UNIVERSIDAD DE CARABOBO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

PROPUESTA DE ALTERNATIVAS DE FLOCULANTES PARA LA DESHIDRATACIÓN DE LODOS BIOLÓGICOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE ALIMENTOS POLAR COMERCIAL, CA. – PLANTA TURMERO

Tutor Académico:

Prof. Angelina Correia

Tutor Industrial:

Ing. José Méndez

Autores:

DE MOURA, Elva

C.I: 18778054

SANDOVAL, Betzaida

C.I: 17131020

Valencia, Junio 2012

UNIVERSIDAD DE CARABOBO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

PROPUESTA DE ALTERNATIVAS DE FLOCULANTES PARA LA DESHIDRATACIÓN DE LODOS BIOLÓGICOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE ALIMENTOS POLAR COMERCIAL, CA. – PLANTA TURMERO

Trabajo Especial de Grado presentado a la ilustre

Universidad de Carabobo para optar al

Título de Ingeniero Químico

Tutor Académico:

Prof. Angelina Correia

Tutor Industrial:

Ing. José Méndez

Autores:

DE MOURA, Elva

C.I: 18778054

SANDOVAL, Betzaida

C.I: 17131020

Valencia, Junio 2012

DEDICATORIA

A Dios, por darme la oportunidad de vivir y de regalarme una familia maravillosa, por darme fuerzas para salir adelante en cada tropiezo y poder culminar las metas trazadas, porque fue quien me dio fe, fortaleza, salud y la esperanza para terminar este trabajo.

A mis padres, María Helena y Antonio, porque me han dado todo lo que soy como persona, mis valores, mis principios, mi perseverancia y mi empeño, siempre con amor y sin pedir nunca nada a cambio, porque creyeron en mi y porque me sacaron adelante, porque gracias a ustedes y su apoyo incondicional, hoy puedo ver alcanzada mi meta, todo lo que soy es gracias a ustedes, me regalaron la vida y la oportunidad de crecer como persona, este triunfo es de ustedes y fue lo que me hizo ir hasta el final.

A mis hermanas, Teresa y María Elena, con las cuales aprendí aciertos y de momentos difíciles, por sus consejos, sus valores, porque siempre me acompañaron en las buenas y malas, por la motivación, que me ayudaron seguir adelante y culminar mi carrera.

Al amor de mi vida, José Antonio, por ser mi compañero, amigo, confidente, porque siempre estuvo a mi lado impulsándome en los momentos más difíciles de mi carrera, por sus palabras de apoyo que siempre me mantuvieron firme, pero más que nada, por su amor incondicional.

A mi compañera de tesis Betzaida, por aceptar llevar a cabo y realizar este trabajo conmigo, porque juntas pudimos salir adelante y culminar esta meta a pesar de los diversos obstáculos que se nos presentaron. Te deseo mucho éxito en todo lo que te propongas.

A la Lic. Angelina Correia, por ser una gran tutora y profesora, por su gran apoyo y paciencia para la elaboración de esta tesis, muchas gracias por su apoyo y su dedicación. Además a quien felicito por su dinámica de dar clases y dedicar su tiempo a que sus alumnos disfruten y realmente aprendan los conocimientos impartidos.

Al Prof. Iván Parra que también dedicó de su tiempo para ayudarnos con esta investigación, ofreciéndonos siempre su apoyo y conocimientos.

Muchas Gracias.

DEDICATORIA

Dios a ti doy gracias, por haberme dado la fuerza necesaria para poder cumplir con mí sueño anhelado, además de ser la luz que alumbra mi vida cada día.

A mis padres, Encarnación y Pablo que con sus consejos y palabras de aliento han sido mi apoyo en todo momento a lo largo de toda mi formación.

A mis hermanos, incondicionales amigos, gracias por ser mi apoyo y creer en mí.

A mis sobrinos, a quienes amo con todas mis fuerzas por su inocencia, cariño, ternura y por ser mi inspiración.

A mis cuñadas, por su solidaridad.

A mi familia, por compartir momentos importantes de mi vida y por su apoyo.

A mi amiga y compañera de tesis Elva, con quien he compartido momentos importantes, por su amistad, responsabilidad y buen trabajo. Pido a Dios que cada día derrame de sus ricas bendiciones sobre su vida, que sea una excelente profesional.

A mis amigos y compañeros de la Universidad, se han constituido una segunda familia, Ana, Ilse, Jeanette, Melitza, Crismar, Carla, Sebastián, Rafael, se les quiere, éxitos para ustedes también.

A Teòfilo Lejes, por sus oraciones y buenos deseos.

A Francisco Burrull y Antonieta de Burrull, quienes en todo momento me brindaron su apoyo y oraciones.

A la profesora Angelina Correia, por brindarnos su apoyo como profesora, tutora y por esos consejos necesarios en momentos oportunos.

Al Ing. José Méndez, Víctor Acosta y Cledi Marín, por su colaboración y por permitirnos desarrollar este trabajo para la culminación de nuestra carrera.

A todos gracias!!!

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos primero ante todo a Dios, por permitirnos llegar a este momento tan importante en nuestra vida, por darnos la sabiduría y fortaleza para que fuera posible alcanzar este triunfo.

A nuestros padres por su cariño, comprensión y apoyo sin condiciones ni medida. Gracias por guiarnos sobre el camino de la educación y crecimiento como profesionales. Porque siempre nos han dado su apoyo incondicional y a quienes les debemos este triunfo profesional.

A nuestros hermanos y demás familiares por sus comentarios, sugerencias, opiniones, comprensión y cariños brindados.

A nuestros compañeros de clases: Ana, Ilse, Jeanette, Melitza, Crismar, Carla, Sebastián, Rafael, Néstor, con los cuales vivimos experiencias inolvidables, por compartir día tras día una serie de experiencias que nos hicieron crecer como persona y profesionales, y queremos compartir este logro con ustedes.

A la casa de estudios, la Universidad de Carabobo, por ofrecernos sus instalaciones durante este tiempo para formarnos como profesionales.

A la Lic. Angelina Correia por aceptar ser nuestra tutora, y que con su brillante capacidad supo guiarnos y darnos los consejos necesarios para llevar a cabo este trabajo, y que forma parte de nuestra formación como profesionales.

Al Ing. José Méndez, Víctor Acosta, Cledi Marín y a Alimentos Polar Comercial C.A – Planta Turmero, por brindarnos su tiempo, ayuda, paciencia y la posibilidad de realizar nuestros estudios de tesis en dichas instalaciones.

A la Corporación WET Chemical por proporcionarnos toda la ayuda necesaria para llevar a cabo las experiencias prácticas y pruebas realizadas para el desarrollo de esta investigación.

Al prof. Iván Parra por brindarnos siempre su apoyo, tiempo y sus conocimientos que fueron de gran ayuda para llevar a cabo esta investigación.

Y a todas las demás personas, que de alguna manera formaron parte de nuestro crecimiento como profesionales y que hicieron este sueño posible. Muchas Gracias!

SUMARIO

El presente trabajo especial de grado, tiene como finalidad proponer alternativas de floculantes para la deshidratación de lodos biológicos de la planta de tratamiento de aguas residuales de Alimentos Polar Comercial C.A.- Planta Turmero.

La metodología empleada para el logro de estos objetivos, consistió en recolectar información con el personal de la planta y del laboratorio con el fin de diagnosticar el problema en base a las variables de interés para la empresa. Además, se recopiló información documental, electrónica y física, concerniente a las diversas alternativas de tipos de floculantes. Se evaluó técnicamente a nivel de laboratorio estas alternativas mediante la aplicación de prueba de jarras y prueba de filtrabilidad. En cuanto a la relación costo-beneficio de las alternativas de tipos de floculantes, se estableció variables económicas involucradas en la evaluación de los costos y beneficios como lo son: dosificación, preparación, costos del floculante, costos de disposición y de devolución. Tomando en cuenta toda esta información, se seleccionó la alternativa del tipo de floculante más adecuada, mediante el método cualitativo de los factores determinantes, empleando la matriz de ponderación por puntos.

Entre los resultados y conclusiones más resaltantes de la investigación, se tiene que una de las fallas en el proceso de la PTAR es la ausencia del tanque espesador de lodos y que el floculante usado actualmente no es eficiente en la deshidratación de los lodos. De acuerdo a la caracterización emitida por Hidrolab Toro Consultores C.A, estos lodos no son tóxicos ni peligrosos cumpliendo así con el Decreto 2635, pero superan el límite de humedad (85%) establecido por el Ministerio del Poder Popular para el Ambiente debido a que el promedio de los mismos es de 86%. En cuanto a la evaluación técnica, los polímeros con mejores resultados son el WET 1004 y WET 948 por presentar mejor remoción de sólidos y disminución del porcentaje de humedad de los lodos a un 79%. En la evaluación costo-beneficio, se obtuvo que estas alternativas son factibles y se justifica el cambio de floculante. En función de estos resultados y los análisis realizados, el floculante seleccionado fue el floculante WET 948.

ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN 1

CAPÍTULO I

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 3

1.1) DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA 3

1.2) FORMULACIÓN DEL PROBLEMA 8

1.2.1 Situación Actual 8

1.2.2 Situación Deseada 9

1.3) OBJETIVOS 9

1.3.1 OBJETIVO GENERAL 9

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 9

1.4) JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA 10

1.5) LIMITACIONES 11

CAPÍTULO II

II. ANTECEDENTES Y MARCO TEORICO 12

2.1) ANTECEDENTES 12

2.2) MARCO TEÓRICO 17

2.2.1 Aguas residuales 17

2.2.2 Constituyentes de las aguas residuales 18

2.2.3 Clasificación del sistema de tratamiento de aguas residuales 18

2.2.4 Coagulación- Floculación 22

2.2.5 Etapa de Floculación 26

2.2.6 Polímeros 29

2.2.7 Pruebas de jarras 32

2.2.8 Tamaño del flóculo 36

2.2.9 Tratamiento de lodos 38

2.2.10 Espesamiento de lodos 38

2.2.11 Acondicionamiento 39

2.2.12 Deshidratación y secado del lodo 41

2.2.13 Disposición del lodo 41

CAPÍTULO III

III. MARCO METODOLÓGICO 44
3.1) Diagnosticar el proceso de deshidratación de lodos 45
3.2) Establecer las diversas alternativas de tipos de floculantes 46
3.2.1 Pre-selección de las alternativas para la deshidratación de lodos 47
3.3) Evaluar técnicamente a nivel de laboratorio las diversas alternativas de tipos de floculantes 47
3.3.1 Recolección de las aguas 48
3.3.2 Estudios y procedimientos para las alternativas de floculantes 50
3.3.2.1 Preparación de los floculantes 50
3.3.2.1 Prueba de Jarras 51
3.3.2.2 Prueba de Filtración 52
3.3.2.3 Determinación del potencial de hidrógeno (pH) y turbidez 54
3.3.2.4 Mejor dosis de floculante 55
3.3.2.5 Determinación del porcentaje de remoción de sólidos 55
3.3.2.6 Determinación del porcentaje de humedad 56
3.4) Establecer una relación costo-beneficio de las alternativas de tipos de floculantes, tomando en cuenta la dosis óptima. 57
3.5) Seleccionar la alternativa más adecuada según los estudios técnicos y económicos realizados. 61

CAPÍTULO IV

IV. DISCUSIONES Y RESULTADOS 64
4.1) DIAGNOSTICAR EL PROCESO DE DESHIDRATACIÓN DE LODOS DEL TRATAMIENTO DE AGUAS DE LA PLANTA 64
4.2) ESTABLECER DIVERSAS ALTERNATIVAS DE TIPOS DE FLOCULANTES PARA DISMINUIR LA HUMEDAD DE LOS LODOS 72
4.2.1 Alternativas de floculantes 74
4.3) EVALUAR TÉCNICAMENTE A NIVEL DE LABORATORIO LAS DIVERSAS ALTERNATIVAS DE TIPOS DE FLOCULANTES 78

4.4) ESTABLECER UNA RELACIÓN COSTO-BENEFICIO DE LAS ALTERNATIVAS DE TIPOS DE FLOCULANTES, TOMANDO EN CUENTA LA DOSIS ÓPTIMA 100
4.5) SELECCIONAR LA ALTERNATIVA MÁS ADECUADA SEGÚN LOS ESTUDIOS TÉCNICOS Y ECONÓMICOS REALIZADOS 107
CONCLUSIONES 113
RECOMENDACIONES 114
REFERENCIAS 115
APÉNDICES
APENDICE A 121
APENDICE B 128
APENDICE C 129
APENDICE D 145
APENDICE E 147
APENDICE F 150
APENDICE G 152

ÍNDICE DE TABLAS

CAPÍTULO II

TABLA 2.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS Y BIOLÓGICAS DEL AGUA RESIDUAL Y SUS PROCEDENCIAS 19
TABLA 2.2 ÍNDICE DE WILLCOMB PARA CARACTERIZACIÓN DE FLÓCULOS 38

CAPÍTULO III

TABLA 3.1 MATRIZ DE COMPARACIÓN E IMPORTANCIA DE CADA PARÁMETRO ESTABLECIDO 62

CAPÍTULO IV

TABLA 4.1 PORCENTAJES DE HUMEDAD CONTENIDA EN LOS LODOS LUEGO DE PASAR POR LA ETAPA DE DESHIDRATACIÓN 71
TABLA 4.2 ALTERNATIVAS SELECCIONADAS PARA EL ESTUDIO Y SU RESPECTIVO PROVEEDOR 73
TABLA 4.3 SIMILITUDES Y DIFERENCIAS DE LAS DIVERSAS ALTERNATIVAS PROPUESTAS EN COMPARACIÓN CON EL FLOCULANTE ACTUAL 77
TABLA 4.4 PARÁMETROS OBTENIDOS EN LA REALIZACIÓN DE DOSIFICACIÓN PRELIMINAR EN EL PRIMER ESTUDIO DE PRUEBAS DE JARRAS 81
TABLA 4.4 PARÁMETROS OBTENIDOS EN LA REALIZACIÓN DE DOSIFICACIÓN PRELIMINAR EN EL PRIMER ESTUDIO DE PRUEBAS DE JARRAS (CONTINUACIÓN) 82
TABLA 4.5 CARACTERÍSTICAS DE LA TORTA FORMADA AL FILTAR EL EFLUENTE 85
TABLA 4.6 CARACTERÍSTICAS DE LA TORTA FORMADA AL FILTRAR EL EFLUENTE CON MENORES DOSIFICACIONES DE FLOCULANTE 92
TABLA 4.7 COMPARACIÓN DE LOS PARÁMTEROS MÁS INFLUYENTES ENTRE LAS ALTERNATIVAS Y EL FLOCULANTE ACTUAL 102
TABLA 4.8 CANTIDAD DE FLOCULANTE Y COSTO DURANTE UN MES 103
TABLA 4.9 COSTO DE DISPOSICIÓN DE LOS LODOS EN EL RELLENO 104
SANITARIO DURANTE UN MES 104

TABLA 4.10 COSTO TOTAL POR CADA FLOCULANTE DURANTE UN MES 105
TABLA 4.11 COSTOS AHORRADOS POR DEVOLUCIÓN DURANTE UN MES 106
TABLA 4.12 RESULTADOS DE LA RELACIÓN COSTO-BENEFICIO 106
TABLA 4.13 MATRIZ DE COMPARACIÓN E IMPORTANCIA DE CADA PARÁMETRO ESTABLECIDO..... 108
TABLA 4.14 MATRIZ DE SELECCIÓN PARA LA ALTERNATIVA MÁS ADECUADA PARA LA DESHIDRATACIÓN DE LODOS SEGÚN LOS ESTUDIOS 111
TÉCNICOS Y ECONÓMICOS..... 111

APÉNDICES

TABLA D.1 CARACTERÍSTICAS DE LOS AFLUENTES DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO..... 145
DE AGUAS RESIDUALES DE ALIMENTOS POLAR 145
COMERCIAL C.A – PLANTA TURMERO 145
TABLA D.2. CARACTERÍSTICAS DE LOS EFLUENTES DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE ALIMENTOS POLAR COMERCIAL C.A – PLANTA TURMERO 146
TABLA E.1. VOLÚMEN DE FILTRADO POR UNIDAD DE TIEMPO OBTENIDO..... 147
EN LAS PRUEBAS DE FILTRABILIDAD 147
TABLA E.2. VOLÚMEN DE FILTRADO POR UNIDAD DE TIEMPO OBTENIDO EN LA MEJOR DOSIFICACIÓN DEL FLOCULANTE EN LA PRUEBA DE FILTRABILIDAD..... 148
TABLA E.3. DATOS DE PESOS DE LAS MUESTRAS DE LODO OBTENIDOS EN 149
LAS PRUEBAS DE FILTRABILIDAD 149
TABLA F.1. TABLA DE RESULTADOS DE TURBIDEZ Y REMOCIÓN DE SÓLIDOS FINALIZADO LAS PRUEBAS EXPERIMENTALES DE LA DESHIDRATACIÓN DE LODOS..... 150
TABLA F.2. TABLA DE RESULTADOS DE HUMEDAD FINALIZADO LAS PRUEBAS EXPERIMENTALES DE LA DESHIDRATACIÓN DE LODOS 151

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO I

Figura 1.1- Diagrama de bloques del proceso de tratamiento de las aguas residuales de APC Planta Turmero. 5

CAPÍTULO II

Figura 2.1- Desestabilización del coloide y compresión de la capa difusa. 24
Figura 2.2- Puente entre las partículas coloides aglomeradas. 25
Figura 2.3- Representación esquemática de un modelo de enlace de puente para la desestabilización de coloides por polímeros. 28
Figura 2.4- Prueba de jarras. 34
Figura 2.5- Comparador para estimar el tamaño del floc producido en la coagulación. 37

CAPÍTULO III

Figura 3.1- Vista aérea de la PTAR de APC – Planta Turmero. 46
Figura 3.2- Alternativas de floculantes. 47
Figura 3.3- Recolección de muestra de lodo para el estudio y realización de pruebas. 48
Figura 3.4- Punto de recolección de la muestra de efluente a estudiar (izquierda) y vista superior del digestor de lodos (derecha). 49
Figura 3.5- Preparación de las diversas alternativas de polímeros. 50
Figura 3.6- Equipo de prueba de jarras. 51
Figura 3.7- Equipo de filtración utilizado para la deshidratación de lodos. 53
Figura 3.8- Equipos para medir la turbidez y pH (equipo digital ubicado en la parte de atrás del turbidímetro). 54
Figura 3.9- Estufa (izquierda) y balanza digital para pesar las tortas (derecha.) 57

CAPÍTULO IV

Figura 4.1- Algunos equipos de la PTAR de APC – Planta Turmero. (a) Vista frontal del tanque de mezcla y separador agua-aceite. (b) Vista superior del tanque separador agua-aceite y el digestor de lodos (parte trasera). (c) Tanque de aceite y grasa residual. (d) Piscina de aireación. (e) Vista superior del

clarificador ubicado dentro de la piscina de aireación. (f) Área de deshidratación de lodos. 66
Figura 4.2- Efluente de agua en estudio sin floculante, al filtrar el efluente, no se forma ninguna torta, hay total paso de efluente. 67
Figura 4.3- Área de deshidratación de lodos (izquierda); última unidad del proceso de tratamiento de aguas: centrífuga (derecha). 68
Figura 4.4- Volumen de efluente filtrado a una dosificación de 20mL de los floculantes preseleccionados. 86
Figura 4.5- Volumen de efluente filtrado a una dosificación de 30mL de los floculantes preseleccionados. 87
Figura 4.6- Volumen de efluente filtrado a una dosificación de 40mL de los floculantes preseleccionados. 88
Figura 4.7- Volumen de efluente filtrado a una dosificación de 50mL de los floculantes preseleccionados. 89
Figura 4.8- Resultados de las pruebas experimentales, prueba de jarras y filtración, para los floculantes WET 1004 (a) y WET 948 (b) a una dosis de 40mL. 90
Figura 4.9- Resultados de las pruebas experimentales, prueba de jarras y filtración, para los floculantes NALCO 7128 (a) y NALCO 61067 (b) a una dosis de 40mL 91
Figura 4.10- Volumen de efluente filtrado a varias dosificaciones del floculante WET 1004. 94
Figura 4.11- Volumen de efluente filtrado a varias dosificaciones del floculante WET 948. 94
Figura 4.12- Resultados de las pruebas experimentales, prueba de jarras y filtración, para los floculantes WET 1004 (a) y WET 948 (b) 95
Figura 4.13- Resultados de turbidez del efluente, a las diferentes dosis de los floculantes en estudio. 96
Figura 4.14- Aspecto de la turbidez del efluente (sin adición de ningún químico) a la salida del digestor de lodos. 97

Figura 4.15- Porcentaje de remoción de sólidos, a las diferentes dosis de los floculantes en estudio. 98
Figura 4.16- Porcentaje de humedad, a las diferentes dosis de los floculantes en estudio. 99

APÉNDICES

Figura B.1. Comunicado del Ministerio del Poder Popular para el Ambiente dirigida a Alimentos Polar Comercial Planta Turmero (Anteriormente REMAVENCA) 128
Figura C.1. Informe de la caracterización de los lodos de APC – Planta Turmero. 129
Figura C.2. Informe de la caracterización de los lodos de APC – Planta Turmero, página 1 de 15 130
Figura C.3. Informe de la caracterización de los lodos de APC – Planta Turmero, página 2 de 15 131
Figura C.4. Informe de la caracterización de los lodos de APC – Planta Turmero, página 3 de 15 132
Figura C.5. Informe de la caracterización de los lodos de APC – Planta Turmero, página 4 de 15 133
Figura C.6. Informe de la caracterización de los lodos de APC – Planta Turmero, página 5 de 15 134
Figura C.7. Informe de la caracterización de los lodos de APC – Planta Turmero, página 6 de 15 135
Figura C.8. Informe de la caracterización de los lodos de APC – Planta Turmero, página 7 de 15 136
Figura C.9. Informe de la caracterización de los lodos de APC – Planta Turmero, página 8 de 15 137
Figura C.10. Informe de la caracterización de los lodos de APC – Planta Turmero, página 9 de 15 138
Figura C.11. Informe de la caracterización de los lodos de APC – Planta Turmero, página 10 de 15 139

Figura C.12. Informe de la caracterización de los lodos de APC – Planta Turmero, página 11 de 15 140
Figura C.13. Informe de la caracterización de los lodos de APC – Planta Turmero, página 12 de 15 141
Figura C.14. Informe de la caracterización de los lodos de APC – Planta Turmero, página 13 de 15 142
Figura C.15. Informe de la caracterización de los lodos de APC – Planta Turmero, página 14 de 15 143
Figura C.16. Informe de la caracterización de los lodos de APC – Planta Turmero, página 15 de 15 144
Figura G.1. Boletín técnico del floculante usado actualmente en la planta de tratamiento de aguas residuales de APC Turmero, NALCO 7128. 152
Figura G.2. Boletín técnico del floculante WET 948 153
Figura G.3. Boletín técnico del floculante WET 1004 154

INTRODUCCIÓN

El objetivo fundamental del presente trabajo especial de grado, es proponer alternativas de floculantes para la deshidratación de lodos biológicos de la planta de tratamiento de aguas residuales de Alimentos Polar Comercial – Planta Turmero (APC, C.A.). El estudio realizado abarca, desde el diagnóstico del proceso de deshidratación de lodos del tratamiento de aguas de la planta, hasta la selección de la alternativa más adecuada en base a los estudios técnicos y económicos realizados.

La metodología empleada para el logro de estos objetivos, consistió en realizar varias visitas a la planta en diversas oportunidades y recolectar información con el personal de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) de tal manera de realizar el diagnóstico del proceso, teniendo en cuenta las variables de interés para la empresa (la deshidratación de los lodos) Posteriormente, se propone diversas alternativas de floculantes basados en información documental, electrónica y/o física de acuerdo a sus características y diversas empresas proveedoras.

Se evaluó técnicamente a nivel de laboratorio estas alternativas de tipos de floculantes, mediante la aplicación de prueba de jarras y prueba de filtrabilidad. Los resultados obtenidos, permiten la comparación de cada uno de los parámetros del conjunto de floculantes con el empleado en la planta en la actualidad, estableciendo un patrón de ventajas y desventajas en el proceso de tratamiento del agua bajo estudio.

Para obtener la relación costo-beneficio de las alternativas, se estableció las siguientes variables económicas: dosificación, preparación, costos del floculante, costos de disposición y de devolución. La alternativa del tipo de floculante más adecuada se seleccionó tomando en cuenta no solo el estudio técnico, sino también el estudio económico, empleando la matriz de ponderación por puntos.

