,50
Cobre Total	mg/L						0,029		0,03	0,03	0,03	0,50
Níquel Total	mg/L						0,262		0,26	0,26	0,26	1,00
Hierro Total	mg/L						2,713		2,71	2,71	2,71	10,00
Caudal Promedio	L/min	32,00	13,00	13,00	13,00	78,00	19,80	17,00	26,54	78,00	13,00	
Caudal Máximo	L/min				14,00	106,00	50,40	24,00	48,60	106,00	14,00	
Caudal Promedio	m ³ /hía	46,08	18,72	18,72	18,72	112,32	28,51	24,48	38,22	112,32	18,72	
Caudal Máximo	m ³ /hía				20,16	152,64	72,58	34,56	69,98	152,64		
Horas de Trabajo	h/hía	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0				

Nota:

(1) Límite Máximo Correspondiente a Decreto N° 3.219

(2) Se considera generación de efluentes 24 horas/hía.

Fuente: Caracterizaciones trimestrales de laboratorios externos. Abril 2009 – Enero 2011.



TABLA B.4. EFICIENCIAS DE TRATAMIENTO FÍSICO-QUÍMICO DE LA PTAR

Proyecto:

Promotor:

HEINKEL S.A

EFICIENCIAS DE TRATAMIENTO. Tratamiento Físico - Químico.

Parámetro	Unidad	TRATAMIENTO FÍSICO - QUÍMICO							Mínimo	Promedio	Máximo
		abr-09	jul-09	oct-09	may-10	jul-10	oct-10	ene-11			
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	81,10	92,48	49,20	71,35	11,78	71,84	70,36	11,78	64,02	92,48
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	86,20	41,00	50,86	75,66	19,00	68,85	57,11	19,00	56,95	86,20
pH	Adim										
Aceites y Grasas Veg y Animales	mg/L	80,92	46,93	48,44	-117,82	63,27	70,00	92,66	-117,82	40,63	92,66
Aceites Minerales e Hidrocarburos	mg/L						71,43		71,43	71,43	71,43
Sólidos Suspensos	mg/L	95,11	81,44	42,06	75,81	-110,83	70,42	64,34	-110,83	45,48	95,11
Sólidos Sedimentables	mg/L	90,00	50,00	88,89	93,75	91,67	98,57	0,00	0,00	73,27	98,57
Sólidos Flotantes	mg/L										
Detergentes	mg/L	75,00	82,00	-27,27	59,09	0,00	99,76	96,67	-27,27	55,03	99,76
Fósforo Total	mg/L	76,97	65,38	54,98	-9,68	-39,18	87,61	88,22	-39,18	46,33	88,22
Fenoles	mg/L	52,68	-62,16	9,52	50,00	-50,00	0,00	-200,00	-200,00	-28,57	52,68
Zinc	mg/L	94,98	74,11	95,44	94,09	24,71	90,40	61,38	24,71	76,46	95,44
Cloruros	mg/L	-140,59	50,79	-312,35	27,45	79,44	32,14	-35,96	-312,35	-42,72	79,44
Sulfatos	mg/L	-350,23	-578,95	-114,98	-4,79	-2.400,00	17,19	74,73	-2.400,00	-565,29	74,73
Nitrógeno Total	mg/L	78,44	43,81	74,65	77,00	16,00	72,62	60,71	16,00	60,46	78,44
Aluminio	mg/L	-17,10	76,46	-342,34	-88,35	-220,30	-147,46	-664,75	-664,75	-200,55	76,46
Sulfuros	mg/L						50,00		50,00	50,00	50,00
Sulfitos	mg/L						-100,00		-100,00	-100,00	-100,00
Cromo Total	mg/L						52,87		52,87	52,87	52,87
Plomo Total	mg/L						92,75		92,75	92,75	92,75
Cobre Total	mg/L						75,42		75,42	75,42	75,42
Níquel Total	mg/L						63,20		63,20	63,20	63,20
Hierro Total	mg/L						80,79		80,79	80,79	80,79

Nota:

(1) Límite Máximo Correspondiente a Decreto Nº 3.219

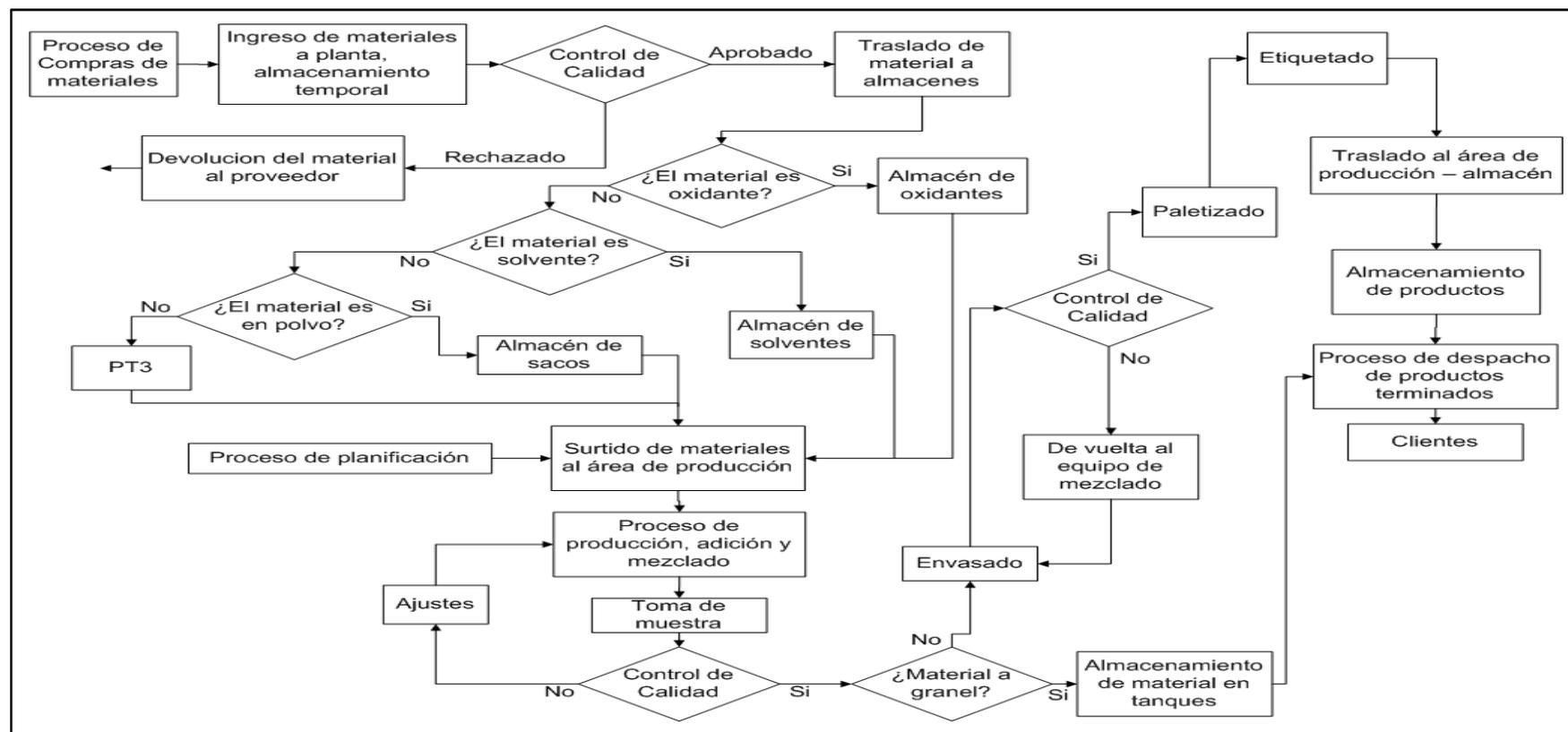
(2) Se considera generación de efluentes 24 horas/día.

Valores Negativos.



APÉNDICE C. RESULTADOS

En esta sección se presentan los resultados obtenidos durante la investigación.



Fuente: Henkel Venezolana S.A.

Figura C.1. Diagrama de flujo del proceso productivo.



TABLA C.1. LISTA DE INVENTARIO DE ALMACÉN DE MATERIALES Y SUSTANCIAS PELIGROSAS



INVENTARIO DE ALMACÉN DE MATERIALES Y SUSTANCIAS PELIGROSAS

Responsable del Control: _____

Mes / Año: _____

Cod.	Identificación de la Sustancia Peligrosa	Área o Proceso de Almacén	Estado Físico	Unidad / Capacidad	Cantidad Almacenada		Forma de Almacenamiento	Rombo de Seguridad	Observacion
389686	ÁCIDO FOSFÓRICO 85%	PAT1 MPPS	LÍQUIDO	TAMBORES PLÁSTICOS 340 LTS	5100 LTS	MATERIA PRIMA	15 TAMB/ PALETAS		SUSTANCIA TÓXICA Y/O CORROSIVA. NO COMBUSTIBLE
469622	ALODINE	PAT1	LIQUIDO	TOTES PLÁSTICOS 1000 LTS	3000 LTS	MATERIA PRIMA / REVENTA	PISO		
410535	ÁCIDO NÍTRICO	PAT4	LIQUIDO	TAMBORES PLÁSTICOS 330 KG	14625 KG	MATERIA PRIMA	39 TAMB/ PALETAS		SUSTANCIA TÓXICA Y/O CORROSIVA. NO COMBUSTIBLE
406608	SODIO DODECIL BENCENO	PAT4	LIQUIDO	TAMBORES METÁLICO S 68 KG	136 KG	MATERIA PRIMA ECOLAB	2 TAMB/ PALETAS		SUSTANCIA REACTIVA CON EL AGUA. EMITE GAS INFLAMABLE
01210	NIPACIDE PX	PAT4	LIQUIDO	TAMBORES METÁLICO S 68 KG	100 KG	MATERIA PRIMA ECOLAB	2 TAMB/ PALETAS		
32625	NITRATO DE SODIO	PAT4	POLVO	SACOS 50 KG	300 KG	MATERIA PRIMA	6 SACOS/ PALETAS		OXIDANTE
26974	SODIO CLORATO	PAT4	POLVO	TAMBORES METÁLICO S 125 Y 204 KG	329 KG	MATERIA PRIMA ECOLAB	2 TAMB/ PALETAS	3 0 3 0	OXIDANTE
10246512715	CLORITO DE SODIO 80%	PAT4	POLVO	TAMBORES METÁLICO S 50 KG	100 KG	MATERIA PRIMA	2 TAMB/ PALETAS		SUSTANCIA TÓXICA Y/O CORROSIVA. NO COMBUSTIBLE
404107	ÁCIDO HIDROFLUOSILICICO 25% (HFS)	MPPS	LIQUIDO	TAMBORES PLÁSTICOS 249 KG	1494 KG	MATERIA PRIMA	6 TAMB/ PALETAS		SUSTANCIA TÓXICA Y/O CORROSIVA. NO COMBUSTIBLE
32466	ÁCIDO FLUOTITANICO 50%	MPPS	LIQUIDO	TAMBORES PLÁSTICOS	272 KG	MATERIA PRIMA	1 TAMB/ PALETAS		
32441	HEXAFLUOROZIRCONIO	MPPS	LIQUIDO	TAMBORES PLÁSTICOS 84 KG	84 KG	MATERIA PRIMA	1 TAMB/ PALETAS		
84245	ÁCIDO SULFÚRICO 95 - 98 %	MPPS	LIQUIDO	TAMBORES PLÁSTICOS	3294 KG	MATERIA PRIMA	10 TAMB/ PALETAS		SUSTANCIA REACTIVA CON EL AGUA. CORROSIVA
00788	ÁCIDO CLORHÍDRICO	MPPS	LIQUIDO	TAMBORES PLÁSTICOS 90 KG	90 KG	MATERIA PRIMA ECOLAB	1 TAMB/ PALETAS		SUSTANCIA TÓXICA Y/O CORROSIVA. NO COMBUSTIBLE. SUSCEPTIBLE AL AGUA
403131	SODIO DICROMATO	MPPS	POLVO	SACOS 25KG	1250 KG	REVENTA	18 SACOS / PALETA		
26142	SODIO HIDROXIDO	MPPS	LIQUIDO	TAMBORES PLÁSTICOS 300 KG	2822 KG	MATERIA PRIMA ECOLAB	11 TAMB/ PALETAS	3 0 1 0	CORROSIVO.
408745	ÁCIDO DODECILSULFÓNICO	MPPS	LIQUIDO	TAMBORES PLÁSTICOS	359 KG	MATERIA PRIMA ECOLAB	3 TAMB/ PALETA		
404044	ÁCIDO CRESILICO	MPPS	LIQUIDO	TAMBORES METÁLICO S	295 KG	MATERIA PRIMA ECOLAB	2 TAMB/ PALETA		SUSTANCIA TÓXICA Y/O CORROSIVA. COMBUSTIBLE
408735	ÁCIDO SULFÚRICO TÉCNICO	MPPS	LIQUIDO	TAMBORES PLÁSTICOS	275 KG	MATERIA PRIMA ECOLAB	2 TAMB/ PALETA		SUSTANCIA REACTIVA CON EL AGUA. CORROSIVA.
32659	SULFATO HIDROXILAMINA CONCENTRADO	MPPS	LIQUIDO	TOTE PLÁSTICOS	292 KG	MATERIA PRIMA ECOLAB	1 TOTE / PISO	3 1 2 0	CORROSIVO.
66347	CATÓN CG	MPPS	LIQUIDO	TAMBORES PLÁSTICOS	15 KG	MATERIA PRIMA	1 TAMB/ PALETAS		
403021	DICROMATO DE SODIO 10%	MPPS	LÍQUIDO	TAMBORES PLÁSTICOS 200 KG	400 KG	MATERIA PRIMA/ PALETAS EN MAL ESTADO	2 TAMB/ PALETA		OXIDANTE

Fuente: Henkel Venezolana S.A.



TABLA C.1. LISTA DE INVENTARIO DE ALMACÉN DE MATERIALES Y SUSTANCIAS PELIGROSAS (CONT.)



INVENTARIO DE ALMACÉN DE MATERIALES Y SUSTANCIAS PELIGROSAS

Responsable del Control: _____

Mes / Año: _____

Cod.	Identificación de la Sustancia Peligrosa	Área o Proceso de Almacén	Estado Físico	Unidad / Capacidad	Cantidad Almacenada		Forma de Almacenamiento	Rombo de Seguridad	Observacion
26926	ALCOHOL ISOPROPÍLICO	SOLVENTES	LIQUIDO	TAMBORES METÁLICOS	532 KG	MATERIA PRIMA	3 TAMB/ PALETA		INFLAMABLE. POLAR MEZCLABLE NOCIVO
68815	DISOLAGO	SOLVENTES	LIQUIDO	TAMBORES METÁLICOS S 156 KG	468 KG	MATERIA PRIMA	3 TAMB/ PALETA		
26142	SODIO HIDRÓXIDO 50%	SOLVENTES	LIQUIDO	CARBOYAS PLÁSTICAS 13 KG	13 KG	MATERIA PRIMA	1 CARB/ PALETA		
32660	AGUA OXIGENADA	SOLVENTES	LIQUIDO	CARBOYAS PLÁSTICAS 16 KG	16 KG	MATERIA PRIMA	1 CARB/ PALETA		
FALTA CÓDIGO	SOLUCIÓN DE NIQUEL NITRATO	SOLVENTES	LIQUIDO	TAMBORES PLÁSTICOS	735 KG	MATERIA PRIMA	3 TAMB/ PALETA		OXIDANTE
149792	NONIFENOL	SOLVENTES	LIQUIDO	TAMBORES PLÁSTICOS	190 KG	MATERIA PRIMA	1 TAMB/ PALETAS	1 1 0 0	CORROSIVO. NOCIVO
207720	BUTIL ESTERATO	SOLVENTES	LIQUIDO	TAMBORES METÁLICOS S 175 KG	625 KG	MATERIA PRIMA	4 TAMB/ PALETA		
405142	BUTIL OXITOL	SOLVENTES	LIQUIDO	TAMBORES METÁLICOS	180 KG	MATERIA PRIMA	1 TAMB/ PALETA		
32523	PLURAFAC D 25	SOLVENTES	LIQUIDO	TAMBORES METÁLICOS	204 KG	MATERIA PRIMA	1 TAMB/ PALETA		
32777	ISOPAR K	SOLVENTES	LIQUIDO	TAMBORES METÁLICOS	176 KG	MATERIA PRIMA	2 TAMB/ PALETA		
32923	SODIO METILATO	SOLVENTES	LIQUIDO	TAMBORES METÁLICOS	23 KG	MATERIA PRIMA	1 TAMB/ PALETA		
FALTA CÓDIGO	NIQUEL FOSFATO	SOLVENTES	LIQUIDO	TAMBORES METÁLICOS		MATERIA PRIMA	3 TAMB/ PALETA		
41810	TRITÓN DF20	SOLVENTES	LIQUIDO	TAMBORES METÁLICOS S 204 KG	408 KG	MATERIA PRIMA	2 TAMB/ PALETA		
32	MONOHETANOLAMINA PURA	SOLVENTES	LIQUIDO	TAMBORES PLÁSTICOS 210 KG	700 KG	MATERIA PRIMA	4 TAMB/ PALETA		
00615	BUTILGLICOL	SOLVENTES	LIQUIDO	TAMBORES PLÁSTICOS 220 KG	1980 KG	MATERIA PRIMA ECOLAB	9 TAMB/ PALETA		
274015	GLUCOPON AV 110	SOLVENTES	LIQUIDO	TAMBORES METÁLICOS S 200 KG	700 KG	MATERIA PRIMA ECOLAB	4 TAMB/ PALETA		
00290	ALCOHOL ISOPROPÍLICO	SOLVENTES	LIQUIDO	TAMBORES METÁLICOS S 160 KG	800 KG	MATERIA PRIMA ECOLAB	5 TAMB/ PALETAS		INFLAMABLE. POLAR MEZCLABLE NOCIVO
01255	POLIETILENGLICOL 400	SOLVENTES	LIQUIDO	TAMBORES METÁLICOS S 215 KG	215 KG	MATERIA PRIMA ECOLAB	1 TAMB/ PALETA		
01590	TRIEANOLAMINA 99%	SOLVENTES	LIQUIDO	TAMBORES METÁLICOS S 231 KG	924 KG	MATERIA PRIMA ECOLAB	4 TAMB/ PALETA		
00165	ÁCIDO FOFÓRICO BUTANO	SOLVENTES	LIQUIDO	TAMBORES METÁLICOS S 250 KG	250 KG	MATERIA PRIMA ECOLAB	1 TAMB/ PALETA		

Fuente: Henkel Venezolana S.A.



TABLA C.1. LISTA DE INVENTARIO DE ALMACÉN DE MATERIALES Y SUSTANCIAS PELIGROSAS (CONT.)



INVENTARIO DE ALMACÉN DE MATERIALES Y SUSTANCIAS PELIGROSAS

Responsable del Control: _____

Mes / Año: _____

Cod.	Identificación de la Sustancia Peligrosa	Área o Proceso de Almacén	Estado Físico	Unidad / Capacidad	Cantidad Almacenada		Forma de Almacenamiento	Rombo de Seguridad	Observacion
01220	NIPACIDE CFX	SOLVENTES	LIQUIDO	TAMBORES METÁLICOS 210 KG	210 KG	MATERIA PRIMA ECOLAB	1 TAMB/ PALETA		
00140	ÁCIDO V85KE	SOLVENTES	LIQUIDO	TAMBORES METÁLICOS 180 KG	180 KG	MATERIA PRIMA ECOLAB	1 TAMB/ PALETA		
00575	ANTIESPUMANTE FN LÍQUIDO	SOLVENTES	LIQUIDO	TAMBORES METÁLICOS	60 KG	MATERIA PRIMA ECOLAB	1 TAMB/ PALETA		
1430	SODIO CUMULSULNATO	SOLVENTES	LIQUIDO	TAMBORES PLÁSTICOS 227KG	721 KG	MATERIA PRIMA ECOLAB	4 TAMB/ PALETA		
00065	ÁCIDO ACETOFOSFÓNICO	SOLVENTES	LIQUIDO	TAMBORES PLÁSTICOS 250 KG	250 KG	MATERIA PRIMA ECOLAB	1 TAMB/ PALETA		
00400	ÁCIDO OCTANOICO	SOLVENTES	LIQUIDO	TAMBORES METÁLICOS	180 KG	MATERIA PRIMA ECOLAB	1 TAMB/ PALETA		

Fuente: Henkel Venezolana S.A.

**TABLA C.2. VALORES MÍNIMOS, PROMEDIOS Y MÁXIMOS DE CARACTERIZACIONES TRIMESTRALES Y DESVIACIONES MEDIA Y ESTÁNDAR MÁS IMPORTANTES DEL EFLUENTE CRUDO**

PARÁMETRO	UNIDAD	MÍNIMO	PROMEDIO	MÁXIMO	DESVIACIÓN MEDIA (d _m)	DESVIACIÓN ESTÁNDAR (s)	DECRETO 3.219
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	1.197,00	5.665,43	16.063,00	5.664,99	7.918,10	60,00
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	9.283,00	16.877,14	24.800,00	4.676,73	5.879,19	350,00
pH	Adim	4,00	6,54	8,90	1,47	1,94	6,0 - 9,0
Aceites y Grasas Veg. y Animales	mg/L	10,00	339,86	863,00	249,55	320,20	20,00
Aceites Minerales e HC (*)	mg/L	7,00	7,00	7,00	-	-	20,00
Sólidos Suspendidos	mg/L	1.290,00	3.544,29	9.710,00	2.166,12	3.006,89	80,00
Sólidos Sedimentables	mg/L	0,10	36,33	200,00	46,76	73,23	1,00
Detergentes	mg/L	0,10	12,30	41,00	-	-	2,00
Fósforo Total	mg/L	171,00	524,16	1.019,00	266,18	320,69	1,00
Fenoles	mg/L	0,01	0,91	2,10	-	-	0,05
Zinc	mg/L	64,06	250,17	859,25	-	-	5,00
Cloruros	mg/L	81,00	218,71	630,00	-	-	1.000,00
Sulfatos	mg/L	16,00	422,14	1.294,00	-	-	600,00
Nitrógeno Total	mg/L	37,55	205,94	661,00	150,06	217,32	10,00
Aluminio	mg/L	0,40	7,41	15,73	-	-	1,00
Sulfuros	mg/L	0,04	0,04	0,04	-	-	0,50
Sulfitos	mg/L	20,00	20,00	20,00	-	-	2,00
Cromo Total	mg/L	0,31	0,31	0,31	-	-	2,00
Plomo Total	mg/L	0,28	0,28	0,28	-	-	0,50
Cobre Total	mg/L	0,12	0,12	0,12	-	-	0,50
Níquel Total	mg/L	0,71	0,71	0,71	-	-	1,00
Hierro Total	mg/L	14,12	14,12	14,12	-	-	10,00

Fuente: Resultados basados Caracterizaciones Trimestrales Laboratorio Externo. Abril 2009 – Enero 2011. (*) HC: Hidrocarburos

**TABLA C.3. VALORES MÍNIMOS, PROMEDIOS Y MÁXIMOS DE CARACTERIZACIONES TRIMESTRALES Y DESVIACIONES MEDIA Y ESTÁNDAR MÁS IMPORTANTES DE LA SALIDA FINAL DEL EFLUENTE**

