



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA



**PROPUESTA PARA LA ADECUACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE
AGUAS DE PROCESO DE SMURFIT KAPPA CARTÓN DE
VENEZUELA, S.A., DIVISIÓN UNIÓN GRÁFICA**

Tutor Académico: Prof. Leyda Escalona
Tutor Industrial: Ing. Daisy Pérez

Autor:
Br. Miguel Ramos
C.I: 18.252.002

Valencia, Junio de 2012



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA



**PROPUESTA PARA LA ADECUACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE
AGUAS DE PROCESO DE SMURFIT KAPPA CARTÓN DE
VENEZUELA, S.A., DIVISIÓN UNIÓN GRÁFICA**

*Trabajo especial de grado presentado ante la ilustre Universidad de
Carabobo para optar por el título de Ingeniero Químico*

Tutor Académico: Prof. Leyda Escalona
Tutor Industrial: Ing. Daisy Pérez

Autor:
Br. Miguel Ramos
C.I: 18.252.002

Valencia, Junio de 2012

DEDICATORIA

Al culminar esta etapa educativa, de exigente trayectoria académica y humana, me alegra el poder dedicar este triunfo:

A mi Señor Jesús, por ser mi guía y mi fortaleza, quien me ilumino para no desistir ante las adversidades que se me presentaron a lo largo de mi carrera. A La Virgen María, quien intercedió por mí para finalizar esta etapa de estudio.

A mis padres, Yilda Martínez de Ramos y Miguel Ramos, quienes me han dado su apoyo incondicional y su comprensión en tan arduo camino, por ser mi ejemplo a seguir y enseñarme que no importa el tiempo y la edad, lo importante es llegar a la meta, y sobre todo haber disfrutado el camino recorrido.

A mí querida hermana Yilangel Ramos, quien también es mi ejemplo a seguir, siempre confió en mí y me apoyo en todo momento. A mi sobrino ahijado Santiago Delgado quien desde su nacimiento me ha motivado ha cumplir mi meta.

A mi novia Beatriz, quien me ayudo incondicionalmente en el desarrollo de este trabajo de grado, y que con sus palabras de aliento en los momentos más difíciles me ayudo a no perder el horizonte y seguir adelante.

A mi abuela Emilia Carrillo, por dedicar tantas tardes de mi niñez en mi formación académica, desde siempre ha sido un pilar fundamental, apoyándome en mi educación y crecimiento.

A mi abuela Angélica Pérez, y demás familiares que han estado pendientes de mi en todo momento y me han ayudado de una u otra forma a lo largo de mi carrera.

AGRADECIMIENTOS

A la Profesora Leyda Escalona, por su colaboración como tutora académica y de contenido, excelente profesora, amiga y tutora, siempre con una mano incondicional, gracias por el tiempo invertido en apoyo a la culminación de esta tesis.

A la Ingeniera Daisy Pérez, por su gran aporte como profesional en la ejecución de este trabajo de grado, por brindarme la confianza y motivación para desenvolverme dentro del campo laboral de forma exitosa. Al Ingeniero Iván Parra, quien en numerosas oportunidades me brindo su apoyo incondicional, tendiéndome una mano amiga y guiándome con sus valiosos conocimientos para el desarrollo de esta tesis.

A la Universidad de Carabobo, que es mi alma mater, en cuyas aulas pude formarme gracias a excelentes profesores, hoy en día me siento orgulloso de ser un profesional egresado de esta prestigiosa casa de estudios.

A Smurfit Kappa Cartón de Venezuela, como corporación, así como a sus divisiones Unión Gráfica y Cartones Nacionales, por abrirme sus puertas para la elaboración exitosa de el presente trabajo de grado, facilitándome sus instalaciones y equipos, así como poniendo a mi disposición la colaboración del personal que allí labora.

A mis compañeros de trabajo, en especial a los operadores de la planta de tratamiento y a todas aquellas personas, familiares, amistades, profesores y colaboradores que de manera desinteresada contribuyeron a presentar esta investigación.

A todos ustedes, muchas gracias!!!.

Miguel Angel Ramos Martínez.

RESUMEN

El presente trabajo tiene como finalidad proponer una alternativa de adecuación para la planta de tratamiento de aguas provenientes del proceso de la empresa Unión Gráfica, al Decreto N° 3219 titulado: Normas para la clasificación y control de calidad de las aguas de la Cuenca del Lago de Valencia.

Inicialmente se realizó un diagnóstico de los procesos de producción y de tratamiento de aguas, luego se realizaron las mediciones de DBO_5 y DQO durante un tiempo de 6 meses, posteriormente se generaron las alternativas de solución mediante la aplicación de cuestionarios y entrevistas al personal de la planta y especialistas en el área, luego se evaluó cada alternativa generada a través de una matriz de selección con el fin de elegir la más conveniente tomando en consideración principalmente los costos asociados, la eficiencia, la factibilidad técnica y los riesgos que implica su uso para la empresa y sus trabajadores. Finalmente se determinó su costo de implementación y beneficios.

Las eficiencias en la remoción de DQO obtenidas en los tratamientos fueron: trampa de grasas 33,02%, reactor físico-químico 43,68% y filtros 52,11%. Los últimos resultados obtenidos a la salida de los filtros fueron: 361,1 mg/L de DBO_5 , 748,1 mg/L de DQO y 0,483 de relación de DBO_5/DQO . La alternativa seleccionada fue la aplicación de un tratamiento adicional basado en la oxidación química con hipoclorito de sodio, junto a la optimización y automatización del proceso de coagulación floculación actual de la planta de tratamiento y el diseño de un plan y hoja de control para hacer el seguimiento de las variables en el proceso de tratamiento.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
Introducción	1
Capítulo I. Planteamiento del problema	
I.1 Planteamiento del problema.....	3
I.1.1 Descripción del problema.....	3
I.1.2 Formulación del problema.....	8
I.1.2.1 Situación actual.....	9
I.1.2.2 Situación deseada.....	9
I.1.3 Objetivos.....	10
I.1.3.1 Objetivo general.....	10
I.1.3.2 Objetivos específicos.....	10
I.1.4 Justificación.....	11
I.1.5 Limitaciones.....	11
Capítulo II. Marco teórico	
II.1 Antecedentes.....	12
II.2 Revisión bibliográfica.....	17
II.2.1 Aguas residuales.....	17
II.2.2 Tratamiento y disposición.....	18
II.2.3 Parámetros para la medición de la calidad del agua.....	20
II.2.4 Materia orgánica.....	21
II.2.5 Factor de biodegradabilidad.....	22
II.2.6 Procesos unitarios empleados para el tratamiento de aguas industriales.....	23
II.2.6.1 Tratamiento primario.....	23
II.2.6.2 Tratamiento secundario.....	38
II.2.6.3 Tratamientos avanzados para el tratamiento de aguas industriales.....	39
II.2.7 Definiciones básicas.....	48
II.2.8 Parámetro estadístico.....	51

II.3	Información industrial.....	51
II.4	Descripción del proceso de tratamiento de aguas provenientes del proceso de Unigra.....	54
Capítulo III. Marco metodológico		
III.1	Tipo de proyecto.....	62
III.2	Síntesis metodológica.....	63
III.3	Descripción de las fases metodológicas.....	65
III.3.1	Diagnóstico del proceso productivo, de las variables involucradas en el tratamiento (DBO ₅ , DQO), de los equipos e instalaciones de la planta de tratamiento de Unigra.....	65
III.3.2	Determinación de la relación DBO ₅ /DQO actual de la planta de tratamiento, que sirvan de punto de partida para el diseño de la propuesta.....	70
III.3.3	Generación de las diferentes alternativas para la adecuación de la planta de tratamiento.....	73
III.3.4	Selección de la mejor alternativa para cumplir con los objetivos planteados.....	75
III.3.5	Dimensionamiento de la alternativa seleccionada para que los parámetros DBO ₅ y DQO se encuentren dentro de los valores permitidos en el decreto N° 3219.....	79
III.3.6	Determinación la relación costo-beneficio para la propuesta planteada.....	80
Capítulo IV. Generación de soluciones		
IV.1	Diagnóstico del proceso actual de tratamiento de aguas provenientes del proceso.....	83
IV.1.1	Producción.....	84
IV.1.1.1	Área de impresión.....	84
IV.1.1.2	Área de lavado de coleros.....	87
IV.1.2	Planta de tratamiento.....	87
IV.1.3	Manual de operación de la planta de tratamiento de Unigra....	93
IV.2	Relación DBO ₅ /DQO de la planta de	102

tratamiento.....	
IV.2.1 Estudio de la DQO, la DBO ₅ y el factor de biodegradabilidad.....	108
IV.2.2 Estudio de la eficiencia en los tratamientos.....	112
IV.3 Generación de alternativas de adecuación.....	112
IV.4 Selección de la alternativa de adecuación.....	118
Capítulo V. Especificaciones de la propuesta de alternativas	
V.1 Optimización del proceso de coagulación floculación de la planta de tratamiento de Unigra.....	124
V.2 Aplicación de un tratamiento avanzado de oxidación química con hipoclorito de sodio.....	132
V.3 Automatización del tratamiento físico-químico.....	135
V.4 Otras mejoras a implementar en la planta de tratamiento de Unigra....	143
V.4.1 Mejoras en el área de filtración.....	143
V.4.2 Mejoras en el área de lavado de mopas y tobos.....	143
V.4.3 Mejoras en la realización de pruebas de jarra.....	143
V.4.4 Realización de un mantenimiento anual.....	143
V.5 Elaboración de un plan de control operativo de la planta de tratamiento con su correspondiente planilla de control.....	145
V.6 Relación costo-beneficio de la propuesta planteada.....	147
Conclusiones.....	151
Recomendaciones.....	152
Referencias bibliográficas.....	153
Apéndices	
Apéndice A. Cálculos típicos.....	157
Apéndice B. Herramientas metodológicas.....	179
Apéndice C. Figuras y tablas bibliográficas.....	198
Apéndice D. Carta y hoja de control.....	203
Apéndice E. Cotizaciones de equipos.....	211

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 2.1 Factor de biodegradabilidad.....	22
Tabla 2.2 Índice de floculación de Willcomb.....	35
Tabla 2.3 Aplicaciones de la cloración en el tratamiento de aguas residuales.....	40
Tabla 3.1 Matriz de selección para tratamientos.....	76
Tabla 3.2 Matriz de selección para productos químicos.....	76
Tabla 4.1 Prueba de vialidad bacteriana a diferentes concentraciones de las muestras.....	85
Tabla 4.2 Curva de crecimiento bacteriano.....	86
Tabla 4.3 Límites y rangos máximos de concentraciones de los vertidos líquidos que sean o vayan a ser descargados a redes cloacales.....	88
Tabla 4.4 Caracterizaciones realizadas por Hidrolab Toros Consultores.....	89
Tabla 4.5 Dosificación del policloruro de aluminio al 10 %.....	94
Tabla 4.6 Relación DBO ₅ /DQO (01-04-2011 hasta 14-07-2011).....	103
Tabla 4.7 Lugar de toma de muestras para el 2do periodo de estudio.....	105
Tabla 4.8 DBO ₅ proceso completo de tratamiento de aguas, Unigra (24-10-2011 hasta 11-11-2011).....	105
Tabla 4.9 DQO proceso completo de tratamiento de aguas, Unigra (24-10-2011 hasta 11-11-2011).....	106
Tabla 4.10 Relación DBO ₅ /DQO (24-10-2011 hasta 11-11-2011).....	107
Tabla 4.11 Eficiencia en la remoción de la concentración de la DQO en los tratamientos (24-10-2011 hasta 11-11-2011).....	107
Tabla 4.12 Resultados de la aplicación del cuestionario de preguntas abiertas y cerradas.....	113

Tabla 4.13	Tratamientos sugeridos por los especialistas.....	116
Tabla 4.14	Mejoras a los procesos de producción y tratamiento de las aguas provenientes del proceso.....	117
Tabla 4.15	Ponderación de los criterios para la matriz de selección de tratamientos.....	118
Tabla 4.16	Ponderación de los criterios para la matriz de selección de productos químicos.....	119
Tabla 4.17	Matriz aplicada para la selección de tratamientos.....	120
Tabla 4.18	Matriz aplicada para la selección de productos químicos.....	120
Tabla 4.19	Ventajas y desventajas de los tratamientos seleccionados.....	122
Tabla 4.20	Ventajas y desventajas de los productos químicos seleccionados.....	123
Tabla 5.1	Resultados de la prueba de jarra de Unigra.....	125
Tabla 5.2	Dimensionamiento para la optimización del proceso de coagulación floculación.....	129
Tabla 5.3	Especificaciones del grupo de dosificación.....	130
Tabla 5.4	Especificaciones del medidor en línea.....	131
Tabla 5.5	Características de la bomba dosificadora marca INJECTA.....	131
Tabla 5.6	Dimensionamiento para la dosificación de hipoclorito de sodio..	133
Tabla 5.7	Especificaciones para la dosificación de hipoclorito de sodio....	134
Tabla 5.8	Entradas del PLC para la automatización de la planta de tratamiento de Unigra.....	136
Tabla 5.9	Salidas del PLC para la automatización de la planta de tratamiento de Unigra.....	137
Tabla 5.10	Procedimiento a ejecutar por el PLC.....	138
Tabla 5.11	Especificaciones del PLC.....	140
Tabla 5.12	Especificaciones de los equipos para la automatización.....	141
Tabla 5.13	Especificaciones de las otras mejoras a la planta de tratamiento.....	144
Tabla 5.14	Carta de control operativo de los filtros de la planta de tratamiento de aguas provenientes del proceso de Unigra.....	146

Tabla 5.15	Monto de ahorro estimado en base a las multas aplicables.....	148
Tabla 5.16	Monto de ahorro estimado en base al cierre de la planta.....	148
Tabla 5.17	Costos de los equipos e inversión inicial de la propuesta.....	149
Tabla A.1	Datos para la determinación de la dosificación de coagulante...	166
Tabla A.2	Datos para la determinación de la dosificación de floculante.....	168
Tabla A.3	Datos para la determinación de la dosificación de soda cáustica.....	170
Tabla A.4	Datos del coagulante para la determinación del caudal de operación de la bomba.....	175
Tabla A.5	Datos obtenidos en la prueba de jarra para el polímero NALCO 7530 y la soda cáustica.....	176
Tabla B.1	Características de la planta de tratamiento.....	192
Tabla B.2	Datos para la determinación de la concentración de DQO en la planta de tratamiento de Smurfit Kappa Cartón de Venezuela, S.A., división Unión Gráfica (1er Periodo).....	195
Tabla B.3	Datos para la determinación de la concentración de DBO ₅ en la planta de tratamiento de Smurfit Kappa Cartón de Venezuela, S.A., división Unión Gráfica (1er Periodo).....	195
Tabla B.4	Datos para la determinación de la concentración de DQO en la planta de tratamiento de Smurfit Kappa Cartón de Venezuela, S.A., división Unión Gráfica (2do Periodo).....	196
Tabla B.5	Datos para la determinación de la concentración de DBO ₅ en la planta de tratamiento de Smurfit Kappa Cartón de Venezuela, S.A., división Unión Gráfica (2do Periodo).....	197
Tabla C.1	Límites y rangos máximos de concentraciones de los vertidos líquidos que sean o vayan a ser descargados a redes cloacales.....	200
Tabla D.1	Carta de control operativo de la trampa de aceites y grasas.....	204
Tabla D.2	Carta de control operativo de la estación de bombeo.....	205
Tabla D.3	Carta de control operativo del tanque de igualación.....	206
Tabla D.4	Carta de control operativo de la tolva ó reactor físico-químico...	207

Tabla D.5	Carta de control operativo del tanque de clarificado.....	208
Tabla D.6	Hoja de control de la planta de tratamiento de aguas provenientes del proceso de Unigra.....	209
Tabla E.1	Precios de referencia para la automatización de la planta de tratamiento de Unigra, suministrado por S.G.A, C.A.....	227

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1.1 Diagrama de bloques de la planta de tratamiento de aguas provenientes del proceso de Smurfit Kappa Cartón de Venezuela, S.A., división Unión Gráfica.....	5
Figura 1.2 Comportamiento de la concentración de la DBO ₅ para el año 2010.....	7
Figura 1.3 Comportamiento de la concentración de la DQO para el año 2010.....	8
Figura 2.1 Estabilidad de los coloides.....	23
Figura 2.2 Fases de la coagulación.....	24
Figura 2.3 Desestabilización de la partícula coloidal.....	26
Figura 2.4 Distribución de coagulante.....	32
Figura 2.5 Condiciones de mezcla coagulante – agua.....	32
Figura 2.6 Actividad del polímero como ayudante de floculación.....	34
Figura 2.7 Comparador del tamaño de floc según Water Research Institute de Inglaterra.....	35
Figura 2.8 Experimento de la ósmosis.....	45
Figura 2.9 Ósmosis inversa.....	46
Figura 2.10 Diagrama de un sistema tubular para el tratamiento de las aguas residuales mediante ósmosis inversa.....	48
Figura 2.11 Vista aérea de Unigra.....	53
Figura 2.12 Máquinas de impresión Unigra.....	53
Figura 2.13 Tanquilla de producción.....	55
Figura 2.14 Trampa de grasas.....	55
Figura 2.15 Tanque a la salida de la trampa de grasas.....	55
Figura 2.16 Tanque a la salida de la trampa de grasas.....	55
Figura 2.17 Trampa de grasas y estación de bombeo.....	56
Figura 2.18 Planta de tratamiento de Unigra.....	56
Figura 2.19 Tanque de recepción.....	57

Figura 2.20	Batea de lavado de coleros.....	57
Figura 2.21	Tanque de igualación.....	58
Figura 2.22	Reactor físico-químico.....	58
Figura 2.23	Mezclador del reactor físico-químico.....	59
Figura 2.24	Descarga del reactor sedimentador.....	59
Figura 2.25	Lechos de secado.....	60
Figura 2.26	Tanque de clarificado.....	60
Figura 2.27	Filtros.....	61
Figura 4.1	Curva de crecimiento bacteriano utilizando el Rodep Graf como única fuente de carbono.....	86
Figura 4.2	Diagrama de causa – efecto del proceso de tratamiento de aguas provenientes del proceso de Smurfit Kappa Cartón de Venezuela, S.A., división Unión Gráfica.....	91
Figura 4.3	Criterios más influyentes del diagrama de causa – efecto del proceso de tratamiento de aguas provenientes del proceso de Smurfit Kappa Cartón de Venezuela, S.A., división Unión Gráfica.....	92
Figura 4.4	Concentración de DBO_5 a la salida de los filtros (01-04-2011 hasta 14-07-2011) y concentración del DBO_5 exigido en el Decreto N° 3219.....	104
Figura 4.5	Concentración de DQO a la salida de los filtros (01-04-2011 hasta 14-07-2011) y concentración del DQO exigido en el Decreto N° 3219.....	104
Figura 4.6	Concentración de la DQO a la salida de los filtros (24-10-2011 hasta 11-11-2011) y concentración de la DQO exigida en el Decreto N° 3219.....	107
Figura 4.7	Esquema del proceso de tratamiento de aguas de Unigra desde el 24/10/11 hasta el 11/11/11.....	108
Figura 5.1	Determinación de la dosis mínima para obtener floculo visible en la planta de tratamiento de aguas provenientes del proceso de Unigra.....	126

Figura 5.2	Determinación del pH de reacción en la planta de tratamiento de aguas provenientes del proceso de Unigra.....	126
Figura 5.3	Determinación del pH de operación en la planta de tratamiento de aguas provenientes del proceso de Unigra.....	127
Figura A.1	Diagrama de bloques del proceso de oxidación química con hipoclorito de sodio al 8% de la planta de tratamiento.....	172
Figura B.1	Validación de las entrevistas aplicadas.....	180
Figura B.2	Validación de los cuestionarios aplicados.....	181
Figura B.3	Esquema del proceso completo de tratamiento de aguas de Unigra (2do. Periodo).....	192
Figura C.1	Ventajas y desventajas generales de los oxidantes para tratamiento de aguas.....	198
Figura C.2	Aplicaciones de la cloración en la recogida, tratamiento y evacuación de aguas residuales.....	199
Figura E.1	Cotización para los equipos de dosificación de productos químicos.....	212
Figura E.2	Cotización para el equipo de medición en línea y los medidores de presión.....	216
Figura E.3	Cotización para la bomba de suministro de efluente a los filtros.....	220
Figura E.4	Especificaciones técnicas de la bomba MINI.BOXER.....	223
Figura E.5	Cotización para el turbidímetro digital portátil.....	224
Figura E.6	Cotización para la realización de la batea de lavado de mopas.....	226

INTRODUCCIÓN

La presente investigación de la planta de tratamiento de aguas provenientes del proceso de Smurfit Kappa Cartón de Venezuela, S. A., división Unión Gráfica, se basa en el diagnóstico de los procesos de producción de estuches y de tratamiento de efluentes industriales, con el fin de adecuar las concentraciones de DBO_5 y DQO del agua tratada en la planta de tratamiento al Decreto N° 3219.

En el desarrollo de los objetivos planteados en la investigación, se aplica una metodología donde inicialmente se recopila toda la información técnica del proceso de producción y de tratamiento de aguas, haciendo énfasis en la investigación de las variables que influyen directa e indirectamente en la generación de concentraciones altas de DBO_5 y DQO, con la finalidad de generar alternativas de adecuación. Posteriormente se hace las mediciones del DBO_5 y DQO en el agua tratada en Unigra, en dos periodos distintos, donde finalmente a través de reuniones con especialistas en el área y los operadores de la misma, se fija la solución al problema, tomando en cuenta los costos asociados en la implementación, mantenimiento en el tiempo y posibles multas evitadas.

El presente trabajo consta de cinco capítulos. El primero, *planteamiento del problema*, muestra la formulación del problema, el porqué de su investigación, la situación actual y la deseada, así como los objetivos que se desean lograr (general y específicos), la justificación de dicha investigación y sus limitaciones. El segundo capítulo corresponde al *marco teórico*, donde se presentan los antecedentes, las bases teóricas que sirven de fundamento para poder realizar el presente trabajo de grado, y la descripción detallada del proceso de tratamiento. El tercer capítulo, *marco metodológico*, plantea de forma detallada las actividades llevadas a cabo para el desarrollo exitoso de los objetivos de la investigación. El cuarto capítulo, *generación de soluciones*, evalúa el proceso de producción y de tratamiento de aguas provenientes del proceso, a fin de establecer la alternativa más conveniente para la adecuación de la planta de tratamiento. El quinto capítulo, *especificaciones de la propuesta de alternativas*, detalla la alternativa con la que se obtiene el mejor resultado en el menor tiempo posible, así como el

impacto económico y beneficios que generara su implementación en Unigra. Finalmente se muestra las conclusiones, recomendaciones, referencias bibliográficas y apéndices.

Las investigaciones en el área de tratamiento de aguas provenientes de procesos industriales son de suma importancia, ya que en la actualidad, la contaminación de las aguas y las pocas reservas de agua dulce ponen en peligro la calidad de vida de los seres vivos. Es por esto, que las investigaciones futuras deberán centrarse en buscar las maneras de reutilizar el agua, lo que conlleva a estudiar la optimización de los tratamientos de agua ya existentes o la aplicación de nuevos mecanismos de tratamiento. Además que sirve como referencia a futuras investigaciones acerca de plantas de tratamiento de aguas provenientes del proceso.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

I.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En esta sección se presenta de forma clara y minuciosa el problema a estudiar, especificándose la situación actual y la deseada, así como también se muestra el objetivo general y los objetivos específicos del trabajo de grado. Posteriormente se dio a conocer las razones que justifican dicha investigación con sus correspondientes limitaciones.

I.1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Smurfit Kappa Cartón de Venezuela es una filial de Smurfit Kappa Group. Es un grupo manufacturero dedicado a satisfacer las necesidades de empaque en el mercado nacional e internacional, que inició actividades en Venezuela en el año 1954. Sus operaciones están totalmente integradas, con actividades productivas que comprenden, la siembra y manejo de plantaciones forestales, reciclaje de fibras secundarias, fabricación y venta de papel, cartulinas, cartón y empaques. Una de sus empresas filiales es Unión Gráfica Valencia (Unigra), ubicada en la Av. Domingo Olavarría, zona industrial sur, en Valencia Edo. Carabobo. Dicha planta se inaugura en el año 1974 lo que ocasionó que ese mismo año Unión Gráfica de Catia, Caracas, fuera trasladada a la zona industrial de Valencia, para formar una sola planta, colocándose entre Cartoenvases Valencia y Cartones Nacionales, esta última es el molino que produce la materia prima a Unión Gráfica.

Unigra es la fábrica de estuches plegadizos del grupo, fabricados a partir de las cartulinas hechas por Cartones Nacionales, y además abastecen un amplio sector de las industrias nacionales de productos de consumo masivo (Historia de Smurfit Kappa Cartón de Venezuela S.A., 2010).

Unigra posee una planta de tratamiento de aguas provenientes del proceso que opera bajo tratamiento físico-químico por lote o batch, debido a la carga contaminante y bajo caudal. Se tratan alrededor de 10.000,0 L/día de agua (Hidrolab Toro Consultores C.A., 1994) los lunes (4 batch), y el resto de la semana 5.000,0 L/día de agua (2 batch), para posteriormente ser enviada a la red cloacal. En teoría, los efluentes industriales de la empresa Unión Gráfica, son generados por los siguientes procesos productivos; fotolito (revelado de la plancha), actividades de impresión litográfica (lavado de rodillos, descarga de solución fuente) y de actividades de engomado del proceso de acabado (lavado de coleros).

La transferencia a la planta de tratamiento se lleva a cabo por bombeo de los efluentes de impresión litográfica, los cuales se recolectan previamente por gravedad en una tanquilla de aguas de proceso para luego ser enviados al tanque T-01 a través de la estación de bombeo de efluentes. El agua proveniente del revelado de planchas y lavado de coleros son enviadas por gravedad al mismo tanque T-01. Luego las aguas de proceso, pasan por una serie de etapas (Figura 1.1) con el propósito de obtener un agua acorde para ser enviada a la red de cloacas y que no ocasione impacto ambiental de acuerdo a lo establecido en el Decreto N° 3219, titulado: Normas para la clasificación y el control de la calidad de las aguas de la cuenca del Lago de Valencia.

Luego los efluentes son llevados por bombeo al tanque de igualación T-02, donde se oxigenan y a su vez son homogeneizados para posteriormente ser transferidos a través de una bomba hacia el tanque T-03 (Tolva), una vez alcanzado el nivel operativo, que se encuentra cercano a los 2.500,0 L, se inicia el proceso de tratamiento por cargas o lotes (batches) de forma secuencial, se prepara el coagulante (policloruro de aluminio) y también se prepara la dosificación del floculante. Una vez listos, se procede a agregar manualmente el coagulante en la tolva, se espera un periodo de cinco minutos, y luego se agrega el floculante. Posteriormente comienza con un proceso de mezclado mediante un agitador durante un periodo de un minuto. Una vez efectuado el proceso de

tratamiento se detiene el agitador y se deja la tolva en reposo por alrededor de 30 minutos para separar los lodos formados drenando el mismo hacia los lechos de secado, el sobrenadante claro del tanque T-03 (tolva) es drenado hacia el tanque de recepción T-04 también conocido como tanque de clarificado.

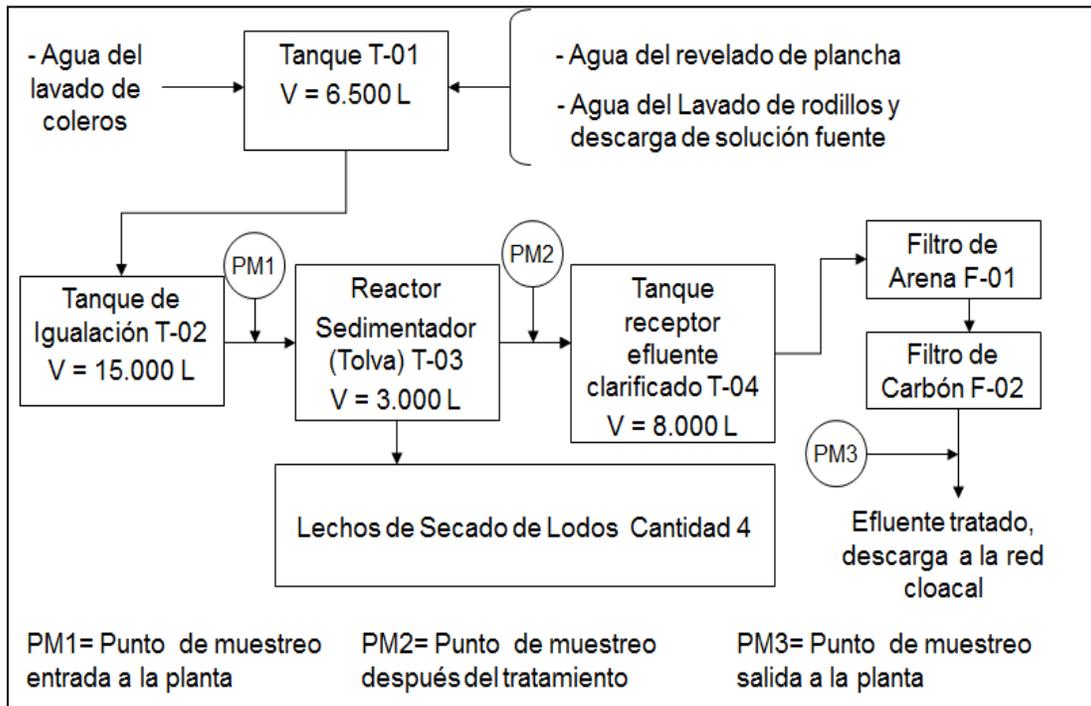


Figura 1.1. Diagrama de bloques de la planta de tratamiento de aguas provenientes del proceso de “Smurfit Kappa Cartón de Venezuela, S.A., división Unión Gráfica”.

Realizado por: Hidrolab Toro Consultores C.A. (1994)

Este efluente a través de una bomba es posteriormente sometido a un proceso de filtración por recirculación sobre los lechos de arena y de carbón. Luego es descargado con la bomba correspondiente hacia la red cloacal.

Una vez a la semana se procede a retro-lavar las unidades de filtración con agua fresca y el retro-lavado es recirculado al tanque T-02. El líquido que percola del lecho de secado es recolectado por gravedad en el tanque T-02 y el lodo seco es recogido manualmente a tambores para su disposición temporal o final en el sitio que la autoridad sanitaria determine.

En la actualidad a la planta de tratamiento llegan los siguientes efluentes:

- Proceso de litografía: químicos de la solución fuente, restos de barnices acuosos, aguas del lavado de rodillos y mantillas (químicos biodegradables, limpiador universal y solvente dieléctrico) y aceites (derramados por los equipos y que caen en la tanquilla de recolección).
- Proceso de fotolito (pequeñas cantidades): revelador de planchas y películas, fijador de películas y solución de goma arábica.
- Proceso de acabado: aguas del lavado de coleros (piezas mecánicas tipo envase donde se deposita la pega para el engomado de los estuches).
- De todos los procesos: aguas del lavado de piezas mecánicas y partes de los equipos (presencia de corrosión).
- Lavado de envases, tobos y mopas.

Desde mediados del primer trimestre del año 2010 hasta nuestros días, en la planta de tratamiento de aguas provenientes del proceso de UNIGRA, de acuerdo a análisis realizados en el laboratorio, se obtuvieron valores de DQO y DBO_5 desviados respecto a los niveles permisibles de concentración ($\text{DBO} \leq 350$ mg/L y $\text{DQO} \leq 700$ mg/L), es decir se encuentran por encima del rango aceptable para el vertido de aguas provenientes de procesos industriales a las redes cloacales establecidos en el artículo 38 del Decreto N° 3219.

Las posibles causas de este problema podrían deberse a:

- Desconocimiento de la biodegradabilidad del químico empleado en la limpieza de los rodillos y mantillas.
- Gran cantidad de químicos empleados: solución fuente, barniz, solvente dieléctrico, limpiador universal, revelador de películas y planchas, fijador de películas, goma.
- Corrosión presente en los equipos de los 3 procesos.
- Aguas provenientes del lavado de coleros, que contienen grandes cantidades de pegamento que junto al aceite derramado, ocasionan la formación de una gran capa de aceite y grasa que se acumula en el tanque

de almacenamiento T-01, que impide el intercambio de oxígeno con el ambiente y a su vez influye en que se necesite más cantidad de coagulante floculante para llevar a cabo el tratamiento.

- Aguas provenientes del lavado de mopas, tobos y envases, ya que donde usualmente los lavan no es un lugar dispuesto para ello, y que no deberían llegar a la planta de tratamiento.
- Pequeñas cantidades de aceites y grasas en el tanque de clarificado T-04 que no pudieron ser removidos en la tolva, que posteriormente pasan a los filtros, lo que ocasiona que el carbón activado pierda sus propiedades de adsorción y se tape el filtro.
- Falta de oxígeno en el tanque de igualación T-02, lo que ocasiona un olor putrefacto del agua por la descomposición de los microorganismos.
- Diseño y capacidad de la planta de tratamiento, ya que sus condiciones de operatividad han variado a través de los años.

A continuación se presentan las gráficas de incumplimiento de las concentraciones de DBO_5 y DQO exigidas por el artículo 38 del decreto N° 3219 (Figura 1.2 y Figura 1.3):

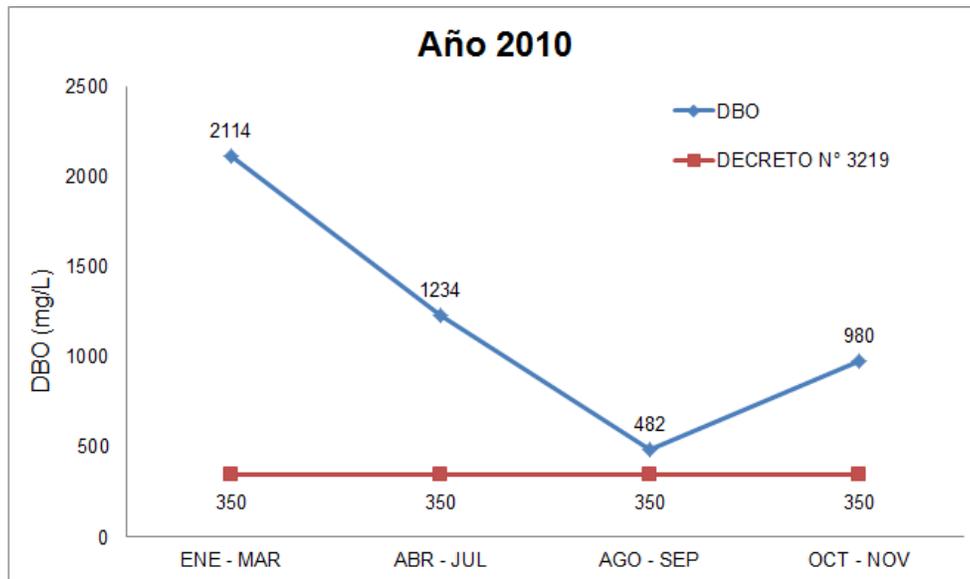


Figura 1.2. Comportamiento de la concentración de la DBO_5 para el año 2010. Realizado por: Hidrolab Toro Consultores C.A. (2011)

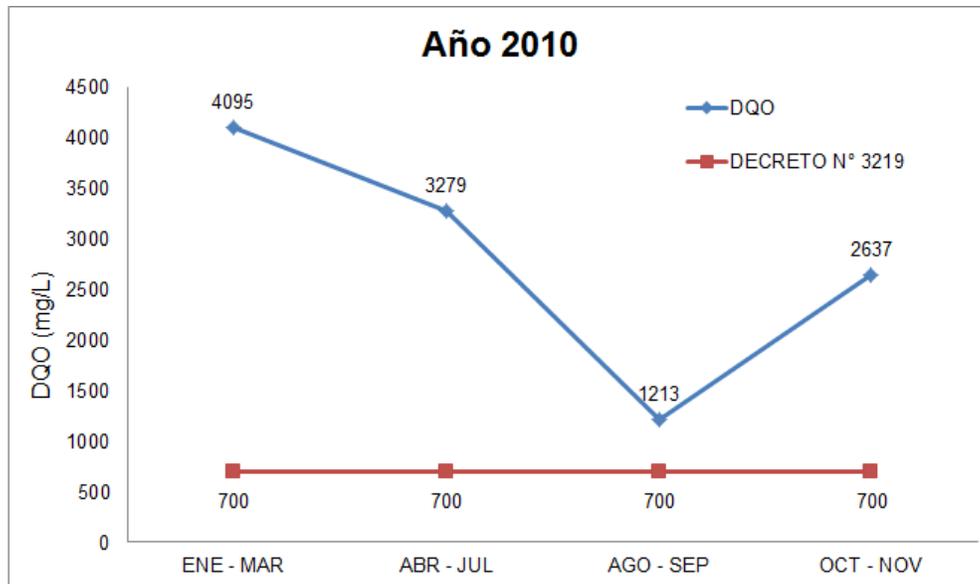


Figura 1.3. Comportamiento de la concentración de la DQO para el año 2010. Realizado por: Hidrolab Toro Consultores C.A. (2011)

Por lo antes descrito, y en la búsqueda de proponer un proceso adecuado, se plantea una alternativa de mejora en el funcionamiento de la planta de tratamiento de aguas provenientes del proceso, que contribuya a disminuir la concentración de la DBO_5 y la DQO a la salida de los filtros, logrando de esta manera que el agua tratada pueda ser enviado a la red de cloacas cumpliendo con los parámetros establecidos en el Decreto N° 3219.

I.1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

En la actualidad el agua tratada en la planta de tratamiento de aguas provenientes del proceso de UNIGRA es descargado a la red de cloacas de la zona industrial sur. Las pruebas realizadas a dicha agua tratada, desde el primer trimestre del año 2010 hasta los presentes días, obtuvieron como resultado valores de concentración de DQO y DBO_5 mayores a los establecidos en el Decreto N° 3219, por lo que, dichos valores de los parámetros físico-químicos deben controlarse y mantenerse dentro de los límites establecidos en dicho Decreto, para así poder

dar cumplimiento a la política ambiental de la empresa y lo que es más importante, a la normativa legal venezolana.

Por lo expuesto anteriormente, se necesita formular una propuesta eficaz para la adecuación de la planta de tratamiento de las aguas provenientes del proceso productivo, en la que se obtenga como resultado un agua apta para ser descargada a las cloacas, de acuerdo a lo establecido en el Decreto N° 3219, con la intención de disminuir la alta carga de contaminantes físico-químicos presentes en ella, logrando de esta manera cumplir con las normas ambientales vigentes.

I.1.2.1 Situación actual

Los resultados obtenidos de los análisis del agua tratada de la planta de tratamiento de UNIGRA, demuestran que las concentraciones de DQO y DBO₅ no se encuentran en el rango exigido en el Decreto N° 3219 en lo concerniente al vertido de aguas en redes cloacales.

Esto demuestra el mal funcionamiento de la misma o problemas en el proceso productivo debido a que el efluente viene con alta carga de contaminantes, por lo que el agua tratada constituye un gran problema de tipo ambiental. Debido a esto a principios del 2011, fue instalada una trampa de aceites y grasas previa a la estación de bombeo de efluentes, a fin de mejorar la calidad del agua tratada.

I.1.2.2 Situación deseada

Tomando en cuenta los problemas detectados tanto en el proceso productivo (en cuanto a la producción de aceites y grasas) como en el proceso de tratamiento, aunado a los valores obtenidos en los análisis de las aguas provenientes del proceso tratadas, que al ser comparados con los valores máximos permitidos en el Decreto N° 3219 sobre las especificaciones que debe tener el agua, hace

imprescindible el planteamiento de alternativas que corrijan las deficiencias presentadas en la planta de tratamiento o en el proceso productivo de UNIGRA o en ambas, para adecuar las concentraciones de DBO_5 y DQO, y así lograr la mejora del agua tratada.

El trabajo tiene por alcance proponer mejoras en el proceso productivo y/o de tratamiento, que aseguren el adecuamiento del agua para su posterior vertido, que cumpla con los niveles de concentración mínimos exigidos con la normativa legal y no generar impacto ambiental.

I.1.3 OBJETIVOS

I.1.3.1 Objetivo general

Proponer una alternativa para la adecuación de la planta de tratamiento de aguas provenientes del proceso de Smurfit Kappa Cartón de Venezuela, S.A., división Unión Gráfica, al decreto N° 3219, para su posterior vertido a la red cloacal.

I.1.3.2 Objetivos específicos

1. Diagnóstico del proceso productivo, de las variables involucradas en el tratamiento (DBO_5 y DQO) y de los equipos e instalaciones de la planta de tratamiento de Unigra.
2. Determinar la relación DBO_5 / DQO actual de la planta de tratamiento, que sirva de punto de partida para el diseño de la propuesta.
3. Generar las diferentes alternativas para la adecuación de la planta de tratamiento.
4. Seleccionar la mejor alternativa para cumplir con los objetivos planteados.

5. Dimensionar la alternativa seleccionada para que los parámetros DBO_5 y DQO se encuentren dentro de los valores permitidos en el decreto N° 3219.
6. Determinar la relación costo-beneficio para la propuesta planteada.

I.1.4 JUSTIFICACIÓN

A través de la investigación se trata de realizar un aporte en el ámbito ambiental, ya que por medio de la misma se busca adecuar el agua a la salida de la planta de tratamiento de aguas provenientes del proceso de Unigra al decreto N° 3219, para posteriormente ser descargadas a las cloacas, dando cumplimiento a las normativas y no genere ningún tipo de impacto ambiental. De esta manera se beneficiara tanto al ambiente como a Unión Gráfica, y de manera indirecta a sus trabajadores.

En este sentido, se hizo seguimiento a las concentraciones de DBO_5 y DQO provenientes de los efluentes, con la finalidad de ajustarlas a los parámetros permitidos, y de esta manera evitar multas así como el consecuente cierre de la empresa.

I.1.5 LIMITACIONES

Las limitaciones que presenta esta investigación son pocas, la de mayor relevancia es que Smurfit Kappa Cartón de Venezuela, S.A., división Unión Gráfica no cuenta con su propio laboratorio para hacerle seguimiento diario a la planta de tratamiento, por lo que hace necesario la contratación de un laboratorio externo a la empresa, especializado en la caracterización de aguas.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

II.1 ANTECEDENTES

A continuación se presentan la síntesis de las investigaciones consultadas, las cuales tienen alguna situación similar al problema formulado y que de cierta manera ya sea por contenido o metodología, serán de referencia para el desarrollo de este trabajo especial de grado. Además de las bases teóricas que fundamentan esta investigación.

Benedetti y Arias (2003), realizaron su trabajo de grado buscando lograr el mejoramiento de las condiciones de operación del módulo 3 de la planta de tratamiento de aguas residuales la mariposa. En su estudio se enfocaron en el funcionamiento de la planta de aguas residuales la mariposa tanto para la época de lluvia como de sequía del Edo. Carabobo. Se comparó los valores obtenidos en la caracterización de efluentes con los exigidos en el decreto 883 y se propusieron mejoras para disminuir el impacto ambiental. También se desarrolló un manual para la operación de los módulos de tratamiento.

Una de las características más importantes de la investigación es el hecho de que el estudio se realizó en el periodo de lluvia en las cuales las condiciones en las que llega el afluente a la planta son totalmente diferentes a las del periodo de sequía por lo que es razonable que la DBO de diseño sea mucho mayor a la DBO de trabajo; de esta manera se hace necesario el estudio en el periodo de lluvia para adecuar las condiciones que no permitan un gasto inadecuado en cuanto a consumo eléctrico. El estudio y modificación de las condiciones de operación de la planta de tratamiento de aguas residuales permite la evaluación y mejoramiento del proceso antes mencionado, en conjunto con un manual de operación que permita el aprovechamiento de las mejores condiciones de trabajo de los módulos de tratamiento de la planta siguiendo con los procedimientos rigurosos con el fin

de obtener un efluente que tenga especificaciones muy por encima de las mínimas requeridas por la gaceta 883.

Marín y Ramones (2005), trabajaron en la evaluación del proceso de coagulación en la planta de potabilización Dr. Lucio Baldó Soulés. Las características de la investigación se adecuan a un tipo evaluativo mediante una fase experimental que permitió plantear, seleccionar e implantar la alternativa más adecuada que incrementa la eficiencia del proceso de coagulación estableciendo criterios de medición de las variables, la toma de muestras compuestas y su posterior análisis.

La investigación se desarrolló durante el período de lluvias, llevándose a cabo en dos fases: la primera fase viene dada por la evaluación de las condiciones de operación iniciales de la planta y la realización de experimentos a escala de laboratorio para seleccionar la alternativa que genere mejores resultados. En la segunda fase se evalúa el comportamiento de los parámetros en estudio y las características visuales del proceso para las nuevas condiciones de operación de la planta una vez implantada la alternativa seleccionada; así como, también se verifican los resultados obtenidos.

Tejero y colaboradores (2007), su investigación se basa fundamentalmente en el análisis del reactor de lodos activados de la planta Centenario. En este estudio se presentan los resultados de la evaluación del funcionamiento del reactor de lodos activados, de la planta de tratamiento de aguas residuales "Centenario" ubicada en Chetumal, Quintana Roo. La evaluación se realizó mediante la estimación de parámetros cinéticos con un respirometro conectado en línea al reactor y la medición de la remoción de materia orgánica y nitrógeno amoniacal. Estas mediciones permitieron el cálculo de la potencia suministrada al reactor y la producción de lodos.

Los cálculos de potencia mostraron problemas de falta de control adecuado del proceso llevado al cabo en el reactor, presentándose diferencias significativas en los consumos energéticos para una similar eficiencia de remoción. Los datos

colectados en este estudio permiten una estrategia de optimización de costos del proceso del reactor de la Planta.

Feal (2009), investiga sobre la depuración de sólidos en suspensión de vertidos industriales. En su investigación se enfocó en los principios que se consideran fundamentales para la definición de técnicas de depuración para los sólidos en suspensión (SS) que se encuentran frecuentemente en los vertidos industriales. Su potencial contaminante depende de su naturaleza o composición química, que repercute en su toxicidad o peligro sobre el receptor hidráulico. Este artículo abordó desde su naturaleza física como partículas, con peso y determinado tamaño. Según la clasificación de los sólidos se evaluó cuando los sólidos se pueden filtrar y cuando se pueden decantar; dos de los procedimientos más convencionales para su tratamiento. Los tratamientos habituales para la depuración de sólidos en vertidos industriales son: decantación o sedimentación por gravedad, floculación, precipitación química, flotación, separación de grasas y aceites, filtración y otros.

Para los sólidos en suspensión, por efecto de gravedad, se aprovechan los principios de sedimentación (decantación) por su peso o, por el contrario, de su flotación en caso de ser suficientemente ligeros o menos densos que el agua que los transporta. Si los sólidos están en forma coloidal, se pueden seguir utilizando los efectos de la gravedad. Cuando las partículas tienen un cierto tamaño pueden ser capturadas por filtros y según su naturaleza, pueden ser sometidas a otros tratamientos como los biológicos. Se recomendó profusamente la realización de ensayos previos para cada caso específico para optimizar la operación.

Gil y López (2009), realizan su investigación sobre la optimización de la eliminación de colorantes y carga orgánica de aguas residuales. En su trabajo estudiaron la tecnología de electrocoagulación como un método viable para la degradación de los colorantes y carga orgánica presentes en el agua residual de floricultura y así contribuir a la minimización del impacto ambiental tan severo que producen este tipo de descargas a las fuentes de aguas potables existentes en su entorno. Los experimentos se llevaron a cabo, a escala de laboratorio, en un

reactor electroquímico de configuración mono polar. Se emplearon dos tipos de materiales diferentes para los electrodos, hierro (Fe) y aluminio (Al), y se evaluó su eficacia. El proceso de electrocoagulación está directamente afectado por un gran número de variables, de acuerdo con ensayos preliminares, se seleccionaron las siguientes variables como las más significativas: conductividad de la muestra, densidad de corriente y concentración inicial de la disolución.

Cabe destacar que los resultados que se obtuvieron le servirán a la empresa para seleccionar la tecnología de tratamiento más adecuada para sus vertidos y de esa manera no solo ayudar al cuidado y preservación del medio ambiente, sino también lograr alcanzar los estándares exigidos en la legislación ambiental internacional. En conclusión, el tratamiento de los electrodos de hierro (Fe) presentó un porcentaje de degradación del color del 100% y de la carga orgánica de las aguas residuales provenientes del proceso de tintura de flores. Los ahorros que exhibió la electrocoagulación frente a la coagulación química muestran que esta técnica no solo es viable desde el punto de vista técnico, sino también desde el económico.

Modak y colaboradores (2009), realizaron un estudio experimental sobre la eliminación del color y materia orgánica de aguas residuales, empleando un biomaterial más económico como lo es el quitosano (Quitosano). El quitosano es un componente de bajo costo, de origen biológico que actúa como adsorbente y/o coagulante principal por dos reactivos colorantes azoicos, en los textiles de aguas residuales.

En presencia de un pH natural, la eliminación completa de color se logró a partir de 0,1 g/L de soluciones acuosas de los tintes para textiles Procion Naranja MX-2R y Procion Red MX-5B con una dosis de 6 g de quitosano por litro de solución de tinte. Sin embargo, cuando el pH se redujo (de 4,8 y 5,5 respectivamente), una dosis de sólo 1 g de quitosano por litro fue suficiente para eliminar el color y reducir drásticamente los COT (carbono orgánico total) y demanda química de oxígeno para la misma concentración de colorantes. Esto permitió una reducción alrededor del 80% en volumen de producción de lodos.

La adición de fosfato de sodio di-básico y sulfato de potasio mejoraron la eliminación de colorante en un pH más alto. La decoloración disminuyó significativamente con o sin sal añadida, cuando se ajustó el pH sobre 7. Experimentos de equilibrio de adsorción mostraron que ambas soluciones de tinte siguen la isoterma de Freundlich, pero no la isoterma de Langmuir. Mediciones cinéticas muestran un mejor ajuste al modelo de pseudosegundo orden Lagergren que el modelo de primer orden Lagergren. Los análisis de superficie y micrografías electrónicas de barrido microscopio de Brunauer-Emmett-Teller, o mejor conocido como BET, fueron incluidos para una mejor comprensión de la naturaleza de la superficie del quitosano con y sin colorante adsorbido.

En conclusión, el Quitosano parece ser un producto natural, limpio y excelente para la adsorción de los colorantes Procion Naranja MX-2R y Procion Red MX-5B en condiciones ligeramente ácidas.

González y colaboradores (2010), realizaron su estudio sobre la selección de sistemas de tratamiento de aguas en zonas turísticas costeras. En su artículo describen una metodología para la selección de sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas más adecuadas para la playa varaderos de la zona costera española. La metodología se basó en 3 etapas que cubren; primero, la caracterización ambiental de la zona, segundo, la evaluación del tratamiento y tercero, la selección del sistema más adecuado, donde se analizaron las diferentes alternativas, se analizó la relación costo – beneficio y propusieron indicadores de sostenibilidad. Se aborda la evaluación y toma de decisiones sobre la base de los niveles de reducción de la contaminación y la posible reutilización del agua.

Como conclusión obtuvieron, que con la metodología seleccionada, se logró por primera vez un instrumento de gestión que incide positivamente en la calidad del turismo con una base geológica, geográfica, económica y ambiental no restringido en el ámbito de las instalaciones hoteleras, lo que confiere un valor agregado al sistema de gestión hotelera.