Desde el punto de vista de presentación el trabajo está conformado por cuatro capítulos, los cuales están estructurados de la siguiente manera: en el capítulo I, se presenta el planteamiento del problema, objetivos, justificación y limitaciones. El

capítulo II, está conformado por antecedentes de la investigación y bases teóricas que la sustentan. En el capítulo III, se presenta el marco metodológico empleado para alcanzar cada uno de los objetivos planteados. En el capítulo IV se dan a conocer los resultados, así como el análisis de los mismos. Finalmente se presentan las conclusiones y recomendaciones en la elaboración del presente trabajo.

La culminación de dicha investigación, es de importancia para la empresa APC, CA. - Turmero, debido a que con los resultados obtenidos, se mejorará la deshidratación del lodo producido en la planta de tratamiento de aguas residuales de la referida compañía, evitando de esta manera su devolución del relleno sanitario.

CAPÍTULO I

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En esta sección se da a conocer el problema planteado y las razones por las cuales se inicia el estudio de esta investigación, especificándose la situación actual y deseada, así como también los objetivos propuestos que determinan la mejor solución para dicho problema. También se indican las razones que justifican dicha investigación y las limitaciones a los que está sujeto el problema.

1.1) DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La empresa, donde se desarrolla la investigación, inició operaciones en 1954, con el nombre inicial de REMAVENCA (Refinadora de Maíz Venezolana, CA). En el año 2008, cambia de razón social y pasa a formar parte de Alimentos Polar Comercial, ahora bajo el nombre de **Alimentos Polar Comercial, Planta Turmero** y perteneciente al grupo de Empresas Polar, ubicada al suroeste del Estado Aragua, a tres kilómetros de la localidad de Turmero, en la Carretera Nacional de la Encrucijada de Turmero, municipio Mariño.

El objeto inicial de la empresa era obtener hojuelas de maíz necesarias para la elaboración de cervezas. Seis años más tarde surge un producto innovador en el mercado alimenticio, saliendo al mercado un nuevo renglón en el consumo masivo, como es la harina precocida de maíz, a la que dieron por nombre PAN (Producto Alimenticio Nacional). Posteriormente, en 1966, se instala la primera planta de extracción, refinación y envasado de aceite comestible de maíz marca MAZEITE.

Como política de preservación del ambiente, APC Turmero desde sus inicios, cuenta con una planta de tratamiento de aguas residuales, con capacidad nominal de tratamiento de 554m^3/día, para tratar las aguas residuales o vertidos líquidos industriales provenientes de los procesos de extracción y refinación de aceite.

La PTAR fue fundada en Mayo de 1984, en un área de 4.650m^2, y es pionera en el estado Aragua. Está diseñada para tratar las aguas residuales industriales del proceso de extracción y refinación de aceite de maíz, mediante tratamientos físicos y biológicos altamente eficientes para devolver limpias las aguas que la empresa usa en su actividad productiva.

El proceso de tratamiento se inicia en la estación de bombeo (Figura 1.1), donde se colectan y combinan los vertidos líquidos poluentes de los procesos de extracción (30%) y refinación (70%), en el cual existe unas rejas de barras para la remoción de sólidos gruesos, que posteriormente se remueve en forma manual (Acosta, 2010).

El líquido residual proveniente de la estación de bombeo, llega a un tanque denominado tanque mezcla. En el tanque de mezcla se homogeneíza el líquido residual mediante agitación mecánica, con un monitoreo y control el pH, el cual es ajustado a nivel de refinación para mantenerlo relativamente neutro entre 6,5 – 8,0. La condición de pH ácido o muy alcalino afecta la vida de los microorganismos del sistema. En esta unidad también se adiciona urea que aporta nitrógeno (N) como nutriente para la alimentación de los microorganismos. Otro nutriente necesario es el fósforo (P), pero los vertidos líquidos ya lo contienen, por los fosfolípidos presentes en el aceite crudo de maíz.

El líquido residual mezclado (proveniente del tanque de mezcla) pasa a la siguiente unidad del proceso por rebose. Dicha unidad es el separador de agua-aceite, que es un tanque sedimentador para remover el aceite flotante y sólidos sedimentables.

El aceite flotante y grasa son separados del agua por flotación, y son colectados por dos brazos mecánicos que rota a baja velocidad y descargados al tanque de aceite y grasa residual, el cual es una unidad adicional del tratamiento primario del agua, donde se almacena la grasa y aceite residual, mientras que los sólidos pesados se asientan en el fondo rápidamente, donde un raspador los mueve al cono central para lodos y de allí son dirigidos al digestor por medio de una válvula.

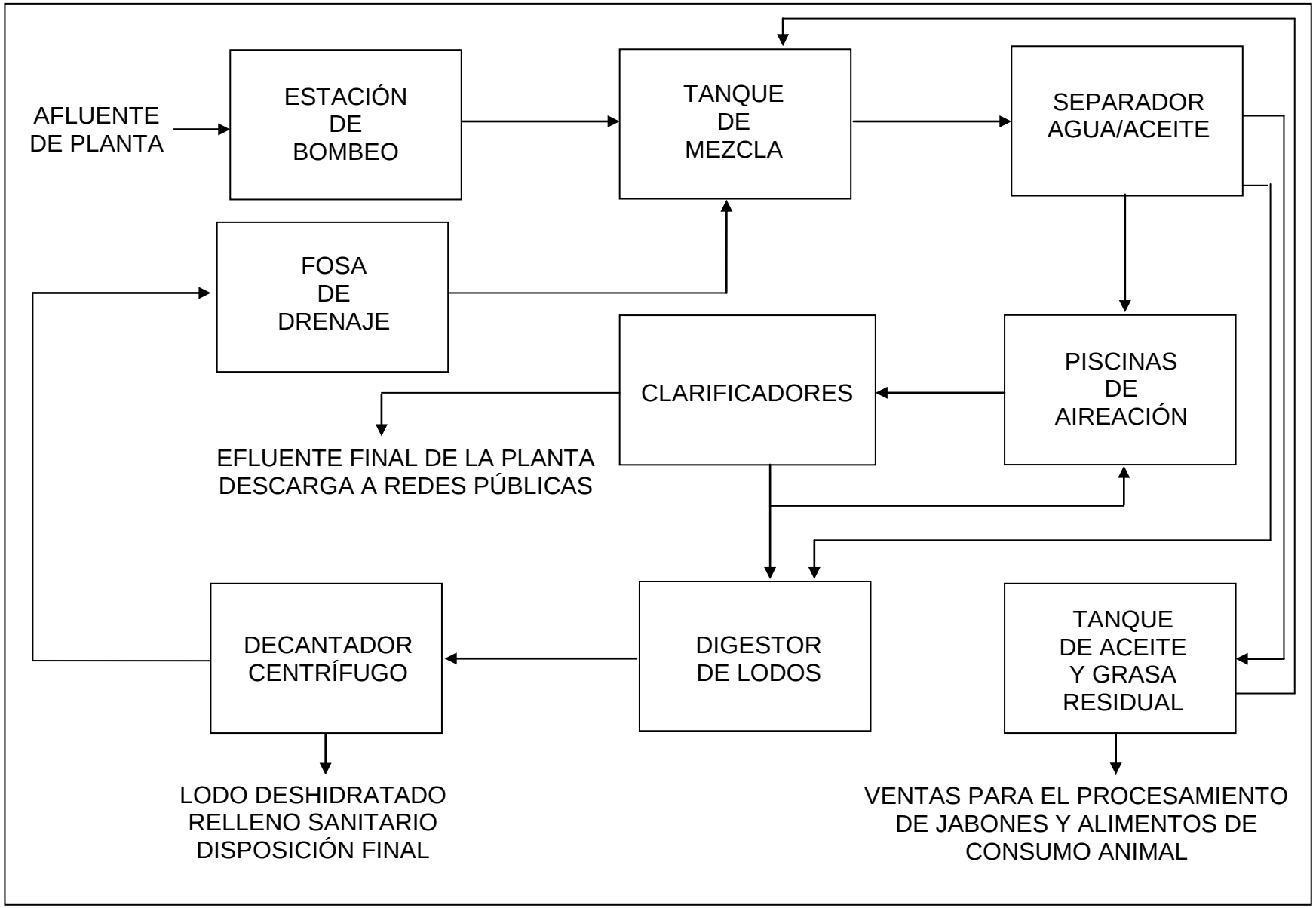


Figura 1.1- Diagrama de bloques del proceso de tratamiento de las aguas residuales de APC Planta Turmero.

Diariamente este tanque (tanque de aceite y grasa residual), es drenado para eliminar el agua acumulada que retorna al proceso (tanque mezcla). Cuando su capacidad volumétrica de llenado es superado un 80%, se despacha para su venta el cual es usado como materia prima en el procesamiento de jabones y alimentos para consumo animal. La frecuencia de vaciado del tanque es de 1 a 2 veces por semana.

El líquido residual pre-tratado, es enviado hacia el tratamiento biológico, es decir, los reactores biológicos o piscinas de aireación, y entra en contacto directo con los microorganismos de la biomasa de lodos activados, los cuales se mantienen en un ambiente aeróbico y de alta suspensión a través de la recirculación, mediante bombas, del licor mixto (agua residual + lodo) e inyección de aire a través de sopladores centrífugos de aire. El exceso de licor mixto que se produce, debido al ingreso continuo de líquido residual desde el separador agua-aceite, pasa a los clarificadores por nivel de agua en las piscinas.

Los clarificadores son sedimentadores secundarios que están ubicados en el centro de las piscinas y poseen forma cónica. Una vez que el licor mixto entra a la unidad, los lodos tienden a sedimentarse formando tres capas:

- Una superficial que conforma el efluente clarificado (agua ya tratada) que será descargada a cloacas públicas, y de allí irá a la Laguna de Taiguaiguay (parte de la cuenca del Lago de Valencia).
- Una intermedia o lodos de retorno formado por lodos en sedimentación, la cual es devuelta a las piscinas por medio de ascensores de aire.
- La del fondo o lodos de desecho, la cual es removida por ascensores de aire; una parte retorna a las piscinas y la otra es enviada al digestor para controlar el nivel de microorganismos necesarios que garantiza la eficiencia del proceso.

El digestor de lodos es un tanque donde los lodos provenientes de las piscinas y los sólidos del fondo del separador agua-aceite con alto contenido de nutrientes (pero no suficiente), se mezclan y se mantienen en condiciones aeróbicas por suministro

continuo de aire a través de sopladores y recirculándolo por medio de una bomba centrífuga. Los lodos biológicos después de un tiempo de permanencia (20 a 30 días) se estabilizan y reducen su masa por medio de la respiración endógena (auto destrucción de la masa microbiana por falta de nutrientes), y salen del digestor con un 98-99% de humedad hacia el decantador por control de nivel al introducir más influente de los reactores biológicos.

El lodo es enviado al decantador centrífugo para su deshidratación. En el trayecto que recorre el lodo por las tuberías, del digestor al decantador, se le inyecta floculante de forma continua. El decantador es una centrífuga horizontal que procesa $5m^3/h$ de lodo proveniente del digestor, operando 8horas/día. Es la última parte del proceso y es aquí donde se elimina el exceso de humedad del lodo, convirtiéndose éste en un sólido con valores de humedad mayores a 85% y poco manejables.

Dichos lodos, a pesar de que son compuestos orgánicos y no son tóxicos, los valores de humedad están sobre los límites establecidos en el comunicado del Ministerio del Poder Popular para el Ambiente (Apéndice B), donde indican que debe disminuirse el contenido de humedad de los lodos hasta un máximo de 85% para facilitar su manejo y evitar que la humedad de éstos produzcan lixiviados con los demás desechos del relleno sanitario, lo que está ocasionando su devolución.

Para disminuir la humedad de los lodos, el mismo se somete a un proceso de deshidratación mecánica facilitado por la adición de un polímero orgánico (al 0,1%) que permite la remoción de agua por adsorción y floculación de las partículas sólidas del lodo y además, por la fuerza centrífuga del equipo.

La corriente de agua clarificada que sale de la centrífuga va a la fosa húmeda y el lodo deshidratado a una tolva, para su posterior disposición en el relleno sanitario. En la fosa húmeda o fosa de drenaje, aguas de limpieza de la planta y de otras unidades de la planta de tratamiento. Estos líquidos residuales son devueltos al tanque mezcla para su tratamiento nuevamente en el sistema biológico (Acosta, 2010).

1.2) FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

En el tratamiento de aguas que lleva a cabo Alimentos Polar Comercial, CA. – Planta Turmero, usan polímeros biodegradables en la etapa de deshidratación de lodos, obteniéndose unos lodos con un fluctuante valor de humedad de aproximadamente (85±2)%, lo cual puede originar devoluciones de los desechos en los rellenos sanitarios, ya que no cumple con el valor de humedad (85%) requerida en la disposición final de acuerdo a lo establecido en el comunicado del Ministerio del Poder Popular para el Ambiente (Apéndice B). Por tanto es necesario plantear lo siguiente: ¿Es posible utilizar otros floculantes que mejoren el proceso de deshidratación de lodos para que cumplan con la disposición final de éstos? ¿Es rentable el cambio de floculantes y realmente se obtiene las características finales de lodos esperados? Es por ello que la empresa se ve en la necesidad de llevar a cabo un análisis de posibles alternativas para el mejoramiento de la deshidratación de lodos.

1.2.1 Situación Actual

El proceso de deshidratación de lodos necesita un estudio y análisis de nuevas posibilidades y alternativas de uso de polímeros floculantes, ya que los lodos que se obtienen no cumplen con las especificaciones de humedad necesarias para su disposición final en los rellenos sanitarios.

Los lodos no son tóxicos ni peligrosos, pero dichos lodos salen con humedades mayores o igual al 85%, siendo éste el porcentaje límite para su disposición final en los rellenos sanitarios de acuerdo al Ministerio del Poder Popular para el Ambiente. El lodo que va desde la salida del digestor de lodos hasta la centrífuga contiene entre 1-2% de materia seca y un 99-98% de humedad y el lodo una vez deshidratado (torta) a la salida de la centrífuga, es de aproximadamente 4000-5000kg/día, tiene un porcentaje de humedad de (85±2)%, de agua y un (15±2)% de materia seca o sólida. La misma contiene un aproximado de 95% de materia orgánica y un 5% de materia inorgánica (Cardozo, 2010). Esta situación trae como consecuencia que los lodos son devueltos a la empresa por no cumplir con las características y especificaciones finales establecidas por el Ministerio del Poder Popular para el Ambiente.

Los floculantes a emplearse para los análisis actualmente y generalmente son de tipo: catiónicos, de bajo, medio y alto peso molecular, polvo o emulsión, y dicho análisis se llevará a cabo con su respectiva evaluación de costos, disponibilidad y comparación de los diversos floculantes a disposición en el mercado.

1.2.2 Situación Deseada

Mejorar el proceso de la deshidratación de lodos del proceso de tratamientos de agua de la planta, buscando nuevas posibilidades y alternativas de floculantes que disminuya el porcentaje de humedad, y así, cumplir con las disposiciones finales de dichos lodos en los rellenos sanitarios, garantizando que el producto final cumpla con las características que establece el Ministerio del Poder Popular para el Ambiente y así disminuir la problemática del proceso de lixiviado que se genera por la alta humedad.

Además, se requiere de un análisis y estudio detallado de las diversas alternativas de floculantes que existen hoy en día, que se ajuste a las necesidades y condiciones exigidas al proceso, así como también que dichos floculantes sean técnicamente factibles, de bajos costos y que garanticen la calidad final deseada, para luego determinar la mejor dosis.

1.3) OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

Proponer alternativas de floculantes para la deshidratación de lodos biológicos de la planta de tratamiento de aguas residuales de Alimentos Polar Comercial, C.A – Planta Turmero.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Diagnosticar el proceso de deshidratación de lodos del tratamiento de aguas de la planta.
2. Establecer diversas alternativas de tipos de floculantes para disminuir la humedad de los lodos.

3. Evaluar técnicamente a nivel de laboratorio las diversas alternativas de tipos de floculantes.
4. Establecer una relación costo-beneficio de las alternativas de tipos de floculantes, tomando en cuenta la dosis óptima.
5. Seleccionar la alternativa más adecuada según los estudios técnicos y económicos realizados.

1.4) JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

Las propiedades y características que debe poseer los lodos obtenidos del tratamiento de aguas de las plantas industriales son de gran importancia con respecto al impacto ambiental, al ser llevados a los rellenos sanitarios; siendo esta investigación de gran importancia a nivel industrial, ya que aporta un mejoramiento del proceso y estudios de floculantes para cumplir con las disposiciones finales de dichos lodos, que afronta la empresa con las normas ambientales.

Los valores de humedad de los lodos, cercanos al límite (85%) establecido por el Ministerio del Poder Popular para el Ambiente (MPPA) genera pérdidas monetarias debido al transporte por el alto volumen de los lodos, además del porcentaje de humedad con el que llega al relleno sanitario por lo que dichos lodos son devueltos a la empresa al no cumplir con las disposiciones finales establecidos en los rellenos sanitarios, provocando consecuencias negativas al medio ambiente ya que pueden producir lixiviados con los demás desechos que se encuentran allí. Es por ello que se realiza el estudio de deshidratación de los lodos por medio de diversos floculantes, para disminuir el contenido de agua contenido en los lodos y mejorar el proceso, así de esta manera, cumplir con las exigencias establecidas por el Ministerio del Poder Popular para el Ambiente.

Además es de importancia el análisis, estudio detallado y comparación de las diversas alternativas de floculantes que existen hoy en día, de manera que éstos se ajusten a las necesidades, condiciones exigidas al proceso y que mejoren la deshidratación, así

como también que dichos floculantes sean técnicamente factibles, de bajos costos y que garanticen la calidad final deseada.

Entre las aplicaciones teóricas que presenta esta investigación, está el estudio y análisis de la mejora del proceso de deshidratación de lodos teniendo en cuenta que la cantidad de agua con el que se disponen (los lodos) al ser llevados al relleno sanitario debe ser mínimo para reducir los procesos de lixiviación, que al pasar los años, esa cantidad de agua al unirse con los residuos del relleno sanitario, se filtran a los mantos acuíferos provocando la contaminación del agua y los suelos; así como también la documentación del estudio y comparación de diversos floculantes para mejorar el proceso, y que disminuya los gastos, aportando nuevos progresos y mejoras para el tratamiento de aguas y cuidado del ambiente.

De esta investigación o estudio, puede generalizarse los resultados para situaciones semejantes que requieran de algún cambio y que mejoren el proceso; sirviendo así de reforzamiento de conocimientos adquiridos en el área de conservación ambiental y procesos de tratamiento del agua.

1.5) LIMITACIONES

La investigación se vio limitada por la disponibilidad y rentabilidad de los diversos floculantes existentes en el mercado, para hacer sus estudios respectivos, por lo que disminuye la repetición de pruebas para la toma de datos en el momento de realizar las comparaciones y selección del más adecuado para la mejora del proceso. Por otra parte, se dificultó el estudio por la confidencialidad de la empresa y escaza información proporcionada. Además de la disponibilidad de laboratorios que posean todos los equipos necesarios para llevar a cabo las diversas pruebas y evaluar las alternativas. Otro factor limitante importante fue el tiempo de ejecución del proyecto, ya que el mismo influenció para realizar las pruebas necesarias y el desarrollo de dicha investigación.

CAPÍTULO II

En este capítulo se presentan todas aquellas investigaciones, trabajos de grado y documentos que guardan relación con la presente investigación y sirven de base para el desarrollo de la misma. De igual forma se presenta información teórica necesaria, para el desarrollo de cada uno de los objetivos en el trabajo especial de grado.

II. ANTECEDENTES Y MARCO TEORICO

2.1) ANTECEDENTES

En esta sección se mostrará todos los trabajos especiales de grado, revistas, publicaciones y/o investigaciones consultadas que tienen relación con los objetivos planteados y el problema presentado en la empresa, especificándose su propósito de investigación y conclusiones más relevantes.

2.1.1. Ferreira, S. (1997) analiza el pre-acondicionamiento de lodos de plantas de tratamientos de agua observando su densificación por gravedad. El objetivo de este artículo es investigar las características del pre-acondicionamiento de lodos de una planta de tratamiento de aguas observando su posterior densificación por gravedad y deshidratación.

Como conclusión se obtuvo que la escogencia del polímero más adecuado para fines de densificación es algo extremadamente específico, teniendo que su selección y dosis está basado en ensayos experimentales. A mayor dosis de polímero se obtuvo mayor velocidad de sedimentación de lodo, además de que los polímeros no se comportan igual en los lodos ya que dependen de sus características físico-químicas.

2.1.2. Bengoechea, J. (1998) investiga sobre el espesamiento y deshidratación parcial de lodos municipales e industriales. Este documento explica con detalles los mecanismos de funcionamiento de los espesadores y filtros prensa de banda continua para aplicaciones en plantas de tratamiento de aguas residuales, en plantas de agua potable, y plantas de tratamiento de aguas industriales. Los polímeros, ya sean secos o

líquidos, se preparan en soluciones de baja concentración para dispersarlos eficientemente, y luego se llevan al sistema de mezcla para posteriormente añadirlos al filtro a evaluar siguiendo la metodología respectiva para cada uno de ellos.

Como resultado se obtuvo que los espesadores y filtros prensa de banda continua deben ser considerados cuando hay aplicaciones de separación de sólidos y líquidos ya que podrían proporcionar la alternativa más eficiente para el reducir los volúmenes de los lodos en un 85-95% del proyecto en consideración.

2.1.3. Sánchez, L., Sandoval, L., Piña, M. y Montellano, L. (1999) estudia la evaluación en la resistencia específica a la filtración y porcentaje de humedad en la deshidratabilidad de lodos de plantas potabilizadoras. En esta investigación se trabajó con dos parámetros: resistencia específica a la filtración (REF) y porcentaje de humedad (% H). Estos parámetros se evaluaron en lodos provenientes de diferentes tratamientos en donde se obtienen las siguientes muestras: lodo homogéneo espesado (LHE); en este tratamiento se utilizaron tres polímeros (aniónico, catiónico y no iónico), lodo homogéneo espesado acondicionado (LHEA) y lodo homogéneo espesado acidificado acondicionado (LHEAA), con la finalidad de seleccionar un tratamiento previo antes de deshidratar el lodo.

El tratamiento incluye el estudio y la adición del polímero no iónico y ácido sulfúrico para mejorar las características de deshidratabilidad del lodo por filtración y evaporación. De los tres polímeros analizados, el no iónico fue el que proporcionó las menores resistencias específicas de filtración, menor tiempo de filtración, proporcionó las mayores velocidades de evaporación en un lodo acondicionado y acidificado, por lo que se considera como el polímero más adecuado a utilizar en el tratamiento de los lodos.

2.1.4. Ramírez, R., Durán, A., Martínez, A. y Orta, M. (2000) analiza el proceso de coagulación-floculación para el tratamiento de aguas residuales: desarrollo y utilización de nuevos compuestos para la reducción de lodos. El interés en esta investigación se

centró en evaluar la eficiencia de tratamiento obtenida con nuevos productos de coagulación-floculación comparada con la obtenida con productos comerciales de probada efectividad. El proceso de coagulación-floculación se realizó a nivel de prueba de jarras, según la técnica estipulada en la metodología.

De acuerdo a modelos matemáticos de remoción de parámetros fisicoquímicos, el mejor coagulante y floculante fueron respectivamente PAX XL60 y el 2PNOD2R a pH de 6,0 con una dosis de 20mg/L y 0,1mg/L. Con estos compuestos se obtienen eficiencias para SST del 88 %, color del 92 %, turbidez del 98% y DQO del 82 % y con un costo de 0,11 $/$m^3$ de agua tratada.

2.1.5. Escobar, J. (2002) realiza su investigación con respecto a una selección de la dosis óptima de polímero para el acondicionamiento y deshidratación de lodos de plantas de agua potable mediante centrífugas de laboratorio. En este trabajo fue evaluado un procedimiento empleándose una centrífuga de laboratorio para la optimización de la dosis de polímero utilizado en el acondicionamiento de lodos antes de su deshidratación en centrífugas de eje horizontal para tres tipos de lodo. Los ensayos fueron realizados con tres tipos de lodos, dos de los cuales fueron obtenidos de ensayos de clarificación de agua de lavado de filtros en el laboratorio en pruebas de jarras, y en el ensayo de resistencia específica se utilizó la metodología de filtración al vacío.

De modo general, los resultados de los ensayos de centrifugación en escala de laboratorio, mostraron que el método aplicado ayuda en la determinación de la dosis apropiada a ser usada en la centrífuga a escala real. Sin embargo, debido a los cambios que pueden ocurrir diariamente en las características del lodo, es recomendable realizar siempre los ensayos para ajustar las dosis de operación en las centrífugas a escala real.