PARÁMETRO	UNIDAD	MÍNIMO	PROMEDIO	MÁXIMO	DESVIACIÓN MEDIA (d _m)	DESVIACIÓN ESTÁNDAR (s)	DECRETO 3.219
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	10,00	198,86	860,00	198,41	91,348	60,00
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	33,00	705,86	2.663,00	896,65	1.095,64	350,00
pH	Adim	6,20	7,34	8,10	0,60	0,74	6,0 - 9,0
Aceites y Grasas Veg y Animales	mg/L	3,00	14,14	52,00	10,82	16,98	20,00
Aceites Minerales e HC (*)	mg/L	2,00	2,00	2,00	-	-	20,00
Sólidos Suspendidos	mg/L	26,00	57,43	123,00	29,47	37,64	80,00
Sólidos Sedimentables	mg/L	0,00	0,51	1,00	0,30	0,41	1,00
Detergentes	mg/L	0,10	0,29	0,60	-	-	1,00
Fósforo Total	mg/L	9,00	55,17	168,00	48,82	61,09	0,05
Fenoles	mg/L	0,01	0,04	0,10	-	-	5,00
Zinc	mg/L	0,12	0,79	1,68	-	-	1.000,00
Cloruros	mg/L	14,00	124,29	273,00	-	-	600,00
Sulfatos	mg/L	68,00	229,86	600,00	-	-	10,00
Nitrógeno Total	mg/L	3,00	8,12	17,00	3,90	4,96	1,00
Aluminio	mg/L	0,00	0,49	1,98	-	-	0,50
Sulfuros	mg/L	0,06	0,06	0,06	-	-	2,00
Sulfitos	mg/L	33,00	33,00	33,00	-	-	2,00
Cromo Total	mg/L	0,11	0,11	0,11	-	-	0,50
Plomo Total	mg/L	0,01	0,01	0,01	-	-	0,50
Cobre Total	mg/L	0,02	0,02	0,02	-	-	1,00
Níquel Total	mg/L	0,63	0,63	0,63	-	-	10,00
Hierro Total	mg/L	1,14	1,14	1,14	-	-	10,00

Fuente: Resultados basados Caracterizaciones Trimestrales Laboratorio Externo. Abril 2009 – Enero 2011. (*) HC: Hidrocarburos

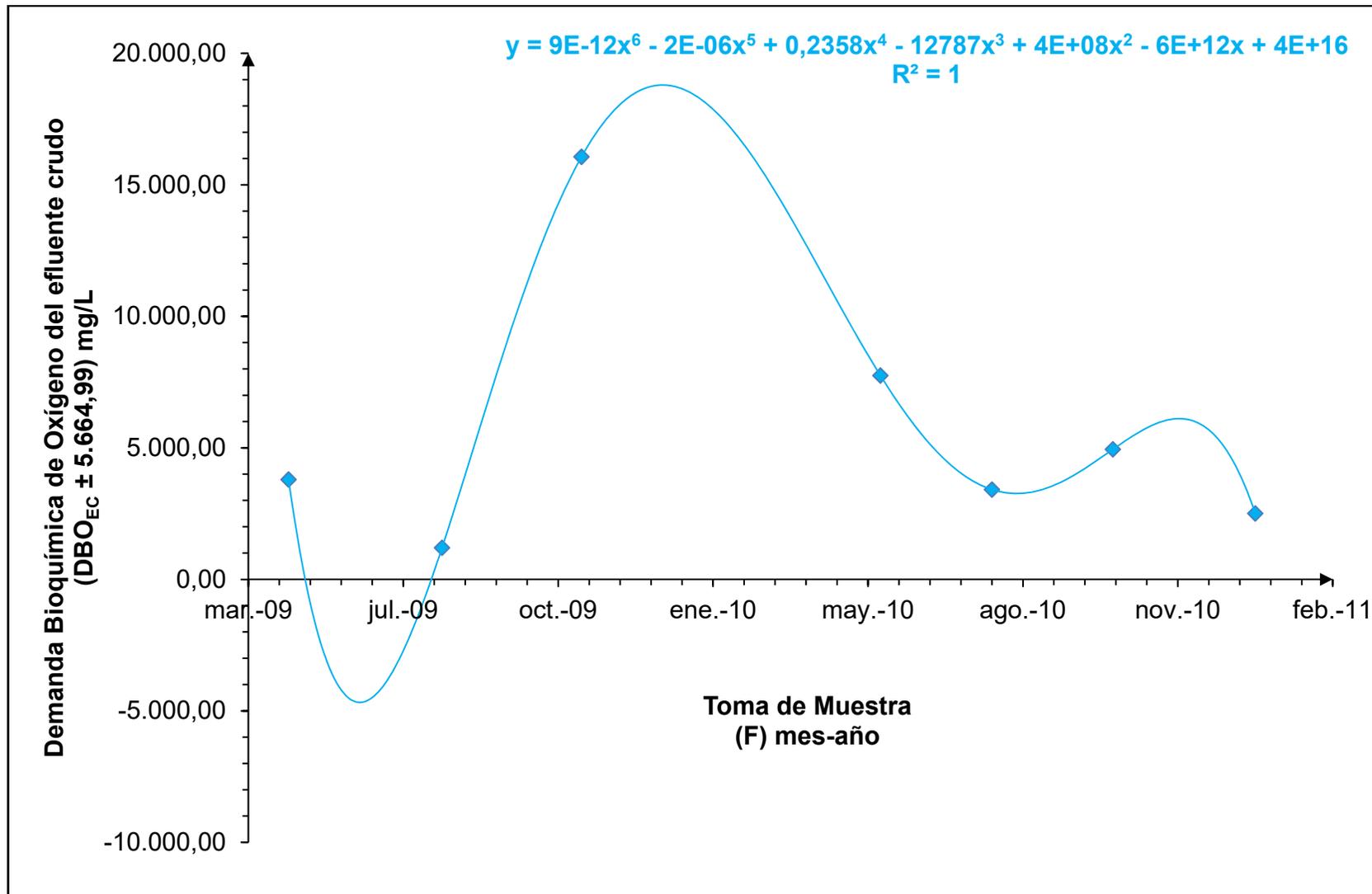


Figura C.2. Comportamiento de la DBO en el efluente crudo entre abril de 2009 y enero 2011.

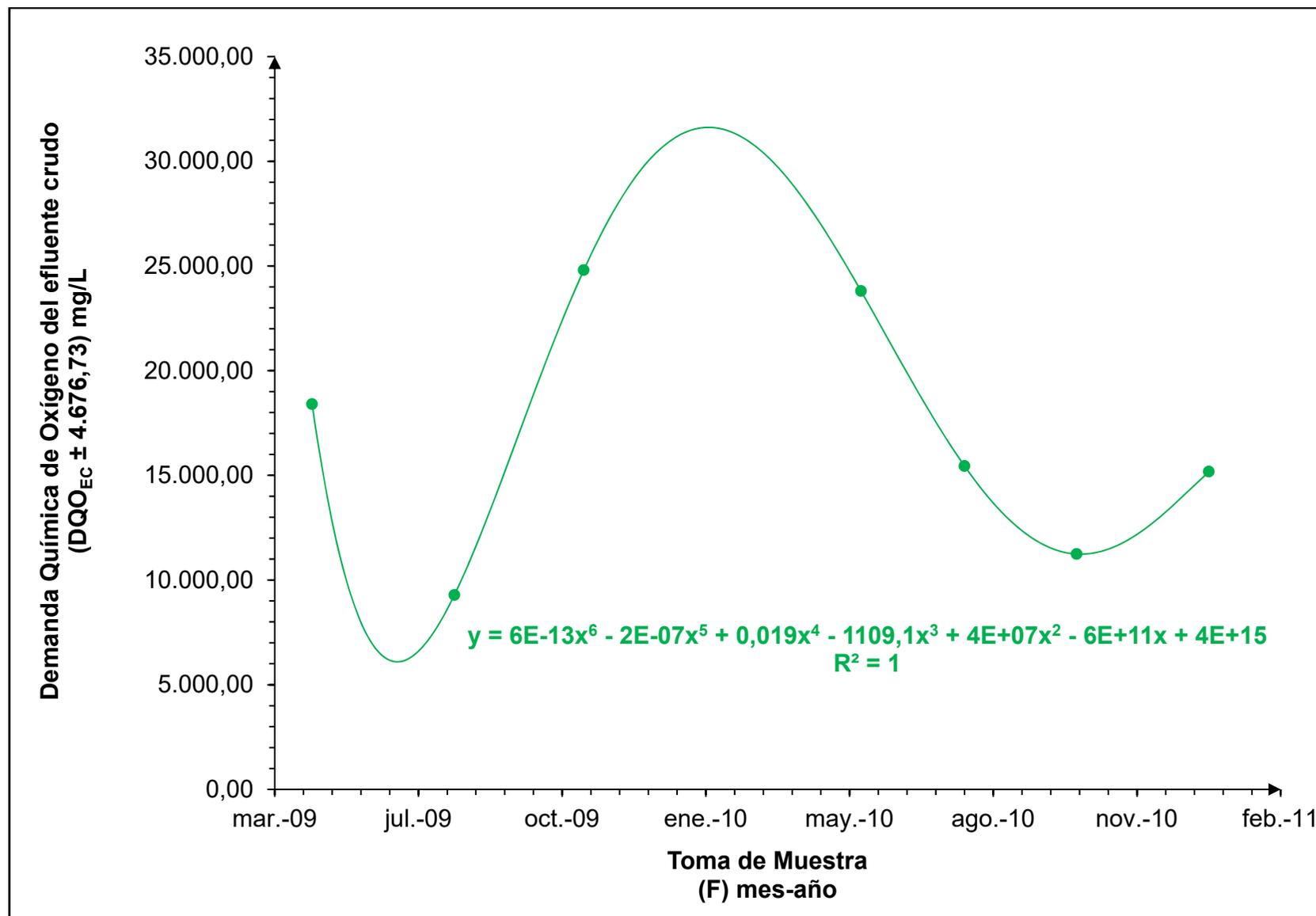


Figura C.3. Comportamiento de la DQO en el efluente crudo entre abril de 2009 y enero 2011.

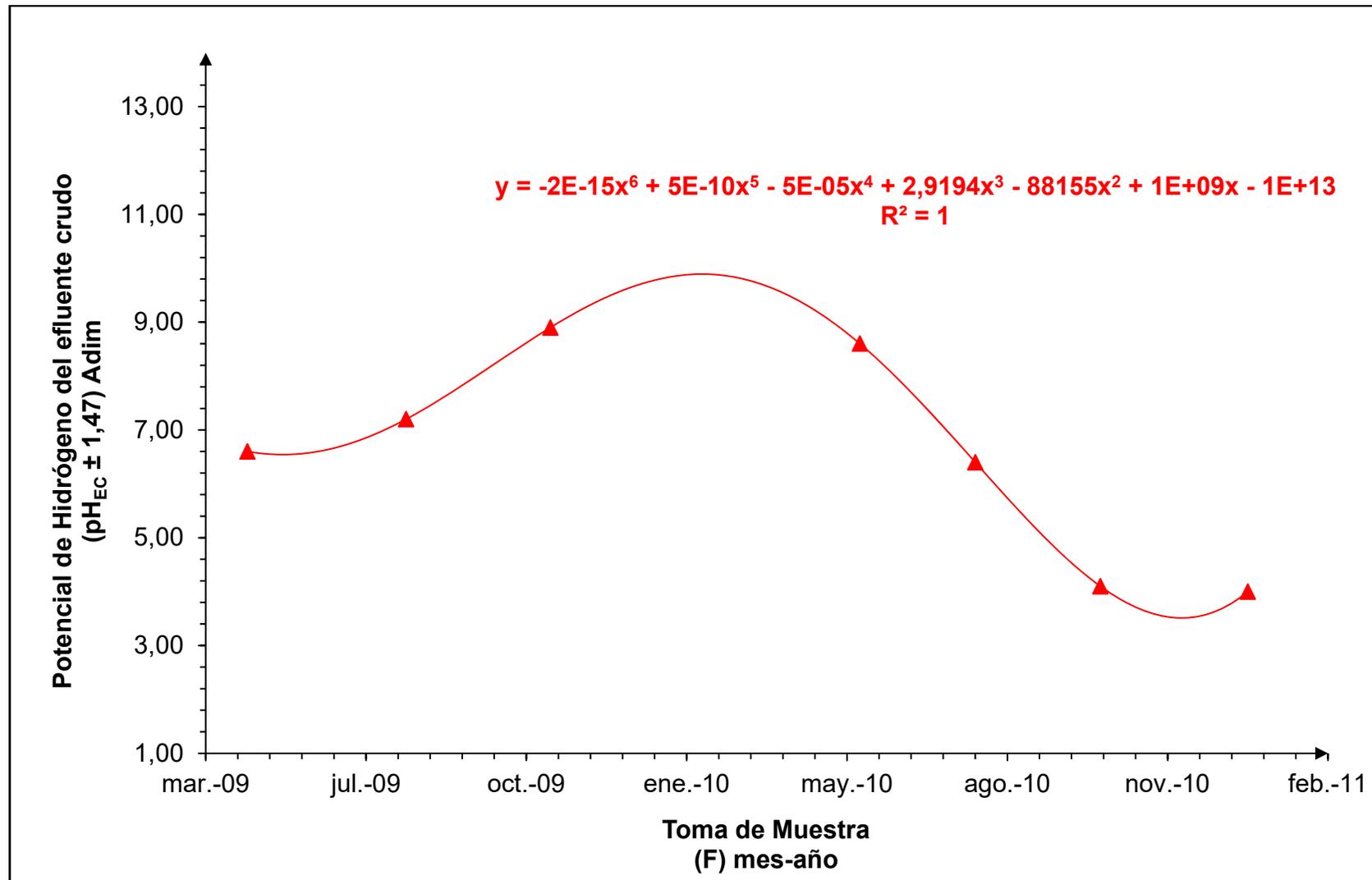


Figura C.4. Comportamiento del pH en el efluente crudo entre abril de 2009 y enero 2011.

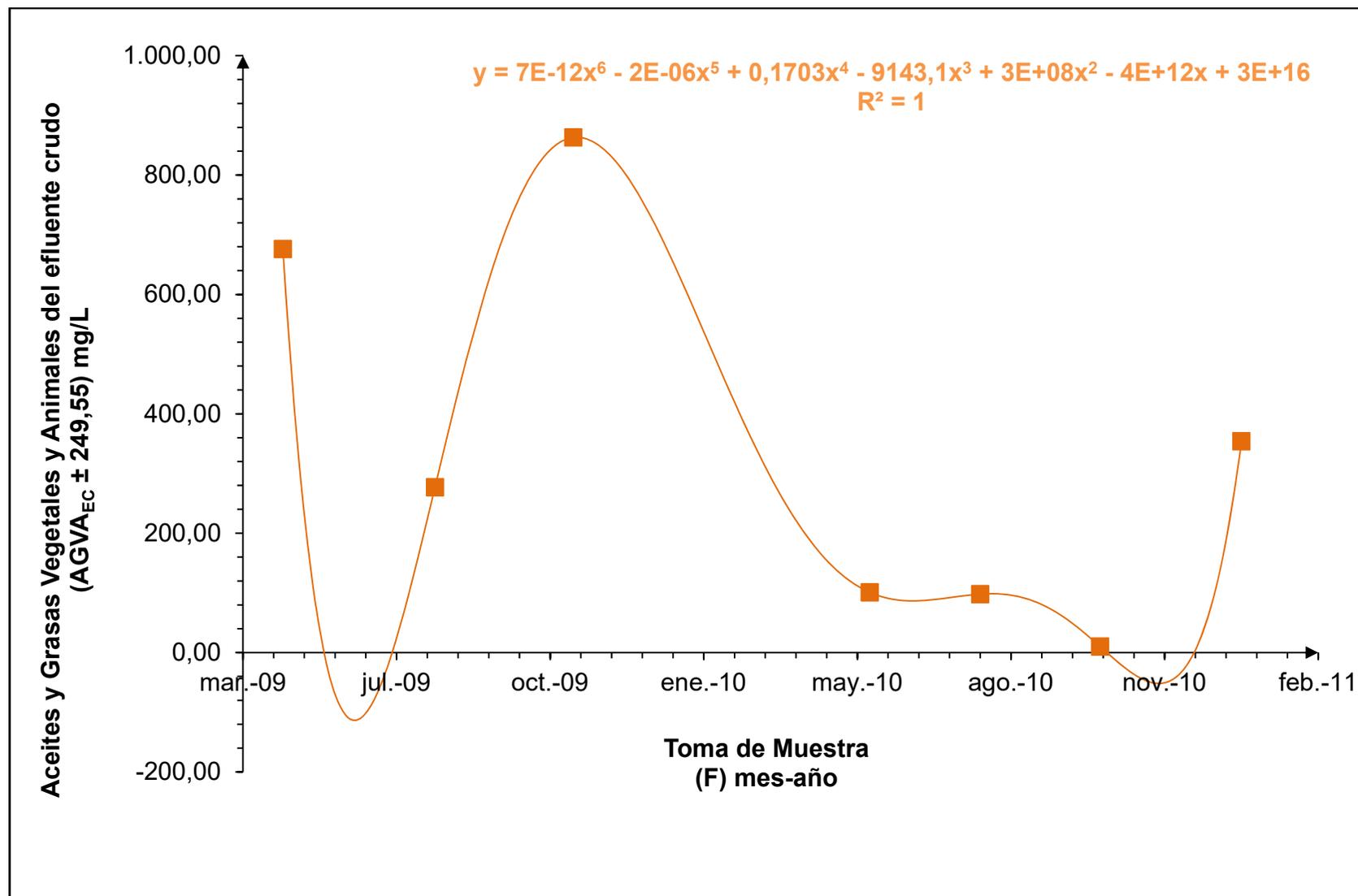


Figura C.5. Comportamiento de los aceites y grasas vegetales y animales en el efluente crudo entre abril de 2009 y enero 2011.

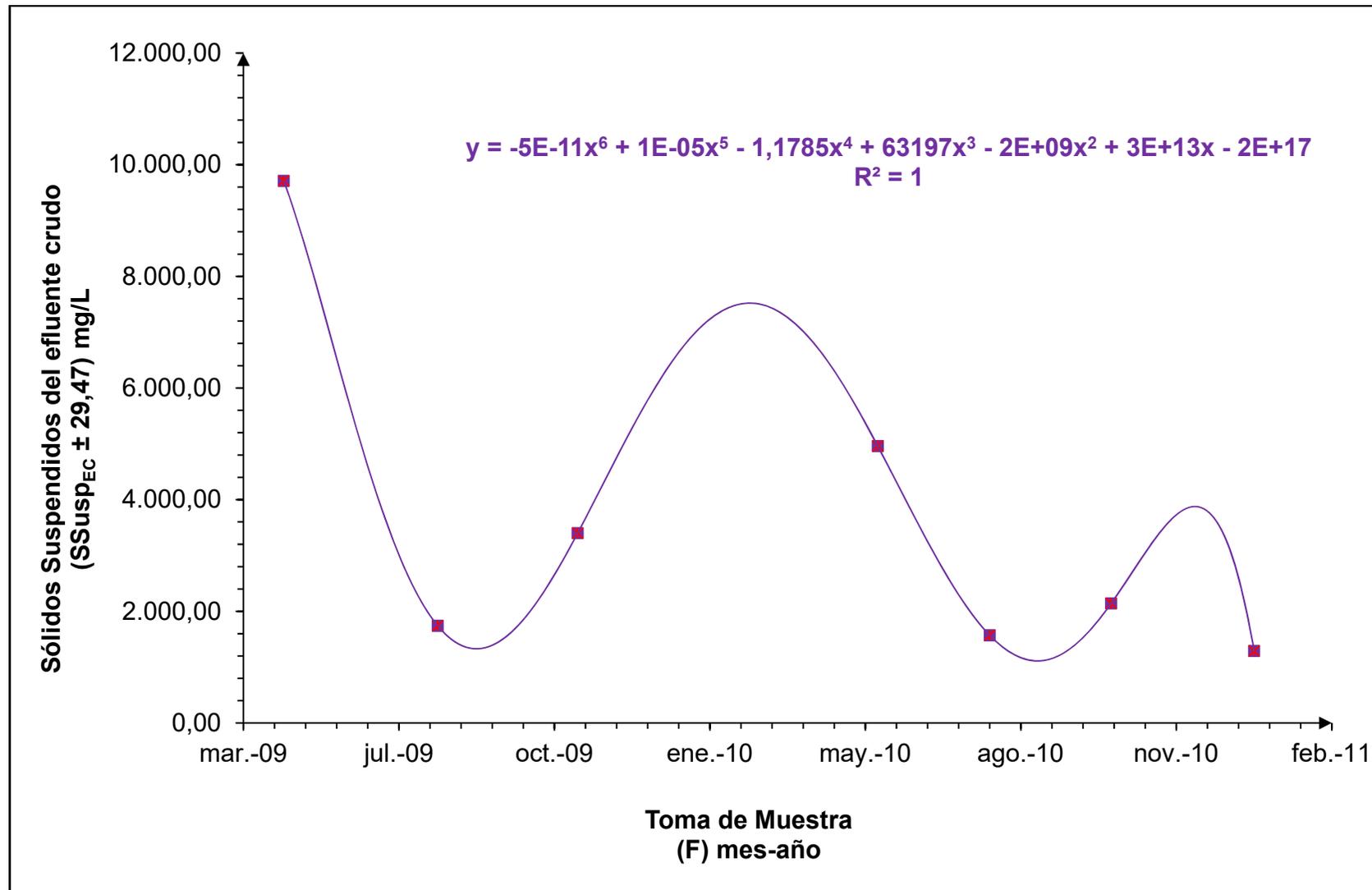


Figura C.6. Comportamiento de los sólidos suspendidos en el efluente crudo entre abril de 2009 y enero 2011.

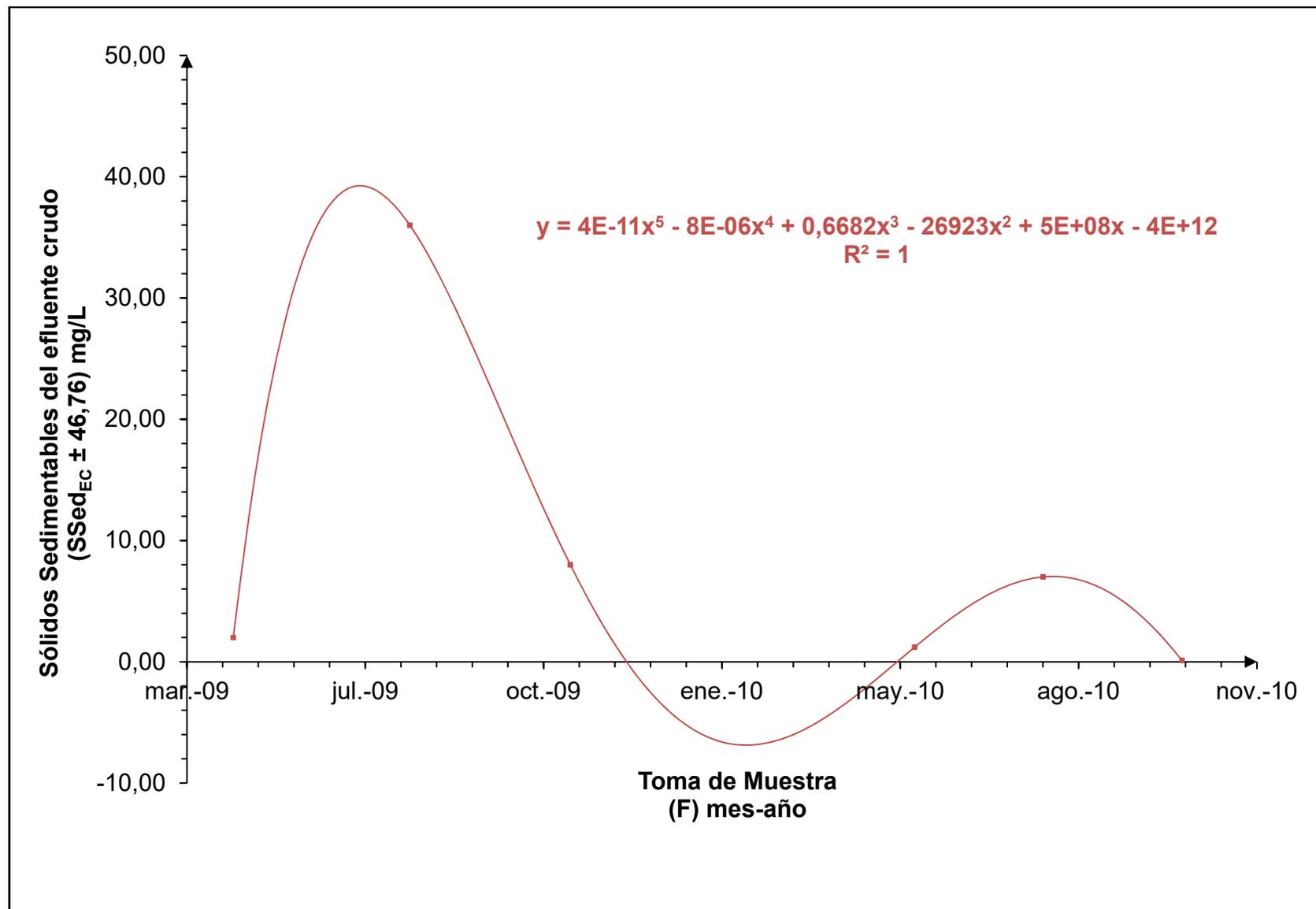


Figura C.7. Comportamiento de los sólidos sedimentables en el efluente crudo entre abril de 2009 y enero 2011.