II.2 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

II.2.1 AGUAS RESIDUALES

De acuerdo al criterio de Martínez (2001), se entiende por aguas residuales aquellas que han sido utilizadas con un fin consuntivo, incorporando a ellas sustancias que deterioran su calidad original (contaminación), disminuyendo su potencialidad de uso. La contaminación de aguas es un término que está relacionado con el uso específico del agua y su origen puede ser desde totalmente natural o producto de descarga de sistemas de alcantarillado doméstico o industrial. Hay muchas otras fuentes de contaminación de las aguas, tales como la contaminación del aire (lluvia ácida), determinadas prácticas agrícolas, aguas lluvia urbana, percolación de agua desde depósitos de residuos sólidos domésticos, industriales o mineros, etc. El origen de las aguas residuales determina la composición y concentración de las sustancias presentes en ella. A continuación se detallan algunos aspectos generales del origen de las aguas residuales más comunes y los indicadores principales que caracterizan su composición.

Tipos de Aguas Residuales

Las aguas residuales más comunes según Gerard (1999), corresponden a:

Aguas residuales domésticas (aguas servidas)

Son las aguas de origen principalmente residencial (desechos humanos, baños, cocina) y otros usos similares que en general son recolectadas por sistemas de alcantarillado en conjunto con otras actividades (comercial, servicios, industria). Esta agua tiene un contenido de sólidos inferior al 1%. Si bien su caudal y composición es variable pueden tipificarse ciertos rangos para sus parámetros más característicos.

Aguas residuales industriales (residuos industriales líquidos)

Son aguas provenientes de los procesos industriales y la cantidad y composición de ella es bastante variable, dependiente de la actividad productiva y de muchos otros factores (tecnología empleada, calidad de la materia prima, etc.). Así estas aguas pueden variar desde aquellos con alto contenido de materia

orgánica biodegradable (mataderos, industria de alimentos), otras con materia orgánica y compuestos químicos (curtiembre, industria de celulosa) y finalmente industrias cuyas aguas residuales contienen sustancias inorgánicas u orgánicas no degradables (metalúrgicas, textiles, químicas, minería).

Cuando las aguas industriales tienen alto contenido de materia orgánica se utiliza el concepto de población equivalente que compara el parámetro DBO ejercido por el residuo industrial con el valor del agua residual doméstico. No es posible enumerar los tipos de residuos procedentes de todas las industrias por igual, debido a que muchos residuos son específicos y particulares de cada industria. La determinación de los caudales, a tratar, no es tarea sencilla a la hora de calcularlos para procesos discontinuos o por lotes. Cada industria es un caso particular por lo cual es necesario realizar una encuesta o muestreo de los residuos posibles a los efectos de la determinación de los caudales y la carga de contaminantes.

Para el caso particular de la industria química o farmacéutica el intervalo del DBO_5 suele ser de 250 - 1500 mg/L. Con descargas extremadamente ácidas o alcalinas.

Aguas lluvias urbanas

La escorrentía generada por aguas lluvias es menos contaminada que las aguas residuales domésticas e industriales y su caudal mayor. La contaminación mayor se produce en las primeras aguas que lavan las áreas por donde escurre.

II.2.2 TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN

Para el Departamento de sanidad del estado de Nueva York (2005), el grado de tratamiento que requiera un residuo industrial líquido, depende de la dilución y características estabilizadoras de la corriente receptora. La cantidad y concentración de los contaminantes debe quedar reducida al mínimo en la planta industrial.

Los procesos de tratamiento que se empleen dependen de las características del desecho. Estos procesos son adaptaciones de la práctica del

tratamiento de aguas negras y se modifican frecuentemente para obtener los resultados más eficaces según el caso.

A continuación se presenta un resumen de las combinaciones de procesos de tratamiento que se usan comúnmente para tratar desechos industriales:

- Eliminación de sólidos suspendidos de tamaño apreciable, por medio de cribado o sedimentación.
- Eliminación de grasas, aceites y sólidos grasos por medio de flotación y desnatado, auxiliado en algunos casos, por tratamiento químico.
- Eliminación de los sólidos coloidales por floculación con coagulantes químicos y electrolitos, seguida de sedimentación o incluso filtración.
- Neutralización de la acidez o alcalinidad excesivas, por adición de productos químicos.
- Eliminación o estabilización de los sólidos disueltos mediante precipitación química, permutación iónica, procesos biológicos o sus combinaciones.
- Decoloración por tratamiento químico, con sedimentación o filtración, o con ambas.
- Re oxigenación de los desechos por medios adecuados de aireación.
- Disminución de la temperatura de los desechos excesivamente calientes, por enfriamiento.

La industria del papel produce grandes cantidades de desechos líquidos, los cuales pueden dividirse en dos clases: 1) el desecho de la manufactura de la pulpa y 2) el desecho de la elaboración del papel. Ambos desechos se dan en un solo lugar o separadamente.

Las fábricas de pulpa la elaboran a partir de diversas materias como la madera, trapos, paja, yute, cáñamo o papel usado. Los procedimientos seguidos para la elaboración de pulpa, son principalmente tres: al sulfito, al sulfato y a la sosa.

Los desechos que se producen en el proceso al sulfito para la elaboración de la pulpa de madera (recocado) son difíciles de tratar, debido a su alta concentración. Son altamente contaminantes y la lignina que contiene es resistente a la oxidación biológica. Se han hecho muchos estudios para modificar

este proceso, con el propósito de disminuir la contaminación de las corrientes. También se están llevando a cabo experimentos, en un intento de encontrar mejores métodos de tratamiento. Actualmente el de éstos es la precipitación química, la cual produce materiales que pueden usarse como combustibles o aglomerantes en la manufactura de briquetas de carbón. También se acostumbra el estancamiento y evaporación como tratamiento de estos desechos.

Es posible una alta recuperación de productos, tanto en el proceso de sulfato como en el de a la sosa. Los desechos residuales de tales plantas pueden tratarse por estancamiento y otros procesos simples. Algunas veces se puede disponer satisfactoriamente de tales desechos por dilución.

Los procesos de manufactura del papel, dan origen a desechos que contienen fibras, cargas, gomas y colorantes, en concentraciones frecuentemente inconvenientes. Estos desechos se designan como "aguas blancas". Son muy contaminantes. Como estos productos son importantes y también son materias primas valiosas, se están haciendo grandes esfuerzos por recuperarlos y volverlos a usar.

II.2.3 PARÁMETROS PARA LA MEDICIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA

Según Colmenares (2002), los parámetros más importantes a controlar para certificar la calidad del agua son los siguientes:

- **pH:** el pH de una solución es el logaritmo negativo de la actividad de iones hidrógeno. En una solución diluida, la actividad de los iones hidrógeno es aproximadamente igual a la concentración de iones hidrógeno. Aunque este parámetro no tiene significado higiénico, es un dato muy importante en la determinación de la agresividad del agua (corrosión), y es fundamental en el control del proceso de Coagulación- Floculación ya que el pH ácido aumenta la solubilidad de los precipitados. El agua tratada debe estar en un rango de 6 a 9 de acuerdo al Decreto (Decreto N° 3219, 1999).
- **Color:** refleja la presencia de materia en estado de solución que proviene de la descomposición y extracción acuosa de la vegetación; así como también la existencia de sustancias orgánicas coloreadas (ácidos húmicos, metales como el

hierro y el manganeso entre otros), proporcionando una idea de la calidad del agua. Se consigue la decoloración por coagulación, por absorción con carbón activado y por oxidación. Se mide con un colorímetro.

- **Turbiedad:** la medición de este parámetro permite tener una idea del contenido de materia en suspensión. Se manifiesta por la reducción de transparencia y brillantes del agua (dispersión y absorción de la luz por la presencia de material en suspensión), eliminándose por medio de coagulación y clarificándose por sedimentación seguida de filtración. El agua tratada debe tener una turbiedad máxima de 5 NTU; esto si posteriormente se le va a aplicar cloro (para oxidar o desinfectar) en el proceso de tratamiento, así como también por razones estéticas.

II.2.4 MATERIA ORGÁNICA

Según Metcalf (1977), en aguas residuales de mediana resistencia a ser tratadas, cerca del 75% de los sólidos suspendidos, y 40% de los sólidos filtrables, son de naturaleza orgánica. Los componentes orgánicos son normalmente compuestos de una combinación de carbón, hidrogeno y oxígeno, junto con el nitrógeno en algunos casos.

Los principales grupos de sustancias orgánicas encontradas en aguas residuales son la proteína (40 – 60%), los carbohidratos (25 - 50%) y los aceites y grasas (10%). La urea, componente de la orina, es otro componente orgánico importante contribuyendo en aguas residuales. Porque esta se descompone rápidamente, solo se encuentra en agua residuales frescas.

Las proteínas son complejas en estructura química e inestable, siendo sujetas a muchas formas de descomposición. Algunas son solubles en agua, otras insolubles. La urea y la proteína son las fuentes de nitrógeno en el agua residual.

Los Carbohidratos incluyen los azúcares, almidones, celulosa y fibra de madera. Los azúcares son solubles en agua, otros como los almidones son insolubles. Los azúcares tienden a descomponerse. Los almidones por otra parte,

son más estables pero son convertidos en azúcar. La celulosa es el carbohidrato más importante encontrado en aguas residuales.

El término Grasas incluye normalmente; aceites grasas y ceras, las cuales son solubles en hexano. Las grasas son los componentes orgánicos más estables y no son fácilmente descompuestos por las bacterias. Si las grasas no son removidas, esta puede interferir con la vida biológica de las aguas superficiales y crea una película de material flotante.

Los Surfactantes son largas moléculas orgánicas que son ligeramente solubles en agua y causan espuma en las plantas de tratamiento de aguas residuales.

II.2.5 FACTOR DE BIODEGRABILIDAD

Según Parra (2009), la materia orgánica puede ser biodegradable o no biodegradable, por lo que es necesario determinar el factor de biodegradabilidad del efluente a tratar. El factor de biodegradabilidad es igual al cociente de la concentración de DBO_5 entre la concentración de DQO. Este valor determina el grado de biodegradabilidad del agua a tratar, mientras más cercano de uno resulte la muestra, es más biodegradable. En la tabla 2.1 se precisan cada uno de los tratamientos a emplear una vez se determine la relación DBO_5/DQO del efluente.

Tabla 2.1. Factor de Biodegradabilidad

CORRELACIÓN DBO_5/DQO	TRATAMIENTO A APLICAR
De 0,1 a 0,4	Tratamiento físico-químico, Tratamiento químico (Pruebas de jarra)
De 0,4 a 0,6	Tratamiento físico-químico
Mayor de 0,6	Tratamiento biológico (cualquier modalidad de lodos activados)

Fuente: Parra (2008)

II.2.6 PROCESOS UNITARIOS EMPLEADOS EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS INDUSTRIALES

II.2.6.1 TRATAMIENTO PRIMARIO

a) COAGULACIÓN

Es un proceso de desestabilización química de las partículas coloidales que se producen al neutralizar las fuerzas que los mantienen separados, por medio de la adición de los coagulantes químicos y la aplicación de la energía de mezclado (Cárdenas, 2000).

Las partículas coloidales son de tamaño intermedio entre las moléculas y las partículas suspendidas que tarde o temprano decantan por efecto de la gravedad. Aunque las partículas coloidales son muy pequeñas (entre $1\mu\text{m}$ y 1 nm de diámetro), son lo suficientemente grandes como para dispersar la luz (efecto Tyndall) por lo que estas partículas comunican aspecto turbio u opaco al agua, a menos que estén muy diluidas (Arboleda, 2000).

La mayoría de los coloides están cargados negativamente, por lo que en agua son estables debido a la repulsión electrostática entre estas partículas invisibles (Figura 2.1). Esta repulsión sobrepasa las fuerzas de atracción de Van der Waals, por lo que no se aglomeran y por lo tanto no precipitan (Arboleda, 2000).

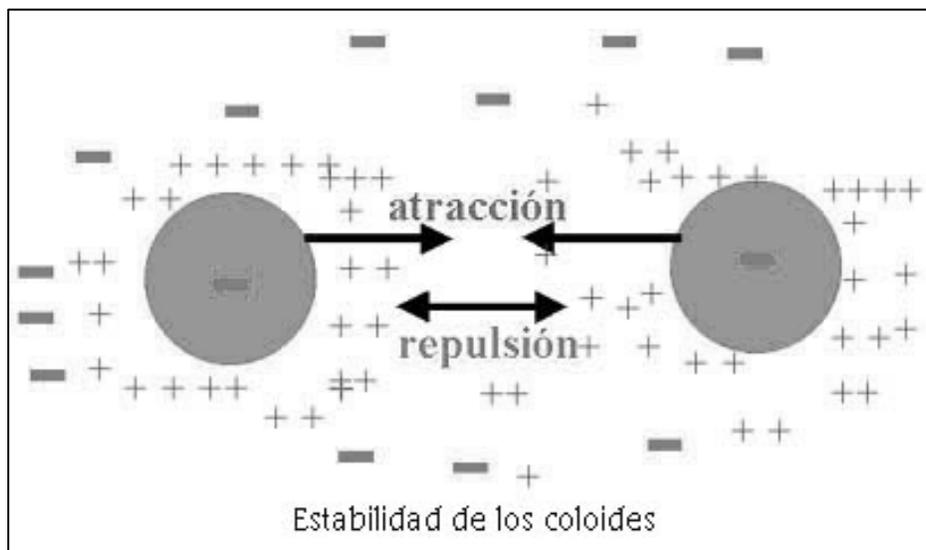


Figura 2.1. Estabilidad de los coloides.

Fuente: Metcalf (1977)

a.1) Fases de la coagulación

Según Cárdenas (2000); la coagulación implica las siguientes etapas (Figura 2.2):

- Hidrólisis de los coagulantes y desestabilización de las partículas en suspensión.
- Formación de Compuestos químicos poliméricos.
- Adsorción de cadenas poliméricas por los coloides.
- Adsorción mutua de coloides.
- Acción de barrido.

El proceso de coagulación se logra al agregar el químico apropiado (coagulante) a la dispersión coloidal, neutralizando así las cargas coloidales permitiendo que las partículas se adhieran cuando hacen contacto. Comienza en el mismo instante en que se agregan los coagulantes al agua y dura solamente fracciones de segundos; básicamente consiste en una serie de reacciones físicas y químicas entre los coagulantes, la superficie de las partículas, la alcalinidad del agua y el agua misma (Arboleda, 2000).

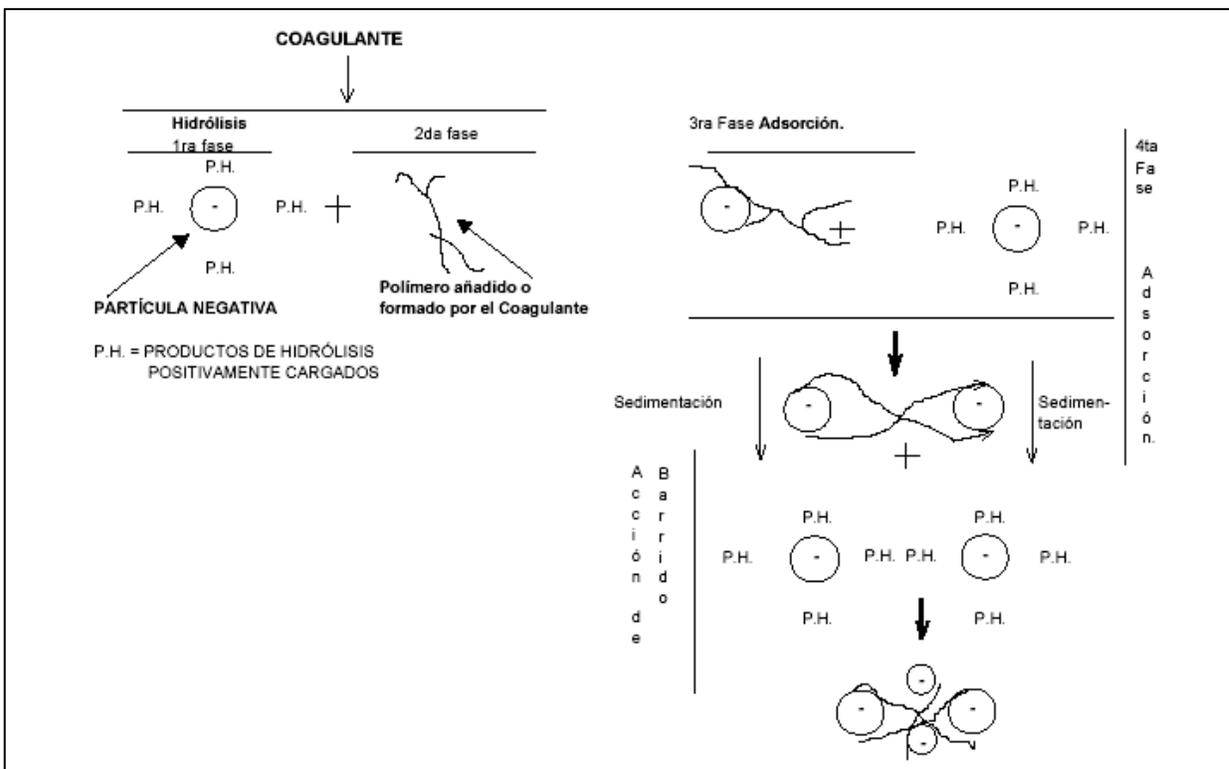


Figura 2.2. Fases de la coagulación.

Fuente: Cárdenas (2000)

a.2) Coagulación con sales de aluminio

Las sales de aluminio forman un floc ligeramente pesado. Las más conocidas de éstas son el sulfato de aluminio amoniacal, el cloruro de polialuminio y el sulfato de aluminio, siendo este último el coagulante que por su bajo costo y su manejo relativamente sencillo se usa con mayor frecuencia en las plantas de tratamiento de agua potable (Arboleda, 2002).

a.2.1) Cloruro de polialuminio

Según Arboleda (2002), el cloruro de polialuminio (PAC) es un derivado polimérico del aluminio. Los beneficios de este nuevo coagulante son: una mejor formación de floc, un más amplio rango de pH, menor generación de lodos y poca o ninguna necesidad de usar conjuntamente poli electrólitos. Su peor desventaja es que es más costoso que el sulfato de aluminio o el cloruro férrico.

Al entrar en contacto el coagulante (policloruro de aluminio) con el agua, este se hidroliza según la siguiente reacción:



Donde: $0 < m < 3n$

El ácido de Brönsted que son los iones de aluminio hidratados, reaccionan con la alcalinidad y con las moléculas de agua. La adición de polímeros coagulantes como el policloruro de aluminio produce el catión polimérico $[\text{AlO}_4\text{Al}_{12}(\text{OH})_{24}(\text{H}_2\text{O})]^{7+}$.

Las cargas positivas de dicho catión neutralizan las cargas negativas de los coloides, permitiendo que las partículas se unan formando aglomerados pequeños denominados coágulos (Figura 2.3).

El proceso de coagulación mal realizado también puede conducir a una degradación rápida de la calidad del agua y representa gastos de operación no justificadas; por esta razón, se considera que la dosis del coagulante condiciona el funcionamiento de las unidades de sedimentación y que es imposible de realizar una clarificación, si la cantidad de coagulante está mal ajustada (Cárdenas, 2000).

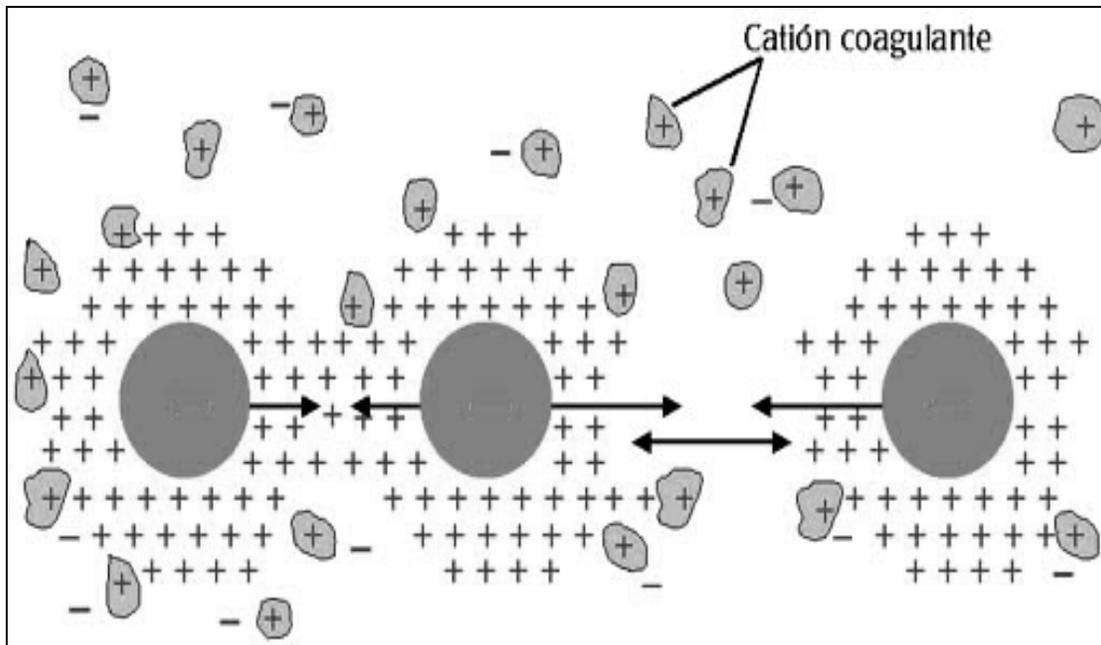


Figura 2.3. Desestabilización de la partícula coloidal.

Fuente: Metcalf (1977)

Según Arboleda (2000), este proceso se usa para:

- Remoción de turbiedad orgánica o inorgánica que no puede sedimentar con rapidez.
- Remoción de color.
- Eliminación de bacterias, virus y organismos patógenos susceptible de ser separados por coagulación.
- Eliminación de sustancias productoras de sabor y olor.

Según Arboleda (2000), el proceso de coagulación involucra dos fenómenos fundamentales:

1. **Químico:** reacciones del coagulante con el agua y la formación de especies hidrolizadas con carga positiva, dependen de la concentración del metal y pH final de la mezcla.
2. **Físico:** transporte de especies hidrolizadas para que tengan contacto con el agua. Proceso muy rápido que dura décimas de segundos hasta cerca de 100 segundos, dependiendo del pH, temperatura, cantidad de impurezas.

a.3) Sistemas de simulación del proceso de coagulación

Según Arboleda (2000), estos sistemas consisten en simular en unos vasos de precipitado o jarras 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.

Con los sistemas de simulación se pueden determinar los siguientes parámetros:

1. Determinación de dosis óptima.
2. Determinación de la velocidad de sedimentación en las jarras.
3. Determinación de la influencia del pH en la coagulación.

a.3.1) Dosis óptima de coagulante

Según Arboleda (2000), el objetivo 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. Sebe observarse que no necesariamente el floc que sedimenta rápidamente es el que queda retenido en el filtro con más facilidad. El floc que se busca, por tanto, es aquel que da el mayor rendimiento en el conjunto de los procesos de clarificación.

El equipo y los reactivos que se necesitan para ejecutar la prueba de jarra se describen a continuación.

a.3.1.1) Pruebas de jarra

Según Arboleda (2000), el aparato de prueba de jarra fue desarrollado entre 1918 y 1921 por Langilier y Baylis, separadamente. Consta básicamente de un

agitador múltiple de velocidad variable que puede crear turbulencia simultáneamente en 6 vasos de precipitado. En el mismo se trata de reproducir las condiciones en las cuales se produce la floculación en la planta de tratamiento. Hay que tener en cuenta, sin embargo, que el hecho de que la prueba de jarra sea un ensayo rutinario en la operación de las plantas, no significa que puede ejecutarse descuidadamente, lo que por desgracia suele ser bastante común.

Según Parra (2008), la prueba de jarra permite:

- Conocer los efectos de cada producto químico o una combinación de ellos, así como la selección ideal (máxima eficiencia, bajo costo).
- Conocer las dosis óptimas de coagulante para condiciones de turbidez promedio o picos de turbidez. Las dosis son aproximadas ya que se ha demostrado que se requiere dosis mayores en las pruebas que las necesarias en el equipo en la planta.
- Estudiar el efecto de la dilución del coagulante.
- Evaluar la secuencia de aplicación de productos químicos.
- Evaluar los efectos de una alimentación simple, contra adiciones sucesivas de productos químicos.
- Determinar el punto de alimentación de químicos más idóneos, orden de adición y el tiempo entre adiciones.
- Corregir y controlar los resultados de una planta en operación, también para realizar pruebas preliminares antes de diseñar y/o arrancar una planta.

a.3.1.2) Turbidímetro

Según Arboleda (2000), la medición de la turbidez del agua después de floculada y sedimentada durante un cierto tiempo (turbiedad residual) suele considerarse como el parámetro más importante para caracterizar el proceso. Puede hacerse con un turbidímetro de transmisión como el Hellige o con uno de diseminación como el Hach o el Fisher. Cuando se trata de evaluar pequeños valores de turbiedad es preferible el uso de turbidímetros de diseminación, por ser más precisos y no depender del criterio del observador.

En la actualidad, para medir la turbiedad del agua se han establecido las Unidades Nefelométricas de Turbiedad (UNT ó NTU) que se correlacionan con las unidades de Jackson (UJ) utilizadas anteriormente.

a.3.2) Velocidad de sedimentación en las jarras

Según Arboleda (2000), el objetivo es poder comparar los resultados obtenidos con dos o más jarras en la prueba de floculación, evaluándolos no solamente desde el punto de vista de turbiedad residual, sino de la diferente velocidad de sedimentación que tienen las partículas producidas. Esto facilita grandemente la selección de la dosis óptima más económica.

a.3.3) Influencia del pH en la coagulación

Según Arboleda (2000), el pH tiene una gran influencia en la coagulación. Por lo general existe un pH óptimo. Valores por encima o por debajo de este pH óptimo producen malos resultados. El objetivo es el de determinar el rango de pH óptimo que caracteriza a la muestra estudiada, el cual varía según el agua y los reactivos empleados.

a.4) Factores que influyen en la coagulación

Según Cárdenas (2000), es necesario tener en cuenta los siguientes factores con la finalidad de optimizar el proceso de coagulación:

a.4.1) Efecto del pH: El pH es la variable más importante a tener en cuenta al momento de la coagulación, para cada agua existe un rango de pH óptimo para la cual la coagulación tiene lugar rápidamente, ello depende de la naturaleza de los iones y de la alcalinidad del agua. El rango de pH es función del tipo de coagulante a ser utilizado y de la naturaleza del agua a tratar; si la coagulación se realiza fuera del rango de pH óptimo entonces se debe aumentar la cantidad del coagulante; por lo tanto la dosis requerida es alta.

a.4.2) Efecto de turbiedad: La turbiedad del agua superficial es gran parte debido a partículas de lodos de sílice de diámetros que varían entre 0.2 a 5 μm . La coagulación de estas partículas es muy fácil de realizar cuando el pH se mantiene dentro del rango óptimo. La variación de la concentración de las partículas permite hacer las siguientes predicciones:

- Para cada turbiedad existe una cantidad de coagulante, con el que se obtiene la turbiedad residual más baja, que corresponde a la dosis óptima.
- Cuando la turbiedad aumenta la cantidad de coagulante que se debe adicionar no es mucho debido a que la probabilidad de colisión entre las partículas es muy elevada; ocasionando que la coagulación se realice con facilidad; por el contrario cuando la turbiedad es baja la coagulación se realiza muy difícilmente, y la cantidad del coagulante es igual o mayor que si la turbiedad fuese alta.
- Cuando la turbiedad es muy alta, conviene realizar una pre-sedimentación natural o forzada, en este caso con el empleo de un polímero aniónico.
- Es siempre más fácil coagular las aguas de baja turbiedad y aquellas contaminadas por desagües domésticos industriales, por que requieren mayor cantidad de coagulante que los no contaminados.

a.4.3) Efecto de las sales disueltas: Según Arboleda (2000), las sales contenidas dentro del agua ejercen las influencias siguientes sobre la coagulación y floculación:

- Modificación del rango de pH óptimo.
- Modificación del tiempo requerido para la floculación.
- Modificación de la cantidad de coagulantes requeridos.
- Modificación de la cantidad residual del coagulante dentro del efluente.

a.4.4) Efecto de la dosis del coagulante: La cantidad del coagulante a utilizar tiene influencia directa en la eficiencia de la coagulación, así:

- Poca cantidad del coagulante, no neutraliza totalmente la carga de la partícula, la formación de los microfloculos es muy escaso, y en consecuencia la turbiedad residual es elevada.

- Alta cantidad de coagulante produce la inversión de la carga de la partícula, conduce a la formación de gran cantidad de microflóculos con tamaños muy pequeños cuyas velocidades de sedimentación muy bajas, por lo tanto la turbiedad residual es igualmente elevada.
- La selección del coagulante y la cantidad óptima de aplicación; se determina mediante los ensayos de pruebas de jarra. La selección del coagulante y la dosis juegan un rol muy importante sobre:
 - ✓ La buena o mala calidad del agua clarificada
 - ✓ El funcionamiento de los sedimentadores.

a.4.5) Temperatura: La variación de 1°C en la temperatura del agua conduce a la formación de corrientes de densidad (variación de la densidad del agua) de diferentes grados que afectan a la energía cinética de las partículas en suspensión, haciendo que la coagulación sea más lenta; temperaturas muy elevadas desfavorecen igualmente a la coagulación. Una disminución de la temperatura del agua en una unidad de decantación conlleva a un aumento de su viscosidad; esto explica las dificultades de la sedimentación de un floc.

a.4.6) Efecto de mezcla: El grado de agitación que se aplica a la masa de agua durante la adición del coagulante, determina si la coagulación es completa; turbulencias desiguales hacen que cierta porción de agua tenga mayor concentración de coagulantes y la otra parte tenga poco o casi nada; la agitación debe ser uniforme e intensa en toda la masa de agua, para asegurar que la mezcla entre el agua y el coagulante haya sido bien hecho y que se haya producido la reacción química de neutralización de cargas correspondiente.

En el transcurso de la coagulación y floculación, se procede a la mezcla de productos químicos en dos etapas. En la primera etapa, la mezcla es enérgica y de corta duración (60 segundos, máx.) llamado mezcla rápida; esta mezcla tiene por objeto dispersar la totalidad del coagulante dentro del volumen del agua a tratar, y en la segunda etapa la mezcla es lenta y tiene por objeto desarrollar los microflóculos. Se efectúa para la inyección de productos químicos dentro de la zona de fuerte turbulencia, una inadecuada mezcla rápida conlleva a un incremento de productos químicos.

a.4.7) Sistema de aplicación de los coagulantes: Se considera que una reacción adecuada del coagulante con el agua se produce cuando:

- La dosis del coagulante que se adicione al agua es en forma constante y uniforme en la unidad de mezcla rápida, tal que el coagulante sea completamente dispersado y mezclado con el agua. La distribución de la solución debe ser uniforme en la masa de agua, al mismo tiempo debe recibir igual cantidad del coagulante, (Figura 2.4).

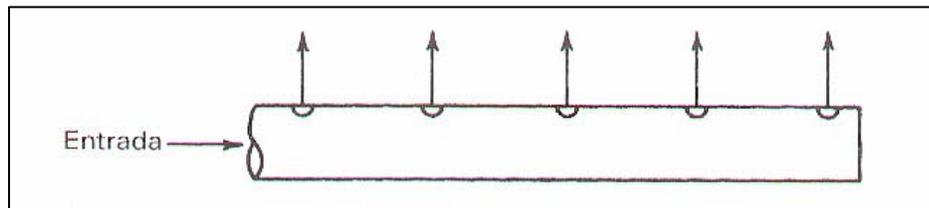


Figura 2.4. Distribución de coagulante.

Fuente: Perry (2001)

- El sistema de dosificación debe proporcionar un caudal constante y fácilmente regulable; en la Figura 2.5 se observan las condiciones de mezcla del coagulante con el agua; la mejor mezcla es cuando el coagulante adicionado cae en su totalidad a la masa de agua (Figura 2.5b). Esta condición se obtiene por medio de los equipos de dosificación tanto para los coagulantes al estado sólido y estado líquido, que deben encontrarse calibrados y comprobados en la práctica por medio de las pruebas de aforamiento (Cárdenas, 2000).

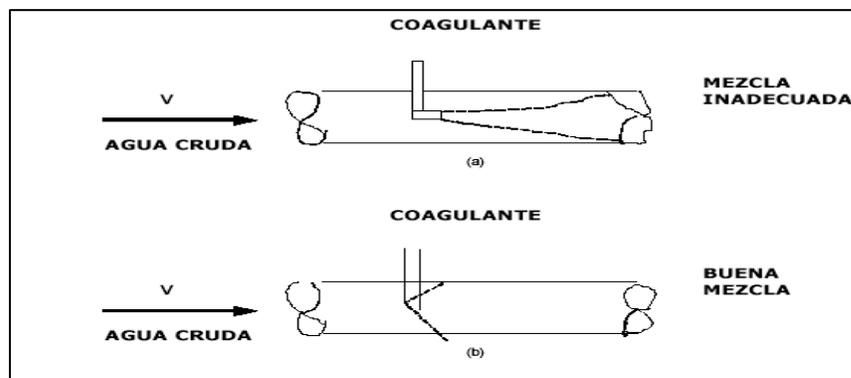


Figura 2.5. Condiciones de mezcla coagulante – agua.

Fuente: Cárdenas (2000)

La interrelación entre cada uno de ellos permiten predecir cuáles son las cantidades de los coagulantes a adicionar al agua.

b) FLOCULACIÓN

La floculación es el proceso que sigue a la coagulación, según Cárdenas (2000), este proceso consiste en la agitación de la masa coagulada permitiendo el crecimiento y aglomeración de los flóculos recién formados con la finalidad de aumentar el tamaño y peso necesarios para sedimentar con facilidad. La floculación es favorecida por el mezclado lento que permite juntar poco a poco los flóculos; un mezclado demasiado intenso los rompe y raramente se vuelven a formar en su tamaño y fuerza óptimos. La floculación no solo incrementa el tamaño de las partículas del floculo, sino que también aumenta su peso.

La adición de otro reactivo llamado floculante o una ayuda del floculante pueden promover la formación del floculo, (Figura 2.6). Estos floculantes son polímeros o polielectrólitos con pesos moleculares muy elevados, moléculas orgánicas solubles en agua formadas por bloques denominados monómeros, repetidos en cadenas larga.

b.1) Los floculantes pueden ser de naturaleza: mineral, orgánico natural y orgánico de síntesis (Cárdenas, 2000).

b.1.1) Floculantes Minerales. Se encuentra la sílice activada, que es el primer floculante que debe ser preparado antes de ser empleado, su preparación es tan delicada y presenta el riesgo de la gelatinización; produce la neutralización parcial de la alcalinidad de silicato de sodio en solución.

b.1.2) Floculantes Orgánicos Naturales. Son polímeros naturales extraídos de sustancias animales o vegetales.

b.1.3) Floculantes Orgánicos de Síntesis. Son los más utilizados y son macromoléculas de una gran cadena, obtenidos por asociación de monómeros sintéticos con masa molecular elevada de 10^6 a 10^7 g/mol, estos se clasifican de acuerdo a la ionicidad de los polímeros:

- Aniónicos (generalmente co-polímeros de la acrilamida y del ácido acrílico).

- Neutros o no iónicos (poliacrilamidas).
- Catiónicos (co-polímero de acrilamidas + un monómero catiónico).

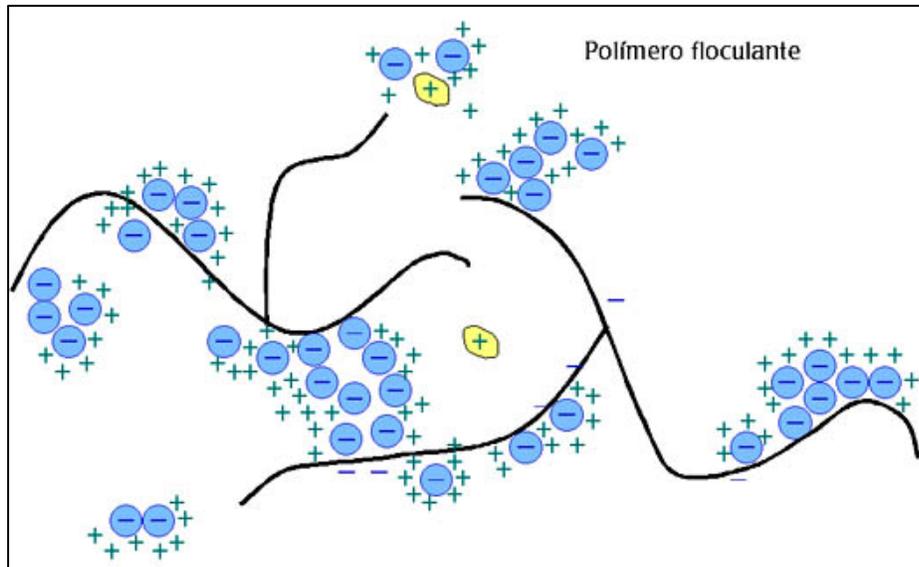


Figura 2.6. Actividad del polímero como ayudante de floculación.

Fuente: Cárdenas (2000)

Los objetivos que se persiguen con este proceso son:

- Reunir los microflóculos para formar partículas mayores con peso específico superior al agua.
- Compactar el floc, disminuyendo su grado de hidratación para aumentar su peso y facilitar la sedimentación.

b.2) Características cualitativas de un floculo

Según Arboleda (2000), las características cualitativas de un floculo son:

- Tamaño del floc producido: puede expresarse su tamaño en mm de acuerdo con el comparador desarrollado por el Water Research Institute de Inglaterra (Figura 2.7) o según el índice de Willcomb (Tabla 2.2). Esta determinación es bastante subjetiva y depende del criterio del observador.
- Tiempo inicial de formación del floc: es el tiempo que tarda en aparecer el inicio de formación del floc. No suele ser fácil, pues el floc recién formado

suele ser incoloro. Por otra parte el floc que se forma primero no necesariamente es el mejor.

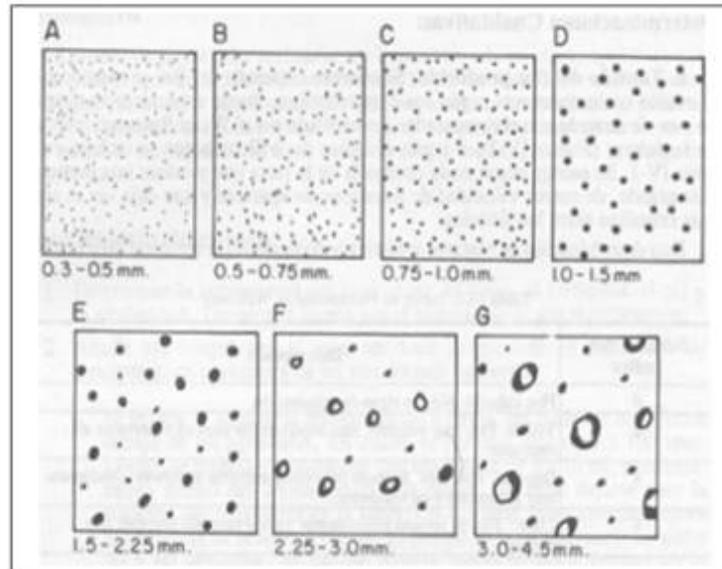


Figura 2.7. Comparador del tamaño de floc según Water Research Institute de Inglaterra.

Fuente: Arboleda (2000)

Tabla 2.2. 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 no completamente
10	Excelente. Floc que se deposita todo dejando el agua cristalina

Fuente: Arboleda (2000)

b.3) Factores que influyen en la floculación

Según Arboleda (2000) estos factores son:

- Energía suministrada (tiempo e intensidad).
- Probabilidades de colisión.
- Grados de velocidad.
- Adición y dilución del floculante.
- Temperatura.
- Características del flujo

c) SEDIMENTACIÓN

Es la eliminación de sólidos suspendidos en el agua por asentamiento gravitacional. Para que se efectúe la sedimentación, la velocidad del agua debe reducirse a un valor tal que los sólidos se asienten por gravedad si es suficientemente grande el tiempo de retención en el tanque de sedimentación (Arboleda, 2002).

c.1) En el tratamiento de aguas se distinguen dos tipos de sedimentación

- **Sedimentación Simple.** Generalmente hace parte de los tratamientos primarios y tiene por objeto reducir la carga de sólidos sedimentables cuyos tamaños de partícula son relativamente grandes. Mediante esta operación se eliminan partículas simples, no aglomerables, por disminución de la velocidad y turbulencia del fluido, es decir, la eliminación se da simplemente, cuando la fuerza de gravedad que obra sobre las partículas, prevalece sobre la fuerza de arrastre del fluido. Esta operación se realiza en unidades conocidas como “desarenadores” o “clarificadores”.
- **Sedimentación Inducida.** Llamada también Decantación, se refiere a la sedimentación de partículas coloidales, cuya coagulación o aglomeración, ha sido inducida previamente por agentes químicos, tales como el alumbre o el hidróxido férrico, entre otros. Esta operación se realiza en unidades llamadas decantadores. La decantación es inherente a la coagulación y a la floculación.

c.2) Fuerzas que actúan en la sedimentación

Sobre una partícula cualquiera en movimiento en un fluido en reposo actúan las siguientes fuerzas:

- Fuerzas de gravedad
- Empuje
- Fuerzas de Rozamiento.

Con respecto a las dos primeras es fácil comprender que se trata de la fuerza de atracción de la gravedad, que hace que la partícula descienda en el fluido, la tercera es la fuerza de rozamiento, de acuerdo al principio de Arquímedes, es decir una fuerza de abajo hacia arriba que actúa siempre y cuando la partícula esté en movimiento dentro del fluido.

d) FILTRACIÓN

Según Arboleda (2000), en el proceso de filtración se remueven partículas suspendidas, coloides y microorganismos al atravesar un medio poroso. El proceso de filtración más utilizado es el realizado sobre lecho filtrante, este sistema se usa cuando la cantidad de materia que debe retenerse es grande y las dimensiones de las partículas contenidas en el agua es relativamente pequeña. Para que la filtración sea eficaz, es preciso que las materias puedan penetrar profundamente sobre el lecho, se elijan cuidadosamente tanto en granulometría, como en la altura de la capa, de forma que corresponda a la calidad deseada.

El objetivo básico de la filtración es separar las partículas y microorganismos objetables, que no han quedado retenidos en los procesos de coagulación y sedimentación. En consecuencia, el trabajo que los filtros desempeñan, dependen directamente de la mayor o menor eficiencia de los procesos preparatorios. La filtración puede efectuarse de muchas formas: con baja carga superficial (filtros lentos) o con alta carga superficial (filtros rápidos); en medios porosos (pastas arcillosas, papel de filtro) o medios granulares (arena, antracita granate o combinados); con flujo ascendente o descendente y mixto.

Por último, el filtro puede trabajar a presión o por gravedad, según sea la magnitud de la carga hidráulica que exista sobre el lecho filtrante.

II.2.6.2 TRATAMIENTO SECUNDARIO

a) Tratamiento biológico

Según Ferrer (2003), los tratamientos biológicos tuvieron en un principio como objeto la eliminación de la materia orgánica biodegradable de las aguas residuales (se debe tener en cuenta el factor de biodegradabilidad para comprobar si es conveniente su aplicación). Posteriormente se les ha ido dando otros usos como son: la oxidación del nitrógeno amoniacal (nitrificación), la eliminación del nitrógeno de las aguas residuales mediante la conversión de las formas oxidadas en N_2 (desnitrificación) o la eliminación del fosforo.

En todo tipo de procesos se utilizan reacciones asociadas a los organismos vivos. Los microorganismos crecen utilizando los contaminantes del agua como fuente de carbono y/o como fuente de energía, convirtiéndolos en nuevos microorganismos (biomasa), dióxido de carbono y otros compuestos inocuos. La fuente de carbono y/o energía se denomina sustrato, por lo que en estos tratamientos la eliminación de contaminantes se conoce como consumo de sustrato. Los procesos de crecimiento de biomasa y de consumo de sustrato están totalmente relacionados, denominándose rendimiento a la cantidad de biomasa generada por unidad de sustrato eliminado.

Los tratamientos biológicos se prestan a diversas clasificaciones: cabe distinguir entre dos tipos claramente diferenciados:

1. Procesos biológicos de cultivo en suspensión.
2. Procesos biológicos de soporte solido.

En todos estos procesos es preciso retener en el sistema la biomasa creada con objeto de que se produzca en el proceso. En los de cultivo en suspensión se suele recurrir a una decantación y recirculación de la biomasa, mientras que en los de soporte solido la retención de la misma queda asegurada por las características

del propio proceso. Los sistemas más característicos de los primeros son los lodos activados, las lagunas aireadas y el lagunaje. Entre los segundos se encuentran los filtros percoladores, los bio-discos y los lechos de turba.

II.2.6.3 TRATAMIENTOS AVANZADOS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS INDUSTRIALES

a) Oxidación química

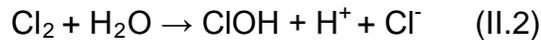
Según American Water Works Association (2002), los procesos de oxidación química juegan varios papeles importantes en el tratamiento de aguas de proceso y agua potable. Los oxidantes químicos se utilizan para la oxidación de especies inorgánicas reducidas, como el ion ferroso, Fe (II); el manganeso, Mn (II); el sulfuro, S (-II); y compuestos orgánicos de riesgos sustitutivos, como el tricloroetileno (TCE) y la atracina.

Los oxidantes pueden también usarse para destruir los compuestos que causan olor y sabor y eliminan color. También se emplea, para disminuir la demanda química de oxígeno presente en el proceso, que esta asociada a la materia orgánica soluble y no a los sólidos suspendidos. Adicionalmente, en algunos casos pueden aumentar el rendimiento, o reducir la cantidad requerida de coagulantes.

Como muchos oxidantes también tienen propiedades biocidas, pueden emplearse para controlar el crecimiento de algas en pre tratamientos y como desinfectante. Por lo general los oxidantes empleados en las plantas de tratamiento se añaden justo antes del tanque de mezcla rápida, sin embargo también se pueden aplicar después de la clarificación o antes de la filtración.

Los oxidantes químicos mas usados para el tratamiento de aguas son:

- Cloro: según American Water Works Association (2002), es el oxidante mas usado en el tratamiento de aguas. Se encuentra disponible en forma gaseosa, como Cl_2 ; como solución acuosa concentrada, hipoclorito sódico, NaOCl ; o como solido, hipoclorito cálcico $(\text{ClO})_2 \text{Ca}$. Cuando se añade cloro gas al agua, el cloro rápidamente se convierte en acido hipocloroso (ClOH) e ion cloruro (Cl^-).



Según Metcalf (1977), la Tabla 2.3 indica la dosis para distintas aplicaciones de cloro. Se da un intervalo de valores de la dosis ya que estas varían según las características del agua residual. Por esta razón siempre que sea factible deberán realizarse estudios para determinar las dosis óptimas de cloro.

Tabla 2.3. Aplicaciones de la cloración en el tratamiento de aguas residuales

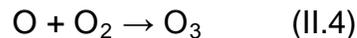
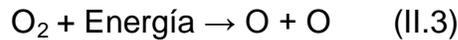
Aplicación	Intervalo de dosis, mg/L	Observaciones
Eliminación de grasas	2 – 10	Añadidos antes de la pre-aireación
Reducción de la DBO	0,5 – 2 por mg/L de DBO ₅ destruido	Oxidación de sustancias orgánicas
Control obstrucción de los filtros	1 – 10	Residual en la boquilla de los filtros
Control de moscas en los filtros	0,1 – 0,5	Residual en la boquilla de los filtros, utilizado durante la época de proliferación de las moscas

Fuente: Metcalf (1977)

- Dióxido de Cloro: el dióxido de cloro es un gas de color verde amarillento, es estable y sumamente soluble en soluciones acuosas. Además de sus propiedades biocidas, el dióxido de cloro mejora la calidad del agua potable. Su capacidad de oxidación se incrementa con la acidez. Debido a que el dióxido de cloro existe como un gas inestable, él no puede comprimirse ni distribuirse en cilindros como el Cl₂.

El dióxido de cloro debe producirse *in situ* mediante el uso de un generador mecánico. Su uso va dirigido principalmente hacia la potabilización del agua, además la implementación de este oxidante conlleva a un gran gasto en equipos (Deiningner, Ancheta & Ziegler, 1998).

- Ozono: según American Water Works Association (2002), el ozono es un gas inestable que debe generarse *in situ*. Las reacciones implicadas en la formación del ozono (O_3) son las siguientes:



- Peróxido de Hidrógeno: es el oxidante por excelencia. En la mayoría de los casos se utiliza en combinación con el ozono, cuyo proceso supone una gran demanda de energía. Debido a su volatilidad y corrosividad no es comúnmente empleado.
- Permanganato Potásico: El permanganato potásico (MnO_4K) ha sido utilizado como oxidante del agua durante décadas. Se encuentra disponible en forma cristalina y como solución concentrada. Su uso trae como consecuencia la generación de sólidos lo cual puede suponer un problema en los tratamientos posteriores a él, aunado a su alta corrosividad.

a.1) Oxidación con Hipoclorito de Sodio

Según Metcalf (1977), se puede encontrar en concentraciones de 1,5% al 15%, siendo 3% la concentración usual máxima. La solución se descompone más fácilmente a mayores concentraciones y se ve afectada por la exposición a la luz y el calor, por lo que debe almacenarse en un lugar frío y en un tanque resistente.

a.1.1) Alimentadores de Hipoclorito

Según Metcalf (1977), para plantas pequeñas que sirven a unas 10 personas se puede utilizar alimentadores de tipo goteo. Hasta 100 personas, pueden emplearse alimentadores controlados por orificios que hagan uso de un tanque de altura constante alimentado por gravedad desde un depósito superior, presentando como dificultad la obstrucción de los orificios requiriendo un

mantenimiento constante. El mecanismo más satisfactorio para alimentar hipoclorito se logra con bombas dosificadoras de poca capacidad.

Por lo general se utilizan bombas con capacidades de hasta 18 litros por hora, con recorrido ajustable para cualquier valor por debajo de este. Las bombas pueden disponerse de modo que den una alimentación a régimen constante o bien pueden programarse con un temporizador para arrancar y detenerse en intervalos deseados.

a.1.2) Control de la dosificación

Según Metcalf (1977), el control de la dosificación puede realizarse de diversas maneras. El método más simple es la dosificación manual, encargándose el operario de cambiar el tipo de alimentación para que este se ajuste a las condiciones del momento.

En general, la dosificación requerida se determina midiendo el cloro residual después de 15 minutos de contacto y ajustando la dosis hasta obtener un cloro residual de 0,5 mg por litro. Otro método consiste en utilizar un control programado que cambia el régimen de alimentación de acuerdo con un modelo preseleccionado. Este es el método más económico para obtener un control automático.

Un tercer método consiste en acomodar el caudal de cloro al caudal de agua residual medido este por un dispositivo de medida primario tal como un Parshall. Un cuarto método es controlar la dosis de cloro mediante la medida automática de cloro residual, para lo que se requiere un analizador automático con transmisión de señales y registrador.

Por ultimo puede también utilizarse un sistema mixto que participa de los métodos 3 y 4. En uno de estos sistemas, las señales de control obtenidas por el medidor de caudal del agua residual y por el registrador de cloro residual se superponen, proporcionando así un control mas preciso de la dosis y del cloro residual.

b) Intercambio Iónico

Según Ramalho (1983), el intercambio iónico es un proceso en que los iones que se mantienen unidos a grupos funcionales sobre la superficie de un sólido por fuerzas electrostáticas se intercambian por iones de una especie diferente en disolución. Este procedimiento ha llegado a ser notablemente importante en el campo de las aguas residuales.