2.1.6. Gallo, J. y Uribe, J. (2003) estudia la reutilización de lodos de planta de potabilización en el tratamiento de aguas residuales. En este trabajo, se estudia el

efecto de la aplicación de lodos de plantas de potabilización como ayudante en el proceso de floculación, para disminuir la demanda de coagulante primario y evitar el lixiviado en el relleno sanitario. La experimentación se realiza en un equipo para ensayo de jarras.

Los resultados demostraron que la aplicación de lodos de sedimentación provenientes del proceso de coagulación-floculación de plantas potabilización, contribuye a la remoción de turbidez y de color obtenido en las aguas residuales, y que esta adición reduce significativamente la dosis de coagulante primario necesario, con la correspondiente disminución en los gastos del tratamiento de lixiviados.

2.1.7. Carrasco, C. (2007) estudia el tratamiento físico-químico de aguas residuales. En este estudio, se evaluó la factibilidad de alcanzar mediante el tratamiento físico químico de aguas servidas los límites de concentración de contaminantes en la descarga de efluentes impuestos por el DECRETO SUPREMO Nº90/2000 de la normativa vigente para prevenir la contaminación de aguas en Chile. Para esto se analizaron los siguientes contaminantes: DBO_5, sólidos suspendidos totales (SST), nitrógeno kjeldahl total (NKT) y fósforo total (P). Se desarrollaron experiencias de prueba de jarras para la determinación de dosis óptima de coagulante y para caracterizar los lodos generados.

Los resultados de las experiencias de laboratorio arrojaron que el tratamiento físico químico remueve aproximadamente un 50% de DBO_5, un 80% de SST, un 30% de NKT y más de un 80% de P. Respecto a los lodos generados, éstos tienen un volumen que crece con la dosis de coagulante utilizada y la concentración de sólidos totales en lodos es baja comparada con lodos generados en otros sistemas de tratamiento. Considerando las características de las aguas servidas utilizadas en las pruebas, el tratamiento físico químico cumple con los límites de concentración impuestos por el Decreto Supremo Nº90/2000 para los contaminantes analizados cuando el cuerpo receptor cuente con capacidad de dilución.

2.1.8. Laines, J., Goñi, J., Adams, R., y Chiu, W. (2008) realizan el estudio de mezclas con potencial coagulante para tratamiento de lixiviados de un relleno sanitario. En el manejo de residuos sólidos una alternativa es el relleno sanitario, la cual es un problema debido a que el lixiviado generado representa un riesgo de contaminación de agua y suelo. Por lo que en esta investigación se determinó el potencial de coagulación-floculación de mezclas con proporciones variables de almidón de plátano, sulfato de aluminio y arcillas (LASA 55; LASA 73; LASAB 23530 y LASAR 23530). Para evaluar la efectividad se corrieron pruebas de coagulación con sulfato de aluminio y cloruro férrico. El lixiviado fue pre-tratado y se desarrollaron pruebas de jarras, midiendo turbidez, color, demanda química de oxígeno (DQO), pH, sólidos suspendidos totales (SST) y conductividad.

Entre los resultados más relevantes se tiene que la mayor remoción de color se obtuvo con cloruro férrico, seguidas por LASA 55 y sulfato de aluminio, LASAB 23530 y LASA 73, siendo LASAR 23530 la menor. Las mezclas basadas en almidón más sulfato de aluminio tuvieron un bajo nivel de remoción de DQO; a diferencia de LASAR, los coagulantes convencionales presentaron mejor remoción. En cuanto a los SST y conductividad, se obtuvo una correlación muy similar entre ambas. Los resultados permitieron establecer la factibilidad de aplicar mezclas con propiedades coagulantes para el tratamiento de lixiviados o para pruebas futuras en el tratamiento de aguas residuales industriales o municipales.

2.2) MARCO TEÓRICO

2.2.1 Aguas residuales

Toda la comunidad genera residuos tanto sólidos como líquidos. La fracción líquida de los mismos –aguas residuales– es esencialmente el agua de que se desprende la comunidad una vez ha sido contaminada durante diferentes usos para lo cual ha sido empleada. Desde el punto de vista de las fuentes de generación, podemos definir el agua residual como la combinación de los residuos líquidos, o aguas portadoras de residuos, procedentes tanto de residencias como de instituciones públicas y establecimientos industrias y comerciales, a los que pueden agregarse, eventualmente, aguas subterráneas, superficiales y pluviales.

Las aguas residuales son materiales derivados de residuos domésticos o de procesos industriales, los cuales por razones de salud pública y por consideraciones de recreación económica y estética, no pueden desecharse vertiéndolas sin tratamiento en lagos o corrientes convencionales. Los materiales inorgánicos como la arcilla, sedimentos y otros residuos se pueden eliminar por métodos mecánicos y químicos; sin embargo, si el material que debe ser eliminado es de naturaleza orgánica, el tratamiento implica usualmente actividades de microorganismos que oxidan y convierten la materia orgánica en CO_2, es por esto que los tratamientos de las aguas de desecho son procesos en los cuales los microorganismos juegan papeles cruciales.

Esas aguas residuales, antes de ser vertidas en las masas receptoras, deben recibir un tratamiento adecuado, capaz de modificar sus condiciones físicas, químicas y microbiológicas, al límite de evitar que su disposición provoque los problemas enunciados de polución y de contaminación de las aguas de recibimiento (Metcalf & Eddy, 2000).

El objetivo del tratamiento es producir agua limpia (o efluente tratado) o reutilizable en el ambiente y un residuo sólido o fango (también llamado lodo) convenientes para su

disposición o reúso. Es muy común llamarlo depuración de aguas residuales para distinguirlo del tratamiento de aguas potables (Mijares, 1978).

El lodo extraído y producido en las operaciones y procesos de tratamiento de las aguas residuales suele ser un líquido o liquido-semisólido. El lodo está formado principalmente por las sustancias responsables del carácter desagradable de las aguas residuales no tratadas. La fracción de lodo a evacuar, generada en el tratamiento biológico del agua residual, está compuesta principalmente de materia orgánica, y solo una pequeña parte del lodo está compuesta por materia sólida. Los principales métodos empleados para el tratamiento y eliminación de humedad de los lodos son: espesamiento, acondicionamiento, deshidratación y secado del lodo (Metcalf & Eddy, 2000).

2.2.2 Constituyentes de las aguas residuales

Las aguas residuales se caracterizan por su composición física, química y biológica. La tabla 2.1 muestra las principales propiedades físicas del agua residual así como sus principales constituyentes químicos y biológicos, y su procedencia.

2.2.3 Clasificación del sistema de tratamiento de aguas residuales

Los tratamientos de aguas residuales han sido clasificados en sistemas preliminares, primarios, secundarios y terciarios. Los mismos, se presentan a continuación:

- **Tratamiento preliminar o pre-tratamiento**

Se define como el proceso de eliminación de los constituyentes de las aguas residuales cuya presencia pueda provocar problemas de mantenimiento y funcionamiento de los diferentes procesos, operaciones y sistemas auxiliares en las etapas siguientes del pre-tratamiento, los cuales pueden ser obstrucción de tuberías, dañar equipos electromecánicos y causar depósitos permanentes en los tanques. Sirven también para minimizar algunos efectos negativos al tratamiento como grandes variaciones de caudal y de composición y la presencia de materiales flotantes como aceites, grasas y otros.

TABLA 2.1

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS Y BIOLÓGICAS DEL AGUA RESIDUAL Y SUS PROCEDENCIAS

Propiedad	Características	Procedencia
Propiedades físicas	Color	Aguas residuales domésticas e industriales.
	Olor	Agua residual en descomposición, residuos industriales.
	Sólidos	Agua de suministro, aguas residuales domésticas e industriales, erosión del suelo, infiltración y conexiones incontroladas.
	Temperatura	Aguas residuales domésticas e industriales
Constituyentes químicos orgánicos	Carbohidratos	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales.
	Grasas animales, aceites y grasa	
	Pesticidas	Residuos agrícolas.
Constituyentes químicos orgánicos	Fenoles	Vertidos industriales.
	Proteínas	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales.
	Contaminantes prioritarios	
	Agentes tensoactivos	
	Compuestos orgánicos volátiles	
	Otros	Degradación natural de materia orgánica
Constituyentes químicos inorgánicos	Alcalinidad	Aguas residuales domésticas, agua de suministro, infiltración de agua subterránea.
	Cloruros	
	Metales pesados	Vertidos industriales.
	Nitrógeno	Residuos agrícolas y aguas residuales domésticas.
	pH	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales
	Contaminantes prioritarios	
	Fósforo	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales, aguas de escorrentía.
	Azufre	Agua de suministro; aguas residuales domésticas, comerciales e industriales.
Gases	Sulfuro de hidrógeno	Descomposición de residuos domésticos.
	Metano	
	Oxígeno	Agua de suministro, infiltración de agua superficial.
Constituyentes biológicos	Animales	Curso de agua y plantas de tratamiento.
	Plantas	
	Protistas: Eubacterias	Agua residuales domésticas, infiltración de agua superficial, plantas de tratamiento.
	Protistas: Arqueobacterias	
	Virus	Agua residuales domésticas.

Fuente: Metcalf & Eddy, 2000

Las unidades de tratamiento preliminar o pre-tratamiento más importantes son:

- Rejas o desbaste: para la eliminación de sólidos gruesos.
- Desmenuzadores: para la disminución del tamaño de algunos sólidos muy gruesos.
- Desengrasadores o flotación: para la eliminación de grasas y aceites.
- Desarenadores: para la eliminación de la materia en suspensión gruesa que pueda causar obstrucciones en los equipos y desgaste excesivo de los mismos.

- **Tratamiento primario**

Consiste en la remoción de los sólidos orgánicos sedimentables que transporta el agua. En el tratamiento primario se elimina una fracción de los sólidos en suspensión y de la materia orgánica del agua residual. Esta eliminación suele llevarse a cabo mediante operaciones físicas tales como el tamizado y la sedimentación. El objetivo del tratamiento primario, es disminuir la carga orgánica del agua a través de procesos físicos, acondicionándola para el tratamiento secundario.

- **Tratamiento secundario**

El tratamiento secundario de las aguas residuales está principalmente encaminado a la eliminación de los sólidos en suspensión y de los compuestos orgánicos biodegradables. Este tipo de tratamiento es usado cuando se desea conseguir un grado de depuración superior al obtenido por medio del tratamiento primario. El tratamiento secundario es básico un proceso “biológico aeróbico” que consiste en transformar la materia orgánica en compuestos más estables mediante la oxidación de ésta. Consiste en la remoción de la carga orgánica, a través de la acción de bacterias, las cuales se alimentan de la materia orgánica que contiene el agua. El objetivo del tratamiento secundario, es reducir el contenido orgánico del agua.

Entre los principales métodos de tratamiento secundario se incluye el tratamiento biológico con fangos activados, reactores de lecho fijo, los sistemas de lagunaje y la sedimentación. El tratamiento secundario, tiene que ser complementado con una unidad de sedimentación secundaria, para remover los lodos generados durante el proceso (Metcalf & Eddy, 2000).

❖ **Tratamiento terciario o avanzado**

Consiste en procesos físico-químicos o biológicos, con los que se persigue el refinamiento de la calidad del agua que será descargada al cuerpo receptor, acondicionándola para su reúso. El tratamiento terciario lleva a cabo una serie de procesos destinados a conseguir una calidad del efluente a la del tratamiento secundario convencional. Se instalan unidades de tratamiento terciario para lograr alguno o más de los siguientes objetivos (Ramalho, 2003):

- Remoción de sólidos en suspensión, a través de micro-cribado, clarificación química, filtración, coagulación-floculación, etc.
- Remoción de complejos orgánicos disueltos, a través de adsorción, oxidación química, etc.
- Remoción de compuestos inorgánicos disueltos, a través de destilación, ósmosis inversa, electrodiálisis, intercambio iónico, precipitación química, etc.
- Remoción de nutrientes, a través de procesos de nitrificación, des-nitrificación, gasificación del amoniaco, desfofatación, asimilación biológica, etc.

Hay sólidos o partículas muy finas denominadas coloides que presentan una gran estabilidad en agua. Constituyen una parte importante de la contaminación, causa principal de la turbidez del agua. Debido a la gran estabilidad que presentan, resulta imposible separarlas por decantación o flotación. Tampoco es posible separarlas por filtración porque pasarían a través de cualquier filtro.

La causa de esta estabilidad es que estas partículas presentan cargas superficiales electrostáticas del mismo signo, que hace que existan fuerzas de repulsión entre ellas y les impida aglomerarse para sedimentar. Estas cargas son, en general, negativas, aunque los hidróxidos de hierro y aluminio suelen tener cargas positivas.

El tratamiento físico químico del agua residual tiene como finalidad mediante la adición de ciertos productos químicos la alteración del estado físico de estas sustancias que permanecerían por tiempo indefinido de forma estable para convertirlas en partículas

susceptibles de separación por sedimentación. Para romper la estabilidad de las partículas coloidales y poderlas separar, es necesario realizar: coagulación – floculación (Restrepo, 1999).

2.2.4 Coagulación- Floculación

Las operaciones de coagulación y floculación desestabilizan los coloides y consiguen su sedimentación. Esto se logra por lo general con la adición de agentes químicos y aplicando energía de mezclado.

Hay que distinguir dos aspectos fundamentales en la coagulación-floculación del agua:

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

Al primer aspecto se suele referir como coagulación y al segundo como floculación. (Arboleda, 2000).

La coagulación consiste en desestabilizar los coloides por neutralización de sus cargas, dando lugar a la formación de un floculo o precipitado; comienza en el mismo instante en que se agregan los coagulantes al agua y dura solamente fracciones de segundo.

Los coloides presentes en líquidos domésticos y despojos industriales son principalmente hidrófilos, es decir, coloides protegidos por una gran afinidad con el agua y mucho más resistentes a la coagulación que los colides hidrófobos (Mijares, 1978).

La coagulación de las partículas coloidales se consigue añadiéndole al agua un producto químico (electrolito) llamado coagulante. Normalmente se utilizan las sales de

hierro y aluminio. La selección del tipo de coagulante está basado en la desestabilización de la partícula (Weber, 1979).

Los coloides constituyen una parte importante de la contaminación, causa principal de la turbidez. Todo tratamiento impone un previo cambio de estado, que permita que las partículas se aglomeren y formen corpúsculos de mayor tamaño, fáciles de eliminar. Este engrosamiento no se produce de forma natural, puesto que existen fuerzas cuya acción es específica de una suspensión coloidal, que la mantiene en estado disperso a lo largo del tiempo, ya que cada partícula se encuentra estabilizada por sus cargas negativas sobre su superficie haciendo que se repelen mutuamente (Kemmer y McCallion, 1993); y puesto que la mayoría de los coloides en el agua se encuentran siempre cargados negativamente, proporciona que en la aguas residuales frecuentemente tengan superficies eléctricamente cargadas, y el signo es usualmente negativo (Degremont, 1979),

Los coagulantes cancelan las cargas eléctricas sobre la superficie del coloide permitiendo la aglomeración y la formación de flóculos. Estos flóculos inicialmente son pequeños, pero se juntan y forman aglomerados mayores capaces de sedimentar. Para favorecer la formación de aglomerados de mayor tamaño se adicionan un grupo de productos denominados floculantes. Cuando se aproximan dos partículas semejantes, sus capas difusas interactúan y generan una fuerza de repulsión, cuyo potencial de repulsión está en función de la distancia que los separa y cae rápidamente con el incremento de iones de carga opuesta al de las partículas, como se observa en la figura 2.1.

En algunos casos, el agua contiene constituyentes capaces de flocular por simple agitación y adición de solo floculante; otras veces, es necesario utilizar un coagulante que dé origen a un precipitado que pueda flocularse a continuación (Degremont, 1979).

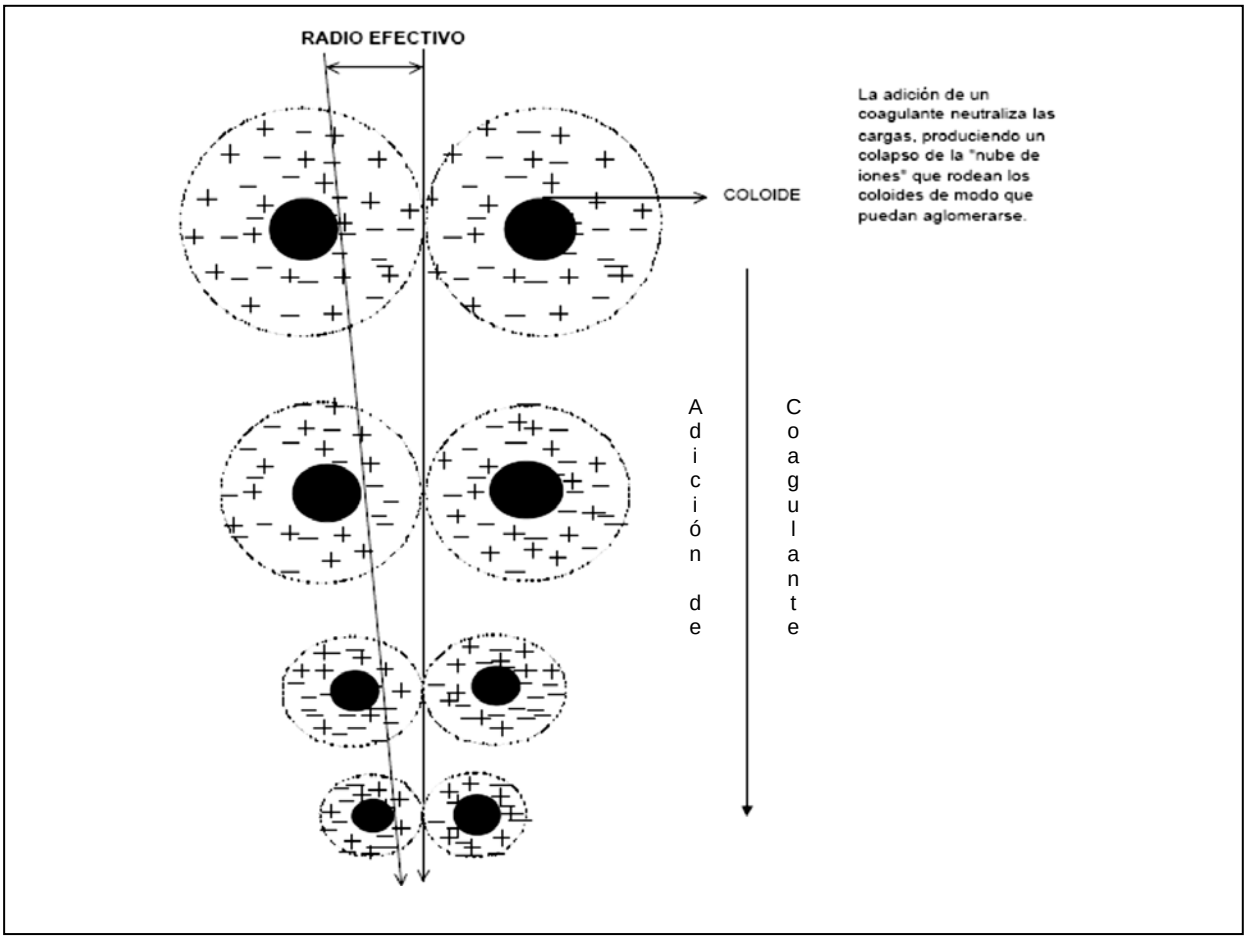


Figura 2.1- Desestabilización del coloide y compresión de la capa difusa.
Fuente: Monteagudo, 2011.

La floculación aglutina los flóculos ya formados con el fin aumentar su volumen y peso de forma que pueden decantar. Consiste en la captación mecánica de las partículas neutralizadas dando lugar a un entramado de sólidos o coágulos de mayor tamaño. De esta forma, se consigue un aumento considerable del tamaño y la densidad de las partículas coaguladas, aumentando por tanto la velocidad de sedimentación de los flóculos. (Arboleda, 2000).

Esto se logra, añadiendo floculantes químicos. El producto químico floculante añadido tiende un puente entre las partículas coloidales aglomeradas para formar flóculos más grandes fácilmente asentables, como se muestra en la figura 2.2.

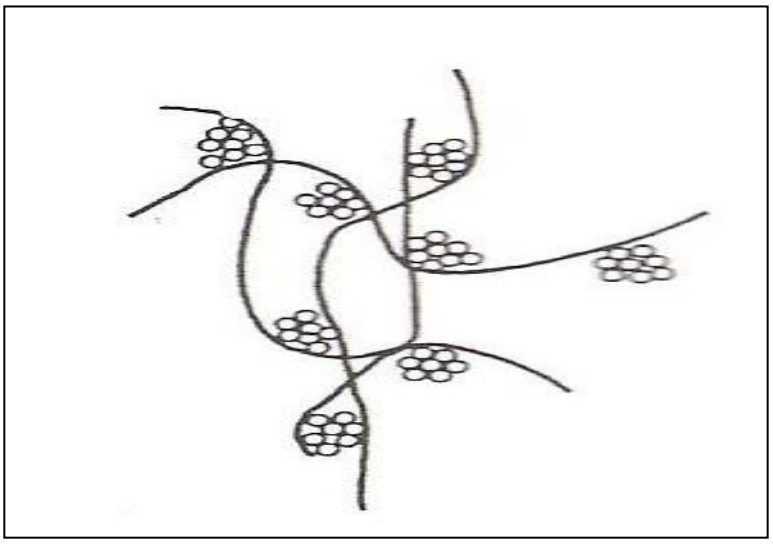


Figura 2.2- Puente entre las partículas coloides aglomeradas.

Fuente: Kemmer y McCallion, 1993.

Existen dos mecanismos por los que las partículas entran en contacto:

- ✓ Por el propio movimiento de las partículas (difusión browniana). En este caso se habla de floculación pericinética o por convección natural y se caracteriza por ser muy lenta.
- ✓ Por el movimiento del fluido que contiene a las partículas, que induce a un movimiento de éstas. Esto se consigue mediante agitación de la mezcla. A este mecanismo se le denomina floculación ortocinética o por convección forzada.

Por otra parte los floculantes pueden ser según su naturaleza, minerales y orgánicos:

- ✓ Minerales: por ejemplo la sílice activada. Este floculante es capaz de asociarse a las sales de aluminio. Se utiliza sobre todo en el tratamiento de agua potable.
- ✓ Orgánicos: son macromoléculas de cadena larga y alto peso molecular, de origen natural o sintético.

Los floculantes orgánicos de origen natural se obtienen a partir de productos naturales como alginatos (extractos de algas), almidones (extractos de granos vegetales) y derivados de la celulosa. Son los que se producen en las reacciones bioquímicas naturales de animales y plantas, tales como proteínas, carbohidratos y polisacáridos. Su eficacia es relativamente pequeña, los que han dado mejor rendimiento y vale la

pena considerarlos para su uso en plantas de tratamiento son: los compuestos algínicos, los derivados de la tuna o nopal y los almidones. Una de las ventajas de los polielectrolitos naturales es su baja toxicidad pues en muchos casos son empleados como alimentos o aditivos alimenticios.

Los floculantes de origen sintético, son macromoléculas de cadena larga, solubles en agua, conseguidas por asociación de monómeros simples sintéticos, alguno de los cuales poseen cargas eléctricas o grupos ionizables por lo que se le denominan polielectrolitos (Arboleda, 2000).

2.2.5 Etapa de Floculación

Debido al movimiento relativo de las partículas coaguladas, éstas chocan entre sí, formando aglomeraciones más grandes, conocidas como floc, que pueden apreciarse a simple vista.

La agitación en esta etapa no debe ser demasiado fuerte, pues podría llegar a romper los flóculos formados, que ya no volverían a unirse, dispersándolos y haciendo más lenta su sedimentación, produciendo una baja calidad del efluente. La agitación lenta promueve un mezclado apropiado para que el choque entre aglomeraciones y/o partículas produzcan flóculos (grumos de materia orgánica formados por agregación de sólidos en suspensión) cada vez más grandes, y de buen peso para una rápida sedimentación.

Las variables más importantes en el proceso de floculación, por ser las más fácilmente controlables, son la dosis de coagulante (o de floculante), la intensidad con que la suspensión es agitada en el tanque de floculación, y el tiempo de floculación. Una buena floculación depende sustancialmente de una buena coagulación, y por ello, se puede decir que la floculación es sensible a las características físico-químicas del agua cruda, tales como la alcalinidad, el pH, la turbidez, etc. Además, algunos iones pueden influir en el equilibrio físico-químico del sistema, en la generación de cadenas

poliméricas de los hidróxidos que se forman, o en la interacción de estos polímeros con las partículas coloidales, afectando el tiempo de floculación.