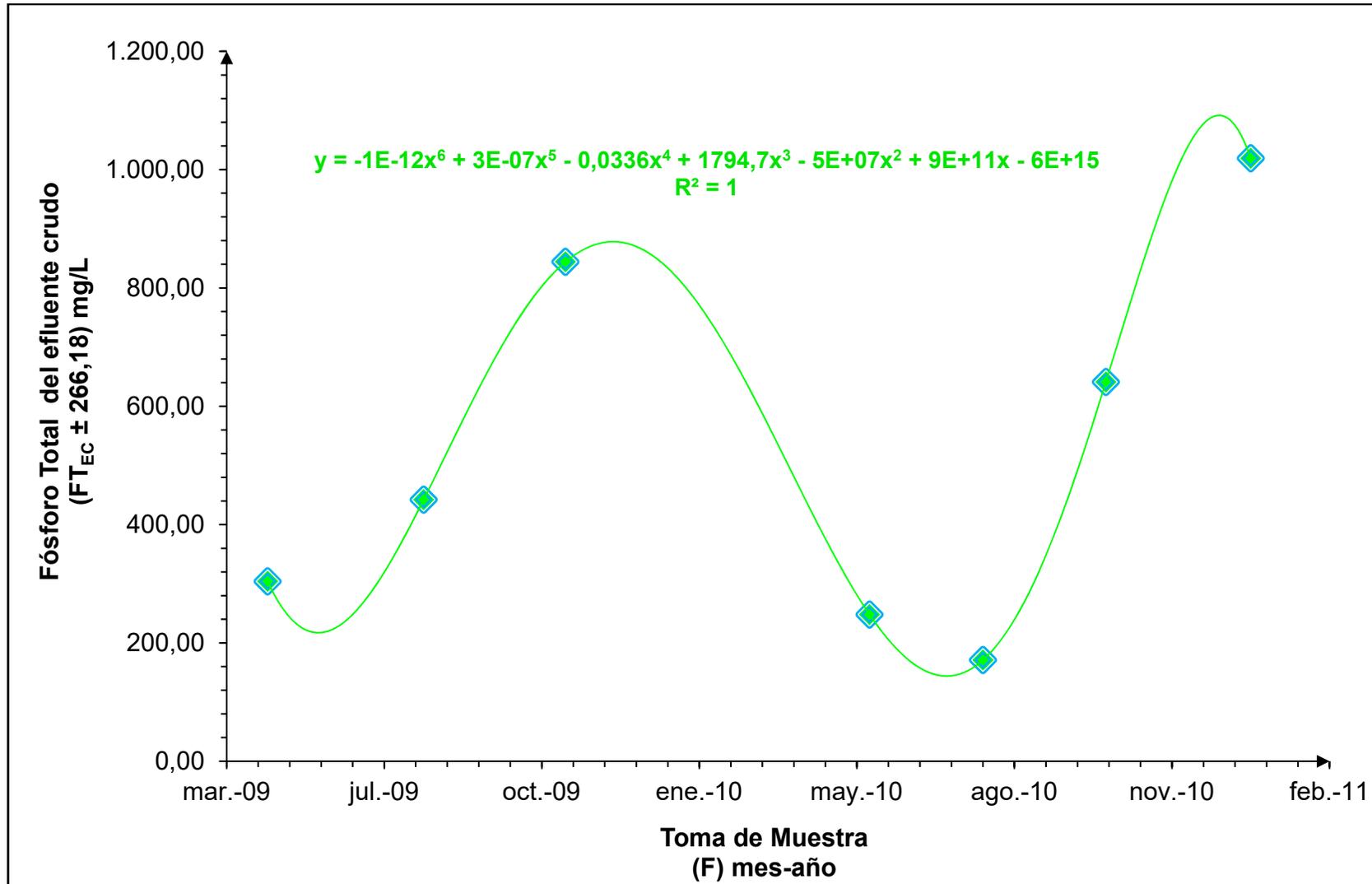


Figura C.8. Comportamiento del fósforo total en el efluente crudo entre abril de 2009 y enero 2011.

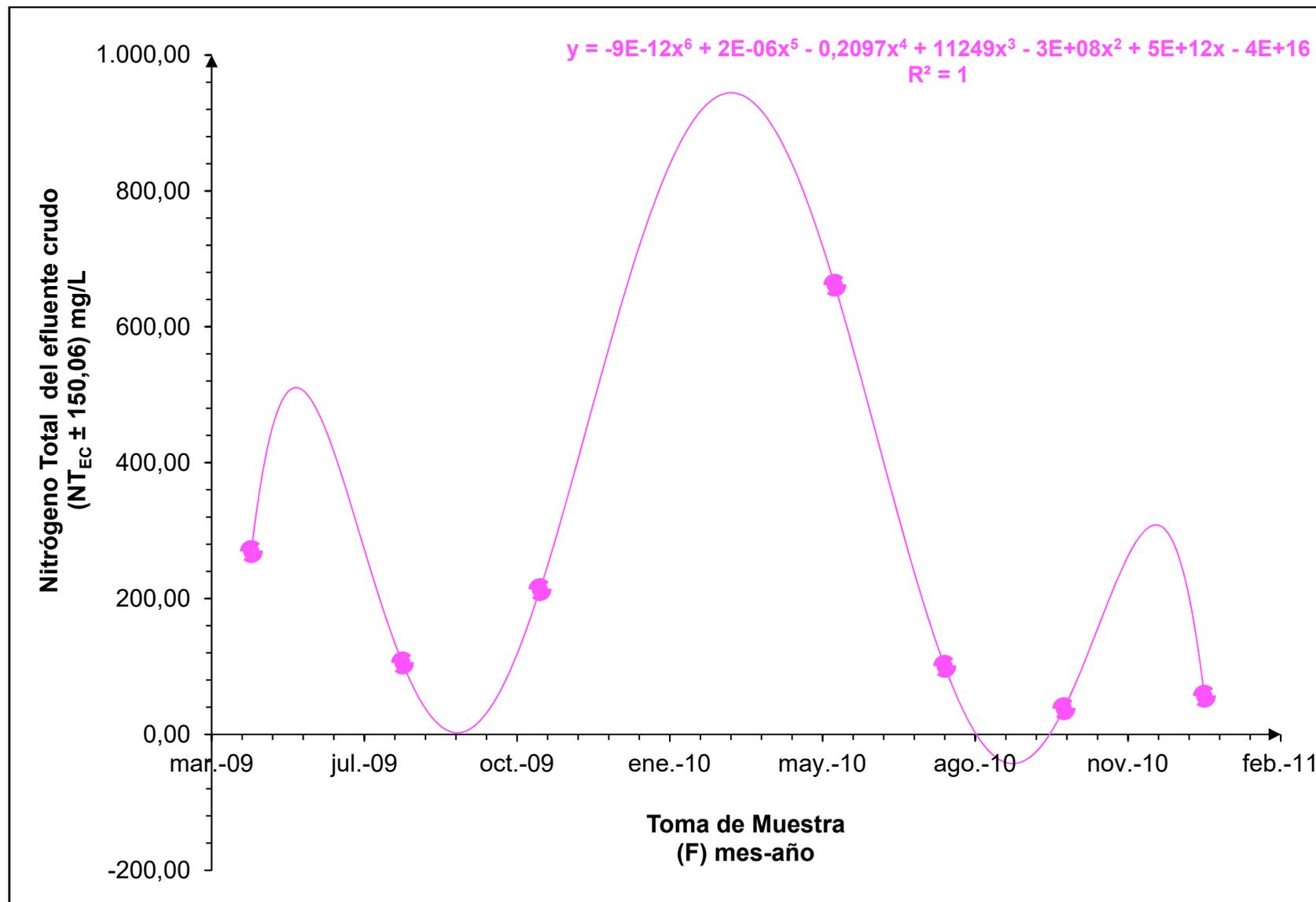


Figura C.9. Comportamiento del nitrógeno total en el efluente crudo entre abril de 2009 y enero 2011.



TABLA C.4. VALORES MÍNIMO, PROMEDIO Y MÁXIMO DE LAS CARGAS PROMEDIOS DE DBO, N Y P DEL EFLUENTE CRUDO Y ENTRADA DEL TRATAMIENTO BIOLÓGICO

EFLUENTE	CARGAS PROMEDIOS	UNIDAD	MÍNIMO	PROMEDIO	MÁXIMO
Entrada del Tratamiento Físico-Químico (CRUDO)	DBO	kg/día	22,41	175,84	383,24
	N (Nitrógeno)	kg/día	4,64	15,17	25,98
	P (Fósforo)	kg/día	1,07	6,35	12,40
Entrada del Tratamiento Biológico	DBO	kg/día	1,68	89,28	338,08
	N (Nitrógeno)	kg/día	0,29	2,56	9,43
	P (Fósforo)	kg/día	2,27	7,18	26,73

Fuente: Resultados basados Caracterizaciones Trimestrales Laboratorio Externo. Abril 2009 – Enero 2011.

TABLA C.5. VALORES MÍNIMO, PROMEDIO Y MÁXIMO DE LA RELACIÓN DE LA DBO RESPECTO A LA DQO, N Y P DEL EFLUENTE CRUDO Y ENTRADA DEL TRATAMIENTO BIOLÓGICO

EFLUENTE	RELACIÓN	UNIDAD	MÍNIMO	PROMEDIO	MÁXIMO
Entrada del Tratamiento Físico-Químico (CRUDO)	DBO/DQO (>0,5)	Adim	0,13	0,30	0,65
	DBO:N (2,5 - 5,0)	Adim	0,76	4,52	8,77
	DBO:P (0,5 - 1,0)	Adim	3,20	16,01	40,71
Entrada del Tratamiento Biológico	DBO/DQO (>0,5)	Adim	0,02	0,30	0,67
	DBO:N (2,5 - 5,0)	Adim	0,66	12,52	65,56
	DBO:P (0,5 - 1,0)	Adim	4,66	32,35	170,00

Fuente: Resultados basados Caracterizaciones Trimestrales Laboratorio Externo. Abril 2009 – Enero 2011.



TABLA C.6. PRUEBA DE JARRAS 1

JARRA	VOLUMEN DE COAGULANTE ($V_c \pm 0,01$) mL	VOLUMEN DE FLOCULANTE ($V_F \pm 0,05$) mL
1	1,00	5,00
2	2,00	5,00
3	3,00	5,00
4	4,00	5,00
5	5,00	5,00

TABLA C.7. PRUEBA DE JARRAS 2

JARRA	VOLUMEN DE COAGULANTE ($V_c \pm 0,01$) mL	VOLUMEN DE FLOCULANTE ($V_F \pm 0,05$) mL
1	2,00	6,00
2	2,00	7,00
3	2,00	8,00
4	2,00	9,00
5	2,00	10,00

TABLA C.8. PRUEBA DE JARRAS 3

JARRA	POTENCIAL DE HIDRÓGENO (pH) Adim	VOLUMEN DE COAGULANTE ($V_c \pm 0,01$) mL	VOLUMEN FLOCULANTE ($V_F \pm 0,05$) mL	VOLUMEN DE AYUDANTE DE COAGULACIÓN (CaI) ($V_{AC} \pm 0,01$) mL
1	7	5,00	6,00	4,00
2	6	6,00	6,00	4,00
3	4-5	7,00	6,00	4,00
4	4-5	8,00	6,00	4,00
5	4	9,00	6,00	4,00



TABLA C.9. PRUEBAS DE JARRAS 4

JARRA	1
POTENCIAL DE HIDRÓGENO (pH) Adim	6
VOLUMEN DE COAGULANTE ($V_c \pm 0,01$) mL	2,00
VOLUMEN FLOCULANTE ($V_F \pm 0,05$) mL	6,00
VOLUMEN DE AYUDANTE DE COAGULACIÓN (CaI) ($V_{AC} \pm 0,01$) mL	3,00
VOLUMEN PARA AJUSTE DE pH (Ácido clorhídrico) ($V_{pH} \pm 0,01$) mL	4,00



TABLA C.10. PRUEBAS DE JARRAS 5

JARRA	1	2	3	4	5
POTENCIAL DE HIDRÓGENO (pH) Adim	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5
VOLUMEN DE COAGULANTE ($V_c \pm 0,01$) mL	2,50	3,00	3,50	4,00	4,50
VOLUMEN FLOCULANTE ($V_f \pm 0,05$) mL	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00
VOLUMEN DE AYUDANTE DE COAGULACIÓN (CaI) ($V_{AC} \pm 0,01$) mL	2,50	2,50	2,50	2,50	2,5
VOLUMEN PARA AJUSTE DE pH (Ácido clorhídrico) ($V_{pH} \pm 0,01$) mL	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50



TABLA C.11. MATRIZ DE SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS CUALITATIVA

CRITERIOS	ALTERNATIVAS DE TRATABILIDAD		
	1	2	3
	Coagulación- Floculación	Ultrafiltración- Ósmosis inversa	Flotación por aire disuelto
COSTO	4	1	2
OPERATIVIDAD (PERSONAL, CARACTERIZACIONES)	4	1	1
OCUPACIÓN DE ESPACIO FÍSICO	5	2	3
COSTOS POR MANTENIMIENTO	4	2	3
TOTAL	17	6	9

Escala de Atributo: 1-Malo, 2-Reguar, 3-Bueno, 4-Muy bueno, 5-Excelente



TABLA C.12. MATRIZ DE SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS CUANTITATIVA

CRITERIOS	PONDERACIÓN (P) %	ALTERNATIVAS DE TRATABILIDAD			
		Coagulación-Floculación		Flotación por aire disuelto	
		ATRIBUTO (A) Adim	(PXA) %	ATRIBUTO (A) Adim	(PXA) %
COSTOS	20	4	80	3	60
OCUPACIÓN DE ESPACIO FÍSICO	20	5	100	1	20
EFICIENCIA (REDUCCIÓN DE CONTAMINANTES)	20	4	80	2	40
OPERATIVIDAD	10	4	40	2	20
SEGURIDAD	5	4	20	1	5
NECESIDAD DE QUÍMICOS	5	1	5	4	20
PERSONAL CALIFICADO	10	4	40	2	20
GENERACIÓN DE RESIDUOS	10	1	10	3	30
TOTAL	100	27	375	20	215

Escala de Atributo: 1-Malo, 2-Reguar, 3-Bueno, 4-Muy bueno, 5-Excelente

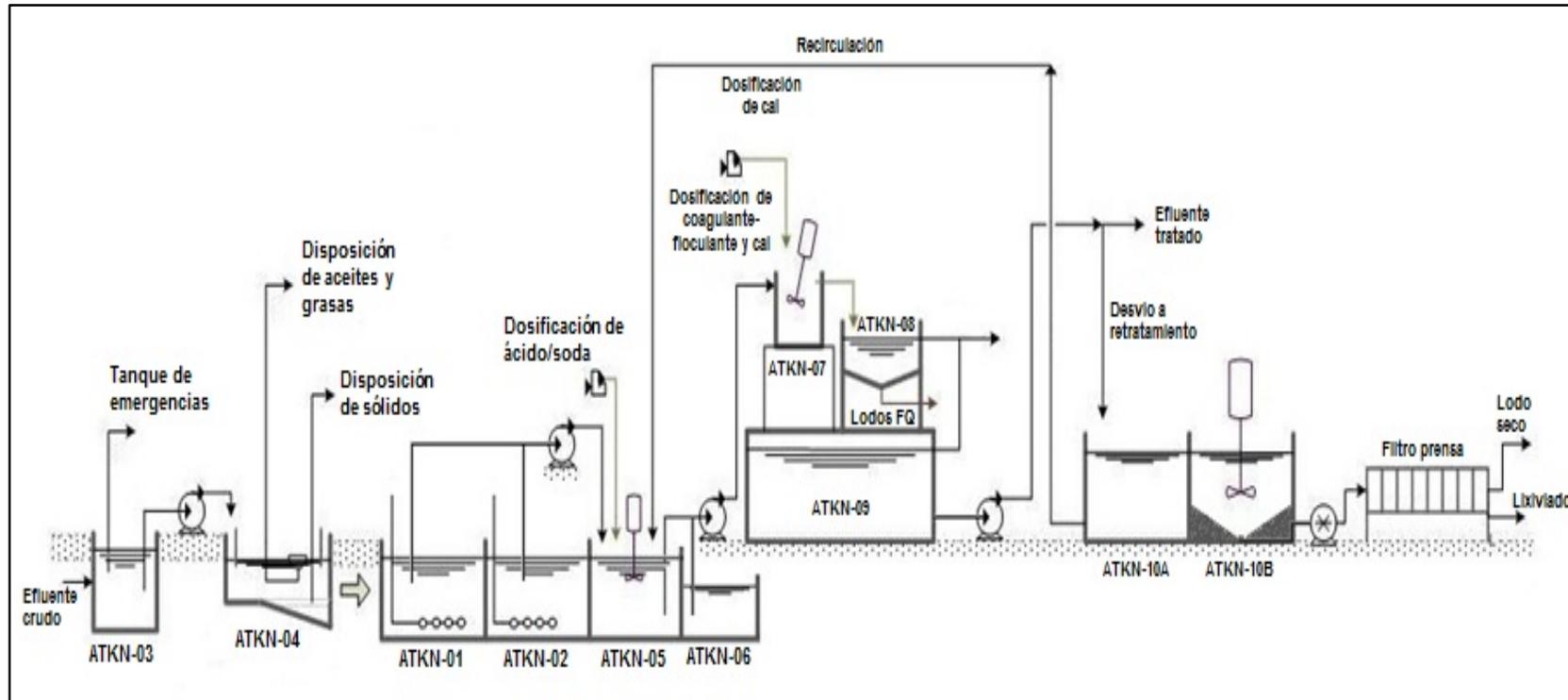


Figura C.10. Diagrama del proceso de la PTAR a implementar.



TABLA C.13. MÉTODOS Y FRECUENCIA DE EVALUACIÓN DE PARÁMETROS OPERATIVOS POR UNIDAD DE TRATAMIENTO Y SUS RANGOS ÓPTIMOS

UNIDAD	PARÁMETRO	MÉTODO DE EVALUACIÓN	FRECUENCIA	RANGOS ÓPTIMOS
TRAMPA DE SÓLIDOS Y ACEITES Y GRASAS	A y G	Inspección visual	Dos veces por turno	< (25,0) mg/L
		Análisis	Trimestral	
	SSe	Análisis (cono de Imhoff)	Turno	(1,0 - 1,5) mg/L
	SF	Inspección visual	Diaria	Ausentes
	pH	Medición directa	Cada 2 h	Ácido (2-5) Adim Alcalino (7-9) Adim
TANQUE DE NEUTRALIZACIÓN	pH	Medición directa	Diaria	(4,5 - 5,5) Adim
COAGULADOR-FLOCULADOR	Coagulante	Prueba de jarras cuando cambia efluente por cambio producción		pH = 4,5-5,5 3,5 mL / 2 L 43,75 L / 25000 L
	Floculante	Prueba de jarras cuando cambia efluente por cambio producción		pH= 4,0 40 mL / 2 L 500,00 L / 25000 L



TABLA C.13. MÉTODOS Y FRECUENCIA DE EVALUACIÓN DE PARÁMETROS OPERATIVOS POR UNIDAD DE TRATAMIENTO Y SUS RANGOS ÓPTIMOS (CONT.)

UNIDAD	PARÁMETRO	MÉTODO DE EVALUACIÓN	FRECUENCIA	RANGOS ÓPTIMOS
TANQUE DE AGUA TRATADA	A y G	Inspección visual	Diaria	≤ (20,0) mg/L
		Análisis	Trimestral	
	SS	Análisis	Trimestral	≤ (80,0) mg/L
	DQO		Cada 15 días	≤ (350,0) mg/L
	N	Análisis	Cada 7 días	≤ (10,0) mg/L
	P			≤ (1,0) mg/L
	pH	Medición directa	Tres mediciones por turno	(6,0 - 9,0) Adim
	Turbidez			≤ (40,0) UNT



TABLA C.14. REPORTE DIARIO

REPORTE DIARIO									
Hora	N° Carga	Caudal Q (L/s)	Trampa de Sólidos y Aceites y Grasas				Tanque de neutralización	Coagulación-Floculación (Prueba de jarras)	
			A y G	SSe	SF	(pH) Adim	(pH) Adim	Coagulante mL/carga	Floculante mL/carga
N° Carga	Tanque de agua tratada								
	A y G	SS	(DQO) ppm	(N) ppm	(P) ppm	(pH) Adim	Turbidez UNT		
Observaciones						Recomendaciones			
Fecha :						Operador :			
						Supervisor :			



TABLA C.15. FORMATO DE REGISTRO DE ACCIONES CORRECTIVAS, PREVENTIVAS Y DE MEJORA

ACCIONES CORRECTIVAS, PREVENTIVAS Y DE MEJORA	
RESPONSABLE DE LA DETECCIÓN	FECHA
TIPO DE DESVIACIÓN	TIPO DE ACCIONES A TOMAR
REAL <input type="checkbox"/> POTENCIAL <input type="checkbox"/>	CORRECTIVA <input type="checkbox"/> PREVENTIVA <input type="checkbox"/> MEJORAMIENTO <input type="checkbox"/>
DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA DESVIACIÓN/OPORTUNIDAD DE MEJORA	
ANÁLISIS DE LAS CAUSAS	
PLAN DE ACCIONES	
ACCIÓN TOMADA	¿FUE EFECTIVA?
	SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>
	SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>
	SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>
	SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>
	SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>
VERIFICACIÓN	
ACCIONES EFECTIVAS / TOTAL DE ACCIONES X 100 = <input type="text"/> %	
¿PROBLEMA RESUELTO? SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>	
ELABORADO POR:	REVISADO POR:

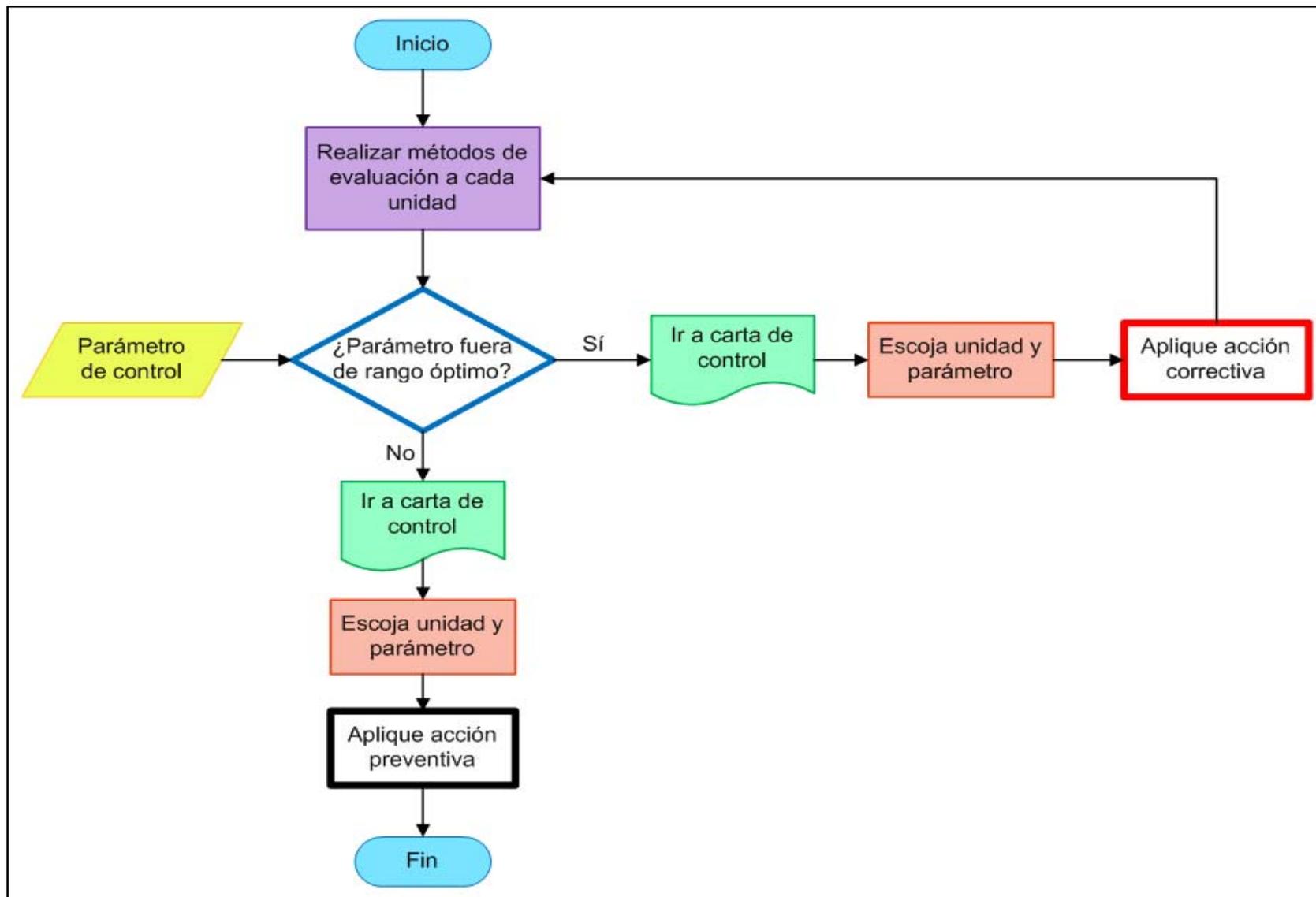


Figura C.11. Diagrama de flujo de plan de reacción de la PTAR.