Ya que la desmineralización completa puede alcanzarse mediante el intercambio iónico, es posible utilizar procesos de tratamiento de corriente partida, en los que parte del agua residual afluyente se desmineraliza y se combina después con parte del efluente de calidad específica (por ejemplo, de una determinada dureza).

b.1) Resinas de intercambio iónico

Según Ramalho (1983), hasta los años cuarenta las zeolitas naturales eran los únicos cambiadores de iones disponibles.

La capacidad de intercambio era relativamente baja, lo que limitaba la posibilidad económica del proceso en su aplicación al tratamiento de aguas residuales. A partir de entonces, las zeolitas naturales han sido sustituidas por resinas sintéticas tales como estireno y divinil-benceno (DVB). Estas resinas son polímeros insolubles a los que se añaden grupos básicos o ácidos mediante reacciones químicas. Estos grupos son capaces de intercambio reversible con los iones presentes en una disolución. El número total de grupos funcionales por unidad de peso (o unidad de volumen) de resina determina la capacidad de intercambio, mientras que el tipo de grupo funcional determina la selectividad iónica y la posición de equilibrio de intercambio.

Las partículas de resina tienen diámetro de 0,5 mm aproximadamente y se emplean en columnas rellenas utilizando caudales de aguas residuales de 200 a 500 L/(min)(m²).

b.2) Mecanismo básico de intercambio iónico

Intercambiadores catiónicos y aniónicos

Según Ramalho (1983), existen 2 tipos básicos de intercambiadores iónicos: catiónicos y aniónicos.

b.2.1) Intercambiadores catiónicos: las resinas de intercambio catiónico separan los cationes de una solución, intercambiándolos por iones sodio (ciclo de sodio) o por iones hidrogeno (ciclo del hidrogeno). Los iones (por ejemplo, Cu^{2+} , Zn^{2+} , Ni^{2+} , Ca^{2+} y Mg) quedan retenidos sobre la resina y se produce un efluente ablandado. Este efluente ablandado contiene principalmente sales de sodio (si se emplea el ciclo de sodio) o ácido (si se emplea el ciclo de hidrógeno).

Cuando la capacidad de la resina se agota, la resina debe regenerarse. Antes de la regeneración, la columna debe lavarse a contracorriente para eliminar los depósitos sólidos. La regeneración consiste en el paso en el paso a través de una columna de una solución de salmuera (ClNa para el ciclo de sodio) o de una solución ácida, normalmente H_2SO_4 o HCl (para el ciclo del hidrógeno). Las concentraciones típicas del regenerante son del 2-5% en peso con caudales de 40-80 L/(min)(m²). El residuo regenerante esta formado por sales catiónicas. Esta corriente residual supone el 10-15% del volumen de afluente tratado antes de la ruptura. A continuación de la regeneración el lecho del intercambiador se lava con agua para separar el regenerante residual.

b.2.2) Intercambiadores aniónicos: las resinas intercambiadoras aniónicas separan aniones de una solución intercambiándolos por iones oxhidrilo. De esta forma aniones tales como SO_4^{2-} , CrO_4^{2-} , etc., se eliminan de la solución.

La regeneración se hace después de la ruptura, normalmente precedida por lavado a contracorriente para eliminar los depósitos de sólido. Los regenerantes normalmente usados son hidróxidos de sodio y amonio. Las concentraciones normales de regenerante son del 5-10% en peso.

c) Ósmosis inversa

c.1) Ósmosis y presión osmótica

Según Ramalho (1983), aunque los fenómenos osmóticos se conocen desde hace más de 200 años, los primeros experimentos relacionando la presión osmótica con la temperatura y la concentración del soluto se llevaron a cabo al final del siglo antepasado por Pfeffer. En la Figura 2.8 se representa un experimento típico con una solución de sacarosa.

La bolsa mostrada en la Figura 2.8 está hecha de una membrana permeable al disolvente (agua en la Figura 2.8) pero impermeable al soluto (sacarosa). Estas membranas se conocen como semipermeables. Las primeras membranas semipermeables utilizadas en ósmosis fueron procedentes de tejidos de animales (por ejemplo, vejiga de cerdo). Más tarde se desarrollaron membranas sintéticas, siendo actualmente las más empleadas las de acetato de celulosa.

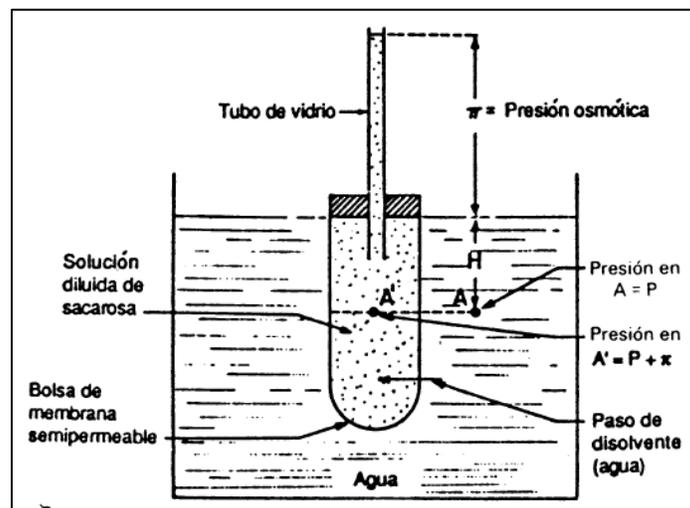


Figura 2.8. Experimento de la ósmosis.

Fuente: Ramalho (1983)

Se coloca una solución diluida de sacarosa (por ejemplo, 0,001 M) dentro de la bolsa semipermeable, que se sumerge en un depósito conteniendo agua pura. El agua se difunde espontáneamente desde el depósito al interior de la bolsa

semipermeable, tal como se indica por las flechas. En consecuencia, a través del tubo de vidrio conectado a la solución diluida de sacarosa asciende una columna de líquido, alcanzando en el equilibrio una altura π por encima del nivel de agua en el depósito. En este momento se termina el paso de disolvente. La presión ejercida en los puntos A y A' situados en el mismo nivel difiere por el aumento correspondiente a la altura π del líquido. Este valor se denomina presión osmótica de la solución de sacarosa. La osmosis se define como el paso espontáneo de un disolvente desde una solución diluida (agua pura para el caso de la Figura 2.8) a otra mas concentrada a través de una membrana semipermeable.

c.2) Principio de la ósmosis inversa

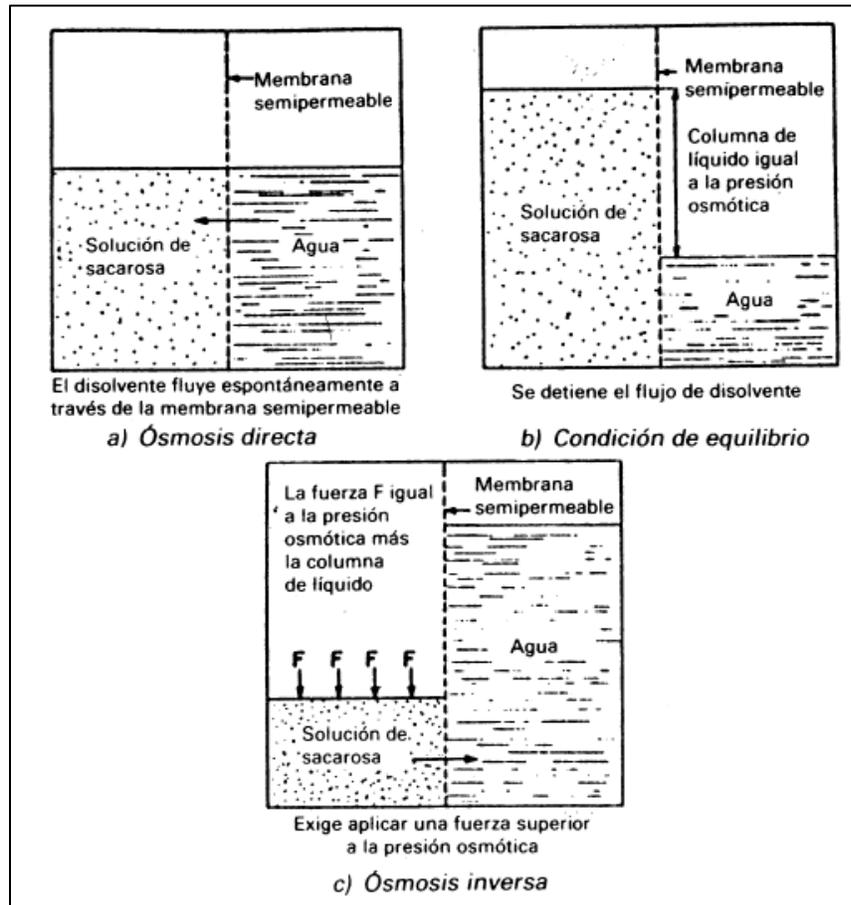


Figura 2.9. Ósmosis inversa.

Fuente: Ramalho (1983)

El principio en el que se basa la ósmosis inversa se representa en la Figura 2.9. La Figura 2.9a representa la ósmosis directa (esto es, las condiciones existentes al comienzo del experimento con la solución de sacarosa, de la Figura 2.8). El disolvente fluye espontáneamente a través de la membrana semipermeable. En la Figura 2.9b se representa la condición de equilibrio. En este momento la altura del líquido que se ha desarrollado como consecuencia del flujo de disolvente a través de la membrana es igual a la presión osmótica. El flujo de disolvente se detiene. En la Figura 2.9c se representa lo que sucede cuando se aplica una fuerza F superior al valor de la presión osmótica a la solución de sacarosa. El flujo de disolvente se invierte, o sea, desde el compartimento conteniendo la solución de sacarosa al compartimento de agua. Este fenómeno se denomina ósmosis inversa.

En el tratamiento de las aguas residuales mediante ósmosis inversa, el afluente contaminado se pone en contacto con una membrana adecuada a una presión superior a la presión osmótica de la solución (situación análoga a la de la Figura 2.9c, excepto en lo que se refiere a que el compartimento de la izquierda contiene agua residual en lugar de solución de sacarosa). Bajo estas circunstancias, el agua con una cantidad muy pequeña de contaminantes, pasa a través de la membrana. Los contaminantes disueltos se concentran en el compartimento del agua residual. Este concentrado, que posiblemente sea una pequeña fracción del volumen total de agua residual a tratar, se descarga. Se obtiene agua purificada en el otro compartimento.

Los compartimentos indicados en la Figura 2.9 son una representación esquemática del proceso de ósmosis inversa. En la práctica, el proceso de ósmosis inversa se lleva a cabo mediante un sistema de configuración tubular (Figura 2.10).

El agua residual fluye bajo presión elevada (superior al valor de su presión osmótica) a través de un tubo interior formado por material semipermeable y proyectado para soportar presiones elevadas. El agua purificada se separa en el

tubo exterior, que se encuentra a presión atmosférica y esta fabricado de material ordinario.

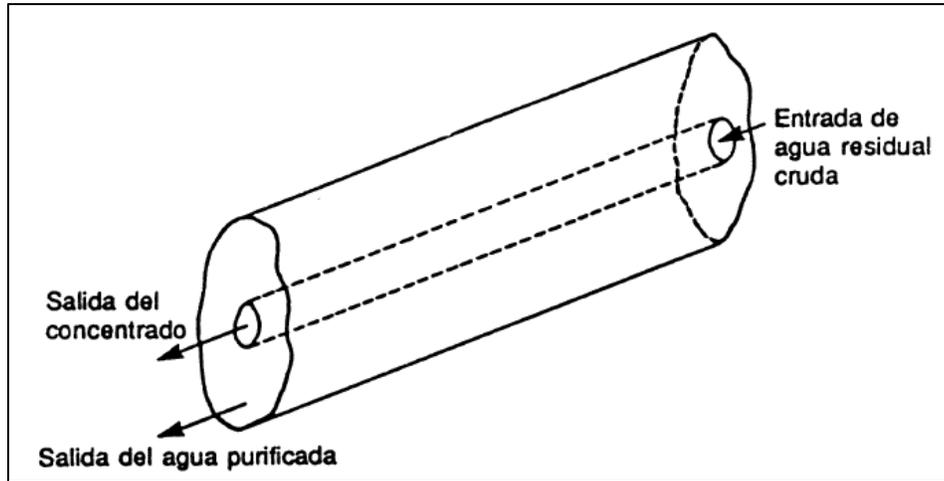


Figura 2.10. Diagrama de un sistema tubular para el tratamiento de las aguas residuales mediante ósmosis inversa.

Fuente: Ramalho (1983)

II.2.7 DEFINICIONES BÁSICAS

A continuación se define los términos mas empleados en el contenido del presente trabajo, a fin de facilitar la comprensión y entendimiento del mismo (Hidrolab Toros Consultores C.A., 1994).

- **Muestra simple:** es aquella donde todo el material es recolectado al mismo tiempo, de tal manera que representa las características del efluente en un momento determinado. Se utilizan para analizar parámetros que deben ser determinados en campo, tales como pH, temperatura, cloro residual, oxígeno disuelto, coliformes, etc.
- **Muestra compuesta:** es una combinación de una serie de muestras simples recolectadas sobre un periodo de tiempo determinado. Representan las condiciones promedios del efluente durante el lapso muestreado.

- **Sólidos suspendidos:** sólidos que flotan en la superficie y/o están suspendidos en el agua, efluente industrial, u otro líquido, y los cuales son considerablemente removidos por filtración.
- **Sólidos disueltos:** se definen como la porción de los sólidos totales de una muestra que pasa a través de un filtro y que es secada en un horno a una temperatura definida. También se denomina residuo filtrable.
- **Aceites y grasas:** en efluentes industriales, lo constituyen un grupo de sustancias que comprenden grasas, ceras, ácidos grasos libres, aceites minerales, y ciertos materiales no grasosos. Pueden encontrarse libres o emulsionados, y generalmente se eliminan de efluente por gravedad, por rompimiento de la emulsión, por ultrafiltración y por flotación.
- **Demanda bioquímica de oxígeno:** es una medida de la cantidad de oxígeno disuelto utilizado por los microorganismos para oxidar bioquímicamente la materia orgánica en un tiempo especificado, a una temperatura especificada, y bajo condiciones específicas.
- **Demanda química de oxígeno:** este análisis también es utilizado para medir el contenido de materia orgánica del agua y/o efluentes. El equivalente de oxígeno de la materia orgánica que puede ser oxidada es medido usando un agente oxidante en medio ácido.
- **DBO_{SOLUBLE}:** demanda biológica de oxígeno obtenida después de filtrar o sedimentar el agua residual (agua clarificada).
- **DQO_{SOLUBLE}:** demanda química de oxígeno obtenida después de filtrar o sedimentar el agua residual (agua clarificada).
- **Lodos:** Son acumulaciones de sólidos tras los procesos de sedimentación primaria o secundaria y que tiene su origen bien en las características intrínsecas del líquido o del proceso de tratamiento correctivo en sí. Los mismos deben ser extraídos, todos o parte de ellos, de las plantas de tratamientos y eliminados como material orgánico estabilizado, o sea, sin características agresivas para el ambiente.
- **Metales pesados:** Los metales pesados lo constituyen, el níquel, cromo, zinc, hierro, cadmio, mercurio, plomo otros. Su presencia en el agua, aún en

concentraciones pequeñas le dan un carácter de toxicidad. Se eliminan por medio de procesos fisicoquímicos.

- **Materiales sedimentables:** Se define como el volumen en mililitros ocupado por la materia que sedimenta en una muestra de un litro después de permanecer en reposo durante una hora. Este análisis permite mostrar de una manera rápida y cualitativa si los procesos primarios y/o secundarios de tratamiento, están funcionando adecuadamente.

Otras definiciones importantes en el área de tratamiento de aguas provenientes del proceso:

- **Biodegradabilidad:** Según Parra (2008), biodegradable es el producto o sustancia que puede descomponerse en los elementos químicos que lo conforman, debido a la acción de agentes biológicos, como plantas, animales, microorganismos y hongos, bajo condiciones ambientales naturales.
- **Solubilidad:** Según Metcalf (1977), es una medida de la capacidad de disolverse una determinada sustancia (solute) en un determinado medio (solvente); implícitamente se corresponde con la máxima cantidad de soluto disuelto en una dada cantidad de solvente a una temperatura fija y en dicho caso se establece que la solución está saturada.

A continuación se presentan los modelos matemáticos indispensables para la determinación de algunos parámetros básicos según Silva (2003).

- **Caudal:** es la cantidad de fluido que avanza por unidad de tiempo. Este parámetro se puede calcular mediante el siguiente método:

Método de tiempo y volumen.

Consiste en determinar el caudal mediante el volumen de llenado en un determinado lapso de tiempo.

$$Q_i = \frac{V}{t} \quad (\text{Ec. 2.1}) \quad (\text{SILVA, 2003})$$

Dónde:

Q_i (L/h): Caudal

V (L): Volumen

t (s): tiempo

- **Caudal de máximo de suministro:** es el caudal máximo que debe poseer la bomba dosificadora, con el cual se garantice que se realizara la dosificación optima de los químicos cuando dicha bomba este trabajando al 50% de su capacidad. Ecuación suministrada por el proveedor de las bombas.

$$Q_{MAX} = 2 \times Q \quad (Ec. 2.2) \text{ (INSATÉCNICA, 2012)}$$

Dónde:

Q_{MAX} (L/h): Caudal máximo de las bombas dosificadoras

II.2.8 PARÁMETRO ESTADÍSTICO

Promedio Aritmético: Según Skoog y colaboradores (2001), el promedio aritmético de un conjunto finito de números, es igual a la suma de todos sus valores dividida entre el número de sumandos.

$$\bar{X} = X_{prom} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n}{n} \quad (Ec. 2.3) \text{ (SKOOG, 2001)}$$

II.3 INFORMACIÓN INDUSTRIAL

SMURFIT KAPPA CARTÓN DE VENEZUELA

Nacimiento de Cartón de Venezuela (1954)

En el estado Miranda, específicamente en el municipio Sucre, se encuentra la parroquia Petare, que es una de las 32 del área metropolitana de Caracas, Venezuela. Petare para ese entonces era un lugar de difícil acceso, sin embargo

allí se encontraba una pequeña planta propiedad de la compañía Industrial del Cartón. Simultáneamente, nacía Cartón de Venezuela, auspiciada por un grupo de accionistas venezolanos y Container Corporation of America. Pronto su directiva fue atraída por la modesta planta de cartón ubicada en Petare en virtud del potencial que representaba en función a su ubicación y el inminente desarrollo de la actividad industrial venezolana.

Una vez adquiridas dichas instalaciones, se dio origen entonces a Cartoven-Petare. El nacimiento de esta empresa se tradujo de inmediato en la modernización y ampliación de sus equipos que comprenden dos molinos y una corrugadora.

Fundación de Cartón de Venezuela (1954)

Alrededor de los años 1952 y 1953 el vicepresidente ejecutivo de la Container Corporation of America, vino a Caracas para evaluar el mercado nacional de cajas de cartón corrugado. En aquella época sólo existía una planta dedicada a esa producción en el país, y era propiedad de la Industrial de Cartón de la familia Issa; la inmensa mayoría de las cajas de cartón que se utilizaban en Venezuela eran importadas. Luego de un análisis de la situación económica y de negociaciones con la familia Issa, se cerró en 1954 la operación de compra-venta de la planta de Industrial de Cartón.

A partir de este año en adelante, se fueron creando divisiones a nivel nacional, tanto de producción de cartón y cartulina, como de suministro de materia prima, las cuales son: Corrugadora de Cartón – Maracaibo (1956), Fibras Industriales (1960), Cartones Nacionales (1962), Cartoenvases Valencia (1965), Unión Gráfica Valencia (1974), Molinos de Cartón y Papel (1975), Mocarpel Valencia (1980), División Forestal (1981) y Cartoenvases Guacara (1983).

Unión Gráfica Valencia (Unigra)

Una vez que fue inaugurada la planta de Valencia, la división Unión Gráfica de Catia, Caracas, fue trasladada a la zona industrial de Valencia, con la finalidad

de unificar la producción de ambas plantas en una sola, colocándose entre Cartoenvases Valencia y Cartones Nacionales, esta última es el molino que produce la materia prima a Unión Gráfica.

Unigra constituye la fábrica de estuches plegadizos del grupo, los cuales tienen su fabricación a partir de las cartulinas hechas por Cartones Nacionales, abasteciendo de esta manera un extenso sector de las industrias nacionales de productos de consumo masivo.

Smurfit Cartón de Venezuela

En 1987 Cartón de Venezuela se ha integrado a la organización mundial de Jefferson Smurfit Group a raíz del cambio accionario producido después de la adquisición de Container Corporation, compañía accionista mayoritaria del grupo Cartón de Venezuela, por parte de Jefferson Smurfit Group, uno de los líderes mundiales en la fabricación de papel, empaques y reciclaje de cartón usado.



Figura 2.11. Vista aérea de Unigra



Figura 2.12. Máquinas de impresión Unigra

En la Figura 2.11 se observa las áreas delimitadas para producto terminado y materia prima de la empresa Unión Gráfica. En la Figura 2.12 se observa la máquina de impresión Roland mientras se realizaba una jornada de confiabilidad a cada uno de las máquinas impresoras.

II.4 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE TRATAMIENTO DE AGUAS PROVENIENTES DEL PROCESO DE UNIGRA

AGUA A TRATAR

La planta de tratamiento de Smurfit Kappa Cartón de Venezuela, S.A., división Unión Gráfica, fue diseñada para tratar alrededor de 10000 L/día de agua. El tratamiento es realizado por lote o batch, donde los días lunes se realizan 4 batch, y de martes a viernes 2 batch. La cantidad de tratamientos realizados va a depender de la cantidad de agua generada en el proceso productivo.

CAPTACIÓN DE LOS EFLUENTES DEL PROCESO PRODUCTIVO A TRATAR

La planta de tratamiento de Unigra, recibe agua de los procesos de litografía, fotolito y acabado, donde sus aguas de desecho son recolectadas en tanquillas internas de las áreas de procesos.

Los efluentes de fotolito se envían directamente por gravedad hacia el tanque de recepción ubicado en la planta de tratamiento. La generación de efluentes de fotolito es poca, por lo que la mayor carga de contaminación es aportada por impresión.

Los efluentes de impresión son bombeados desde la tanquilla de producción (Figura 2.13) hasta la trampa de aceites y grasas (Figura 2.14), donde se le retira los aceites y grasas emulsificadas, dichos desechos son almacenados en tambores para su posterior manejo. Posteriormente el efluente a la salida de la trampa, es recolectado en un tanque subterráneo de 500 L de capacidad (Figura 2.15), donde luego por gravedad son enviados a la estación de bombeo (Figura 2.16).

En el tanque de la estación de bombeo se le dosifica aire al efluente, para luego ser enviados a través de una bomba de diafragma al tanque de recepción T-01 ubicado en la planta de tratamiento.



Figura 2.13.
Tanquilla de producción



Figura 2.14.
Trampa de Grasas



Figura 2.15.
Tanque a la salida de la trampa de grasas

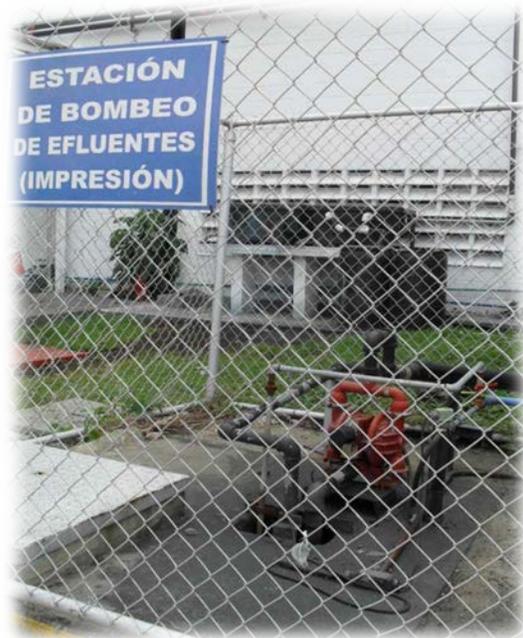


Figura 2.16.
Tanque a la salida de la trampa de grasas



Figura 2.17.

Trampa de grasas y estación de bombeo

PROCESO DE TRATAMIENTO EN LA PLANTA

A continuación se especifican cada uno de los tanques y equipos de tratamiento con los que dispone la planta de tratamiento.



Figura 2.18.

Planta de tratamiento de Unigra

Tanque de recepción

Al tanque de recepción (Figura 2.19) llegan todos los efluentes a tratar en la planta de tratamiento. Dicho tanque es subterráneo y tiene una capacidad de almacenamiento de 6500 L. Cuando el tanque llega al máximo de su capacidad, el agua es bombeada automáticamente hacia el tanque de igualación.



Figura 2.19.
Tanque de recepción



Figura 2.20.
Batea de lavado de coleros

Los efluentes que son almacenados por este tanque son:

- E. Impresión.
- E. Fitolito.
- E. de la batea para lavado de coleros (Figura 2.20).

Tanque de igualación

El tanque de igualación (Figura 2.21) es subterráneo y su capacidad de almacenamiento es de 15000 L. A él, caen las aguas provenientes del tanque de recepción, retrolavado de los filtros y de los lechos de secado. En este tanque es donde se almacenan las aguas cuando no se esta operando la planta de tratamiento, por lo que se le dosifica oxígeno constantemente al agua para

garantizar las condiciones aerobias. Cuando se va a realizar el tratamiento, el agua es bombeada manualmente hasta el reactor fisicoquímico.



Figura 2.21.
Tanque de igualación

Reactor físico-químico

Es un tanque de forma cónica (Figura 2.22), cuya capacidad de almacenamiento es de 3000 L. En la parte superior tiene acoplado un dispositivo agitador (Figura 2.23), para garantizar el mezclado perfecto durante tratamiento fisicoquímico.

El tratamiento se realiza en forma automática una vez dada la señal de inicio por el operador en el panel de control automatizado de la planta.



Figura 2.22.
Reactor físico-químico



Figura 2.23.

Mezclador del reactor físico-químico

El esquema de tratamiento es el siguiente:

- Se enciende el mezclador, y se dosifica la cantidad determinada de coagulante (prueba de jarra).
- Esperar un minuto y dosificar la cantidad determinada por el proveedor de floculante.
- Esperar un minuto. Bajar al panel de control y apagar el mezclador.
- Se deja sedimentar la mezcla por un lapso aproximado de 30 minutos, para posteriormente descargar los lodos generados hacia los lechos de secado y el líquido clarificado hacia el tanque de clarificado.



Figura 2.24.

Descarga del reactor sedimentador

Lechos de secado

Los lodos generados en el tratamiento por cargas son drenados gravimétricamente a los lechos de secado (Figura 2.25). Donde los lodos se secan por la acción de la gravedad y del sol. El filtrado es reciclado nuevamente al tanque de igualación y los lodos son recolectados manualmente en los recipientes destinados para su almacenaje, para luego ser enviados a lugar que determine la autoridad sanitaria previo cumplimiento del decreto N° 2211 de la ley penal del ambiente.



Figura 2.25.
Lechos de Secado

Tanque de clarificado



Figura 2.26.
Tanque de clarificado

Luego de ser retirados los lodos del reactor fisicoquímico, se envía por gravedad el agua tratada hacia el tanque de clarificado (Figura 2.26), se deja reposar por espacio de 15 minutos y finalmente es enviada hacia los filtros. Dicho tanque tiene una capacidad de 8000 L.

Filtros

El líquido semi-tratado es enviado por una bomba desde el tanque de clarificado hasta el proceso de filtración. Dicho proceso consta de 2 filtros (Figura 2.27): uno de grava y otro de carbón activado, con la finalidad de retener los sólidos suspendidos y los orgánicos disueltos respectivamente, y así lograr concentraciones que puedan ser descargadas al colector cloacal.



Figura 2.27.
Filtros

DISTRIBUCIÓN

El agua una vez ha pasado por el proceso de tratamiento, es enviada por el operador de la planta hacia la red cloacal, esto ocurre de manera automática una vez encendida la bomba de suministro de los filtros. Como es un proceso por cargas, solo se bombea agua hacia las cloacas cuando el operador esta realizando el tratamiento. El caudal de salida de los filtros es de 0,29 L/s.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

En el siguiente capítulo se detallara toda la metodología a emplear para dar cumplimiento a los objetivos planteados en este trabajo de grado, logrando así, adecuar la planta de tratamiento de aguas provenientes del proceso en el área en estudio.

III.1 TIPO DE PROYECTO

Según los objetivos planteados en la investigación, el tipo de trabajo a desarrollar es de tipo mixta, debido a que presenta tanto investigación de campo como investigación documental. La investigación de campo es la que se efectúa en el lugar y tiempo que ocurren los fenómenos objeto de estudio y la investigación documental es aquella que se realiza a través de la consulta de documentos (libros, revistas, registros, memorias, etc.) (Zorrilla 1992:43). Se planificó reconocer los equipos y procedimientos aplicados durante el proceso y llevar a cabo la recolección de muestras en el lugar de estudio, luego se analiza la información obtenida bajo criterios establecidos y se consulta a diferentes fuentes, esto con el propósito de determinar y proponer los cambios acordes para el proceso y lograr resolver el problema del agua a la salida de la planta de tratamiento.

Según la profundidad de la investigación es de tipo proyectiva, ya que tiene por objeto, el diseño, la propuesta o creación de un modelo que permita solucionar una necesidad de tipo práctico (Smith, 2003). Durante la realización de dicha investigación se procura proponer una alternativa para el adecuamiento de la planta de tratamiento de aguas provenientes del proceso de Smurfit división Unión Gráfica, con la finalidad de fijar una solución y lograr así cumplir con los parámetros exigidos por el Decreto N° 3219, titulado: Normas para la clasificación y el control de la calidad de las aguas de la cuenca del Lago de Valencia.

Según el periodo de investigación es de tipo diacrónica prospectiva, debido a que estudia los procesos y cambios a través del tiempo de un tema en estudio (Ávila, 2006).

Para el desarrollo sistemático de la investigación (DSI) se plantea lo siguiente:

- Diagnóstico del proceso productivo, de las variables involucradas en el tratamiento (DBO_5 , DQO), de los equipos e instalaciones de la planta de tratamiento de Unigra.
- Determinación de la relación DBO_5 / DQO actual de la planta de tratamiento, que sirvan de punto de partida para el diseño de la propuesta.
- Generación de las diferentes alternativas para la adecuación de la planta de tratamiento.
- Selección de la mejor alternativa para cumplir con los objetivos planteados.
- Dimensionamiento de la alternativa seleccionada para que los parámetros DBO_5 y DQO se encuentren dentro de los valores permitidos en el decreto N° 3219.
- Determinación la relación costo-beneficio para la propuesta planteada.

III.2 SÍNTESIS METODOLÓGICA

La localización y diagnóstico de las fallas en el sistema de tratamiento de aguas provenientes del proceso se obtuvo mediante la implementación de un diagrama causa-efecto, donde se fijaron todas las posibles causas y variables que influyen tanto en el proceso de tratamiento como el proceso productivo de la planta.

Con el propósito de estudiar y poder diagnosticar las posibles deficiencias y carencias en el proceso, a través del diagrama causa-efecto, se pudo visualizar de una mejor forma las causas que influyen en el sistema de tratamiento de aguas provenientes del proceso y así entrever la alternativa más adecuada que permita la adecuación al Decreto.

La generación y obtención de las diferentes alternativas de adecuación en el proceso de tratamiento de las aguas provenientes del proceso, se llevó a cabo mediante la implementación de un cuestionario y entrevistas, ambos de preguntas abiertas y cerradas, facilitando de esta manera el proceso de selección.

Tanto la entrevista como el cuestionario son instrumentos que permiten generar las diferentes alternativas para la adecuación de la planta de tratamiento, obteniendo de esta manera un conjunto de propuestas y poder así seleccionar más adelante la que proporcione la mejor adecuación desde el punto de vista operacional, económico y ambiental.

La escogencia de la alternativa más conveniente desde el punto vista operacional, económico y ambiental para el adecuamiento, se logró mediante la implementación de una matriz de selección, dicha herramienta facilitó el proceso de selección.

La alternativa que proporcione la mejor adecuación, es aquella que proporcione menores costos de inversión, se adapte mejor a las condiciones actuales de la planta de tratamiento y genere menor impacto ambiental.

El dimensionamiento de la propuesta de alternativas a implementar se logró a través de diferentes modelos matemáticos, donde se establecieron todas las características, condiciones y mejoras de manera unificada, para la correcta adecuación del sistema de tratamiento.

A partir de las condiciones actuales, se desarrolló un rediseño desde el punto de vista ingenieril haciendo uso de las ecuaciones matemáticas disponibles para el área en estudio. Además, se consideró la disponibilidad del espacio con que cuenta la planta de tratamiento.

Finalmente, mediante cotizaciones obtenidas con diversos proveedores se estimó el costo de materiales, partes de equipos y equipos, para el diseño de la propuesta, a su vez se determinó la relación costo beneficio desde el punto de vista de multas por la contaminación del medio ambiente.

III.3 DESCRIPCIÓN DE LAS FASES METODOLÓGICAS

III.3.1 Diagnóstico del proceso productivo, de las variables involucradas en el tratamiento (DBO₅, DQO), de los equipos e instalaciones de la planta de tratamiento de Unigra

- **Observación, comprensión y descripción del proceso**

Se realizaron diferentes recorridos en la planta de tratamiento y en el proceso productivo de la empresa, con el fin de observar y comprender las diferentes líneas de producción del proceso litográfico, sus efluentes generados, así como también, el proceso de tratamiento de sus aguas provenientes del proceso.

Se entendió el funcionamiento de cada una de las partes que conforman la planta de tratamiento, tanto de los equipos en uso como los que no están en uso.

Se reconoció y comprendió el uso de los diferentes químicos empleados en el proceso de coagulación floculación, así como el proceso de preparación del floculante. Se hizo un reconocimiento de los diferentes equipos de medición empleados para la caracterización de las muestras (temperatura y pH) así como se comprendió de igual forma su funcionamiento.

- **Recopilación de información bibliográfica**

Se llevó a cabo una investigación completa a través de libros, revistas, publicaciones internacionales y otras tesis, acerca de tecnologías empleadas para el tratamiento de aguas provenientes del proceso, haciendo énfasis en la optimización de plantas físico-químicas, así como de las diferentes variables que influyen en el proceso de tratamiento.

Se investigó acerca de nuevas tecnologías para empresas litográficas, en cuanto al uso de químicos biodegradables y que posean menos carga

contaminante. Se recopilaron todas las hojas de seguridad de los químicos empleados para el proceso de tratamiento y productivo.

Se recopiló toda la información concerniente al diseño de la planta; datos de las dimensiones de las etapas y/o equipos, características y equipos auxiliares. Todo esto explicado en la memoria descriptiva de la misma, cuya información fue suministrada por el Ingeniero de Procesos. También, fue proporcionado los manuales que proporcionan los fabricantes de los equipos. Por último, se realizaron entrevistas con el personal involucrado en el área de ingeniería de procesos, laboratorio y mantenimiento mecánico, para así obtener información técnica sobre el proceso.

- **Revisión de la información relacionada con la planta de tratamiento de Unigra y el Decreto N° 3219**

Se investigó acerca del funcionamiento de la planta de tratamiento así como los valores de los parámetros biológicos y físico-químicos en los últimos 7 años, para de esta manera tratar de conseguir vínculos, que puedan ser los causantes de las fallas de la planta en la actualidad. Además, se hizo un análisis del decreto N° 3219, para conocer de esta manera las regulaciones ambientales con las que cuenta la República Bolivariana de Venezuela en los presentes momentos, así como las posibles multas de no cumplirlo.

- **Elaboración de un diagrama causa-efecto, para determinar las variables involucradas**

Con la finalidad de identificar las causas más relevantes en el proceso de tratamiento de aguas provenientes del proceso, se recopiló información tanto del proceso productivo como del proceso de tratamiento con el fin de detectar los elementos que contribuyen a las causas del problema, y de esta forma poder

obtener un diagrama causa-efecto o de Ishikawa, para posteriormente generar algunas alternativas de solución.

El diagrama de Ishikawa es una representación que luce como una espina de pescado; consta de una línea principal al final de la cual se coloca el efecto del problema. Las causas de mayor importancia son las espinas principales y los otros factores contribuyentes son incluidos como ramificaciones de las principales. Se usa para analizar las relaciones de causa y efecto y facilitar la solución de problemas desde su origen hasta la solución de las causas (Ishikawa, 1986).

Las categorías de causas empleadas fueron:

- a) **Mano de Obra:** abarca todo el personal involucrado en el proceso productivo y de tratamiento, desde el Gerente de Producción hasta los Operadores. Este renglón engloba todas las variables involucradas para crear un ambiente de cooperación y entendimiento entre los trabajadores y de compromiso con la empresa y el medio ambiente.
- b) **Materias Primas / Materiales:** comprende todos los insumos empleados tanto en el proceso productivo como de tratamiento.
- c) **Métodos / Procedimiento:** consiste en los procedimientos que ocasionan efluentes no deseados en la planta de tratamiento.
- d) **Máquinas y Equipos:** se incluyen todos los equipos necesarios para llevar a cabo ambos procesos, y que de manera directa e indirecta ocasionan un efluente no deseado en la planta de tratamiento.
- e) **Medición:** Este aspecto incluye todo lo relacionado con el control de proceso de la planta de tratamiento.

El criterio empleado para la obtención de dichas variables fue considerando el efecto que generará en el proceso de tratamiento (solo con tratamiento físico-químico) la modificación de las causas de cada categoría, de esta manera, las variables que no aportan gran relevancia en el problema se descartaron inmediatamente, ya que no producirán mejora alguna en la eficiencia de la planta de tratamiento.

- **Identificación de las variables más relevantes que originan el problema**

Para la identificación de las causas más relevantes, se enfocó el estudio hacia los equipos que no se están empleando actualmente en la planta de tratamiento, así como en las fallas que poseen los que están en uso. Se notó la carencia de otros tratamientos, la necesidad de optimizar de los que ya están y que no se lleva un control operacional minucioso de la planta. Además, la falta de conocimiento por parte de los operarios de la planta en cuanto a los diferentes procesos de tratamiento de aguas.

Por último se orientó el problema hacia el proceso productivo, en cuanto al uso de químicos y su correspondiente manejo y disposición final de los mismos. Además, el deterioro de los equipos, que ocasionan derrames de grasas, que caen en las canales de agua y luego son enviados a la planta de tratamiento.

- **Toma de muestra de solución limpiadora de rodillos y mantillas, comprobación de la biodegradabilidad de la misma**

Se tomó una muestra de dos Litros de solución limpiadora de rodillos y mantillas (Rodep), luego fue enviada al laboratorio de Microbiología de la Facultad de Ciencias y Tecnología de la Universidad de Carabobo, donde se le realizaron las siguientes pruebas:

- a) Curva de Crecimiento
- b) DBO 5 días, 20° C
- c) DQO
- d) Carga Heterotrófica

Una vez obtenido los resultados y determinada la biodegradabilidad o no del solvente, se procedió a recomendar su uso o cambio de producto por uno que sea amigable con el medio ambiente.

- **Realización de una tabla resumida de la operación de la planta**

Con la ayuda de los operarios de la planta de tratamiento, y luego de haber realizado la observación del proceso, se procede a elaborar una tabla resumida de la operación de la planta, con cada una de sus partes constituyentes y la función que cumplen dentro del proceso de tratamiento.

- **Consultas con expertos en el área de tratamiento de aguas provenientes del proceso**

Realización de reuniones con expertos en el área (Ingenieros Ambientales, Profesores, Asesores Ambientales), para exponerles la manera cómo se opera y funciona la planta de tratamiento de Unigra en la actualidad, planteándoles las posibles dudas surgidas, y conociendo el punto de vista de cada uno de ellos acerca de; la manera en que se está operando la planta, los tratamientos que se realizan, los resultados obtenidos y otras informaciones importantes que se deberían tener en cuenta para la resolución del problema.

De esta manera se busca lograr el primer acercamiento hacia ellos, consiguiendo su familiarización con la planta de tratamiento de la empresa.

- **Diseño y elaboración del manual de operación de la planta**

Una vez realizada la observación de cada una de las etapas de la planta de tratamiento, recopilada toda la información bibliográfica, realizada la tabla resumen y la consulta con expertos en el área, y revisados otros manuales de otras plantas, se procede a la realización del “Manual de operación de la planta de tratamiento de aguas provenientes del proceso de Smurfit Kappa Cartón de Venezuela S.A., división Unión Gráfica”. Dicho manual deberá contener; el arranque, operación y parada de la planta para el momento de realización de dicho trabajo de grado.

- **Investigación de las situaciones de riesgo durante el proceso de tratamiento**

Se investigó sobre las posibles situaciones de riesgo para la salud del operador y para la contaminación del medio ambiente, durante la operación de la planta y el manejo de químicos y sustancias peligrosas. Posteriormente fueron anexadas al manual de operación de la planta.

III.3.2 Determinación de la relación DBO_5/DQO actual de la planta de tratamiento, que sirvan de punto de partida para el diseño de la propuesta

- **Observación del proceso y reconocimiento del cambio realizado**

Para cumplir con esta fase de la metodología se realizaron observaciones detalladas del proceso productivo, para distinguir los posibles cambios en cuanto a la producción; uso de químicos, solventes, tinta, pega y cantidad producida. Una vez obtenido dichos valores, se procede a revisar cada uno de los componentes de la planta de tratamiento, para confirmar su buen funcionamiento. Todo esto en compañía del operador de la planta.

Se debe percatar si a la planta no se le han hecho modificaciones para mejorarla, debido a que como es una planta que tiene mucho tiempo fuera de norma, constantemente se busca adecuarla. En caso de notar cambios, deben ser anotados.

- **Selección de los parámetros físico-químicos involucrados en el muestreo**

Se procede a seleccionar los parámetros a estudiar al agua cruda proveniente del proceso productivo. Debido a que en la hoja de seguimiento de la planta de los últimos 7 años se observa la falla en cuanto a los niveles tan altos de concentración del DBO_5 y DQO desde inicios del 2010 hasta la actualidad, fueron

estos los parámetros seleccionados para hacer el estudio en el laboratorio propio de CARTONAL, filial de UNIGRA.

Cabe destacar, que otras de las razones por las que solo se realizó estudios de esos dos parámetros fue debido a la disponibilidad en cuanto a reactivos y espacio del laboratorio.

- **Toma de la muestra**

Para la evaluación de las diferentes características de un agua residual se siguieron las normas COVENIN 2709:2002 tituladas “Aguas naturales, industriales y residuales. Guía para las técnicas de muestreo”. Una caracterización acertada de esta agua requiere una técnica apropiada de muestreo que asegure resultados representativos del caudal global o volumen total y no el de un instante de tiempo. Los periodos de muestreo dependerán de los propósitos del programa de muestreo y de las facilidades dadas por parte del laboratorio donde se realizaran las pruebas.

Generalmente se prefieren las muestras compuestas para asegurar representabilidad y detectar efectos de las descargas variables de los diferentes contaminantes. El proceso de tratamiento de Unigra es por Batch, las muestras fueron tomadas de manera compuesta, por lo que el operador de la planta tomaba las muestras en el 3er turno (10 pm a 6 am) de la siguiente manera: de cada uno de los puntos de estudio se tomó 250 mL cada 15 minutos cuatro veces, para finalmente unir las todas y obtener un litro de muestra compuesta.

Inicialmente, se fijaron tres puntos de muestreo; entrada y salida de la tolva de reacción (lugar donde ocurre el proceso físico-químico), y a la salida de los filtros. Las muestras se tomaron una vez por semana en envases cerrados de dos litros a las 3 am durante cuatro meses (desde Abril hasta Julio del 2011), para posteriormente ser analizadas en el laboratorio. Una vez finalizados los cuatro meses, se procedió a repetir la toma diaria de muestras compuestas, durante dos

semanas completas (cuarta semana de Octubre de 2011 y segunda semana de Noviembre de 2011), en envases cerrados de un litro a las 3 am, esta vez se muestreo en cada una de las partes de la planta; entrada y salida de la trampa de grasas, tanque de estación de bombeo, salida de estación de bombeo, tanque 1 (recepción), tanque 2 (igualación), entrada y salida de la tolva, tanque 3 (clarificado) y a la salida de los filtros.

Se debe aclarar que las muestras fueron tomadas por el operador a las 3 am, para poder realizarle las pruebas de DQO y DBO₅ a las 7 am en el laboratorio de Cartonal, debido a que nos ofrecieron su laboratorio solo en el primer turno de trabajo (6 am a 2 pm). Además que, se busco una uniformidad en la toma de las muestras, y se decidió esa hora en conjunto con el operador, pensando en que era la hora donde podía dedicarle mas tiempo a la planta de tratamiento, ya que a principios de su turno debe dedicarse a labores de producción.

- **Determinación de los parámetros físico-químicos (DBO₅ y DQO)**

Para la determinación de las concentraciones de DBO₅ y DQO de la planta de tratamiento de Smurfit Kappa Cartón de Venezuela, S.A., división Unión Gráfica, fueron implementadas las instrucciones de trabajo con las que cuenta el laboratorio de Cartonal, las cuales fueron ajustadas a las condiciones del efluente generado en el proceso productivo de Unigra.

Dichas instrucciones de trabajo son una recopilación de las siguientes metodologías:

Métodos Estandarizados: Según Franson (1995), se emplearon las metodologías:

- N° 5210 (Demanda Bioquímica de Oxígeno)
- N° 4500-0 (Oxígeno Disuelto)
- N° 5220 (Demanda Química de Oxígeno)

- **Sistematización de los resultados obtenidos**

En una tabla esquematizada se procede a descargar los resultados obtenidos de DBO_5 y DQO, donde especifique el punto donde se tomó la muestra, fecha, hora y si se cumple o no el Decreto N° 3219. Posteriormente en otra tabla, se reflejara el cálculo del factor DBO_5/DQO donde se especifique si dicho valor amerite o no un tratamiento biológico adicional. ($DBO_5/DQO > 0,6$ Adim.).

III.3.3 Generación de las diferentes alternativas para la adecuación de la planta de tratamiento

- **Selección del tipo de muestra**

Se definió la población a ser consultada, el tipo de muestra seleccionada fue la “No Probabilística o Dirigida”, debido a que la elección de los elementos no depende de la probabilidad, sino de causas relacionadas con las características del investigador o del que hace la muestra. Aquí el procedimiento no es mecánico, ni en base a fórmulas de probabilidad, sino que depende del proceso de toma de decisiones de una persona o grupo de personas, y desde luego, las muestras seleccionadas por decisiones subjetivas tienden a estar sesgadas (Sampieri, 1996).

- **Consulta con el personal encargado de la planta de tratamiento**

Se aplicó un cuestionario de preguntas abiertas y cerradas a los operadores de la planta (Apéndice B). Dicho cuestionario fue enfocado hacia la manera como se controla la planta en la actualidad (plan de control, carta de control y gráfica de control). Se les consultó sus conocimientos acerca del manejo de químicos y desechos peligrosos.

Un cuestionario consiste en un conjunto de preguntas respecto a una o más variables a medir. El contenido de las preguntas de un cuestionario puede ser tan

variado como los aspectos que se midan a través de éste. Y básicamente podemos hablar de dos tipos de preguntas: abiertas y cerradas. Las preguntas “cerradas” contienen categorías o alternativas de respuesta que han sido delimitadas. En cambio, las preguntas “abiertas” no delimitan de antemano las alternativas de respuesta (Sampieri, 1996).

El tipo de muestra no probabilística aplicado fue el de los “Sujetos-Tipos”, el cual es utilizado en estudios exploratorios y en investigaciones de tipo cualitativo, donde el objetivo es la riqueza, profundidad y calidad de la información, y no la cantidad y estandarización (Sampieri, 1996).

- **Consulta con profesores y expertos en el área**

Una vez aplicado el cuestionario y realizado los análisis de las aguas en la planta de tratamiento, se procedió a realizar una entrevista de preguntas abiertas y cerradas a especialistas y profesores en el área (Apéndice B), donde se les mostró toda la información recabada de la planta (caracterizaciones, hoja de seguimiento durante los últimos siete años, cuestionarios de los operadores, información bibliográfica propia, etc.), buscando de esta manera consultar sus ideas para lograr adecuar la planta lo más pronto posible.

Una entrevista consiste en una interacción entre dos personas, donde el investigador formula determinadas preguntas relativas al tema en investigación, mientras que el investigado proporciona verbalmente o por escrito la información que le es solicitada (Tamayo y Tamayo, 1995).

En ciertos estudios es necesaria la opinión de “Sujetos Expertos” en un tema. Estas muestras son frecuentes en estudios cualitativos y exploratorios que para generar hipótesis más precisas o para generar materia prima para diseño de cuestionarios o sugerencias. Estas son muestras válidas y útiles cuando los objetivos del estudio así lo requieren (Sampieri, 1996).

- **Sistematización de la información recabada**

Finalmente, se recopilaron todas las ideas surgidas en el cuestionario, la entrevista y la revisión bibliográfica. Posteriormente, fueron esquematizadas en una matriz cualitativa, con el propósito de preseleccionar las más beneficiosas y acertadas desde el punto de vista ingenieril, técnico y principalmente “económicos”.

Se debe recalcar que toda medición o instrumento de recolección de los datos debe reunir dos requisitos esenciales: confiabilidad y validez. La confiabilidad de un instrumento de medición se refiere al grado en que su aplicación repetida al mismo sujeto u objeto, produce iguales resultados. La validez, en términos generales, se refiere al grado en que un instrumento realmente mide la variable que pretende medir (Sampieri, 1996).

Para los instrumentos aplicados, no se pudo determinar la confiabilidad de los mismos debido a la cantidad de población estudiada (≤ 10 personas). A su vez, dichos instrumentos fueron validados por profesores expertos en el área (asesores metodológicos de contenido) para su acertada aplicación.

III.3.4 Selección de la mejor alternativa para cumplir con los objetivos planteados

- **Diseño de matriz de selección y establecimiento de criterios para la ponderación de las alternativas propuestas**

Se realizó una matriz de selección, donde se plantearon los diversos ítems a evaluar para cada una de las alternativas generadas en la fase anterior, dicha evaluación estuvo comprendida en un rango de 0 a 5, donde 0 es el puntaje más bajo de la escala, lo que representaría el nivel más deficiente de la evaluación y 5 el puntaje más alto, lo que representaría el mejor puntaje de la escala.

A continuación se presentan las matrices de selección, dependiendo de si se va a seleccionar un equipo o un producto químico, con la ponderación asignada para cada uno de los criterios (Tablas 3.1 y 3.2):

Tabla 3.1. Matriz de selección para tratamientos

CRITERIOS	%	Valoración: (1-5)			Ponderación: (Valor*%)		
		T1	T2	T3	T1	T2	T3
Mantenimiento	5						
Disponibilidad en el Mercado	10						
Especialización del operador	15						
Seguridad industrial	15						
Uso de equipos	15						
Costo	20						
Eficiencia	20						
TOTAL	100						

Donde:

T1: Tratamiento 1; T2: Tratamiento 2; T3: Tratamiento 3.

Tabla 3.2. Matriz de selección para productos químicos

CRITERIOS	%	Valoración: (1-5)			Ponderación: (Valor*%)		
		Q1	Q2	Q3	Q1	Q2	Q3
Disponibilidad en el Mercado	10						
Especialización del operador	15						
Seguridad industrial	15						
Toxicidad, Inflamabilidad, Explosión	20						
Costo	20						
Eficiencia	20						
TOTAL	100						

Donde:

Q1: Químico 1; Q2: Químico 2; Q3: Químico 3.