La concentración y la naturaleza de las partículas que producen la turbidez también tienen una notable influencia en el proceso de floculación, puesto que, la velocidad de formación de los flóculos es proporcional a la concentración de partículas. Por regla general, es más fácil flocular aguas con elevada turbidez y que presenten una amplia distribución de tamaños de partículas (Restrepo, 1999).

La capacidad de un polímero para actuar como floculante depende de su afinidad para enlazarse a la superficie de las partículas coloidales. Como resultado, en muchos casos estos materiales son bastantes específicos. Los enlaces pueden ser formados entre grupos funcionales particulares del polímero y lugares específicos de la superficie coloidal. Algunos otros parámetros importantes que afectan el rendimiento de un determinado polímero son su peso molecular y el grado de ramificación. Las características de la solución pueden ser importantes; en particular, el pH del sistema puede afectar a la carga del polielectrolito (Weber, 1979).

Para una desestabilización eficaz, la molécula polimérica debe contener grupos químicos que pueden interaccionar con los lugares de la superficie de la partícula coloidal. Cuando una molécula polimérica se pone en contacto con una partícula coloidal, algunos de estos grupos se adsorben en la superficie de la partícula dejando el resto de la molécula prolongada hacia la solución (Situación 1 en la figura 2.3). Si una segunda partícula con algunos lugares de adsorción vacantes se pone en contacto con estos segmentos prolongados, puede ocurrir una fijación (Situación 2 en la figura 2.3). De este modo se fija un complejo partícula-polímero-partícula en el cual el polímero sirve de puente. Si una segunda partícula está disponible, con el tiempo, los segmentos prolongados pueden adsorberse eventualmente en otros lugares de la partícula original, de tal forma que el polímero ya no es capaz de servir como puente (Situación 3 en la figura 2.3). Si se añade polímero en exceso la partícula es envuelta y no quedan lugares vacantes (Situación 4 en la figura 2.3). En el caso de que ocurra una agitación

prolongada, esto producirá una ruptura de los flóculos (Situación 5 en la figura 2.3). Adicionalmente, puede ocurrir una adsorción secundaria de polímero (Situación 6 en la figura 2.3).

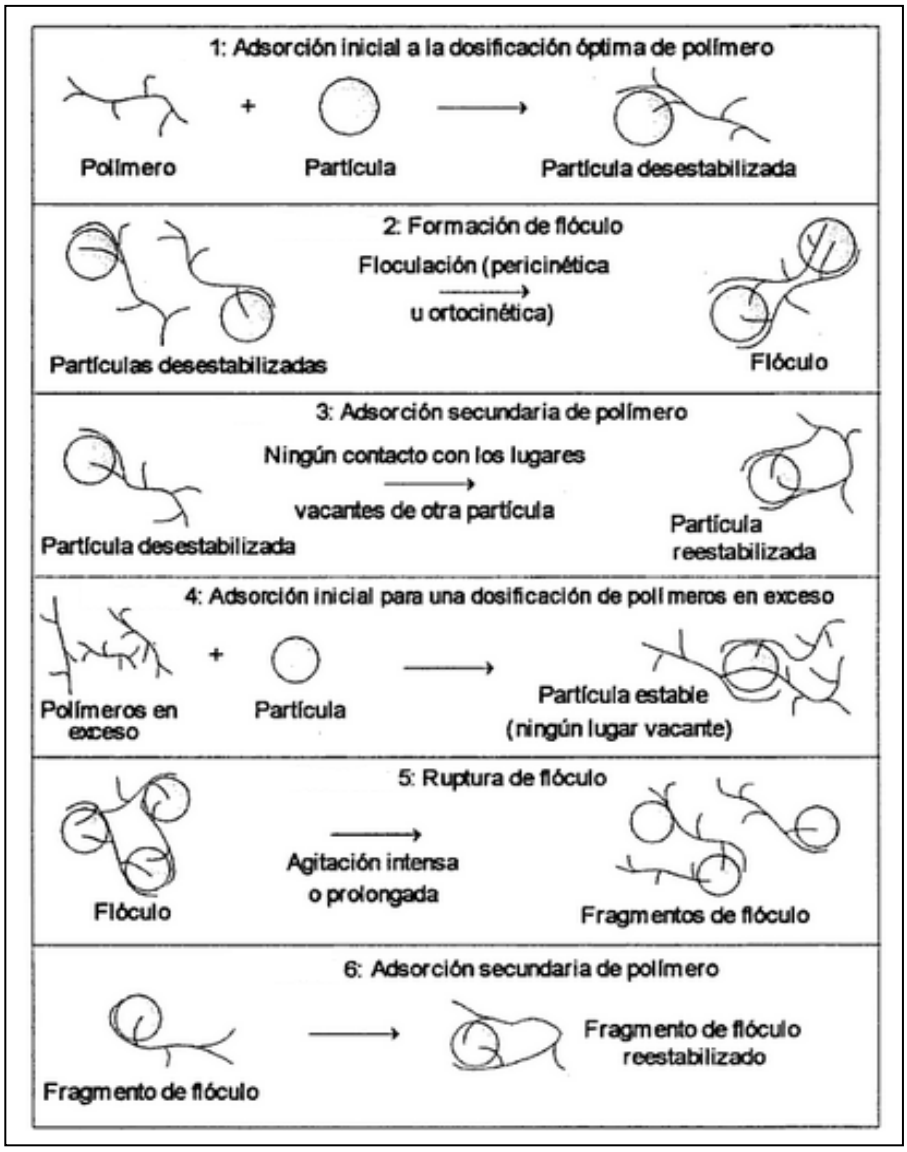


Figura 2.3- Representación esquemática de un modelo de enlace de puente para la desestabilización de coloides por polímeros.

Fuente: Weber, 1979.

Los coagulantes metálicos, como las sales de aluminio y hierro, actúan a la vez como floculantes, formando lodos voluminosos que enredan y atrapan partículas coloidales desestabilizadas.

Las etapas de coagulación y floculación preparan y acondicionan las partículas que trae el agua para que sedimenten en un tiempo razonable, mucho menor del que necesitarían si se las dejase sedimentar naturalmente, por lo que es necesario la adición de polímeros (Restrepo, 1999).

2.2.6 Polímeros

Se basan en monómeros o pequeñas subunidades que se repiten muchas veces a lo largo de sus cadenas, formando variadas estructuras químicas que poseen muchas ramificaciones, en las cuales tienen innumerables “sitios activos”, que son los lugares en los cuales se adhieren las partículas (Restrepo, 1999).

Muchos polímeros contienen solamente un tipo de monómero, otros contienen dos o tres tipos de subunidades diferentes. El número total de subunidades de un polímero sintético puede variar, produciéndose materiales de diferentes peso molecular Presentan la gran ventaja de que, cuando las partículas no pueden acercarse entre sí debido a las fuerzas de repulsión que generan sus cargas, las largas ramificaciones del polímero las atrapan, de manera que se produce la floculación en condiciones en las cuales esta no hubiera sido posible sin el uso del polímero. (Weber, 1979).

De acuerdo a las características físicas, los polímeros pueden ser: seco o polvo y líquido o emulsión. Los polímeros en polvo se caracterizan por ser 100% activos, en cambio los floculantes líquidos son emulsiones con un 30-40% de activo, por lo que la actividad polimérica de un sólido es mayor y presenta una mejor interacción con las partículas. Los polímeros se usan en soluciones diluidas, para asegurar su buena mezcla, y en dosificaciones muy pequeñas. La razón de la baja dosificación de polímero es que en sus largas ramificaciones existen enormes cantidades de sitios activos en los cuales puede atrapar partículas, coágulos o floc. Las dosis excesivas de polímeros también producen dispersión de partículas y enturbiamiento del agua.

Otra ventaja adicional del polímero es que son poco afectados por el pH del sistema, y a su vez, no producen variación en el pH del agua. El floc que produce el polímero es

menos voluminoso, y por tanto, más denso, de mayor velocidad de sedimentación, y más fácilmente desecable (Restrepo, 1999).

De acuerdo con su carga, un polímero puede tener o no carga eléctrica. Los que no la tienen se llaman no iónicos, los que la tienen pueden ser catiónicos (carga positiva) o aniónicos (carga negativa) y, debido a la multiplicidad de grupos iónico presentes en las cadenas poliméricas, reciben el nombre de polielectrolitos. Se distinguen:

- ✓ Polielectrolitos no iónicos: son poliacrilamidas de masa molecular comprendida entre 1 y 30 millones.
- ✓ Polielectrolitos aniónicos: Poseen una relativa larga cadena disponible, que, independientemente de su peso molecular, los hacen más efectivos como agentes de “puente químico” que permite la formación rápida y de más largos flóculos. Caracterizados por tener grupos ionizados negativamente (grupos carboxílicos).
- ✓ Polielectrolitos catiónicos: que también poseen cadenas extendidas como los aniónicos, poseen generalmente pesos moleculares menores. Son utilizados más frecuentemente para la neutralización de las partículas suspendidas cargadas negativamente. El tamaño de estas partículas es la que generalmente determina la escogencia del polímero a ser utilizado. El rango de aplicación de estos polímeros suele estar entre valores de pH de 4 a 8, con pérdida de eficacia fuera de este intervalo, y caracterizados por tener cargas positivas debida a la presencia de grupos amino (Aguilar, Sáez, Soler, Llórens y Ortuño, 2002).

En general, la acción de los polielectrolitos puede dividirse en tres categorías:

1. En la primera, los polielectrolitos actúan como coagulantes rebajando la carga de las partículas. Puesto que las partículas del agua residual están cargadas negativamente, se utilizan a tal fin los polielectrolitos catiónicos.
2. La segunda forma de acción de los polielectrolitos es la formación de puentes entre las partículas. El puente se forma entre las partículas que son adsorbidas por un mismo polímero, las cuales se entrelazan entre sí provocando su crecimiento.
3. La tercera forma de actuar se clasifica como una acción de coagulación-formación de puentes, que resulta al utilizar polielectrolitos catiónicos de alto peso molecular.

Además de disminuir la carga, estos polielectrolitos formarán también puentes entre las partículas (Restrepo, 1999).

Algunas de las características de los diversos polielectrolitos son:

- Los polielectrolitos usados en unión de coagulantes metálicos comunes, producen un floc que sedimenta rápidamente.
- Con ciertas aguas, la dosificación de polielectrolitos en pequeñas cantidades reduce el gasto de coagulante.
- Todos los polielectrolitos no son igualmente efectivos con todas las aguas.
- Dosis excesivas de polielectrolitos producen dispersión en lugar de ayudar a la coagulación.
- Deben los polielectrolitos añadirse en forma de solución diluida para asegurar una completa mezcla. Por lo general, los polímeros son más efectivos cuando se aplican en soluciones diluida, por cuanto permiten que las cadenas poliméricas se abran y puedan ser más fácilmente adsorbidas por las partículas de turbidez.

Para la dosificación de polímeros se debe tener mucho cuidado en la elección del punto de aplicación, de acuerdo a su peso molecular y tiempo de maduración. Este tiempo de maduración se refiere a que el polímero, en su estado puro, por lo general, viene “enrollado”. Al solubilizarse en agua y completar su maduración, el polímero se desenrolla, de manera que sus sitios activos quedan completamente expuestos. Si el polímero no tiene suficiente tiempo de maduración, no está completamente “desenrollado” ni tiene expuestos todos sus sitios activos, por lo que puede estarse desperdiciando o sobredosificando, con lo cual puede producir una posterior obstrucción en los filtros, además del sobrecosto económico.

Para la determinación del punto óptimo de aplicación es conveniente ensayar en pruebas de jarras las diferentes alternativas, y comparar los resultados obtenidos en cuanto a la calidad final del agua (Restrepo, 1999).

2.2.7 Pruebas de jarras

Las pruebas más representativas para determinar el comportamiento de los coagulantes y floculantes a escala pequeña es el ensayo de prueba de jarra. Es un método de simulación de los procesos de coagulación y floculación que se realizan en las plantas de tratamiento y purificación del agua, realizado a nivel de laboratorio que permite obtener agua de buena calidad, fácilmente separable por decantación que promueven la remoción de coloides suspendidos y materia orgánica; los flóculos formados con diferentes dosis del floculante dan como resultado valores de turbidez diferentes. Su objetivo es determinar las variables físicas y químicas de los procesos de coagulación; floculación y sedimentación; tales como: selección del floculante; selección del pH óptimo; gradientes y tiempos de mezcla rápida y floculación y correlación de las velocidades de sedimentación y la eficiencia de remoción (Andía, 2000).

Se determina la calidad del agua en forma visual o midiendo en un turbidímetro su grado de turbidez. La turbidez es la dificultad del agua para transmitir la luz debido a materiales insolubles en suspensión, coloidales o muy finos, que se presentan principalmente en aguas superficiales. Los valores se denotan con la unidad nefelométrica (NTU o UNF). La turbidez se elimina mediante procesos de coagulación, decantación y filtración. (Lapeña, 1990). Es muy conveniente en cada prueba medir el pH de la solución resultante y anotar las observaciones de flóculo formado (si sedimenta rápidamente, si el flóculo es cristalino, si tarda mucho tiempo o no se forma, entre otros).

La selección del tipo óptimo de polímero, así como su dosificación, deben determinarse experimentalmente para cualquier tipo de agua o agua residual. Las teorías de la desestabilización coloidal todavía no están suficientemente desarrolladas como para permitir una selección sin determinación experimental. La dosis óptima se determina por prueba y error, por lo que se deberán agregar cantidades variables hasta obtener la mejor combinación considerando los rangos de dosificación (Rodríguez, 2009).

Entre las principales aplicaciones de prueba de jarras se tienen:

- ✓ Evaluar, determinar y optimizar las variables químicas del proceso de coagulación y/o floculación, esto es, medir el desempeño de uno o varios productos químicos dados, coagulante, floculante, etc., y encontrar la dosificación adecuada, tanto en términos de calidad final del agua obtenida, como en términos económicos.
- ✓ Determinar la concentración de la solución de coagulante más apropiada para utilizar en la planta.
- ✓ Encontrar el punto o etapa de dosificación adecuado para el producto que se ensaya.
- ✓ Evaluar y comparar el desempeño de una combinación de productos frente a: forma y secuencia de dosificación óptima de cada uno de ellos.
- ✓ Encontrar el punto o etapa ideal de dosificación.
- ✓ Influenciar en el proceso de la concentración de los químicos dosificados.
- ✓ Determinar el pH óptimo de coagulación.
- ✓ En operación, tomar decisiones rápidas sobre la dosificación de químicos a utilizar de acuerdo a las variaciones en la calidad del agua cruda.
- ✓ Evaluar los efectos de modificaciones en las condiciones de operación de la planta sobre el proceso de clarificación (Restrepo, 1999).

Para la prueba de jarras usualmente se utiliza un dispositivo que permite trabajar simultáneamente 4 jarras, y que consiste en 4 paletas interconectadas a un regulador de velocidad, con el cual se puede dar la misma velocidad de agitación, y durante el mismo tiempo, a las 4 jarras como se muestra en la figura 2.4. Comercialmente se encuentran equipos capaces de operar a varias rpm de acuerdo al requerimiento del experimento. El agitador mecánico se encuentra instalado sobre un iluminador de flóculos preferentemente con una base blanca, que le sirve como soporte. Lo ideal es que la iluminación esté en ángulo recto a la dirección del observador, o sea, arriba o debajo de los vasos. Deben de evitarse fuentes de luz que generen mucho calor, produciendo diferencias de temperatura entre el agua de las jarras y el agua cruda de la planta, lo que se traduce en diferencias de viscosidad, choque de partículas, y en general, en una serie de parámetros, que finalmente producen un efecto significativo en la coagulación y sedimentación (Restrepo, 1999).

Figura 2.4- Prueba de jarras

Fuente: PARSEC, 2011.

Generalmente con respecto a la fuerza de agitación lo que se hace es, someter a las aguas a una mezcla rápida, seguida de otra lenta. La primera tiene por misión dispersar el floculante, y fomentar las colisiones entre las partículas. Posteriormente lo que se hace es aumentar el tamaño de flóculo mediante una agitación lenta, durante un tiempo adecuado, que mantiene los flóculos en suspensión y movimiento evitando su ruptura por efecto de las fuerzas de corte (Aguilar, 2002)

Las jarras o vasos a usar deben ser de 2L preferentemente, o de 1L alternativamente. Se debe evitar usas vasos más pequeños, debido a la dificultad de obtener precisión en la dosificación de pequeños volúmenes de coagulantes, ayudantes de coagulación o de floculación, en jarras con volúmenes más pequeños. También es común el uso de jarras cuadradas, aún cuando se producen modificaciones en los gradientes de velocidad, así como puntos muertos en las esquinas, debido al cambio de sección. Cuando se utilicen jarras de vidrio, se debe evitar en lo posible el lavado de las mismas con detergentes, porque muchos de éstos tienen compuestos aniónicos que son fuertemente absorbidos por las paredes de las jarras de vidrio, que de no ser completamente removidos, pueden afectar la prueba en forma significativa.

En cada una de las 4 jarras se coloca igual cantidad de agua a tratar (1 o 2)L, a la cual se le han medido los parámetros iniciales: temperatura, pH, turbidez, color, y alcalinidad

como mínimo. En cada jarra se coloca una dosificación de químico que aumenta gradualmente y en la misma proporción, respecto a la jarra anterior. Es muy importante que la dosificación de químicos se realice de manera rápida, y en lo posible, simultánea a cada jarra, puesto que de lo contrario se causan resultados erróneos. Los estudios muestran que las diferencias que existen en el tiempo de adición de los reactivos químicos o soluciones a las diferentes jarras afectan apreciablemente los resultados, particularmente cuando se usan ayudantes de coagulación. También puede afectar los resultados la velocidad de adición, la cual debe de ser lo más rápida posible.

La práctica común de adicionar los coagulantes a cada vaso mediante el uso de una pipeta graduada conduce a que la velocidad de adición del reactivo químico sea muy lenta y se presenten diferencias considerables en cuanto al tiempo de agitación del coagulante en la primera jarra, en comparación con el tiempo de agitación del coagulante en la última jarra, hecho que distorsiona los resultados. Los equipos comerciales olvidan este detalle, que puede evitarse mediante el montaje de un dispositivo que contiene vasos dosificadores unidos en un soporte de diseño adecuado, el cual se monta sobre la unidad de agitación.

Otra alternativa es utilizar jeringas dosificadoras, previamente llenadas con la cantidad adecuada de coagulante o floculante, que toman menos tiempo al dosificar que la práctica de la pipeta graduada. En el momento de vaciar el contenido de las jeringas se debe inyectar profundamente en la correspondiente jarra para que la dispersión sea lo más rápida posible. En términos generales, las dosis se deben aplicar en un punto fijo localizado en o cerca del eje impulsor de la paleta durante una mezcla rápida a alta velocidad (Logsdon, 2008).

Además del equipo de pruebas de jarras se requiere de un cronómetro para controlar el tiempo de duración de las diferentes etapas. Y para la medición de los parámetros del agua se requiere de un turbidímetro, un colorímetro, un medidor de pH, un termómetro, y de bureta, reactivos y soluciones para medir la alcalinidad (Restrepo, 1999).

Los resultados que se obtienen en la prueba de jarras dependen esencialmente de:

- Naturaleza del agua a tratar: (pH, turbidez, color, alcalinidad, naturaleza de los sólidos suspendidos, temperatura, etc.)
- Naturaleza de los químicos a adicionar, y secuencia de adición.
- Tiempo y velocidad de agitación durante las etapas de coagulación y floculación, y tiempo de sedimentación
- pH del sistema.

La variación de uno o varios de las anteriores condiciones conduce a resultados sustancialmente diferentes. Por ello, la confiabilidad de los resultados obtenidos en pruebas de jarras depende de la precisión con la cual se hallan controlado las condiciones de simulación de las diferentes etapas (velocidad de agitación y duración de la etapa), y más aún cuando, por lo general, se requiere de varias corridas para obtener los mejores resultados. Es en este punto donde se precisa que todas las pruebas o corridas que se realicen sean similares entre sí, y poder asegurar una correspondencia entre ellas, a fin de obtener conclusiones válidas (Restrepo, 1999).

Posteriormente de haber simulado las etapas de coagulación – floculación, se realiza un análisis visual donde se observa la formación y aglomeración de los flóculos, y su tamaño.

2.2.8 Tamaño del flóculo

Esta evaluación es propiamente visual, e indica un aproximado del tamaño del floculo formado. En la figura 2.5, se puede observar el patrón de comparación, de acuerdo al tamaño del flóculo formado.

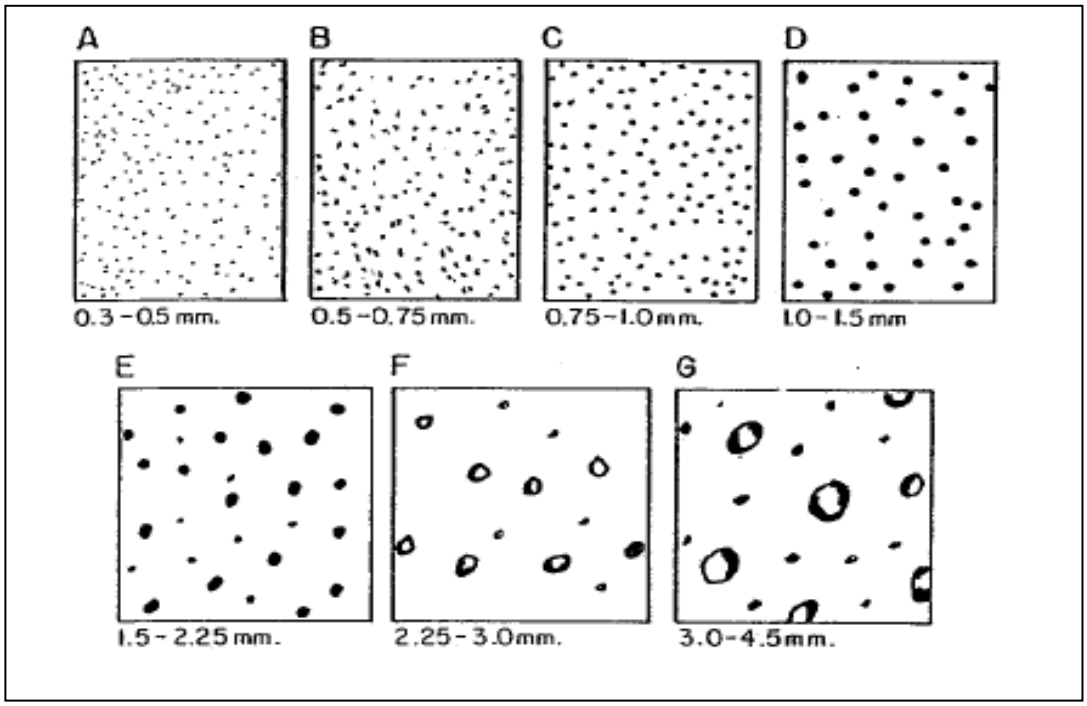


Figura 2.5- Comparador para estimar el tamaño del floc producido en la coagulación.
Fuente: Arboleda, 1992.

La comparación de los tamaños no es fácil. Una observación visual es lo que comúnmente se hace. Consiste simplemente en observar la forma como se desarrolla el flóculo en cada una de las jarras, escogiendo aquella que produzca el flóculo más grande, de mayor velocidad de asentamiento, y que deje ver un agua más cristalina entre las partículas coaguladas. Se puede estimar en milímetros de forma muy aproximada utilizando la figura 2.5 y también se puede emplear el índice de Willcomb tal como se incluye en la tabla 2.2, en ambas comparaciones se observa el flóculo, se determina el tamaño y se evalúa cualitativamente según sus características, pero es necesario remarcar que esta determinación es subjetiva y depende del criterio del observador (Arboleda, 1992).

TABLA 2.2

ÍNDICE DE WILLCOMB PARA CARACTERIZACIÓN DE FLÓCULOS

ÍNDICE	DESCRIPCIÓN DEL INDICE DE WILLCOMB
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, 1992.

2.2.9 Tratamiento de lodos

En el transcurso de estos análisis de jarras, se ha producido un líquido semi-sólido, denominado lodo. El lodo es, por mucho, el constituyente de mayor volumen eliminado en los tratamientos. Su tratamiento y evacuación es, probablemente, el problema más complejo al que se enfrentan los ingenieros sanitarios.