TABLA C.16. CARTA DE CONTROL

UNIDAD	PARÁMETRO DE CONTROL	RANGO ÓPTIMO	CAUSA RAÍZ	CONSECUENCIA DE LA DESVIACIÓN	MEDIDA PREVENTIVA	MEDIDA CORRECTIVA
Trampa de sólidos y aceites y grasas (ATKN-03)	A y G	< (25,0) mg/L	Exceso de carga de grasa al sistema.	Disminución de eficiencia de tratamiento.	Control de la calidad de entrada.	Extracción continúa del aceite acumulado (oil skimer).
	SSe	(1,0 - 1,5) mg/L	Exceso de sólidos sedimentables en la unidad.	Disminución de eficiencia de tratamiento.	Control de la calidad de entrada	Extracción continúa por mecanismos de arrastre.
	SF	Ausentes	Mantenimiento ineficaz.	Disminución de eficiencia de tratamiento.	Control de la calidad de entrada	Extracción continúa por mecanismos de arrastre.
	pH	Ácido (2-5) Adim. Alcalino (7-9) Adim.	Efluente no deseado.	N/A	N/A	Enviar efluente: ácido a ATKN-01 alcalino a ATKN-02

*Leyenda: aceites y grasas (A y G), sólidos suspendidos (SS), sólidos sedimentables (SSe), sólidos flotantes (SF), DBO, DQO, nitrógeno (N) y fósforo (P)



TABLA C.16. CARTA DE CONTROL (CONT.)

UNIDAD	PARÁMETRO DE CONTROL	RANGO ÓPTIMO	CAUSA RAÍZ	CONSECUENCIA DE LA DESVIACIÓN	MEDIDA PREVENTIVA	MEDIDA CORRECTIVA
Tanque de neutralización (ATKN-05)	pH	(4,5 – 5,5) Adim	Efluente no deseado.	Daña el proceso físico-químico.	Control de calidad del agua de entrada.	Corrección de efluente no deseado, inyección de ácido o soda.
Coagulador-Floculador (ATKN-07) (prueba de jarras)	Coagulante	pH: 4,5- 5,5 3,5 mL / 2 L 42,875 L / 24.500 L	Alta turbidez en el efluente.	Deterioro del tratamiento físico-químico.	Realizar pruebas de jarras en cada batch.	Adecuar la prueba de jarra a la escala real.
	Floculante	pH: 4,0 40 mL/ 2 L 490,0 L / 24.500 L	Alta turbidez en el efluente.	Deterioro del tratamiento físico-químico.	Realizar pruebas de jarras en cada batch.	Adecuar la prueba de jarra a la escala real.

*Leyenda: aceites y grasas (A y G), sólidos suspendidos (SS), sólidos sedimentables (SSe), sólidos flotantes (SF), DBO, DQO, nitrógeno (N) y fósforo (P)



TABLA C.16. CARTA DE CONTROL (CONT.)

UNIDAD	PARÁMETRO DE CONTROL	RANGO ÓPTIMO	CAUSA RAÍZ	CONSECUENCIA DE LA DESVIACIÓN	MEDIDA PREVENTIVA	MEDIDA CORRECTIVA
Tanque de agua tratada (ATKN-09)	A y G	≤ (20,0) mg/L	Supera diseño, fuera de especificación.	Incumplir norma ambiental, posible sanción.	Desviar efluente indeseable (retratamiento).	Corregir entrada efluente indeseable.
	SS	≤ (80,0) mg/L	Fallas en el proceso de sedimentación.	Incumplir norma ambiental, posible sanción.	Desviar efluente indeseable (retratamiento).	Corrección de efluente no deseado, retratamiento.
	DQO	≤ (350,0) mg/L	No realizar un control operativo continuo de la planta.	Incumplir norma ambiental, posible sanción.	Implantar un control operativo estricto. Control del agua de entrada.	Desviar efluente indeseable (retratamiento). Realizar un mantenimiento mayor de la planta y explicar a los operadores la necesidad de implementar un control operativo estricto.
	N	≤ (10,0) mg/L	Efluente no deseado.	Incumplir norma ambiental, posible sanción.	Control de la calidad de entrada.	Corrección de efluente no deseado, retratamiento.

*Leyenda: aceites y grasas (A y G), sólidos suspendidos (SS), sólidos sedimentables (SSe), sólidos flotantes (SF), DBO, DQO, nitrógeno (N) y fósforo (P)



TABLA C.16. CARTA DE CONTROL (CONT.)

UNIDAD	PARÁMETRO DE CONTROL	RANGO ÓPTIMO	CAUSA RAÍZ	CONSECUENCIA DE LA DESVIACIÓN	MEDIDA PREVENTIVA	MEDIDA CORRECTIVA
(Cont.) Tanque de agua tratada (ATKN-09)	P	≤ (1,0) mg/L	Efluente no deseado.	Incumplir norma ambiental, posible sanción.	Control de la calidad de entrada.	Corrección de efluente no deseado, realizar retratamiento y aumentar la adición de cal en la etapa anterior.
	pH	(6,0 - 9,0) Adim	Efluente no deseado.	Incumplir norma ambiental, posible sanción.	Implantar un control operativo estricto.	Corrección de efluente no deseado, retratamiento.
	Turbidez	≤ (40,0) UNT	Baja eficiencia de la etapa coagulación-floculación	Incumplir norma ambiental, posible sanción.	Mejorar el control operativo de cada etapa de tratamiento.	Corrección de efluente no deseado, retratamiento.

*Leyenda: aceites y grasas (A y G), sólidos suspendidos (SS), sólidos sedimentables (SSe), sólidos flotantes (SF), DBO, DQO, nitrógeno (N) y fósforo (P).



TABLA C.17. COSTOS, AHORRO Y RELACIÓN COSTO-BENEFICIO DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LA ALTERNATIVA

COSTO DEL PROYECTO (Bs.)	IMPLEMENTACIÓN DE NUEVAS UNIDADES	27.293,86	RELACIÓN COSTO-BENEFICIO 0,12564
	MODIFICACIÓN DE UNIDADES EXISTENTES	166.254,28	
	MANTENIMIENTO	90.000,00	
	OPERACIÓN	72.995,28	
	TOTAL	356.543,42	
AHORRO PONDERADO (Bs.)	MULTAS	450.000,00	
	DOS (2) DÍAS DE PARADA DE PRODUCCIÓN	1.418.900,00	
	TOTAL	2.837.800,00	



APÉNDICE D. TABLAS Y FIGURAS BIBLIOGRÁFICAS

En esta sección se exponen las tablas y figuras bibliográficas empleadas durante el desarrollo del trabajo especial de grado.

**TABLA D.1. INGENIERÍA CONCEPTUAL DEL TRATAMIENTO A REALIZAR
RESPECTO A LA RELACIÓN DBO/DQO**

Correlación existente entre el DBO/DQO	Orientación al Tratamiento a ser Aplicado
De 0,1 al 0,4	Tratamiento Físico-Químico Tratamiento Químico (Pruebas de Jarras)
De 0,4 al 0.6	Combinar: Tratamientos Físicos-Químicos con Tratamientos Biológicos (Prueba de Tratabilidad)
Mayor a 0,6	Tratamientos Biológicos (Cualquier versión de Lodos Activados)

Fuente: PARRA, I. (2003). *Conservación Ambiental* [Material bibliográfico].



TABLA D.2. OPERACIONES, PROCESOS UNITARIOS Y SISTEMAS DE TRATAMIENTO UTILIZADOS PARA ELIMINAR LA MAYORÍA DE LOS CONTAMINANTES PRESENTES EN EL AGUA RESIDUAL

Contaminante	Operación unitaria, proceso unitario o sistema de tratamiento	Véase Capítulo
Sólidos en suspensión	Desbaste y dilaceración	6, 9
	Desarenado	6, 9
	Sedimentación	6, 9
	Filtración	6, 9
	Flotación	6, 9
	Adición de polímeros	7, 9
	Coagulación/sedimentación	7, 9
	Sistemas naturales (tratamiento por evacuación al terreno)	13
Materia orgánica biodegradable	Variantes de fangos activados	8, 10
	Película fija: filtros percoladores	8, 10
	Película fija: biodiscos (RBC)	8, 10
	Variantes del lagunaje	8, 10, 14
	Filtración intermitente en arena	6, 14
	Sistemas físico-químicos	7, 9
Compuestos orgánicos volátiles	Sistemas naturales	13
	Arrastre por aire	6
	Tratamiento de gases	9
Patógenos	Adsorción en carbón	7, 11
	Cloración	7, 9
	Hipocloración	7
Nutrientes: Nitrógeno	Cloruro de bromo	7
	Ozonación	7
	Radiación UV	7
	Sistemas naturales	13
	Variantes de sistemas de cultivo en suspensión con nitrificación y desnitrificación	11
Fósforo	Variantes de sistemas de película fija con nitrificación y desnitrificación	11
	Arrastre de amoníaco	11
	Intercambio iónico	11
	Cloración al breakpoint	7, 11
	Sistemas naturales	13
Nitrógeno y fósforo	Adición de sales metálicas	7, 11
	Coagulación y sedimentación con cal	7, 11
Materia orgánica refractaria	Eliminación biológica del fósforo	8, 11
	Eliminación biológica-química del fósforo	7, 11
	Sistemas naturales	13
Metales pesados	Eliminación biológica de nutrientes	8, 11
	Adsorción en carbón	6, 9
	Ozonación terciaria	11
Sólidos orgánicos disueltos	Sistemas naturales	13
	Precipitación química	7, 9
	Intercambio iónico	11
	Sistemas de tratamiento por evacuación al terreno	13
	Intercambio iónico	11
	Osmosis inversa	11
	Electrodialisis	11

Fuente: METCALF & EDDY, INC. (1996). *Ingeniería de Aguas Residuales. Tratamiento, Vertido y Reutilización.*



TABLA D.3. ELIMINACIÓN DE CONSTITUYENTES POR MEDIO DE OPERACIONES Y PROCESOS DE TRATAMIENTOS AVANZADOS

Principal función de eliminación	Descripción de la operación o del proceso	Tipo de agua residual tratada ^a	Véase Sección
Eliminación de sólidos suspendidos	Filtración	ETP, ETS	11.3
	Microtamices	ETS	11.4
Oxidación de amoníaco	Nitrificación biológica	ETP, ETB, ETS	11.6
Eliminación de nitrógeno	Nitrificación/desnitrificación biológica	ETP, ETS	11.7
	Desnitrificación biológica en etapas separadas	ETS + nitrificación	11.7
Eliminación biológica de fósforo	Eliminación de fósforo en la línea principal ^b	ARC, ETP	11.8
	Eliminación de fósforo en la línea auxiliar	FAR	11.8
Eliminación biológica conjunta de nitrógeno y fósforo	Nitrificación/desnitrificación biológica y eliminación de fósforo	ARC, ETP	11.9
Eliminación física o química de nitrógeno	Arrastre por aire	ETS	11.10
	Cloración al breakpoint	ETS + filtración	11.10
	Intercambio iónico	ETS + filtración	11.10
Eliminación de fósforo por adición de reactivos químicos	Precipitación química con sales metálicas	ARC, ETP, ETB, ETS	11.11
	Precipitación química con cal	ARC, ETP, ETS	11.11
Eliminación de compuestos tóxicos y materia orgánica refractaria	Adsorción sobre carbono	ETS + filtración	11.12
	Fangos activados-carbono activado en polvo	ETP	11.12
	Oxidación química	ETS + filtración	11.12
Eliminación de sólidos inorgánicos disueltos	Precipitación química	ARC, ETP, ETB, ETS	11.11
	Intercambio iónico	ETS + filtración	11.13
	Ultrafiltración	ETS + filtración	11.13
	Osmosis inversa	ETS + filtración	11.13
	Electrodialisis	ETS + filtración + adsorción sobre carbono	11.13
Compuestos orgánicos volátiles	Volatilización y arrastre con gas	ARC, ETP	6.10, 9.13

^a ETP = efluente de tratamiento primario.
 ETB = efluente de tratamiento biológico (sin decantación).
 ETS = efluente de tratamiento secundario (con decantación).
 ARC = agua residual cruda (no tratada).
 FAR = fango activado recirculado.

^b El proceso de eliminación se lleva a cabo en la línea de tratamiento principal en lugar de en la línea auxiliar.

Fuente: METCALF & EDDY, INC. (1996). *Ingeniería de Aguas Residuales. Tratamiento, Vertido y Reutilización.*



TABLA D.4. PROCESOS Y OPERACIONES UNITARIOS EMPLEADOS EN LA RECUPERACIÓN DEL AGUA RESIDUAL Y POTENCIAL DE ELIMINACIÓN DE CONTAMINANTES

Constituyentes	Proceso u operación unitaria																	
	Tratamiento primario	Fangos activados	Nitrificación	Desnitrificación	Filtro percolador	RBCs	Coagulación-Floculación-Sedimentación	Filtración tras el proceso de fangos activados	Absorción sobre cartón activado	Stripping de amoníaco	Intercambio iónico selectivo	Cloración al breakpoint	Osmosis inversa	Riego superficial	Riego	Infiltración-percolación	Cloración	Ozono
DBO	x	+	+	○	+	+	+	x	+	○	x	+	+	+	+			+
DQO	x	+	+	○	+	+	+	x	+		x	+	+	+	+			+
SST	+	+	+	○	+	+	+	+	+		+	+	+	+	+			+
NH ₃ - N	○	+	+	x		+	○	x	+	+	+	+	+	+	+			
NO ₃ - N				+				x	○									
Fósforo	○	x	+	+			+	+	+			+	+	+	+			
Acalinidad		x					x	+										
Grasas y aceites	+	+	+				x	x								x		
Coliformes totales		+	+		○		+	+	+		+		+	+	+	+	+	
SDT												+					+	+
Arsénico	x	x	x				x	+	○									
Bario		x	○				x	○	○									
Cadmio	x	+	+		○	x	+	x	○							○		
Cromo	x	+	+		○	+	+	○	x									
Cobre	x	+	+		+	+	+	○	x							x		
Flúor									○									
Hierro	x	+	+		x	+	x	+	+							x		
Plomo	+	+	+		x	+	+	○	x							x		
Manganeso	○	x	x		○	x	x	+	x			+						
Mercurio	○	○	○		○	+	○	x	○									
Selenio	○							+	○									
Plata	+	+	+		x	+	+		x									
Cinc	x	x	+		+	+	+	+	+									
Color	○	x	x		○	+	+	x	+									
Agentes espumantes	x	+	+		+		x	+	+				+	+	+	+		+
Turbiedad	x	+	+	○	x		+	+	+				+	+	+	+		○
COT	x	+	+	○	x		+	x	+	○			+	+	+	+		+

^a Adaptado de la bibliografía [11].

Nota: ○ = eliminación del 25 por 100 de la concentración del afluente.

x = 25-50 por 100.

+ = 50 por 100.

Los espacios en blanco indican que no se dispone de datos, que los resultados no permiten extraer conclusiones, o que se produce un aumento de la concentración.

Fuente: METCALF & EDDY, INC. (1996). *Ingeniería de Aguas Residuales. Tratamiento, Vertido y Reutilización*. Alternativa 1: Coagulación-Floculación Alternativa 2: Ultrafiltración-Osmosis inversa Alternativa 3: Flotación por aire disuelto



TABLA D.5. ÍNDICE DE FLOCULACIÓN DE WILLCOMB

Número del Índice	Descripción
0	Floc coloidal. Ningún signo de aglutinación.
2	Visible. Floc muy pequeño, casi imperceptible para un observador no entrenado.
4	Disperso. Floc bien formado pero uniformemente distribuido. (sedimenta muy lentamente o no sedimenta).
6	Claro. Floc de tamaño relativamente grande pero que precipita con lentitud.
8	Bueno. Floc que se deposita fácil pero completamente.
10	Excelente. Floc que se deposita todo dejando el agua cristalina.

Fuente: ARBOLEDA, J. (2000). Teoría y práctica de la purificación del agua.



TABLA D.6. FACTORES IMPORTANTES QUE SE DEBEN TENER EN CUENTA EN LA SELECCIÓN Y EVALUACIÓN DE LAS OPERACIONES Y PROCESOS UNITARIOS

Factor	Comentario
Potencial de aplicación del proceso	El potencial de aplicación de un proceso se evalúa en base a la experiencia anterior, datos de plantas a escala industrial, y datos obtenidos en estudio en planta piloto. Si se presentan condiciones nuevas o no usuales, los estudios en planta piloto son fundamentales.
Intervalo de caudal aplicable	El proceso se debe corresponder con el intervalo de caudales esperado. Por ejemplo, los estanques de estabilización no son adecuados para caudales muy elevados.
Variación de caudal aplicable	La mayoría de las operaciones y procesos unitarios trabajan mejor a caudal constante, a pesar de que pueden tolerar algunas variaciones. Si la variación de caudal es demasiado grande, puede ser necesaria su regulación.
Características del agua a tratar	Las características del agua a tratar afectan a los tipos de procesos a utilizar (p.e. químicos o biológicos) y las exigencias para su adecuada explotación.
Constituyentes inhibidores y no afectados	¿Qué constituyentes potencialmente inhibidores están presentes? ¿Bajo qué condiciones se manifiestan? ¿Qué constituyentes no se ven afectados por el tratamiento?
Limitaciones climáticas	La temperatura afecta a la velocidad de reacción en la mayoría de los procesos químicos y biológicos, y también puede afectar al funcionamiento de las operaciones físicas. Las temperaturas cálidas pueden acelerar la aparición de olores y limitar la dispersión en la atmósfera.
Cinética de reacción y selección del reactor	El dimensionamiento de los reactores se basa en la cinética de reacción que gobierna el proceso. Los datos de las expresiones cinéticas suelen deducirse a partir de la experiencia, de la literatura y de los resultados de estudios en planta piloto. La influencia de la cinética de reacción sobre la elección del tipo de reactor se analiza en el Apéndice G.
Eficacia	La eficacia se suele medir en función de la calidad del efluente, que debe estar de acuerdo con las exigencias formuladas respecto al vertido de efluentes.
Residuos del tratamiento	Es necesario conocer o estimar los tipos y cantidades de residuos sólidos, líquidos y gaseosos producidos. A menudo se llevan a cabo estudios en planta piloto para la adecuada identificación de los residuos generados.
Tratamiento del fango	¿Existe alguna limitación que convierta el tratamiento de fangos en un proceso excesivamente caro o inviable? ¿Cómo afecta al rendimiento de las unidades de proceso del líquido las cargas del caudal de recirculación del tratamiento de fangos? La elección del sistema de tratamiento de los fangos debe estar estrechamente relacionada con la elección del sistema de tratamiento de la fracción líquida.

Fuente: METCALF & EDDY, INC. (1996). *Ingeniería de Aguas Residuales. Tratamiento, Vertido y Reutilización.*



TABLA D.6. FACTORES IMPORTANTES QUE SE DEBEN TENER EN CUENTA EN LA SELECCIÓN Y EVALUACIÓN DE LAS OPERACIONES Y PROCESOS UNITARIOS (CONT.)