Estos criterios o parámetros con cada una de las ponderaciones planteadas, se escogieron basándose en las siguientes razones:

Mantenimiento: este criterio se toma en cuenta debido a que, para que un equipo perdure en el tiempo es necesario realizarle mantenimiento con regularidad. El mantenimiento de manera intrínseca influye sobre los costos, ya que por lo general para la realización del mismo, se contratan servicios externos a la planta; a su vez toma en cuenta la dificultad a la hora de realizarlo. En la matriz de selección de tratamiento, se le asignó un 5% de ponderación.

Disponibilidad en el Mercado: este aspecto es de vital importancia en la escogencia del tratamiento y del químico a emplear, ya que con él se debe garantizar la presencia en el mercado del insumo requerido, así como la facilidad en la obtención del mismo y la oportunidad de cotizar diferentes opciones. En ambas matrices se le asignó un 10% de ponderación.

Especialización del Operador: en este criterio se consideran los niveles de conocimientos mínimos requeridos por el usuario, a la hora de operar el tratamiento o al estar en contacto con el químico seleccionado. Por lo que, dependiendo de ese nivel se deberá capacitar constantemente al operador en el área. En ambas matrices se le asignó un 15% de ponderación.

Seguridad Industrial: esta asociada a los riesgos que generara la aplicación de las propuestas tanto para la salud de los trabajadores, las empresas vecinas, así como para el ambiente de trabajo. En ambas matrices se le asignó un 15% de ponderación. La evaluación estuvo comprendida en un rango de 0 a 5, donde 0 significa que acarreará un alto nivel de inseguridad aplicar el tratamiento o manipular el químico y 5 significa que es sumamente seguro aplicar la alternativa.

Uso de equipos: con este criterio se busca determinar la cantidad de equipos necesarios para la implementación de las propuestas, ya que estos repercute directamente sobre los costos, además entre mas equipos se requieran,

mayor será el espacio solicitado para su instalación. En la matriz de selección este criterio obtuvo un 15 % de ponderación.

Toxicidad, Inflamabilidad y Explosión: son tres factores determinantes a la hora de la escogencia de un químico, puesto que su manipulación y almacenamiento, suponen riesgos tanto para los trabajadores, como para las empresas y el medio ambiente, en el caso de presentarse un derrame. En la matriz de selección de químicos, este criterio obtuvo un 20% de ponderación.

Costos: Se podría considerar como uno de los factores mas relevantes, en el sentido de su relación directa e indirecta con cada uno de los demás criterios tomados en consideración para la realización de las matrices. La alternativa seleccionada debe ser aquella que genere un mayor beneficio, al nivel mas bajo de inversión posible para la empresa. Este criterio siempre va a estar presente una vez sea implementada la propuesta. En ambas matrices le fue asignado un 20% de ponderación.

Eficiencia: el grado de eficiencia mide el alcance real de la propuesta ha emplear, respecto al nivel de adecuación de la planta de tratamiento. En pocas palabras, se enfoca a determinar si el tratamiento o químico a aplicar logra cumplir de manera eficiente el objetivo de estudio. En ambas matrices se le asignó un 20% de ponderación. La evaluación estuvo comprendida en un rango de 0 a 5, donde 0 significa que la alternativa no es eficiente y 5 significa que es altamente eficiente.

- **Análisis y comparación de las alternativas bajo los criterios establecidos**

Para comparar de manera eficaz y certera las características que debe cumplir la propuesta, se consideraron las ventajas y desventajas de la implantación de cada una de las alternativas, tomando en cuenta los ítems o criterios evaluativos y su porcentaje. Para luego, poder generar la solución que posea el mayor número de ventajas, tomando en cuenta que posea la mejor

ponderación en el proceso de evaluación, y así garantizar las mejores condiciones para el acondicionamiento de la planta.

- **Elección de la alternativa más adecuada**

Se seleccionó la alternativa cuya ponderación fue la más alta tomando en cuenta cada uno de los criterios en estudio, con la finalidad de seleccionar la que mejor se adecue a las características propias del proceso de producción y de tratamiento, y de esta forma dar cumplimiento al decreto N° 3219.

III.3.5 Dimensionamiento de la alternativa seleccionada para que los parámetros DBO₅ y DQO se encuentren dentro de los valores permitidos en el decreto N° 3219

- **Recopilación de información bibliográfica**

Se recopilaron las bases teóricas y modelos matemáticos que respalden el diseño de la propuesta a recomendar, la cual es la que ofrece mejor adecuación respecto a las condiciones actuales de operación.

- **Consultas con expertos en el área de tratamiento de aguas residuales y personal que labora la planta de tratamiento de Unigra**

Fueron realizadas entrevistas y consultas con personas especializadas en la empresa (Supervisor de Mantenimiento, Ingeniero de Procesos e Ingeniero Ambiental), así como también fueron consultados personas con experiencia y conocimientos en el área de tratamientos de aguas a nivel industrial (Profesores y Asesores Ambientales), con el fin de recopilar sus experiencias, ideas y aportes que fortalezcan el diseño a proponer, para una futura implementación.

- **Procesamiento de la información**

Una vez recopilado la bibliografía y consultado los expertos, se esquematiza toda la información para posteriormente analizarla de manera detallada, y finalmente aplicar los conocimientos ingenieriles para realizar el diseño de la propuesta.

- **Elaboración del dimensionamiento de la alternativa seleccionada**

Se elaboró el dimensionamiento de la alternativa de acuerdo a las condiciones actuales de operación en el proceso de tratamiento de aguas provenientes del proceso y del proceso productivo de la empresa. Para ello se implementaron modelos matemáticos adaptados a las particularidades de ambos procesos. Los cálculos se realizaron tomando en cuenta los ensayos realizados durante 5 meses y el espacio disponible en la planta, logrando con esto cumplir con el objetivo planteado y realizar finalmente la propuesta de adecuación.

III.3.6 Determinación la relación costo-beneficio para la propuesta planteada

- **Consulta con proveedores y estudio de mercado**

Se consultó con los diferentes proveedores pertenecientes al área de plantas de tratamiento de aguas provenientes del proceso y de esta se determinaron los equipos y químicos más acordes desde el punto de vista económico. Se tomó en consideración la eficiencia, vida útil y disponibilidad en el mercado de cada uno de ellos.

Se hizo un análisis de mercado en lo referente a ofertas de equipos y calidad, buscando hacer más viable la inversión para la empresa y así poder cumplir con el objetivo de adecuamiento de la planta.

- **Cálculo de inversión inicial y gastos operacionales**

Se calculó el capital necesario para financiar la realización del proyecto; compra de equipos nuevos, mantenimiento y acondicionamiento de equipos, mano de obra y compra de químicos amigables al ambiente, todo esto como paso inicial para implementar el proyecto a mediano plazo.

- **Estudio de la relación costo beneficio de la propuesta**

Finalmente, se hizo un análisis de beneficios que traerá la implementación a mediano plazo de la propuesta, desde el punto de vista de:

- a) Evitar multas y cierre de la empresa por parte del gobierno debido al incumplimiento del Decreto N° 3219.
- b) Generar menos impacto y contaminación al ambiente, creando una cultura de conservación y cuidado del mismo por parte de los trabajadores.

La relación beneficio-costos fue determinada a través del cálculo de la inversión inicial que implicaría la aplicación de la propuesta, posteriormente se comparo con los costos por concepto de multas y días de cierres de la empresa como consecuencia del incumplimiento del Decreto N° 3219 titulado: Normas para la clasificación y control de calidad de las aguas de la Cuenca del Lago de Valencia.

Dicha relación costo-beneficio se determinó calculando el cociente entre el valor del ahorro asociado a las multas aplicables por incumplimiento de las normas y leyes ambientales y el costo que generaría la implementación de la propuesta de adecuación (inversión inicial).

$$R_{C/B} = \frac{\text{Ahorro}}{\text{Inversión Inicial}} \quad (\text{Ec. 3.1}) \quad (\text{BLANK, 1994})$$

Una relación costo-beneficio que sea mayor o igual a la unidad significa que el proyecto es factible y rentable.

De acuerdo a las multas establecidas en la Ley Orgánica del Ambiente, Ley de Aguas y Ley Penal del Ambiente se determinó el ahorro que implica el incumplimiento de dichas normas.

Mediante la suma de los costos de cada uno de los equipos a implementar para la adecuación del proceso de tratamiento de aguas, se pudo determinar el costo inicial de la inversión.

CAPÍTULO IV

GENERACIÓN DE SOLUCIONES

En el siguiente capítulo se evalúa el proceso de tratamiento de aguas provenientes del proceso, buscando de esta manera generar diferentes alternativas de solución, que permitan adecuar el efluente tratado al decreto N° 3219.

IV.1 DIAGNÓSTICO DEL PROCESO ACTUAL DE TRATAMIENTO DE AGUAS PROVENIENTES DEL PROCESO

El sistema de tratamiento de aguas de provenientes del proceso en estudio, constituye uno de los puntos más importantes y prioritarios en el tema referente a la minimización del impacto ambiental generado por el proceso de producción, básicamente en la impresión de estuches plegadizos. Es por esto, que se realizó un estudio minucioso de las variables más influyentes en la generación de efluentes.

Desde principios del 2010 hasta la actualidad, la planta de tratamiento presenta inconvenientes con las concentraciones de DBO_5 y DQO al momento de ser descargados a la red de cloacas, lo cual presenta un problema desde el punto de vista legal (entrega del certificado de cumplimiento por parte del ministerio del ambiente) y ambiental. Tal situación hace imprescindible la búsqueda de soluciones que mejoren el proceso y adecuen la planta de tratamiento en el menor tiempo posible, buscando siempre tener en cuenta generar la menor cantidad de costos para la empresa.

La planta de tratamiento es de dimensiones reducidas, debido a que no se generan cantidades tan grandes de efluente. El proceso de tratamiento de aguas es por lote o batch, dura alrededor de una hora para tratar 3000 L de efluente. Los lunes se procesan cinco batch, y de martes a viernes dos batch cada día.

A través de visitas guiadas al proceso productivo y a la planta de tratamiento, fueron muchas las fallas que se observaron.

IV.1.1 Producción

Respecto al proceso productivo, que es donde se generan los efluentes, se observaron fallas en dos de los tres semi-procesos generadores. Tanto el área de impresión como la de lavado de coleros, necesitan mejoras inmediatas para buscar solucionar el problema.

Mientras que el área de fotolitos, que es donde se emplean químicos muy contaminantes como lo son el revelador de películas, fijador de películas, revelador de planchas, y gomas, no genera constantemente efluentes, ya que su proceso no siempre hace uso de los equipos que emplean dichos químicos, y cuando si se emplean los equipos, las cantidades implementadas de los químicos son muy bajas.

IV.1.1.1 Área de Impresión

En dicha área se observaron problemas de fugas de aceite en los equipos utilizados, dichas fugas de aceite terminan en la tanquilla de recolección de desechos líquidos y en la que además caen los siguientes desechos: restos de solución fuente (alcohol), tintas, limpiador universal, almidón (polvo anti repinte), barnices provenientes del mantenimiento de las barnizadoras y aguas con restos de material corrosivo procedentes del mantenimiento de los equipos.

Otros desechos generados en impresión que caen directamente por gravedad a la estación de bombeo, son los generados en la batea de lavados de rodillos, donde los operadores emplean solventes dieléctricos y soluciones limpiadoras de rodillos y mantillas (Rodep Graf), además de los restos de tintas adheridos a los rodillos.

Cabe destacar que para el lavado de rodillos y mantillas se debe emplear el Rodep Graf, razón por la cual se le hizo un estudio en el Centro de Investigaciones de Microbiologías Aplicadas de FACYT de la Universidad de Carabobo, para

comprobar la biodegradabilidad del mismo. El estudio realizado consta de los siguientes ítems: Prueba de Viabilidad y Curva de Crecimiento Bacteriano.

La Prueba de Viabilidad consiste en preparar diferentes concentraciones de producto a biodegradar e inocularle un pool bacteriano (cepas bacterianas ambientales) hasta observar turbidez por un tiempo determinado. Los sistemas se realizaron en condiciones de aerobiosis y utilizando el producto Rodep Graf como única fuente de carbono. A continuación de muestra los resultados:

Tabla 4.1. Prueba de viabilidad bacteriana a diferentes concentraciones de las muestras

Muestra	1% v/v	10% v/v	50% v/v	100% v/v
1 (Blanco)	No se observó crecimiento bacteriano			
2 (con inóculo bacteriano)	Se observó crecimiento bacteriano	Se observó crecimiento bacteriano	Se observó crecimiento bacteriano	No se observó crecimiento bacteriano
3 (con inóculo bacteriano)	Se observó crecimiento bacteriano	Se observó crecimiento bacteriano	Se observó crecimiento bacteriano	No se observó crecimiento bacteriano

Nota: La prueba de viabilidad se hizo por duplicado. Al sistema blanco no se le inoculó bacterias.

Fuente: CIMA UC (2011)

De acuerdo a la Tabla 4.1 se observó viabilidad bacteriana en las muestras 2 y 3 que contienen 1% v/v, 10% v/v, 50%v/v del producto Rodep Graf como única fuente de carbono. En el sistema blanco, no se encontró crecimiento bacteriano, por lo que no hubo viabilidad de bacterias autóctonas en el producto. Por último, se observó que el producto es biodegradable hasta un 50% de dilución.

La otra prueba consiste en realizar una curva de crecimiento bacteriano, en función del tiempo, para estudiar la biodegradabilidad del producto en un tiempo determinado. La biodegradabilidad de la muestra se determinó en función de la medición de la carga bacteriana, DBO₅ y DQO. Para este ensayo se preparó un

sistema en condiciones de aerobiosis y utilizando la muestra Rodep Graf como única fuente de carbono al 1%v/v. En la Tabla 4.2 se muestran los resultados obtenidos, y la Figura 4.1 se muestra el gráfico de los valores tabulados.

Tabla 4.2. Curva de crecimiento bacteriano

Días					
	0	3	6	10	12
Fecha					
Parámetros	16/09/2011	19/09/2011	22/09/2011	26/09/2011	28/09/2011
DQO (mg/mL)	2300	7840	4780	6600	4420
DBO ₅ (mg/mL)	1833,6	1978,2	1359,6	2123,1	1805
Carga Bacteriana (UFC/mL)	7*10 ⁶	3,1*10 ⁷	1,6*10 ⁷	9,1*10 ⁷	3,4*10 ⁸

Fuente: CIMA UC (2011)

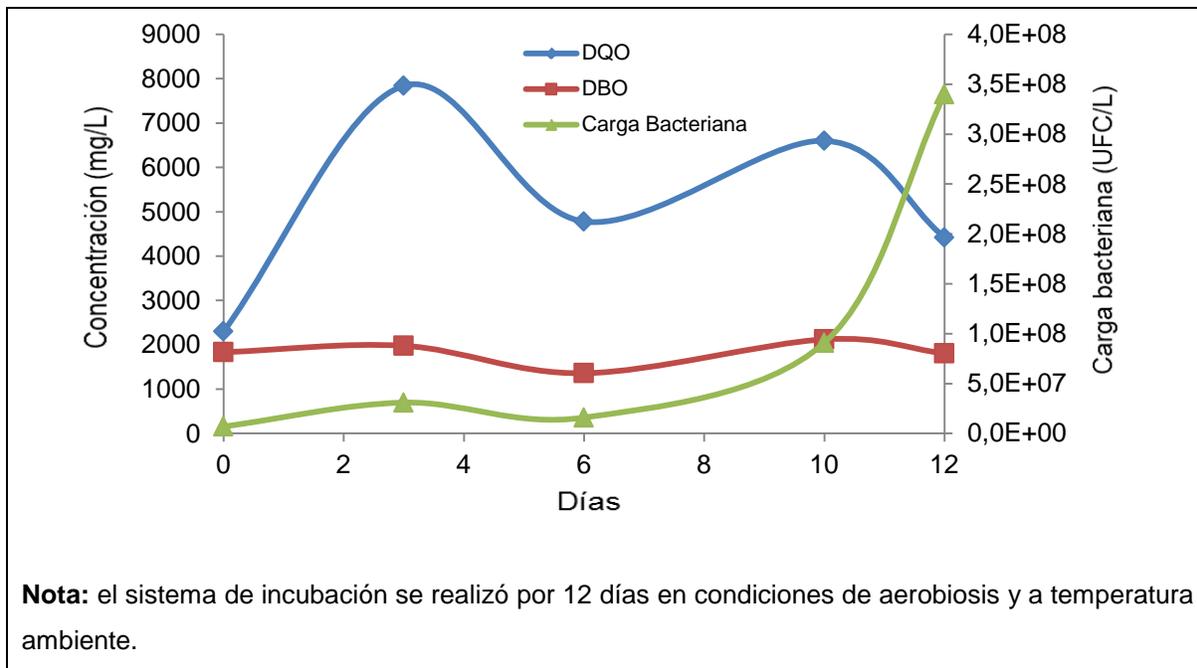


Figura 4.1. Curva de crecimiento bacteriano utilizando el Rodep Graf como única fuente de carbono. Realizado por CIMA UC (2011)

Según la Tabla 4.2 y la Figura 4.1, se observó que el producto Rodep Graf al 1%v/v es biodegradable por un tiempo mayor de 12 días. Ahora bien, es relevante señalar que los operadores desde Octubre de 2011 hasta la actualidad,

emplean únicamente el solvente dieléctrico para limpieza de los rodillos, debido a que proporciona buenos resultados en menor tiempo y empleando menos esfuerzo físico, a pesar de que dicho producto no fue creado para tal fin.

IV.1.1.2 Área de Lavado de Coleros

Esta área, consta de una batea con una llave de suministro de agua limpia, la cual en principio fue diseñada para el lavado de coleros, los cuales son recipientes metálicos cuya función es almacenar pega y que están dispuestos en las máquinas de acabado. Sin embargo dicha batea no solo es empleada para este fin, sino que también es utilizada por el personal de limpieza para el lavado de mopas y tobos, que se encuentran llenos de productos de limpieza así como de restos de materia orgánica.

En el mismo orden de ideas, se observó que la rutina de lavado de coleros no es la más correcta y que se desperdician grandes cantidades de agua, además de que la trampa de almidón situada a la salida de la batea, recibe muy poco mantenimiento.

IV.1.2 Planta de Tratamiento

Entre las mayores deficiencias encontradas dentro de la planta de tratamiento, se observó que en primer lugar no se lleva a cabo un plan de control donde se haga un seguimiento de cada uno de los parámetros (temperatura, pH, DBO₅, DQO y sólidos suspendidos) en las unidades de tratamientos (trampa de aceites y grasas, reactor físico-químico y filtros) en virtud de que la misma no posee un laboratorio propio. En segundo lugar el proceso de coagulación-floculación, se lleva a cabo de una manera muy empírica, donde el operador pocas veces realiza pruebas de jarra y no toma en cuenta el estudio del pH óptimo para que dicho proceso sea exitoso.

Otras fallas cuya relevancia es menor pero que de igual manera repercuten en el tratado del agua, son: la imposibilidad de regular la velocidad del mezclador en el reactor físico-químico, la omisión por parte del operador en cuanto a la

espera del tiempo mínimo necesario que se requiere para obtener una buena sedimentación de los sólidos luego de la dosificación del coagulante-floculante, el incorrecto suministro de la bomba de alimentación de los filtros cuyo caudal sobrepasa al especificado en el manual de diseño de los mismos.

A su vez se observó la presencia de tanques de almacenamiento de químicos que en otros tiempos eran empleados dentro de la planta, y que en la actualidad se encuentran en desuso; así como la presencia de un dispositivo automático de medición de pH el cual se encuentra dañado. También es importante advertir que la planta de tratamiento cuenta con un solo operador que no es a dedicación exclusiva de la misma, por lo que en su ausencia la planta queda sin supervisión.

Para facilitar el diagnóstico del sistema de tratamiento de aguas provenientes del proceso de Unigra se utilizó como herramienta el diagrama causa-efecto (Ishikawa). A continuación se muestra el diagrama causa-efecto (Figura 4.2) de la situación particular del sistema así como también las tablas de los parámetros y valores reglamentados por el Decreto N° 3219 en el artículo 38 (Tabla 4.3) y la tabla de los resultados del análisis de las aguas, obtenidos por la empresa encargada de las caracterizaciones Hidrolab Toros Consultores (Tabla 4.4).

Tabla 4.3. Límites y rangos máximos de concentraciones de los vertidos líquidos que sean o vayan a ser descargados a redes cloacales

Parámetros Físico-Químicos	Límites máximos o rangos
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO _{5,20})	350,0 mg/l
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	700,0 mg/l
Sólidos suspendidos	400,0 mg/l
pH	6,00 – 9,00
Temperatura	(-5,0 °C) respecto a la cloaca receptora

Fuente: Decreto N° 3219, Art. 38, (1999)

En la Tabla 4.4 se muestran las concentraciones de DBO₅, DQO, sólidos suspendidos, pH y temperatura referentes a las caracterizaciones trimestrales de la planta de tratamiento, de donde se desprende que para el año 2010 no se cumplió con las concentraciones de DBO₅ y DQO exigidas en el decreto. La misma situación se mantuvo para el 1er. y 3er. trimestre del año 2011. Sin embargo, al consultar al Ingeniero de proceso sobre las posibles causas de esta situación, no se obtuvo respuesta alguna.

Durante el 4to. Trimestre del 2005, 3er. trimestre del 2006 y 1er. trimestre de 2007 la DBO₅ estaba fuera de los parámetros exigidos en el decreto. En cuanto al DQO, durante el 2do. trimestre del 2004, 1ero. y 4to. trimestre del 2005, 3er. y 4to. trimestre del 2006 y 1er. trimestre del 2007 no se dio cumplimiento respecto a las concentraciones adecuadas. En esta ocasión tampoco se obtuvo respuesta por parte del Ingeniero de proceso, alegando que no contaban con un registro detallado del funcionamiento de la planta de tratamiento y del proceso productivo.

Tabla 4.4. Caracterizaciones realizadas por Hidrolab Toros Consultores

AÑO	Trimestre	DBO ₅ (mg/L)	DQO (mg/L)	S.S. (mg/L)	pH (adim)	T (°C)
2004	1er	214,0	584,0	88,0	6,93 - 7,25	29,0
	2do	338,0	1.643,0	7,0	6,95 - 7,05	29,5
	3ero	54,0	115,0	40,0	6,57 - 6,97	31,0
	4to	227,0	661,0	15,0	7,14 - 7,60	30,0
2005	1er	345,0	700,0	4,0	6,98 - 7,20	32,0
	3ero	318,0	677,0	28,0	6,84 - 7,25	36,0
	4to	867,0	2.179,0	44,0	6,34 - 6,61	30,0
2006	1er	34,0	278,0	23,0	6,24 - 7,01	30,0
	2do	42,0	221,0	6,0	7,00 - 7,19	29,0
	3ero	530,0	2.888,0	82,0	7,33 - 7,77	29,0
	4to	281,0	814,0	18,0	7,36 - 7,48	27,0
2007	1er	1.642,0	7.141,0	48,0	6,84 - 7,32	30,0
	2do	187,0	516,0	20,0	6,98	32,0
	3ero	63,0	284,0	44,0	7,65	31,0
	4to	145,0	651,0	55,0	7,52	28,0
2008	1er	102,0	414,0	96,0	8,00	30,7
	2do	112,0	228,0	28,0	6,45 - 7,11	33,0
	3ero	161,0	423,0	78,0	7,60 - 7,89	31,0
	4to	10,0	28,0	0,0	7,12 - 7,56	31,5

Fuente: Hidrolab Toros Consultores (2011)

Tabla 4.4. Caracterizaciones realizadas por Hidrolab Toros Consultores (Continuación)

AÑO	Trimestre	DBO ₅ (mg/L)	DQO (mg/L)	S.S. (mg/L)	pH (adim)	T (°C)
2009	1er	123,0	255,0	44,0	6,46 - 6,55	35,0
	2do	328,0	684,0	70,0	7,20 - 7,30	33,0
	3ero	201,0	535,0	10,0	6,50 - 6,58	24,5
	4to	58,0	219,0	36,0	7,48 - 7,60	29,5
2010	1er	2.114,0	4.095,0	30,0	6,52 - 6,70	30,0
	2do	1.234,0	3.279,0	48,0	6,64 - 6,73	28,0
	3ero	2.024,0	4.015,0	124,0	7,07 - 7,18	27,5
	3ero	482,0	1.213,0	30,0	6,79 - 6,98	31,0
	4to	980,0	2.637,0	73,0	6,28 - 6,52	28,5
2011	1er	1.675,0	2.485,0	53,0	6,40	27,0
	2do	40,0	181,0	2,0	7,40	28,0
	3ero	799,0	1.190,0	12,0	6,70	30,0

Fuente: Hidrolab Toros Consultores (2011)

En la Figura 4.2 se observa el diagrama de Ishikawa, el cual fue elaborado tomando en cuenta todos los factores que pudiesen influir en el problema a diagnosticar “Incumplimiento de los parámetros físico-químicos DBO₅ y DQO de la planta de tratamiento de aguas provenientes del proceso de Smurfit Kappa Cartón de Venezuela, S.A., división Unión Gráfica, respecto al decreto N° 3219” establecido en la espina principal, en este sentido se fijaron los siguientes criterios de estudio: Mano de obra, materias primas ó materiales, métodos o procedimientos, medición y máquinas y equipos.

El criterio del medio ambiente no fue tomado en cuenta debido a que el Ingeniero de proceso indicó que por tratarse de tanques subterráneos y debido a la poca generación de efluentes, el impacto ambiental no incidía prácticamente en el agua a tratar.

Posteriormente en la Figura 4.3 se puntualizaron los criterios más relevantes que se desprenden del diagrama de Ishikawa, los cuales son: fugas de aceite de las maquinas de impresión, mala dosificación de coagulante y floculante, rutina indebida del lavado de mopas y tobos en la batea de coleros y por ultimo, la gran cantidad de tinta, barniz y goma que son enviados a la planta de tratamiento.

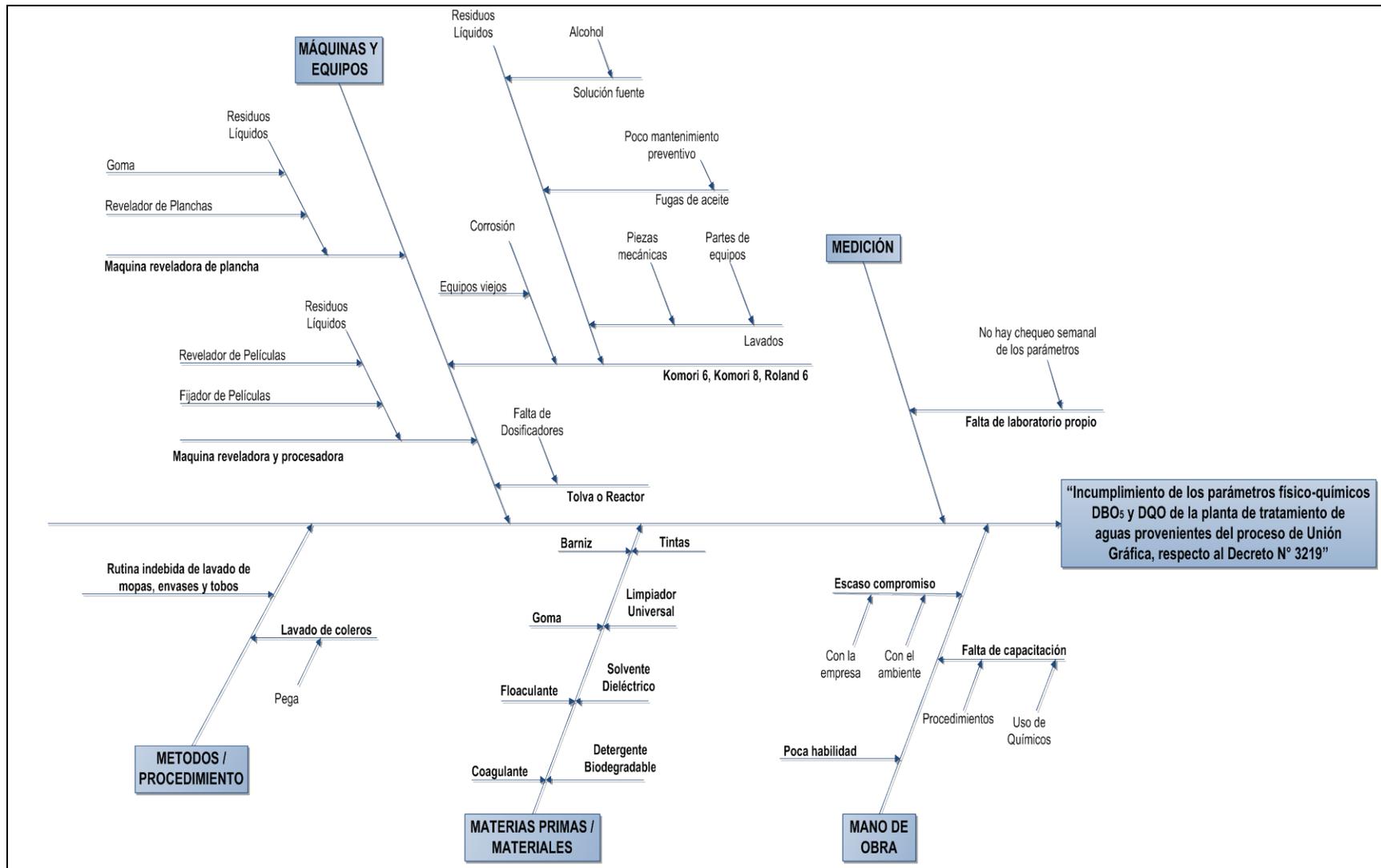


Figura 4.2. Diagrama de causa – efecto del proceso de tratamiento de aguas provenientes del proceso de Smurfit Kappa Cartón de Venezuela, S.A., división Unión Gráfica

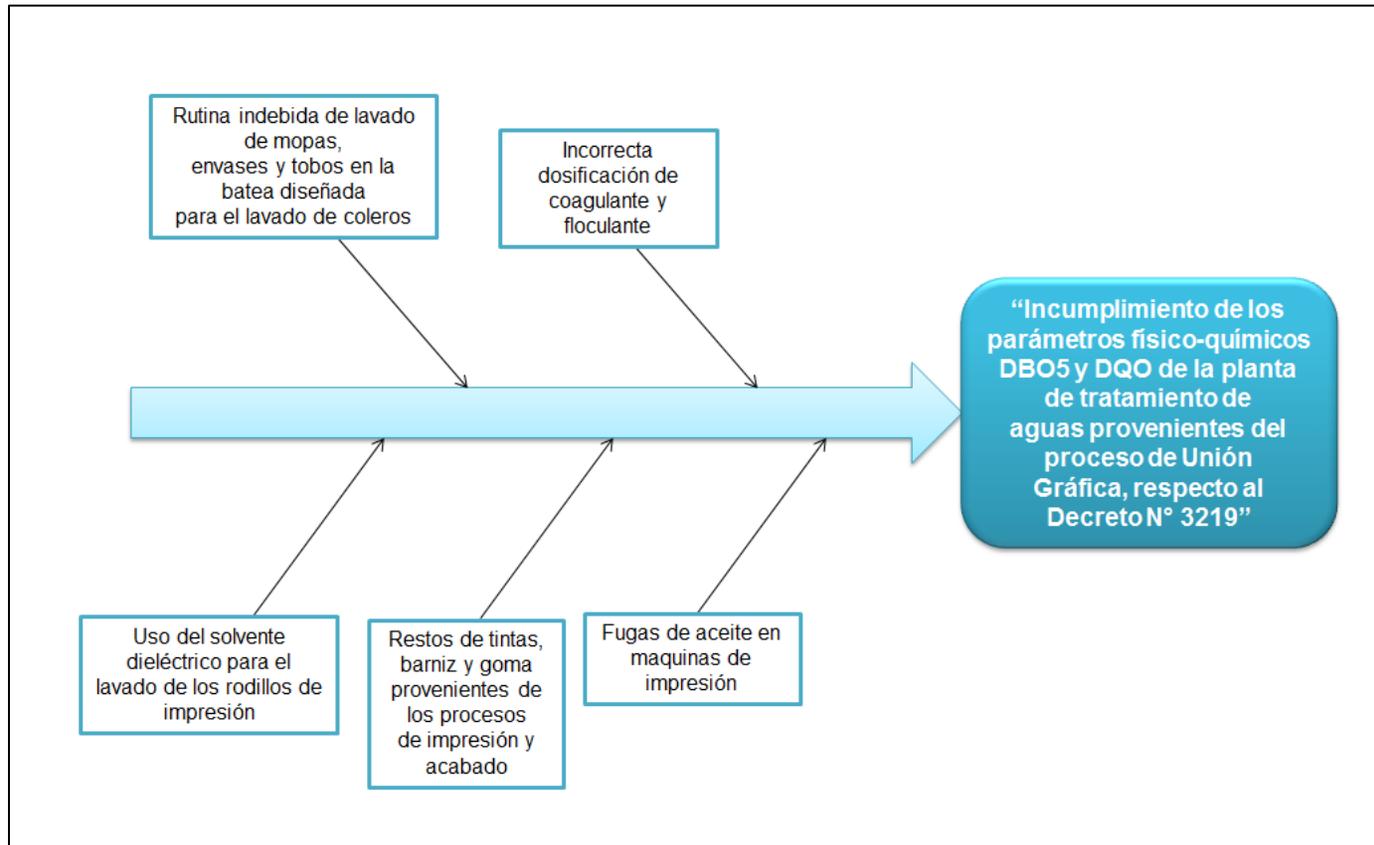


Figura 4.3. Criterios más influyentes del diagrama de causa – efecto del proceso de tratamiento de aguas provenientes del proceso de Smurfit Kappa Cartón de Venezuela, S.A., división Unión Gráfica

IV.1.3. Manual de operación de la planta de tratamiento de Unigra

Una vez observadas las fallas y la manera en que opera la planta de tratamiento, se elaboró el siguiente manual el cual explica los procesos de arranque, operación y parada del sistema de tratamiento de aguas, incluyendo las normas de seguridad.

Manual de operación de la planta de tratamiento de aguas provenientes del proceso de Smurfit Kappa Cartón de Venezuela, S.A., división Unión Gráfica

A) Determinación de la dosificación del coagulante, policloruro de aluminio (Prueba de jarra)

Arranque

1. Verificar la disponibilidad de: policloruro de aluminio, efluente no tratado, recipiente vacío, cilindro graduado de 1.000,0 mL, jeringa de 5,00 cm³, vara mezcladora, guantes y lentes de seguridad.
2. Asegurarse que los implementos se encuentren limpios.

Operación

3. Agregar un litro de efluente no tratado en un recipiente vacío.
4. Tomar en una jeringa 5,00 cm³ de policloruro de aluminio puro.
5. Agregar un cc de policloruro de aluminio en el recipiente, y remover lentamente con la vara hasta observar “el corte”, es decir, se debe observar la separación de la fase líquida respecto a la fase sólida.
6. Repetir el paso N° 5 aumentando o disminuyendo la dosis de policloruro de aluminio tantas veces como sea necesario, hasta que se produzca el corte.
7. Calcular la cantidad de policloruro gastado en el paso N° 5 para un litro de efluente no tratado.
8. Una vez determinada la dosis para un litro de efluente no tratado, determinar la dosificación de policloruro de aluminio para 2.800,0 L de efluente no tratado (capacidad total de la tolva), haciendo uso de la Tabla 4.5 suministrada por el proveedor del coagulante (M. Q. Corporation)

donde se extrapola el valor obtenido en la prueba de jarra para 2.800,0 L de efluente a tratar.

Tabla 4.5. Dosificación del Policloruro de Aluminio al 10 %

Punto de Corte:	P.P.M.:	Dosis de Coagulante para 2.800,0 L de Efluente:
1,00 cm ³	100,0	De 200,0 a 250,0 mL
2,00 cm ³	200,0	De 400,0 a 500,0 mL
3,00 cm ³	3.000,0	De 600,0 a 750,0 mL

Fuente: M.Q. Corporation (2009)

Parada

9. Lavar los equipos utilizados.

NOTA: se debe repetir el procedimiento para la prueba de jarra por lo menos dos veces a la semana, o en su defecto, cuando se aprecien cambios notorios en la apariencia del efluente no tratado.

B) Preparación y determinación de la dosificación del floculante, polímero Nalco 7530 (Dosis para una semana de tratamiento)

Arranque

1. Verificar la disponibilidad de: polímero NALCO 7530, recipiente vacío, cilindro graduado de 1.000,0 mL, cilindro graduado de 500,0 mL, vara mezcladora, agua guantes y lentes de seguridad.
2. Repetir el paso N° 2.

Operación

3. Agregar 2,5 L de agua en un recipiente vacío.
4. Agregar 125,0 mL del polímero NALCO 7530 puro en el recipiente.
5. Remover la mezcla hasta obtener un líquido espeso (de 5 min a 15 min).
6. Dejar reposar la mezcla 30 min.

7. Determinar la dosificación ideal para el tratamiento.

Caso 1 (1er Tratamiento). Si se agrega 500,0 mL de Policloruro de Aluminio, agregar 200,0 mL de NALCO 7530 preparado.

Caso 2 (2do Tratamiento). Si se agrega 300,0 mL de Policloruro de Aluminio, agregar 100,0 mL de NALCO 7530 preparado.

Parada

8. Tapar el recipiente con la mezcla.
9. Repetir el paso N° 9.

C) Transferencia del efluente de impresión y del lavado de rodillos a la estación de bombeo

Arranque

1. Verificar que todas las válvulas del proceso se encuentren cerradas.
2. Verificar que la bomba de descarga del efluente de impresión se encuentre apagada.
3. Verificar que el tanquilla de recepción de impresión este lleno.
4. Verificar que el tanque de la estación de bombeo tenga capacidad para recibir efluente.

Operación

5. Abrir las válvulas de entrada y salida de la trampa de grasas.
6. Encender la bomba que envía el efluente de la tanquilla de recepción de impresión a la trampa de grasas y posteriormente al tanque de la estación de bombeo.
7. El efluente del lavado de rodillos, es enviado por gravedad al tanque de la estación de bombeo.

Parada

8. Una vez vaciado el tanque de impresión, apagar la bomba de descarga del efluente.

9. Cerrar todas las válvulas.

NOTA: se debe repetir este procedimiento todas las mañanas, o en caso de que se amerite vaciar el tanque.

D) Transferencia del efluente de la estación de bombeo y de la batea de lavado de coleros, al tanque de recepción T-01

Arranque

1. Verificar en el panel de control de dicha estación, que la bomba de descarga de la estación de bombeo se encuentre apagada.
2. Verificar que el tanque de la estación de bombeo este lleno.
3. Verificar que el tanque de recepción (T-01) tenga capacidad para recibir efluente.

Operación

4. Encender la bomba que envía el efluente del tanque de la estación de bombeo al tanque de recepción (T-01), girando la perilla a la izquierda (hand o manual), en el panel de control dispuesto en dicha estación.
5. El efluente del lavado de coleros, es enviado por gravedad a una trampa de pegamentos y posteriormente al tanque de recepción (T-01).

Parada

6. Una vez vaciado el tanque de la estación de bombeo o alcanzado el máximo nivel del tanque (T-01), apagar la bomba de descarga del efluente girando la perilla a la derecha (OFF o apagado), en el panel de control de dicha estación.

NOTA: se debe repetir este procedimiento todas las mañanas, o en caso de que se amerite vaciar el tanque.

E) Transferencia del efluente del tanque de recepción (T-01) al tanque de igualación (T-02)

Arranque

1. Verificar en el panel de control de la planta de tratamiento, que la bomba de descarga del tanque (T-01) se encuentren apagada.
2. Verificar que el tanque (T-01) este lleno.
3. Verificar que el tanque (T-02) tenga capacidad para recibir efluente.

Operación

4. Encender la bomba que envía el efluente del tanque (T-01) al tanque (T-02), girando la perilla a la izquierda (hand o manual) en el panel de control dispuesto en dicha planta de tratamiento.

Parada

5. Una vez vaciado el tanque (T-01) o alcanzado el nivel máximo del tanque (T-02), apagar la bomba de descarga del efluente girando la perilla a la derecha (OFF o apagado), en el panel de control de dicha planta.

F) Transferencia del efluente del tanque de igualación (T-02) al tanque reactor-sedimentador o tolva (T-03)

Arranque

1. Verificar en el panel de control de la planta de tratamiento, que la bomba de descarga del tanque de igualación (T-02) se encuentre apagada, al igual que el mezclador de la tolva (MX-02).
2. Verificar que el tanque (T-02) este lleno.
3. Verificar que la tolva (T-03) este vacía y que las llaves de salida de la misma se encuentren cerradas.
4. Dejar reposar el efluente mínimo 1 hora en el tanque (T-02), para que reciba la dosificación de oxígeno (aireación).

Operación

5. Encender la bomba que envía el efluente del tanque (T-02) a la tolva (T-03), girando la perilla a la izquierda (hand o manual) en el panel de control dispuesto en dicha planta de tratamiento.

Parada

6. Una vez llena la tolva, apagar la bomba de descarga de efluente girando la perilla a la derecha (OFF o apagado), en el panel de control de dicha planta.

G) Tratamiento físico-químico del efluente industrial:

Arranque

1. Verificar que la tolva (T-03) se encuentre totalmente llena (2.500,0 L) y que el tanque de clarificado (T-04) tenga disponibilidad para almacenar el agua tratada.
2. Verificar la disponibilidad de: coagulante, floculante, cilindro graduado de 1000 mL, cilindro graduado de 250,0 mL, guantes y lentes de seguridad.
3. Conocer las dosificaciones de coagulante y floculante.
4. Verificar que todas las válvulas de la tolva se encuentren cerradas.
5. Verificar en el panel de control de planta de tratamiento, que las bombas de descarga del tanque (T-02) y del tanque (T-04) se encuentren apagadas, al igual que el mezclador de la tolva (MX-02).
6. Medir el pH, la temperatura, color y olor a la entrada del tratamiento físico-químico.

Operación

7. En cada una de los cilindros, preparar las dosificaciones tanto de coagulante como de floculante.

8. Encender el agitador o mezclador (MX-02) de la tolva, girando la perilla a la izquierda (hand o manual) en el panel de control dispuesto en dicha planta de tratamiento.
9. Subir al tanque reactor-sedimentador (T-03) y agregar la dosis determinada de policloruro de aluminio (coagulante).
10. Esperar un minuto, y luego agregar la dosis determinada del polímero NALCO 7530 (floculante).
11. Bajar del reactor-sedimentador (T-03) y dirigirse al cuarto de control, para apagar el mezclador (MX-02), girando la perilla hacia la derecha (OFF o apagado).
12. Dejar reposar la mezcla durante 35 minutos, para que ocurra el proceso de floculación.
13. Luego, dejar reposar la mezcla durante 2 horas, para obtener mayor eficiencia en el proceso de sedimentación.
14. Abrir la llave de paso de agua a los lechos y dejar que todo el lodo caiga en ellos. Cuando el líquido más claro sobrenadante comience a salir, cerrar la llave.
15. Abrir la llave de paso de agua al tanque de clarificado (T-04) que se encuentra debajo del tanque reactor sedimentador (T-03). Estar pendiente que las fases (líquido y sólido) no se hayan invertido y que el lodo haya quedado arriba.

Parada

16. Una vez vaciado la tolva cerrar la llave de salida del agua tratada del tanque reactor sedimentador (T-03).

H) Transferencia del agua tratada por coagulación floculación a los filtros

Arranque

1. Verificar en el panel de control de planta de tratamiento, que la bomba de descarga del tanque (T-04) se encuentre apagada.

2. Verificar que las válvulas de salida de la tolva (T-03) se encuentren cerradas.
3. Dejar reposar el agua tratada mínimo 30 minutos en el tanque (T-04), para que reciba la dosificación de oxígeno (aireación).
4. Medir el pH, la temperatura, color y olor a la salida del tratamiento físico-químico.

Operación

5. Ir al cuarto de control y encender la bomba que envía el agua a los filtros, presionando el botón verde (ON), del tablero de control.
6. Salir del cuarto de control y abrir apropiadamente las llaves de paso de los filtros, donde los primeros dos queden dispuestos en serie, y los últimos dos dispuestos en paralelo. Se debe recordar que la alimentación de los filtros debe hacerse por la parte superior de cada uno de ellos.

Parada

7. Ir al cuarto de control y apagar la bomba que envía el agua a los filtros, presionando el botón rojo (OFF), del tablero de control.

I) Retrolavado de los filtros

Arranque

1. Verificar en el panel de control de planta de tratamiento, que la bomba de descarga del tanque de clarificado (T-04) se encuentre apagada.

Operación

2. Realizar el retro lavado del primer filtro (arena), abriendo la llave de paso de agua blanca hacia el filtro de arena, cerrando las llaves de paso que van hacia el filtro de carbón.
3. Esperar que la presión del manómetro llegue al máximo (30 psi) y abrir la llave que devuelve el efluente al tanque de igualación (T-02). Verificar visualmente que el agua este saliendo clara y cierre la llave.

4. Cierre la llave que va del filtro de arena al de carbón.
5. Realizar el retro lavado al segundo filtro (carbón), abriendo la llave de paso de agua blanca hacia el filtro de carbón, cerrando la llave que va hacia la salida.
6. Repetir el paso 3.
7. Repetir del paso 2 al 6 para los dos filtros siguientes.

Parada

8. Cerrar el suministro de agua blanca al proceso de retro lavado.

NOTA GENERAL

- Una vez a la semana se debe recolectar un litro de muestra compuesta del agua, a la entrada y salida del tratamiento físico-químico y a la salida de los filtros, para realizar las mediciones de DBO₅, DQO y sólidos, y así, poder llevar a cabo el control operacional de la planta de tratamiento.
- Se debe realizar mantenimiento preventivo y predictivo cada cierto tiempo, a cada una de las bombas y tanques involucrados en el proceso de tratamiento.
- Verificar constantemente el buen funcionamiento de los dosificadores de oxígeno de los tanques.

Normas de seguridad

- Emplear todos los mecanismos de seguridad a la hora de trabajar en la planta de tratamiento: botas de seguridad, lentes, tapa boca y guantes de nitrilo.
- Recolectar las muestras y las dosificaciones en los cilindros graduados destinados para esto.
- Vigilar constantemente el buen funcionamiento de los equipos.
- No apoyarse en las tuberías del sistema.

IV.2 RELACIÓN DBO₅/DQO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO

Se realizaron estudios de medición de DBO₅ y DQO en la planta de tratamiento en dos periodos de tiempo. El primer periodo se realizó una vez a la semana desde abril hasta julio del 2011, donde se fijaron tres puntos de muestreo: entrada de la tolva, salida de tolva, y salida de los filtros. Se debe recalcar que durante este periodo se realizaron mejoras a la planta a fin de adecuarla lo más pronto posible, dichas mejoras consistieron en la incorporación de una trampa de aceites y grasas a la salida del proceso productivo, mejoras en la dosificación de oxígeno, en el tanque de igualación, en la estación de bombeo y uso del Rodep Graf. Los resultados se muestran en la Tabla 4.6 y las Figuras 4.4 y 4.5.

Posteriormente se realizaron los estudios diariamente durante un segundo periodo que abarcó desde la última semana de octubre de 2011 hasta la segunda semana del mes de noviembre del mismo año. En esta ocasión se tomó muestras en cada uno de los puntos del proceso de tratamiento: entrada y salida de la trampa de aceites y grasas, tanque de estación de bombeo, salida de estación de bombeo, tanque de recepción, tanque de igualación, entrada a la tolva, salida de la tolva/entrada al tanque clarificador y salida de los filtros. Sin embargo, para cada una de las muestras recabadas solo se pudo determinar el DQO, ya que debido a las limitaciones de equipos en el laboratorio de Cartonal, el DBO₅ solo pudo determinarse en la entrada y salida de la tolva y en la salida de los filtros.

Para este periodo se buscaba evaluar la mejora del proceso debido a la incorporación de un nuevo filtro de carbón y arena. Además se buscó tener una información mas completa de la planta de tratamiento, para la aplicación de la entrevista a los especialistas en el área, así como conocer la eficiencia de los tratamientos aplicados.

En la Tabla 4.7 se especifican los distintos lugares donde se tomaron las muestras. Los resultados para las concentraciones de DBO₅ y DQO, la relación DBO₅/DQO y las eficiencias de los tratamientos, se muestran en las siguientes Tablas 4.8, 4.9, 4.10 y 4.11, así como en las Figuras 4.6 y 4.7.