El lodo está formado principalmente por las sustancias responsables del carácter desagradable de las aguas residuales no tratadas, por lo que es necesario tratarlos. La fracción del lodo a evacuar, generada en el tratamiento biológico del agua residual, está compuesta principalmente de materia orgánica, y sólo una pequeña parte del lodo está compuesta por materia sólida. (Arboleda, 1992).

2.2.10 Espesamiento de lodos

Este proceso consiste en concentrar los lodos diluidos para hacerlos más densos en tanques especiales diseñados para este proceso, en los que se consigue una reducción del volumen. Su uso se limita principalmente al exceso de lodos acuosos del proceso

de lodos activados, y las plantas grandes de este tipo en las que los lodos se mandan directamente a los digestores, en vez de ir a los tanques primarios (Departamento de Sanidad del Estado de Nueva York, 2005).

Este proceso puede realizarse por gravedad o por flotación:

- ✓ El espesamiento por gravedad se realiza en tanques de sección circular en los que se dispone de un mecanismo rotativo de raseado, similar al de los decantadores. Este sistema no es suficientemente efectivo para concentraciones de fangos únicamente biológicos, procedentes de un tratamiento de fangos activados.
- ✓ El espesamiento por flotación, presenta la ventaja de ser eficiente independientemente de la sedimentabilidad de los fangos, por ello se aplica para concentrar los fangos secundarios de fangos activos (López y Casp, 2003).

2.2.11 Acondicionamiento

El lodo se acondiciona expresamente para mejorar sus características de deshidratación. Los dos métodos más comúnmente empleados implican la adición de reactivos químicos y el tratamiento térmico. Otros métodos de acondicionamiento, tales como la congelación, irradiación y extracción de disolventes, se han utilizado a nivel experimental.

El uso de productos químicos para el acondicionamiento del lodo para su deshidratación es una práctica económica, debido al aumento de la producción y a la flexibilidad que se obtiene. El acondicionamiento químico permite reducir la humedad del lodo (fango) desde el 90 – 99% hasta el 65 – 85%; dependiendo de la naturaleza de los sólidos a tratar. El acondicionamiento químico da lugar a la coagulación de los sólidos y a la liberación del agua absorbida. El acondicionamiento se lleva a cabo antes de sistemas de deshidratación mecánica, tales como filtros al vacío, centrifugación, filtros banda y filtros prensa (Metcalf & Eddy, 2000).

El acondicionamiento de los lodos por medios químicos, los prepara para un mejor y más económico tratamiento ulterior con filtros al vacío o centrífugas. No hay un valor

óptimo de pH definido para todos los lodos; el mejor valor de pH para los diversos lodos primarios, secundarios y digeridos, debe determinarse en cada caso por experimentación (Departamento de Sanidad del Estado de Nueva York, 2005).

Las centrífugas se utilizan, tanto para espesar fangos como para deshidratarlos. Las centrífugas tienen la ventaja de que ocupan un menor espacio geográfico, pero trae algunos inconvenientes como lo es una mayor inversión y mayores costos de energía (Acosta 1993).

El espesado por centrifugación implica la sedimentación de las partículas bajo la influencia de fuerzas centrífugas. La centrífuga de camisa maciza consiste en una camisa dispuesta horizontalmente, con extremo de forma troncocónica. El fango se alimenta a la unidad de forma continua, y los sólidos se concentran en la periferia. Un tornillo helicoidal, que gira a una velocidad ligeramente distinta, desplaza el fango acumulado hacia el extremo troncocónico, donde se produce una concentración de sólidos adicional previamente a la descarga del fango. Las centrífugas separan la fase sólida de la líquida en los fangos floculados aprovechando la fuerza centrífuga que se obtiene al girar a grandes revoluciones (Metcalf & Eddy, 2000). En la deshidratación de estos fangos en las centrifugas, se puede obtener unos lodos con una concentración en materia seca próxima del% 15 al 25% (Seoánez, 2002).

El lodo de plantas de tratamiento de agua potable requiere de algún tipo de acondicionamiento químico para producir una efectiva separación líquido / sólido. Los polímeros son eficientes como acondicionadores químicos y son ampliamente utilizados en la deshidratación con centrífugas. Los polímeros tienen dos funciones en el acondicionamiento del lodo para deshidratación. La primera es desestabilizar las cargas de las partículas sólidas, para favorecer la aglomeración. La segunda función es aglomerar esas partículas en flocs, por medio de mecanismos de adsorción y formación de puentes entre las partículas y el polímero. Un exceso de polímero puede causar reestabilización de las partículas y bajas concentraciones serán insuficientes para el

fortalecimiento de los puntos de cohesión de los flocs, tornándolos incapaces de resistir las altas fuerzas cortantes existentes dentro de la centrífuga (Hagstrom, 1996).

2.2.12 Deshidratación y secado del lodo

La deshidratación, es una operación física unitaria, utilizada para reducir el contenido de humedad de los lodos, por alguna de las siguientes razones:

- ✓ El lodo deshidratado, es generalmente, más fácil de manipular que el lodo líquido o espesado.
- ✓ La deshidratación del lodo suele ser necesaria antes de la incineración del mismo, para aumentar su poder calorífico, por eliminación del exceso de humedad.
- ✓ La deshidratación de los lodos es necesaria antes de su evacuación a vertederos controlados para reducir la producción de lixiviados (agua que se ha contaminado por componentes de los residuos que se infiltra a través de un sitio de disposición de residuos) en la zona del vertedero.
- ✓ Se reduce los costos por transporte hasta el lugar de su evacuación final.
- ✓ En algunos casos, puede ser necesario eliminar el exceso de humedad para evitar la generación de olores (Metcalf & Eddy, 2000).

2.2.13 Disposición del lodo

Debe darse un destino o disposición final a todos los lodos de aguas negras que se produzcan en una planta de tratamiento. Como en el caso del efluente líquido de la planta de tratamiento, hay dos métodos principales para disponer de los lodos: 1) su disposición en agua y 2) su disposición en la tierra. Esto es válido independientemente de que los lodos hayan sido tratados o no, para facilitar o permitir el método de dispocisón que se haya escogido (Departamento de Sanidad del Estado de Nueva York, 2005). Los métodos se describen a continuación:

1) Disposición en agua: este método es económico, pero poco común, debido a que depende de la disponibilidad de masas de agua adecuadas que lo permitan.

2) Disposición en la tierra: entre los sistemas empleados para su dispocisión en la tierra figuran los siguientes:

- Enterrado: este método se usa principalmente para los lodos crudos en lugares donde, a no ser que se cubran con tierra, originen serias molestias por el olor.
- Relleno: el empleo de los lodos como material de relleno se limita casi exclusivamente a los lodos digeridos, los cuales quedan a la intemperie sin producir molestias por el olor que puedan considerarse serias o extensas. Los lodos deben estar bien digeridos y sin cantidades apreciables de lodos crudos o no digeridos, mezcladas con ellos. Ya sea mojado o parcialmente deshidratado, se puede usar para rellenar terrenos bajos, tal como sale de los lechos secadores o de los filtros de vacío. Cuando se usan lodos mojados, la zona empleada se convierte en una laguna de lodo.
- Aplicación como fertilizante o acondicionador de suelos: el lodo de las aguas negras contiene muchos elementos esenciales para la vida vegetal como el nitrógeno, el fósforo, el potasio y demás trazas de nutrientes menores que se consideran más o menos indispensables para el crecimiento de las plantas. Los lodos de aguas negras, secos o deshidratados, son excelentes mejoradores o acondicionadores de suelos, además que son buenos fertilizantes aunque incompletos, a no ser que se refuercen.

En nuestro país la manera de realizar la disposición final de los lodos o desechos sólidos, está establecido en la Ley de Gestión Integral de la Basura, de fecha 30 de Diciembre de 2010, Gaceta Oficial Extraordinaria No. 6.017, la cual establece las disposiciones regulatorias para la gestión integral de la basura, con el fin de reducir su generación y garantizar que su recolección, aprovechamiento y disposición final sea realizada en forma sanitaria y ambientalmente segura.

En la ley anteriormente mencionada, se establece que los lodos producidos por las plantas de tratamiento de aguas o tratamientos residuales no peligrosos, una vez solidificados o estabilizados, así como los desechos peligrosos cuyos riesgos hayan sido reducidos por tratamientos tales como esterilización, neutralización,

encapsulamiento o similares, deben ser llevados a los sitios de disposición final previstos en esta Ley (relleno sanitario), previa aprobación del Ministerio del Poder Popular con competencia en materia ambiental y de salud, según el caso (Art 64 y 67 de La Ley de Gestión Integral de la Basura).

CAPÍTULO III

En este capítulo se presenta, el tipo de investigación desarrollada, así como los procedimientos y/o estrategias metodológicas utilizados para el logro de cada uno de los objetivos planteados.

III. MARCO METODOLÓGICO

De acuerdo a los objetivos planteados, y a la profundidad de la investigación, la misma tiene un nivel de estudio experimental, ya que se medirá grado de relación y la manera cómo interactúan las diversas variables que se pueden ajustar en el estudio y evaluación de los floculantes, con el fin de seleccionar y obtener la mejor dosis de floculantes más adecuado, así como también de proporcionar una exploración, descripción y correlación las variables involucradas en el proceso de deshidratación de lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales (Sampieri, Fernández y Baptista, 1997).

Un proyecto factible es el que permite la elaboración de una propuesta de un modelo operativo viable, o una solución posible, cuyo propósito es satisfacer una necesidad o solucionar un problema. Los proyectos factibles se deben elaborar respondiendo a una necesidad específica, ofreciendo soluciones de manera metodológica. El proyecto factible debe tener apoyo en una investigación de tipo documental, de campo o un diseño que incluya ambas modalidades (Sabino, 1992). Es por ello que, esta investigación se considera factible, ya que se propone (mas no se implementa) una serie de alternativas de floculantes que mejoren el proceso de deshidratación de lodos que se generan en los efluentes para así obtener una mayor eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales, y disminución de costos; pero el cambio e implementación de la alternativa de floculante que se recomiende, dependerá de la decisión final de los encargados de la planta de tratamientos de aguas residuales una vez obtenido los resultados finales de dicha investigación.

En cuanto a la estrategia o diseño de la investigación, ésta es de tipo mixta. En la misma participa la naturaleza de la investigación documental y la investigación de

campo, ya que para poder establecer la comparación necesaria entre los resultados arrojados por las pruebas a realizar (Muñoz, 1998), es necesaria, una consulta documental previa, así como también una toma de datos y estudios de los floculantes para la deshidratación de lodos de la planta y tratar de cubrir todos los posibles ángulos de exploración.

Para el desarrollo sistemático de la investigación, se plantean los objetivos con sus respectivas fases, como se muestra a continuación:

3.1) Diagnosticar el proceso de deshidratación de lodos

Para el diagnostico de este proceso, se procedió a realizar varias visitas a la planta en diversas oportunidades. En esta fase a través de la observación directa y mediante entrevistas al personal que labora en el sitio, se procedió a recopilar toda la información necesaria para la realización de la propuesta planteada.

Este estudio se enfocó primeramente, en el reconocimiento general del proceso para el tratamiento de las aguas residuales generadas durante los diversos procesos de la planta principal, así como también en la ubicación y reconocimiento de cada uno de los puntos y equipos que conforman dicha planta de tratamiento (Figura 3.1), estudiándose cada una de las etapas de la misma, necesario para la comprensión del proceso que lleva a cabo la PTAR para la depuración de aguas residuales, específicamente el proceso de deshidratación de lodos.

Toda la información y el estudio general del proceso fue, suministrada y posible con la ayuda del personal técnico calificado, los cuales fueron de gran ayuda debido a su experiencia en la operación de la planta, así como también las respectivas tomas de datos recolectados de la planta de tratamiento para establecer la caracterización y necesidades de la planta para tener una idea general del proceso relacionado con la demanda de agua y poder elaborar un diagrama de proceso para este insumo, con el objeto de explicar y comprender el mismo.

Figura 3.1- Vista aérea de la PTAR de APC – Planta Turmero.

Fuente: Acosta, 1993

Posteriormente con el conocimiento general de la planta y los valores de las caracterizaciones de los lodos obtenidos de Hidrolab Toro Consultores C.A, así como también la caracterización de los afluentes y efluentes de la planta obtenidos de CENPROACA C.A y posteriormente llevados al MPPA (Ministerio del Poder Popular para el Ambiente), se realiza el diagnóstico del problema en base a las variables de interés para la empresa, de tal manera de establecer las posibles fallas presentes en el proceso de deshidratación de lodos y generar la propuesta que mejor se adapte de acuerdo a las exigencias planteadas.

3.2) Establecer las diversas alternativas de tipos de floculantes

En esta fase, se recopiló información, mediante la utilización de los diversos tipos de recursos tecnológicos e información relacionada a los distintos tipos de floculantes, de tal manera de establecer una serie de posibles alternativas.

Entre los parámetros considerados, se tienen:

- Tipos de floculantes: ya sean catiónicos, aniónicos o no iónicos.
- Características físicas y químicas, como por ejemplo: polvo o líquido, alto o bajo peso molecular, etc.
- Empresas proveedoras.

Dicha información fue colectada mediante la investigación documental, electrónica y las descritas en las hojas técnicas de los diversos tipos de floculantes, así como también de la ayuda de personal que trabaja con este tipo de material y en tratamiento de aguas. Algunas de las alternativas de floculantes se muestran en la figura 3.2.

Figura 3.2- Alternativas de floculantes.

3.2.1 Pre-selección de las alternativas para la deshidratación de lodos

En esta etapa se trabajó con diversos tipos de floculantes, con algunas características similares (espesante, polvo o emulsión, catiónicos, alto peso molecular, etc.) al empleado actualmente, además de buscar otras alternativas de floculantes con otros proveedores adicionales a la cual la empresa tiene una relación empresarial, de manera que otros proveedores den a conocer sus productos y que ambos faciliten el suministro requerido.

3.3) Evaluar técnicamente a nivel de laboratorio las diversas alternativas de tipos de floculantes

Para realizar esta evaluación, se aplican pruebas de jarras y pruebas de filtrabilidad a nivel de laboratorio, y además se desarrollarán tablas y gráficos que concentren los resultados obtenidos para los floculantes estudiados por cada prueba ejecutada. Esto permitirá la comparación de cada uno de los parámetros del conjunto de floculantes con el empleado en la planta en la actualidad, con el fin de establecer un patrón de ventajas y desventajas en el proceso de tratamiento del agua bajo estudio.

3.3.1 Recolección de las muestras

Para realizar esta evaluación, se recolectó las muestras de aguas de acuerdo a lo establecido en la Norma Covenin 2709:2002 titulada “Aguas naturales, industriales y residuales. Guía para las técnicas de muestreo”, la cual establece los lineamientos generales sobre las técnicas de captación de muestras de agua, con el fin de determinar sus características, para la posterior aplicación de pruebas de jarras y de filtrabilidad. Se seleccionó como tipo de muestra, las muestras instantáneas, las cuales reflejan las características del agua residual en el momento de su captación, y de acuerdo a lo que establece la Norma Venezolana Covenin, las muestras instantáneas son captadas cuando las corrientes no fluyen continuamente y las características del efluente son relativamente constantes (Covenin 2709, 2002).

La modalidad de captación fue manual, como se observa en la figura 3.3, ya que no existen equipos automáticos instalados en la planta de tratamiento, y lo realizó el personal de la planta por razones de seguridad al momento de abrir las válvulas de paso, para captar las muestras de manera segura y evitar situaciones que puedan generar riesgos.

Figura 3.3- Recolección de muestra de lodo para el estudio y realización de pruebas.

Para la captación de muestras industriales de aguas residuales, es importante la selección de sitios adecuados para la captación de muestras, tomando en cuenta el objetivo de muestreo, facilidad de acceso, entre otros. Los envases recomendados para la recolección y preservación de los parámetros contenidos en esta agua residual, son los de plástico o vidrio (Covenin 2709, 2002).

Siguiendo lo establecido anteriormente por la Norma Covenin 2709:2002, se procedió a ubicar el punto de la toma de agua residual necesaria para el estudio, es decir, el agua residual para el estudio es la que sale del digestor de lodos (figura 3.4, izquierda), ya que de este punto sale el efluente al cual se le añade el floculante y se envía a la centrífuga. Se tomaron aproximadamente volúmenes de 5L, cada vez que se iniciaba un nuevo análisis, para llevar a cabo las pruebas experimentales establecidas.

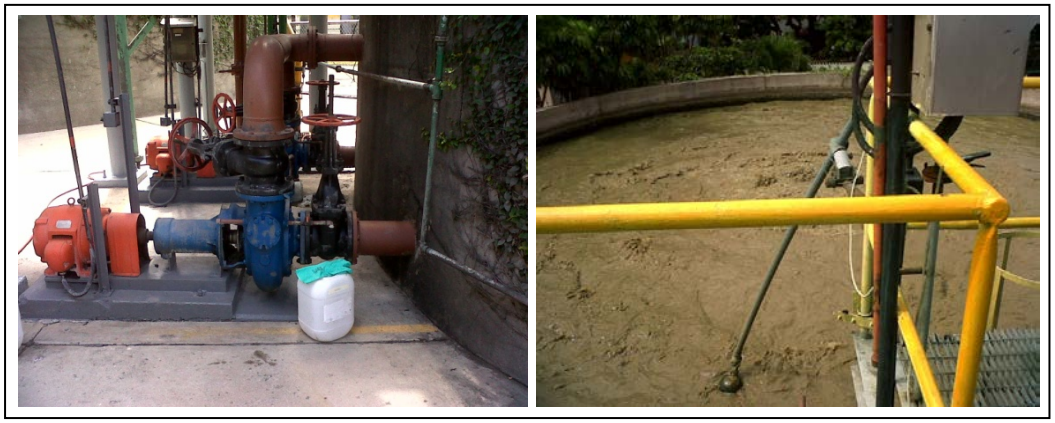


Figura 3.4- Punto de recolección de la muestra de efluente a estudiar (izquierda) y vista superior del digestor de lodos (derecha).

La toma se realizó abriendo las válvulas de paso que envía el agua del digestor de lodo a la etapa de dosificación y deshidratación de lodos, eliminando primero el lodo muerto que pudiera estar acumulado en las tuberías, dejando fluir la primera cantidad de lodo hasta obtener la misma coloración dentro del digestor de lodos (la cual se observa en el tope del tanque, como se observa a la derecha de la figura 3.4), y luego se procedió a llenar el envase principal de plástico, para luego traspasar la muestra a los respectivos beakers. Estas muestras fueron tomadas de igual forma durante los dos días de pruebas. Los datos recopilados son posteriormente procesados mediante la elaboración de gráficos y tablas comparativas. Este proceso fue realizado para los diversos tipos de floculantes.

3.3.2 Estudios y procedimientos para las alternativas de floculantes

3.3.2.1 Preparación de los floculantes

Debido a las características físicas y su presentación de venta, ya sean floculantes en polvo o líquidos, así como también su concentración, se hace necesario una previa preparación de éstos. Todos los floculantes fueron preparados primero a una concentración de 1%. Para ello, se añadió 1mL (en caso de ser floculante líquido) ó 1gr (en caso de ser floculante en polvo) de floculante en 100mL de agua destilada, cada uno por separado, luego se diluyó estas concentraciones al 0,1%, tomando 10mL de las soluciones preparadas previamente, y diluyéndose en 90mL más de agua destilada, obteniéndose finalmente los 8 floculantes líquidos a una concentración de 0,1% listos para ser usados (figura 3.5), tomándose como referencia que la planta de tratamiento usa el floculante a esta concentración y además son los rangos de trabajo de concentración recomendados en las hojas técnicas de las alternativas de los floculantes.

Los floculantes en polvo se pesan con la balanza digital del laboratorio de la planta (figura 3.5, arriba a la izquierda), marca Mettler Toledo Monobloc modelo AB204-S y de capacidad de medición de (0,01 - 220,00)g con una precisión de ± 0,01g.

Figura 3.5- Preparación de las diversas alternativas de polímeros.

3.3.2.1 Prueba de Jarras

Para la determinación de la dosificación más adecuada de los polímeros estudiados, se empleó el equipo de “Pruebas de Jarras”, el cual es un método de simulación de los procesos de coagulación y floculación que se realiza en la planta de tratamiento de aguas de tal manera de reproducir el proceso de espesamiento del lodo, generado en la planta de tratamiento. Con la ayuda y conocimientos de los asesores de WET Chemical Venezuela, se establecen todas las condiciones necesarias para llevar a cabo dicho experimento.

Para dicho experimento, se cuenta con los siguientes componentes (figura 3.6):

1. Equipo de jarras.
2. 4 vasos de precipitados de vidrio de capacidad 500mL.
3. 4 agitadores.
4. 4 bombillos iluminadores (para cada jarra respectiva).
5. Display acoplado al equipo para regular velocidad y tiempo de agitación.

Figura 3.6- Equipo de prueba de jarras.

Para la realización de las pruebas de jarras y simular el proceso de espesado de lodos, se realizaron los siguientes pasos:

1. Se observaron las características iniciales como: color, apariencia física, del agua en estudio, sin la adición de ningún químico inicialmente, así como también las características del floculante a estudiar.

2. Se tomaron 500mL de muestra de efluente en cada una de las jarras.
3. Seguidamente se encendió el equipo de jarras, y se adicionó al mismo tiempo a cada una de las jarras, las cantidades respectivas (20mL, 30mL, 40mL y 50mL) de floculante, observándose con detalle la formación de flóculos.
4. Se agitó por un tiempo de 3 minutos a una revolución de unos 70rpm, para garantizar un mezclado completo del lodo.
5. Luego se agitó por un espacio de 2 minutos a una revolución de unos 20rpm, de tal manera de favorecer la formación de flóculos.
6. Se toman datos del pH; tamaño y apariencia de los flóculos según la figura 2.5 y la tabla 2.2.

Cada experimento se realizó una sola vez con cada uno de los floculantes. Luego de mezclar el efluente con cada una de las diversas alternativas de floculantes en estudio, a diferentes cantidades de volumen, se observan cuales floculantes producen mejores flóculos y de mayor tamaño. A los cuatro (4) floculantes que arrojaron los mejores resultados en cuanto a: formación y separación visual de los sólidos en el agua residual, son preseleccionados para realizarse las pruebas específicas de lodos (pruebas de filtración).

3.3.2.2 Prueba de Filtración

La prueba de filtración es un sistema que reduce el volumen de sólidos para la eliminación final y aumenta su sequedad más que con cualquier otro método, con lo que se mejora su manipulación. (Nemerow y Dasgupta, 1998)

Con esta prueba se trata de predecir, la mejor dosis de floculantes a partir del tiempo que tarda un determinado volumen de líquido en filtrarse (Acosta, 1993). La filtrabilidad está influenciada por el tamaño de la partícula, su forma y densidad, así como por la carga eléctrica. Cuanto mayor tamaño de partícula, mayor tasa o velocidad de filtración (resistencia específica más baja), siendo finalmente inferior la humedad de la torta. La adición de floculantes facilita la aglomeración de partículas incrementando la tasa de filtración (Ramalho, 2003).

El medio filtrante utilizado fue: una malla filtrante, la cual se coloca en el embudo büchner, cuidando que quede plano (no debe doblarse sobre la pared del embudo), y su diámetro es tal que alcanza a cubrir perfectamente todos los orificios del embudo. (Virginia y Loredo, 2009).

Para dicho experimento, se cuenta con los siguientes componentes como se muestra en la figura 3.7:

1. Cilindro graduado de 500mL
2. Embudo Büchner
3. Malla filtrante

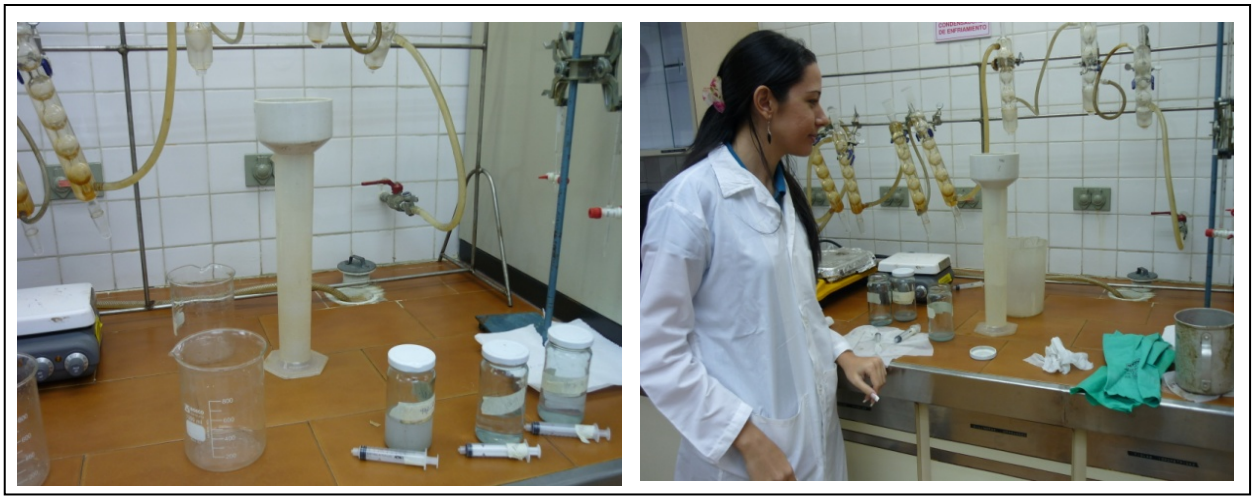


Figura 3.7- Equipo de filtración utilizado para la deshidratación de lodos.