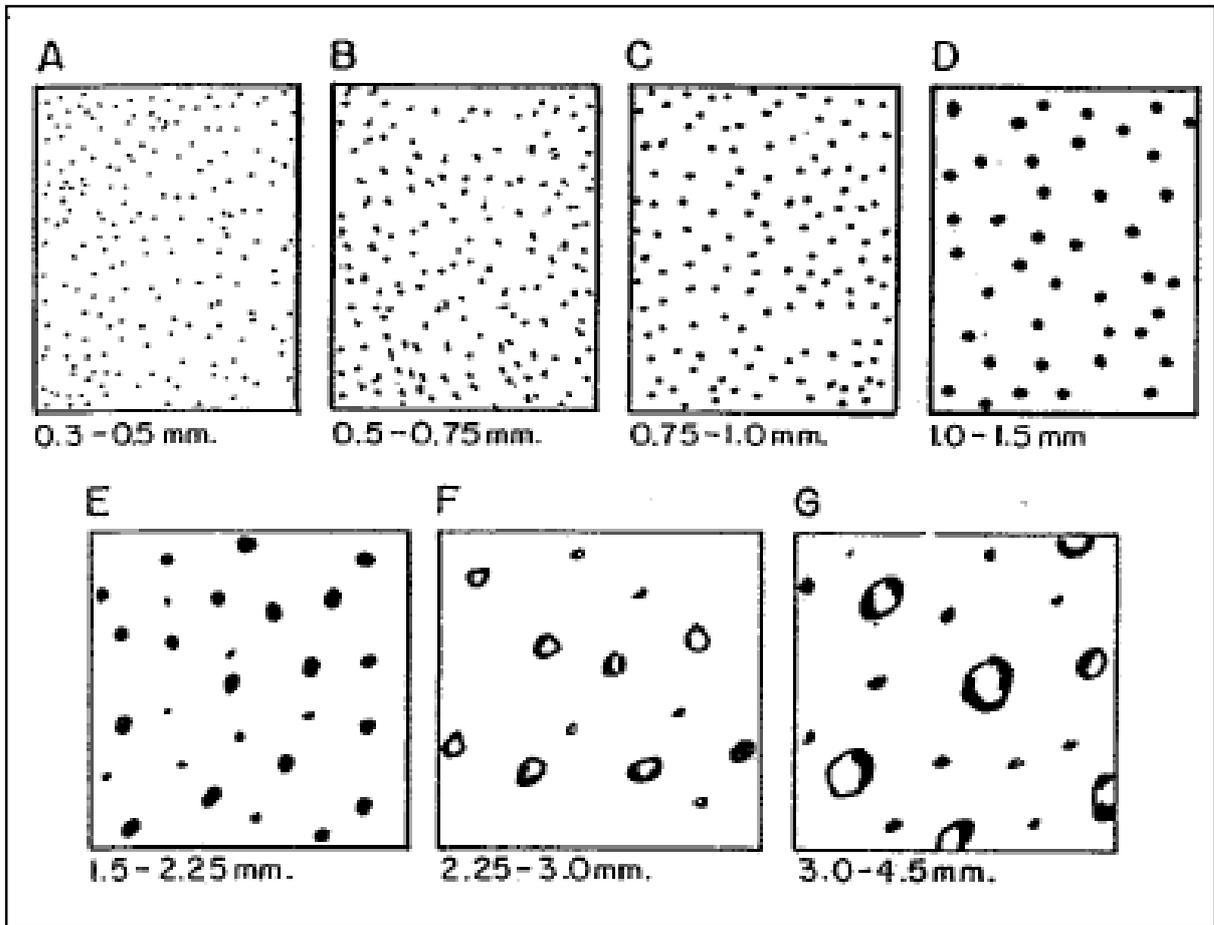
Factor	Comentario
Limitaciones ambientales	Factores ambientales tales como la presencia de vientos, direcciones preferentes del viento, o la proximidad a núcleos de población, pueden implicar restricciones sobre la aplicabilidad de determinados procesos de tratamiento, especialmente en el caso de procesos que puedan generar olores. Tanto el tráfico como los ruidos pueden afectar a la ubicación de las instalaciones. Las aguas receptoras cuentan con limitaciones específicas que pueden precisar la eliminación de constituyentes específicos como los nutrientes.
Necesidades químicas	¿Qué recursos y en qué cantidades van a ser necesarios a largo plazo para el desarrollo satisfactorio de las operaciones o procesos unitarios? ¿Qué influencia tiene la adición de productos químicos sobre las características de los residuos del tratamiento y sobre el coste del mismo?
Necesidades energéticas	Para proyectar sistemas de tratamiento con una relación coste-efectividad satisfactoria es necesario conocer las necesidades energéticas, así como el coste futuro de la energía.
Necesidades de otros recursos	¿Qué recursos adicionales, si los hubiere, son necesarios para el desarrollo satisfactorio del sistema de tratamiento propuesto, que incluye la operación o proceso unitario en cuestión?
Necesidades de personal	¿Con cuántos empleados, y con qué nivel de preparación, es preciso contar para la explotación del proceso u operación unitaria? ¿Es posible alcanzar rápidamente dichos niveles de preparación? ¿Qué cursos de preparación serán necesarios?
Necesidades de explotación mantenimiento	¿Qué necesidades de explotación y mantenimiento adicionales es necesario cubrir? ¿Qué repuestos serán necesarios? ¿Cuál es su coste y disponibilidad?
Procesos auxiliares	¿Qué procesos auxiliares son necesarios? ¿Cómo afectan a la calidad del efluente, especialmente cuando devienen inoperantes?
Fiabilidad	¿Cuál es la fiabilidad a largo plazo de la operación o proceso unitario en cuestión? ¿Puede desestabilizarse el proceso fácilmente? ¿Puede hacer frente a cargas de choque periódicas? Si es así, ¿Cómo afectan estas circunstancias a la calidad del efluente?
Complejidad	¿Qué grado de complejidad presenta la explotación del proceso, tanto en condiciones rutinarias como de emergencia? ¿Qué nivel de preparación de los operarios es necesario?
Compatibilidad	¿Pueden emplearse de manera satisfactoria las operaciones y procesos unitarios en conjunción con las instalaciones existentes? ¿Se puede ampliar la planta de manera sencilla?
Disponibilidad de espacio	¿Existe espacio suficiente, no sólo para la implantación de las instalaciones que se están estudiando, sino también para instalaciones futuras? ¿Qué superficie de terreno hay disponible para minimizar el impacto visual de la construcción de las instalaciones?

Fuente: METCALF & EDDY, INC. (1996). *Ingeniería de Aguas Residuales. Tratamiento, Vertido y Reutilización.*



Fuente: NFPA (2007). Sistema Estándar para la Identificación de los Riesgos de Materiales para Respuesta a Emergencias.

Figura D.1. Diamante del fuego según Norma NFPA 704.



Fuente: ARBOLEDA, J. (2000). *Teoría y práctica de la purificación del agua*.

Figura D.2. Comparador para estimar el tamaño del floc producido en la coagulación (según Water Research Institute de Inglaterra, WRA)



APÉNDICE E. COTIZACIONES DE IMPLEMENTACIÓN Y REDISEÑO DE UNIDADES

En esta sección se expresan las cotizaciones realizadas para la determinación de los indicadores económicos de esta investigación.

TABLA E.1. PRESUPUESTO DE IMPLEMENTACIÓN DE TRAMPA DE SÓLIDOS Y GRASAS Y ACEITES

P R E S U P U E S T O						
Elaborado con las Guías Referenciales de Costos del Colegio de Ingenieros - Edición: MARZO 2012						
OBRA: Diseño Trampa HENKEL Venezolana S.A						
CONTRATO:						
Nº	COVENIN	DESCRIPCION	UNIDAD	CANT.	P. UNITARIO Bs.	TOTAL Bs.
1	R.122.300.000	LIMPIEZA INICIAL DE LA OBRA PARA COMENZAR LOS TRABAJOS.	m2	25,40	16,65	422,91
2	E.132.122.000	DEMOLICION DE MIEMBROS VERTICALES DE CONCRETO ARMADO CON EQUIPO LIVIANO (COMPRESOR)	m3	0,46	1.168,56	537,54
3	E.136.010.000	CARGA A MANO DE MATERIAL PROVENIENTE DE LAS DEMOLICIONES O PREPARACION DEL SITIO	m3	0,46	99,97	45,99
4	U.801.308020M	CONCRETO RCC/28 200 KG/CM2, ACABADO CORRIENTE, PARA LA CONSTRUCCION DE TANQUILLAS DE CLOACAS, DRENAJE.	m3	6,80	2.564,55	17.438,94
5	C.206.721.001	SUMINISTRO, TRANSPORTE, PREPARACION Y COLOCACION DE ACERO DE REFUERZO DE RAT=2100 kg/cm2 UTILIZANDO CABILLAS DE DIAMETRO IGUAL O INFERIOR A 1/2", PARA LA CONSTRUCCION DE BROCALES, CUNETAS, ACERAS Y BASES	kgf	213,64	12,09	2.582,91
6	A.790.000.103	ENCOFRADO DE MADERA, TIPO RECTO, ACABADO CORRIENTE, EN BROCALES, CUNETAS, ACERAS, PAVIMENTOS, REVESTIMIENTO DE CANALES TRAPEZOIDALES	m2	7,64	289,54	2.212,09
7	M.800.111.000	LIMPIEZA FINAL DE LA OBRA.	m2	36,90	30,60	1.129,14
Sub-Total Presupuesto Bs.:						24.369,52
I.V.A. (12,00):						2.924,34
TOTAL PRESUPUESTO Bs.:						27.293,86

Partidas aprobadas por el Colegio de Ingenieros de Venezuela
Pertenecen a esta edición de las Guías Referenciales de Costos.

Fuente: Colegio de Ingenieros de Venezuela. Departamento de Análisis y Costos.



TABLA E.2. PRESUPUESTO DE REDISEÑO DE UNIDADES ACTUALES

P R E S U P U E S T O						
Elaborado con las Guías Referenciales de Costos del Colegio de Ingenieros - Edición: MARZO 2012						
OBRA: Rediseño unidades PTAR Henkel Venezolana						
CONTRATO:						
Nº	COVENIN	DESCRIPCION	UNIDAD	CANT.	P. UNITARIO Bs.	TOTAL Bs.
1	E-714.507.030	SUMINISTRO, TRANSPORTE E INSTALACION DE RELOJ HORARIO DE 24 HORAS, PARA AUTOMATIZACION DE BOMBAS DE RECIRCULACION, CLORADO Y SODA	pza	3,00	1.976,87	5.930,61
2	E-717.161.213	SUMINISTRO, TRANSPORTE E INSTALACION DE SISTEMA HIDRONEUMATICO (2 BOMBAS 3HP, TABLERO DE CONTROL, PRESOSTATO Y MANOMETRO) CAPACIDAD 1.100 LTS . 1,83 lts/seg	equip	1,00	27.802,84	27.802,84
3	E-704.221.129	SUMINISTRO, TRANSPORTE E INSTALACION DE BOMBA CENTRIFUGA PARA AGUA 5HP 1 FASE. INCLUYE TABLERO DE CONTROL Y SISTEMA DE CONEXION	equip	1,00	17.160,53	17.160,53
4	E-714.508.042	SUMINISTRO, TRANSPORTE E INSTALACION DE FLOTANTE MEANICO DIAMETRO 3/4" PARA CONTROL AUTOMATICO DE ENCENDIDO DE BOMBA SEGUN NIVEL FLUIDO	pza	4,00	890,51	3.562,04
5	E-704.221.134	SUMINISTRO, TRANSPORTE E INSTALACION DE BOMBA CENTRIFUGA PARA AGUA 1HP 1 FASE.	equip	2,00	7.569,73	15.139,46
6	E.612.042.152	TUBERIA DE AGUAS RESIDUALES, DE HIERRO FUNDIDO, DIAMETRO 6" (152mm) . FIJADA A LA SUPERFICIE. INCLUYE CONEXIONES.	m	50,00	1.222,01	61.100,50
7	M.800.112.000	LIMPIEZA DE TANQUE DE AGUA DE 100.000 LTS.	Und	3,00	1.511,23	4.533,69
8	E-721.231.110	LIMPIEZA DE SUPERFICIES CON EQUIPO DE CHORRO DE ARENA (SANDBLASTING) CAP 870 lts/min AIRE 6 atm.	m2	120,00	40,85	4.902,00
9	E-706.122.525	SUMINISTRO, TRANSPORTE E INSTALACION COMPRESOR DE AIRE VERTICAL 25lts MOTOR 2HP. 1 FASE, 80-125lbs. SALIDA PARA 2 PUNTOS.	equip	1,00	7.736,95	7.736,95
10	R.600.000.001	DESTAPADO DE RAMALES DE AGUAS NEGRAS CON EQUIPOS Y GUAYAS ELECTRICAS	pto	3,00	190,90	572,70
					Sub-Total Presupuesto Bs.:	148.441,32
					I.V.A. (12,00):	17.812,96
					TOTAL PRESUPUESTO Bs.:	166.254,28

Partidas aprobadas por el Colegio de Ingenieros de Venezuela
Pertenece a esta edición de las Guías Referenciales de Costos.

Fuente: Colegio de Ingenieros de Venezuela. Departamento de Análisis y Costos.



APÉNDICE F. ANÁLISIS DE COTIZACIONES

En esta sección se expresan los análisis de los precios unitarios de las cotizaciones realizadas para la determinación de los indicadores económicos de esta investigación.

TABLA F.1. ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE TRAMPA DE SÓLIDOS Y GRASAS Y ACEITES

 Colegio de Ingenieros de Venezuela Departamento de Análisis y Costos									
ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS									
EDICION: MARZO 2012									
DATOS DE LA PARTIDA:									
Partida #	COVENIN	Unidad	Cantidad del Análisis	Rendimiento	Precio Unitario	F.C.A.S.	Cantidad de Partida	Cálculos por Rendimiento	
1	R.122.300.000	m2	1,00 m2	300,000	16,65	467,20%	25,40		
Descripción de la Partida: LIMPIEZA INICIAL DE LA OBRA PARA COMENZAR LOS TRABAJOS.									
MATERIALES									
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO (Bs.)		TOTAL (Bs.)				
KEROSENE	l	0,5000	13,00		6,50				
AGUA-TARIFA INDUSTRIAL TIPO "B"	m3	0,0100	2,80		0,03				
BOLSA PARA ESCOMBROS	pieza	1,0000	1,93		1,93				
			% Costo Directo:	64,29	Total Materiales Bs.:		8,46		
			% Precio Unitario:	45,36	Unitario de Materiales Bs.:		8,46		
EQUIPOS									
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	COP	COSTO (Bs.)		TOTAL (Bs.)				
CARRETILLA DE RUEDAS NEUMÁTICAS DE CAPACIDAD= 55 l	2,00	0,00790	619,01		9,78				
MANGUERA PLASTICA DE D= 1/2" Y L=100 m (TIPO GULEBRA)	1,00	0,00800	474,00		3,79				
PALA RECTANGULAR (M/METAL NEGRO) BELLOTA	2,00	0,01000	125,00		2,50				
CEPILLO CARRETERO Nro.14 P/BARRER MEDIANO	1,00	0,00248	40,00		0,10				
			% Costo Directo:	0,38	Total Equipos Bs.:		16,17		
			% Precio Unitario:	0,27	Unitario de Equipos Bs.:		0,05		
MANO DE OBRA									
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL (Bs.)		TOTAL (Bs.)					
OBrero DE 1ra.	3,00	77,56		232,68					
MAESTRO DE OBRA DE 1ra.	0,10	132,84		13,28					
			% Costo Directo:	35,33	Sub-Total Mano de Obra Bs.:		245,96		
			% Precio Unitario:	24,93	Factor de Costos asociados al Salario (467,20%) Bs.:		1.149,13		
					Total Mano de Obra + Factor de Costos Bs.:		1.395,09		
					Bono Alimenticio (Incluido en F.C.A.S. -Bs. 40,50) x 3,10 Bs.:		0,00		
					Total Bono Alimenticio + Mano de Obra + Factor de Costos Bs.:		1.395,09		
					Unitario de Mano de Obra Bs.:		4,65		
					Costo directo por unidad Bs.:		13,16		
					Administración (10,00%) Bs.:		1,32		
					Sub-total Administración + Costo directo por unidad Bs.:		14,48		
					Utilidad (15,00%) Bs.:		2,17		
					Sub-total Utilidad + Administración + Costo directo por unidad Bs.:		16,65		
					Precio Unitario sin I.V.A. Bs.:		16,65		
PRECIO UNITARIO: Bs. 16,65									
CANTIDAD x P.U. (Bs.) = TOTAL PARTIDA (Bs.) 25,40 x 16,65 = 422,91									



Fuente: Colegio de Ingenieros de Venezuela. Departamento de Análisis y Costos.

TABLA F.1. ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE TRAMPA DE SÓLIDOS Y GRASAS Y ACEITES (CONT.)

 Colegio de Ingenieros de Venezuela Departamento de Análisis y Costos																			
ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS																			
EDICION: MARZO 2012																			
DATOS DE LA PARTIDA:																			
Partida #	COVENIN	Unidad	Cantidad del Análisis	Rendimiento	Precio Unitario	F.C.A.S.	Cantidad de Partida	Cálculos por Rendimiento											
2	E.132.122.000	m3	1,00 m3	5,000	1.168,56	391,85%	0,46												
Descripción de la Partida:																			
DEMOLICION DE MIEMBROS VERTICALES DE CONCRETO ARMADO CON EQUIPO LIVIANO (COMPRESOR)																			
MATERIALES																			
DESCRIPCION		UNIDAD	CANTIDAD	COSTO (Bs.)	TOTAL (Bs.)														
DISCO ABRASIVO PARA ESMERIL 7"		pieza	0,0400	29,07	1,16														
OXIGENO INDUSTRIAL (CILINDRO DE Cap= 6 kgf)		und	0,0400	110,00	4,40														
ACETILENO INDUSTRIAL (CILINDRO DE Cap= 6 kgf)		und	0,0200	717,20	14,34														
			% Costo Directo:	2,15	Total Materiales Bs.:			19,90											
			% Precio Unitario:	1,52	Unitario de Materiales Bs.:			19,90											
EQUIPOS																			
DESCRIPCION		CANTIDAD	COP	COSTO (Bs.)	TOTAL (Bs.)														
ANDAMIO TUBULAR 2,00 x 1,20 x 1,80 m		2,00	0,00350	880,00	6,16														
CARRETILLA DE RUEDAS NEUMATICAS DE CAPACIDAD= 55 l		2,00	0,00790	619,01	9,78														
CIZALLA TIPO TIJERA (MANUAL) 24" GREELEE MOD.783		2,00	0,01000	903,83	18,08														
ESMERIL PORTATIL 7" BOSCH 8500rpm 2300W MOD.1753		1,00	0,00350	1.491,59	5,22														
COMPRESOR CON 2 MARTILLOS 135 p3		1,00	1,00000	945,00	945,00														
MANDARRIA DE MANGO LARGO DE 6 Kgf MARCA BELLOTA		2,00	0,01000	232,50	4,65														
PALA REDONDA		2,00	0,01000	118,00	2,36														
SEÑORITA DE RATCHET DE 1 1/2 TON ELEPHANT		2,00	0,01000	12.077,21	241,54														
EQUIPO DE OXICORTE HARRIS MASTER II C/ACCESORIOS		1,00	0,00350	4.800,00	16,80														
			% Costo Directo:	27,05	Total Equipos Bs.:			1.249,59											
			% Precio Unitario:	19,10	Unitario de Equipos Bs.:			249,92											
MANO DE OBRA																			
DESCRIPCION		CANTIDAD	JORNAL (Bs.)	TOTAL (Bs.)															
OBRERO DE 1ra.		4,00	77,56	310,24															
CAPORAL		1,00	93,11	93,11															
OPERADOR DE MARTILLO PERFORADOR		2,00	84,16	168,32															
SOLDADOR DE 2da.		1,00	93,11	93,11															
			% Costo Directo:	70,79	Sub-Total Mano de Obra Bs.:			664,78											
			% Precio Unitario:	49,97	Factor de Costos asociados al Salario (391,85%) Bs.:			2.604,94											
						Total Mano de Obra + Factor de Costos Bs.:			3.269,72										
						Bono Alimenticio (Incluido en F.C.A.S. - Bs. 40,50) x 8,00 Bs.:			0,00										
						Total Bono Alimenticio + Mano de Obra + Factor de Costos Bs.:			3.269,72										
						Unitario de Mano de Obra Bs.:			653,94										
						Costo directo por unidad Bs.:			923,76										
						Administración (10,00%) Bs.:			92,38										
						Sub-total Administración + Costo directo por unidad Bs.:			1.016,14										
						Utilidad (15,00%) Bs.:			152,42										
						Sub-total Utilidad + Administración + Costo directo por unidad Bs.:			1.168,56										
						Precio Unitario sin I.V.A. Bs.:			1.168,56										
PRECIO UNITARIO: Bs. 1.168,56																			
<table border="1" style="margin-left: auto;"> <tr> <td>CANTIDAD</td> <td>x</td> <td>P.U. (Bs.)</td> <td>=</td> <td>TOTAL PARTIDA (Bs.)</td> </tr> <tr> <td>0,46</td> <td></td> <td>1.168,56</td> <td></td> <td>537,54</td> </tr> </table>										CANTIDAD	x	P.U. (Bs.)	=	TOTAL PARTIDA (Bs.)	0,46		1.168,56		537,54
CANTIDAD	x	P.U. (Bs.)	=	TOTAL PARTIDA (Bs.)															
0,46		1.168,56		537,54															

Fuente: Colegio de Ingenieros de Venezuela. Departamento de Análisis y Costos.



TABLA F.1. ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE TRAMPA DE SÓLIDOS Y GRASAS Y ACEITES (CONT.)

 Colegio de Ingenieros de Venezuela Departamento de Análisis y Costos																		
ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS																		
EDICION: MARZO 2012																		
DATOS DE LA PARTIDA:																		
Partida #	COVENIN	Unidad	Cantidad del Análisis	Rendimiento	Precio Unitario	F.C.A.S.	Cantidad de Partida	Cálculos por Rendimiento										
3	E.136.010.000	m3	1,00 m3	50,000	99,97	391,85%	0,46											
Descripción de la Partida:																		
CARGA A MANO DE MATERIAL PROVENIENTE DE LAS DEMOLICIONES O PREPARACION DEL SITIO																		
MATERIALES																		
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO (Bs.)	TOTAL (Bs.)														
- ESTA PARTIDA NO TIENE MATERIALES -			0,0000	0,00	0,00													
% Costo Directo:			0,00	Total Materiales Bs.:		0,00												
% Precio Unitario:			0,00	Unitario de Materiales Bs.:		0,00												
EQUIPOS																		
DESCRIPCION	CANTIDAD	COP	COSTO (Bs.)	TOTAL (Bs.)														
PALA REDONDA	10,00	0,01000	118,00	11,80														
BARRA METALICA DE LARGO= 1,47 m PARA HACER HOYOS PICO PUNTA Y PALA BELLOTA	2,00	0,01000	317,88	6,36														
	3,00	0,01000	120,00	3,60														
% Costo Directo:		0,56	Total Equipos Bs.:		21,76													
% Precio Unitario:		0,39	Unitario de Equipos Bs.:		0,44													
MANO DE OBRA																		
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL (Bs.)		TOTAL (Bs.)														
OBrero DE 1ra.	10,00	77,56		775,60														
CAPORAL	0,25	93,11		23,28														
% Costo Directo:		99,44	Sub-Total Mano de Obra Bs.:		798,88													
% Precio Unitario:		70,19	Factor de Costos asociados al Salario (391,85%) Bs.:		3.130,41													
			Total Mano de Obra + Factor de Costos Bs.:		3.929,29													
			Bono Alimenticio (Incluido en F.C.A.S. - Bs. 40,50) x 10,25 Bs.:		0,00													
			Total Bono Alimenticio + Mano de Obra + Factor de Costos Bs.:		3.929,29													
			Unitario de Mano de Obra Bs.:		78,59													
			Costo directo por unidad Bs.:		79,03													
			Administración (10,00%) Bs.:		7,90													
			Sub-total Administración + Costo directo por unidad Bs.:		86,93													
			Utilidad (15,00%) Bs.:		13,04													
			Sub-total Utilidad + Administración + Costo directo por unidad Bs.:		99,97													
			Precio Unitario sin I.V.A. Bs.:		99,97													
PRECIO UNITARIO: Bs. 99,97																		
<table border="1" style="margin-left: auto;"> <tr> <td>CANTIDAD</td> <td>x</td> <td>P.U. (Bs.)</td> <td>=</td> <td>TOTAL PARTIDA (Bs.)</td> </tr> <tr> <td>0,46</td> <td></td> <td>99,97</td> <td></td> <td>45,99</td> </tr> </table>									CANTIDAD	x	P.U. (Bs.)	=	TOTAL PARTIDA (Bs.)	0,46		99,97		45,99
CANTIDAD	x	P.U. (Bs.)	=	TOTAL PARTIDA (Bs.)														
0,46		99,97		45,99														

Fuente: Colegio de Ingenieros de Venezuela. Departamento de Análisis y Costos.



TABLA F.1. ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE TRAMPA DE SÓLIDOS Y GRASAS Y ACEITES (CONT.)