Tabla 4.6. Relación DBO₅/DQO (01-04-2011 hasta 14-07-2011)

Semana	Fecha	Producción (Ton/día)	Entrada de la tolva			Salida de la tolva			Salida de los filtros		
			DBO ₅ (mg/L)	DQO (mg/L)	DBO ₅ /DQO O (adim.)	DBO ₅ (mg/L)	DQO (mg/L)	DBO ₅ /DQO O (adim.)	DBO ₅ (mg/L)	DQO (mg/L)	DBO ₅ /DQO O (adim.)
1	01/04/2011	10,472	2.431,5	19.950,0	0,122	2.398,5	9.240,0	0,260	2.190,0	3.760,3	0,582
2	07/04/2011	41,590	2.427,0	8.720,0	0,278	2.037,0	6.075,0	0,335	1.663,5	3.645,0	0,456
3	13/04/2011	20,335	2.371,5	18.965,0	0,125	2.296,5	E.M. *	-----	1.617,0	2.968,5	0,545
4	20/04/2011	19,536	1.108,5	5.836,8	0,190	883,5	3.276,8	0,270	730,5	1.619,2	0,451
5	28/04/2011	37,617	2.239,5	9.113,6	0,246	2.019,0	5.171,2	0,390	1.645,5	2.582,4	0,637
6	05/05/2011	15,248	2.104,5	9.714,6	0,217	1.828,5	5.808,2	0,315	1.600,5	2.499,3	0,640
7	12/05/2011	14,775	2.224,5	11.719,2	0,190	1.729,5	5.191,4	0,333	1.561,5	2.303,4	0,678
8	18/05/2011	33,214	2.232,0	11.878,4	0,188	1.828,5	7.577,6	0,241	1.588,5	2.368,0	0,671
9	25/05/2011	36,697	1.024,5	8.448,0	0,121	882,0	3.891,2	0,227	714,0	1.600,0	0,446
10	01/06/2011	21,250	1.107,0	3.942,4	0,281	915,0	2.345,5	0,390	777,0	1.872,0	0,415
11	09/06/2011	11,180	1.509,0	6.337,3	0,238	1.057,5	2.195,6	0,482	747,0	1.808,9	0,413
12	16/06/2011	11,699	843,0	9.530,9	0,088	699,0	5.189,6	0,135	615,0	1.425,3	0,431
13	23/06/2011	1,457	933,0	4.640,7	0,201	831,0	2.395,2	0,347	651,0	1.484,5	0,439
14	29/06/2011	13,245	1.099,5	4.291,4	0,256	942,0	2.544,9	0,370	736,5	1.780,8	0,414
15	07/07/2011	15,124	1.147,5	3.642,7	0,315	918,0	2.395,2	0,383	660,0	1.550,0	0,426
16	14/07/2011	22,875	2.185,5	5.139,7	0,425	1.612,5	2.694,6	0,598	952,5	1.924,3	0,495
	Promedio	20,395	1.686,8	8.866,9	0,190	1.372,1	4.399,5	0,312	1.153,1	2.199,5	0,524

* Error en la medición

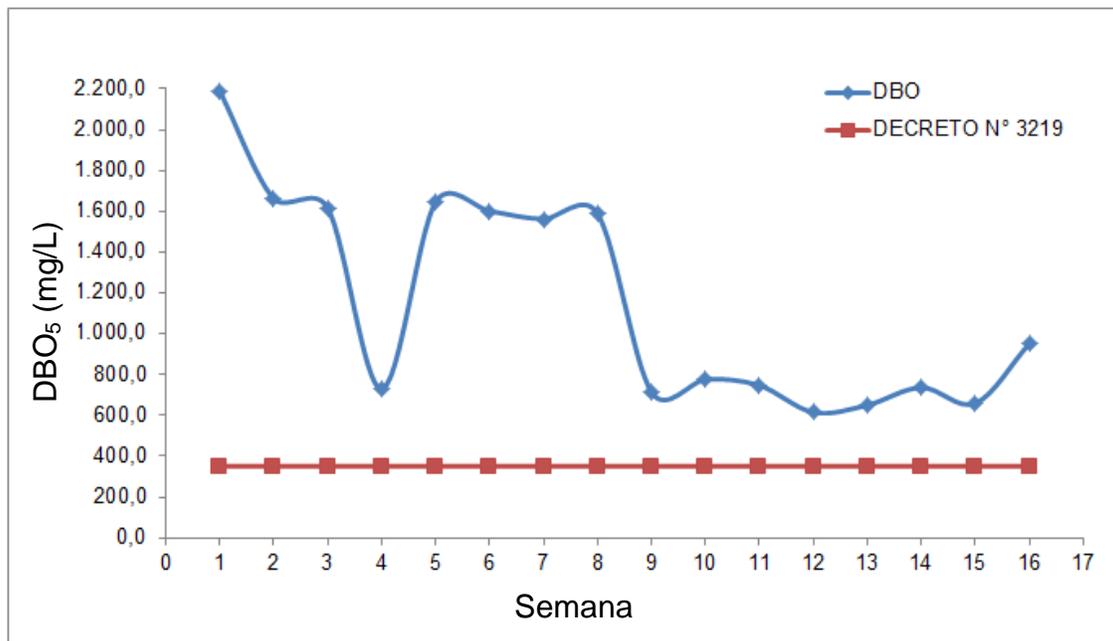


Figura 4.4. Concentración de DBO₅ a la salida de los filtros (01-04-2011 hasta 14-07-2011) y concentración del DBO₅ exigido en el Decreto N° 3219

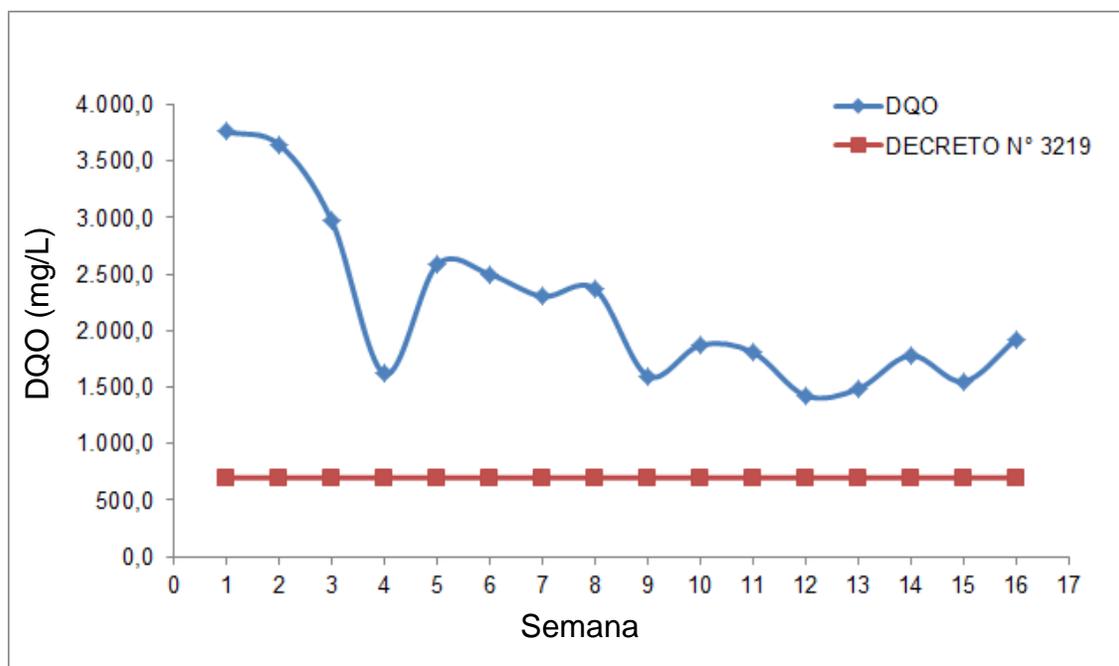


Figura 4.5. Concentración de DQO a la salida de los filtros (01-04-2011 hasta 14-07-2011) y concentración del DQO exigido en el Decreto N° 3219

Tabla 4.7. Lugar de toma de muestras para el 2do periodo de estudio

MUESTRA	LUGAR EN EL PROCESO DE TRATAMIENTO
1	Entrada trampa de grasas
2	Salida trampa de grasas
3	Tanque de estación de bombeo
4	Salida estación de bombeo
5	Tanque 1 (Tanque de recepción)
6	Tanque 2 (Tanque de igualación)
7	Entrada tolva ó entrada reactor físico-químico
8	Salida tolva / Entrada tanque de clarificación
9	Salida tanque de clarificación / Entrada unidades de filtración
10	Salida unidades de filtración

Tabla 4.8. DBO₅ proceso completo de tratamiento de aguas, Unigra (24-10-2011 hasta 11-11-2011)

Día	Fecha	Producción (Ton/día)	Muestra		
			7	8	10
			DBO ₅ (mg/L)		
2	25/10/2011	21,093	1.168,5	658,5	292,5
3	26/10/2011	32,754	999,0	691,5	417,0
7	08/11/2011	19,565	1.017,0	444,0	229,5
8	09/11/2011	31,721	975,0	766,5	505,5
	Promedio	26,283	1.039,9	640,1	361,1

Tabla 4.9. DQO proceso completo de tratamiento de aguas, Unigra (24-10-2011 hasta 11-11-2011)

Día	Fecha	Producción (Ton/día)	Muestra									
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
			DQO (mg/L)									
1	24/10/2011	31,239	5.600,0	2.700,0	2.600,0	2.640,0	2.790,0	2.820,0	2.850,0	1.280,0	1.310,0	855,0
2	25/10/2011	21,093	2.700,0	2.690,0	2.700,0	2.540,0	2.890,0	2.810,0	2.890,0	1.660,0	1.590,0	705,0
3	26/10/2011	32,754	2.700,0	2.000,0	2.080,0	2.030,0	2.430,0	2.420,0	2.500,0	1.760,0	1.830,0	1.000,0
4	27/10/2011	28,789	2.300,0	2.000,0	1.980,0	1.950,0	2.300,0	2.290,0	2.300,0	1.810,0	1.800,0	570,0
5	28/10/2011	28,736	2.985,0	1.800,0	1.780,0	1.800,0	2.630,0	2.640,0	2.640,0	1.260,0	1.230,0	720,0
6	07/11/2011	11,244	5.960,7	2.697,0	2.140,4	2.120,1	2.691,9	2.509,8	2.580,6	1.168,9	1.118,3	450,3
7	08/11/2011	19,565	2.474,3	2.120,1	2.160,6	2.130,3	2.600,8	2.580,6	2.560,4	1.133,4	1.158,7	556,6
8	09/11/2011	31,721	4.671,2	2.101,6	2.151,4	2.141,4	2.390,4	2.400,4	2.390,4	1.852,6	2.002,0	1.190,2
9	10/11/2011	21,950	3.934,2	3.441,2	3.401,3	3.381,4	3.451,1	3.500,9	3.471,1	1.992,0	1.932,2	737,0
10	11/11/2011	32,568	3.376,4	3.032,8	3.147,4	3.152,3	3.491,0	3.441,2	3.496,0	1.673,3	1.648,4	697,2
	Promedio	25,966	3.670,2	2.458,3	2.414,1	2.388,6	2.766,5	2.741,3	2.767,9	1.559,0	1.562,0	748,1

Tabla 4.10. Relación DBO₅/DQO (24-10-2011 hasta 11-11-2011)

	Muestra		
	7	8	10
DBO₅prom (mg/L)	1.039,9	640,1	361,1
DQOprom (mg/L)	2.767,9	1.559,0	748,1
DBO₅prom/DQOprom (Adim.)	0,376	0,411	0,483

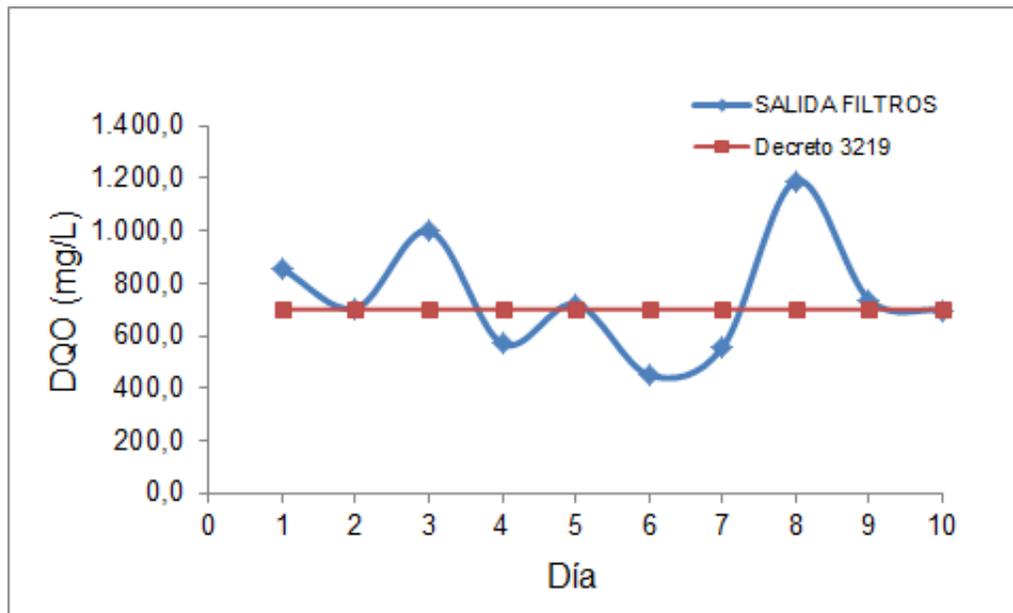


Figura 4.6. Concentración de la DQO a la salida de los filtros (24-10-2011 hasta 11-11-2011) y concentración de la DQO exigida en el Decreto N° 3219

Tabla 4.11. Eficiencia en la remoción de la concentración de la DQO en los tratamientos (24-10-2011 hasta 11-11-2011)

Tratamiento	Eficiencia (%)
Trampa de Aceites y Grasas	33,02
Reactor Físico-químico	43,68
Filtros	52,11

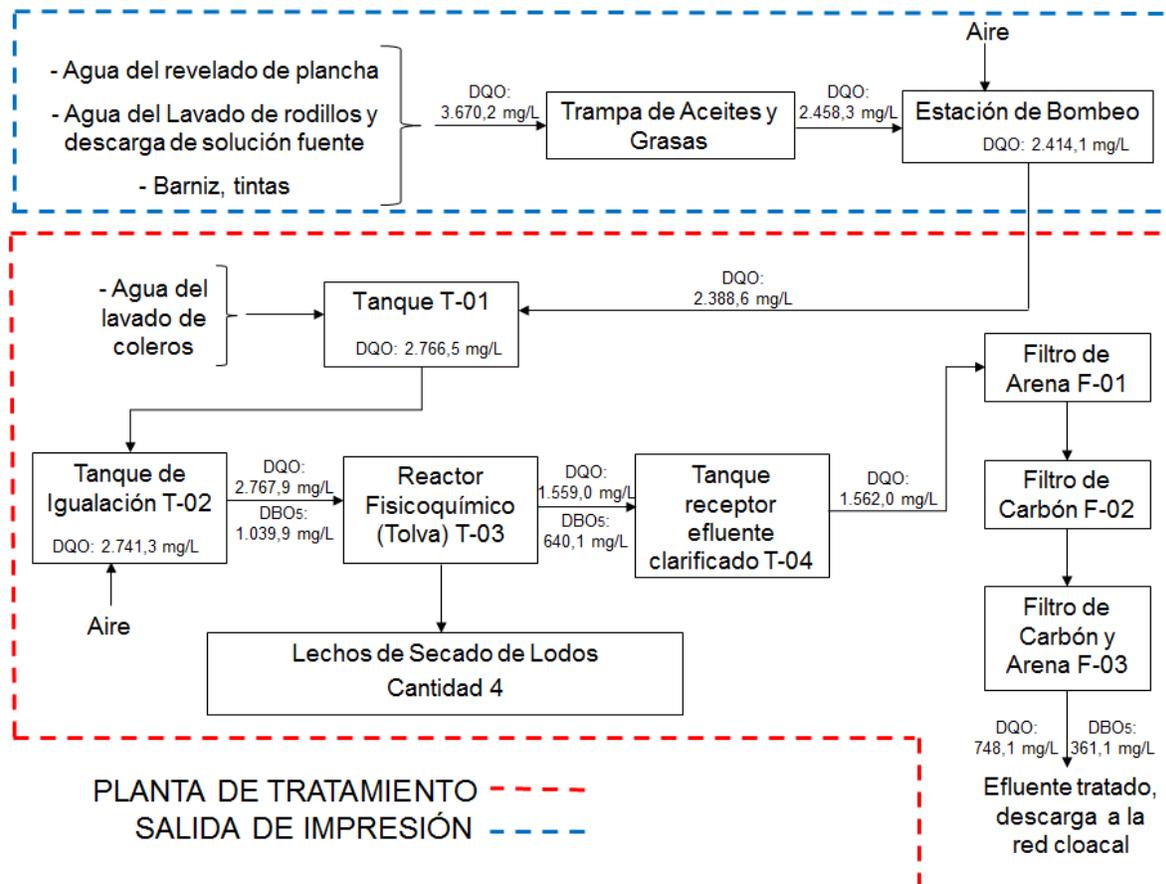


Figura 4.7. Esquema del proceso de tratamiento de aguas de Unigra desde el 24/10/11 hasta el 11/11/11

De acuerdo a los resultados obtenidos del análisis de aguas provenientes del proceso realizado en los diferentes puntos de muestreo de la planta de tratamiento, es conveniente evaluar a profundidad las siguientes variables:

IV.2.1 Estudio de la DQO, la DBO₅ y el factor de biodegradabilidad

La medición de la relación DBO₅/DQO, se realizó en vista que en un principio la posible propuesta estaba orientada a la implementación de tratamiento biológico, ya que la empresa Cartonall que pertenece también al grupo Smurfit Kappa S.A., y que se encuentra ubicada a escasos metros de Unigra, posee una planta de tratamiento donde se lleva a cabo un tratamiento biológico, por lo que se

consideró la posibilidad de enviar el efluente tratado en Unigra a la planta de tratamiento de Cartonal.

El DQO es igual a la suma de la materia orgánica biodegradable (DBO_5) más la materia orgánica no biodegradable. En su mayoría las concentraciones del DQO van ligadas proporcionalmente a la presencia de sólidos suspendidos y en menor proporción a la materia orgánica soluble.

En la Tabla 4.6 se observan las concentraciones promedios para la DBO_5 y DQO, así como el factor de biodegradabilidad para el primer periodo de estudio. Los valores obtenidos para el factor de biodegradabilidad no se mantuvieron constantes en cada uno de los puntos estudiados. Para la entrada de la tolva los resultados obtenidos no fueron representativos debido a la dificultad en la toma de esta muestra y a las limitaciones de tiempo en cuanto a la disponibilidad del laboratorio donde se realizaron los ensayos.

Para la salida de la tolva, se obtuvo un valor alto de DQO, lo cual según Parra (2009) significa la presencia de materia orgánica soluble ya que al observar las caracterizaciones de la planta de tratamiento (Tabla 4.4) realizadas por Hidrolab Toros, la concentración de los sólidos estaban en el nivel adecuado. Además dicha materia orgánica soluble es no biodegradable debido al resultado obtenido para el factor de biodegradabilidad.

A la salida de los filtros, el valor obtenido de DQO disminuyó notablemente, mientras que el valor de la DBO_5 se mantuvo constante, lo que quiere decir que los sólidos que no fueron removidos en la coagulación-floculación pueden estar constituidos por materia orgánica no biodegradable o al deterioro del carbón de los filtros.

En las Figuras 4.4 y 4.5 se apreció que ninguno de los valores cumplía con el Decreto N° 3219, siendo evidente la disminución de las concentraciones de DBO_5 y DQO respectivamente, a partir de la semana N° 9, por lo que surgieron hipótesis del por qué los niveles de concentración se encontraban fuera del rango exigido dentro del mencionado decreto. Entre estas hipótesis teníamos que, a

mayor producción de estuches plegadizos, mayor sería el consumo de contaminantes químicos que posteriormente se enviarían a la planta de tratamiento. En este sentido, cuando se realizó el estudio entre las semanas N° 9 y N°16, se evidenció una reducción en la concentración de DQO, cuestión esta que coincidió con una baja en la producción de estuches como consecuencia de problemas internos en la planta, por lo que se consideró a lugar la hipótesis planteada. Sin embargo, durante estas semanas se estaban realizando mejoras a los equipos de impresión, puesto que los dos primeros meses de estudio, los equipos presentaban muchas fugas de aceite que caían en la tanquilla de recolección de efluentes. Esta situación a su vez generó una nueva hipótesis, ya que la reducción en la concentración del DQO podría entonces deberse a las mejoras hechas en la planta.

Posteriormente, para el segundo periodo de estudio se incorporó una mejora a la planta de tratamiento que consistió en la colocación de un filtro de arena y carbón a la salida de la planta. Además, se optimizó la trampa de aceites y grasas (se fijó el caudal de entrada y se reguló la posición del Oil Skimer), se realizó el mantenimiento mensual de los filtros y la trampa de aceites y grasas, se mejoraron las fugas de aceite de los equipos de impresión, y finalmente se realizaron las pruebas de jarra durante cada uno de los días de estudio para la determinación de la dosificación de coagulante y floculante. En esta oportunidad cuando se repitieron las pruebas, la producción de estuches plegadizos se estaba ejecutando al 100%.

Los resultados obtenidos en la Tabla 4.9 demuestran una disminución en la concentración de DQO promedio a la salida de los filtros, donde se redujo en un 66% respecto al primer periodo, es decir casi al punto de cumplir con los parámetros exigidos en el decreto *supra* mencionado.

De la misma forma en la Tabla 4.8 se observa una disminución en la concentración de la DBO₅ promedio a la salida de los filtros, donde se redujo en un 69% respecto al primer periodo, al punto de casi dar cumplimiento al Decreto N° 3219, además que disminuyó proporcionalmente a la disminución de la DQO.

Se obtuvo como conclusión entonces, que la reducción en los niveles de concentración de DQO y DBO_5 se debían de hecho a las mejoras que se realizaron en la planta y no al nivel de producción de estuches que se llevaba en la misma, como se había pensado en un principio.

Sin embargo, como todavía los niveles de concentración de DQO (Tabla 4.9) no se encontraban adecuados respecto al Decreto N° 3219, se procedió nuevamente a fijar el estudio en la remoción de sólidos en el proceso físico-químico como se hizo para el primer periodo, por lo que se tuvo que recurrir nuevamente a la data de la empresa respecto a las concentraciones de sólidos suspendidos reportados en las caracterizaciones de la planta de tratamiento (Tabla 4.4). Estos análisis arrojan como resultado concentraciones de los sólidos muy por debajo de la exigida por el Decreto N° 3219 (400,0 mg/L), lo cual comprobó que la DQO obtenida a la salida del tratamiento físico-químico está relacionado con la presencia de materia orgánica soluble.

En la Figura 4.6 se aprecia que las concentraciones de DQO para el segundo periodo estaban muy cercanas a la establecida en el Decreto, al punto de casi cumplir con el valor establecido en el artículo 38.

Posteriormente en la Tabla 4.10 se determinó la relación DBO_5/DQO para el segundo periodo, donde todos estos valores fueron menores a 0,6 Adim., siendo este valor el mínimo exigido para la aplicación de un tratamiento biológico según Parra (2009). El factor de biodegradabilidad obtenido en la Tabla 4.10 para cada uno de los puntos de muestreo (entrada de la tolva, salida de la tolva y salida de los filtros) se mantienen casi constantes entre ellos, lo cual es lo esperado en procesos de tratamiento según Parra (2009). Además, los valores obtenidos dan la certeza de la no biodegradabilidad de la materia orgánica soluble presente.

Finalmente en este estudio, se realizó el diagrama del proceso completo de tratamiento de aguas (Figura 4.7) de Unión Gráfica, donde se diferenciaron las 2 áreas pertenecientes a dicho proceso. El diagrama tiene especificado cada uno de los valores de concentraciones de la DQO y de la DBO (por limitaciones de la

empresa solo se pudo determinar en 3 sitios) de las unidades de tratamiento presentes determinados para el segundo periodo de estudio, así como las nuevas dosificaciones de oxígeno que le fueron instalados al tanque de igualación y al tanque de la estación de bombeo.

IV.2.2 Estudio de la eficiencia en los tratamientos

Una vez hechas las mejoras a la planta, y observando que aún esta no se encuentra adecuada, se procedió a determinar la eficiencia de los tres tratamientos empleados en la planta (Tabla 4.11). Dichos resultados obtenidos en la Tabla 4.11 reflejan que la trampa de aceite y grasas, el reactor físico-químico y las unidades de filtración están funcionando a cabalidad, debido que las eficiencias que se esperan de dichos tratamientos son prácticamente las obtenidas.

Entonces, una vez obtenidos los resultados en ambos periodos (DQO, DBO₅, DBO₅/DQO y eficiencias) y para poder dar cumplimiento del Decreto N° 3219, se debe realizar lo siguiente:

- Implementar un tratamiento de aguas adicional que se adapte a las características actuales de producción.
- Diseñar un plan de concienciación para las mejoras en el proceso aguas arriba junto con la optimización del proceso de coagulación floculación actual de la planta de tratamiento.

IV.3 GENERACIÓN DE ALTERNATIVAS DE ADECUACIÓN

Tanto el cuestionario de preguntas abiertas y cerradas, como la entrevista de preguntas cerradas, que se aplicaron a las personas que operan la planta (operadores, ingeniero de procesos, pasantes) y a especialistas en el área, respectivamente; son instrumentos importantes en la generación de alternativas de solución, que sirvieron de base para la adecuación del proceso de tratamiento.

Para enfocar de una forma más concisa cuales fueron los resultados obtenidos del cuestionario, en virtud de lo reducido de la población y de la naturaleza de la información que se desea, se elaboró una matriz cualitativa de resultados, la cual proporciona una visión amplia de como es llevado a cabo el proceso de tratamiento de aguas por parte de los operadores.

El resultado mas significativo obtenido de este instrumento (Tabla 4.12), fue la inexistencia de un plan de control en la planta de tratamiento, donde se le haga seguimiento y se controle cada uno de los parámetros involucrados en la misma.

A continuación en la Tabla 4.12, se observa la información obtenida para cada de las preguntas que integran el cuestionario aplicado.

Tabla 4.12. Resultados de la aplicación del cuestionario de preguntas abiertas y cerradas

Pregunta	Encuestado	Respuesta
¿Qué tratamientos se emplean en la planta de tratamiento?	Op. de Planta	Trampa de aceites y tratamiento físico-químico.
	Op. de Producción	
	Ing. de Procesos	Trampa de aceites, aireación en el tanque de almacenamiento y tratamiento físico-químico.
	Pasante Ambiental	Trampa de aceites, trampa de almidón, aireación en el tanque de almacenamiento, tratamiento físico-químico y filtros (arena y carbón).
¿Qué parámetros controla usted para el proceso físico-químico de la planta?	Op. de Planta	pH a la salida de los filtros, con el pHmetro de la planta, para conocer la calidad del agua y ver si esta dentro del rango permitido (6 - 9).
	Op. de Producción	
	Ing. de Procesos	pH (con el mismo instrumento y finalidad que los operadores). Olor y turbidez a la salida de los filtros.
	Pasante Ambiental	No controla ningún parámetro.

Tabla 4.12. Resultados de la aplicación del cuestionario de preguntas abiertas y cerradas (Continuación)

Pregunta	Encuestado	Respuesta
¿Cada cuánto se calibran los instrumentos de medición?	Op. de Planta	Solo se calibra el pHmetro. Lo calibra anualmente la empresa Inseinca.
	Op. de Producción	Solo se calibra el pHmetro. Lo calibra semanalmente el mismo operador.
	Ing. de Procesos	Solo se calibra el pHmetro. Lo calibra anualmente la empresa Inseinca.
	Pasante Ambiental	
¿Qué coagulante y floculante emplean en el tratamiento?	Op. de Planta	Policloruro de Aluminio como coagulante. Y el polímero Nalco 7530 como floculante. Para ambos químicos se desconoce su rango de operatividad.
	Op. de Producción	
	Ing. de Procesos	
	Pasante Ambiental	
¿Con qué frecuencia realizan pruebas de jarras?	Op. de Planta	Cada vez que se observa cambio de color en el agua a tratar.
	Op. de Producción	Mensualmente.
	Ing. de Procesos	Cada vez que se observa cambio de color en el agua a tratar.
	Pasante Ambiental	Nunca.
¿Para qué realiza las pruebas de jarra?	Op. de Planta	La prueba de jarra se realiza para conocer la cantidad a dosificar del coagulante en el tratamiento físico-químico.
	Op. de Producción	
	Ing. de Procesos	
	Pasante Ambiental	
¿Cuáles indicadores se llevan en la planta de tratamiento?	Op. de Planta	DBO ₅ , DQO, sólidos, temperatura y pH.
	Op. de Producción	DBO ₅ , DQO, sólidos, temperatura, pH y aceites.
	Ing. de Procesos	pH, temperatura, todos los sólidos, DBO ₅ , DQO, aceites y grasas animales y vegetales, nitrógeno total, fosforo total, cobre, plomo, aluminio, cromo, cromo hexavalente, cinc, conductividad específica.
	Pasante Ambiental	
¿Quién es el encargado de los indicadores de la planta de tratamiento?	Op. de Planta	Ingeniero de Procesos Daisy Pérez.
	Op. de Producción	
	Ing. de Procesos	
	Pasante Ambiental	

Tabla 4.12. Resultados de la aplicación del cuestionario de preguntas abiertas y cerradas (Continuación)

Pregunta	Encuestado	Respuesta
¿Con qué frecuencia se llevan los indicadores de la planta?	Op. de Planta	Trimestralmente (4 veces al año).
	Op. de Producción	
	Ing. de Procesos	
	Pasante Ambiental	
¿El tratamiento físico-químico aplicado al efluente está logrando el objetivo?	Op. de Planta	La planta de tratamiento de Smurfit (división Unión Gráfica) no está realizando eficazmente su trabajo, ya que el agua tratada no está cumpliendo con los valores de DBO ₅ y DQO exigidos por el Decreto 3219.
	Op. de Producción	
	Ing. de Procesos	
	Pasante Ambiental	
¿Qué mecanismos de seguridad emplea a la hora de trabajar en la planta de tratamiento?	Op. de Planta	Lentes, guantes de nitrilo, botas de seguridad y mascarilla.
	Op. de Producción	Lentes, guantes de nitrilo, y botas de seguridad.
	Ing. de Procesos	Lentes, guantes de nitrilo, y botas de seguridad. La planta de tratamiento cuenta con extintores contra incendio.
	Pasante Ambiental	Lentes, guantes de nitrilo, botas de seguridad y mascarilla.
¿Usted ha leído la hoja de seguridad de los químicos empleados?	Op. de Planta	Si, en especial la del coagulante y floculante.
	Op. de Producción	No.
	Ing. de Procesos	Si, en especial la del coagulante y floculante.
	Pasante Ambiental	Si, en especial la del coagulante y floculante.
¿Usted considera importante leer y conocer la hoja de seguridad de cada uno de los químicos empleados?	Op. de Planta	Todos coinciden en la importancia de conocer la hoja de seguridad, ya que a la hora de un accidente o contacto con alguno de los químicos empleados, sabrían que acciones y medidas tomar. Además de conocer que contiene cada producto y las composiciones del mismo. El ingeniero destacó que también se conoce la manera en que se deben manipular los químicos.
	Op. de Producción	
	Ing. de Procesos	
	Pasante Ambiental	
¿Usted ha realizado cursos referentes a tratamientos de aguas de proceso, plantas de tratamiento de aguas y manejo de sustancias peligrosas?	Op. de Planta	Curso de plantas de tratamiento industriales, realizado en el 2009 (lugar: Smurfit, dictado por: Ing. Anidith Quevedo).
	Op. de Producción	
	Ing. de Procesos	No.
	Pasante Ambiental	Curso de tratamiento de aguas blancas y de aguas negras, realizado en el 2011 (lugar: Universidad de Carabobo, dictado por: Ing. Iván Parra).

En cuanto a la entrevista, se obtuvieron dos tipos de resultados, en el primero se obtuvo una recomendación desde el punto de vista de aplicación de un nuevo tratamiento de aguas, donde cada uno de los entrevistados sugirió la aplicación de un tratamiento distinto para lograr la adecuación de la planta de tratamiento en el menor tiempo posible; en el segundo fueron recomendadas mejoras a los procesos de producción para disminuir la carga de contaminación química en los efluentes generados y mejoras al proceso de tratamiento para lograr la optimización del mismo.

A cada entrevistado se le suministro junto al instrumento, las caracterizaciones realizadas a la planta durante los últimos 7 años por Hidrolab Toros Consultores, junto a los resultados de los ensayos realizados para esta investigación y fotos actuales de la planta de tratamiento, todo esto con la finalidad de obtener una recomendación mas eficaz en busca de lograr el objetivo.

A continuación en la Tabla 4.13, se observa la información obtenida en las entrevistas, en cuanto a la aplicación de un nuevo tratamiento; y en la Tabla 4.14, la información relacionada a la mejora en los procesos.

Tabla 4.13. Tratamientos sugeridos por los especialistas

Especialista	Tratamiento	
1	Resinas de intercambio iónico	
2	Ósmosis inversa	
1 y 2	Reactor biológico	
3	Oxidación química	Peróxido de hidrógeno
		Permanganato de potasio
		Hipoclorito de sodio
		Ozono

Tabla 4.14. Mejoras a los procesos de producción y tratamiento de las aguas provenientes del proceso

Proceso	Mejoras sugeridas
Producción	<ul style="list-style-type: none">• Reducir la carga contaminante aguas arriba. Se debe hacer énfasis en la reducción en la cantidad de contaminantes orgánicos que son enviados a la planta: cartones, almidones (polvo anti repinte) y pega, así como en las fugas de aceite de los equipos de producción.• Separar los residuos de pega atrapados en la trampa de almidón y enviarlos directo a los lechos de secado.• Construir una batea, solo para el lavado de mopas, cuya descarga vaya directo a las cloacas.
Tratamiento de aguas	<ul style="list-style-type: none">• Realizar un plan de control de la planta de tratamiento.• Realizar una carta de control de la planta de tratamiento.• Optimización en el proceso de coagulación del proceso.• Aumentar el tiempo de sedimentación de los sólidos en el tratamiento físico-químico a 16 horas.• Reducir la velocidad del mezclador de la tolva.• Reducir la velocidad de entrada del agua a los filtros.• Mantenimiento permanente de la trampa de aceites y grasas, así como a los filtros.• Instalar medidores de presión en los filtros, para garantizar un buen retrolavado.

IV.4 SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA DE ADECUACIÓN

En el proceso de evaluación para cada alternativa de adecuación, fue imprescindible tomar en consideración diferentes aspectos o criterios. Por esta razón se diseñó una matriz de selección, para facilitar la escogencia de la alternativa que por sus características y practicidad reúna las condiciones necesarias para la adecuación del proceso de tratamiento de aguas de Unigra.

Para el desarrollo de este objetivo se aplicaron dos matrices de selección, la primera enfocada en la selección de tratamiento, y la segunda enfocada en la selección del producto químico a emplear en caso de ser necesario.

Los aspectos tomados en consideración para la matriz de selección de tratamientos de aguas (Tabla 4.15), se eligieron de acuerdo al tipo de industria y de proceso al que va dirigida la propuesta, los equipos y recursos con los que dispone la empresa, la disponibilidad en el mercado, el mantenimiento requerido, el grado de especialización requerido por el operador, los riesgos que conllevan la aplicación de la propuesta así como la eficiencia de la misma.

Tabla 4.15. Ponderación de los criterios para la matriz de selección de tratamientos

CRITERIOS	PONDERACIÓN (%)
Mantenimiento	5
Disponibilidad en el Mercado	10
Especialización del Operador	15
Seguridad Industrial	15
Uso de Equipos	15
Costo	20
Eficiencia	20

En el caso de la matriz de selección de productos químicos, los criterios tomados en cuenta se muestran en la siguiente Tabla 4.16, con su ponderación:

Tabla 4.16. Ponderación de los criterios para la matriz de selección de productos químicos

CRITERIOS	PONDERACIÓN (%)
Disponibilidad en el Mercado	10
Especialización del Operador	15
Seguridad Industrial	15
Toxicidad, Inflamabilidad, Explosión	20
Costo	20
Eficiencia	20

Para la realización de matriz de selección de tratamientos (Tabla 4.17) de entrada se conoce que tanto las resinas de intercambio iónico como la osmosis inversa son procesos muy sofisticados, que son implementados en su mayoría para el tratamiento de aguas blancas de proceso en cuanto a la disminución de sólidos. El reactor biológico a su vez depende del factor de biodegradabilidad, donde previamente se corroboró que no era aplicable dicho tratamiento. En cambio, la oxidación química es el tratamiento ideal para la disminución de la materia orgánica soluble no biodegradable.

En cuanto a la realización de la matriz de selección de productos químicos (Tabla 4.18) de entrada se conoce que el ozono es inestable y debe generarse in situ, el permanganato de potasio genera muchos sólidos y es corrosivo, el peróxido de hidrogeno es corrosivo y volátil, y que el hipoclorito de sodio es el menos eficiente pero no genera sólidos y no es corrosivo.

A continuación se presentan las matrices de selección (Tabla 4.17 y Tabla 4.18) ya valoradas, donde se obtuvo como resultado la aplicación un tratamiento de oxidación química empleando hipoclorito de sodio como agente oxidante.

Tabla 4.17. Matriz aplicada para la selección de tratamientos

CRITERIOS	%	Valoración: (1-5)				Ponderación: (Valor*%)			
		T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4
Mantenimiento	5	3	2	3	5	0,15	0,10	0,15	0,25
Disponibilidad en el Mercado	10	1	2	4	4	0,10	0,20	0,40	0,40
Especialización del operador	15	4	2	2	4	0,60	0,30	0,30	0,60
Seguridad industrial	15	5	4	3	3	0,75	0,60	0,45	0,45
Uso de equipos	15	4	2	2	5	0,60	0,30	0,30	0,75
Costo	20	3	1	2	4	0,60	0,20	0,40	0,80
Eficiencia	20	3	2	1	5	0,60	0,40	0,20	1,00
TOTAL	100					3,40	2,10	2,20	4,25

Donde:

T1: Resinas de intercambio iónico

T2: Ósmosis inversa

T3: Reactor biológico

T4: Oxidación química

Tabla 4.18. Matriz aplicada para la selección de productos químicos

CRITERIOS	%	Valoración: (1-5)				Ponderación: (Valor*%)			
		Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4
Disponibilidad en el Mercado	10	2	4	5	3	0,20	0,40	0,50	0,30
Especialización del operador	15	3	3	4	2	0,45	0,45	0,60	0,30
Seguridad industrial	15	1	1	4	4	0,15	0,15	0,60	0,60
Toxicidad, Inflamabilidad, Explosión	20	1	1	4	4	0,20	0,20	0,80	0,80
Costo	20	3	4	5	2	0,6	0,8	1,00	0,4
Eficiencia	20	5	5	3	5	1,00	1,0	0,60	1,00
TOTAL	100					2,60	3,00	4,10	3,40

Donde:

Q1: Permanganato de potasio

Q2: Agua oxigenada

Q3: Hipoclorito de sodio

Q4: Ozono

Estos criterios o parámetros con cada una de las ponderaciones planteadas, se evaluaron en un rango de 0 a 5 de la siguiente manera:

Mantenimiento: 0 significa que requiere un mantenimiento excesivo y 5 significa poco mantenimiento.

Disponibilidad en el Mercado: 0 significa que no se consigue en el mercado y 5 significa que es muy fácil de conseguir en el mercado.

Especialización del Operador: 0 significa que necesita una alta especialización del operador para operar el tratamiento o manejar el químico y 5 significa que no necesita una especialización por parte del operador.

Seguridad Industrial: 0 significa que acarreará un alto nivel de inseguridad aplicar el tratamiento o manipular el producto químico y 5 significa que es sumamente seguro aplicar la alternativa.

Uso de equipos: 0 significa que se necesitan muchos equipos para aplicar el tratamiento (más de 12 equipos) y 5 significa que necesita muy pocos equipos para aplicar el tratamiento (1 a 3 equipos).

Toxicidad, Inflamabilidad y Explosión: 0 significa que es altamente tóxico, inflamable y explosivo aplicar y/o manipular el químico y 5 significa que no es ni tóxico ni inflamable ni explosivo aplicar y/o manipular el producto químico.

Costos: 0 significa que la aplicación de la propuesta acarreará un alto consumo de dinero y 5 significa que es poco costosa la aplicación de la alternativa.

Eficiencia: 0 significa que la alternativa no es eficiente y 5 significa que es altamente eficiente.

A continuación se la presentan las tablas de ventajas y desventajas (Tabla 4.19 y Tabla 4.20) para cada una de las alternativas que resultaron con mayor ponderación.

Tabla 4.19. Ventajas y desventajas de los tratamientos seleccionados

VENTAJAS		
Resinas de intercambio iónico: <ul style="list-style-type: none"> • Requiere poco conocimiento para la operación por parte del operador. • Pocos riesgos de seguridad industrial. • No requiere de la utilización de muchos equipos. • Requiere poca supervisión por parte del operador. 	Tratamiento biológico: <ul style="list-style-type: none"> • Altamente eficiente para la oxidación de la materia orgánica. • Se consigue con normalidad en el mercado. 	Oxidación química: <ul style="list-style-type: none"> • Altamente eficiente para la oxidación de la materia orgánica. • Fácil mantenimiento. • Fácil disponibilidad en el mercado. • Requiere poco conocimiento para la operación por parte del operador. • Es económico. • No requiere de la utilización de muchos equipos. • Requiere poca supervisión por parte del operador.
DESVENTAJAS		
Resinas de intercambio iónico: <ul style="list-style-type: none"> • Tratamiento aplicado para potabilización de aguas y no es eficiente para oxidar materia orgánica. • Mantenimiento trabajoso. • Poca disponibilidad en el mercado. • Tratamiento costoso. 	Tratamiento biológico: <ul style="list-style-type: none"> • La relación DBO₅/DQO (factor de diseño) experimental es menor a 0,6; por lo que teóricamente no es posible aplicar el tratamiento. • Dificultad en el mantenimiento. • Requiere conocimientos para la operación y mantenimiento del tratamiento por parte del operador. • Presenta riesgos de seguridad industrial por el uso y almacenamiento de químicos. • Requiere la utilización de muchos equipos, lo que lo hace costoso para implementarlo y mantenerlo. • Requiere de supervisión constante por parte del operador. • No se cuenta con un laboratorio propio para realizar el seguimiento diario. • En la planta de tratamiento no se cuenta con el espacio para implementar este tratamiento. 	Oxidación química: <ul style="list-style-type: none"> • Presenta riesgos de seguridad industrial por el uso y almacenamiento de químicos.

Tabla 4.20. Ventajas y desventajas de los productos químicos seleccionados

VENTAJAS	
Ozono:	Hipoclorito de Sodio:
<ul style="list-style-type: none"> • Es uno de los oxidantes más eficientes. 	<ul style="list-style-type: none"> • Fácil disponibilidad en el mercado • Requiere poco conocimiento para la operación por parte del operador. • Es económico. • No requiere de la utilización de muchos equipos. • Es poco inflamable y explosivo.
DESVENTAJAS	
Ozono:	Hipoclorito de Sodio:
<ul style="list-style-type: none"> • Requiere la utilización de muchos equipos. • Requiere el conocimiento de parte de los operadores en la generación del ozono así como en el manejo y control de los equipos. • En su mayoría, este método va ligado con luz ultravioleta o permanganato de potasio. Si se emplea junto a la luz ultravioleta implicara alto consumo de energía. Si se emplea junto al permanganato se generará sólidos y corrosión. • El uso de ozono va ligado al alto consumo de energía. • El ozono debe generarse <i>in situ</i>. • Requiere de supervisión constante por parte del operador. • La implementación del ozono es costoso para su implementación y su mantenimiento en el tiempo. • En la planta de tratamiento no se cuenta con el espacio para implementar este método. • Riesgo de explosión. 	<ul style="list-style-type: none"> • No se pueden tener grandes cantidades en stock, por que su consumo es bajo y se evapora muy fácilmente. • No debe almacenarse a temperaturas altas. • Es el oxidante menos eficiente.

CAPÍTULO V

ESPECIFICACIONES DE LA PROPUESTA DE ALTERNATIVAS

En este capítulo se desarrolla la propuesta de adecuamiento seleccionada, así como también los costos y beneficios que traerá su implementación.

V.1 OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE COAGULACIÓN FLOCULACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE UNIGRA

Para la optimización del proceso de coagulación floculación, primero se procedió a determinar la dosificación óptima del coagulante (policloruro de aluminio) y del floculante (polímero NALCO 7530) a través de un ensayo de prueba de jarra. Debido a las limitaciones de la empresa, en cuanto a la no disponibilidad de los equipos necesarios, el ensayo solo pudo realizarse en tres oportunidades (Febrero 2012), gracias a la colaboración de la empresa Bridgestone Firestone Venezolana C.A., que muy gentilmente facilitó el turbidímetro.

Los resultados obtenidos en la prueba de jarra se presentan en la Tabla 5.1, junto a las gráficas de determinación de la dosis mínima para obtener floculo visible (Figura 5.1), determinación del pH óptimo (Figura 5.2) y determinación de la dosis óptima (Figura 5.3).

Mediante el conocimiento de todos los equipos empleados en el tratamiento, de la manera en que ejecuta el tratamiento el operador, de las variables de entrada y salida del tratamiento físico-químico que se controlan y no se controlan, se procedió a la optimización del tratamiento físico-químico por medio de cálculos ingenieriles apropiados, considerando la disponibilidad de espacio físico en la planta de tratamiento, tipo y cantidad de agua a tratar y equipos necesarios para lograr la optimización, llegando así a la Tabla 5.2 donde se presentan el dimensionamiento de las unidades.

Tabla 5.1. Resultados de la prueba de jarra de Unigra

Ensayo	Hora	Volumen de efluente (L)	Volumen de Coagulante (cm3)	Volumen de Coagulante (ppm)	Volumen de floculante (cm3)	pH antes (Adim.)	pH después (Adim.)	Tvelocidadalta coagulante (s)	Tvelocidadbaja floculante (s)	Tsedimentación (s)	Nivel de Lodo (mL)	Turbidez (NTU)
1	07:15 a.m.	1,0	0,00	0,0	0,00	7,22	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0	586
2	07:30 a.m.	1,0	0,10	100,0	0,10	7,20	6,71	60,0	300,0	720,0	60,0	21
3	08:00 a.m.	1,0	0,25	250,0	0,10	7,25	6,60	60,0	300,0	720,0	200,0	0
4	08:30 a.m.	1,0	0,40	400,0	0,10	7,23	6,56	60,0	300,0	800,0	210,0	0
5	09:00 a.m.	1,0	0,50	500,0	0,10	7,05	6,40	60,0	300,0	780,0	250,0	14
6	09:30 a.m.	1,0	0,75	750,0	0,10	7,20	6,15	60,0	300,0	720,0	10,0	501
7	10:00 a.m.	1,0	1,00	1.000,0	0,10	7,10	5,95	60,0	300,0	800,0	30,0	501
8	10:30 a.m.	1,0	2,00	2.000,0	0,10	6,99	5,30	60,0	300,0	800,0	1,0	622
9	11:00 a.m.	1,0	3,00	3.000,0	0,10	7,15	4,89	60,0	300,0	800,0	1,0	711

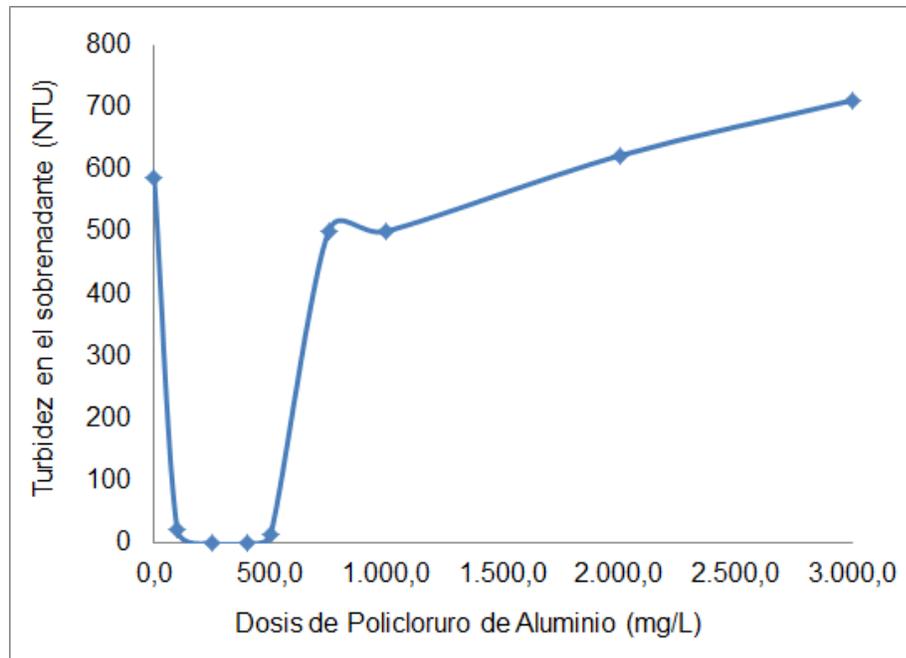


Figura 5.1. Determinación de la dosis mínima para obtener floculo visible en la planta de tratamiento de aguas provenientes del proceso de Unigra

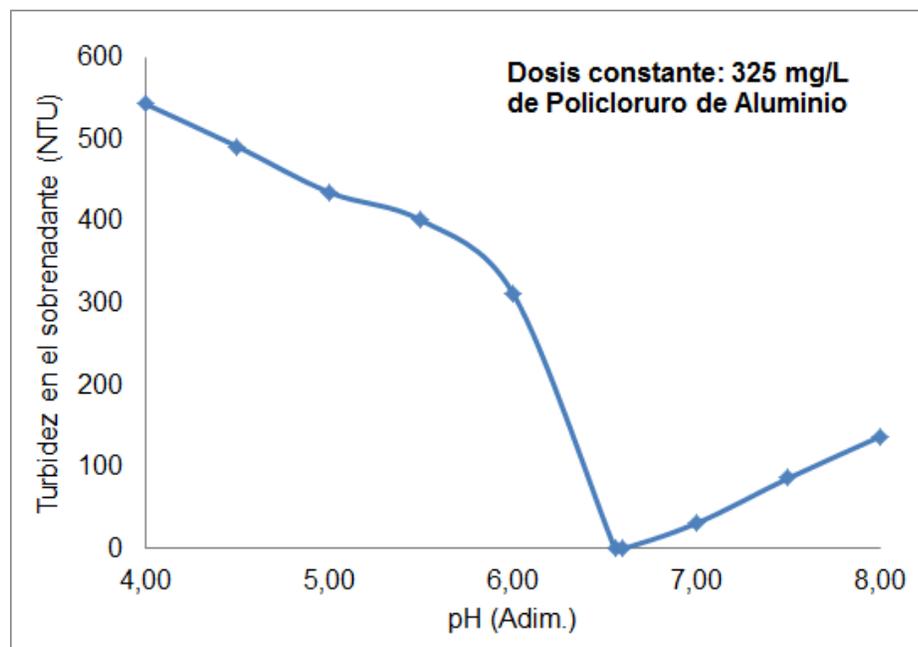


Figura 5.2. Determinación del pH de reacción en la planta de tratamiento de aguas provenientes del proceso de Unigra

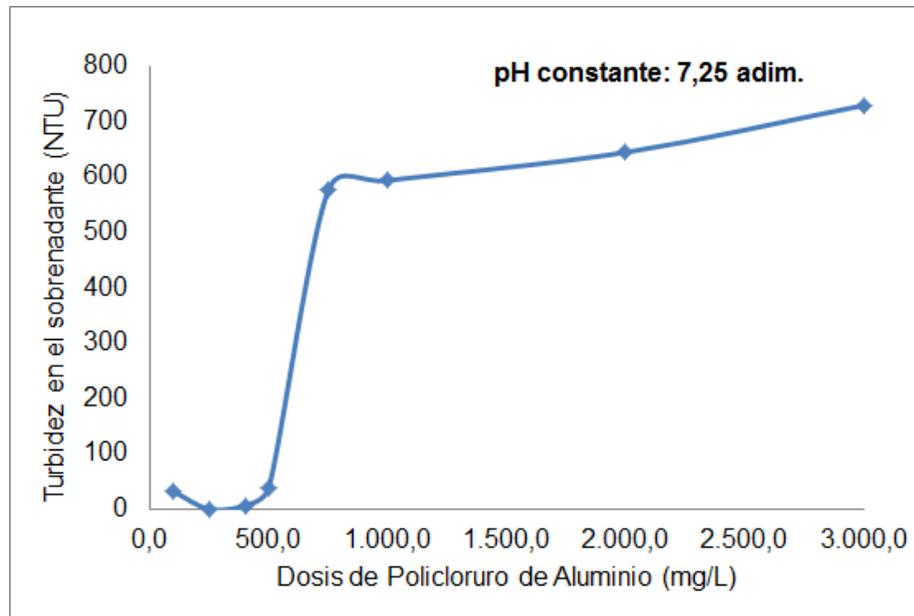


Figura 5.3. Determinación del pH de operación en la planta de tratamiento de aguas provenientes del proceso de Unigra

Durante el desarrollo de la propuesta seleccionada (optimización del proceso de coagulación floculación), se tomaron en cuenta las siguientes consideraciones:

- Según la Tabla 5.1 y la Figura 5.2 el pH de reacción del policloruro de aluminio con el efluente es de 6,60, por lo que es el pH que se debe alcanzar en la tolva o reactor físico-químico una vez sea agregado el policloruro para garantizar la correcta coagulación. Se debe controlar el pH en la tolva.
- Según la Tabla 5.1 y la Figura 5.3 el pH de operación para la correcta coagulación al aplicar el policloruro de aluminio al efluente es de 7,25, siendo este el pH que debe tener el efluente al entrar a la tolva. Dicho pH se fija en el tanque de igualación (previo al reactor físico-químico).
- Según la data de la empresa, el pH de entrada a la tolva nunca es mayor a 8,00 en su mayoría esta entre 6,00 y 7,00, por lo que se debe agregar soda

cáustica en el tanque de igualación para poder fijar el pH de operación. Se debe controlar el pH en el tanque de igualación.