El procedimiento es el siguiente:

1. Se montó el aparato de filtración tal como se muestra en la figura 3.7. Se asegura de colocar bien la malla filtrante en el embudo büchner.
2. Cada una de las jarras con el lodo y floculante respectivo (20mL, 30mL, 40mL y 50mL) ya mezclado en las pruebas de jarras, se colocó en el embudo büchner en el equipo de filtrabilidad.
3. Se tomó datos de volumen de filtrado cada 3 segundos (hasta completar los 15 segundos) y las características de la torta formada y del agua filtrada.

Este procedimiento se realizó para cuatro (4) dosis de floculantes (20mL, 30mL, 40mL y 50mL), es decir, 4 pruebas de jarras, de los floculantes preseleccionados anteriormente. Una vez observado las características del agua filtrada, y del volumen filtrado en 15 segundos, se selecciona los floculantes que mejores resultados arrojaron; a las dos alternativas preseleccionadas se les realizó nuevamente otro estudio con prueba de jarras y prueba de filtración observando su comportamiento al disminuir las cantidades de dosificación de floculantes, así como también un estudio económico para determinar la mejor alternativa de floculante, no solo con los resultados experimentales sino que también teniendo en cuenta los costos de la nueva propuesta.

3.3.2.3 Determinación del potencial de hidrógeno (pH) y turbidez

Los valores de estos parámetros se obtienen mediante los equipos del laboratorio de la planta: un medidor digital marca Thermo Electron modelo Orion 3 Star y de capacidad de medición de 1,00–14,00 con una precisión de ±0,01 para medir el pH del efluente y un turbidímetro marca LaMotte modelo 2008 y de capacidad de medición de (0,01-200)NTU con una precisión de ±0,01. Para la medición de pH, se coloca un envase con la muestra y se pone en contacto directo con el sensor del equipo y luego éste envía el valor a la pantalla. En el caso de la medición de la turbidez, se coloca la muestra en el recipiente respectivo y luego en el equipo, y por último se le coloca la tapa y se registra el valor de la turbidez en la pantalla digital. Los equipos antes mencionados se muestran en la figura 3.8.

Figura 3.8- Equipos para medir la turbidez y pH (equipo digital ubicado en la parte de atrás del turbidímetro).

3.3.2.4 Mejor dosis de floculante

Una vez realizados los barridos preliminares de selección de floculantes que mejores resultados arrojaron en la experiencia práctica, se procede a buscar la mejor dosificación, y un estudio detallado de las características y parámetros importantes para la selección del floculante que mejor comportamiento ofrezca, en función al porcentaje de remoción de sólidos y al porcentaje de humedad, establecido por los requerimientos de la planta, para este tipo de agua residual.

Se realizó ajustes de la dosis a los floculantes, realizando más análisis con volúmenes menores respecto a los utilizados anteriormente. El procedimiento seguido para cada uno de los floculantes fue el siguiente:

1. Se llevó a cabo nuevamente la experiencia práctica de las pruebas de jarras, con dosificaciones de floculante de: 20mL, 25mL, 30mL, 35mL, 40mL, 45mL, y 50mL.
2. Luego se realizó los mismos pasos de las pruebas de filtración, y al agua filtrada se le midió la turbidez y se registraron los datos.
3. Adicionalmente, se calculó el porcentaje de humedad a cada torta obtenida (se le llama torta, al semisólido que se formó en la malla filtrante que se encontraba en el embudo büchner luego de filtrar la jarra con el lodo). Para determinar si se formó o no una buena torta, se observan sus características físicas. Una buena torta debe ser consistente, compacta, en general, que no contenga gran cantidad de agua.

3.3.2.5 Determinación del porcentaje de remoción de sólidos

Para la determinación del porcentaje de remoción de sólidos que logra el floculante en el efluente tratado se realiza una comparación entre la turbidez del agua sin adición de floculante (blanco) y la turbidez del agua tratada con los diversos floculantes en estudio a diferentes concentraciones. La siguiente ecuación muestra la expresión matemática para la determinación de este parámetro:

$$\%Rs = \frac{T_N - T_D}{T_N} \times 100 \qquad (3.1)$$

(Leiva, Jorge, Cáceres, y Gómez, 1997)

Donde:

$\%R_s$: Porcentaje de remoción de sólidos, (adim).

T_N: Turbidez del agua natural sin adición de floculante, (NTU).

T_D: Turbidez del agua con adición de floculante, (NTU).

3.3.2.6 Determinación del porcentaje de humedad

La determinación de la humedad se lleva a cabo mediante la evaporación del agua contenida en las tortas obtenidas luego de la filtración. Una vez realizado el proceso de filtración del agua residual con el floculante correspondiente y haberlo hecho pasar por el embudo büchner, la torta húmeda es pesada con una balanza digital (figura 3.9, marca Mettler Toledo modelo PB3002 y de capacidad de medición de (0,01-3100,00)g con una precisión de ± 0,01g) y luego llevada a una estufa (figura 3.9, marca Memmert modelo 1101039 y de capacidad de medición de (30-220)°C con una apreciación de 10°C) a una temperatura constante de (104 ± 1)°C durante 1 hora, una vez transcurrido el tiempo, se retira la torta (torta seca), se coloca en un desecador durante 20 minutos y luego es pesada nuevamente, y el porcentaje de humedad se obtiene por la evaporación del agua en las muestras, el modelo matemático que describe dicho proceso es el siguiente:

$$\%H_e = \frac{T_H - T_S}{T_H} \times 100 \qquad (3.2)$$

(Leiva et al., 1997)

Donde:

$\%H_e$: Porcentaje de humedad evaporado, (adim).

T_H: Torta húmeda, (g).

T_S: Torta seca, (g).

Figura 3.9- Estufa (izquierda) y balanza digital para pesar las tortas (derecha.)

De la ecuación anterior se obtiene el valor de humedad evaporado en cada una de las muestras de tortas obtenidas; para la obtención del valor del porcentaje de humedad retenido en cada una de las tortas, el cual indicara la cantidad de agua en los lodos y cuantificar así la deshidratación de dicho lodo, se utiliza el siguiente modelo matemático:

$$\%H = 100 - H_e \qquad (3.3)$$

(Leiva et al., 1997)

Donde:

%H: Porcentaje de humedad, (adim).

Una vez procesado los resultados obtenidos por cada prueba realizada, se realizan gráficos y tablas comparativas, además de un análisis cualitativo y cuantitativo de cada alternativa de tipos de floculante y luego la comparación de cada uno de los parámetros de dichos floculantes con el empleado en la planta en la actualidad, para así establecer las ventajas y desventajas.

3.4) Establecer una relación costo-beneficio de las alternativas de tipos de floculantes, tomando en cuenta la dosis óptima.

Para la realización de este objetivo, se hace una recolección e investigación de todos los datos y variables involucradas en la selección del floculante, para luego establecer

una relación costo-beneficio de la posible alternativa de floculante, teniendo en cuenta la mejor dosis a la cual opera de manera eficiente y a menor costo, y además de compararlo con el floculante actual utilizado en la planta.

Se establecen las variables económicas involucradas en la evaluación de costos para la comparación y relación costo-beneficio de todas las posibles alternativas que den mejor resultado, entre ellas:

- Dosificación y preparación del floculante: dependerá de las características (polvo o emulsión) y de la mejor dosis que se necesita para que el floculante realice su función de manera adecuada en el espesamiento de lodos.
- Costo mensual del floculante: tiene que ver con lo que la empresa debe invertir para la adquisición de este material, de acuerdo al costo de cada alternativa en el mercado y la cantidad necesaria.
- Costos de disposición: gasto que la empresa tiene al disponer los lodos en el relleno sanitario, así como también los gastos en transporte del traslado de dichos lodos al relleno sanitario.
- Costos de devolución: incluye el transporte, terrenos provisionales y/o terrenos fincas en caso de ser devueltos los lodos por no cumplir los requerimientos del Ministerio del Poder Popular del Ambiente.

Una vez realizado un estudio general, tanto de los requerimientos de la planta, las características de las aguas a tratar y de las alternativas de floculantes a estudiar, se determina y se lleva a cabo un análisis y comparación de las variables económicas consideradas anteriormente para cada una de las alternativas planteadas.

El floculante que genere mejores resultados experimentales de deshidratación de lodos a una menor concentración, se escoge y se evalúa los costos y beneficios de esa mejor dosis, de manera que cumpla con la mejor deshidratación de lodos al menor costo.

Según (Cohen y Franco, 2000), el principio de un análisis de costo-beneficio: es comparar los beneficios y los costos de un estudio en particular y, si los primeros exceden a los segundos indica su aceptabilidad, en caso contrario, el proyecto debe ser en principio rechazado.

Para evaluar los costos que se generan en la planta de tratamiento de aguas residuales con el floculante actual, se toma en cuenta: los costos mensuales por floculante asociados a la dosificación del floculante y los costos de disposición de los lodos. Los costos que implica el proceso final de la PTAR se calcula de la siguiente forma:

$$C_T = C_{Floc} + C_{Disp} \tag{3.4}$$

Donde:

C_T: Costo total de la alternativa, (Bs)

C_{Floc}: Costo mensual por floculante, (Bs)

C_{Disp}: Costo de la disposición de los lodos, (Bs)

Para el cálculo de los costos mensuales por floculante se toma en cuenta la dosis de floculante que se debe añadir al caudal de agua que va desde el digestor de lodos a la centrífuga, así como también el costo unitario de cada floculante. El estudio económico se realiza en un período de un mes.

Dichos costos se determinan de la siguiente forma:

$$C_{Floc} = D_{Floc} \times C_i \tag{3.5}$$

Donde:

D_{Floc}: Dosis de floculante, (Kg)

C_i: Costos unitario de floculante, (BsF/Kg)

Los costos de la disposición de los lodos son los implicados por el transporte (camión) encargado de llevar los lodos al relleno sanitario, y el costo de uso del relleno sanitario por la cantidad de veces que se deban llevar durante un mes:

$$C_{Disp} = (C_C + C_R) \times V \quad (3.6)$$

Donde:

C_c: Costos del camión de transporte, (Bs/veces)

C_R: Costos de disposición en relleno sanitario, (Bs/veces)

V: Cantidad de viajes del transporte (veces)

Ahora, para determinar los beneficios de la planta de manera que ésta no reciba devoluciones en el caso de que los lodos no cumplan con las disposiciones finales del relleno sanitario como lo indica en MPPA (Apéndice B), se generan unos costos adicionales, los costos de devolución, los cuales dependen del transporte (camión) que se devuelve así como también el transporte para dejarlo en una nueva ubicación, los costos del terreno provisional para luego llevarlos a una finca o terreno donde se puedan disponer finalmente, el cual también genera un costo adicional. Lo anterior se calcula de la siguiente manera:

$$B = \left(C_C + C_{TF} + (C_{TP} \times h)\right) \times V \quad (3.7)$$

Donde:

B: Beneficios, (Bs)

C_{TF}: Costos del terreno o finca, (Bs)

h: Horas de uso, (h)

C_{TP}: Costos del terreno provisional, (Bs)

Teniendo los costos y beneficios de las diversas alternativas, se procede hacer la relación de ambos:

$$R = \frac{B}{C} \quad ; \quad R \geq 1 \quad (3.8)$$

(Cohen y Franco, 2000)

Donde:

R: Relación beneficio-costo, (adim)

Para que el proyecto sea aceptable, desde un punto de vista económico, la relación anterior es igual o mayor a la unidad. Si es igual indica que el valor presente neto del proyecto es igual a cero (justificación mínima para realizar el cambio o inversión, los beneficios son equivalentes a los costos). Si es mayor a la unidad indica que los beneficio son mayores a los gastos de la empresa, por lo que se puede garantizar la recuperación total o parcial del cambio o inversión; caso contrario si el resultado es menor a la unidad.

De igual forma, si la relación se calcula como los costos sobre los beneficios, se obtendrá la misma relación anterior pero de forma invertida, y el proyecto será factible si dicha relación es menor o igual a la unidad. Por lo que para esta investigación, siguiendo con el objetivo propuesto de calcular la relación costo-beneficio, se utilizará la siguiente relación:

$$R = \frac{C}{B} \quad ; \quad R \leq 1 \qquad (3.9)$$

3.5) Seleccionar la alternativa más adecuada según los estudios técnicos y económicos realizados.

Para seleccionar la alternativa más adecuada, se toma en cuenta los registros experimentales, comparativos, y los registros económicos estudiados de las alternativas de tipos de floculantes estudiados mediante el método cualitativo de los factores determinantes y se construye una matriz de selección basándose en cada uno de los parámetros que más influyen en su selección (turbidez, remoción de sólidos, humedad, dosis, preparación y costos de los floculantes) y asignándole a cada una de ellas una ponderación de acuerdo a la importancia y/o facilidad.

Primero se establece una matriz de importancia y comparación entre los criterios establecidos. La comparación se realiza tomando como referencia los criterios colocados en fila contra cada uno de los criterios colocados en columnas. A los criterio que sean de igual importancia (mismo criterio) se le da una puntuación de un medio (0,5), si el criterio de la fila a comparar es de mayor importancia que el criterio de la

columna se le da la puntuación de uno (1), en caso contrario se le coloca una puntuación de cero (0). Luego, se realiza la sumatoria de todos estos puntajes y se obtiene la ponderación de importancia de cada uno de los criterios establecidos para el estudio de la alternativa más adecuada.

TABLA 3.1

MATRIZ DE COMPARACIÓN E IMPORTANCIA DE CADA PARÁMETRO ESTABLECIDO

Criterios	Tb y Rs	Humedad	Dosis	Preparación	Costos	Total	Ponderación
Tb y Rs							
Humedad							
Dosis							
Preparación							
Costos							
Total							

Donde:
Tb: Turbidez del agua filtrada
Rs: Remoción de sólidos

Una vez establecido la ponderación de importancia de los criterios se construye la matriz de selección de la mejor alternativa, para ello, se utiliza una puntuación del 1 al 5, de manera que el número mayor corresponda al parámetro que más influya y/o más favorable de cada uno de los floculantes, por lo que a cada uno de los parámetros se le asignará una puntuación correspondiente a su importancia.

Luego, a cada floculante se le coloca la puntuación correspondiente de acuerdo a cada unos de los criterios establecidos de acuerdo a su influencia y mejoras, y se procede a sacar la sumatoria de puntos y al final la opción que tenga la mayor puntuación será la que mejor se adapte a las necesidades y genere más beneficios, por lo que será escogida como la alternativa más adecuada. La relación matemática para la determinación del valor acumulado por cada alternativa es la siguiente:

$$A = Apc \times P \tag{3.10}$$

(Cohen y Franco, 2000)

Donde:

A: Valor acumulado por la alternativa, (Adim).

Apc: Ponderación por criterio, (Adim).

P: Peso por criterio, (Adim).

Obtenido el valor acumulado por cada alternativa, se procede a determinar el valor total para cada una de las alternativas, utilizando la siguiente ecuación:

$$PT = \sum_{i=1}^{n} A_i \tag{3.11}$$

(Cohen y Franco, 2000)

Donde:

PT: Puntuación total de cada alternativa, (Adim).

CAPÍTULO IV

En este capítulo se presenta los resultados obtenidos, así como también el análisis y discusiones de cada uno de los objetivos planteados.

IV. DISCUSIONES Y RESULTADOS

4.1) DIAGNOSTICAR EL PROCESO DE DESHIDRATACIÓN DE LODOS DEL TRATAMIENTO DE AGUAS DE LA PLANTA

Para diagnosticar el problema que presenta la deshidratación de lodos en la planta de tratamiento de aguas residuales, fue necesario realizar un reconocimiento y evaluación general del proceso que lleva a cabo la planta, para así poder obtener información y poder identificar, ordenar y jerarquizar los problemas, fallas y/o variables que pudieran causar algún efecto específicamente en la etapa que comprende la deshidratación de los lodos.

La empresa Alimentos Polar Comercial Planta Turmero, inició con el objeto de obtener hojuelas de maíz necesarias para la elaboración de cervezas, y tiempo después sale al mercado alimenticio la harina precocida de maíz (harina PAN) y aceite comestible de maíz (MAZEITE). Desde sus inicios, APC - Planta Turmero, ha mantenido una política de preservación del ambiente, es por esto que cuenta con una planta de tratamientos de aguas residuales (PTAR), diseñada para tratar las aguas residuales industriales de todos los procesos que lleva a cabo, mediante tratamientos físicos y biológicos.

Las aguas residuales conforman esos desechos líquidos, que se originan por procesos industriales, que en muchos casos contaminan los cuerpos hídricos del cual se surten las personas e industrias, por lo que se hace necesario un tratamiento previo para que puedan ser adecuadas o desechadas para su ubicación en las respectivas redes de vertido, depuradoras o sistemas naturales, tales como lagos, ríos, embalses y otros; o introducidas nuevamente en la red de abastecimiento.

El tratamiento de aguas residuales, tiene por objetivo principal eliminar la contaminación de las aguas antes de su vertido al cauce receptor, pero también es de importancia que los lodos generados en la PTAR cumplan con los requerimientos de las normas establecidos por el MPPA (Ministerio del Poder Popular para el Ambiente, el cual tiene por objetivo propiciar el equilibrio entre el desarrollo socioeconómico, el uso sostenible y responsable de los recursos naturales y la protección del ambiente, a fin de contribuir al desarrollo integral de la persona humana y garantizar a las personas y futuras generaciones el derecho a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de la vida) y se hace necesario reducir el volumen de los lodos generados en el sistema de clarificación y así reducir los costos de desechos de los mismos.

Inicialmente se realizó varias visitas a la planta de tratamiento de aguas residuales de APC – Turmero para conocer de manera general todo el proceso por el cual pasa el afluente para ser tratada y devuelta a su curso natural. En estos recorridos se encontró que todos los equipos están funcionando de manera correcta (excepto el espesador de lodos), están debidamente identificados, frecuentemente se le realizan mantenimientos periódicos para garantizar su continua operación en el proceso y que operen con su mayor eficiencia; además de encontrar todo debidamente ordenado, limpio y en lugares debidamente delimitados y bien ubicados. Algunos de los equipos que conforman la planta de tratamiento de aguas residuales de Alimentos Polar Comercial – Planta Turmero, se muestran en la figura 4.1.

En el tanque separador agua-aceite tiene por objetivo como lo indica su nombre, separar la grasa y el aceite del agua, lo cual hace por flotación, y son colectados por dos brazos mecánicos que rotan a baja velocidad y los arroja en el tanque residual. El tanque amarillo que se muestra en la foto (c) de la figura 4.1, es en el cual se recolectan este aceite y grasa residual para su venta, para el procesamiento de jabones y alimentos de consumo animal.

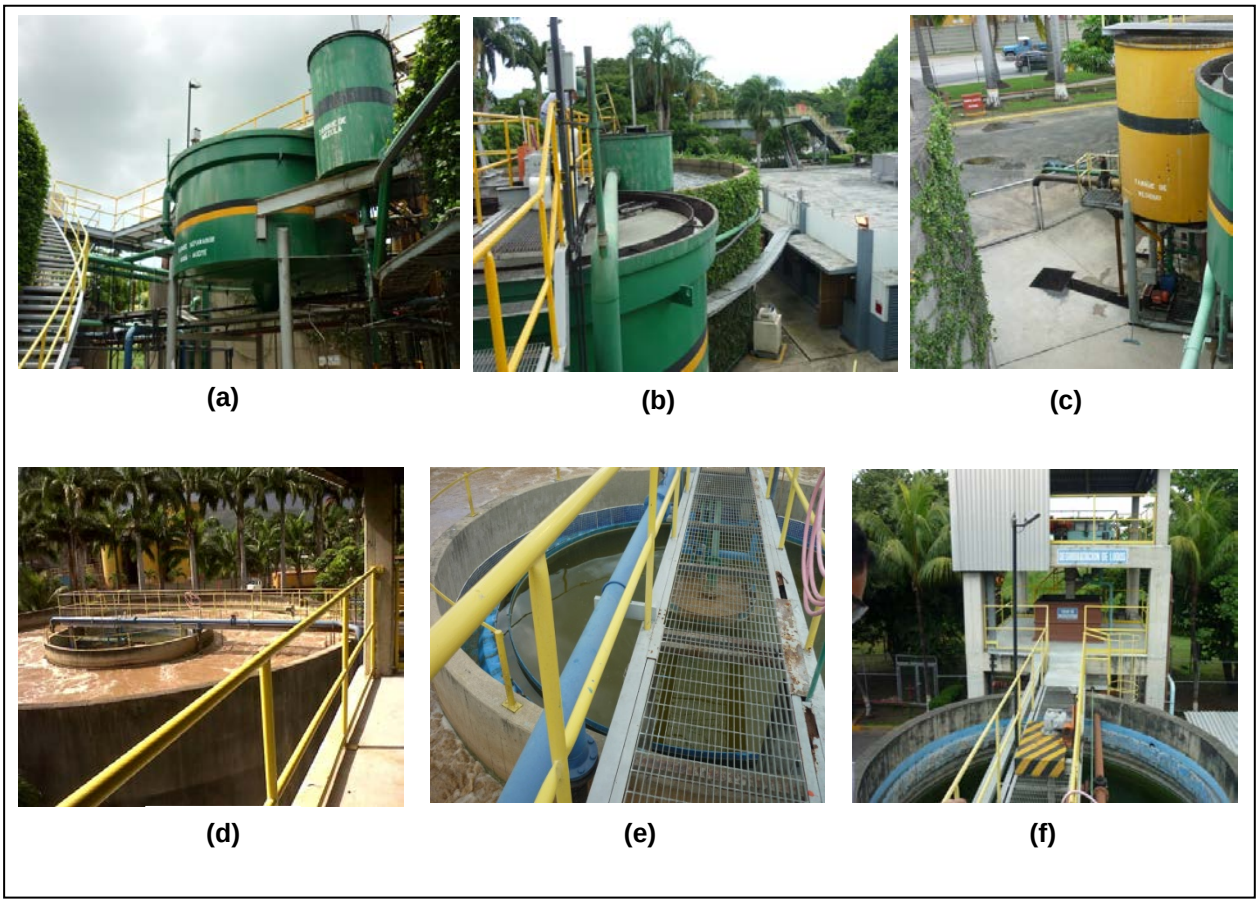


Figura 4.1- Algunos equipos de la PTAR de APC – Planta Turmero. (a) Vista frontal del tanque de mezcla y separador agua-aceite. (b) Vista superior del tanque separador agua-aceite y el digestor de lodos (parte trasera). (c) Tanque de aceite y grasa residual. (d) Piscina de aireación. (e) Vista superior del clarificador ubicado dentro de la piscina de aireación. (f) Área de deshidratación de lodos.

El tanque espesador de lodos está actualmente inhabilitado debido a fallas mecánicas. Anteriormente, cuando el equipo estaba en funcionamiento, los operarios no estaban bien entrenados, por lo que no sabían del tiempo necesario de estadía del efluente en dicho tanque, y esto originaba malos olores. Es por ello que, actualmente, el efluente una vez que sale del digestor de lodos va directamente a la centrífuga y la cantidad de sólidos en el efluente es de 1-2%, siendo valores bajos, por lo que los lodos extraídos de la PTAR y producidos en las operaciones y procesos de tratamiento de las aguas residuales suelen ser muy líquidos, como se observa en la figura 4.2, llegando con un alto contenido de humedad (gran cantidad de agua 98-99%, según Acosta 2010) a la centrífuga.

Figura 4.2- Efluente de agua en estudio sin floculante, al filtrar el efluente, no se forma ninguna torta, hay total paso de efluente.