 Colegio de Ingenieros de Venezuela Departamento de Análisis y Costos																			
ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS																			
EDICION: MARZO 2012																			
DATOS DE LA PARTIDA:																			
Partida #	COVENIN	Unidad	Cantidad del Análisis	Rendimiento	Precio Unitario	F.C.A.S.	Cantidad de Partida	Cálculos por Rendimiento											
4	U.801.308020M	m3	1,00 m3	4,000	2.564,55	416,65%	6,80												
Descripción de la Partida:																			
CONCRETO RCC/28 200 KG/CM2, ACABADO CORRIENTE, PARA LA CONSTRUCCION DE TANQUILLAS DE CLOACAS, DRENAJE.																			
MATERIALES																			
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO (Bs.)		TOTAL (Bs.)														
ARENA LAVADA (INCLUYE CARGA Y LOGISTICA)	m3	0,4725	241,04		113,89														
AGUA-TARIFA INDUSTRIAL TIPO "B"	m3	0,2100	2,80		0,59														
CEMENTO GRIS TIPO I ULTRA A GRANEL.	Ton	0,3570	335,00		119,59														
PIEDRA TRITURADA DE 1"	m3	0,9450	274,31		259,22														
		% Costo Directo:	24,33		Total Materiales Bs.:		493,29												
		% Precio Unitario:	17,17		Unitario de Materiales Bs.:		493,29												
EQUIPOS																			
DESCRIPCION	CANTIDAD	COP	COSTO (Bs.)		TOTAL (Bs.)														
CUCHARA DE 6" MARCA BELLOTA	1,00	0,01000	115,50		1,16														
PALA REDONDA	4,00	0,01000	118,00		4,72														
TOBO DE GOMA DE CAPACIDAD=10 I, PARA ALBAÑIL	4,00	0,01000	72,50		2,90														
		% Costo Directo:	0,11		Total Equipos Bs.:		8,78												
		% Precio Unitario:	0,08		Unitario de Equipos Bs.:		2,20												
MANO DE OBRA																			
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL (Bs.)		TOTAL (Bs.)															
OBRERO DE 1ra.	8,00	77,56		620,48															
AYUDANTE	2,00	83,05		166,10															
ALBAÑIL DE 1ra.	1,00	104,14		104,14															
MAESTRO DE OBRA DE 1ra.	0,20	132,84		26,57															
MAQUINISTA DE CONCRETO DE 2da.	0,20	86,38		17,28															
MAQUINISTA DE CONCRETO DE 1ra.	0,20	93,11		18,62															
OPERADOR DE EQUIPO LIVIANO	2,50	93,11		232,77															
		% Costo Directo:	75,56		Sub-Total Mano de Obra Bs.:		1.185,96												
		% Precio Unitario:	53,33		Factor de Costos asociados al Salario (416,65%) Bs.:		4.941,30												
				Total Mano de Obra + Factor de Costos Bs.:		6.127,26													
				Bono Alimenticio (Incluido en F.C.A.S. - Bs. 40,50) x 14,10 Bs.:		0,00													
				Total Bono Alimenticio + Mano de Obra + Factor de Costos Bs.:		6.127,26													
				Unitario de Mano de Obra Bs.:		1.531,82													
				Costo directo por unidad Bs.:		2.027,31													
				Administración (10,00%) Bs.:		202,73													
				Sub-total Administración + Costo directo por unidad Bs.:		2.230,04													
				Utilidad (15,00%) Bs.:		334,51													
				Sub-total Utilidad + Administración + Costo directo por unidad Bs.:		2.564,55													
				Precio Unitario sin I.V.A. Bs.:		2.564,55													
				PRECIO UNITARIO: Bs. 2.564,55															
<table border="1" style="margin-left: auto;"> <tr> <td>CANTIDAD</td> <td>x</td> <td>P.U. (Bs.)</td> <td>=</td> <td>TOTAL PARTIDA (Bs.)</td> </tr> <tr> <td>6,80</td> <td></td> <td>2.564,55</td> <td></td> <td>17.438,94</td> </tr> </table>										CANTIDAD	x	P.U. (Bs.)	=	TOTAL PARTIDA (Bs.)	6,80		2.564,55		17.438,94
CANTIDAD	x	P.U. (Bs.)	=	TOTAL PARTIDA (Bs.)															
6,80		2.564,55		17.438,94															

Fuente: Colegio de Ingenieros de Venezuela. Departamento de Análisis y Costos.



TABLA F.1. ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE TRAMPA DE SÓLIDOS Y GRASAS Y ACEITES (CONT.)

 Colegio de Ingenieros de Venezuela Departamento de Análisis y Costos														
ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS														
EDICION: MARZO 2012														
DATOS DE LA PARTIDA:														
Partida #	COVENIN													
5	C.208.721.001													
Unidad	kgf													
Cantidad del Análisis	1,00 kgf													
Rendimiento	900,000													
Precio Unitario	12,09													
F.C.A.S.	411,75%													
Cantidad de Partida	213,64													
Cálculos por Rendimiento														
Descripción de la Partida:														
SUMINISTRO, TRANSPORTE, PREPARACION Y COLOCACION DE ACERO DE REFUERZO DE RAT=2100 kg/cm2 UTILIZANDO CABILLAS DE DIAMETRO IGUAL O INFERIOR A 1/2", PARA LA CONSTRUCCION DE BROCALES, CUNETAS, ACERAS Y BASES														
MATERIALES														
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO (Bs.)	TOTAL (Bs.)										
CABILLA D=3/8" Fy=4200Kgf/cm2 L=12m P=0,559Kgf/m	Kgf	0,5500	1,88	1,03										
CABILLA D=1,2" Fy=4200Kgf/cm2 L=12m P=0,994Kgf/m	Kgf	0,5500	1,74	0,96										
ALAMBRE LISO GALVANIZADO CAL 18/ ROLLO DE 50 Kgf	Kgf	0,0200	14,00	0,28										
EDF-9914 TRANS.Y MANEJO DE ACERO EN VALIDAD HASTA 50KM	tt.km	0,0336	3,19	0,11										
	% Costo Directo:	24,92	Total Materiales Bs.:	2,38										
	% Precio Unitario:	17,58	Unitario de Materiales Bs.:	2,38										
EQUIPOS														
DESCRIPCION	CANTIDAD	COP	COSTO (Bs.)	TOTAL (Bs.)										
DOBLADORA DE CABILLA HASTA 1-3/8"	1,00	0,00350	75.000,00	262,50										
CINTA METRICA DE ACERO DE 5 m, MARCA STANLEY	3,00	0,01000	64,33	1,93										
ALICATE CRESCENT 8"	4,00	0,01000	157,50	6,30										
TENAZA CRESCENT DE 8"	4,00	0,01000	154,50	6,18										
CORTADORA DE CABILLA HASTA 1.3/8" AUTOMATICA	1,00	0,00300	74.804,63	224,41										
	% Costo Directo:	5,86	Total Equipos Bs.:	501,32										
	% Precio Unitario:	4,14	Unitario de Equipos Bs.:	0,56										
MANO DE OBRA														
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL (Bs.)	TOTAL (Bs.)											
OBRAERO DE 1ra.	4,00	77,56	310,24											
AYUDANTE	4,00	83,05	332,20											
CABILLERO DE 2da.	1,00	93,11	93,11											
CABILLERO DE 1ra.	3,00	104,14	312,42											
MAESTRO CABILLERO	1,00	115,25	115,25											
	% Costo Directo:	69,21	Sub-Total Mano de Obra Bs.:	1.163,22										
	% Precio Unitario:	48,82	Factor de Costos asociados al Salario (411,75%) Bs.:	4.789,56										
			Total Mano de Obra + Factor de Costos Bs.:	5.952,78										
			Bono Alimenticio (Incluido en F.C.A.S. - Bs. 40,50) x 13,00 Bs.:	0,00										
			Total Bono Alimenticio + Mano de Obra + Factor de Costos Bs.:	5.952,78										
			Unitario de Mano de Obra Bs.:	6,61										
			Costo directo por unidad Bs.:	9,55										
			Administración (10,00%) Bs.:	0,96										
			Sub-total Administración + Costo directo por unidad Bs.:	10,51										
			Utilidad (15,00%) Bs.:	1,58										
			Sub-total Utilidad + Administración + Costo directo por unidad Bs.:	12,09										
			Precio Unitario sin I.V.A. Bs.:	12,09										
PRECIO UNITARIO: Bs. 12,09														
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 30%;">CANTIDAD</td> <td style="width: 10%;">x</td> <td style="width: 10%;">P.U. (Bs.)</td> <td style="width: 10%;">=</td> <td style="width: 30%;">TOTAL PARTIDA (Bs.)</td> </tr> <tr> <td>213,64</td> <td></td> <td>12,09</td> <td></td> <td>2.582,91</td> </tr> </table>					CANTIDAD	x	P.U. (Bs.)	=	TOTAL PARTIDA (Bs.)	213,64		12,09		2.582,91
CANTIDAD	x	P.U. (Bs.)	=	TOTAL PARTIDA (Bs.)										
213,64		12,09		2.582,91										

Fuente: Colegio de Ingenieros de Venezuela. Departamento de Análisis y Costos.



TABLA F.1. ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE TRAMPA DE SÓLIDOS Y GRASAS Y ACEITES (CONT.)

 Colegio de Ingenieros de Venezuela Departamento de Análisis y Costos									
ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS									
EDICION: MARZO 2012									
DATOS DE LA PARTIDA:									
Partida #	COVENIN	Unidad	Cantidad del Análisis	Rendimiento	Precio Unitario	F.C.A.S.	Cantidad de Partida	Cálculos por Rendimiento	
6	A.790.000.103	m2	1,00 m2	35,000	289,54	395,30%	7,64		
Descripción de la Partida:									
ENCOFRADO DE MADERA, TIPO RECTO, ACABADO CORRIENTE, EN BROCALES, CUNETAS, ACERAS, PAVIMENTOS, REVESTIMIENTO DE CANALES TRAPEZOIDALES									
MATERIALES									
DESCRIPCION									
UNIDAD									
CANTIDAD									
COSTO (Bs.)									
TOTAL (Bs.)									
MADERA CUARTON AURORA 5 X 10 cm									
MADERA TABLA/SAQUI-SAQUI/SIN CEPILLAR/NI ESCOGER MED.									
ALAMBRE LISO GALVANIZADO CAL 18/ ROLLO DE 50 Kgf									
CLAVOS DE 4" CAL.8 caja= 25 Kgf									
TRANSPORTE DE MATERIALES (10%)									
% Costo Directo: 34,22									
% Precio Unitario: 24,15									
Total Materiales Bs.: 78,32									
Unitario de Materiales Bs.: 78,32									
EQUIPOS									
DESCRIPCION									
CANTIDAD									
COP									
COSTO (Bs.)									
TOTAL (Bs.)									
TALADRO INDUSTRIAL DE POTENCIA= 3/4 HP									
CINTA METRICA DE ACERO DE 5 m, MARCA STANLEY									
NIVEL DE 3 BURBUJAS DE LARGO= 14", MARCA STANLEY									
PLOMADA JOROPO 300 GR.									
MARTILLO PARA CARPINTERO									
SERRUCHO 26"									
BARRA METALICA DE LARGO= 1,47 m PARA HACER HOYOS									
SIERRA ELECTRICA DE MESA P/MADERA DE POTENCIA= 3,4 HP									
PLANTA ELECTRICA, CAPACIDAD= 22 KVA CUMMINS. 1F									
CEPILLADORA ELECTRICA BOSCH No 1593									
% Costo Directo: 4,13									
% Precio Unitario: 2,91									
Total Equipos Bs.: 330,68									
Unitario de Equipos Bs.: 9,45									
MANO DE OBRA									
DESCRIPCION									
CANTIDAD									
JORNAL (Bs.)									
TOTAL (Bs.)									
OBRERO DE 1ra.									
AYUDANTE									
CARPINTERO DE 2da.									
CARPINTERO DE 1ra.									
MAESTRO CARPINTERO DE 1ra.									
% Costo Directo: 61,65									
% Precio Unitario: 43,51									
Sub-Total Mano de Obra Bs.: 997,12									
Factor de Costos asociados al Salario (395,30%) Bs.: 3.941,62									
Total Mano de Obra + Factor de Costos Bs.: 4.938,74									
Bono Alimenticio (Incluido en F.C.A.S. - Bs. 40,50) x 11,00 Bs.: 0,00									
Total Bono Alimenticio + Mano de Obra + Factor de Costos Bs.: 4.938,74									
Unitario de Mano de Obra Bs.: 141,11									
Costo directo por unidad Bs.: 228,88									
Administración (10,00%) Bs.: 22,89									
Sub-total Administración + Costo directo por unidad Bs.: 251,77									
Utilidad (15,00%) Bs.: 37,77									
Sub-total Utilidad + Administración + Costo directo por unidad Bs.: 289,54									
Precio Unitario sin I.V.A. Bs.: 289,54									
PRECIO UNITARIO: Bs. 289,54									
CANTIDAD x P.U. (Bs.) = TOTAL PARTIDA (Bs.) 7,64 x 289,54 = 2.212,09									

Fuente: Colegio de Ingenieros de Venezuela. Departamento de Análisis y Costos.



TABLA F.1. ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE TRAMPA DE SÓLIDOS Y GRASAS Y ACEITES (CONT.)

 Colegio de Ingenieros de Venezuela Departamento de Análisis y Costos																			
ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS																			
EDICION: MARZO 2012																			
DATOS DE LA PARTIDA:																			
Partida #	COVENIN	Unidad	Cantidad del Análisis	Rendimiento	Precio Unitario	F.C.A.S.	Cantidad de Partida	Cálculos por Rendimiento											
7	M.800.111.000	m2	1,00 m2	80,000	30,60	467,20%	36,90												
Descripción de la Partida:																			
LIMPIEZA FINAL DE LA OBRA.																			
MATERIALES																			
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO (Bs.)	TOTAL (Bs.)															
AGUA-TARIFA INDUSTRIAL TIPO "B"	m3	0,0100	2,80	0,03															
ESTOPA NACIONAL PESO= 12Kgf/rollo	Kgf	0,0010	28,33	0,03															
ACIDO MURIATICO	gal	0,0010	37,50	0,04															
DETERGENTE EN POLVO (saco DE 20 Kgf)	saco	0,0010	190,00	0,19															
COLOR LAVANSAN	gal	0,0010	60,00	0,06															
COLETO	pieza	0,0100	16,50	0,17															
LIMPIAVIDRIOS	gal	0,0100	55,00	0,55															
		% Costo Directo:	4,42	Total Materiales Bs.:	1,07														
		% Precio Unitario:	3,12	Unitario de Materiales Bs.:	1,07														
EQUIPOS																			
DESCRIPCION	CANTIDAD	COP	COSTO (Bs.)	TOTAL (Bs.)															
MANGUERA PLASTICA DE D= 1/2" Y L=100 m (TIPO CULEBRA)	1,00	0,00800	474,00	3,79															
TOBO DE GOMA DE CAPACIDAD=10 l, PARA ALBAÑIL	2,00	0,01000	72,50	1,45															
CEPILLO CARRTERO Nro.14 P/BARRER MEDIANO	2,00	0,00248	40,00	0,20															
ESPATULA DE 6"	2,00	0,10000	44,59	8,92															
		% Costo Directo:	0,74	Total Equipos Bs.:	14,36														
		% Precio Unitario:	0,53	Unitario de Equipos Bs.:	0,18														
MANO DE OBRA																			
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL (Bs.)	TOTAL (Bs.)																
OBRERO DE 1ra.	4,00	77,56	310,24																
MAESTRO DE OBRA DE 1ra.	0,10	132,84	13,28																
		% Costo Directo:	94,83	Sub-Total Mano de Obra Bs.:	323,52														
		% Precio Unitario:	66,94	Factor de Costos asociados al Salario (467,20%) Bs.:	1.511,49														
				Total Mano de Obra + Factor de Costos Bs.:	1.835,01														
				Bono Alimenticio (Incluido en F.C.A.S. - Bs. 40,50) x 4,10 Bs.:	0,00														
				Total Bono Alimenticio + Mano de Obra + Factor de Costos Bs.:	1.835,01														
				Unitario de Mano de Obra Bs.:	22,94														
				Costo directo por unidad Bs.:	24,19														
				Administración (10,00%) Bs.:	2,42														
				Sub-total Administración + Costo directo por unidad Bs.:	26,61														
				Utilidad (15,00%) Bs.:	3,99														
				Sub-total Utilidad + Administración + Costo directo por unidad Bs.:	30,60														
				Precio Unitario sin I.V.A. Bs.:	30,60														
PRECIO UNITARIO: Bs. 30,60																			
<table border="1" style="margin-left: auto;"> <tr> <td>CANTIDAD</td> <td>x</td> <td>P.U. (Bs.)</td> <td>=</td> <td>TOTAL PARTIDA (Bs.)</td> </tr> <tr> <td>36,90</td> <td></td> <td>30,60</td> <td></td> <td>1.129,14</td> </tr> </table>										CANTIDAD	x	P.U. (Bs.)	=	TOTAL PARTIDA (Bs.)	36,90		30,60		1.129,14
CANTIDAD	x	P.U. (Bs.)	=	TOTAL PARTIDA (Bs.)															
36,90		30,60		1.129,14															

Fuente: Colegio de Ingenieros de Venezuela. Departamento de Análisis y Costos.



TABLA F.2. ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS DEL REDISEÑO DE UNIDADES ACTUALES

COLEGIO DE INGENIEROS DE VENEZUELA		Departamento de Análisis y Costos	
ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS			
EDICION: MARZO 2012			
DATOS DE LA PARTIDA:			
Partida #	COVENIN	Unidad	Cantidad del Análisis
1	E-714.507.030	pza	1,00 pza
			Rendimiento
			1,000
			Precio Unitario
			1.976,87
			F.C.A.S.
			385,60%
		Cantidad de Partida	Cálculos por Rendimiento
		3,00	
Descripción de la Partida:			
SUMINISTRO, TRANSPORTE E INSTALACION DE RELOJ HORARIO DE 24 HORAS, PARA AUTOMATIZACION DE BOMBAS DE RECIRCULACION, CLORADO Y SODA			
MATERIALES			
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO (Bs.)
TRANSPORTE DE MATERIALES (10%)	%	0,1000	391,68
RELOJ DE CONTROL HORARIO	pieza	1,0000	391,68
	% Costo Directo:	27,57	Total Materiales Bs.:
	% Precio Unitario:	19,46	Unitario de Materiales Bs.:
			430,85
			430,85
EQUIPOS			
DESCRIPCION	CANTIDAD	COP	COSTO (Bs.)
JUEGO SACABOCADOS D/1/2"-4", HIDRAULICO, MARCA GREENLEE	1,00	0,00350	16.712,90
ALICATE CRESCENT 8"	2,00	0,01000	157,50
JUEGO DE LLAVES COMBINADAS DE HASTA 1-1/2"	1,00	0,01000	1.502,24
JUEGO DE ATORNILLADORES 15 PZAS STANLEY	1,00	0,01000	315,50
PROBADOR DE CORRIENTE	1,00	0,01000	19,42
JUEGO DE LLAVES DE 1/16" HASTA 1/4", MARCA ALLEN	1,00	0,01000	262,50
LIMA REDONDA PARA METAL DE DIAMETRO= 8"	1,00	0,00385	59,08
TESTER DIGITAL SK-6592	1,00	0,00034	338,40
	% Costo Directo:	5,31	Total Equipos Bs.:
	% Precio Unitario:	3,75	Unitario de Equipos Bs.:
			83,00
			83,00
MANO DE OBRA			
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL (Bs.)	TOTAL (Bs.)
AYUDANTE	1,00	83,05	83,05
ELECTRICISTA DE 1ra	1,00	104,14	104,14
MAESTRO DE OBRAS ELECTROMECANICAS	0,25	115,25	28,81
	% Costo Directo:	67,12	Sub-Total Mano de Obra Bs.:
	% Precio Unitario:	47,37	Factor de Costos asociados al Salario (385,60%) Bs.:
			832,90
			Total Mano de Obra + Factor de Costos Bs.:
			1.048,90
			Bono Alimenticio (Incluido en F.C.A.S. - Bs. 40,50) x 2,25 Bs.:
			0,00
			Total Bono Alimenticio + Mano de Obra + Factor de Costos Bs.:
			1.048,90
			Unitario de Mano de Obra Bs.:
			1.048,90
			Costo directo por unidad Bs.:
			1.562,75
			Administración (10,00%) Bs.:
			156,27
			Sub-total Administración + Costo directo por unidad Bs.:
			1.719,02
			Utilidad (15,00%) Bs.:
			257,85
			Sub-total Utilidad + Administración + Costo directo por unidad Bs.:
			1.976,87
			Precio Unitario sin I.V.A. Bs.:
			1.976,87
			PRECIO UNITARIO: Bs. 1.976.87

CANTIDAD	x	P.U. (Bs.)	=	TOTAL PARTIDA (Bs.)
3,00		1.976,87		5.930,61

Fuente: Colegio de Ingenieros de Venezuela. Departamento de Análisis y Costos.



TABLA F.2. ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS DEL REDISEÑO DE UNIDADES ACTUALES (CONT.)

 Colegio de Ingenieros de Venezuela Departamento de Análisis y Costos																		
ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS																		
EDICION: MARZO 2012																		
DATOS DE LA PARTIDA:																		
Partida #	COVENIN	Unidad	Cantidad del Análisis	Rendimiento	Precio Unitario	F.C.A.S.	Cantidad de Partida	Cálculos por Rendimiento										
2	E-717.161.213	equip	1,00 equip	1,000	27.802,84	385,60%	1,00											
Descripción de la Partida:																		
SUMINISTRO, TRANSPORTE E INSTALACION DE SISTEMA HIDRONEUMATICO (2 BOMBAS 3HP, TABLERO DE CONTROL, PRESOSTATO Y MANOMETRO) CAPACIDAD 1.100 LTS. - 1,83 lts/seg																		
MATERIALES																		
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO (Bs.)	TOTAL (Bs.)														
TUBO H.G. ISO D=3/4" L=6,40 m	m	4,0000	32,17	128,68														
CODO H.G. 90° D=3/4"	pieza	2,0000	5,59	11,18														
UNION UNIVERSAL H.G. D=3/4"	pieza	4,0000	24,64	98,56														
LLAVE DE BOLA (ESFERICA) D=3/4"	pieza	2,0000	83,87	167,74														
TEFLON (ROLLO 1/2 x 12 m)	rollo	1,5000	4,64	6,96														
TRANSPORTE DE MATERIALES (10%)	%	0,1000	17.478,14	1.747,81														
INTERRUPTOR TQC 1P 20A 120/240V 10KA (ATORNILLABLE)	pieza	1,0000	35,22	35,22														
SISTEMA HIDRONEUMATICO (TANQUE 1100l - 2 BOMBAS 3 HP)	eqp	1,0000	16.994,00	16.994,00														
CABLE SPT 2 x 12 25 A	m	4,0000	8,95	35,80														
			% Costo Directo: 87,48	Total Materiales Bs.:	19.225,95													
			% Precio Unitario: 61,74	Unitario de Materiales Bs.:	19.225,95													
EQUIPOS																		
DESCRIPCION	CANTIDAD	COP	COSTO (Bs.)	TOTAL (Bs.)														
EQUIPO PARA INSTALACIONES SANITARIAS (H.G)	1,00	0,00711	7.797,04	55,44														
ELEVADOR DE CABALLETE CAP=800 KG 4 HP ELECTRICO	0,12	0,00300	23.940,93	8,62														
EQUIPO # 1 PARA INSTALACION ELECTRICA	0,25	0,00565	14.192,61	20,05														
			% Costo Directo: 0,38	Total Equipos Bs.:	84,11													
			% Precio Unitario: 0,27	Unitario de Equipos Bs.:	84,11													
MANO DE OBRA																		
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL (Bs.)	TOTAL (Bs.)															
OBrero DE 1ra.	4,00	77,56	310,24															
AYUDANTE	1,00	83,05	83,05															
PLOMERO DE 1ra.	1,00	104,14	104,14															
ELECTRICISTA DE 2da.	0,25	93,11	23,28															
MAESTRO DE OBRAS ELECTROMECHANICAS	0,25	115,25	28,81															
			% Costo Directo: 12,14	Sub-Total Mano de Obra Bs.:	549,52													
			% Precio Unitario: 8,57	Factor de Costos asociados al Salario (385,60%) Bs.:	2.118,95													
				Total Mano de Obra + Factor de Costos Bs.:	2.668,47													
				Bono Alimenticio (Incluido en F.C.A.S. - Bs. 40,50) x 6,50 Bs.:	0,00													
				Total Bono Alimenticio + Mano de Obra + Factor de Costos Bs.:	2.668,47													
				Unitario de Mano de Obra Bs.:	2.668,47													
				Costo directo por unidad Bs.:	21.978,53													
				Administración (10,00%) Bs.:	2.197,85													
				Sub-total Administración + Costo directo por unidad Bs.:	24.176,38													
				Utilidad (15,00%) Bs.:	3.629,46													
				Sub-total Utilidad + Administración + Costo directo por unidad Bs.:	27.802,84													
				Precio Unitario sin I.V.A. Bs.:	27.802,84													
PRECIO UNITARIO: Bs. 27.802,84																		
<table border="1" style="margin-left: auto;"> <tr> <td>CANTIDAD</td> <td>x</td> <td>P.U. (Bs.)</td> <td>=</td> <td>TOTAL PARTIDA (Bs.)</td> </tr> <tr> <td>1,00</td> <td></td> <td>27.802,84</td> <td></td> <td>27.802,84</td> </tr> </table>									CANTIDAD	x	P.U. (Bs.)	=	TOTAL PARTIDA (Bs.)	1,00		27.802,84		27.802,84
CANTIDAD	x	P.U. (Bs.)	=	TOTAL PARTIDA (Bs.)														
1,00		27.802,84		27.802,84														

Fuente: Colegio de Ingenieros de Venezuela. Departamento de Análisis y Costos.