- Según la Figura 5.3 la dosificación óptima de policloruro de aluminio en el reactor físico-químico es de 250,0 ppm. Se debe controlar la dosificación de policloruro en la tolva.
- Según la empresa NALCO (proveedor del floculante), la dosificación del polímero NALCO 7530 es de 200,0 mL por cada 500,0 mL de policloruro de aluminio. La concentración del producto no fue suministrada por NALCO. Se debe controlar la dosificación del polímero floculante en la tolva.
- Debido a las condiciones de almacenamiento del policloruro de aluminio, polímero NALCO 7530 y la soda cáustica, se fijaron 3 tanques de almacenamiento secundario para cada químico, que es donde estarán dispuestas las bombas dosificadoras. La capacidad de almacenamiento de dichos tanques secundarios debe garantizar el tratamiento del efluente por 2 semanas (13 tratamientos por semana).
- Las bombas elegidas, debe suministrar el doble del caudal necesario para poder realizar el tratamiento y así garantizar la realización óptima del mismo con un 50% de trabajo por parte de cada bomba.
- El pHmetro seleccionado, se emplea para medir el pH en línea tanto en el tanque de igualación como en la tolva, cuyos electrodos deben ser resistentes a químicos y a la corrosión.

En el dimensionamiento de la propuesta (Tabla 5.2) se establecen los requerimientos exigidos por el proceso junto con los valores mínimos que deben tener las unidades nuevas para la correcta operación y optimización del tratamiento, los cuales se determinaron en el apéndice A. En la Tabla 5.3 y Tabla 5.4 se detallan las especificaciones de los equipos para la optimización del tratamiento físico-químico, buscando con ello la disminución y adecuación de las concentraciones de DBO_5 y DQO de la planta de tratamiento de Unigra. Los datos fueron suministrados por la empresa Insatécnica C.A.

Tabla 5.2. Dimensionamiento para la optimización del proceso de coagulación floculación

Empresa:	Smurfit Kappa Cartón de Venezuela, S.A., división Unión Gráfica	Servicio de la unidad:	Optimización del proceso de coagulación floculación
Proyecto:	Adecuación de la planta de tratamiento de aguas de proceso al Decreto N° 3219	Ubicación:	Valencia - Edo. Carabobo
Tipo de equipo:	Bomba Dosificadoras y Tanques de Almacenamiento para: Policloruro de Aluminio, Polímero NALCO 7530 y Soda Cáustica; Medidor en línea de pH	Fecha:	01/03/2012

Requerimientos del tratamiento:

Volumen de agua a tratar (L)	2.800,0
pH de reacción	6,60
pH operativo	7,25

Características de los químicos a emplear:

	Policloruro de Aluminio	Polímero NALCO 7530	Soda Cáustica
Densidad (g/mL)	1,340	1,020	2,100
Concentración producto puro (%)	36,0	25,0	50,0
Dosificación por batch a tratar (mg/L)	335,0	D. N. S. *	210,0
Volumen por batch a tratar (mL)	700,0	280,0	714,3
Tiempo de aplicación (s)	60,0	300,0	180,0
Caudal (mL/s)	11,7	0,9	4,0
Caudal (L/h)	42,0	3,3	14,3
Caudal (gpm)	0,185	0,015	0,063

Desempeño requerido de la unidad:

	Policloruro de Aluminio	Polímero NALCO 7530	Soda Cáustica
Volumen de Tanque de Almacenamiento (L)	18,2	7,3	18,6
Velocidad del Agitador del Tanque de Almacenamiento (rpm)	≤ 70,0	≤ 70,0	≤ 70,0
Caudal de Bomba Dosificadora (L/h)	84,0	6,7	28,6
Caudal de Bomba Dosificadora (gpm)	0,370	0,030	0,126
Salidas para medición de pH	1	0	1

* Datos no suministrados

Tabla 5.3. Especificaciones del grupo de dosificación

Empresa:	Insatécnica C.A.	Servicio de la unidad:	Dosificación de Policloruro de Aluminio, Polímero NALCO 7530 y Soda Cáustica	
Proyecto:	Adecuación de la planta de tratamiento de aguas de proceso al Decreto N° 3219	Ubicación:	Caracas - Dtto. Capital	
Tipo de equipo:	Grupo de Dosificación (bomba, tanque, placa de soporte horizontal para la bomba, soporte en PVC, agitador, lanza de aspiración completa con sonda de nivel, kit de accesorios completo)	Fecha:	01/03/2012	
Especificaciones del tratamiento para cada uno de los químicos a emplear:				
Bomba dosificadora:		Policloruro de Aluminio	Polímero NALCO 7530	Soda Cáustica
Caudal (L/h)		90,0	10,0	35,0
Presión (bar)		0,1	10,0	2,0
cc/imp		3,52	0,55	1,94
Peso (kg)		4,0	4,0	4,0
Modelo		Athena 4M	Athena 3M	Athena 4M
Marca		INJECTA		
Agitador eléctrico:		Policloruro de Aluminio	Polímero NALCO 7530	Soda Cáustica
Longitud del eje (cm)		60,0		
Diametro del hélice (cm)		9,0		
Potencia del motor (kw)		0,13		
Velocidad (rpm)		70,0		
Marca		INJECTA		
Tanque de almacenamiento:		Policloruro de Aluminio	Polímero NALCO 7530	Soda Cáustica
Volumen (L)		50,0		
Altura (cm)		45,5		
Material		Polietileno		
Lanza de aspiración completa con sonda de nivel:		Policloruro de Aluminio	Polímero NALCO 7530	Soda Cáustica
Altura (cm)		45,0		
Diametro (cm)		2,2		
Material		PVC		
Placa de soporte:		Policloruro de Aluminio	Polímero NALCO 7530	Soda Cáustica
Altura de la placa (cm)		5,0		
Altura donde se dispondra la placa (cm)		45,5		
Material		PVC		

Tabla 5.4. Especificaciones del medidor en línea

Empresa:	Insatécnica C.A.	Servicio de la unidad:	Control del proceso de coagulación floculación
Proyecto:	Adecuación de la planta de tratamiento de aguas de proceso al Decreto N° 3219	Ubicación:	Caracas - Dtto. Capital
Tipo de equipo:	Medidor en línea de pH	Fecha:	01/03/2012
Especificaciones de los equipos:			
pHmetro en línea:			
Salidas para pH	1		
Rango de pH	0,00 a 14,00		
Temperatura (°C)	0,00 a 100,00		
Alimentación (Hz)	50/60		
Set Point	2 independientes por relé de contacto sin tensión 10A 250V (carga resistiva)		
Modelo	2000		
Marca	NEXUS		
Electrodo:			
Rango de pH	0,00 a 14,00		
Temperatura (°C)	0,00 a 100,00		
Cuerpo	Epóxico		
Modelo	E.pH.1		

En la Tabla 5.5 se muestra de manera más detallada las características técnicas de las bombas dosificadoras a emplear en el proceso de coagulación floculación.

Tabla 5.5. Características de la bomba dosificadora marca INJECTA

BOMBA INJECTA. Modelo ATHENAS (3M y 4M)	
Tipo	Monofásica, analógica, 110/220 V/1F
Material	Cabezal en PDF, membrana en PTFE, protección IP65
Regulación de caudal	Manual, de 0 a 100%
Dosificación	Proporcional a una señal externa analógica (4-20 mA) o digital de contador
Incluye	Válvula de purga, válvula de succión, inyector y mangueras de succión y descarga

V.2 APLICACIÓN DE UN TRATAMIENTO AVANZADO DE OXIDACIÓN QUÍMICA CON HIPOCLORITO DE SODIO

Para la aplicación de una oxidación química con hipoclorito de sodio (NaClO), primero se procedió a determinar el caudal de NaClO a suministrar para lograr oxidar la materia orgánica soluble que no pudo ser removida con el tratamiento fisicoquímico.

Mediante el conocimiento de las variables de entrada y salida del tratamiento físico-químico se procedió al diseño de este tratamiento avanzado por medio de cálculos ingenieriles, teniendo en cuenta: primero, la disponibilidad de espacio físico en la planta de tratamiento, segundo, tipo y cantidad de agua a tratar, y tercero, las concentraciones de DBO_5 y DQO mínimas a reducir para dar cumplimiento al Decreto. A partir de los criterios mencionados previamente se obtuvo la Tabla 5.6, donde se presenta el dimensionamiento del tratamiento.

Durante el desarrollo de la propuesta seleccionada (oxidación química), se tomaron en cuenta las siguientes consideraciones:

- Según Metcalf (1977), las normas gubernamentales estipulan que la dosis máxima de cloro requerida es de 20,0 mg/L.
- Según Metcalf (1977), se necesitan 0,5 mg/L de hipoclorito de sodio por cada mg/L de DBO_5 destruido.
- Según Colmenares (2000), el agua tratada con coagulación floculación debe tener una turbiedad de 5,0 NTU como máximo, para poder aplicarle oxidación química con hipoclorito de sodio.
- El hipoclorito de sodio se consigue en el mercado en concentraciones que van desde el 8,0 % (80.000,0 ppm) al 17,0 % (170.000,0 ppm).
- Debido a las condiciones de almacenamiento del Hipoclorito de Sodio, se fijó un tanque de almacenamiento secundario, que es donde estará dispuesta la bomba dosificadora. La capacidad de almacenamiento de dicho tanque secundario garantizará el tratamiento por 2 semanas (13 tratamientos por semana).

- La bomba seleccionada, debe suministrar el doble del caudal necesario para poder realizar el tratamiento, para así garantizar la realización óptima del tratamiento con un 50% de trabajo de la bomba.

Tabla 5.6. Dimensionamiento para la dosificación de hipoclorito de sodio

Empresa:	Smurfit Kappa Cartón de Venezuela, S.A., división Unión Gráfica	Servicio de la unidad:	Oxidación de la materia orgánica soluble
Proyecto:	Adecuación de la planta de tratamiento de aguas de proceso al Decreto N° 3219	Ubicación:	Valencia - Edo. Carabobo
Tipo de equipo:	Bomba Dosificadora y Tanque de Almacenamiento para el Hipoclorito de Sodio	Fecha:	01/03/2012
Requerimientos del tratamiento:			
Volumen de agua a tratar (L)		2.800,0	
Dosis máxima de NaClO permitida (ppm)		20,0	
Turbiedad máxima del agua a tratar con NaClO (NTU)		5,0	
Características de los químicos a emplear:			
		Hipoclorito de Sodio:	
Densidad (g/mL)	1,110	1,110	
Concentración del producto puro (%)	8,0	17,0	
Dosificación por batch a tratar (mg/L)	20,0	20,0	
Volumen por cada batch a tratar (mL)	700,2	329,5	
Tiempo de aplicación (s)	180,0	180,0	
Caudal (mL/s)	3,9	1,8	
Caudal (L/h)	14,0	6,6	
Caudal (gpm)	0,062	0,029	
Desempeño requerido de la unidad:			
	Hipoclorito de Sodio (8,0 %)	Hipoclorito de Sodio (17,0 %)	
Volumen de Tanque de Almacenamiento (L)	18,2	8,6	
Velocidad del Agitador del Tanque de Almacenamiento (rpm)	≤ 70,0	≤ 70,0	
Caudal de Bomba Dosificadora (L/h)	28,0	13,2	
Caudal de Bomba Dosificadora (gpm)	0,124	0,058	

Tabla 5.7. Especificaciones para la dosificación de hipoclorito de sodio

Empresa:	Insatécnica C.A.	Servicio de la unidad:	Dosificación de Hipoclorito de Sodio
Proyecto:	Adecuación de la planta de tratamiento de aguas de proceso al Decreto N° 3219	Ubicación:	Caracas - Dtto. Capital
Tipo de equipo:	Grupo de Dosificación (bomba, tanque, placa de soporte horizontal para la bomba, soporte en PVC, agitador, lanza de aspiración completa con sonda de nivel, kit de accesorios completo)	Fecha:	01/03/2012
Especificaciones del tratamiento para el químico a emplear:			
Bomba dosificadora:		Hipoclorito de Sodio (8,0 %)	Hipoclorito de Sodio (17,0 %)
Caudal (L/h)		35,0	14,0
Presión (bar)		2,0	6,0
cc/imp		1,94	0,78
Peso (kg)		4,0	4,0
Modelo		Athena 4M	Athena 3M
Marca		INJECTA	
Agitador eléctrico:		Hipoclorito de Sodio (8,0 %)	Hipoclorito de Sodio (17,0 %)
Longitud del eje (cm)		60,0	
Diametro del hélice (cm)		9,0	
Potencia del motor (kw)		0,13	
Velocidad (rpm)		70,0	
Marca		INJECTA	
Tanque de almacenamiento:		Hipoclorito de Sodio (8,0 %)	Hipoclorito de Sodio (17,0 %)
Volumen (L)		50,0	
Altura (cm)		45,5	
Material		Polietileno	
Lanza de aspiración completa con sonda de nivel:		Hipoclorito de Sodio (8,0 %)	Hipoclorito de Sodio (17,0 %)
Altura (cm)		45,0	
Diametro (cm)		2,2	
Material		PVC	
Placa de soporte:		Hipoclorito de Sodio (8,0 %)	Hipoclorito de Sodio (17,0 %)
Altura de la placa (cm)		5,0	
Altura donde se dispondra la placa (cm)		45,5	
Material		PVC	

El resto de las características técnicas de las bombas dosificadoras fueron mencionadas con anterioridad en el apartado V.I del presente trabajo de grado.

Se debe acotar que, en el dimensionamiento de la propuesta (Tabla 5.6) se establecen los requerimientos exigidos por el proceso junto con los valores mínimos que deben tener las unidades nuevas para la correcta dosificación de hipoclorito de sodio, los cuales se determinaron en el apéndice A. En la Tabla 5.7 se detalla las especificaciones de los equipos para la aplicación de la oxidación química, buscando con ello la disminución y adecuación de las concentraciones de DBO₅ y DQO de la planta de tratamiento de Unigra. Los datos fueron suministrados por la empresa Insatécnica C.A.

V.3 AUTOMATIZACIÓN DEL TRATAMIENTO FÍSICO-QUÍMICO

En la búsqueda de la operación exitosa de la planta de tratamiento de Unigra, enfocándose en la disminución de los errores asociados en la dosificación de los químicos y en el proceso de coagulación floculación, se propone la automatización de la planta de tratamiento con la aplicación de un equipo PLC (controlador lógico programable o programable logic controller por sus siglas en inglés). Este dispositivo a través de un software controlará de manera automática lo siguiente:

- El pH del tanque de igualación y de la tolva a través de un pHmetro en línea, donde lo más importante a tener en cuenta es que el agua a tratar debe estar con el pH de operación y que al momento de adicionar el coagulante se llegue al pH de reacción (ambos pH determinados a través de pruebas de jarra).
- El transvase del efluente del tanque de igualación hasta la tolva mediante el estudio de los niveles de cada uno de ellos para el momento de realizar el tratamiento.
- La dosificación de los químicos (soda cáustica, policloruro de aluminio, polímero NALCO 7530 e hipoclorito de sodio) a través de bombas, que serán activadas durante un tiempo previamente determinado y que

garantice la dosis adecuada de cada químico (determinada a través de pruebas de jarra y cálculos matemáticos).

- La velocidad (alta y baja) y el tiempo (de encendido y apagado) del mezclador del tanque de igualación y de la tolva, dependiendo del químico empleado y el proceso a realizar (coagulación, floculación, sedimentación y oxidación).
- El vaciado de la tolva una vez realizado el tratamiento físico-químico mediante la implementación de válvulas automáticas que serán activadas a través de tiempos fijados por el usuario dependiendo del nivel de la tolva.
- La activación de una alarma sonora cuando ambos tanques se encuentren llenos, y sus pH se encuentren fuera del rango (4,00 – 10,00).

Al momento de emplear un PLC se debe tener en cuenta la terminología de entradas (Tabla 5.8) y salidas (Tabla 5.9) del mismo. Las entradas son todas aquellas variables que miden y controlan el proceso a automatizar, mientras que las salidas son todas aquellas acciones que se realizan a través de equipos dispuestos para ello luego de medir y controlar algo.

Tabla 5.8. Entradas del PLC para la automatización de la planta de tratamiento de Unigra

LUGAR	ENTRADAS	
Tanque de Igualación	1. Medidor de pH	
	2. Medidor de nivel	Alto
		Bajo
Mezclador del Tanque de Igualación	3. Variador de alta	
Tolva	4. Medidor de pH	
	5. Medidor de nivel	Alto
		Bajo
Mezclador de la Tolva	6. Variador de alta	
	7. Variador de baja	

Tabla 5.9. Salidas del PLC para la automatización de la planta de tratamiento de Unigra

LUGAR	SALIDAS	
Tanque de Igualación	1. Bomba dosificadora de soda cáustica (BD-1)	
	2. Bomba de transvase del efluente (BT-1)	
Mezclador del tanque de Igualación	3. Velocidad de agitación	Alto (Val)
		Apagado (Vap)
Tolva	4. Bomba dosificadora de policloruro de aluminio (BD-2)	
	5. Bomba dosificadora del polímero NALCO 7530 (BD-3)	
	6. Bomba dosificadora de hipoclorito de sodio (BD-4)	
Mezclador de la Tolva	7. Velocidad de agitación	Alto (Val)
		Bajo (Vba)
		Apagado (Vap)
Tolva	8. Válvula automática de agua tratada (VM-at)	
	9. Válvula automática de lodos (VM-l)	
Tanque de Igualación y Tolva	10. Alarma (A)	

Una parte esencial de un PLC es el dispositivo de programación, o terminal de programación. Algunos PLC están equipados con su propio dispositivo de programación construido por el fabricante del mismo. Pero en muchas instalaciones el dispositivo de programación es una computadora portátil o de escritorio que viene equipada con una tarjeta de interfaz de comunicación con el procesador del PLC unidos mediante un cable serial. La computadora además tiene que tener instalado un software especial en el disco duro, que es proporcionado por el fabricante del PLC, dicho software debe ser programado según las indicaciones del ingeniero. Para el caso de Unigra, el software debe estar programado bajo las especificaciones del siguiente procedimiento (Tabla 5.10):

Tabla 5.10. Procedimiento a ejecutar por el PLC

LUGAR:	ACCIÓN:	CONTROLADO POR:		VARIABLE CONTROLADA:
Tanque de Igualación	Dosificación de soda cáustica: encender la bomba (BD-1) y el mezclador (MX-1) en Val hasta alcanzar el pH de operación.	Medidor de pH		pHoperación = 7,25 (Prueba de jarra)
		Variador de velocidad 1	Velocidad alta del mezclador (MX-1)	Val = 200,0 rpm
		Tiempo de agitación de Val		El tiempo dependerá de cuando se alcance el pH de operación
	Transvase del efluente del tanque de igualación a la tolva cuando: una vez alcanzado el pH de operación en el tanque de igualación, encender la bomba (BT-1) cuando se encuentre el Nivel 1 en Alto y el Nivel 2 en Bajo. Apagar la bomba (BT-1) cuando el Nivel 2 esta en Alto.	Medidor de nivel 1	Nivel alto	Altura = 2,1 m
			Nivel bajo	Altura = 0,2 m
Tolva	Dosificación de policloruro de aluminio: activar el mezclador de la tolva en Val y fijar el tiempo de agitación (T1). Al mismo tiempo activar la bomba dosificadora de policloruro de aluminio (BD-2) hasta que el pH se encuentre en el pH de reacción. Garantizar que el consumo de coagulante sea el determinado en la prueba de jarra (700 mL).	Medidor de pH		Val = 200,0 rpm
		Variador de velocidad 2	Velocidad alta del mezclador (MX-2)	T1 = 180,0 s (Prueba de jarra)
		Tiempo de agitación de Val		pHreacción = 6,60 (Prueba de jarra)
	Dosificación de polímero NALCO 7530: una vez transcurrido los 180 segundos (T1) y alcanzado el pH de reacción, activar el mezclador de la tolva en Vba y fijar el tiempo de agitación (T2). Al mismo tiempo activar la bomba dosificadora de polímero NALCO 7530 (BD-3), durante un tiempo establecido (T3), para garantizar que se dosifiquen la cantidad determinada en dicha prueba de jarra (280 mL).	Variador de velocidad 2	Velocidad baja del mezclador (MX-2)	Vba = 60,0 rpm
		Tiempo de agitación de Vba		T2 = 900,0 s (Prueba de jarra)
		Tiempo de dosificación de coagulante		T3 = 300,0 s (Prueba de jarra)

Tabla 5.10. Procedimiento a ejecutar por el PLC (Continuación)

LUGAR:	ACCIÓN:	CONTROLADO POR:		VARIABLE CONTROLADA:
		Variador de velocidad 2	Velocidad alta del mezclador (MX-2)	
Tolva	<p>Dosificación de hipoclorito de sodio: transcurridos los 1080 segundos (T1+T2), activar el mezclador de la tolva en Val con un tiempo de agitación determinado previamente (T4). Activar la bomba dosificadora de hipoclorito de sodio (BD-4), durante un tiempo (T5) de 180 segundos. Una vez transcurridos los 1980 segundos (T1+T2+T4) se apaga el mezclador de la tolva (fijar la velocidad en Vap) por un tiempo (T6) de 600 segundos, para así garantizar una buena oxidación química.</p>			Val = 200,0 rpm
		Tiempo de agitación de Val		T4 = 900,0 s (Prueba de laboratorio)
		Tiempo de dosificación de hipoclorito de sodio		T5 = 180,0 s (Prueba de laboratorio)
		Tiempo de oxidación química		T6 = 600,0 s (Prueba de laboratorio)
		Variador de velocidad 2	Velocidad apagado del mezclador (MX-2)	Vap = 0,0 rpm
	<p>Sedimentación de los sólidos: una vez transcurridos los 2580 segundos (T1+T2+T4+T6), se mantiene apagado el mezclador de la tolva (mantener la velocidad en Vap) durante un tiempo determinado previamente (T7), para así garantizar una buena sedimentación de los sólidos.</p>	Variador de Velocidad 2	Velocidad apagado del mezclador (MX-2)	Vap = 0,0 rpm
		Tiempo de sedimentación		T7 = 3.600,0 s (Prueba de jarra)
	<p>Extracción de lodos: una vez transcurridos los 6180 segundos (T1+T2+T4+T6+T7), activar la válvula automática de lodos (VM-I) durante un tiempo que garantice toda la extracción de los lodos (T8=300s). Una vez finalizado el tiempo, la válvula se cierra.</p>	Tiempo de apertura de la válvula automática de lodos (VM-I)		T8 = 300,0 s (Este tiempo debe ser determinado <i>in situ</i> , donde se fijará una tabla de soporte de: nivel de lodo obtenido vs tiempo de vaciado de lodos)
<p>Transvase del agua tratada a el tanque de clarificado: una vez transcurridos los 6480 segundos (T1+T2+T4+T6+T7+T8), activar la válvula automática de agua tratada (VM-at) hasta que el nivel de la tolva indique que esta vació (Bajo). Una vez vaciado el tanque, la válvula se cerrara y finalizará el proceso automático.</p>	Medidor de nivel 2 (La apertura de la Válvula Automática de agua tratada VM-at dependera del Medidor de Nivel 2)	Nivel bajo	Altura = 0,2 m	

Tabla 5.10. Procedimiento a ejecutar por el PLC (Continuación)

LUGAR:	ACCIÓN:	CONTROLADO POR:		VARIABLE CONTROLADA:
Tanque de Igualación y Tolva	Alarma (A): se activará cuando el pH este fuera del rango establecido. También se activará cuando los niveles de los tanques se encuentren en alto.	Medidor de pH		Rango establecido: 4,00 < pH < 10,00
		Medidor de nivel 1	Nivel alto	Altura = 2,1 m
		Medidor de nivel 2	Nivel bajo	Altura = 2,4 m

A continuación en la Tabla 5.11 se describen las especificaciones del PLC propuesto, junto a los módulos adicionales para incrementar las salidas del mismo. Los datos fueron suministrados por la empresa S.G.A. C.A.

Tabla 5.11. Especificaciones del PLC

Empresa:	S.G.A. C.A.	Servicio de la unidad:	Automatización del proceso de coagulación floculación
Proyecto:	Adecuación de la planta de tratamiento de aguas de proceso al Decreto N° 3219	Ubicación:	Valencia - Edo. Carabobo
Tipo de equipo:	P.L.C. y Módulos de ampliación para entradas y salidas	Fecha:	01/03/2012
Especificaciones de los equipos:			
P.L.C.:			
Entradas de relé			8
Salidas de relé			4
Alto (mm)			55,0
Ancho (mm)			107,0
Largo (mm)			90,0
Peso (g)			265,0
Tensión de entrada (V AC/DC)			115,00 a 240,00
Rango admisible (V AC)			85,00 a 265,00
Rango admisible (V DC)			100,00 a 253,00
Frecuencia de red admisible (Hz)			47,00 a 63,00
Modelo			Logo! Basic OBA7
Marca			SIEMENS

Tabla 5.11. Especificaciones del PLC (Continuación)

Empresa:	S.G.A. C.A.	Servicio de la unidad:	Automatización del proceso de coagulación floculación
Proyecto:	Adecuación de la planta de tratamiento de aguas de proceso al Decreto N° 3219	Ubicación:	Valencia - Edo. Carabobo
Tipo de equipo:	P.L.C. y Módulos de ampliación para entradas y salidas	Fecha:	01/03/2012
Especificaciones de los equipos:			
Módulo adicional para incrementar salidas del P.L.C.:			
Entradas o salidas de relé			2
Alto (mm)			53,0
Ancho (mm)			36,0
Largo (mm)			90,0
Peso (g)			90,0
Modelo			Analógico
Marca			SIEMENS

En el mismo orden de ideas, en la Tabla 5.12 se detallan las especificaciones de los demás equipos necesarios para la automatización de la planta de tratamiento.

Tabla 5.12. Especificaciones de los equipos para la automatización

Empresa:	S.G.A. C.A.	Servicio de la unidad:	Automatización del proceso de coagulación floculación
Proyecto:	Adecuación de la planta de tratamiento de aguas de proceso al Decreto N° 3219	Ubicación:	Valencia - Edo. Carabobo
Tipo de equipo:	Indicador de nivel 3 varillas, Válvula automática y Mezclador ó Agitador	Fecha:	01/03/2012
Especificaciones de los equipos:			
Indicador de nivel 3 varillas:			
Longitud de la varilla (m)			0,1 a 4,0
Material de la varilla			Acero
Temperatura del medio (°C)			-40,00 a 100,00
Presión (bar)			-1,0 a 10,0
Modelo			T FTW31
Marca			LIQUIPOINT

**Tabla 5.12. Especificaciones de los equipos para la automatización
(Continuación)**

Empresa:	S.G.A. C.A.	Servicio de la unidad:	Automatización del proceso de coagulación floculación	
Proyecto:	Adecuación de la planta de tratamiento de aguas de proceso al Decreto N° 3219	Ubicación:	Valencia - Edo. Carabobo	
Tipo de equipo:	Indicador de nivel 3 varillas, Válvula automática y Mezclador ó Agitador	Fecha:	01/03/2012	
Especificaciones de los equipos:				
Válvula automática:				
Fluidos de trabajo		Agua, alcohol, aceites, lodos, combustibles, soluciones salinas y vapor		
Material		Bronce		
Diámetro (pulg)		2,00		
Temperatura (°C)		-10,00 a 180,00		
Presión (bar)		0,0 a 25,0		
Viscosidad máxima (mm ² /s)		600,00		
Modelo		Zeus		
Marca		ARES		
		Mezclador para tanque de igualación:	Mezclador para tolva:	
Fluido de trabajo		Agua de Proceso		
Material		Palas plásticas verticales de fibra de vidrio		
Paletas (Adim.)		3		
Altura (m)		2,0	2,3	
Velocidad (rpm)	Alta (rpm)	200,0	200,0	
	Baja (rpm)	No	60,0	
Modelo		2000		
Marca		PHARMIX		

En la Tabla 5.10 se describe el lugar donde el PLC llevara a cabo la acción, la acción a ejecutar por el sistema, la manera como se controla dicha acción y la variable a tener en cuenta para poder realizar la acción.

Además, es importante resaltar señalar que cada uno de los equipos asociados a las entradas incluye sus correspondientes relés, los cuales se encargan de recibir la información del proceso que será enviada inmediatamente al PLC para que este ejecute la acción correspondiente.

V.4 OTRAS MEJORAS A IMPLEMENTAR EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE UNIGRA

Continuando con la propuesta de adecuación a la planta de tratamiento de Unigra, se consideraron las recomendaciones puntuales realizadas por los especialistas en el área. Dichas recomendaciones fueron enfocadas en las siguientes áreas:

V.4.1 Mejoras en el área de filtración:

- Cambió de la bomba que envía el agua del tanque de clarificado a los filtros, debido a que en la actualidad dicha bomba envía el agua a tratar con un caudal cercano a los 2 L/s, mientras que según las especificaciones técnicas de los filtros, el agua a tratar debe entrar con un caudal de 1 L/s.
- Cambió de los medidores de presión ubicados en la entrada y salida de los dos filtros, ya que en la actualidad están malos y no permiten conocer las presiones a la que operan, lo que dificulta el proceso de retrolavado de los mismos (según el operador de la planta se debe suministrar agua limpia en sentido contrario al proceso de filtración con una presión cercana a los 30 psi).

V.4.2 Mejoras en el área de lavado de mopas y tobos:

- Construcción de una batea para el lavado de mopas y tobos cuyo desagüe se envíe directamente a la red cloacal.

V.4.3 Mejoras en la realización de pruebas de jarra:

- Obtención de un turbidímetro portátil para poder determinar la correcta dosificación de los químicos para el proceso de coagulación floculación.

V.4.4 Realización de un mantenimiento anual para los siguientes equipos y tanques:

- Unidades de filtración, trampa de almidón y trampa de aceites y grasas.
- Tanques de estación de bombeo, recepción de efluentes, igualación, tolva y de clarificado.

En la Tabla 5.13 se detallan las especificaciones de los equipos (ítems V.4.1, V.4.2 y V.4.3) para la adecuación de la planta de tratamiento, los datos fueron suministrados por las empresas: Insatécnica C.A., Importadora I.A.I. C.A. y Aeromeca C.A.

Tabla 5.13. Especificaciones de las otras mejoras a la planta de tratamiento

Empresas:	1. Insatécnica C.A. 2. Importadora IAI C.A. 3. Aeromeca Constructores C.A.	Servicio de la unidad:	Mejoras en el proceso de tratamiento
Proyecto:	Adecuación de la planta de tratamiento de aguas de proceso al Decreto N° 3219	Ubicación de cada empresa:	1. Caracas - Dtto. Capital 2. Caracas - Dtto. Capital 3. Valencia - Edo. Carabobo
Tipo de equipo por empresa:	1. Bomba y medidores de presión para la unidad de filtrado. 2. Turbidímetro para ensayos de jarra. 3. Batea de lavado de mopas y tobos para el proceso de limpieza.	Fecha:	01/03/2012
Especificaciones de los equipos:			
1.1 Bomba de diafragma (monofásica):			
Caudal máximo (L/h)	0,8		
Presión aire alimentación máximo (bar)	7,0		
Altura succión máximo (cm)	7.000,0		
Modelo	Mini		
Marca	BOXER		
1.2 Medidor de Presión:			
Rango (psi)	0,00 a 100,00		
Diámetro (pulg)	2,5		
Tubería (pulg)	1,5		
Material	Glicerina		
2. Turbidímetro:			
Tipo	Portátil		
Rango de turbidez (NTU)	0,0 a 50,0 / 50,0 a 1000,0		
Dimensiones (mm)	155,0*76,0*62,0		
Modelo	TU-2016		
Marca	LUTRON		
3. Batea para lavado de mopas y tobos:			
Altura (cm)	100,0		
Largo (cm)	250,0		
Ancho (cm)	60,0		
Material	Bloque de concreto / Acabado de cerámica		

V.5 ELABORACIÓN DE UN PLAN DE CONTROL OPERATIVO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO CON SU CORRESPONDIENTE PLANILLA DE CONTROL

Finalmente, se elaboró una carta de control operativo de la planta de tratamiento de aguas provenientes del proceso de la empresa Unigra, donde se indica para cada área o equipo en específico de la planta de tratamiento los parámetros más importantes que se deben controlar, tanto los de operación (PCO) como los críticos o de regulación (PCC), con su correspondiente rango óptimo para cada uno de ellos, la frecuencia con la que deben medirse, las consecuencias que originara que los parámetros se encuentren fuera de rango, sus posibles causas así como también las medidas preventivas y correctivas para cada una de ellas.

Esta carta perteneciente al plan de control es una herramienta fundamental y necesaria en el proceso de tratamiento de aguas residuales y de proceso, ya que su implementación permite evaluar y mejorar de manera continua, partiendo de la premisa de lo que no se mide no se puede controlar y que lo que se mide y se controla es susceptible a ser mejorado, a su vez dicho plan incluye las mejoras recomendadas en el presente trabajo de grado. En la Tabla 5.14 se presenta un ejemplo de la carta de control operativo realizada para la unidad de filtración (filtros).

La carta de control fue realizada para cada uno de los equipos que conforman la planta de tratamiento, incluyendo la mejora en dosificación de un agente oxidante en el coagulador floculador. Para cada equipo la carta consta del rango ideal, frecuencia, consecuencias y causas de la desviación, así como las medidas correctivas y preventivas. El resto de la mencionada carta de control puede ser observada en el Apéndice D.

Finalmente, se diseñó una hoja de control, la cual debe ser llenada por el operador de la planta de tratamiento dependiendo del parámetro a medir y la frecuencia estipulada en la carta de control, dicha tabla es mostrada en el Apéndice D.

Tabla 5.14. Carta de control operativo de los filtros de la planta de tratamiento de aguas provenientes del proceso de Unigra

Unidad	Parámetro de control	Rango óptimo	Frecuencia	Causa raíz	Consecuencia de la desviación	Medida preventiva	Medida correctiva
Filtros	DQO	≤ 700,0 mg/L	Semanal	Efluente no deseado: exceso de carga contaminante al sistema (aceite, grasas, tintas y barniz)	Incumplimiento del Decreto N° 3219	Control de calidad del agua de entrada (aguas arriba)	Retornar el agua clarificada al tanque de igualación
	pH	(6,50 - 7,50)	Diario	Efluente no deseado: exceso de carga contaminante al sistema (aceite, grasas, tintas y barniz)	Incumplimiento del Decreto N° 3219	Control de calidad del agua de entrada (aguas arriba)	Retornar el agua clarificada al tanque de igualación
	Olor	N.A.	Diario	Efluente no deseado: exceso de carga contaminante al sistema (aceite, grasas, tintas y barniz)	Malos olores	Control de calidad del agua de entrada (aguas arriba)	N.A.
	Caudal	Entrada: ≤ 1,0 L/s	Diario	Bomba dañada o no se fijó el caudal de operación	Deterioro de los filtros y del tratamiento	Control de caudal de agua de entrada: cada vez que arranca la bomba la recirculación debe estar abierta, además se debe chequear que la presión de entrada a los filtros no sobrepase los 10 psi y que el ΔP del filtro no sobrepase los 5 psi	Fijar el caudal de operación

V.6 RELACIÓN COSTO-BENEFICIO DE LA PROPUESTA PLANTEADA

Para determinar la relación costo-beneficio, en primer lugar se estimaron las posibles sanciones aplicables por el incumplimiento de las normas y parámetros establecidos en el Decreto N° 3219, en este sentido el artículo 57 de dicho decreto estipula que de no cumplirse con los requisitos para la adecuación de la planta de tratamiento serán aplicables las sanciones contenidas en el Título IX: Medidas y Sanciones Ambientales, Capítulo I de la Ley Orgánica del Ambiente, específicamente en el artículo 108 el cual establece multas hasta por un monto de diez mil unidades tributarias (10.000UT).

A su vez, la Ley de Aguas establece en su Capítulo II: De las Infracciones y Sanciones Administrativas, en su articulado N° 119, las sanciones aplicables por concepto de acciones de degradación del medio físico y biológico, estipulando que toda persona natural o jurídica, pública o privada, que realice acciones sobre el medio físico o biológico relacionado al agua que ocasionen o puedan ocasionar su degradación, en violación de los planes de gestión integral de las aguas y las normas técnicas sobre la materia, será sancionada con multa de cincuenta unidades tributarias (50 U.T.) a cinco mil unidades tributarias (5.000 U.T.)

En el mismo orden de ideas, la Ley Penal del Ambiente establece en su Título II: De Los Delitos Contra El Ambiente, Capítulo I: De La Degradación, Envenenamiento, Contaminación Y Demás Acciones o Actividades Capaces de Causar daños a las Aguas, artículo N° 28, la aplicación de sanciones que van desde prisión de tres (3) meses a un (1) año y multa de trescientos (300) días a mil (1.000) días de salario mínimo, por verter o arrojar materiales no biodegradables, sustancias, agentes biológicos o bioquímicos, efluentes o aguas residuales no tratadas así como objetos o desechos de cualquier naturaleza en los cuerpos de las aguas, sus riberas, cauces, cuencas, mantos acuíferos, lagos, lagunas o demás depósitos de agua, incluyendo los sistemas de abastecimiento de aguas, capaces de degradarlas, envenenarlas o contaminarlas.

Atendiendo a la gravedad del daño causado, de acuerdo al artículo N° 6 de la ley penal del Ambiente, además de la multa establecida podrá determinarse la prohibición por un lapso de tres (3) meses a tres (3) años de la actividad origen de la contaminación.

Basándonos en estos preceptos legales, se estimó el ahorro que representa evitar el pago de multas asociadas al vertido de aguas no aptas en las redes cloacales. En la Tabla 5.15 se refleja el monto de ahorro estimado en base a las multas aplicables ya mencionadas y en la Tabla 5.16 se muestra el monto ahorrado en base al cierre de la planta.

Tabla 5.15. Monto de ahorro estimado en base a las multas aplicables

Cantidad establecida por la Ley de Aguas de Unidades Tributarias (UT)	5.000
Valor monetario de una (1) Unidad Tributaria para el 2012 (Bs)	90,00
Monto de la multa de la Ley de Aguas (Bs)	450.000,00
Cantidad establecida por la Ley Penal del Ambiente de Días de Salario Mínimo (DSM)	1.000
Valor monetario de un (1) Día de Salario Mínimo para el 2012 (Bs)	51,61
Monto de la multa por la Ley Penal del Ambiente (Bs)	51.610,00

Tabla 5.16. Monto de ahorro estimado en base al cierre de la planta

Producción diaria de Impresión de Estuches (TMD)	15
Costo obtenido por la venta de Estuches (Bs/TM)	51.600,00
Días estimados de sanción	90
Monto estimado de pérdidas por producción (Bs)	69.660.000,00

Para la estimación de los costos asociados por la implementación de la propuesta de adecuación, se determinaron los costos individuales para cada uno

de los equipos a emplear, dichos costos fueron suministrados por las empresas encargadas de comercializar equipos destinados al proceso de tratamiento de aguas en el mercado venezolano (ver cotizaciones de equipos, Apéndice F). Es importante destacar que estos valores incluyen tanto el costo de los equipos como los costos relacionados con obras civiles, material, instalación y transporte. En la Tabla 5.17 se muestra el precio de los equipos junto con la sumatoria total de la inversión inicial que requiere la propuesta, a su vez se indica el proveedor del servicio.

Tabla 5.17. Costos de los equipos e inversión inicial de la propuesta

Equipo	Cantidad	Costo (Bs)	Empresa comercializadora
Bomba (caudal: 100 L/min)	1	18.894,39	INSATÉCNICA, C.A.
Medidores de presión (Glicerina)	4	1.542,91	
Dosificadores de Químicos (Soda Cáustica, Policloruro de Aluminio, Polímero NALCO 7530, Hipoclorito de Sodio)	4	158.522,15	
pHmetro en línea	2	26.536,54	
Electrodo para pH	2		
PLC con módulos adicionales	1	4.500,00	SISTEMAS DE GESTIÓN AMBIENTAL, C.A.
Sensor de nivel (3 varillas)	2	9.000,00	
Mezclador automático	2	72.581,16	
Válvula automática	2	18.400,00	
Alarma para PLC	1	2.040,00	
Turbidímetro	1	10.144,96	IMPORTADORA IAI C.A.
Batea de lavado de mopas	1	4.704,00	AEROMECA, C.A.
TOTAL	23	326.866,11	

Finalmente se calculó la relación costo beneficio tomando en cuenta solo las multas aplicables, el resultado obtenido fue de 1,53 Adim. La relación costo beneficio resultó mayor a la unidad, lo que significa que el proyecto es factible y beneficioso para la empresa. Además, se debe resaltar que dicho valor no toma en cuenta el monto asociado al cierre de la empresa por 90 días (lo que podría ocasionar la quiebra inmediata a cualquier empresa), ya que esta es una medida extrema causada por la gravedad y persistencia del problema.

Es importante destacar, la gran importancia que posee este trabajo de investigación debido a que el beneficio ambiental que se lograra con la implementación de la propuesta es incuantificable, y con dicha propuesta se busca de manera directa colaborar con el desarrollo sustentable, para de esta manera no perjudicar a generaciones futuras y al medio ambiente en general.

CONCLUSIONES

1. El volumen de aguas provenientes del proceso tratadas en Unigra son 10.000 L/día los lunes y 5.000 L/día de martes a viernes. Dichas aguas se encuentran contaminadas con gran cantidad de tintas, barnices y pegamento.
2. La planta de tratamiento de aguas provenientes del proceso de Unigra en la actualidad no cumple con los valores de concentraciones de DQO y DBO₅ establecidos en las normas para la clasificación y control de calidad de las aguas de la cuenca del Lago de Valencia, Decreto N° 3219.
3. El solvente limpiador de rodillos Rodep Graf es biodegradable hasta un 50% de dilución v/v, además dicho solvente al 1% de dilución v/v es biodegradable por un tiempo mayor de 12 días.
4. Las concentraciones de DQO obtenidas a la salida de los filtros fueron: 2.199,5 mg/L (1er. periodo) y 748,1 mg/L (2do. periodo). Las concentraciones de DBO₅ obtenidas a la salida de los filtros fueron: 1.153,1 mg/L (1er. periodo) y 361,1 mg/L (2do. periodo). El factor de biodegradabilidad obtenido a la salida de los filtros fue: 0,524 para el 1er. periodo y 0,483 para el 2do. periodo.
5. Las eficiencias de los tratamientos en cuanto a la remoción de DQO obtenidas para el segundo período fueron: 33,02% para la trampa de aceites y grasas, 43,68% para el reactor físico-químico y 52,11% para las unidades de filtración.
6. Las mejoras propuestas para la adecuación de la planta de tratamiento son: optimización del proceso de coagulación floculación, aplicación de un tratamiento avanzado de oxidación química con hipoclorito de sodio, automatización del tratamiento físico-químico y realización de la carta y hoja de control del proceso de tratamiento.
7. Las bombas seleccionadas para dosificar los productos químicos deben suministrar los siguientes caudales de operación: 35,0 L/h para la soda cáustica, 90,0 L/h para el policloruro de aluminio, 10,0 L/h para el polímero NALCO 7530 y 35,0 L/h para el hipoclorito de sodio.

8. El P.L.C. a implementar debe constar de 7 entradas y 10 salidas. El sensor de nivel propuesto para el tanque de igualación y la tolva es de 3 varillas. El agitador propuesto para el tanque de igualación debe tener una velocidad alta de 200,0 rpm, mientras que el agitador propuesto para la tolva debe tener una velocidad alta de 200,0 rpm y una velocidad baja de 60,0 rpm.
9. El costo para la implementación de la propuesta es de 326.866,11 Bs. La relación costo-beneficio para la propuesta de adecuación fue de 1,53. El beneficio ambiental a obtener con la propuesta es incuantificable.

RECOMENDACIONES

1. Se debe continuar con el mantenimiento anual de los equipos y tanques con los que cuenta la planta de tratamiento.
2. Las dosificaciones a implementar de policloruro de aluminio y polímero NALCO 7530 deben ser determinadas diariamente a través de pruebas de jarra.
3. La dosificación a implementar de hipoclorito de sodio debe ser determinada cada vez que la concentración del producto varíe.
4. Realizar jornadas de concienciación ambiental al personal de la planta desde el nivel mas bajo de jerarquía hasta el más alto, con la finalidad de disminuir la carga de contaminantes que son enviados a la planta de tratamiento.
5. Promover la creación de un departamento independiente para la planta de tratamiento de aguas provenientes del proceso de Smurfit Kappa Cartón de Venezuela, S.A., división Unión Gráfica.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arboleda, J. (2000). *Teoría y práctica de la purificación del agua*. (3a Ed.). Colombia. Editorial Mc. Graw Hill. Tomo I.pp.164-197.
- Arboleda, J. (2000). *Teoría y práctica de la purificación del agua*. (3a Ed.). Colombia. Editorial Mc. Graw Hill. Tomo II.pp.364-435.
- American Water Works Association (2002). *Calidad y tratamiento del agua. Manual de suministros de agua comunitaria*. (5ta Ed.). España. Editorial Mc. Graw Hill.pp.781-832.
- Ávila, H. (2006). Introducción a la metodología de la investigación. México.pp.39-45. Edición digital. Revisado en: www.eumed.net/libros/2006c/203/
Fecha de revisión: 5 de diciembre de 2010
- Benedetti, G. y Arias, M. (2003). *Mejoramiento de las condiciones de operación del módulo 3 de la planta de tratamiento de aguas residuales la Mariposa* (Tesis de grado no publicada). Universidad de Carabobo. Venezuela. Revisado en: http://produccion-uc.cid.uc.edu.ve/documentos/trab_preg/23001140.pdf
Fecha de revisión: 9 de diciembre de 2010
- Blank, L. y Tarquin, A. (1994). *Ingeniería económica*. (3a Ed.). Bogotá, Colombia. Editorial Mc. Graw Hill.pp.118-245.
- Cárdenas, Y. (2000). *Tratamiento del agua, coagulación y floculación*. Lima, Perú. Instituto Sedapal. Base de datos Bireme Brasil, CD-ROM N° 27 (vol. 29), 1-44. Revisado en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd27/andia.pdf>
Fecha de revisión: 20 de Septiembre de 2011.
- Colmenares, G. (2002). *Curso básico de control de procesos, calidad y potabilización de aguas*. Hidrocentro C. A. Caracas Venezuela.
- Decreto N° 3219 (1999). *Normas para la clasificación y el control de la calidad de las aguas de la cuenca del lago de Valencia*. Gaceta oficial N° 5305. Venezuela: Ministerio del ambiente y los recursos naturales.

- Deininger, R., Ancheta, A. y Ziegler, A. (1998). *Dióxido de Cloro*. Michigan, EUA. Escuela de Salud Pública. Universidad de Michigan. Base de datos Bireme Brasil, 1-17. Revisado en: <http://bvs.per.paho.org/bvsacg/e/fulltext/simposio/ponen11.pdf>
Fecha de revisión: 15 de Enero de 2012.
- Departamento de Sanidad del Estado de Nueva York (2005). *Manual de tratamiento de aguas negras*. Estados Unidos. Editorial Limusa.pp.155-157.
- Franson, M. (1995). *Standard Methods for the examination of water and wastewater*. (19ª Ed.). Estados Unidos. American public health association, American water works association, Water environment federation.pp. 4.96-5.15.
- Feal, A. (2009). *Depuración de sólidos en suspensión en vertidos industriales*. Revista ingeniería química 41(472), 90-100.
- Ferrer, J. y Seco, A. (2003). *Tratamientos biológicos de aguas residuales*. Valencia, España. Editorial UPV.pp.7-12.
- Gerard, K (1999). *Ingeniería ambiental. Fundamentos, entornos, tecnologías y sistemas de gestión*. (1a Ed.). España. Editorial Mc Graw Hill.pp.52-120.
- Gil Pavas, E. y López, L. (2009). *Optimización de la eliminación de colorantes y carga orgánica de aguas residuales mediante la electrocoagulación*. Revista ingeniería química 16(474), 118-120.
- Gonzáles, J., Junco, J. y Pardini G. (2010). *Selección de sistemas de tratamiento de aguas en zonas turísticas costeras*. Revista ingeniería química 41(478), 84-93.
- Hidrolab Toro Consultores C.A. (1994). *Manual de operación de la planta de tratamiento de aguas provenientes del proceso de Smurfit, división Unión Gráfica*. Valencia. Venezuela.pp.1-20.
- *Historia de Smurfit Kappa Cartón de Venezuela S.A.* (2011), revisado en: <http://www.smurfitkappa.com.ve/DropdownMenu/About+us/History/>
Fecha de revisión: 13 de noviembre de 2010

- Ishikawa, K. (1986), *¿Que es el control total de la calidad?: la modalidad japonesa*. (1a Ed.). Bogotá, Colombia. Editorial Norma.pp.10-87.
- Marín, Y. y Ramones, J. (2005). *Evaluación del proceso de coagulación en la planta de potabilización Dr. Lucio Baldó Soulés* (Tesis de grado no publicada). Universidad de Carabobo. Venezuela. Revisado en: http://produccion-uc.cid.uc.edu.ve/documentos/trab_preg/23001140.pdf
Fecha de revisión: 9 de diciembre de 2010
- Martínez, G. (2001). *Tratamiento conjunto de aguas residuales urbanas e industriales*. Revista ingeniería química. 33(378), 225-229.
- Metcalf, E. (1977). *Tratamiento y depuración de las aguas residuales*. (1a Ed.). España. Editorial Labor.pp.73-92, 496-506.
- Modak, P., Singh, K. y Connor, D. (2009). *Experimental study on the elimination of colour and organic matter from wastewater using an inexpensive biomaterial, chitosan*. Revista water quality research Journal of Canada, 44 2009(3), 295-306.
- Normas Venezolanas Covenin. *Aguas naturales, industriales y residuales. Guía para las técnicas de muestreo*. N° 27009-2002. 1era. Revisión. Venezuela: Fondonorma, 2002.
- Parra, I. (2008). *Tratamiento físico-químico de aguas blancas de proceso (coagulación-floculación)*. Universidad de Carabobo. Valencia Venezuela.pp.32.
- Parra, I. (2009). *Manual de tratamiento de aguas residuales (control operativo)*. Universidad de Carabobo. Valencia Venezuela.pp.31.
- Perry, R. (2001). *Manual del ingeniero químico*. (7ma Ed.). España. Editorial Mc. Graw Hill.
- Ramalho, R. (1983). *Tratamiento de aguas residuales*. (2a Ed.). Barcelona. España. Editorial Reverte.pp.605-630.
- Sampieri, R., Fernández, C. y Baptista, P. (1996). *Metodología de la investigación*. (1a Ed.). México D.F., México. Editorial Mc Graw Hill.pp.213-288.

- Silva, J. (2003). *Transporte de momentos para Ingenieros de Procesos*. Universidad de Carabobo. Valencia. Venezuela.
 - Skoog, D., West, D., Holler, J. y Stanley, C. (2001). *Química Analítica*. (7ª Ed.). México. Editorial Mc. Graw Hill.
 - Smith, Y., Colombo, L. y Orfila, R., (2003). *Conduciendo la investigación*. (2a. Ed.). Caracas, Venezuela. Editorial Comala.com.pp.37-80.
 - Tamayo y Tamayo (1995), *El proceso de la investigación científica*. (3a Ed.). México. Editorial Limusa.pp.54-60.
 - Tejero, J., Cuevas, J., González, J., Ávila, J. y Carrión, J. (2007). *Análisis del reactor de lodos activados de la planta Centenario*. México. Revista Caos, 2 7(1), 63–71. Revisado en: http://dci.uqroo.mx/RevistaCaos/2007_Vol_2/Num_1/7_JT_VolIII_63-71_2007.pdf
- Fecha de revisión: 15 de diciembre de 2010
- Zorrilla, A. y Torres, M. (1992). *Guía para elaborar la Tesis*. (2a Ed.). México. Editorial Mc. Graw Hill.pp.43.