Además, se observó que la dosificación del floculante para mejorar la deshidratación de los lodos, se realiza de forma continua, es decir, se dosifica constantemente floculante a la tubería que envía el efluente del digestor de lodos a la centrífuga para su posterior deshidratación durante las 8horas/día que trabaja la centrífuga. El floculante en emulsión se encuentra en un pequeño tanque y es enviado por bombeo a través de una manguera que está unida a una válvula de bola, de manera que los operadores no tienen el control de dicha dosificación, pudiendo estar dosificando más o menos de lo necesario.

Las aguas residuales industriales presentan composiciones muy variables, según la industria considerada. En algunos casos, el agua contiene constituyentes capaces de flocular por simple agitación y adición de solo floculante; otras veces, es necesario utilizar un coagulante que dé origen a un precipitado que pueda flocularse a continuación (Degremont, 1979).

Actualmente, el floculante utilizado en la planta es el NALCO 7128, polímero líquido, catiónico y de alto peso molecular, el cual es inyectado directamente en la línea donde fluye un caudal de efluente de aproximadamente $5m^3/h$ a la salida del digestor de lodo a una concentración de 0,1% y aproximadamente 40mL. Al entrar en contacto directamente el floculante con el efluente que va directo a la centrífuga, no debe haber

una buena interacción con las partículas del efluente a tratar, de manera que forme unos buenos flóculos, y se genere un mayor espesamiento y aglomeración de las partículas, ya que el tiempo de contacto necesario para que ocurra esta interacción es corto.

El equipo utilizado en la etapa de deshidratación de lodos es la centrífuga horizontal que opera 8horas/día y ocupa muy poco espacio geográfico de la planta como se observa en la figura 4.3, y según (Díaz, 2010) es una alternativa válida para cualquier tipo de lodo, aunque está más indicada para concentrar lodos muy hidrófilos (que difícilmente liberan el agua que contienen), de difícil compactación tal como lo es en el caso de los lodos de la planta, acotando también, que requiere mucho menos espacio que otros equipos con el mismo funcionamiento.

El tanque con floculante en emulsión, listo para ser dosificado al efluente que sale del digestor de lodos está ubicado en el piso al lado del espesador de lodos (primer nivel), el floculante se inyecta y hace contacto con el efluente desde que se dosifica hasta llegar a la centrífuga ubicada en el tercer nivel, como se observa en la figura 4.3 (izquierda), circulando a través de una tubería vertical. El lodo deshidratado sale de la centrífuga y cae por gravedad a una tolva ubicada en el segundo nivel la cual se vacía constantemente y colocado en el camión que lo transporta al relleno sanitario.

Figura 4.3- Área de deshidratación de lodos (izquierda); última unidad del proceso de tratamiento de aguas: centrífuga (derecha).

La implantación de sistemas de tratamiento de aguas residuales surge de la necesidad de proteger al medio ambiente y evitar riesgos en la salud de los seres vivos. Los principales contaminantes de la industria alimenticia son: DBO, DQO, sólidos suspendidos, sólidos totales, pH, grasas y aceites, nitrógeno y fósforo, es por ello que las caracterizaciones de las aguas que son tratadas en la PTAR se enfoca en estos parámetros ya que por ser una empresa alimenticia no contienen otros contaminantes de mayor importancia y además de que el proceso de extracción y refinación de aceite de maíz se lleva a cabo con solvente orgánico no tóxico (Cardozo, 2010).

Las caracterizaciones físico-químicas de las aguas de la PTAR, tanto el afluente como el efluente son realizados por laboratorios externos de la empresa, por lo que éstos son emitidos por CENPROACA, C.A (la cual ofrece análisis de aguas residuales, lodos de las PTAR, etc.) y son enviados al MPPA (Ministerio del Poder Popular para el Ambiente) trimestralmente, suministrando cada uno de los parámetros importantes en el tratamiento de efluentes y conservación del medio ambiente.

En la tabla D.1 (Apéndice D), se observa los valores de los parámetros correspondientes a la caracterización del afluente de la PTAR. En la tabla D.2 (Apéndice D), se tiene la caracterización del efluente de la PTAR, en la misma se observa que todos los parámetros están dentro del límite establecido en las descargas de efluentes en cloacas de acuerdo a la norma en el Decreto 3219 de fecha 01 de Febrero de 1999, Gaceta Oficial Extraordinaria No. 5.305, el cual se titula como Normas para la Clasificación y el Control de la Calidad de los Aguas de la Cuenca de Lago de Valencia, en el cual se indica que es deber del Estado la protección de las cuencas hidrográficas, la clasificación y el control de la calidad de los cuerpos de agua y el control de los vertidos o efluentes líquidos capaces de degradar el medio acuático y alterar los niveles de calidad exigibles para preservar y mejorar el ambiente, y que de acuerdo al artículo 38, los límites y rangos máximos de concentraciones de los vertidos líquidos que sean o vayan a ser descargados a redes cloacales deben cumplir con los parámetros críticos de control establecidos en la sección VII de dicho decreto.

Al realizar el diagnóstico a los lodos obtenidos en la planta de tratamiento, se observa que los lodos tienen una apariencia aguada, de color marrón claro y sin malos olores y la caracterización de los mismos se presentan en el apéndice C. Mediante un informe emitido por Hidrolab Toro Consultores C.A. en el que se obtiene como resultado que los lodos biológicos de la PTAR no son tóxicos ni peligrosos para el ambiente, de conformidad a lo establecido en el Decreto 2635 de fecha 03 de Agosto de 1998, Gaceta Oficial Extraordinaria No. 5.245, en el cual se establecen las “Normas para el control de la recuperación de materiales peligrosos y el manejo de los desechos peligrosos”, donde el artículo 5 indica que: “Se considera peligroso todo material o desecho que presente características peligrosas, figure en el Anexo B o contenga cualquiera de las sustancias del Anexo C, indicadas con una X en concentración igual o superior a 50 ppm o cualquiera de las otras sustancias del mismo Anexo en concentración igual o superior a 1000 ppm”, cumpliendo además las concentraciones máximas permisibles en lixiviados en el Anexo D de dicho Decreto.

Además, los lodos obtenidos en la PTAR pueden ser dispuestos en rellenos sanitarios de acuerdo a lo establecido en la Ley de Gestión Integral de la Basura, de fecha 30 de Diciembre de 2010, Gaceta Oficial Extraordinaria No. 6.017. Está Ley establece las disposiciones regulatorias para la gestión integral de la basura, con el fin de reducir su generación y garantizar que su recolección, aprovechamiento y disposición final sea realizada en forma sanitaria y ambientalmente segura, y que de acuerdo a lo establecido en el artículo 63 de la referida Ley, la disposición final de los desechos sólidos no peligrosos (lodo deshidratado) podrá realizarse en rellenos sanitarios.

Pero a pesar de que los efluentes de salida cumplen con todas las normas y límites establecidos por el Ministerio del Poder Popular para el Ambiente para el retorno de las aguas al curso natural, y los lodos que se obtienen no son tóxicos, surge un problema en cuanto a la disposición de los lodos por su alto contenido de humedad, el cual supera los límites establecidos en el comunicado de MPPA (apéndice B), por lo que es necesario proponer una serie de alternativas de floculantes que mejoren la deshidratación de los mismos, reduciendo el agua presente en los lodos para evitar el

manejo de grandes volúmenes así como también conseguir una textura adecuada para que resulten manejables y transportables, de manera que su evacuación y disposición final sean adecuadas desde el punto de vista sanitario, medioambiental y de su manejo.

A continuación se muestra un registro de humedad de los lodos, una vez finalizado el proceso de tratamiento de las aguas y la deshidratación respectiva:

TABLA 4.1

PORCENTAJES DE HUMEDAD CONTENIDA EN LOS LODOS LUEGO DE PASAR POR LA ETAPA DE DESHIDRATACIÓN

Parámetro	Porcentaje de humedad en lodos	*Límite relleno sanitario
29/08/2011	87%	**85%**
30/09/2011	86%	
31/10/2011	85%	
28/11/2011	86%	
30/12/2011	85%	
Promedio	86%	

Fuente: Alimentos Polar Comercial – Planta Turmero, 2011

*Comunicado MPPA: Apéndice B

La siguiente investigación busca el mejoramiento de la etapa de deshidratación de lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales de la empresa, ya que los límites cercanos del contenido de agua en los lodos (un promedio de 86% de humedad), causa daños en los suelos de los rellenos sanitarios produciendo lixiviados en ellos, por lo que el Ministerio del Popular Para el Ambiente se ve en la obligación de rechazar el permiso que tiene la empresa para que disponga de esos suelos para el desecho de los lodos, hasta que disminuya la cantidad de agua contenido en éstos; por lo que es muy perjudicial para la empresa cuando esto sucede ya que estos desechos son devueltos a la planta, generando diversas pérdidas monetarias.

4.2) ESTABLECER DIVERSAS ALTERNATIVAS DE TIPOS DE FLOCULANTES PARA DISMINUIR LA HUMEDAD DE LOS LODOS

Para mejorar la deshidratación de los lodos de la planta, se establecen una serie de alternativas de floculantes que mejore la unión entre las partículas coloidales para que se aglomeren y formen flóculos más grandes fácilmente asentables, pero para ello, fue necesario una serie de investigación previa de los diversos floculantes que existen en el mercado y de sus características, recolectados mediante las hojas técnicas y asesorías de personas con experiencia en el uso de estos productos químicos.

Entre los parámetros considerados para una preselección de la gran cantidad de alternativas que existen hoy día en el mercado, se tienen:

- Tipos de floculantes: se escogieron floculantes de tipo catiónico, ya que poseen grandes cadenas extendidas, y puesto que la mayoría de los coloides en el agua se encuentran siempre cargados negativamente (Degremont, 1979). Además se utilizan frecuentemente floculantes catiónicos para la neutralización de dichas partículas y se sugiere ensayar primero con éstos por ser eficaces para los lodos con elevado contenido de materia orgánica (Metcalf & Eddy, 2000).

  Adicionalmente los asistentes que nos proporcionaron ayuda e información, y que a su vez compartieron su experiencia laboral (tanto personal técnico de NALCO como de WET), recomiendan los floculantes de carga catiónica para la aplicación en el tratamiento de agua de desecho industrial y municipal, puesto que presentan una buena efectividad en especial, en el proceso de espesamiento y deshidratación de los lodos.

- Floculantes de diferente peso molecular: ya que al utilizar polielectrolitos catiónicos de diferente peso molecular se puede observar cómo actúa esta diferencia en la acción de coagulación-formación de puentes, que además de disminuir la carga, estos polielectrolitos formarán también puentes entre las partículas. (Aguilar et al., 2002)

- Características físicas como: polvo o líquido, para la preselección no se descarta el uso de floculantes de acuerdo a su presentación, pero más adelante se tomará en cuenta ésta y otras características a la hora de la facilidad de preparación y dosificación de los mismos.

- Empresas proveedoras: actualmente la empresa guarda una relación empresarial con los proveedores de polímeros NALCO, pero aún así, la planta está abierta a que otros proveedores den a conocer sus productos y que ambos faciliten el suministro de material requerido por las constantes dificultades de importación; es por esto que además de utilizar muestras de otros floculantes pertenecientes a la NALCO también se contó con el apoyo y suministro de floculantes de la Corporación WET Chemical Venezuela, ya que es una empresa que se está dando a conocer en el mercado y desea presentar la efectividad y eficiencia de sus productos.

Una vez establecidos los parámetros y características esperados de los floculantes, así como también la facilidad y disposición de encontrar los floculantes y tener muestras para el estudio de esta investigación, se tienen las diversas alternativas, como se observa en la tabla 4.2.

TABLA 4.2

ALTERNATIVAS SELECCIONADAS PARA EL ESTUDIO Y SU RESPECTIVO PROVEEDOR

Proveedor	Tipo de floculante	Característica física	Peso molecular	Tipo de polímero
NALCO An Ecolab Company	7128*	Líquido	Alto	Catiónicos
	9909	Polvo	Alto	
	7199	Líquido	Bajo	
	61067	Líquido	Alto	
WET Chemical Venezuela	933	Líquido	Medio	
	947	Polvo	Alto	
	948	Líquido	Medio	
	1004	Polvo	Muy alto	

*Floculante usado actualmente en la PTAR de APC, C.A - Planta Turmero.

Por otra parte, como tampoco se añade un coagulante (como se mencionó anteriormente) esta agua flocula fácilmente con solo adición de floculante para estabilizar dichas cargas negativas.

4.2.1 Alternativas de floculantes

De los existentes floculantes en el mercado utilizados en el espesamiento y deshidratación de lodos en el tratamiento y clarificación de aguas residuales, los más resaltantes y escogidos de acuerdo a sus especificaciones son los siguientes:

NALCO:

- **7128:** Es el floculante usado actualmente por la planta. De acuerdo al boletín técnico (Apéndice G) es un copolímero en emulsión líquido blanco opaco, catiónico de acrilamida de alto peso molecular, que produce aguas clarificadas con muy bajo contenido de metales pesados, que debe ser aplicado diluido a una concentración del 0,05% al 0,10% para obtener una mayor eficiencia. Es efectivo en la deshidratación de lodos y espesamiento de los mismos, funciona para cualquier sistema de deshidratación de lodos (filtros, centrífugas), y se despacha en tambores de 209kg (NALCO An Ecolab Company, 2011).

- **9909:** Es un copolímero en polvo, catiónico de acrilamida de alta carga y peso molecular, diseñado para aplicar en la remoción de sólidos suspendidos en los procesos de tratamientos de agua, brinda flocs fuertes y pesados de alta sedimentación, se usa también como acondicionador de lodos en aplicaciones con filtros, centrífugas etc.. Se recomienda un tanque de dosificación separado del tanque de preparación, debe ser dosificada a una línea de agua para dilución continua hasta 0,01% o menos. Se despacha en tambores de 25kg (NALCO An Ecolab Company, 2011).

- **7199:** De acuerdo al boletín técnico es un copolímero en emulsión líquido blanco opaco, catiónico de acrilamida de bajo peso molecular, no es buen floculante para aguas con alto contenido de sólidos en suspensión, sales

minerales y hierro o con un pH por debajo de 6,5 o por encima de 7,8. Está diseñado para utilizarse para la deshidratación/espesamiento de lodos. No se recomienda el uso de este floculante con una concentración por debajo de 0,1% o por encima de 1,0%. Se despacha en tambores de 1000kg (NALCO An Ecolab Company, 2011).

- **61067:** es un copolímero en emulsión líquido blanco opaco, de acrilamida de alto peso molecular y naturaleza catiónica, es un buen espesador de lodos, se recomienda que la dosificación de este floculante sea diluido a una concentración que varíe en un rango de 0,1% al 1,0% para que el polímero actúe de manera eficaz y se despacha al mercado en tambores de 209kg (NALCO An Ecolab Company, 2011).

WET:

- **933:** es un polímero en emulsión líquido de apariencia opaca crema, de acrilamida de peso molecular medio. Debe almacenarse en un lugar seco y frío, donde la temperatura no exceda los 40ºC. Se prepara fácil y rápidamente a concentraciones de 0.25 - 1.0%, siendo la concentración óptima de la solución 0.50%. Se comercializa en varios tipos de envases: en sacos de 25Kg y en tambores de 50Kg (WET Chemical, 2011)

- **947:** es un polímero floculante catiónico en polvo de alto peso molecular. Es efectivo en el drenado de lodos, debe ser dispersado lento y uniformemente en agua con una energía de mezclado adecuado. Generalmente tiene un tiempo de vida de 2 años en sacos cerrados. Se comercializa en sacos de 200Kg (WET Chemical, 2011)

- **948:** es un polímero en emulsión líquido blanco opalescente, formulado a base de poliacrilamidas de peso molecular medio y con una carga catiónica muy alta. Producto eficaz a bajas dosis. Es efectivo al aplicarlo en espesadores de lodos biológicos. Se recomienda aplicarlo en agua a una concentración de 0.75% al

2.0%, se comercializa en tambores de 200Kg y 1000Kg (WET Chemical, 2011). (Apéndice G)

- **1004:** es un producto granular, de aspecto blancuzco, a base de una poliacrilamida catiónica, de muy alto peso molecular y alta densidad de carga. El producto está formulado con grupos funcionales específicos que promueven una eficiente separación sólido-líquido en operaciones de clarificación de aguas. Produce flocs grandes y densos. Proporciona una alta tasa de sedimentación y una buena claridad en el sobrenadante. Es efectivo en el rango de 4.0-9.0. produce lodos compactos. El producto se diluye a concentraciones entre 0,05% al 2%. Se comercializa en bolsas de 25Kg (WET Chemical, 2011). (Apéndice G)

Los polielectrolitos seleccionados deben ser diluidos en agua, hasta una concentración de trabajo recomendado por los boletines técnicos de cada uno de ellos, tanto para los de NALCO como los de WET Chemical, para lograr desenvolverse e interactuar, rebajando la carga de las partículas cargadas negativamente, promoviendo la formación de puente entre las mismas, y favoreciendo el crecimiento de los flóculos, logrando de ésta manera espesar el lodo. Es por ello que para la selección de las alternativas de polímeros floculantes, se consideró principalmente el tipo de polímero (catiónico), así como también el peso molecular y las características físicas (polvo o emulsión), así como también su preparación. En la siguiente tabla (Tabla 4.3) se compara las diversas alternativas de floculantes, detallando las diferencias y similitudes con respecto al floculante actual.

Los polímeros en polvo o seco: NALCO 9909, WET 947 y 1004, se caracterizan por ser 100% activos, en cambio los floculantes líquidos NALCO 7128, 7199, 61067, WET 933, y 948, son emulsiones con un 30-40% de activo, por lo que la actividad polimérica de un sólido es mayor y presenta una mejor interacción con las partículas (Restrepo, 1999). Los floculantes en polvo tienen un peso molecular alto, y en especial el WET 1004, el cual es muy alto (Tabla 4.3), lo que proporciona una mayor exposición de sitios activos

TABLA 4.3

SIMILITUDES Y DIFERENCIAS DE LAS DIVERSAS ALTERNATIVAS PROPUESTAS EN COMPARACIÓN CON EL FLOCULANTE ACTUAL

Alternativa de floculantes	Similitudes	Diferencias	Floculante actual Nalco 7128
Nalco 9909	- Polímero catiónico - Alto peso molecular - Toxicidad leve	- Polvo - Preparación - Actividad polimérica mayor - Solubilidad en agua limitada	- Polímero catiónico - Alto peso molecular - Emulsión - Actividad polimérica media - Solubilidad en agua moderada - Toxicidad leve
Nalco 7199	- Polímero catiónico - Emulsión - Toxicidad leve	- Bajo peso molecular	
Nalco 61067	- Polímero catiónico - Alto peso molecular - Emulsión - Toxicidad leve		
WET 933	- Polímero catiónico - Emulsión - Toxicidad leve	- Medio peso molecular	
WET 947	- Polímero catiónico - Alto peso molecular - Toxicidad leve	- Polvo - Preparación - Actividad polimérica mayor - Solubilidad en agua limitada	
WET 948	- Polímero catiónico - Emulsión - Toxicidad leve	- Medio peso molecular	
WET 1004	- Polímero catiónico - Muy alto peso molecular - Toxicidad leve	- Polvo - Preparación - Actividad polimérica mayor - Solubilidad en agua limitada	

Fuente: NALCO An Ecolab Company y WET Chemical 2011

por sus largas cadenas poliméricas. En el caso de los floculante en emulsión se tiene una variedad del peso molecular, para estudiar su desenvolvimiento y eficacia en el estudio experimental.

En la PTAR de APC – Planta Turmero, se emplea el polímero floculante NALCO 7128, que a pesar de ser un polímero de tipo catiónico y de alto peso molecular, es un floculante líquido, por lo que su actividad polimérica no es muy alta y no tiene una buena interacción entre las partículas; por ello, se proponen alternativas iguales, al ser catiónicos, para una mejor interacción con las partículas negativas del agua residual, pero diferentes, en cuanto a sus características físicas (polvo o emulsión) y pesos moleculares y de diferentes proveedores para determinar cuál de los floculantes presenta mejorías en la etapa de deshidratación de los lodos de la PTAR.

Actualmente en el mercado existe una gran variedad de productos que mejoren el proceso de deshidratación de lodos y promuevan una mejor separación sólido-líquido en las operaciones de la clarificación de las aguas. La elección del floculante dependerá de sus características físicas y químicas, disponibilidad en el mercado, empresas proveedoras, costos asociados y efectividad en el tratamiento de los lodos el cual es verificado mediante la realización de estudios experimentales en laboratorios.

4.3) EVALUAR TÉCNICAMENTE A NIVEL DE LABORATORIO LAS DIVERSAS ALTERNATIVAS DE TIPOS DE FLOCULANTES

Una vez realizado el diagnóstico de la problemática de la etapa de deshidratación de lodos, de realizar conjuntamente una revisión bibliográfica y recibir colaboración de expertos del tema para establecer las diversas alternativas de polímeros floculantes a experimentar, se procedió a evaluar técnicamente a nivel de laboratorio estas alternativas. Para lo cual se realizaron pruebas de jarras y de filtrabilidad a la muestra de efluente.

Las muestras de aguas fueron recolectadas de igual forma durante los dos días de pruebas de acuerdo a lo establecido en la Norma Covenin 2709.2002, con el fin de

garantizar condiciones similares para los dos días de prueba, de tal manera de tener un tamaño representativo en las características de las muestras, y así obtener resultados que satisfagan el propósito para el que se decidió captar la muestra.

Para la realización de los análisis experimentales con el efluente previamente recolectado, es necesario tener presente todas las características de los floculantes escogidos como: características físicas, la dosificación y la aplicación del producto (concentración y mejores condiciones para su máximo rendimiento). Es por ello que primero se necesita preparar los floculantes.

Entre las alternativas, se tiene floculantes en polvo y en emulsión (líquido viscoso). Para asegurar un buena mezcla con el lodo conviene inyectarlo en forma de solución acuosa muy diluida, cuidando de establecer concentraciones entre los rango de mejor rendimiento de cada tipo de floculante. Para todos los floculantes se estableció trabajar con la misma concentración diluida de 0,1% tal como lo dosifica la empresa, además de ser un valor dentro de los rangos para un mejor rendimiento de cada floculante de acuerdo a las hojas técnicas (NALCO An Ecolab Company y WET Chemical) de cada floculante. La posibilidad de utilizar una baja dosificación de polímero se debe a sus largas ramificaciones, donde existen enormes cantidades de sitios activos en los cuales se atrapan las partículas, coágulos o floc a pesar de la pequeña dosis. Las dosis excesivas de polímeros producen dispersión de partículas y enturbiamiento del agua (Restrepo, 1999).

Para reproducir las condiciones en las cuales se produce la floculación en la planta de tratamiento de lodos se hace uso del equipo de jarras, a través de este equipo se observa el comportamiento de los floculantes y de la aglomeración de las partículas coloidales.

Las teorías de la desestabilización coloidal todavía no están suficientemente desarrolladas como para permitir una selección sin determinación experimental. Las 8 alternativas de floculantes son sometidos a una prueba de jarras preliminar, donde se

escogen 4 volúmenes de dosificación que abarque la cantidad añadida por la planta con el floculante actual (40mL), las dosis establecidas son: 20mL, 30mL, 40mL y 50mL. Se registra los valores de pH luego de añadir los floculante de manera de detectar variaciones que se salga de las normativas de descarga en cloacas. Las pruebas de jarra se realizan para cada floculante, registrando el índice de Wilcomb, tamaño del flóculo y el pH. Cada experimento se realizó una sola vez con cada uno de los floculantes, es decir, sin repetición de las corridas por la falta de tiempo, permiso del uso de laboratorio y la poca cantidad de muestras de floculantes disponibles.

En la tabla 4.4, se muestra el comportamiento de los floculantes y la formación de los flóculos, a diferentes dosificaciones. El estudio se hizo con 4 jarras por cada floculante, con las diferentes dosificaciones antes mencionadas, y a cada una de las jarras se les midió el pH y se registró en dicha tabla. Como se observa, la variación del valor de pH con respecto al del efluente fue mínima, esto es una ventaja de los floculantes, es decir, que son poco afectados por el pH del sistema, y a su vez, no producen variación radical al pH del agua tratada, y como se mantiene cercanos al valor neutro, estas variaciones cumplen en todo momento con los límites de descarga a cloacas.

En cuanto a la comparación de los tamaños, no es un proceso fácil. Cada una de las jarras son visualizadas detalladamente, y se observa cómo se forma el floc en cada una de ellas, haciendo uso y comparando los flóculos, su tamaño y se evalúa cualitativamente según sus características, con la figura 2.5 y la tabla 2.2, pero es necesario remarcar que esta determinación es subjetiva y depende del criterio del observador, en este caso, con ayuda de los asesores (quienes ya tienen mayor experiencia en el campo) se establecieron dichos valores.