TABLA F.2. ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS DEL REDISEÑO DE UNIDADES ACTUALES (CONT.)

 Colegio de Ingenieros de Venezuela Departamento de Análisis y Costos																			
ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS																			
EDICION: MARZO 2012																			
DATOS DE LA PARTIDA:																			
Partida #	COVENIN	Unidad	Cantidad del Análisis	Rendimiento	Precio Unitario	F.C.A.S.	Cantidad de Partida	Cálculos por Rendimiento											
3	E-704.221.129	equip	1,00 equip	1,000	17.160,53	385,60%	1,00												
Descripción de la Partida:																			
SUMINISTRO, TRANSPORTE E INSTALACION DE BOMBA CENTRIFUGA PARA AGUA 5HP 1 FASE. INCLUYE TABLERO DE CONTROL Y SISTEMA DE CONEXION																			
MATERIALES																			
DESCRIPCION		UNIDAD	CANTIDAD	COSTO (Bs.)	TOTAL (Bs.)														
UNION UNIVERSAL H.G. D=1-1/4"		pieza	1,0000	40,16	40,16														
UNION UNIVERSAL H.G. D=2"		pieza	1,0000	80,38	80,38														
LLAVE DE BOLA (ESFERICA) D=1-1/4"		pieza	1,0000	211,16	211,16														
LLAVE DE BOLA (ESFERICA) D=2"		pieza	1,0000	449,69	449,69														
TUBO HG ASTM D=1-1/4" L=6.40 m		m	2,0000	77,96	155,92														
TUBO HG ASTM D=2" L=6.40 m		m	2,0000	124,38	248,76														
TEFLON (ROLLO 1/2 x 12 m)		rollo	1,5000	4,64	6,96														
TRANSPORTE DE MATERIALES (10%)		%	0,1000	10.156,05	1.015,60														
INTERRUPTOR TQC 1P 20A 120/240V 10KA (ATORNILLABLE)		pieza	1,0000	35,22	35,22														
CABLE SPT 2 x 12 25 A		m	4,0000	8,95	35,80														
BOMBA PARA AGUA 5 HP 3 FASE MEGABLOCK MOD.32160		equip	1,0000	4.892,00	4.892,00														
SITEMA DE CONEX+TABLERO DE CTROL P/BOMBA DE AGUA DE 5HP		equip	1,0000	4.000,00	4.000,00														
			% Costo Directo:	82,35	Total Materiales Bs.:		11.171,65												
			% Precio Unitario:	58,13	Unitario de Materiales Bs.:		11.171,65												
EQUIPOS																			
DESCRIPCION		CANTIDAD	COP	COSTO (Bs.)	TOTAL (Bs.)														
EQUIPO PARA INSTALACIONES SANITARIAS (H.G)		1,00	0,00711	7.797,04	55,44														
EQUIPO # 1 PARA INSTALACION ELECTRICA		0,25	0,00565	14.192,61	20,05														
			% Costo Directo:	0,56	Total Equipos Bs.:		75,49												
			% Precio Unitario:	0,39	Unitario de Equipos Bs.:		75,49												
MANO DE OBRA																			
DESCRIPCION		CANTIDAD	JORNAL (Bs.)	TOTAL (Bs.)															
OBRERO DE 1ra.		2,00	77,56	155,12															
AYUDANTE		2,00	83,05	166,10															
PLOMERO DE 1ra.		1,00	104,14	104,14															
ELECTRICISTA DE 2da.		0,25	93,11	23,28															
MAESTRO DE OBRAS ELECTROMECHANICAS		0,25	115,25	28,81															
			% Costo Directo:	17,09	Sub-Total Mano de Obra Bs.:		477,45												
			% Precio Unitario:	12,06	Factor de Costos asociados al Salario (385,60%) Bs.:		1.841,05												
					Total Mano de Obra + Factor de Costos Bs.:		2.318,50												
					Bono Alimenticio (Incluido en F.C.A.S. - Bs. 40,50) x 5,50 Bs.:		0,00												
					Total Bono Alimenticio + Mano de Obra + Factor de Costos Bs.:		2.318,50												
					Unitario de Mano de Obra Bs.:		2.318,50												
					Costo directo por unidad Bs.:		13.565,64												
					Administración (10,00%) Bs.:		1.356,56												
					Sub-total Administración + Costo directo por unidad Bs.:		14.922,20												
					Utilidad (15,00%) Bs.:		2.238,33												
					Sub-total Utilidad + Administración + Costo directo por unidad Bs.:		17.160,53												
					Precio Unitario sin I.V.A. Bs.:		17.160,53												
PRECIO UNITARIO: Bs. 17.160,53																			
<table border="1" style="margin-left: auto;"> <tr> <td>CANTIDAD</td> <td>x</td> <td>P.U. (Bs.)</td> <td>=</td> <td>TOTAL PARTIDA (Bs.)</td> </tr> <tr> <td>1,00</td> <td></td> <td>17.160,53</td> <td></td> <td>17.160,53</td> </tr> </table>										CANTIDAD	x	P.U. (Bs.)	=	TOTAL PARTIDA (Bs.)	1,00		17.160,53		17.160,53
CANTIDAD	x	P.U. (Bs.)	=	TOTAL PARTIDA (Bs.)															
1,00		17.160,53		17.160,53															

Fuente: Colegio de Ingenieros de Venezuela. Departamento de Análisis y Costos.



TABLA F.2. ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS DEL REDISEÑO DE UNIDADES ACTUALES (CONT.)

 Colegio de Ingenieros de Venezuela Departamento de Análisis y Costos																			
ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS																			
EDICION: MARZO 2012																			
DATOS DE LA PARTIDA:																			
Partida #	COVENIN	Unidad	Cantidad del Análisis	Rendimiento	Precio Unitario	F.C.A.S.	Cantidad de Partida	Cálculos por Rendimiento											
4	E-714.508.042	pza	1,00 pza	4,000	890,51	385,60%	4,00												
Descripción de la Partida:																			
SUMINISTRO, TRANSPORTE E INSTALACION DE FLOTANTE MEANICO DIAMETRO 3/4" PARA CONTROL AUTOMATICO DE ENCENDIDO DE BOMBA SEGUN NIVEL FLUIDO																			
MATERIALES																			
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO (Bs.)	TOTAL (Bs.)															
TUBERIA EMT D=1/2" L= 3,00 m	m	1,0000	8,83	8,83															
ROLLO DE TEIPE NEGRO # 33 (COBRA)	rollo	0,2000	5,52	1,10															
CABLE THW # 10 AWG/MCM (THIN 90° C 600 V)	m	2,0000	5,82	11,64															
TEFLON (ROLLO 1/2 x 12 m)	rollo	0,2000	4,64	0,93															
TRANSPORTE DE MATERIALES (10%)	%	0,1000	395,53	39,55															
FLOTANTE MECANICO DIAMETRO FP 3/4"	pieza	1,0000	373,03	373,03															
			% Costo Directo:	61,80	Total Materiales Bs.:		435,08												
			% Precio Unitario:	43,62	Unitario de Materiales Bs.:		435,08												
EQUIPOS																			
DESCRIPCION	CANTIDAD	COP	COSTO (Bs.)	TOTAL (Bs.)															
EQUIPO # 1 PARA INSTALACION ELECTRICA	1,00	0,00565	14.192,61	80,19															
			% Costo Directo:	2,85	Total Equipos Bs.:		80,19												
			% Precio Unitario:	2,01	Unitario de Equipos Bs.:		20,05												
MANO DE OBRA																			
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL (Bs.)	TOTAL (Bs.)																
AYUDANTE	1,00	83,05	83,05																
ELECTRICISTA DE 2da	1,00	93,11	93,11																
MAESTRO DE OBRAS ELECTROMECHANICAS	0,25	115,25	28,81																
			% Costo Directo:	35,35	Sub-Total Mano de Obra Bs.:		204,97												
			% Precio Unitario:	24,95	Factor de Costos asociados al Salario (385,60%) Bs.:		790,36												
					Total Mano de Obra + Factor de Costos Bs.:		995,33												
					Bono Alimenticio (Incluido en F.C.A.S. - Bs. 40,50) x 2,25 Bs.:		0,00												
					Total Bono Alimenticio + Mano de Obra + Factor de Costos Bs.:		995,33												
					Unitario de Mano de Obra Bs.:		248,83												
					Costo directo por unidad Bs.:		703,96												
					Administración (10,00%) Bs.:		70,40												
					Sub-total Administración + Costo directo por unidad Bs.:		774,36												
					Utilidad (15,00%) Bs.:		116,15												
					Sub-total Utilidad + Administración + Costo directo por unidad Bs.:		890,51												
					Precio Unitario sin I.V.A. Bs.:		890,51												
PRECIO UNITARIO: Bs. 890,51																			
<table border="1" style="margin-left: auto;"> <tr> <td>CANTIDAD</td> <td>x</td> <td>P.U. (Bs.)</td> <td>=</td> <td>TOTAL PARTIDA (Bs.)</td> </tr> <tr> <td>4,00</td> <td></td> <td>890,51</td> <td></td> <td>3.562,04</td> </tr> </table>										CANTIDAD	x	P.U. (Bs.)	=	TOTAL PARTIDA (Bs.)	4,00		890,51		3.562,04
CANTIDAD	x	P.U. (Bs.)	=	TOTAL PARTIDA (Bs.)															
4,00		890,51		3.562,04															

Fuente: Colegio de Ingenieros de Venezuela. Departamento de Análisis y Costos.



TABLA F.2. ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS DEL REDISEÑO DE UNIDADES ACTUALES (CONT.)

 Colegio de Ingenieros de Venezuela Departamento de Análisis y Costos																			
ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS																			
EDICION: MARZO 2012																			
DATOS DE LA PARTIDA:																			
Partida #	COVENIN	Unidad	Cantidad del Análisis	Rendimiento	Precio Unitario	F.C.A.S.	Cantidad de Partida	Cálculos por Rendimiento											
5	E-704.221.134	equip	1,00 equip	1,000	7.569,73	385,60%	2,00												
Descripción de la Partida:																			
SUMINISTRO, TRANSPORTE E INSTALACION DE BOMBA CENTRIFUGA PARA AGUA 1HP 1 FASE.																			
MATERIALES																			
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO (Bs.)		TOTAL (Bs.)														
TUBO H.G. ISO D=3/4" L=6.40 m	m	4,0000	32,17		128,68														
CODO H.G. 90° D=3/4"	pieza	2,0000	5,59		11,18														
UNION UNIVERSAL H.G. D=3/4"	pieza	2,0000	24,64		49,28														
LLAVE DE BOLA (ESFERICA) D=3/4"	pieza	2,0000	83,87		167,74														
INTERRUPTOR TQC 1P 15A 120/240V 10KA (ATORNILLABLE)	pieza	1,0000	35,22		35,22														
TEFLON (ROLLO 1/2 x 12 m)	rollo	1,5000	4,64		6,96														
TRANSPORTE DE MATERIALES (10%)	%	0,1000	3.263,62		326,36														
CABLE SPT 2x14	m	4,0000	6,14		24,56														
BOMBA CENTRIFUGA PARA AGUA DE 1HP. 1 FASE	eqp	1,0000	2.840,00		2.840,00														
		% Costo Directo:	59,99	Total Materiales Bs.:		3.589,98													
		% Precio Unitario:	42,34	Unitario de Materiales Bs.:		3.589,98													
EQUIPOS																			
DESCRIPCION	CANTIDAD	COP	COSTO (Bs.)		TOTAL (Bs.)														
EQUIPO PARA INSTALACIONES SANITARIAS (H.G)	1,00	0,00711	7.797,04		55,44														
EQUIPO # 1 PARA INSTALACION ELECTRICA	0,25	0,00565	14.192,61		20,05														
		% Costo Directo:	1,26	Total Equipos Bs.:		75,49													
		% Precio Unitario:	0,89	Unitario de Equipos Bs.:		75,49													
MANO DE OBRA																			
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL (Bs.)		TOTAL (Bs.)															
OBRERO DE 1ra.	2,00	77,56		155,12															
AYUDANTE	2,00	83,05		166,10															
PLOMERO DE 1ra.	1,00	104,14		104,14															
ELECTRICISTA DE 2da	0,25	93,11		23,28															
MAESTRO DE OBRAS ELECTROMECHANICAS	0,25	115,25		28,81															
		% Costo Directo:	38,75	Sub-Total Mano de Obra Bs.:		477,45													
		% Precio Unitario:	27,35	Factor de Costos asociados al Salario (385,60%) Bs.:		1.841,05													
		Total Mano de Obra + Factor de Costos Bs.:				2.318,50													
		Bono Alimenticio (Incluido en F.C.A.S. - Bs. 40,50) x 5,50 Bs.:				0,00													
		Total Bono Alimenticio + Mano de Obra + Factor de Costos Bs.:				2.318,50													
		Unitario de Mano de Obra Bs.:				2.318,50													
		Costo directo por unidad Bs.:				5.983,97													
		Administración (10,00%) Bs.:				598,40													
		Sub-total Administración + Costo directo por unidad Bs.:				6.582,37													
		Utilidad (15,00%) Bs.:				987,36													
		Sub-total Utilidad + Administración + Costo directo por unidad Bs.:				7.569,73													
		Precio Unitario sin I.V.A. Bs.:				7.569,73													
PRECIO UNITARIO: Bs. 7.569,73																			
<table border="1" style="margin-left: auto;"> <tr> <td>CANTIDAD</td> <td>x</td> <td>P.U. (Bs.)</td> <td>=</td> <td>TOTAL PARTIDA (Bs.)</td> </tr> <tr> <td>2,00</td> <td>x</td> <td>7.569,73</td> <td>=</td> <td>15.139,46</td> </tr> </table>										CANTIDAD	x	P.U. (Bs.)	=	TOTAL PARTIDA (Bs.)	2,00	x	7.569,73	=	15.139,46
CANTIDAD	x	P.U. (Bs.)	=	TOTAL PARTIDA (Bs.)															
2,00	x	7.569,73	=	15.139,46															

Fuente: Colegio de Ingenieros de Venezuela. Departamento de Análisis y Costos.



TABLA F.2. ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS DEL REDISEÑO DE UNIDADES ACTUALES (CONT.)

 Colegio de Ingenieros de Venezuela Departamento de Análisis y Costos																																																																																																							
ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS																																																																																																							
EDICION: MARZO 2012																																																																																																							
DATOS DE LA PARTIDA:																																																																																																							
Partida #	COVENIN	Unidad	Cantidad del Análisis	Rendimiento	Precio Unitario	F.C.A.S.	Cantidad de Partida	Cálculos por Rendimiento																																																																																															
6	E.612.042.152	m	1,00 m	6,000	1.222,01	391,85%	50,00																																																																																																
Descripción de la Partida:																																																																																																							
TUBERÍA DE AGUJAS RESIDUALES, DE HIERRO FUNDIDO, DIAMETRO 6" (152mm) . FIJADA A LA SUPERFICIE. INCLUYE CONEXIONES.																																																																																																							
MATERIALES																																																																																																							
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>DESCRIPCION</th> <th>UNIDAD</th> <th>CANTIDAD</th> <th>COSTO (Bs.)</th> <th>TOTAL (Bs.)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>TUBO H.F. 1 CAMPANA 6" L= 3,00 m</td><td>m</td><td>1,1000</td><td>333,31</td><td>366,64</td></tr> <tr><td>PLOMO EN LINGOTES PESO=25 Kgf/Lingote</td><td>Kgf</td><td>1,8940</td><td>37,08</td><td>70,23</td></tr> <tr><td>ESTOPA PARA CALAFATEO IMPORTADA PESO=24 Kgf/paquete</td><td>Kgf</td><td>0,1400</td><td>15,45</td><td>2,16</td></tr> <tr><td>ABRAZADERA TIPO "U", D=6"</td><td>pieza</td><td>0,6667</td><td>22,61</td><td>15,07</td></tr> <tr><td>CODO H.F. 90° D=6" C/CAMPANA</td><td>pieza</td><td>0,0620</td><td>333,57</td><td>20,68</td></tr> <tr><td>YE H.F. 6 x 4" C/CAMPANA</td><td>pieza</td><td>0,1230</td><td>423,81</td><td>52,13</td></tr> <tr><td>RAMPLUG HILTI HDI D=1/2" ROSCA INTERNA</td><td>pieza</td><td>1,3334</td><td>5,59</td><td>7,45</td></tr> <tr><td>TE H.F. REDUCIDA D=6" x 4" C/CAMPANA</td><td>pieza</td><td>0,3100</td><td>293,71</td><td>91,05</td></tr> <tr><td>TE H.F. CON REGISTRO D=6" C/CAMPANA</td><td>pieza</td><td>0,0620</td><td>226,41</td><td>14,04</td></tr> <tr><td>TRANSPORTE DE MATERIALES (10%)</td><td>%</td><td>0,1000</td><td>639,45</td><td>63,95</td></tr> <tr><td colspan="3"></td><td>% Costo Directo:</td><td>72,81</td></tr> <tr><td colspan="3"></td><td>% Precio Unitario:</td><td>51,39</td></tr> <tr><td colspan="3"></td><td>Total Materiales Bs.:</td><td>703,40</td></tr> <tr><td colspan="3"></td><td>Unitario de Materiales Bs.:</td><td>703,40</td></tr> </tbody> </table>										DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO (Bs.)	TOTAL (Bs.)	TUBO H.F. 1 CAMPANA 6" L= 3,00 m	m	1,1000	333,31	366,64	PLOMO EN LINGOTES PESO=25 Kgf/Lingote	Kgf	1,8940	37,08	70,23	ESTOPA PARA CALAFATEO IMPORTADA PESO=24 Kgf/paquete	Kgf	0,1400	15,45	2,16	ABRAZADERA TIPO "U", D=6"	pieza	0,6667	22,61	15,07	CODO H.F. 90° D=6" C/CAMPANA	pieza	0,0620	333,57	20,68	YE H.F. 6 x 4" C/CAMPANA	pieza	0,1230	423,81	52,13	RAMPLUG HILTI HDI D=1/2" ROSCA INTERNA	pieza	1,3334	5,59	7,45	TE H.F. REDUCIDA D=6" x 4" C/CAMPANA	pieza	0,3100	293,71	91,05	TE H.F. CON REGISTRO D=6" C/CAMPANA	pieza	0,0620	226,41	14,04	TRANSPORTE DE MATERIALES (10%)	%	0,1000	639,45	63,95				% Costo Directo:	72,81				% Precio Unitario:	51,39				Total Materiales Bs.:	703,40				Unitario de Materiales Bs.:	703,40																			
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO (Bs.)	TOTAL (Bs.)																																																																																																			
TUBO H.F. 1 CAMPANA 6" L= 3,00 m	m	1,1000	333,31	366,64																																																																																																			
PLOMO EN LINGOTES PESO=25 Kgf/Lingote	Kgf	1,8940	37,08	70,23																																																																																																			
ESTOPA PARA CALAFATEO IMPORTADA PESO=24 Kgf/paquete	Kgf	0,1400	15,45	2,16																																																																																																			
ABRAZADERA TIPO "U", D=6"	pieza	0,6667	22,61	15,07																																																																																																			
CODO H.F. 90° D=6" C/CAMPANA	pieza	0,0620	333,57	20,68																																																																																																			
YE H.F. 6 x 4" C/CAMPANA	pieza	0,1230	423,81	52,13																																																																																																			
RAMPLUG HILTI HDI D=1/2" ROSCA INTERNA	pieza	1,3334	5,59	7,45																																																																																																			
TE H.F. REDUCIDA D=6" x 4" C/CAMPANA	pieza	0,3100	293,71	91,05																																																																																																			
TE H.F. CON REGISTRO D=6" C/CAMPANA	pieza	0,0620	226,41	14,04																																																																																																			
TRANSPORTE DE MATERIALES (10%)	%	0,1000	639,45	63,95																																																																																																			
			% Costo Directo:	72,81																																																																																																			
			% Precio Unitario:	51,39																																																																																																			
			Total Materiales Bs.:	703,40																																																																																																			
			Unitario de Materiales Bs.:	703,40																																																																																																			
EQUIPOS																																																																																																							
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>DESCRIPCION</th> <th>CANTIDAD</th> <th>COP</th> <th>COSTO (Bs.)</th> <th>TOTAL (Bs.)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>WINCHE CABREANTE CAP=2.0 TON (ELECTRICO)</td><td>0,10</td><td>0,00250</td><td>96.000,00</td><td>24,00</td></tr> <tr><td>PISTOLA DE FIJACION HILTI DX460</td><td>1,00</td><td>0,00500</td><td>8.029,67</td><td>40,15</td></tr> <tr><td>CARRETILLA DE RUEDAS NEUMATICAS DE CAPACIDAD=55 l</td><td>1,00</td><td>0,00790</td><td>619,01</td><td>4,89</td></tr> <tr><td>QUEMADOR A GAS (SOPLETE), MANGUERA 10 Mts Y REGULADOR</td><td>1,00</td><td>0,00500</td><td>1.054,00</td><td>5,27</td></tr> <tr><td>MANDARRIA MANGO CORTO DE 1,5 Kg, MARCA BELLOTA</td><td>1,00</td><td>0,01000</td><td>175,00</td><td>1,75</td></tr> <tr><td>CINCEL PLANO DE DIAMETRO= 1" (2,540 cm)</td><td>2,00</td><td>0,01000</td><td>68,54</td><td>1,37</td></tr> <tr><td>ESCALERA TIPO TAJERA DE ALUMINIO DE 7 TRAMOS (PELDAÑOS)</td><td>1,00</td><td>0,00500</td><td>522,00</td><td>2,61</td></tr> <tr><td>NIVEL DE 3 BURBUJAS DE LARGO= 14", MARCA STANLEY</td><td>1,00</td><td>0,01000</td><td>58,86</td><td>0,59</td></tr> <tr><td>CINTA METRICA T/TOPOGRAFO DE LARGO= 50 m, MARCA STANLEY</td><td>1,00</td><td>0,01000</td><td>208,90</td><td>2,09</td></tr> <tr><td>CRISOL P/PLOMO 8</td><td>1,00</td><td>0,01000</td><td>329,38</td><td>3,29</td></tr> <tr><td colspan="3"></td><td>% Costo Directo:</td><td>1,48</td></tr> <tr><td colspan="3"></td><td>% Precio Unitario:</td><td>1,05</td></tr> <tr><td colspan="3"></td><td>Total Equipos Bs.:</td><td>86,01</td></tr> <tr><td colspan="3"></td><td>Unitario de Equipos Bs.:</td><td>14,34</td></tr> </tbody> </table>										DESCRIPCION	CANTIDAD	COP	COSTO (Bs.)	TOTAL (Bs.)	WINCHE CABREANTE CAP=2.0 TON (ELECTRICO)	0,10	0,00250	96.000,00	24,00	PISTOLA DE FIJACION HILTI DX460	1,00	0,00500	8.029,67	40,15	CARRETILLA DE RUEDAS NEUMATICAS DE CAPACIDAD=55 l	1,00	0,00790	619,01	4,89	QUEMADOR A GAS (SOPLETE), MANGUERA 10 Mts Y REGULADOR	1,00	0,00500	1.054,00	5,27	MANDARRIA MANGO CORTO DE 1,5 Kg, MARCA BELLOTA	1,00	0,01000	175,00	1,75	CINCEL PLANO DE DIAMETRO= 1" (2,540 cm)	2,00	0,01000	68,54	1,37	ESCALERA TIPO TAJERA DE ALUMINIO DE 7 TRAMOS (PELDAÑOS)	1,00	0,00500	522,00	2,61	NIVEL DE 3 BURBUJAS DE LARGO= 14", MARCA STANLEY	1,00	0,01000	58,86	0,59	CINTA METRICA T/TOPOGRAFO DE LARGO= 50 m, MARCA STANLEY	1,00	0,01000	208,90	2,09	CRISOL P/PLOMO 8	1,00	0,01000	329,38	3,29				% Costo Directo:	1,48				% Precio Unitario:	1,05				Total Equipos Bs.:	86,01				Unitario de Equipos Bs.:	14,34																			
DESCRIPCION	CANTIDAD	COP	COSTO (Bs.)	TOTAL (Bs.)																																																																																																			
WINCHE CABREANTE CAP=2.0 TON (ELECTRICO)	0,10	0,00250	96.000,00	24,00																																																																																																			
PISTOLA DE FIJACION HILTI DX460	1,00	0,00500	8.029,67	40,15																																																																																																			
CARRETILLA DE RUEDAS NEUMATICAS DE CAPACIDAD=55 l	1,00	0,00790	619,01	4,89																																																																																																			
QUEMADOR A GAS (SOPLETE), MANGUERA 10 Mts Y REGULADOR	1,00	0,00500	1.054,00	5,27																																																																																																			
MANDARRIA MANGO CORTO DE 1,5 Kg, MARCA BELLOTA	1,00	0,01000	175,00	1,75																																																																																																			
CINCEL PLANO DE DIAMETRO= 1" (2,540 cm)	2,00	0,01000	68,54	1,37																																																																																																			
ESCALERA TIPO TAJERA DE ALUMINIO DE 7 TRAMOS (PELDAÑOS)	1,00	0,00500	522,00	2,61																																																																																																			
NIVEL DE 3 BURBUJAS DE LARGO= 14", MARCA STANLEY	1,00	0,01000	58,86	0,59																																																																																																			
CINTA METRICA T/TOPOGRAFO DE LARGO= 50 m, MARCA STANLEY	1,00	0,01000	208,90	2,09																																																																																																			
CRISOL P/PLOMO 8	1,00	0,01000	329,38	3,29																																																																																																			
			% Costo Directo:	1,48																																																																																																			
			% Precio Unitario:	1,05																																																																																																			
			Total Equipos Bs.:	86,01																																																																																																			
			Unitario de Equipos Bs.:	14,34																																																																																																			
MANO DE OBRA																																																																																																							
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>DESCRIPCION</th> <th>CANTIDAD</th> <th>JORNAL (Bs.)</th> <th>TOTAL (Bs.)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>OBrero DE 1ra.</td><td>1,00</td><td>77,56</td><td>77,56</td></tr> <tr><td>AYUDANTE</td><td>1,00</td><td>83,05</td><td>83,05</td></tr> <tr><td>PLOMERO DE 1ra.</td><td>1,00</td><td>104,14</td><td>104,14</td></tr> <tr><td>MAESTRO PLOMERO DE 1ra.</td><td>0,25</td><td>115,25</td><td>28,81</td></tr> <tr><td>GUINCHERO</td><td>0,10</td><td>93,11</td><td>9,31</td></tr> <tr><td colspan="3"></td><td>% Costo Directo:</td><td>25,70</td></tr> <tr><td colspan="3"></td><td>% Precio Unitario:</td><td>18,14</td></tr> <tr><td colspan="3"></td><td>Sub-Total Mano de Obra Bs.:</td><td>302,87</td></tr> <tr><td colspan="3"></td><td>Factor de Costos asociados al Salario (391,85%) Bs.:</td><td>1.186,80</td></tr> <tr><td colspan="3"></td><td>Total Mano de Obra + Factor de Costos Bs.:</td><td>1.489,67</td></tr> <tr><td colspan="3"></td><td>Bono Alimenticio (Incluido en F.C.A.S. - Bs. 40,50) x 3,35 Bs.:</td><td>0,00</td></tr> <tr><td colspan="3"></td><td>Total Bono Alimenticio + Mano de Obra + Factor de Costos Bs.:</td><td>1.489,67</td></tr> <tr><td colspan="3"></td><td>Unitario de Mano de Obra Bs.:</td><td>248,28</td></tr> <tr><td colspan="3"></td><td>Costo directo por unidad Bs.:</td><td>966,02</td></tr> <tr><td colspan="3"></td><td>Administración (10,00%) Bs.:</td><td>96,60</td></tr> <tr><td colspan="3"></td><td>Sub-total Administración + Costo directo por unidad Bs.:</td><td>1.062,62</td></tr> <tr><td colspan="3"></td><td>Utilidad (15,00%) Bs.:</td><td>159,39</td></tr> <tr><td colspan="3"></td><td>Sub-total Utilidad + Administración + Costo directo por unidad Bs.:</td><td>1.222,01</td></tr> <tr><td colspan="3"></td><td>Precio Unitario sin I.V.A. Bs.:</td><td>1.222,01</td></tr> </tbody> </table>										DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL (Bs.)	TOTAL (Bs.)	OBrero DE 1ra.	1,00	77,56	77,56	AYUDANTE	1,00	83,05	83,05	PLOMERO DE 1ra.	1,00	104,14	104,14	MAESTRO PLOMERO DE 1ra.	0,25	115,25	28,81	GUINCHERO	0,10	93,11	9,31				% Costo Directo:	25,70				% Precio Unitario:	18,14				Sub-Total Mano de Obra Bs.:	302,87				Factor de Costos asociados al Salario (391,85%) Bs.:	1.186,80				Total Mano de Obra + Factor de Costos Bs.:	1.489,67				Bono Alimenticio (Incluido en F.C.A.S. - Bs. 40,50) x 3,35 Bs.:	0,00				Total Bono Alimenticio + Mano de Obra + Factor de Costos Bs.:	1.489,67				Unitario de Mano de Obra Bs.:	248,28				Costo directo por unidad Bs.:	966,02				Administración (10,00%) Bs.:	96,60				Sub-total Administración + Costo directo por unidad Bs.:	1.062,62				Utilidad (15,00%) Bs.:	159,39				Sub-total Utilidad + Administración + Costo directo por unidad Bs.:	1.222,01				Precio Unitario sin I.V.A. Bs.:	1.222,01
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL (Bs.)	TOTAL (Bs.)																																																																																																				
OBrero DE 1ra.	1,00	77,56	77,56																																																																																																				
AYUDANTE	1,00	83,05	83,05																																																																																																				
PLOMERO DE 1ra.	1,00	104,14	104,14																																																																																																				
MAESTRO PLOMERO DE 1ra.	0,25	115,25	28,81																																																																																																				
GUINCHERO	0,10	93,11	9,31																																																																																																				
			% Costo Directo:	25,70																																																																																																			
			% Precio Unitario:	18,14																																																																																																			
			Sub-Total Mano de Obra Bs.:	302,87																																																																																																			
			Factor de Costos asociados al Salario (391,85%) Bs.:	1.186,80																																																																																																			
			Total Mano de Obra + Factor de Costos Bs.:	1.489,67																																																																																																			
			Bono Alimenticio (Incluido en F.C.A.S. - Bs. 40,50) x 3,35 Bs.:	0,00																																																																																																			
			Total Bono Alimenticio + Mano de Obra + Factor de Costos Bs.:	1.489,67																																																																																																			
			Unitario de Mano de Obra Bs.:	248,28																																																																																																			
			Costo directo por unidad Bs.:	966,02																																																																																																			
			Administración (10,00%) Bs.:	96,60																																																																																																			
			Sub-total Administración + Costo directo por unidad Bs.:	1.062,62																																																																																																			
			Utilidad (15,00%) Bs.:	159,39																																																																																																			
			Sub-total Utilidad + Administración + Costo directo por unidad Bs.:	1.222,01																																																																																																			
			Precio Unitario sin I.V.A. Bs.:	1.222,01																																																																																																			
PRECIO UNITARIO: Bs. 1.222,01																																																																																																							
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>CANTIDAD</td> <td>x</td> <td>P.U. (Bs.)</td> <td>=</td> <td>TOTAL PARTIDA (Bs.)</td> </tr> <tr> <td>50,00</td> <td></td> <td>1.222,01</td> <td></td> <td>61.100,50</td> </tr> </table>										CANTIDAD	x	P.U. (Bs.)	=	TOTAL PARTIDA (Bs.)	50,00		1.222,01		61.100,50																																																																																				
CANTIDAD	x	P.U. (Bs.)	=	TOTAL PARTIDA (Bs.)																																																																																																			
50,00		1.222,01		61.100,50																																																																																																			