APÉNDICE A

CÁLCULOS TÍPICOS

En esta sección se especifican detalladamente los cálculos requeridos para la obtención de los resultados correspondientes al estudio, con la finalidad de cumplir los objetivos planteados.

1. Cálculo de la concentración de DQO para cada una de las muestras en estudio

Para la determinación de la demanda química de oxígeno de cada una de las muestras se realizó el mismo procedimiento de cálculo, partiendo de los datos obtenidos durante el ensayo.

1.1. El procedimiento de cálculo se muestra a continuación:

1.1.1. Determinación de la demanda química de oxígeno:

$$DQO(mg/L) = \frac{(A - B) \times N_{FAS} \times 8.000}{V_{muestra}} \quad (Ec. A.1) (FRANSON, 1995)$$

Donde:

DQO (mg/L): Demanda química de oxígeno

A (mL): Volumen de FAS usado en el blanco

B (mL): Volumen de FAS usado en la muestra

N_{FAS} (N): Normalidad de la solución FAS

8000 (Adim.): Factor para mg de oxígeno

$V_{muestra}$ (mL): Volumen de la muestra en estudio (varía según dilución)

1.1.2. Determinación de la normalidad del FAS (técnico del laboratorio):

El valor de la normalidad del FAS es un dato suministrado por los técnicos del laboratorio de la planta de tratamiento de Cartonal. Para el momento de la prueba el valor de la normalidad del FAS suministrado por el técnico encargado fue de 0,0499 mg/L.

1.1.3. Determinación del factor para mg de oxígeno (técnico del laboratorio):

$$8.000 = PE_{O_2} \times Eq_{O_2} \times 1000 \quad (\text{Ec. A. 2}) \quad (\text{FRANSON, 1995})$$

Donde:

PE_{O_2} : Peso equivalente del oxígeno ($PE_{O_2} = \text{Pesomolecular}_{O_2} = 32$)

Eq_{O_2} : Número de equivalentes del oxígeno ($Eq_{O_2} = Eq_{K_2Cr_2O_7} = 0,25$)

1.1.4. Determinación del volumen de la muestra:

a) Si no hay dilución:

$$V_{\text{muestra}} = 3 \text{ mL}$$

b) Si hay dilución:

Dilución de X mL de muestra en agua destilada, empleando un balón aforado de Y mL.

$$V_{\text{muestra}} = \frac{4\text{mL} \times X}{Y} \quad (\text{Ec. A. 3}) \quad (\text{FRANSON, 1995})$$

1.2. Cálculo del DQO a la salida de los filtros (Primer periodo de estudio, 14/07/2011).

Conociendo que la dilución es de 80,0 mL de muestra en agua destilada, en un balón aforado de 500,0 mL, se determina el volumen de la muestra empleando la ecuación (A.3):

$$V_{muestra} = \frac{4,0mL \times 80,0mL}{500,0mL} = 0,64mL$$

El valor del factor para mg de oxígeno es calculado previamente empleando la ecuación (A.2) y la normalidad del FAS es suministrada por el técnico del laboratorio, obteniendo lo siguiente:

$$Factor \text{ para mg de oxígeno} = 32 \times 0,25 \times 1000 = 8.000 \text{ Adim.}$$

$$N_{FAS} = 0,0499 \text{ mg/L}$$

Luego de realizar la titulación obtenemos los siguientes volúmenes consumidos de FAS; para el blanco 9,55 mL y para la muestra 6,43 mL. Posteriormente se procede a determinar el DQO de la muestra empleando la ecuación (A.1):

$$DQO = \frac{(9,55 - 6,43) \times 0,0499 \times 8.000}{0,64} = 1.946,1 \text{ mg/L}$$

Para asegurar la validez de los resultados, se calculó el DQO 2 veces por muestra, donde el segundo valor obtenido fue de 1902,4 mg/L. Finalmente se calculó el promedio de ambos valores empleando la ecuación (2.5), obteniendo el siguiente DQO a la salida de los filtros:

$$DQO_{salida \text{ filtros}} = \frac{1.946,1 \text{ mg/L} + 1.902,4 \text{ mg/L}}{2} = 1.924,3 \text{ mg/L}$$

14/07/2011

2. Cálculo de la concentración de DBO_5 para cada una de las muestras en estudio

Para la determinación de la demanda bioquímica de oxígeno de cada una de las muestras se realizó el mismo procedimiento de cálculo, partiendo de los datos obtenidos durante el ensayo.

2.1. El procedimiento de cálculo se muestra a continuación:

2.1.1. Determinación de la demanda bioquímica de oxígeno:

$$DBO_5 (mg/L) = \frac{OD_i - OD_f}{P} \quad (Ec. A. 4) \quad (FRANSON, 1995)$$

Donde:

DBO_5 (mg/L): Demanda bioquímica de oxígeno

OD_i (mg/L): Oxígeno disuelto inicial de la muestra

OD_f (mg/L): Oxígeno disuelto final de la muestra (transcurridos 5 días)

P (Adim.): Fracción volumétrica de muestra usada ($1/V_{winkle}$)

2.2. Cálculo del DBO_5 a la salida de los filtros (primer periodo de estudio, 14/07/2011).

Luego de determinar el oxígeno disuelto inicial y final de la muestra, 8,40 mg/L y 5,11 mg/L respectivamente; y sabiendo que el volumen del winkle empleado es de 300,0 mL, se procedió a determinar el valor de DBO_5 empleando la ecuación (A.4):

$$DBO_5 = (8,40 - 5,11) \times 300,0 = 987,0 \text{ mg/L}$$

Para asegurar la validez de los resultados, se calculó el DBO_5 2 veces por muestra, donde el segundo valor obtenido fue de 918,0 mg/L. Finalmente se

calculó el promedio de ambos valores empleando la ecuación (2.5), obteniendo el siguiente DQO a la salida de los filtros:

$$DBO_{5 \text{ salida filtros}} = \frac{987,0 \text{ mg/L} + 918,0 \text{ mg/L}}{2} = 952,5 \text{ mg/L}$$

14/07/2011

3. Cálculo de la relación DBO₅/DQO para cada una de las muestras en estudio

Para la determinación de la relación DBO₅/DQO de cada una de las muestras se realizó el mismo procedimiento de cálculo, partiendo de los resultados obtenidos de DBO₅ y DQO.

3.1. El procedimiento de cálculo se muestra a continuación:

3.1.1. Determinación de la relación DBO₅/DQO:

$$R = \frac{DBO_5}{DQO} \quad (\text{Ec. A. 5}) \quad (\text{PARRA, 2009})$$

Donde:

R (adim.): Relación entre la demanda bioquímica de oxígeno (mg/L) y la demanda química de oxígeno (mg/L)

3.2. Cálculo de la relación DBO₅/DQO a la salida de los filtros (primer periodo de estudio, 14/07/2011).

Con los resultados obtenidos de DQO y DBO₅ en los pasos 1.2 y 2.2, se procede a determinar la relación DBO₅/DQO empleando la ecuación (A.5):

$$R = \frac{952,5 \text{ mg/L}}{1.924,3 \text{ mg/L}} = 0,495 \text{ Adim.}$$

4. Cálculo del valor promedio de las concentraciones de DBO₅

Para la determinación del promedio de las concentraciones de la demanda bioquímica de oxígeno de cada una de las muestras se realizó el mismo procedimiento de cálculo, partiendo de los resultados obtenidos de DBO₅.

4.1. El procedimiento de cálculo se muestra a continuación:

4.1.1. Determinación del promedio de las concentraciones de DBO₅:

Se aplica la ecuación (2.3), donde se obtiene la siguiente expresión aplicada para la demanda bioquímica de oxígeno:

$$DBO_{5 \text{ prom}} = \frac{\sum_{i=1}^n DBO_{5 i}}{n} \quad (\text{SKOOG, 2001})$$

4.2. Cálculo del valor promedio de las concentraciones de DBO₅ obtenidas a la salida de los filtros (primer periodo de estudio, desde el 01/04/2011 hasta 14/07/2011).

Una vez determinada el valor de las concentraciones de DBO₅ a la salida de los filtros durante todo el primer periodo de estudio (Tabla 4.6), se procede a calcular el promedio de dichas concentraciones empleando la ecuación obtenida en el paso 4.1.1:

$$DBO_{5 \text{ salida filtros } 1er \text{ periodo}} = \frac{2.190,0 + 1.663,5 + 1.617,0 + 730,5 + 1.645,5 + 1.600,5 + \dots + 1.561,5 + 1.588,5 + 714,0 + 777,0 + 747,0 + 615,0 + 651,0 + 736,5 + 660,0 + \dots + \frac{952,5}{16} = \frac{18.450,0}{16} = 1.153,12 \text{ mg/L}}$$

$$DBO_{5 \text{ salida filtros } 1er \text{ periodo}} = 1.153,1 \text{ mg/L}$$

5. Cálculo del valor promedio de las concentraciones de DQO

Para la determinación del promedio de las concentraciones de la demanda química de oxígeno de cada una de las muestras se realizó el mismo procedimiento de cálculo, partiendo de los resultados obtenidos de DQO.

5.1. El procedimiento de cálculo se muestra a continuación:

5.1.1. Determinación del promedio de las concentraciones de DQO:

Se aplica la ecuación (2.3), donde se obtiene la siguiente expresión aplicada para la demanda química de oxígeno:

$$DQO_{prom} = \frac{\sum_{i=1}^n DQO_i}{n} \quad (SKOOG, 2001)$$

5.2. Cálculo del valor promedio de las concentraciones de DQO obtenidas a la salida de los filtros (primer periodo de estudio, desde el 01/04/2011 hasta 14/07/2011).

Una vez determinada el valor de las concentraciones de DQO a la salida de los filtros durante todo el primer periodo de estudio (Tabla 4.6), se procede a calcular el promedio de dichas concentraciones empleando la ecuación obtenida en el paso 5.1.1:

$$\begin{aligned}
 DQO_{salida\ filtros} &= \frac{3.760,3 + 3.645,0 + 2.968,5 + 1.619,2 + 2.582,4 + 2.499,3}{16} + \dots \\
 &+ \frac{2.303,4 + 2.368,0 + 1.600,0 + 1.872,0 + 1.808,9 + 1.425,3 + 1.484,5 + 1.780,8}{16} + \dots \\
 &+ \frac{1.550,0 + 1.924,3}{16} = \frac{35.191,9}{16} = 2.199,49 \text{ mg/L}
 \end{aligned}$$

$$\boxed{DQO_{salida\ filtros} = 2.199,5 \text{ mg/L}}$$

6. Cálculo del valor promedio de la relación DBO_5/DQO

Para la determinación de la relación promedio entre la demanda bioquímica de oxígeno promedio y la demanda química de oxígeno promedio se realizó el siguiente procedimiento de cálculo, partiendo de los resultados obtenidos de DBO_{5prom} y DQO_{prom} .

6.1. El procedimiento de cálculo se muestra a continuación:

6.1.1. Determinación de la relación promedio entre el DBO_{5prom} y el DQO_{prom} :

Se aplica la ecuación (A.5), donde se obtiene la siguiente expresión aplicada para el DBO_{5prom} y DQO_{prom} :

$$R_{prom} = \frac{DBO_{5prom}}{DQO_{prom}} \quad (Ec. A. 5) \quad (PARRA, 2009)$$

6.2. Cálculo de la relación DBO_5/DQO promedio a la salida de los filtros (primer periodo de estudio, desde el 01/04/2011 hasta 14/07/2011).

Con los resultados obtenidos de DBO_{5prom} y DQO_{prom} en los pasos 4.2 y 5.2, se procede a determinar la relación promedio DBO_5/DQO empleando la ecuación obtenida en el paso 6.1.1:

$$R_{prom} = \frac{1.153,1 \text{ mg/L}}{2.199,5 \text{ mg/L}} = 0,524(adim.)$$

7. Cálculo de la eficiencia en la remoción de DQO, para cada uno de los tratamientos empleados en el proceso de tratamiento de Unigra

Para la determinación de la eficiencia en la remoción de la demanda química de oxígeno de cada una de los tratamientos empleados en el proceso de

tratamiento se realizó el mismo procedimiento de cálculo, partiendo de los resultados obtenidos de DQO_{prom} .

7.1. El procedimiento de cálculo se muestra a continuación:

7.1.1. Determinación de la eficiencia en la remoción de la demanda química de oxígeno:

$$\varepsilon_{remociónDQO} = \left(\frac{DQO_{prom\ entrada} - DQO_{prom\ salida}}{DQO_{prom\ entrada}} \right) \times 100\% \quad (Ec. A. 6)$$

(RAMALHO, 1983)

Donde:

$E_{remociónDQO}$ (%): Eficiencia en la remoción de DQO del tratamiento

$DQO_{prom\ entrada}$ (mg/L): Demanda química de oxígeno promedio a la entrada del tratamiento

$DQO_{prom\ salida}$ (mg/L): Demanda química de oxígeno promedio a la salida del tratamiento

7.2. Cálculo de la eficiencia en la remoción de DQO de la trampa de grasas (segundo periodo de estudio, desde el 24/10/2011 hasta 11/11/2011).

Con los resultados obtenidos de DQO_{prom} a la entrada y salida de la trampa de grasas (Tabla 4.9), en el segundo periodo de estudio, se procede a determinar la eficiencia de la trampa de grasas empleando la ecuación (A.6):

$$\varepsilon_{remociónDQO} = \left(\frac{3.670,1 \text{ mg/L} - 2.458,3 \text{ mg/L}}{3.670,1 \text{ mg/L}} \right) \times 100\% = 33,018\%$$

$$\boxed{\varepsilon_{remociónDQO} = 33,02\%}$$

8. Determinación de las dosificaciones de coagulante y floculante a emplear en el tratamiento fisicoquímico

Para la determinación de las dosificaciones de policloruro de aluminio y del polímero NALCO 7530 se realizó el mismo procedimiento de cálculo, partiendo de los datos obtenidos durante la prueba de jarra. Sin embargo, para la determinación de la dosificación del floculante, también se calculó por el método que la empresa NALCO emplea para el uso de su producto.

8.1. Procedimiento de cálculo para el policloruro de aluminio (prueba de jarra):

8.1.1. Partiendo de los datos del policloruro de aluminio se obtiene la Tabla A.1:

$$\rho_{\text{POLICLORURO DE ALUMINIO}} = 1,340 \text{ g/cm}^3$$

$$1,340 \text{ g} \rightarrow 1,00 \text{ cm}^3 \quad \text{ó} \quad 1.340,0 \text{ mg} \rightarrow 1,00 \text{ cm}^3$$

Tabla A.1.

Datos para la determinación de la dosificación de coagulante

1,00 cm³ → 1.340,0 mg	2,00 cm³ → 2.680,0 mg	3,00 cm³ → 4.020,0 mg
Aplicado en 1,0 L:	Aplicado en 1,0 L:	Aplicado en 1,0 L:
1.340,0 mg/L	2.680,0 mg/L	4.020,0 mg/L
1.340,0 ppm	2.680,0 ppm	4.020,0 ppm

8.1.2. Determinación de la masa de policloruro de aluminio:

Una vez realizada la prueba de jarra (1,0 L de efluente), se observó la mejor formación de coágulos al aplicar 0,25 cm³ de coagulante. Extrapolando en la Tabla A.1, se obtiene:

$$0,25 \text{ cm}^3 \rightarrow 335,0 \text{ mg/L} \rightarrow 0,335 \text{ g/L}$$

Luego, se llevó el resultado obtenido en la prueba de jarra a la realidad del proceso de tratamiento (2.800,0 L de efluente a tratar), obteniendo:

$$Masa_{\substack{\text{POLICLORURO} \\ \text{DE ALUMINIO} \\ \text{(2.800 L)}}} = \frac{2.800,0L \times 0,335g}{1,0 L} = 938,0g$$

8.1.2. Determinación de la dosificación de policloruro de aluminio:

Una vez determinada la masa de policloruro de aluminio para tratar 2.800,0 L, se determina la dosificación de coagulante haciendo uso de la ecuación (A.7) y la densidad del policloruro de aluminio puro:

$$V = \frac{M}{\rho} \quad (\text{Ec. A. 7}) \quad (\text{SILVA, 2003})$$

Donde:

V (mL): Volumen del químico

M (g): Masa del químico

ρ (g/mL): Densidad del químico

Obteniendo lo siguiente:

$$Volumen_{\substack{\text{POLICLORURO} \\ \text{DE ALUMINIO} \\ \text{(2.800 L)}}} = \frac{938,0 g}{1,34 g/mL} = 700,0 mL$$

8.2. Procedimiento de cálculo para el polímero NALCO 7530 (prueba de jarra):

8.2.1. Partiendo de los datos del polímero NALCO 7530 se obtiene la Tabla A.2:

$$\rho_{\text{POLIMERO NALCO 7530}} = 1,020 g/cm^3$$

$$1,020 g \rightarrow 1,00 cm^3 \quad \text{ó} \quad 1.020,0 mg \rightarrow 1,00 cm^3$$

Tabla A.2

Datos para la determinación de la dosificación de floculante

1,00 cm ³ → 1.020,0 mg	2,00 cm ³ → 2.040,0 mg	3,00 cm ³ → 3.060,0 mg
Aplicado en 1,0 L: 1.020,0 mg/L 1.020,0 ppm	Aplicado en 1,0 L: 2.040,0 mg/L 2.040,0 ppm	Aplicado en 1,0 L: 3.060,0 mg/L 3.060,0 ppm

8.2.2 Determinación de la masa de polímero NALCO 7530:

Una vez realizada la prueba de jarra (1,0 L de efluente), se observó la mejor sedimentación al aplicar 0,10 cm³ de coagulante.

Extrapolando en la Tabla A.2, se obtiene:

$$0,10 \text{ cm}^3 \rightarrow 102,0 \text{ mg/L} \rightarrow 0,102 \text{ g/L}$$

Luego, se llevó el resultado obtenido en la prueba de jarra a la realidad del proceso de tratamiento (2.800,0 L de efluente a tratar), obteniendo:

$$Masa_{\substack{\text{POLIMERO} \\ \text{NALCO 7530} \\ \text{(2.800 L)}}} = \frac{2.800,0L \times 0,102g}{1,0 L} = 285,6g$$

8.2.2. Determinación de la dosificación de polímero NALCO 7530:

Una vez determinada la masa de polímero NALCO 7530 para tratar 2.800,0 L, se determina la dosificación de floculante haciendo uso de la ecuación (A.7) y la densidad del polímero NALCO 7530, obteniendo:

$$Volumen_{\substack{\text{POLIMERO} \\ \text{NALCO 7530} \\ \text{(2.800 L)}}} = \frac{285,6 g}{1,02 \text{ g/mL}} = 280,0 \text{ mL}$$

NOTA: el volumen a aplicar tanto para el policloruro de aluminio como para el polímero NALCO 7530 es variable, y dependerá de los resultados obtenidos en la prueba de jarra. Sin embargo, luego de la repetición de dichas pruebas en diferentes días, se observó que los resultados se mantuvieron constantes.

8.3. Procedimiento de cálculo para el polímero NALCO 7530 (empresa NALCO):

La empresa NALCO recomendó usar 200,0 mL de polímero NALCO 7530 por cada 500,0 mL de coagulante empleado en el proceso de coagulación. Conocida esta premisa, y una vez determinada la dosificación de coagulante en la prueba de jarra (700,0 mL de policloruro de aluminio), se obtiene lo siguiente:

$$\text{Volumen}_{\text{POLIMERO}} = \frac{200,0\text{mL}_{(\text{FLOCULANTE})} * 700,0\text{mL}_{(\text{COAGULANTE PRUEBA DE JARRA})}}{500,0\text{mL}_{(\text{COAGULANTE})}} = 280,0 \text{ mL}$$

NALCO 7530
(2.800 L)

De esta manera se comprueba la validez de ambos procedimientos para la determinación acertada de la dosificación de floculante.

9. Determinación de la dosificación de soda cáustica a emplear para subir el pH en el tanque de igualación

Para la determinación de la dosificación de soda cáustica se realizó el siguiente procedimiento de cálculo, partiendo de los datos obtenidos durante la prueba de laboratorio.

9.1. Procedimiento de cálculo para la soda cáustica (prueba de laboratorio):

La prueba de laboratorio consistió en tomar 1,0 L de efluente a tratar y bajarle el pH hasta 6,00 con ácido clorhídrico para simular una situación extrema, ya que por lo general el pH del efluente de Unigra se encuentra en un rango de pH de 6,20 a 7,20, luego se procedió a determinar el consumo de soda cáustica

necesario para llevar el pH de 6,00 a el pH de operación (7,25) determinado en la prueba de jarra.

9.1.1. Partiendo de los datos de la soda cáustica se obtiene la Tabla A.3:

$$\rho_{\text{SODA CÁUSTICA}} = 2,100 \text{ g/cm}^3$$

Como la soda cáustica es una base fuerte, por si sola al ser agregada al efluente industrial ocasiona cambios muy bruscos de pH. Como lo que se requiere es un cambio mínimo en el pH del efluente, es necesario diluirla en agua para poder realizar los ensayos a nivel de jarras, buscando con esto, obtener resultados acordes en la determinación de la dosificación.

Una vez diluida la soda cáustica en agua al 10% v/v, se asume que la densidad de la dilución es $1,000 \text{ g/cm}^3$ que es la densidad del agua. Esta suposición se fija tomando en cuenta la gran proporción que posee el agua respecto a la soda cáustica en la dilución.

De la aclaratoria realizada en el párrafo anterior, se obtiene la siguiente relación para la soda cáustica:

$$0,100 \text{ g de soda cáustica} \rightarrow 1,00 \text{ cm}^3 \text{ ó } 100,0 \text{ mg de soda cáustica} \rightarrow 1,00 \text{ cm}^3$$

Tabla A.3.

Datos para la determinación de la dosificación de soda cáustica

SODA CÁUSTICA DILUIDA AL 10 %		
1,00 cm³ → 100,0 mg	2,00 cm³ → 200,0 mg	3,00 cm³ → 300,0 mg
Aplicado en 1,0 L:	Aplicado en 1,0 L:	Aplicado en 1,0 L:
100,0 mg/L	200,0 mg/L	300,0 mg/L
100,0 ppm	200,0 ppm	300,0 ppm

9.1.2. Determinación de la masa de soda cáustica:

Una vez realizada la prueba de laboratorio (1,0 L de efluente), se obtuvo que para subir el pH del agua a tratar de 6,00 a 7,25 se aplicó 3 cm³ de soda cáustica.

$$3,00 \text{ cm}^3 \rightarrow 300,0 \text{ mg/L} \rightarrow 0,300 \text{ g/L}$$

Luego, se llevó el resultado obtenido en la prueba de laboratorio a la realidad del proceso de tratamiento (capacidad del tanque de igualación: 5.000,0 L de efluente), obteniendo:

$$Masa_{SODA \text{ CÁUSTICA}} = \frac{5.000,0L \times 0,300g}{1,0 L} = 1.500,0g$$

9.1.2. Determinación de la dosificación de soda cáustica:

Una vez determinada la masa de soda cáustica subirle el pH a 5.000,0 L de efluente, se determina la dosificación de soda cáustica haciendo uso de la ecuación (A.7) y la densidad de la soda cáustica pura, obteniendo:

$$Volumen_{SODA \text{ CÁUSTICA}} = \frac{1.500,0 g}{2,100 \text{ g/mL}} = 714,3 \text{ mL}$$

10. Determinación de la dosificación de hipoclorito de sodio para la Oxidación Química

Para la determinación de la dosificación de hipoclorito de sodio se debe tener en cuenta las siguientes premisas:

- El hipoclorito de sodio se consigue en el mercado en concentraciones que van desde el 8,0 % (80.000,0 mg/L) al 17,0 % (170.000,0 mg/L).
- Según Metcalf (1977), las normas gubernamentales estipulan que la dosis máxima de cloro requerida es de 20,0 mg/L.

- Según Metcalf (1977), se necesitan 0,5 mg/L de hipoclorito de sodio por cada mg/L de DBO_5 destruido. Entonces, lo máximo que puede reducirse de DBO_5 son 40,0 mg/L para cumplir con las normas gubernamentales. En la actualidad el DBO_5 esta en 361,5 mg/L, y aplicando el hipoclorito de sodio bajara hasta 321,5 mg/L, con lo que se dará cumplimiento al Decreto N° 3219.

Una vez conocidas las condiciones, se realizó el siguiente procedimiento de cálculo, partiendo diagrama de bloques del proceso de oxidación química (Figura A.1) y que el hipoclorito de sodio posee una concentración de 80.000,0 mg/L.

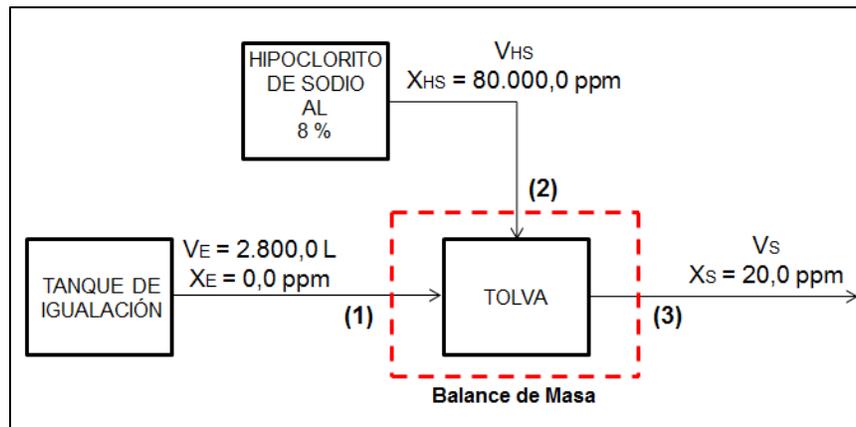


Figura A.1. Diagrama de bloques del proceso de oxidación química con hipoclorito de sodio al 8% de la planta de tratamiento

De la Figura A.1, realizando un balance de masa en la tolva se obtiene el siguiente sistema de ecuaciones:

$$V_S = V_E + V_{HS} \quad (Ec. A. 8)$$

$$(V_S * X_S) = (V_E * X_E) + (V_{HS} * X_{HS}) \quad (Ec. A. 9)$$

Donde:

V_E (L): Volumen del efluente a la entrada de la tolva (viene del tanque de igualación).

V_{HS} (L): Volumen del hipoclorito de sodio a dosificar en la tolva.

V_S (L): Volumen del efluente a la salida de la tolva.

X_E (mg/L): Concentración del hipoclorito de sodio en la corriente (1).

X_{HS} (mg/L): Concentración del hipoclorito de sodio en la corriente (2).

X_S (mg/L): Concentración del hipoclorito de sodio en la corriente (3).

Sustituyendo los valores conocidos en las ecuaciones (A.8) y (A.9), se obtiene el siguiente sistema de ecuaciones:

$$V_S = 2.800,0L + V_{HS}$$

$$(V_S * 20,0 \text{ mg/L}) = (V_E * 0,0 \text{ mg/L}) + (V_{HS} * 80.000,0 \text{ mg/L})$$

Finalmente al resolver el nuevo sistema de ecuaciones a través de un proceso iterativo, se obtiene el volumen de hipoclorito de sodio al 8% a dosificar en el reactor fisicoquímico o tolva.

$$\boxed{V_{HS} = 0,70018 L = 700,18 \text{ cm}^3}$$

NOTA: el volumen a aplicar de hipoclorito de sodio es variable, y dependerá de la concentración a la que se encuentre dicho químico inicialmente.

11. Determinación del caudal máximo de las bombas dosificadoras de policloruro de aluminio, polímero NALCO 7530 y soda cáustica

Para la determinación del caudal máximo que deben suministrar las bombas dosificadoras de coagulante, floculante y soda cáustica se realizó el mismo procedimiento de cálculo.

11.1. Procedimiento de cálculo para cada uno de los químicos a dosificar en el proceso de coagulación floculación:

11.1.1. Determinación del caudal de operación del producto químico a implementar:

Se aplica la ecuación (2.1), donde se obtiene la siguiente expresión aplicada para los productos químicos a dosificar:

$$Q_{OP} = \frac{V_{DOSIF}}{T_{DOSIF}} \quad (SILVA, 2003)$$

Donde:

Q_{OP} (mL/s): Caudal al que debe ser dosificado el producto químico

V_{DOSIF} (mL): Volumen por batch del producto químico a dosificar

T_{DOSIF} (s): Tiempo de dosificación del producto químico

11.1.2. Determinación del caudal máximo para cada una de las bombas dosificadoras necesarias en el proceso físico-químico:

Se aplica la ecuación (2.2), donde se obtiene la siguiente expresión aplicada para los productos químicos a dosificar:

$$Q_{MAX} = 2 * Q_{OP} \quad (INSATÉCNICA, 2012)$$

Donde:

Q_{MAX} (mL/s): Caudal máximo que deben suministrar las bombas dosificadoras de químicos (policloruro de aluminio, polímero NALCO 7530 y soda cáustica)

11.2. Cálculo del caudal máximo de la bomba dosificadora de policloruro de aluminio, partiendo de los datos obtenidos en la prueba de jarra (Tabla A.4).

Tabla A.4.

Datos del coagulante para la determinación del caudal de operación de la bomba

POLICLORURO DE ALUMINIO	
Volumen a dosificar de coagulante por batch (mL)	700,0
Tiempo de dosificación del coagulante (s)	60,0

Partiendo de los datos obtenidos en la prueba de jarra y empleando la ecuación obtenida en el paso 11.1.1, obtenemos el caudal mínimo de coagulante:

$$Q_{COAGULANTE}^{OP} = \frac{700,0mL}{60,0s} = 11,7 mL/s = 42,0 L/h$$

Luego, una vez determinado el caudal de operación del coagulante y empleando la ecuación obtenida en el paso 11.1.2, se obtiene finalmente el caudal máximo que debe tener la bomba dosificadora:

$$Q_{COAGULANTE}^{MAX} = 2 * 42,0 L/h = 84,0 L/h$$

NOTA

- Para la determinación de los caudales de suministro máximo de las bombas dosificadoras de floculante (polímero NALCO 7530) y de soda cáustica, se procede de la misma manera que con el caudal de la bomba dosificadora de coagulante. Partiendo de los resultados obtenidos en la prueba de jarra (Tabla A.5). Se obtuvo lo siguiente:

Tabla A.5.

Datos obtenidos en la prueba de jarra para el polímero NALCO 7530 y la soda cáustica

	POLÍMERO NALCO 7530	SODA CÁUSTICA
Volumen a dosificar por batch (mL)	280,0	500,0
Tiempo de dosificación (s)	300,0	180,0

$$Q_{\text{FLOCULANTE}}^{\text{MAX}} = 6,7 \text{ L/h}$$

$$Q_{\text{SODA CÁUSTICA}}^{\text{MAX}} = 28,6 \text{ L/h}$$

- Para la determinación del caudal máximo de la bomba dosificadora de hipoclorito de sodio, al igual que los otros químicos se emplea el procedimiento 11.1. Partiendo de los resultados obtenidos en el paso N° 10 y conociendo que el tiempo de dosificación acorde para una buena oxidación química es de 180 segundos se obtuvo lo siguiente:

$$Q_{\text{HIP SODIO 8\%}}^{\text{MAX}} = 28,0 \text{ L/h}$$

$$Q_{\text{HIP SODIO 17\%}}^{\text{MAX}} = 13,2 \text{ L/h}$$

13. Determinación del volumen mínimo de los tanques secundarios para el almacenamiento de cada uno de los químicos a emplear

Para la determinación del volumen de los tanques de almacenamiento secundarios del policloruro de aluminio, polímero NALCO 7530, soda cáustica e hipoclorito de sodio se realizó el mismo procedimiento de cálculo.

13.1. El Procedimiento de cálculo se muestra a continuación:

13.1.1. Determinación del volumen mínimo de los tanques de almacenamiento secundarios:

$$V_{MTAS} = N \times V_{QD} \quad (\text{Ec. A.10}) \quad (\text{RAMOS, 2012})$$

Donde:

V_{MTAS} (mL): Volumen mínimo del tanque de almacenamiento secundario

N (Adim.): Numero de tratamientos fisicoquímicos realizados en 2 semanas

V_{QD} (mL): Volumen a dosificar de cada químico por batch ó tratamiento

13.2. Cálculo del volumen mínimo necesario para el almacenamiento del policloruro de aluminio garantizando la operatividad de la planta de tratamiento por un tiempo de 2 semanas.

Partiendo de los resultados obtenidos en el procedimiento 8.1 y que la planta de tratamiento realiza 13 tratamientos físico-químicos a la semana (26 tratamientos quincenales), al aplicar la ecuación (A.10) se obtuvo lo siguiente:

$$V_{\substack{TAS \\ \text{POLICLORURO DE} \\ \text{ALUMINIO}}} = 26 \times 700,0\text{mL} = 18.200,0\text{mL} = 18,2\text{L}$$

NOTA

- El volumen mínimo de los tanques de almacenamiento secundarios para el resto de los químicos (floculante, soda cáustica e hipoclorito), fueron calculados de la misma manera que con el volumen mínimo del tanque secundario de policloruro. Partiendo de los resultados obtenidos en los procedimientos 8.2 y 9.1 y en el paso N° 10. Se obtuvo lo siguiente:

$$V_{TAS} = 7,3L$$

POLIMERO NALCO
7530

$$V_{TAS} = 18,6L$$

SODA CÁUSTICA

$$V_{TAS} = 18,2L$$

HIPOCLORITO DE
SODIO (8%)

14. Determinación de la relación beneficio costo de la propuesta de adecuación

Para la determinación de la relación beneficio – costo de la propuesta de adecuación de la planta de tratamiento de Unigra se realizó el siguiente procedimiento de cálculo, partiendo de el costo de todos los equipos (inversión inicial) obtenido a través de las cotizaciones y del dinero que acarrearán las multas por el incumplimiento del Decreto N° 3219.

14.1. El procedimiento de cálculo se muestra a continuación:

Determinación de la relación beneficio - costo:

Se aplica la ecuación (3.1):

$$R_{C/B} = \frac{\text{Multas}}{\text{Inversión Inicial}} \quad (\text{BLANK, 1994})$$

14.2. Cálculo de la relación beneficio - costo de la propuesta de adecuación:

Conociendo que el valor total de las multas que acarrearán el incumplimiento del Decreto N° 3219 es de 501.610,00 Bs y que la inversión inicial asociada a la compra e instalación de equipos para la propuesta es de 326.866,11. Al aplicar la ecuación (3.1) se obtiene lo siguiente:

$$R_{C/B} = \frac{501.610,00 \text{ Bs}}{326.866,11 \text{ Bs}} = 1,53 \text{ Adim.}$$

APÉNDICE B

HERRAMIENTAS METODOLÓGICAS

En esta sección se presentan las herramientas utilizadas para la recopilación de información y recolección de datos experimentales, que sirvieron de apoyo para dar cumplimiento con los objetivos planteados.



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
TRABAJO ESPECIAL DE GRADO



Ing. Luis Alfonso Dañida

En su condición de especialista en: TRATAMIENTO DE AGUA.

A continuación se le presenta el siguiente cuadro resultado de la Escala de estimación, como recurso para el proceso de aprobación del instrumento.

Marque con una equis (X) el resultado de la estimación correcta.

ENTREVISTA

PREGUNTAS	ITEMS								
	PERTINENCIA			REDACCIÓN			ADECUACIÓN		
	B	R	D	B	R	D	B	R	D
1	X			X			X		
2	X			X			X		
3	X			X			X		
4	X			X			X		
5	X			X			X		

Observaciones y sugerencias

Nombre y Apellido: Luis Alfonso Dañida C.I.: 12-352027
 Nivel Académico: Maestría Cargo: Asistente Fecha: 12-12-11 Hora: 9 AM
 Firma: Luis A. Dañida

Figura B.1. Validación de las entrevistas aplicadas



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
TRABAJO ESPECIAL DE GRADO



Ing. Luis Alfonso Davila Ramirez - MSc.

En su condición de especialista en: TRATAMIENTO DE AGUA

A continuación se le presenta el siguiente cuadro resultado de la Escala de Estimación, como recurso para el proceso de aprobación del instrumento.

Marque con una equis (X) el resultado de la estimación correcta.

CUESTIONARIO

PREGUNTAS	ITEMS								
	PERTINENCIA			REDACCIÓN			ADECUACIÓN		
	B	R	D	B	R	D	B	R	D
1	X			X			X		
2	X			X			X		
3	X			X			X		
4	X			X			X		
5	X			X			X		
6	X			X			X		
7	X			X			X		
8	X			X			X		
9	X			X			X		
10	X			X			X		
11	X			X			X		
12	X			X			X		
13	X			X			X		
14	X			X			X		
15	X			X			X		

Observaciones y sugerencias

Nombre y Apellido: Luis Alfonso Davila Ramirez C.I.: 12-352027
 Nivel Académico: Maestría Cargo: Prof. Asistente Fecha: 12-12-11 Hora: 9 AM
 Firma: Luis A. Davila

Figura B.2. Validación de los cuestionarios aplicados



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
TRABAJO ESPECIAL DE GRADO



Ing. JUAN PARRA C.

En su condición de especialista en: TECNOLOGÍAS DE TRATAMIENTOS DE AGUAS

A continuación se le presenta el siguiente cuadro resultado de la Escala de Estimación, como recurso para el proceso de aprobación del instrumento.

Marque con una equis (X) el resultado de la estimación correcta.

CUESTIONARIO

PREGUNTAS	ITEMS								
	PERTINENCIA			REDACCIÓN			ADECUACIÓN		
	B	R	D	B	R	D	B	R	D
1	X			X			X		
2	X			X			X		
3	X			X			X		
4	X			X			X		
5	X			X			X		
6	X			X			X		
7	X			X			X		
8	X			X			X		
9	X			X			X		
10	X			X			X		
11	X			X			X		
12	X			X			X		
13	X			X			X		
14	X			X			X		
15	X			X			X		

Observaciones y sugerencias

Nombre y Apellido: JUAN PARRA C. c.i.: 4.136.076
 Nivel Académico: POST-GRADO Cargo: ASESOR Fecha: 12/12/11 Hora: 8:00 AM
 Firma: [Firma manuscrita]

Figura B.2. Validación de los cuestionarios aplicados (Continuación)

Modelo de cuestionario aplicado al personal encargado de la planta de tratamiento de la empresa Unigra:



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
TRABAJO ESPECIAL DE GRADO



PROPUESTA PARA LA ADECUACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS DE PROCESO DE SMURFIT KAPPA CARTÓN DE VENEZUELA, S.A., DIVISIÓN UNIÓN GRÁFICA (CUESTIONARIO)

INSTRUCTIVO

El presente cuestionario, es de carácter público y será aplicado al personal técnico, operadores, ingenieros y a los especialistas, que desempeñan sus actividades diarias en la planta de tratamiento de aguas provenientes del proceso de la empresa Smurfit Kappa Cartón de Venezuela, S.A., división Unión Gráfica, con la finalidad de obtener diferentes opiniones para la propuesta de adecuación de la referida planta de tratamiento, en cuanto a:

- Tratamientos de aguas provenientes de procesos industriales.
- Parámetros (plan, carta y gráficos) de Control de la planta físico química.
- Indicadores de la planta de tratamiento.
- Medidas de seguridad en la planta de tratamiento
- Cursos realizados de tratamiento de aguas provenientes del proceso y manejo de sustancias peligrosas.

El cuestionario consta de quince (15) preguntas de tipo abierta y cerrada, para cada caso el encuestado deberá marcar **UNA O VARIAS** respuestas para cada pregunta que se le realice, de acuerdo a su experiencia en el área de tratamiento de aguas provenientes de procesos industriales. A fin de recopilar la información requerida para realizar el diagnóstico antes mencionado, conteste todas las preguntas formuladas.

En caso de tener alguna duda con el enunciado de la pregunta consulte con el encuestador que le aplica el instrumento.

Gracias por su participación en este cuestionario y por la información suministrada.

Br. Miguel Ramos

C.I.: 18.252.002

0414 – 440.89.11

Preguntas del cuestionario:

1) ¿Qué rol desempeña dentro de la planta de tratamiento?

Asesor Ambiental:	Ingeniero:	Operador:	Pasante:	Tesista:
-------------------	------------	-----------	----------	----------

2) ¿Qué tratamientos se emplean en la planta de tratamiento?

NO SÉ: __,

Pre- Tratamiento: __

Cuál: _____
 _____,

Tratamiento Primario: __

Cuál: _____
 _____,

Tratamiento Secundario: __

Cuál: _____
 _____,

Tratamiento Terciario: __

Cuál: _____

3) ¿Qué parámetros controla usted para el proceso físico-químico de la planta?

<p>pH: Si: ____ No: ____</p>	Dónde:	
	Por qué se mide:	
	Rango óptimo:	
	Con qué se mide:	
	Frecuencia:	

Temperatura: Si: ____ No: ____	Dónde:	
	Por qué se mide:	
	Rango óptimo:	
	Con qué se mide:	
	Frecuencia:	
Sólidos: Si: ____ No: ____	Dónde:	
	Por qué se mide:	
	Rango óptimo:	
	Con qué se mide:	
	Frecuencia:	
Turbidez: Si: ____ No: ____	Dónde:	
	Por qué se mide:	
	Rango óptimo:	
	Con qué se mide:	
	Frecuencia:	
Olor: Si: ____ No: ____	Dónde:	
	Por qué se mide:	
	Rango óptimo:	
	Con qué se mide:	
	Frecuencia:	

Otras:

	Dónde:	
	Por qué se mide:	
	Rango óptimo:	
	Con qué se mide:	
	Frecuencia:	
	Dónde:	
	Por qué se mide:	
	Rango óptimo:	
	Con qué se mide:	
	Frecuencia:	
	Dónde:	
	Por qué se mide:	
	Rango óptimo:	
	Con qué se mide:	
	Frecuencia:	

4) ¿Cada cuánto se calibran los instrumentos de medición?

NO SÉ: ____,

Instrumento:	Tiempo transcurrido para calibración:	Calibrado por:

5) ¿Qué coagulante y floculante emplean en el tratamiento?

		Rango de pH:
Coagulante:		
Floculante:		

6) ¿Con qué frecuencia realizan pruebas de jarra?

Diario:	Semanal:	Quincenal:	Mensual:	Otro: Cuál:
---------	----------	------------	----------	----------------

7) ¿Para qué realiza las pruebas de jarra?

8) ¿Cuáles indicadores se llevan en la planta de tratamiento?

9) ¿Quién es el encargado de los indicadores de la planta de tratamiento?

10) ¿Con qué frecuencia se llevan los indicadores de la planta?

Diaria:	Semanal:	Quincenal:	Mensual:	Trimestral:	Semestral:	Anual:
---------	----------	------------	----------	-------------	------------	--------

11) ¿El tratamiento físico-químico aplicado al efluente está logrando el objetivo?

SI: __, NO: __

Por qué:

12) ¿Qué mecanismos de seguridad emplea a la hora de trabajar en la planta de tratamiento?

13) ¿Usted ha leído la hoja de seguridad de los químicos empleados?

SI: ____, NO: ____

14) ¿Usted considera importante leer y conocer la hoja de seguridad de cada uno de los químicos empleados?

SI: ____, NO: ____

Por qué:

15) ¿Usted ha realizado cursos referentes a tratamientos de aguas provenientes de procesos industriales, plantas de tratamiento de aguas y manejo de sustancias peligrosas?

SI: ____, NO: ____,

Si su respuesta es afirmativa, responder el siguiente cuadro:

Curso:	Dictado por:	Fecha:	Lugar:

Modelo de entrevista aplicada a los especialistas en tratamiento de aguas residuales y de proceso:



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
TRABAJO ESPECIAL DE GRADO



PROPUESTA PARA LA ADECUACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS DE PROCESO DE SMURFIT KAPPA CARTÓN DE VENEZUELA, S.A., DIVISIÓN UNIÓN GRÁFICA (ENTREVISTA)

INSTRUCTIVO

La presente entrevista, es de carácter público y será aplicado a ingenieros, especialistas y profesores con conocimientos en el área de tratamiento de aguas provenientes de procesos industriales, con la finalidad de obtener diferentes opiniones para la propuesta de adecuación de la referida planta de tratamiento, en cuanto a:

- Tratamientos de aguas provenientes de procesos industriales.
- Tratamiento de aguas con alta carga de contaminantes químicos.
- Adecuación de la planta de tratamiento de Smurfit Kappa Cartón de Venezuela, división Unión Gráfica, S.A.

La entrevista consta de cinco (5) preguntas de tipo abierta y cerrada, para cada caso el encuestado deberá marcar **UNA** respuesta para cada pregunta que se le realice, de acuerdo a su experiencia en el área de tratamiento de aguas provenientes de procesos industriales. A fin de recopilar la información requerida para realizar el diagnóstico antes mencionado, conteste todas las preguntas formuladas.

En caso de tener alguna duda con el enunciado de la pregunta consulte con el encuestador que le aplica el instrumento.

Gracias por su participación en este cuestionario y por la información suministrada.

Br. Miguel Ramos

C.I.: 18.252.002

0414 – 440.89.11

Preguntas de la entrevista:

16) ¿Para una empresa litográfica, con poca generación de efluentes y alta carga de contaminantes químicos (tintas, barnices, pegas, solvente biodegradable, solvente dieléctrico, alcohol, revelador de planchas y películas), es posible hacer tratado de sus aguas provenientes del proceso solo con tratamiento físico-químico?

SI: __, NO: __;

Por qué:

17) ¿Es posible remover altas concentraciones de DBO y DQO solo con un tratamiento físico-químico?

SI: __, NO: __;

Por qué:

18) ¿Qué parámetros se debe controlar en una planta físico-química?

Por qué:

19) ¿En un tratamiento biológico, que parámetros se debe tomar en cuenta para su implementación y diseño?

Por qué:

20) ¿Qué recomendaría usted para una planta físico-química que desde el inicio del 2011 hasta la actualidad, no ha logrado adecuar las concentraciones de DBO y DQO del efluente?

Decreto 3219:

DBO = 350 mg / L; DQO = 700 mg / L

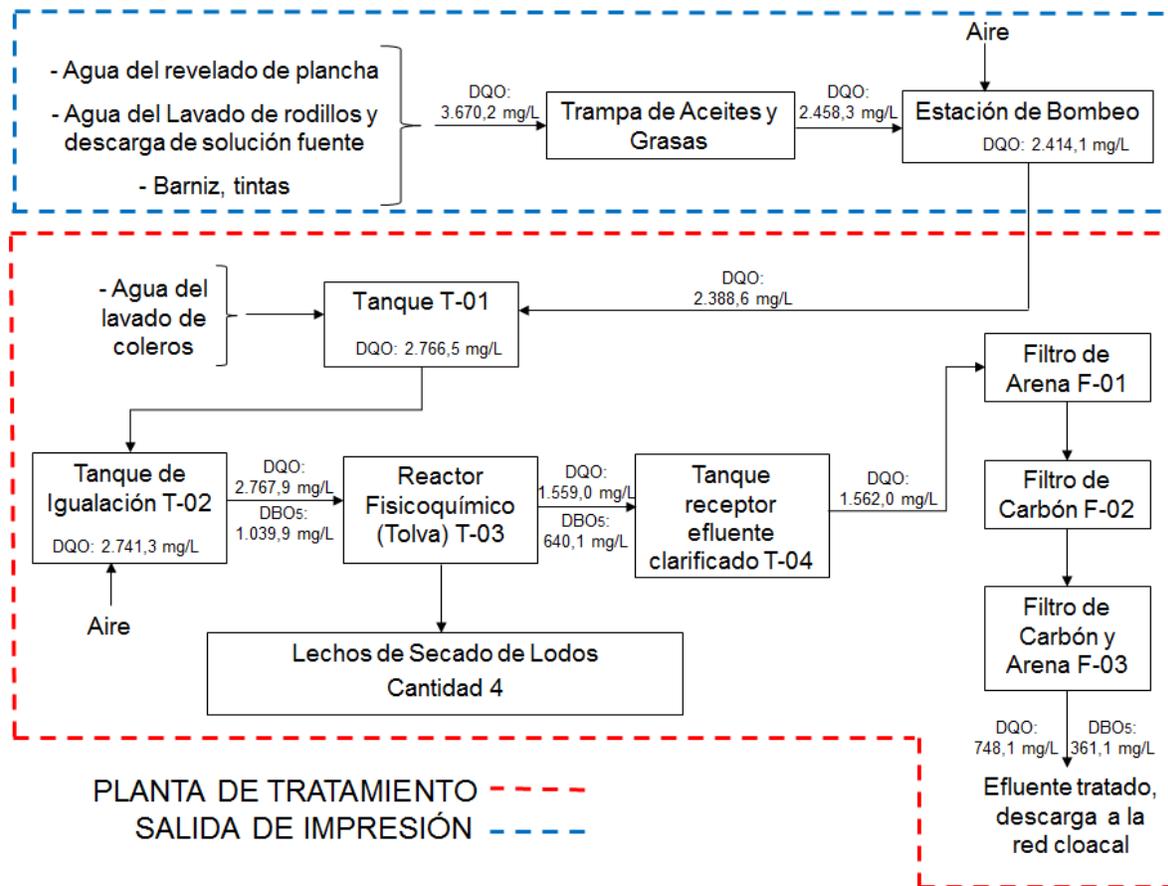


Figura B.3. Esquema del proceso completo de tratamiento de aguas de Unigra (2do. Periodo)

Tabla B.1. Características de la planta de tratamiento

	CREACIÓN DE LA PLANTA (1994)	ACTUALIDAD DE LA PLANTA (2011)
Efluente a tratar (L / día)	1.424,0	6.000,0
Producción (Ton / mes)	Mayor a la actual	≈ 400
DBO (mg / L)	≤ 350,0	Entre 100,0 y 2.200,0
DQO (mg / L)	≤ 700,0	Entre 250,0 y 3.800,0
Coagulante	Sulfato de Aluminio	Policloruro de aluminio
Floculante	Polímero Floculante	Dotado por empresa NALCO
Nota:	Empleaban Ácido Sulfúrico y gas carbónico para bajar el pH de 12 a 8. Después de coagulante aplicaban Hidróxido de Calcio.	