Fuente: Colegio de Ingenieros de Venezuela. Departamento de Análisis y Costos.



TABLA F.2. ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS DEL REDISEÑO DE UNIDADES ACTUALES (CONT.)

1861		COLEGIO DE INGENIEROS DE VENEZUELA		Departamento de Análisis y Costos											
ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS															
EDICION: MARZO 2012															
DATOS DE LA PARTIDA:															
Partida #	COVENIN	Unidad	Cantidad del Análisis	Rendimiento	Precio Unitario	F.C.A.S.	Cantidad de Partida	Cálculos por Rendimiento							
7	M.800.112.000	Und	1,00 Und	2,000	1.511,23	467,20%	3,00								
Descripción de la Partida:															
LIMPIEZA DE TANQUE DE AGUA DE 100.000 LTS.															
MATERIALES															
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO (Bs.)	TOTAL (Bs.)											
AGUA-TARIFA INDUSTRIAL TIPO "B"	m3	0,1000	2,80	0,28											
HIPOCLORITO DE SODIO-CUNETE= 5Gal (24 Kgr)	Kgr	1,5000	5,42	8,13											
		% Costo Directo:	0,70	Total Materiales Bs.:											
		% Precio Unitario:	0,50	Unitario de Materiales Bs.:											
				8,41											
EQUIPOS															
DESCRIPCION	CANTIDAD	COP	COSTO (Bs.)	TOTAL (Bs.)											
MANGUERA PLASTICA DE D= 1/2" Y L=100 m (TIPO CULEBRA)	1,00	0,00800	474,00	3,79											
PALA REDONDA	2,00	0,01000	118,00	2,36											
ESCALERA EXTENSIBLE ALUMINIO 20 TRAMOS	1,00	0,01000	1.452,00	14,52											
TOBO DE GOMA DE CAPACIDAD=10 l. PARA ALBAÑIL	2,00	0,01000	72,50	1,45											
		% Costo Directo:	0,93	Total Equipos Bs.:											
		% Precio Unitario:	0,65	Unitario de Equipos Bs.:											
				11,06											
MANO DE OBRA															
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL (Bs.)		TOTAL (Bs.)											
OBRAERO DE 1ra.	4,00	77,56		310,24											
PLOMERO DE 1ra.	1,00	104,14		104,14											
		% Costo Directo:	98,37	Sub-Total Mano de Obra Bs.:											
		% Precio Unitario:	69,43	Factor de Costos asociados al Salario (467,20%) Bs.:											
				1.935,98											
				Total Mano de Obra + Factor de Costos Bs.:											
				2.350,36											
				Bono Alimenticio (Incluido en F.C.A.S. - Bs. 40,50) x 5,00 Bs.:											
				0,00											
				Total Bono Alimenticio + Mano de Obra + Factor de Costos Bs.:											
				2.350,36											
				Unitario de Mano de Obra Bs.:											
				1.175,18											
				Costo directo por unidad Bs.:											
				1.194,65											
				Administración (10,00%) Bs.:											
				119,46											
				Sub-total Administración + Costo directo por unidad Bs.:											
				1.314,11											
				Utilidad (15,00%) Bs.:											
				197,12											
				Sub-total Utilidad + Administración + Costo directo por unidad Bs.:											
				1.511,23											
				Precio Unitario sin I.V.A. Bs.:											
				1.511,23											
PRECIO UNITARIO: Bs. 1.511,23															
<table border="1" style="margin-left: auto;"> <tr> <td>CANTIDAD</td> <td>x</td> <td>P.U (Bs.)</td> <td>=</td> <td>TOTAL PARTIDA (Bs.)</td> </tr> <tr> <td>3,00</td> <td></td> <td>1.511,23</td> <td></td> <td>4.533,69</td> </tr> </table>						CANTIDAD	x	P.U (Bs.)	=	TOTAL PARTIDA (Bs.)	3,00		1.511,23		4.533,69
CANTIDAD	x	P.U (Bs.)	=	TOTAL PARTIDA (Bs.)											
3,00		1.511,23		4.533,69											

Fuente: Colegio de Ingenieros de Venezuela. Departamento de Análisis y Costos.



TABLA F.2. ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS DEL REDISEÑO DE UNIDADES ACTUALES (CONT.)

 Colegio de Ingenieros de Venezuela Departamento de Análisis y Costos								
ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS								
EDICION: MARZO 2012								
DATOS DE LA PARTIDA:								
Partida #	COVENIN	Unidad	Cantidad del Análisis	Rendimiento	Precio Unitario	F.C.A.S.	Cantidad de Partida	Cálculos por Rendimiento
8	E-721.231.110	m2	1,00 m2	268,000	40,85	385,60%	120,00	
Descripción de la Partida:								
LIMPIEZA DE SUPERFICIES CON EQUIPO DE CHORRO DE ARENA (SANDBLASTING) CAP 870 lts/min AIRE 6 atm.								
MATERIALES								
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO (Bs.)	TOTAL (Bs.)				
TRANSPORTE DE MATERIALES (10%)	%	0,1000	20,55	2,06				
ARENA DE PLAYA TAMIZADA	m3	0,0775	265,14	20,55				
		% Costo Directo:	70,02	Total Materiales Bs.:	22,61			
		% Precio Unitario:	49,42	Unitario de Materiales Bs.:	22,61			
EQUIPOS								
DESCRIPCION	CANTIDAD	COP	COSTO (Bs.)	TOTAL (Bs.)				
CARRETILLA DE RUEDAS NEUMATICAS DE CAPACIDAD= 55 l	1,00	0,00790	619,01	4,89				
EQUIPO ARENADOR COMPLETO 04 Max.365psi 20L/min 90°	1,00	0,00300	1.701,53	5,10				
PALA RECTANGULAR (M/METAL NEGRO) BELLOTA	1,00	0,01000	125,00	1,25				
ESCOBA	1,00	0,00250	49,50	0,12				
EQUIPO SANDBLASTING 870 LTS:MIN AIRE 6 atm	1,00	0,00300	22.854,00	68,56				
EQUIPO PROTECCION PARA SANDBLASTING CLIMATIZADO	1,00	0,00300	3.649,07	10,95				
		% Costo Directo:	1,05	Total Equipos Bs.:	90,87			
		% Precio Unitario:	0,74	Unitario de Equipos Bs.:	0,34			
MANO DE OBRA								
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL (Bs.)	TOTAL (Bs.)					
OBRERO DE 1ra.	4,00	77,56	310,24					
AYUDANTE	1,00	83,05	83,05					
OPERADOR DE EQUIPO LIVIANO	1,00	93,11	93,11					
MAESTRO DE OBRAS ELECTROMECHANICAS	0,25	115,25	28,81					
		% Costo Directo:	28,93	Sub-Total Mano de Obra Bs.:	515,21			
		% Precio Unitario:	20,42	Factor de Costos asociados al Salario (385,60%) Bs.:	1.986,65			
				Total Mano de Obra + Factor de Costos Bs.:	2.501,86			
				Bono Alimenticio (Incluido en F.C.A.S. - Bs. 40,50) x 6,25 Bs.:	0,00			
				Total Bono Alimenticio + Mano de Obra + Factor de Costos Bs.:	2.501,86			
				Unitario de Mano de Obra Bs.:	9,34			
				Costo directo por unidad Bs.:	32,29			
				Administración (10,00%) Bs.:	3,23			
				Sub-total Administración + Costo directo por unidad Bs.:	35,52			
				Utilidad (15,00%) Bs.:	5,33			
				Sub-total Utilidad + Administración + Costo directo por unidad Bs.:	40,85			
				Precio Unitario sin I.V.A. Bs.:	40,85			
				PRECIO UNITARIO: Bs. 40,85				

CANTIDAD	x	P.U. (Bs.)	=	TOTAL PARTIDA (Bs.)
120,00		40,85		4.902,00



TABLA F.2. ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS DEL REDISEÑO DE UNIDADES ACTUALES (CONT.)

 Colegio de Ingenieros de Venezuela Departamento de Análisis y Costos																			
ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS																			
EDICION: MARZO 2012																			
DATOS DE LA PARTIDA:																			
Partida #	COVENIN	Unidad	Cantidad del Análisis	Rendimiento	Precio Unitario	F.C.A.S.	Cantidad de Partida	Cálculos por Rendimiento											
9	E-706.122.525	equip	1,00 equip	1,000	7.736,95	385,60%	1,00												
Descripción de la Partida:																			
SUMINISTRO, TRANSPORTE E INSTALACION COMPRESOR DE AIRE VERTICAL 25lbs MOTOR 2HP, 1 FASE, 80-125lbs. SALIDA PARA 2 PUNTOS.																			
MATERIALES																			
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO (Bs.)		TOTAL (Bs.)														
LLAVE DE BOLA (ESFERICA) D=3/4"	pieza	2,0000	83,87		167,74														
TUBO HG ASTM D=3/4" L= 6,40 m	m	2,0000	41,43		82,86														
ANILLO H.C. D= 3/4"	pieza	2,0000	3,88		7,76														
TRANSPORTE DE MATERIALES (10%)	%	0,1000	3.429,38		342,94														
INTERRUPTOR TQC 1P 20A 120/240V 10KA (ATORNILLABLE)	pieza	1,0000	35,22		35,22														
CABLE SPT 2 x 12 25 A	m	4,0000	8,95		35,80														
COMPRESOR DE AIRE DE 2 HP (Membrana) 25 LTS 1 FASE	eqp	1,0000	3.100,00		3.100,00														
			% Costo Directo:	61,68	Total Materiales Bs.:		3.772,32												
			% Precio Unitario:	43,53	Unitario de Materiales Bs.:		3.772,32												
EQUIPOS																			
DESCRIPCION	CANTIDAD	COP	COSTO (Bs.)		TOTAL (Bs.)														
EQUIPO PARA INSTALACION ELECTRICA	1,00	0,00619	6.281,06		38,88														
MONTACARGA MANUAL (500Kg) 1/2 TONELADA	1,00	1,00000	229,32		229,32														
EQUIPO PARA INSTALACIONES SANITARIAS H.F.	1,00	0,00999	2.064,95		20,63														
			% Costo Directo:	4,72	Total Equipos Bs.:		288,83												
			% Precio Unitario:	3,33	Unitario de Equipos Bs.:		288,83												
MANO DE OBRA																			
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL (Bs.)		TOTAL (Bs.)															
OBRERO DE 1ra.	2,00	77,56		155,12															
AYUDANTE	1,00	83,05		83,05															
PLOMERO DE 1ra.	1,00	104,14		104,14															
ELECTRICISTA DE 1ra.	0,50	104,14		52,07															
MAESTRO DE OBRAS ELECTROMECHANICAS	0,25	115,25		28,81															
			% Costo Directo:	33,60	Sub-Total Mano de Obra Bs.:		423,19												
			% Precio Unitario:	23,72	Factor de Costos asociados al Salario (385,60%) Bs.:		1.631,82												
					Total Mano de Obra + Factor de Costos Bs.:		2.055,01												
					Bono Alimenticio (Incluido en F.C.A.S. - Bs. 40,50) x 4,75 Bs.:		0,00												
					Total Bono Alimenticio + Mano de Obra + Factor de Costos Bs.:		2.055,01												
					Unitario de Mano de Obra Bs.:		2.055,01												
					Costo directo por unidad Bs.:		6.116,16												
					Administración (10,00%) Bs.:		611,62												
					Sub-total Administración + Costo directo por unidad Bs.:		6.727,78												
					Utilidad (15,00%) Bs.:		1.009,17												
					Sub-total Utilidad + Administración + Costo directo por unidad Bs.:		7.736,95												
					Precio Unitario sin I.V.A. Bs.:		7.736,95												
PRECIO UNITARIO: Bs. 7.736,95																			
<table border="1" style="margin-left: auto;"> <tr> <td>CANTIDAD</td> <td>x</td> <td>P.U. (Bs.)</td> <td>=</td> <td>TOTAL PARTIDA (Bs.)</td> </tr> <tr> <td>1,00</td> <td></td> <td>7.736,95</td> <td></td> <td>7.736,95</td> </tr> </table>										CANTIDAD	x	P.U. (Bs.)	=	TOTAL PARTIDA (Bs.)	1,00		7.736,95		7.736,95
CANTIDAD	x	P.U. (Bs.)	=	TOTAL PARTIDA (Bs.)															
1,00		7.736,95		7.736,95															

Fuente: Colegio de Ingenieros de Venezuela. Departamento de Análisis y Costos.



TABLA F.2. ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS DEL REDISEÑO DE UNIDADES ACTUALES (CONT.)

 Colegio de Ingenieros de Venezuela Departamento de Análisis y Costos																		
ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS																		
EDICION: MARZO 2012																		
DATOS DE LA PARTIDA:																		
Partida #	COVENIN	Unidad	Cantidad del Análisis	Rendimiento	Precio Unitario	F.C.A.S.	Cantidad de Partida	Cálculos por Rendimiento										
10	R.600.000.001	pto	1,00 pto	8,000	190,90	467,20%	3,00											
Descripción de la Partida:																		
DESTAPADO DE RAMALES DE AGUAS NEGRAS CON EQUIPOS Y GUAYAS ELECTRICAS																		
MATERIALES																		
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO (Bs.)		TOTAL (Bs.)													
- ESTA PARTIDA NO TIENE MATERIALES -		0,0000	0,00		0,00													
			% Costo Directo:	0,00	Total Materiales Bs.:		0,00											
			% Precio Unitario:	0,00	Unitario de Materiales Bs.:		0,00											
EQUIPOS																		
DESCRIPCION	CANTIDAD	COP	COSTO (Bs.)		TOTAL (Bs.)													
MARTILLO BELLOTA DE 710 gr	2,00	0,01000	104,27		2,09													
JUEGO DE LLAVES COMBINADAS DE HASTA 1-1/2"	1,00	0,01000	1.502,24		15,02													
TOBO DE GOMA DE CAPACIDAD=10 l. PARA ALBAÑIL	2,00	0,01000	72,50		1,45													
DESTAPADORA D/CAÑERIAS RIDGID MOD K-50S/ACC.115V	1,00	0,00300	11.995,38		35,99													
GUAYA DESTAPADORA C-4 MARCA RIDGID	3,00	0,01000	854,39		25,63													
			% Costo Directo:	6,64	Total Equipos Bs.:		80,18											
			% Precio Unitario:	4,69	Unitario de Equipos Bs.:		10,02											
MANO DE OBRA																		
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL (Bs.)		TOTAL (Bs.)														
AYUDANTE	1,00	83,05		83,05														
PLOMERO DE 1ra.	1,00	104,14		104,14														
MAESTRO PLOMERO DE 1ra.	0,10	115,25		11,53														
		% Costo Directo:	93,36	Sub-Total Mano de Obra Bs.:		198,72												
		% Precio Unitario:	65,89	Factor de Costos asociados al Salario (467,20%) Bs.:		928,42												
				Total Mano de Obra + Factor de Costos Bs.:		1.127,14												
				Bono Alimenticio (Incluido en F.C.A.S. - Bs. 40,50) x 2,10 Bs.:		0,00												
				Total Bono Alimenticio + Mano de Obra + Factor de Costos Bs.:		1.127,14												
				Unitario de Mano de Obra Bs.:		140,89												
				Costo directo por unidad Bs.:		150,91												
				Administración (10,00%) Bs.:		15,09												
				Sub-total Administración + Costo directo por unidad Bs.:		166,00												
				Utilidad (15,00%) Bs.:		24,90												
				Sub-total Utilidad + Administración + Costo directo por unidad Bs.:		190,90												
				Precio Unitario sin I.V.A. Bs.:		190,90												
PRECIO UNITARIO: Bs. 190,90																		
<table border="1" style="margin-left: auto;"> <tr> <td>CANTIDAD</td> <td>x</td> <td>P.U. (Bs.)</td> <td>=</td> <td>TOTAL PARTIDA (Bs.)</td> </tr> <tr> <td>3,00</td> <td></td> <td>190,90</td> <td></td> <td>572,70</td> </tr> </table>									CANTIDAD	x	P.U. (Bs.)	=	TOTAL PARTIDA (Bs.)	3,00		190,90		572,70
CANTIDAD	x	P.U. (Bs.)	=	TOTAL PARTIDA (Bs.)														
3,00		190,90		572,70														

Fuente: Colegio de Ingenieros de Venezuela. Departamento de Análisis y Costos.