Equipos de la planta de tratamiento:

- Trampa de Grasas (para un caudal de operación de: 800,0 L / h)
- Estación de Bombeo (con aireación)
- Tanque de recepción (con aireación): 6.500,0 L
- Tanque de igualación (con aireación): 15.000,0 L
- Tolva: 3.000,0 L
- Lecho de secado: 4 lechos
- Tanque de clarificado: 8.000,0 L
- 2 Filtros de 1,5 m de altura y 0,80 m de diámetro, dispuestos en serie (primero el de arena y luego el de carbón activado).
- 2 Filtros de 1,30 m de altura y 0,50 m de diámetro, dispuestos en paralelo (ambos de carbón y arena)

NOTAS:

- a) El tratamiento se realiza por Batch, a volumen constante de 3000,0 L.
 b) La relación DBO/DQO obtenida es la siguiente:

	Entrada al tratamiento físico-químico	Salida del tratamiento físico-químico:	Salida de los filtros:
DBO / DQO (adim.) (Desde 10/2011 a 11/2011)	0,376	0,411	0,483

- c) Se midió el DQO del efluente crudo y el del efluente filtrado obteniendo lo siguiente:

	Efluente Crudo	Efluente Filtrado	Δ DQO
DQO (mg / L) (10/2011)	3700,0	2400,0	1300,0

- d) El caudal de los filtros es el siguiente:

	Caudal (L / s)
Entrada de filtros (según diseño)	1,00
Entrada de filtros (actual de la planta)	1,60
Salida de filtros (actual de la planta)	0,29

**Tabla B.2. Datos para la determinación de la concentración de DQO en la planta de tratamiento de Smurfit Kappa
Cartón de Venezuela, S.A., división Unión Gráfica (1er Periodo)**

FECHA	Muestra	Características de la muestra	N° de muestra	Dilución de la muestra	Volumen consumido de titulante (mL)
	Blanco		B.1		
			B.2		
	Entrada tolva		1.1		
			1.2		
	Salida tolva		2.1		
			2.2		
	Salida filtros		3.1		
			3.2		

Concentración del titulante: (±) mg/L

**Tabla B.3. Datos para la determinación de la concentración de DBO₅ en la planta de tratamiento de Smurfit Kappa
Cartón de Venezuela, S.A., división Unión Gráfica (1er Periodo)**

FECHA	Muestra	Características de la muestra	N° de muestra	Oxígeno disuelto inicial (mg/L)	Oxígeno disuelto final (mg/L)
	Blanco		B.1		
			B.2		
	Entrada tolva		1.1		
			1.2		
	Salida tolva		2.1		
			2.2		
	Salida filtros		3.1		
			3.2		

Volumen del winkle: (±) mL

**Tabla B.4. Datos para la determinación de la concentración de DQO en la planta de tratamiento de Smurfit Kappa
Cartón de Venezuela, S.A., división Unión Gráfica (2do Periodo)**

FECHA	Muestra	Características de la muestra	N° de muestra	Dilución de la muestra	Volumen consumido de titulante (mL)
	Blanco		B.1		
			B.2		
	Entrada trampa de grasas		1.1		
			1.2		
	Salida trampa de grasas		2.1		
			2.2		
	Tanque estación de bombeo		3.1		
			3.2		
	Salida estación de bombeo		4.1		
			4.2		
	Tanque de recepción		5.1		
			5.2		
	Tanque de igualación		6.1		
			6.2		
	Entrada de la tolva		7.1		
			7.2		
	Salida de la tolva / Entrada tanque de clarificado		8.1		
			8.2		
	Tanque de clarificado		9.1		
			9.2		
Salida de filtros		10.1			
		10.2			

Concentración del titulante: (±) mg/L

Tabla B.5. Datos para la determinación de la concentración de DBO₅ en la planta de tratamiento de Smurfit Kappa Cartón de Venezuela, S.A., división Unión Gráfica (2do Periodo)

FECHA	Muestra	Características de la muestra	N° de muestra	Oxígeno disuelto inicial (mg/L)	Oxígeno disuelto final (mg/L)
	Blanco		B.1		
			B.2		
	Entrada trampa de grasas		1.1		
			1.2		
	Salida trampa de grasas		2.1		
			2.2		
	Tanque estación de bombeo		3.1		
			3.2		
	Salida estación de bombeo		4.1		
			4.2		
	Tanque de recepción		5.1		
			5.2		
	Tanque de igualación		6.1		
			6.2		
	Entrada de la tolva		7.1		
			7.2		
	Salida de la tolva / Entrada tanque de clarificado		8.1		
			8.2		
	Tanque de clarificado		9.1		
			9.2		
Salida de filtros		10.1			
		10.2			

Volumen del winkle: (±) mL

APÉNDICE C

FIGURAS Y TABLAS BIBLIOGRÁFICAS

En esta sección se presentan las figuras y tablas bibliográficas que contienen información inherente al tema de tratamiento de aguas residuales industriales.

Tabla 12.7. Ventajas y desventajas generales de los oxidantes para tratamiento de aguas

Oxidante	Ventajas	Desventajas
Cloro	Oxidante Fuerte desinfectante Produce residuo persistente Barato Fácil de usar Larga historia de utilización	Produce DBPs halogenados Puede contribuir a problemas de sabor y olor
Cloraminas	No produce THMs Produce residuos persistentes Controla el desarrollo microbiano Fácil de utilizar Larga historia de uso	Oxidante débil Desinfectante débil Produce TOX inidentificados Puede llevar a problemas de nitrificación en el sistema de distribución Puede contribuir a los problemas de olor y sabor
Ozono	Oxidante muy fuerte Desinfectante muy fuerte Efectivo para sabor y olor No produce DBP halogenados excepto en aguas ricas en bromuros Puede ayudar en coagulación y floculación	No produce residuo desinfectante persistente Relativamente costoso Produce bromatos en aguas ricas en bromuros Produce material orgánico biodegradable que puede controlarse
Procesos de oxidación avanzados	Oxidante muy fuerte Más efectivo para control de sabor y olor No produce DBP halogenados	Limitadas propiedades de desinfección Relativamente costosa Produce material orgánico biodegradable que debe ser controlado.
Dióxido de cloro	Oxidante fuerte Desinfectante fuerte Efectivo para ciertos tipos de sabor y olor No produce DBP halogenados Reacciona con el amoníaco	Produce cloritos como DBP inorgánico Puede producir olores indeseables Difícil de mantener una desinfección residual presistente.
Permanganato	Fácil de alimentar Efectivo para oxidación de Fe y Mn No produce DBPs halogenados Efectivo para ciertos tipos de sabor y olor	Produce dióxido de manganeso que debe ser remocionado Puede llevar a una agua rosa si la dosis no se controla cuidadosamente Limitada capacidad de desinfección
Oxígeno	Fácil de alimentar No produce subproductos halogenados	Relativamente débil oxidante para la mayoría de los tratamientos de agua excepto para oxidación de Fe (II) y sulfuros

Figura C.1. Ventajas y desventajas generales de los oxidantes para tratamiento de aguas. Fuente: American Water Works Association (2002)

Tabla 11.7. Aplicaciones de la cloración en la recogida, tratamiento y evacuación de aguas residuales

Aplicación	Intervalo de dosis, mg/l	Observaciones
Recogida:		
Control del crecimiento de películas biológicas	1-10	Control de hongos y bacterias productoras de películas biológicas
Control de la corrosión (H ₂ S)	2-9*	Control efectuado por la destrucción del H ₂ S en las alcantarillas
Control de olores	2-9*	Especialmente en estaciones de bombeo y alcantarillas largas y con poca pendiente
Tratamiento:		
Eliminación de grasas	2-10	Añadido antes de la preaireación
Reducción de la DBO	0,5-2**	Oxidación de sustancias orgánicas
Oxidación del sulfato ferroso	***	Producción de sulfato férrico y cloruro férrico
Control obstrucción de los filtros	1-10	Residual en las boquillas de los filtros
Control de moscas en los filtros	0,1-0,5	Residual en las boquillas de los filtros, utilizado durante la época de proliferación de las moscas
Control aumento del volumen del flanco (<i>bulking</i>)	1-10	Medida de control temporal
Oxidación del sobrenadante del digestor	20-140	
Control de espumas en los tanques Imhoff y digestores	2-15	
Reducción de los nitratos	Véase capítulo 14	Conversión de nitratos a amoníaco
Evacuación:		
Reducción bacteriana	2-20	Caudales aliviados, aguas pluviales
Desinfección	Véase tabla 11.8	Depende de la naturaleza del agua residual

* Por mg/litro de H₂S.
 ** Por mg/litro de DBO₅ destruido.
 *** $6\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O} + 3\text{Cl}_2 \rightarrow 2\text{FeCl}_3 + 2\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + 42\text{H}_2\text{O}$.

Figura C.2. Aplicaciones de la cloración en la recogida, tratamiento y evacuación de aguas residuales. Fuente: Metcalf (1977)

Tabla C.1. Límites y rangos máximos de concentraciones de los vertidos líquidos que sean o vayan a ser descargados a redes cloacales

Parámetros Físico-Químicos	Límites máximos o rangos
Aceites minerales e hidrocarburos	20,0 mg/l
Aceites y grasas vegetales y animales	100,0 mg/l
Alkil Mercurio	No detectable (*)
Aluminio total	5,0 mg/l
Arsénico total	0,5 mg/l
Bario total	5,0 mg/l
Cadmio total	0,2 mg/l
Cianuro total	0,2 mg/l
Cobalto total	0,5 mg/l
Cobre total	0,5 mg/l
Cloruros	300,0 mg/l
Cromo total	2,0 mg/l
Cromo hexavalente	0,5 mg/l
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO _{5,20})	350,0 mg/l
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	700,0 mg/l

Fuente: Decreto N° 3219 (1999)

Tabla C.1. Límites y rangos máximos de concentraciones de los vertidos líquidos que sean o vayan a ser descargados a redes cloacales (Continuación)

Parámetros Físico-Químicos	Límites máximos o rangos
Detergentes y/o dispersantes	8,0 mg/l
Fenoles	0,5 mg/l
Fósforo total (expresado como fósforo)	10,0 mg/l
Hierro total	25,0 mg/l
Manganeso total	10,0 mg/l
Mercurio total	0,01 mg/l
Níquel total	1,0 mg/l
Nitrógeno total (expresado como nitrógeno)	40,0 mg/l
pH	6,00 – 9,00
Plata total	0,1 mg/l
Plomo total	0,5 mg/l
Selenio	0,2 mg/l
Sólidos flotantes	Ausentes.
Sólidos sedimentables	100,0 mg/l
Sólidos suspendidos	400,0 mg/l

Fuente: Decreto N° 3219 (1999)

Tabla C.1. Límites y rangos máximos de concentraciones de los vertidos líquidos que sean o vayan a ser descargados a redes cloacales (Continuación)

Parámetros Físico-Químicos	Límites máximos o rangos
Sólidos totales	1.600,0 mg/l
Sulfatos	400,0 mg/l
Sulfuros	1,0 mg/l
Temperatura	Variación respecto a la temperatura de la cloaca receptora, en sitio de la descarga. - 5 °C
Vanadio	5,0 mg/l
Zinc	5,0 mg/l

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

Fuente: Decreto N° 3219 (1999)

APÉNDICE D

CARTA Y HOJA DE CONTROL

En esta sección se presentan las cartas y hojas de control propuestas para la adecuación de la planta de tratamiento de Smurfit Kappa Cartón de Venezuela, S.A, división Unión Gráfica.

Tabla D.1. Carta de control operativo de la trampa de aceites y grasas

Unidad	Parámetro de control	Rango óptimo	Frecuencia	Causa raíz	Consecuencia de la desviación	Medida preventiva	Medida correctiva
Trampa de aceites y grasas	Aceites y grasas	(80,0 - 100,0) mg/L	Trimestral	Efluente no deseado: exceso de carga contaminante al sistema (aceite, grasas, tintas y barniz). Fallas en el oil skimer	Disminución de la eficiencia en el tratamiento físico-químico	Control de calidad del agua de entrada (aguas arriba). Mantenimiento a la trampa de aceite y grasas	Extracción manual del aceite acumulado. Regular posición del oil skimer
	DQO	≤ 700,0 mg/L	Semanal	Efluente no deseado: exceso de carga contaminante al sistema (aceite, grasas, tintas y barniz). Fallas en el oil skimer	Disminución de la eficiencia en el tratamiento físico-químico	Control de calidad del agua de entrada (aguas arriba). Mantenimiento a la trampa de aceite y grasas	Corrección de efluente no deseado. Regular posición del oil skimer
	Caudal	Entrada: ≤ 800,0 L/h	Diario	Falla en el ajuste de presión para el caudal de la bomba	Desbordamiento de la trampa de grasas. No se lleva a cabo la separación de los aceites y grasas	Fijar el caudal de operación	Ajustar el caudal de operación

Tabla D.2. Carta de control operativo de la estación de bombeo

Unidad	Parámetro de control	Rango óptimo	Frecuencia	Causa raíz	Consecuencia de la desviación	Medida preventiva	Medida correctiva
Estación de bombeo	DQO	≤ 700,0 mg/L	Mensual	Efluente no deseado: exceso de carga contaminante al sistema (aceite, grasas, tintas y barniz).	Disminución de la eficiencia en el tratamiento físico-químico	Control de calidad del agua de entrada (aguas arriba). Mantener la aireación del tanque	Corrección de efluente no deseado
	pH	(6,50 - 7,50)	Diario	Efluente no deseado: exceso de carga contaminante al sistema (aceite, grasas, tintas y barniz).	Disminución de la eficiencia en el tratamiento físico-químico	Control de calidad del agua de entrada (aguas arriba)	Corrección de efluente no deseado
	Aceites y grasas	(80,0 - 100,0) mg/L	Mensual	Efluente no deseado: exceso de carga contaminante al sistema (aceite, grasas, tintas y barniz)	Disminución de la eficiencia en el tratamiento físico-químico	Control de calidad del agua de entrada (aguas arriba)	Extracción manual del aceite acumulado. Regular posición del oil skimer

Tabla D.3. Carta de control operativo del tanque de igualación

Unidad	Parámetro de control	Rango óptimo	Frecuencia	Causa raíz	Consecuencia de la desviación	Medida preventiva	Medida correctiva
Tanque de igualación	DQO	≤ 700,0 mg/L	Mensual	Efluente no deseado: exceso de carga contaminante al sistema (aceite, grasas, tintas y barniz)	Disminución de eficiencia en el tratamiento	Control de calidad del agua de entrada (aguas arriba). Mantener la aireación del tanque	Corrección de efluente no deseado
	pHoperativo	(7,0 - 7,5)	Por batch a tratar	Efluente no deseado: exceso de carga contaminante al sistema (aceite, grasas, tintas y barniz)	Disminución de eficiencia en el tratamiento	Realizar prueba de jarra en cada batch. Control de pH del agua en el tanque	Corrección de pH del efluente. Dosificación de ácido si esta por arriba y dosificación de soda cáustica si esta por abajo

Tabla D.4. Carta de control operativo de la tolva ó reactor físico-químico

Unidad	Parámetro de control	Rango óptimo	Frecuencia	Causa raíz	Consecuencia de la desviación	Medida preventiva	Medida correctiva
Coagulador - Floculador (prueba de jarra)	Coagulante pH = (4 - 10) adim	Dosis = (400,0 - 700,0) mL de coagulante por cada 2.800,0 L de efluente a tratar. (Determinado en la prueba de jarra)	Por batch a tratar	Alta turbidez en el efluente. Deficiente determinación de la dosificación del coagulante. El efluente a tratar no estaba al pH de operación	Deterioro del tratamiento con los filtros por exceso de carga contaminante. Consumo innecesario de coagulante	Control de calidad del agua de entrada (aguas arriba). Realizar prueba de jarra en cada batch	Adecuar la prueba de jarra a la escala real
	Floculante pH = (5 - 6) adim	Dosis = (100,0 a 350,0) mL de floculante por cada 2.800,0 L de efluente a tratar. (Determinado en la prueba de jarra)	Por batch a tratar	Alta turbidez en el efluente. Deficiente determinación de la dosificación del floculante. El efluente a tratar no estaba al pH de operación	Deterioro del tratamiento con los filtros por exceso de carga contaminante. Consumo innecesario de floculante	Control de calidad del agua de entrada (aguas arriba). Realizar prueba de jarra en cada batch	Adecuar la prueba de jarra a la escala real
	Turbidez	≤ 5,0 NTU	Diario	No existe buena coagulación floculación, deficiente determinación de la dosificación de los químicos. El efluente a tratar no estaba al pH de operación	Deterioro del tratamiento con los filtros por exceso de carga contaminante	Realizar las pruebas de jarra con nuevas dosis de coagulante y de floculante, para determinar el pH de operación del tratamiento fisicoquímico	Ajustar la cantidad de coagulante y floculante
	DQO	≤ 700,0 mg/L	Semanal	Efluente no deseado: exceso de carga contaminante al sistema (aceite, grasas, tintas y barniz). S.S.T. fuera de norma. Presencia de materia orgánica soluble	Deterioro del tratamiento con los filtros por exceso de carga contaminante	Realizar las pruebas de jarra con nuevas dosis de coagulante y de floculante. Inyección de hipoclorito de sodio (NaClO)	Ajustar la cantidad de coagulante y floculante. Disminución de la materia orgánica soluble adicionando agente oxidante

Tabla D.4. Carta de control operativo de la tolva o reactor físico-químico (Continuación)

Unidad	Parámetro de control	Rango óptimo	Frecuencia	Causa raíz	Consecuencia de la desviación	Medida preventiva	Medida correctiva
Coagulador - Floculador (prueba de jarra)	pHreacción	(6,30 - 6,80)	Diario	Efluente no deseado: exceso de carga contaminante al sistema (aceite, grasas, tintas y barniz)	Disminución de eficiencia en el tratamiento físico- químico	Realizar prueba de jarra en cada batch para determinar el pH de reacción	Corrección de pH del efluente en el tanque de igualación y de la dosificación de coagulante y floculante en la tolva
	Sólidos Suspendidos Totales (S.S.T.)	≤ 400,0 mg/L	Semanal	Alta turbidez en el efluente	Deterioro del tratamiento con los filtros por exceso de carga contaminante	Realizar prueba de jarra en cada batch	Adecuar la prueba de jarra a la escala real

Tabla D.5. Carta de control operativo del tanque de clarificado

Unidad	Parámetro de control	Rango óptimo	Frecuencia	Causa raíz	Consecuencia de la desviación	Medida preventiva	Medida correctiva
Tanque de agua clarificada	DQO	≤ 700,0 mg/L	Mensual	Efluente no deseado: exceso de carga contaminante al sistema (aceite, grasas, tintas y barniz)	Deterioro del tratamiento con los filtros por exceso de carga contaminante	Control de calidad del agua de entrada (aguas arriba)	Retornar el agua clarificada al tanque de igualación

Tabla D.6. Hoja de control de la planta de tratamiento de aguas provenientes del proceso de Unigra (Continuación)

TRATAMIENTO PRIMARIO					
Hora	N° Carga	Filtros			
		Caudal de entrada (L/s)	DQO (mg/L)	pH (adim.)	Olor

APÉNDICE E

COTIZACIONES DE EQUIPOS

En esta sección se presentan las diferentes cotizaciones realizadas por las empresas: INSATECNICA C.A., IMPORTADORA IAI C.A., AEROMECA C.A. y SISTEMAS DE GESTIÓN AMBIENTAL C.A., para la compra e instalación de los equipos necesarios para la adecuación de la planta de tratamiento de Smurfit Kappa Cartón de Venezuela, S.A, división Unión Gráfica.

INSATECNICA *if*

Ingeniería y Servicios Técnicos Integrales
Sistemas de Tratamiento de Agua.

INJECTA
Inyección, Medición y Control.

ROBOTS
MAQUINARI

PRESUPUESTO INSA-SMURFIT-28-03-11

FECHA 28 de marzo de 2012

PROYECTO SUMINISTRO, TRANSPORTE E INSTALACIÓN DE BOMBAS DOSIFICADORAS, AGITADORES PARA TANQUES DE QUIMICOS Y ELEMENTOS ADICIONES PARA SISTEMA DE DOSIFICACIÓN EN PTAR

CLIENTE SMURKIT KAPPA CARTÓN DE VENEZUELA, S.A., DIVISIÓN UNIÓN GRÁFICA.

ATENCIÓN ING. DAISY PEREZ

CONTACTO EN OBRA TESISTA MIGUEL RAMOS

DIRECCIÓN Av. Domingo Olavarría Zona Industrial SUR

DIRECCIÓN - OBRA Av. Domingo Olavarría Zona Industrial SUR

CIUDAD VALENCIA

CIUDAD VALENCIA

ESTADO CARABOBO

ESTADO CARABOBO

TELEFONO 0241-6133300

TELEFONO 0241-6133300

CEL: 0412 - 033.20.36

CEL: 0414 - 440.89.11

MAIL: Daisy.Perez@smurfitkappa.com.ve

MAIL: Miguel.Ramos@smurfitkappa.com.ve

ENTREGA EN: VALENCIA

CONDICIONES DE PAGO 60% Orden de Compra - 40% Con la Entre

TIEMPO DE ENTREGA 45 días después de la recepción del anticipo.

VALIDEZ DE LA OFERTA 30 días.

GARANTIA 1 año.

ELABORADO POR Ing. Wilmer Martelo Sarabia.

NOTA: Parte de los equipos se encuentran para entrega inmediata

INSATECNICA C.A - RIF: J -29775212-9 - CARACAS - VENEZUELA

TEL: 0212 - 4195082 FAX: 0212-5780102 CEL: 0414 819 5888

www.insatecnica.com - infoven@insatecnica.com

Figura E.1. Cotización para los equipos de dosificación de productos químicos. Fuente: INSATÉCNICA (2012)

INSATECNICA *if*

Ingeniería y Servicios Técnicos Integrales
Sistemas de Tratamiento de Agua



PRESUPUESTO: INSA-SMURFIT-28-03-11

EMPRESA: SMURKIT KAPPA CARTÓN DE VENEZUELA, S.A., DIVISIÓN L

FECHA: 28 de marzo de 2012

PROYECTO: SUMINISTRO, TRANSPORTE E INSTALACIÓN DE BOMBAS DOSIFICADORAS, AGITADORES PARA TANQUES DE QUIMICOS Y ELEMENTOS ADICIONES PARA SISTEMA DE DOSIFICACIÓN EN PTAR

CONCEPTO	UNID.	CANT.	VALOR UNITARIO Bs.	VALOR TOTAL Bs.
<p>*Suministro de Una (1) Bombas Dosificadoras marca INJECTA, modelo ATHENA 3 AM - analógica, 14 LPH @ 6 BAR, 110/220 V / 1F . Cabezal en PVDF, Membrana en PTFE. Protección IP65.</p> <p>Regulación manual de caudal - 0-100%</p> <p>Alimentación y entrada sonda de nivel con acoplamiento rápido (sonda no incluida)</p> <p>Dosificación proporcional a una señal externa analógica (4-20 mA) o digital de contador.</p> <p>Incluye válvula de succión, Inyector y Manqueras de succión y decarga (1,5 m c/u)</p> <p>Válvula de purga manual.</p>	pza	2	11.564,10	23.128,20
<p>*Suministro de Una (1) Bombas Dosificadoras marca INJECTA, modelo ATHENA 4 AM-analogica, 50 LPH @ 0,1 BAR, 110/220 V / 1F . Cabezal en PVDF, Membrana en PTFE. Protección IP65.</p> <p>Regulación manual de caudal - 0-100%</p> <p>Alimentación y entrada sonda de nivel con acoplamiento rápido (sonda no incluida)</p> <p>Dosificación proporcional a una señal externa analógica (4-20 mA) o digital de contador.</p> <p>Incluye válvula de succión, Inyector y Manqueras de succión y decarga (1,5 m c/u)</p> <p>Válvula de purga manual.</p>	pza	2	14.387,54	28.775,09
			SUB-TOTAL (Bs. SIN IVA)	51.903,29
			IVA Bs. (12%)	6.228,39
			TOTAL PRESUPUESTO (Bs. IVA INCLUIDO)	58.131,68

INSATECNICA C.A - RIF: J-29775212-9 - CARACAS - VENEZUELA
 TEL: 0212 - 4195082 FAX: 0212-5780102 CEL: 0414 819 5888
 www.insatecnica.com - infoven@insatecnica.com

Figura E.1. Cotización para los equipos de dosificación de productos químicos (Continuación). Fuente: INSATÉCNICA (2012)

INSATECNICA *if*

Ingeniería y Servicios Técnicos Integrales
Sistemas de Tratamiento de Agua

INJECTA
The Perfect Pumping
Destilación, Medición y Control

**BOMBAS
MAUREL**

PRESUPUESTO: INSA-SMURFIT-28-03-11

EMPRESA: SMURKIT KAPPA CARTÓN DE VENEZUELA, S.A., DIVISIÓN L

FECHA: 28 de marzo de 2012

PROYECTO: SUMINISTRO, TRANSPORTE E INSTALACIÓN DE BOMBAS DOSIFICADORAS, AGITADORES PARA TANQUES DE QUÍMICOS Y ELEMENTOS ADICIONES PARA SISTEMA DE DOSIFICACIÓN EN PTAR

CONCEPTO	UNID.	CANT.	VALOR UNITARIO Bs.	VALOR TOTAL Bs.
Suministro de Agitadores eléctricos marca INJECTA, modelo MX3 con motor trifásico (monofásico bajo pedido) y brida de fijación para montaje en tanques. Materiales que entran en contacto con el líquido: PVC a 70 RPM- Longitud del eje: 600 mm Diámetro de hélice: 90 mm Potencia del motor: 0,13 kw	pza	4	10.232,93	40.931,70
Tanque para almacenamiento de químicos: 50 litros, PP, con tapa	pza	4	203,00	812,00
Suministro de sondas de nivel AC.LA 05 para tanque de 50 litros	pza	4	982,14	3.928,57
Suministro de Conexiones eléctricas e hidráulicas (Incluye 5 metros de manguera por bomba), sensores de flujo, protectores, soportes, sistemas de control para encendido/apagado de las bombas y agitadores.	pza	4	6.302,16	25.208,64
			SUB-TOTAL (Bs. SIN IVA)	70.880,91
			IVA Bs. (12%)	8.505,71
			TOTAL PRESUPUESTO (Bs. IVA INCLUIDO)	79.386,62

INSATECNICA C.A - RIF: J-29775212-9 - CARACAS - VENEZUELA
TEL: 0212 - 4195082 FAX: 0212-5780102 CEL: 0414 819 5888
www.insatecnica.com - infoven@insatecnica.com

Figura E.1. Cotización para los equipos de dosificación de productos químicos (Continuación). Fuente: INSATÉCNICA (2012)

INSATECNICA *IS*

Ingeniería y Servicios Técnicos Integrales
Sistemas de Tratamiento de Agua



PRESUPUESTO: INSA-SMURFIT-28-03-11

EMPRESA: SMURFIT KAPPA CARTÓN DE VENEZUELA, S.A., DIVISIÓN I

FECHA: 28 de marzo de 2012

PROYECTO: SUMINISTRO, TRANSPORTE E INSTALACIÓN DE BOMBAS DOSIFICADORAS, AGITADORES PARA TANQUES DE QUÍMICOS Y ELEMENTOS ADICIONES PARA SISTEMA DE DOSIFICACIÓN EN PTAR

CONCEPTO	UNID.	CANT.	VALOR UNITARIO Bs.	VALOR TOTAL Bs.
Instalación y Transporte. Incluye: Transporte de materiales hasta la obra, viáticos del personal. Montaje en sitio con punto de inyección a 5 metros máximo desde la bomba dosificadora. Puesta en marcha y prueba de los equipos. Manual de Operación e Inducción a Operarios.	SG	4	3.982,50	15.930,00
			SUB-TOTAL (Bs. SIN IVA)	15.930,00
			IVA Bs. (12%)	1.911,60
			TOTAL PRESUPUESTO (Bs. IVA INCLUIDO)	17.841,60

INSATECNICA C.A - RIF: J-29775212-9 - CARACAS - VENEZUELA
 TEL: 0212 - 4195082 FAX: 0212-5780102 CEL: 0414 819 5888
 www.insatecnica.com - infoven@insatecnica.com

Figura E.1. Cotización para los equipos de dosificación de productos químicos (Continuación). Fuente: INSATÉCNICA (2012)

INSATECNICA *if*

Ingeniería y Servicios Técnicos Integrales
Sistemas de Tratamiento de Agua.

INJECTA
Diseño, Instalación y Control

BOBBI
MAIMEDI

PRESUPUESTO INSA-SMURFIT-28-03-11 (B)

FECHA 28 de marzo de 2012

PROYECTO SUMINISTRO, TRANSPORTE E INSTALACIÓN DE BOMBAS DOSIFICADORAS, AGITADORES PARA TANQUES DE QUÍMICOS Y ELEMENTOS ADICIONES PARA SISTEMA DE DOSIFICACIÓN EN PTAR

CLIENTE SMURKIT KAPPA CARTÓN DE VENEZUELA, S.A., DIVISIÓN UNIÓN GRÁFICA.

ATENCIÓN ING. DAISY PEREZ

CONTACTO EN OBRA TESISISTA MIGUEL RAMOS

DIRECCIÓN Av. Domingo Olavarría Zona Industrial SUR
CIUDAD VALENCIA

DIRECCIÓN - OBRA Av. Domingo Olavarría Zona Industrial SUR
CIUDAD VALENCIA

ESTADO CARABOBO

ESTADO CARABOBO

TELEFONO 0241-6133300

TELEFONO 0241-6133300

CEL: 0412 - 033.20.36

CEL: 0414 - 440.89.11

MAIL: Daisy.Perez@smurfitkappa.com.ve

MAIL: Miguel.Ramos@smurfitkappa.com.ve

ENTREGA EN: VALENCIA

CONDICIONES DE PAGO 60% Orden de Compra - 40% Con la Entrega

TIEMPO DE ENTREGA 45 días después de la recepción del anticipo.

VALIDEZ DE LA OFERTA 30 días.

GARANTIA 1 año.

ELABORADO POR Ing. Wilmer Martelo Sarabia.

NOTA: Parte de los equipos se encuentran para entrega inmediata

INSATECNICA C.A - RIF: J-29775212-9 - CARACAS - VENEZUELA

TEL: 0212 - 4195082 FAX: 0212-5780102 CEL: 0414 819 5888

www.insatecnica.com - infoven@insatecnica.com

Figura E.2. Cotización para el equipo de medición en línea y los medidores de presión. Fuente: INSATÉCNICA (2012)

INSATECNICA *IF*

Ingeniería y Servicios Técnicos Integrales
Sistemas de Tratamiento de Agua

INJECTA
The Perfect Balance
Destilación, Membranas Y Control

BOBBI MALMED

PRESUPUESTO: INSA-SMURFIT-28-03-11 (B)

EMPRESA: SMURKIT KAPPA CARTÓN DE VENEZUELA, S.A., DIVISIÓN L

FECHA: 28 de marzo de 2012

PROYECTO: SUMINISTRO, TRANSPORTE E INSTALACIÓN DE BOMBAS DOSIFICADORAS, AGITADORES PARA TANQUES DE QUIMICOS Y ELEMENTOS ADICIONES PARA SISTEMA DE DOSIFICACIÓN EN PTAR

CONCEPTO	UNID.	CANT.	VALOR UNITARIO Bs.	VALOR TOTAL Bs.
Suministro de Panel de Medición de pH NEXUS 2000, versión para pared, incluye electrodo de medición 0-14	pza	1	10.542,92	10.542,92
Suministro de Panel de Medición de pH(0-14) y Cloro Residual (0-5 ppm) NEXUS 7000, versión para pared, incluye electrodos de medición, portasondas y accesorios	pza	1	38.408,93	38.408,93
Suministro de Panel de Medición de Turbidez (0-100 NTU) NEXUS 4000, versión para pared, incluye sensor de turbidez en AISI 304, portasondas y accesorios	pza	1	47.215,90	47.215,90
Manómetros de glicerina, para tuberías de 1,5 pulgadas, Escala 100 psi., Diámetro 2 1/2"	pza	1	344,40	344,40
Suministro de Conexiones eléctricas e hidráulicas para instalación de paneles, incluye laminas de soportes	sg	3	2.187,50	6.562,50
			SUB-TOTAL (Bs. SIN IVA)	103.074,65
			IVA Bs. (12%)	12.368,96
			TOTAL PRESUPUESTO (Bs. IVA INCLUIDO)	115.443,61

INSATECNICA C.A - RIF: J-29775212-9 - CARACAS - VENEZUELA

TEL: 0212 - 4195082 FAX: 0212-5780102 CEL: 0414 819 5888

www.insatecnica.com - infoven@insatecnica.com

Figura E.2. Cotización para el equipo de medición en línea y los medidores de presión (Continuación). Fuente: INSATÉCNICA (2012)

INSATECNICA *if*

Ingeniería y Servicios Técnicos Integrales
Sistemas de Tratamiento de Agua.

INJECTA
Dosisación, Medición y Control

BORRISI
MARMEDI

PRESUPUESTO: INSA-SMURFIT-28-03-11

EMPRESA: SMURKIT KAPPA CARTÓN DE VENEZUELA, S.A., DIVISIÓN I

FECHA: 28 de marzo de 2012

PROYECTO: SUMINISTRO, TRANSPORTE E INSTALACIÓN DE BOMBAS DOSIFICADORAS, AGITADORES PARA TANQUES DE QUIMICOS Y ELEMENTOS ADICIONES PARA SISTEMA DE DOSIFICACIÓN EN PTAR

CONCEPTO	UNID.	CANT.	VALOR UNITARIO Bs.	VALOR TOTAL Bs.
Instalación y Transporte de paneles. Incluye: Transporte de materiales hasta la obra, viáticos del personal. Montaje en sitio con conexión entre bombas y paneles Programación de los pánales. Puesta en marcha y purueba de los equipos. Manual de Operación e Inducción a Operarios.	SG	3	5.635,00	16.905,00
			SUB-TOTAL (Bs. SIN IVA)	16.905,00
			IVA Bs. (12%)	2.028,60
TOTAL PRESUPUESTO (Bs. IVA INCLUIDO)				18.933,60

INSATECNICA C.A - RIF: J-29775212-9 - CARACAS - VENEZUELA
 TEL: 0212 - 4195082 FAX: 0212-5780102 CEL: 0414 819 5888
 www.insatecnica.com - infoven@insatecnica.com

Figura E.2. Cotización para el equipo de medición en línea y los medidores de presión (Continuación). Fuente: INSATÉCNICA (2012)

INSATECNICA *if*

Ingeniería y Servicios Técnicos Integrales
Sistemas de Tratamiento de Agua



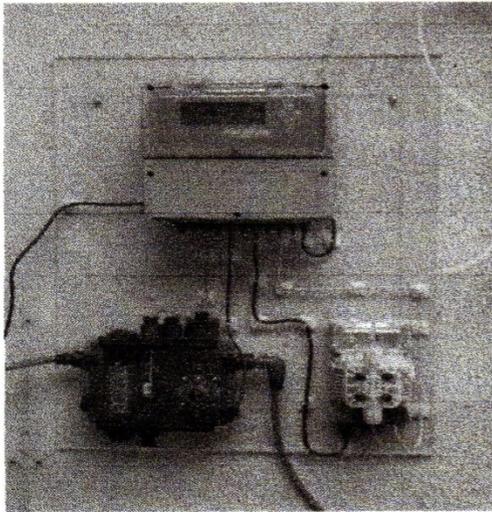
PRESUPUESTO: INSA-SMURFIT-28-03-11 (B)

EMPRESA: SMURKIT KAPPA CARTÓN DE VENEZUELA, S.A., DIVISIÓN U

FECHA: 28 de marzo de 2012

PROYECTO: SUMINISTRO, TRANSPORTE E INSTALACIÓN DE BOMBAS DOSIFICADORAS, AGITADORES PARA TANQUES DE QUIMICOS Y ELEMENTOS ADICIONES PARA SISTEMA DE DOSIFICACIÓN EN PTAR

FOTO PANEKL NEXUS 7000 INSTALADO POR INSATECNICA



PANEL MEDICIÓN NEXUS 4000 TURBIDEZ

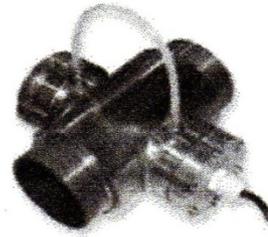


NX.4000 S

- VERSIONE STAGNO
- 144X144X120 mm

- WATERPROOF VER
- 144X144X120 mm

SENSOR DE TURBIDEZ



PANEL NEXUS 2000 PH



NX.2000 S

- VERSIONE STAGNO
- 144X144X90 mm

- WATERPROOF VERSION
- 144X144X90 mm

SS304 material - IN/OUT 2 1/2" GAS M hydraulic connect
1 bar maximum operating pressure - Floodlight unit with incandescence bulb - Sensor group for photoconductive
- Equipment for 1/2" GAS attachment for washing with liquid
Connections for 4x6 mm tube for anti-condensate air input

INSATECNICA C.A - RIF: J-29775212-9 - CARACAS - VENEZUELA
TEL: 0212 - 4195082 FAX: 0212-5780102 CEL: 0414 819 5888
www.insatecnica.com - infoven@insatecnica.com

Figura E.2. Cotización para el equipo de medición en línea y los medidores de presión (Continuación). Fuente: INSATÉCNICA (2012)

INSATECNICA *if*

Ingeniería y Servicios Técnicos Integrales
Sistemas de Tratamiento de Agua.

INJECTA
Ingeniería de Proyectos, Montajes y Control.

INGENIERIA RAMOS

PRESUPUESTO INSA-SMURFIT-28-03-11 (C)

FECHA 2 de abril de 2012

PROYECTO SUMINISTRO, TRANSPORTE E INSTALACIÓN DE PANELES DE MEDICIÓN CONTROL DE PARAMETROS EN PTAR

CLIENTE SMURKIT KAPPA CARTÓN DE VENEZUELA, S.A., DIVISIÓN UNIÓN GRÁFICA.

ATENCIÓN ING. DAISY PEREZ

CONTACTO EN OBRA TESISISTA MIGUEL RAMOS

DIRECCIÓN Av. Domingo Olavarría Zona Industrial SUR
CIUDAD VALENCIA

DIRECCIÓN - OBRA Av. Domingo Olavarría Zona Industrial SUR
CIUDAD VALENCIA

ESTADO CARABOBO

ESTADO CARABOBO

TELEFONO 0241-6133300

TELEFONO 0241-6133300

CEL: 0412 - 033.20.36

CEL: 0414 - 440.89.11

MAIL: Daisy.Perez@smurfitkappa.com.ve

MAIL: Miguel.Ramos@smurfitkappa.com.ve

ENTREGA EN: VALENCIA

CONDICIONES DE PAGO 60% Orden de Compra - 40% Con la Entrega

TIEMPO DE ENTREGA 45 días después de la recepción del anticipo.

VALIDEZ DE LA OFERTA 30 días.

GARANTIA 1 año.

ELABORADO POR Ing. Wilmer Martelo Sarabia.

NOTA: Parte de los equipos se encuentran para entrega inmediata

INSATECNICA C.A - RIF: J-29775212-9 - CARACAS - VENEZUELA
TEL: 0212 - 4195082 FAX: 0212-5780102 CEL: 0414 819 5888
www.insatecnica.com - infoven@insatecnica.com

Figura E.3. Cotización para la bomba de suministro de efluente a los filtros.
Fuente: INSATÉCNICA (2012)

INSATECNICA *if*
Ingeniería y Servicios Técnicos Integrales
Sistemas de Tratamiento de Agua.

INJECTA
the perfect air - no
Distribución, Medición y Control

BOMBAS MAUMEDI

PRESUPUESTO: INSA-SMURFIT-28-03-11 (C)

EMPRESA: SMURKIT KAPPA CARTÓN DE VENEZUELA, S.A., DIVISIÓN L

FECHA: 2 de abril de 2012

PROYECTO: SUMINISTRO, TRANSPORTE E INSTALACIÓN DE PANELES DE MEDICIÓN CONTROL DE PARAMETROS EN PTAR

CONCEPTO	UNID.	CANT.	VALOR UNITARIO Bs.	VALOR TOTAL Bs.
Suministro de bomba de doble diafragma, accionada por aire, model BOXER 81, 100 lpm@ 7 BAR. Material: PP.	pza	1	12.809,99	12.809,99
			SUB-TOTAL (Bs. SIN IVA)	12.809,99
			IVA Bs. (12%)	1.537,20
			TOTAL PRESUPUESTO (Bs. IVA INCLUIDO)	14.347,19

INSATECNICA C.A - RIF: J-29775212-9 - CARACAS - VENEZUELA
TEL: 0212 - 4195082 FAX: 0212-5780102 CEL: 0414 819 5888
www.insatecnica.com - infoven@insatecnica.com

Figura E.3. Cotización para la bomba de suministro de efluente a los filtros (Continuación). Fuente: INSATÉCNICA (2012)

INSATECNICA *IS*

Ingeniería y Servicios Técnicos Integrales
Sistemas de Tratamiento de Agua.

INJECTA
The perfect Dosing
Dose Injection, Metering & Control

**BOMBAS
MALREDI**

PRESUPUESTO: INSA-SMURFIT-28-03-11

EMPRESA: SMURKIT KAPPA CARTÓN DE VENEZUELA, S.A., DIVISIÓN L

FECHA: 28 de marzo de 2012

PROYECTO: SUMINISTRO, TRANSPORTE E INSTALACIÓN DE BOMBAS DOSIFICADORAS, AGITADORES PARA TANQUES DE QUIMICOS Y ELEMENTOS ADICIONES PARA SISTEMA DE DOSIFICACIÓN EN PTAR

CONCEPTO	UNID.	CANT.	VALOR UNITARIO Bs.	VALOR TOTAL Bs.
Instalación y Transporte de paneles. Incluye:	SG	1	4.060,00	4.060,00
Transporte de materiales hasta la obra, viáticos del personal.				
Montaje en sitio con conexión entre bombas				
Puesta en marcha y prueba de los equipos.				
Manual de Operación e Inducción a Operarios.				
			SUB-TOTAL (Bs. SIN IVA)	4.060,00
			IVA Bs. (12%)	487,20
			TOTAL PRESUPUESTO (Bs. IVA INCLUIDO)	4.547,20

INSATECNICA C.A - RIF: J-29775212-9 - CARACAS - VENEZUELA

TEL: 0212 - 4195082 FAX: 0212-5780102 CEL: 0414 819 5888

www.insatecnica.com - infoven@insatecnica.com

Figura E.3. Cotización para la bomba de suministro de efluente a los filtros (Continuación). Fuente: INSATÉCNICA (2012)

NOTA: Para la cotización de la bomba de suministro de los filtros, al proveedor del servicio se le solicitó cotización para la bomba BOXER MINI con un caudal máximo de 50 L/min pero sin embargo cotizó una bomba de mayor caudal por equivocación (BOXER.81). Por lo que para la estimación de la inversión inicial se empleo el precio de la bomba errada, que tiene un mayor precio, pero la diferencia es poca según la empresa INSATECNICA, C.A. A continuación se presentan las características de la bomba BOXER MINI.

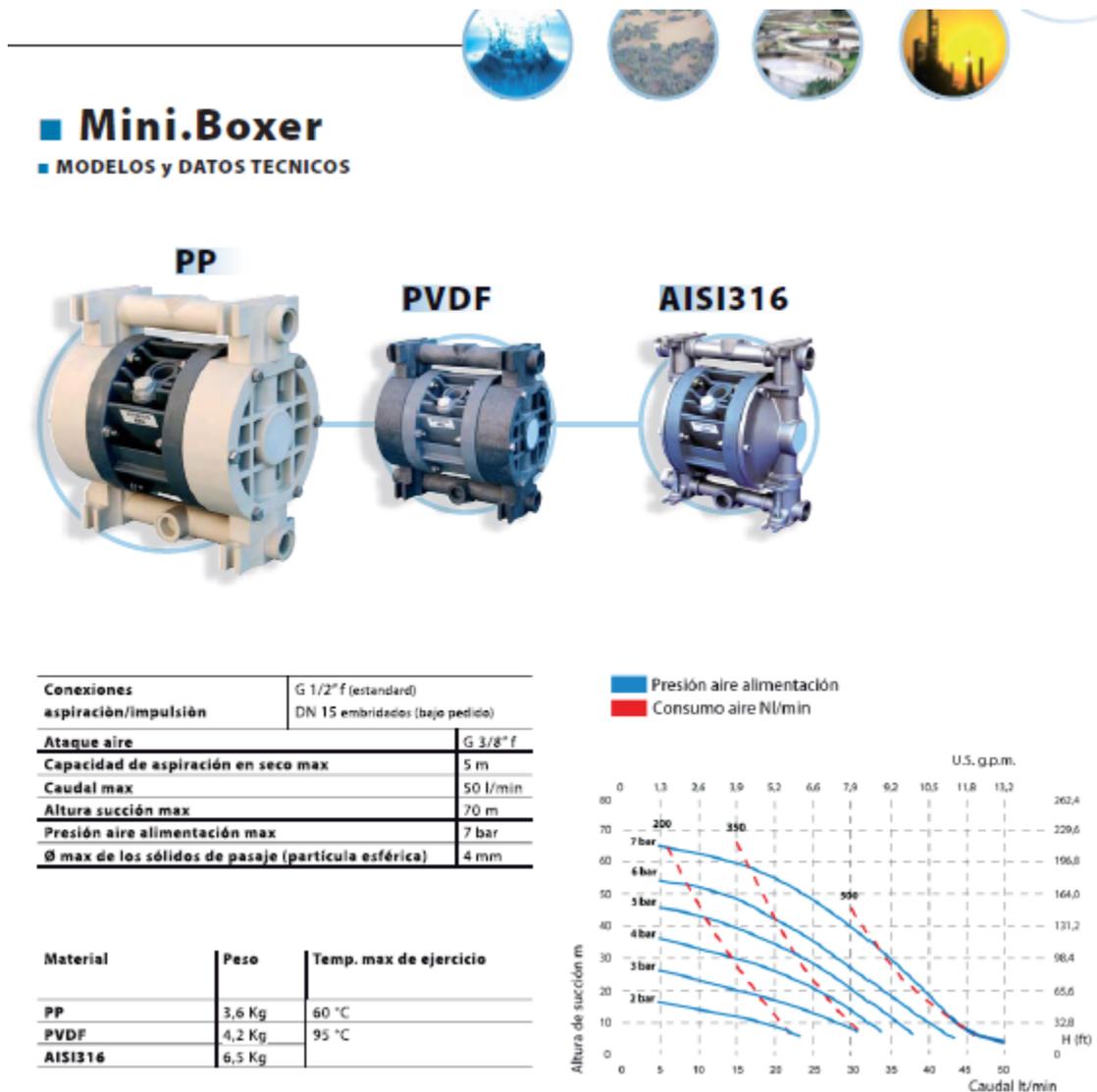


Figura E.4. Especificaciones técnicas de la bomba MINI.BOXER. Fuente: INSATÉCNICA (2012)

Contáctenos

Caracas: 58 - 212 - 772 77 03

[Contáctenos por Skype](#)

[Contáctenos por MSN](#)

comercial@viaindustrial.com.ve

Buscar

Catalogo de productos

Cotización

Vigencia 15 días

No. 4483

Fecha: 28/04/2012

Empresa: Unión Grafica, C.A.

Aten: Miguel Ramos

Teléfono: 0241-8130733

E-mail: MARM32@HOTMAIL.COM

Comprar

Verifique el contenido de su cotización, las características de los productos, borre o agregue mas productos y ordene su pedido presionando el botón **Comprar** o [contáctenos](#)

Imagen	Código / Ref	Descripción	Cant.	Precio / Unitario	Precio / Total	Borrar
	282217 TU-2016	Turbidimetro digital portatil, 0 a 50 / 50 a 1000 NTU, 0,01 / 1 NTU, +- 5% de la escala total, ISO 7027, 155 x 76 x 62 mm, LUTRON	1	BS\$ 9.058,00	BS\$ 9.058,00	<div style="border: 1px solid gray; padding: 2px 5px; font-size: 10px;">Borrar</div>

Precios en Bolivares Fuertes.

[Agregar otros productos](#)

[Agregar mas Turbidimetros](#)

SubTotal : \$	9.058,00
Des. %: \$	
IVA : \$	1.086,96
Flete: \$	
Total : \$	10.144,96

Figura E.5. Cotización para el turbidimetro digital portátil. Fuente: Importadora IAI, C.A. (2012)

Como comprar y como pagar

* Forma de pago y pedido:	Forma de pago	Entrega o envío Ξ Envíos a Toda Venezuela y América
	Efectivo (Solo en Guarenas) Contra Entrega	Inmediata o 3 a 4 días. Consultar Stock
	Transferencia electrónica o Giro del exterior *	Inmediata o 3 a 4 días. Consultar Stock
	Consignación en efectivo *	Inmediata o 3 a 4 días. Consultar Stock
	Consignación en cheque *	Después de confirmación de canje. Inmediata o 3 a 4 días. Consultar Stock
	Crédito (Únicamente personas jurídicas) Bajo estudio de aprobación	Inmediata o 3 a 4 días. Consultar Stock

*** Cuenta Corriente No. 0102-0427-590000247407 , Banco de Venezuela. Titular de la cuenta **IMPORTADORA IAI CA****

Notifique su orden de compra y consignación indicando la fecha y valor consignado aquí | [Notifique su pago y orden](#) |

* Tiempo de entrega:
Inmediata o 3 a 4 días después de notificar su pago

* Importante:
Los precios no incluyen la instalación, ni el diseño de la misma, ni el certificado de trazabilidad (Salvo se exprese literalmente en la descripción de los mismo) El Tiempo de entrega se especifica la descripción de cada item, SALVO PREVIA VENTA.

Figura E.5. Cotización para el turbidímetro digital portátil (Continuación).
Fuente: Importadora IAI, C.A. (2012)



AEROMECA CONSTRUCTORES, C.A.

RIF: J-29658448-6

Teléfonos: 0414 - 417 27 83 / 0412 - 177 58 16 Telefax: 0241 - 711 93 42
E-mail: aeromecaconstructores@gmail.com

REF: AC-COT-

00- 404212

Fecha: 30/03/2012

PRESUPUESTO

Obra: CONSTRUCCION DE BATEA PARA LAVAR EQUIPOS DE LIMPIEZA MOPAS Y OTROS.

Dirección: UNION GRAFICA, C.A.

Atención: SR. MIGUEL RAMOS

C.I. / RIF: 0414 - 4408911

Tlf:

0412- 3413020

PARTIDA	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	P.U.	TOTAL Bs.
1	CONSTRUCCION DE BATEA LAVAMOPAS MEDIDAS 2,50x1,00x0,60M EN BLOQUE DE CONCRETO ACABADO DE CERAMICA, COLOCACION DE TOMAS DE AGUA Y DRENAJES, INCLUYE MATERIALES.	SG	1,00	4.800,00	4.200,00
Sub-Total Bs.: 4.200,00 (12.00 %) I.V.A.: 504,00 TOTAL GENERAL: 4.704,00					

AEROMECA CONSTRUCTORES, C.A.

Rif. J-29658448-6

Firma Autorizada
Tlf. 0414-4172783 / 04163351087

CONDICIONES: 60% DE ANTICIPO DE M.O. PARA INICIAR LA OBRA,
REMANENTE 40% EL DIA DE ENTREGARLE FINALIZADA LA OBRA
ING. NELSON MARTINEZ 0412 - 1775816

SI USTED REQUIERE DE FACTURA FORMAL RECUERDE QUE SE SUMARA EL IVA Y DEBE INDICAR EL NOMBRE Y DOMICILIO FISCAL DE QUIEN VA LA FACTURA.
GRACIAS

Dirección: Urb. La Isabelica, Sector 10, calle 8, #22 Valencia-Carabobo

Figura E.6. Cotización para la realización de la batea de lavado de mopas.

Fuente: Aeromeca constructores, C.A. (2012)

COTIZACIÓN DE LOS EQUIPOS NECESARIOS PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO

Los precios suministrados por la empresa Sistemas de Gestión Ambiental, C.A., son precios de referencia, tomados de un proyecto realizado para otra importante corporación. Los precios incluyen mano de obra, conexiones eléctricas y traslado de los equipos.

Tabla E.1. Precios de referencia para la automatización de la planta de tratamiento de Unigra, suministrado por S.G.A, C.A.

Descripción	Cantidad	Precio Unitario (con IVA)	Total Bs.
PLC con 2 módulos adicionales	N.A.	N.A.	4.500,00
Sensor de nivel 3 varillas	2	4.500,00	9.000,00
Mezclador automático	2	36.290,58	72.581,16
Válvula automática	2	9.200,00	18.400,00
Alarma para PLC	1	2.040,00	2.040,00
TOTAL GENERAL			106.521,16

Fuente: Sistemas de gestión ambiental, C.A. (2012)