Para observar con más facilidad los floculantes, de los que se obtuvieron mejores resultados, se colocaron en orden, de mayor a menor efectividad, es decir, los dos primeros floculantes de la tabla 4.4, WET 1004 y WET 948, son aquellos que mostraron el floc más grande, de mayor velocidad de asentamiento, y que dejó ver un agua más cristalina entre las partículas aglomeradas con un tamaño de G y F, con un índice de

TABLA 4.4
PARÁMETROS OBTENIDOS EN LA REALIZACIÓN DE DOSIFICACIÓN PRELIMINAR EN EL PRIMER ESTUDIO DE PRUEBAS DE JARRAS

Floculante	Volumen de floculante (V_{floc} ± 0,05)mL	Índice de Wilcomb	Tamaño del flóculo	Potencial de hidrógeno (pH ± 0,01)Adim
WET 1004	20,00	8	G	7,03
	30,00	10	G	6,98
	40,00	10	G	6,98
	50,00	8	F	6,95
WET 948	20,00	8	F	6,99
	30,00	8	F	7,00
	40,00	8	F	6,98
	50,00	10	G	7,05
NALCO 7128	20,00	6	E	7,01
	30,00	6	E	7,00
	40,00	6	F	6,99
	50,00	8	F	7,03
NALCO 61067	20,00	4	D	7,04
	30,00	4	E	7,01
	40,00	6	E	6,99
	50,00	6	E	6,95

Temperatura ambiente: (31,0 ± 0,5) °C
Presión ambiente: (709,46 ± 0,05) mmHg
pH del efluente: (7,00 ± 0,01) °C

TABLA 4.4

PARÁMETROS OBTENIDOS EN LA REALIZACIÓN DE DOSIFICACIÓN PRELIMINAR EN EL PRIMER ESTUDIO DE PRUEBAS DE JARRAS (CONTINUACIÓN)

Floculante	Volumen de floculante (V_{floc} ± 0,05)mL	Índice de Wilcomb	Tamaño del flóculo	Potencial de hidrógeno (pH ± 0,01)Adim
NALCO 9909	20,00	2	D	6,97
	30,00	2	E	6,99
	40,00	4	D	7,02
	50,00	6	E	6,99
WET 933	20,00	2	D	6,98
	30,00	2	E	7,00
	40,00	4	E	6,97
	50,00	4	D	6,95
WET 947	20,00	0	A	7,00
	30,00	2	B	6,99
	40,00	2	B	7,03
	50,00	2	C	7,01
NALCO 7199	20,00	0	A	7,02
	30,00	0	A	7,02
	40,00	0	A	6,99
	50,00	0	A	7,05

Temperatura ambiente: (31,0 ± 0,5) °C
Presión ambiente: (709,46 ± 0,05) mmHg
pH del efluente: (7,00 ± 0,01) °C

Wilcomb (Tabla 2.2) de 8 y 10, disminuyendo ambas características en los demás floculantes. Luego se describen los floculantes NALCO 7128 y NALCO 61067 obteniéndose tamaños de F y E con índice de Wilcomb de 6 y 8 para el polímero NALCO 7128; para el NALCO 61067 se obtuvo un tamaño de E y D con índice de 4 y 6, El floc formado del floculante NALCO 7128 es bueno ya que se tiene un tamaño que es relativamente grande, el cual se deposita completamente pero precipita un poco lento, y para el NALCO 61067 se observa flóculos bien formados y uniformemente distribuidos pero que sedimenta muy lentamente.

En la continuación de la tabla 4.4 se tiene las características visuales del comportamiento de formación del flóculos con el NALCO 9909, el cual muestra un tamaño E y D con índice de 2, 4 y 6, y los flocs formados son visibles pero dispersos y sedimentan muy lento, en el caso de WET 933, se tiene un tamaño de flóculo E y D con un índice de 2 y 4, los flocs son pequeños y tardan mucho en sedimentar, los cuales no lograron desarrollar un mejor tamaño. Los peores son los otros floculantes, que presentan el tamaño del flóculo de WET 947 que está entre C, B y A con un índice de 0 y 2, y los flocs a pesar que son visibles son muy pequeños, casi imperceptible; y con respecto al floculante NALCO 7199 se obtuvo un tamaño A teniendo un índice de Willcomb de 0, observándose un floc coloidal muy disperso y sin ningún signo de aglutinación.

Con el objetivo de reducir las alternativas de los floculantes, se hace este primer barrido de prueba de jarras, del cual, se escogen los primeros 4 floculantes que presentaron mejores características y formación de flóculos para este tipo de efluente de aguas residuales. Los floculantes que pasan a la siguiente etapa de análisis son: WET 1004, WET 948, NALCO 7128 y NALCO 61067, debido a que se obtienen valores de tamaño del flóculo altos, es decir, el tamaño del floc de estas jarras en comparación con las otras eran más grandes (Tabla 4.4) y con mayor velocidad de asentamiento. También se tomó en cuenta que el agua se viese más cristalina entre las partículas coaguladas. Adicionalmente se consideró el índice de Willcomb (Tabla 2.2), en el cual se determinaba el tamaño del floc formado, la velocidad con que se asentaba o depositaba

en el fondo de la jarra y la apariencia del agua. Para estos polímeros, el índice de Willcomb eran los más altos, en comparación a los valores de los demás floculantes descartados.

A pesar de que estos indicadores dependen del criterio del observador, es decir, los resultados obtenidos y la evaluación son cualitativos, son una herramienta fácil de emplear, que dependen de una observación visual y es lo que más comúnmente se hace para visualizar el comportamiento de los diversos floculantes con las aguas residuales a tratar.

La siguiente etapa consta de la realización de las pruebas de filtración con los efluentes luego de realizarle las pruebas de jarras y con éste, estudiar el comportamiento de los floculantes preseleccionados a diferentes concentraciones a partir del tiempo que tarda un determinado volumen de líquido en filtrarse. Cuanto mayor tamaño de partícula, mayor es la tasa o velocidad de filtración, siendo finalmente inferior la humedad de la torta, pero también debe tenerse en cuenta la calidad del agua filtrada y la turbidez que ésta contiene.

Transcurrido el tiempo fijado para la prueba de filtración, se registró la cantidad de volumen filtrado (Tabla E.1) en los tiempos establecidos, y para cada una de las jarras con las diversas dosificaciones de los 4 floculantes preseleccionados, pero también se tomó en cuenta las características del semisólido (torta) formado, los cuales se reportan en la tabla 4.5. El efluente sin adición de ningún floculante se le llamó blanco.

En la tabla 4.5 se registra los comentarios respectivos de las características observadas para los flóculos y la torta formada para cada una de las jarras luego de hacerlas pasar por las pruebas de filtración.

TABLA 4.5
CARACTERÍSTICAS DE LA TORTA FORMADA AL FILTAR EL EFLUENTE

Floculante	Volumen de floculante (V_{floc} ± 0,05)mL	Comentarios
Blanco	0,00	Lodo no retenido por medio filtrante
WET 1004	20,00	Buen flóculo, formó buena torta
	30,00	Excelente flóculo, torta más seca
	40,00	Excelente flóculo, torta más seca
	50,00	Buen flóculo, formó buena torta
WET 948	20,00	Paso de lodo, formó poca torta
	30,00	Paso de lodo, formó poca torta
	40,00	Buen flóculo, formó buena torta
	50,00	Excelente flóculo, torta más seca
NALCO 7128	20,00	Paso total de lodo
	30,00	Paso de lodo, formó poca torta
	40,00	Paso de lodo, formó poca torta
	50,00	Buen flóculo, formó buena torta
NALCO 61067	20,00	Paso de lodo, formó poca torta
	30,00	Paso de lodo, formó poca torta
	40,00	Paso de lodo, formó poca torta
	50,00	Paso de lodo, formó poca torta

Temperatura ambiente: (31,0 ± 0,5) °C
Presión ambiente: (709,46 ± 0,05) mmHg

En las siguientes cuatro (4) figuras se representa gráficamente los datos de la tabla E.1. En la figura 4.4 se observa que a una dosis de 20mL de floculante, los que más volumen de efluente filtraron fueron los floculantes NALCO 7128 y NALCO 61067, pero teniendo en cuenta la tabla 4.5, hubo paso de lodo, por lo que a pesar de obtener mayor cantidad de volumen filtrado, presentó una alta turbidez en el agua filtrada y no formó casi torta (la torta era muy húmeda y en poca cantidad). En cambio, el WET 1004 filtró menos, se observó agua más clara, formación de un buen floculo y formó una buena torta; para el WET 984 pasó mucha cantidad de lodo por lo que no formó casi torta

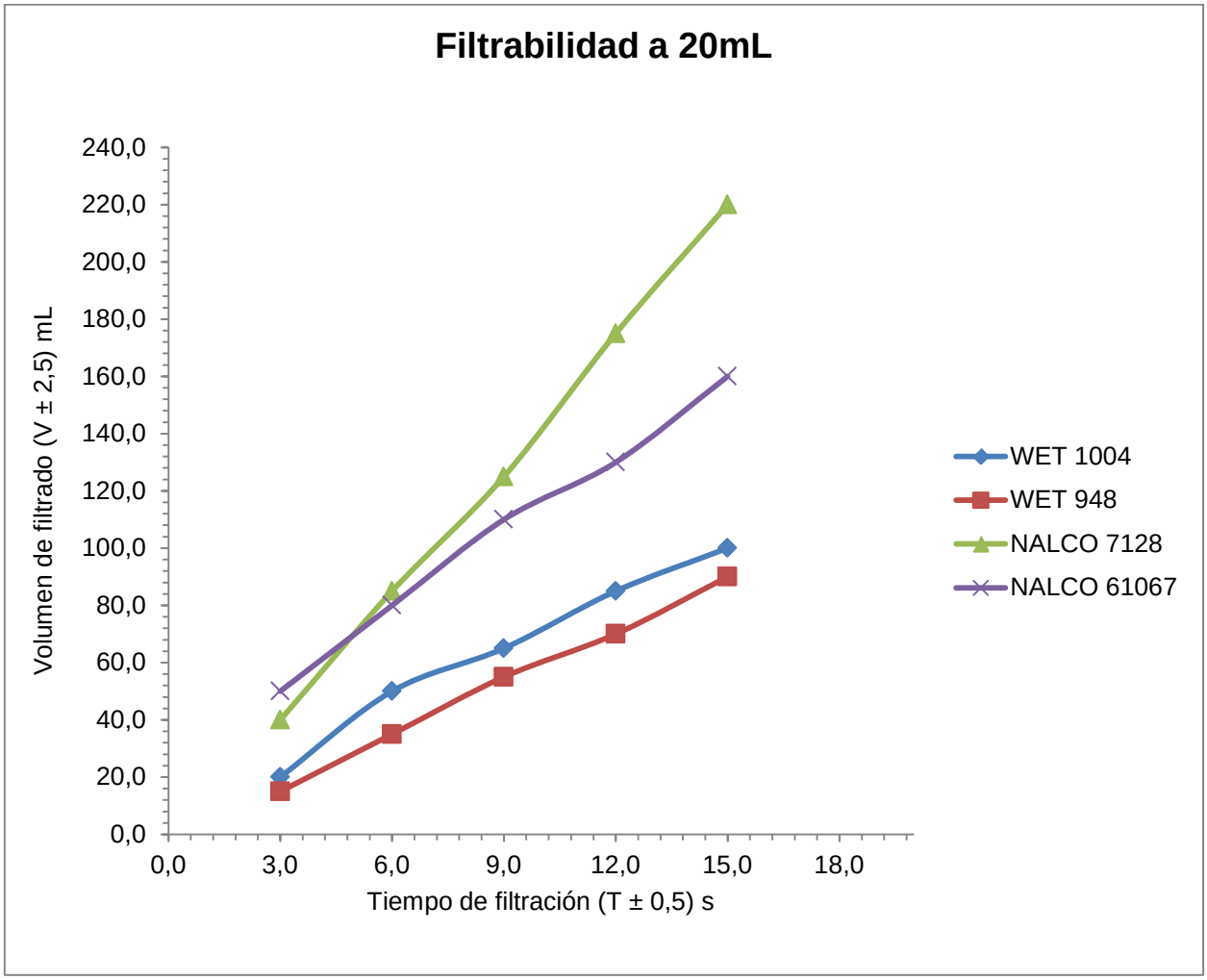


Figura 4.4- Volumen de efluente filtrado a una dosificación de 20mL de los floculantes preseleccionados.

De la figura 4.5 se observa que a una dosis de 30mL de floculante, los que más volumen de efluente filtraron fueron los floculantes NALCO 7128 y NALCO 61067, pero de igual forma como sucedió a 20mL, hubo paso de lodo, por lo que el volumen filtrado no era clara y formó poca torta. Por otro lado, el WET 1004 filtro cantidades similares al floculante WET 948, pero al comparar las tortas y el efluente filtrado, se observó para el WET 1004 una agua muy clarificada, un excelente flóculo y una torta más seca y para el WET 984 hubo paso de lodo por lo que el filtrado era turbio.

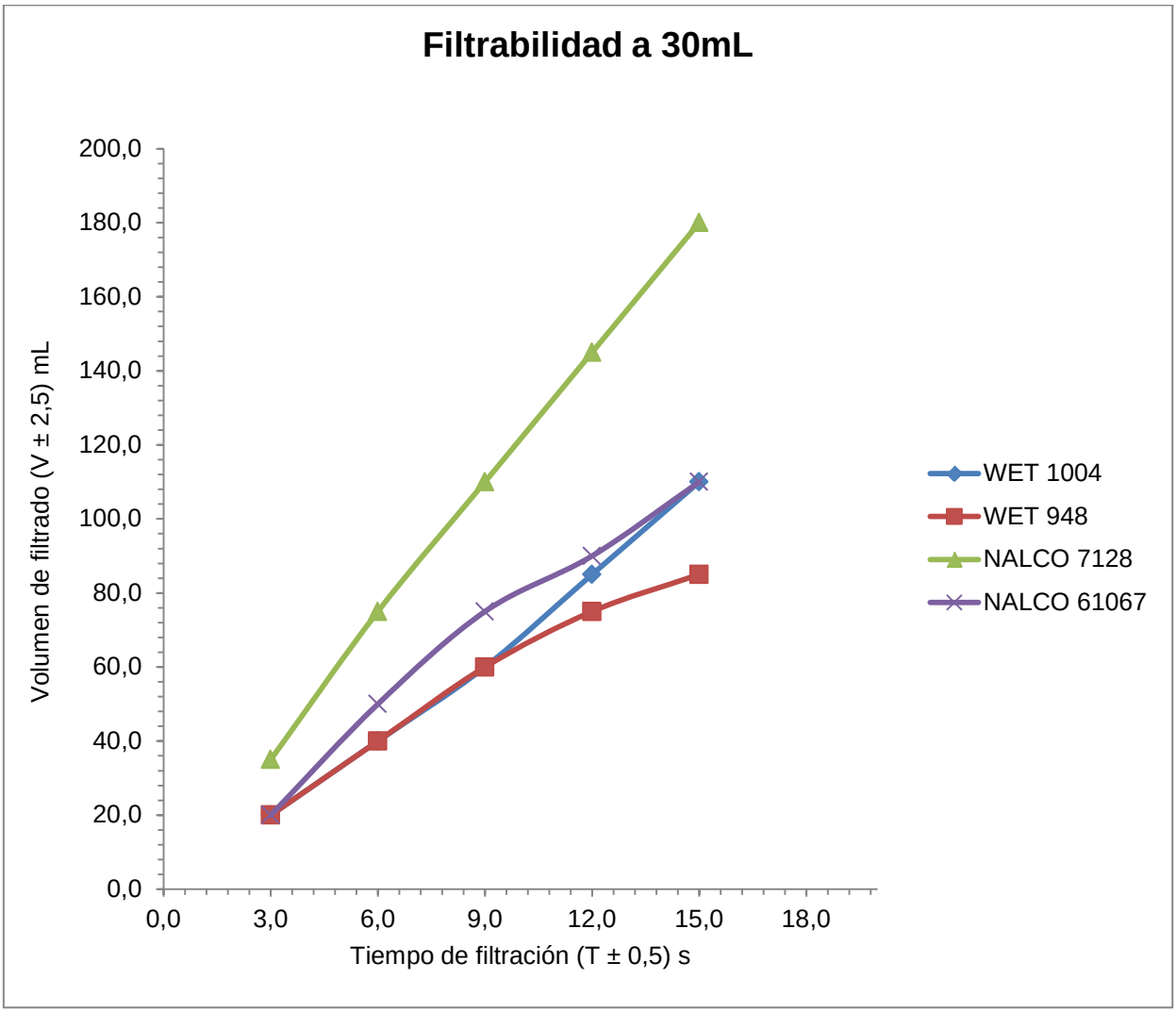


Figura 4.5- Volumen de efluente filtrado a una dosificación de 30mL de los floculantes preseleccionados.

De la figura 4.6 se observa que a una dosis de 40mL de floculante, el WET 948 presenta mejorías en la clarificación del efluente y en la cantidad de efluente filtrado, presentó un buen floculo y formó buena torta. A pesar de que se obtuvo menores volúmenes de filtrado con el floculante WET 1004 se siguen observando mejores resultados, presentando una agua muy clarificada, un excelente flóculo y una torta más seca; caso contrario ocurre con los otros dos floculantes que continúan sin una buena filtración y dando paso al lodo.

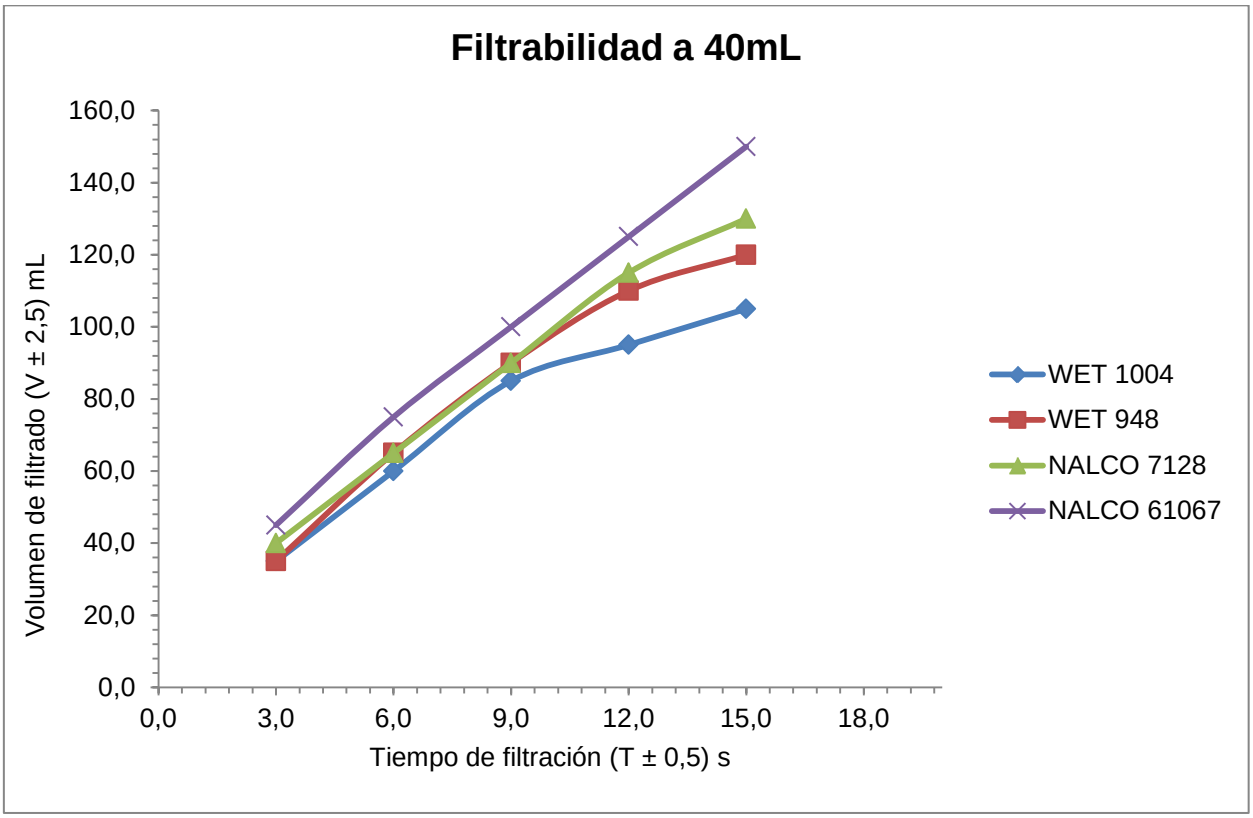


Figura 4.6- Volumen de efluente filtrado a una dosificación de 40mL de los floculantes preseleccionados.

Finalmente, en la figura 4.7 se observa que a una dosis de 50mL de floculante, el que mayor volumen filtra es el NALCO 7128 presentando mejoras en la formación de torta pero no clarifica el agua como se ha observado con otros floculantes. Le sigue el WET 1004 filtrando un buen volumen pero comienza a perder rendimiento obteniéndose un buen flóculo, forma buena torta pero no clarifica mucho el agua. En cuanto al floculante

WET 948 es el que menor cantidad de agua filtra, y se observa un excelente flóculo, una torta más seca y un agua más clarificada, y el NALCO 61067 sigue sin mejoras dejando pasar lodo.

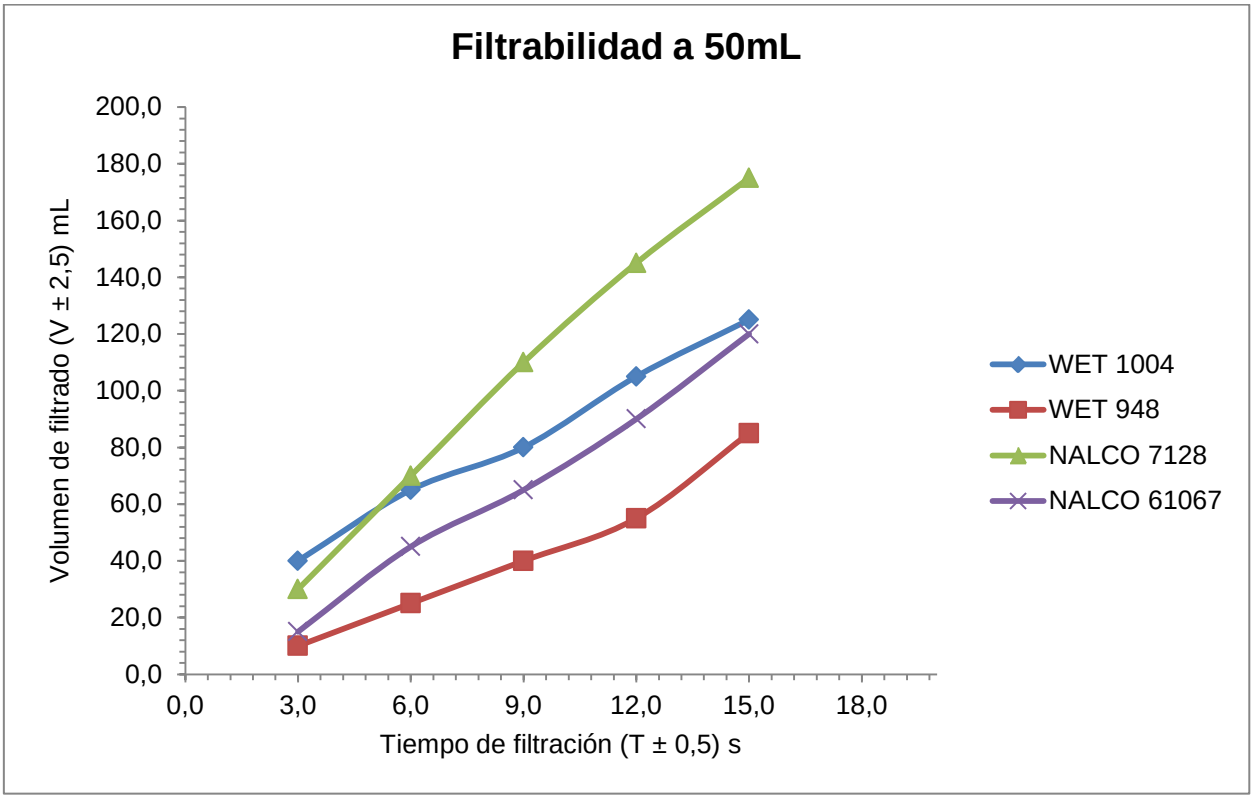


Figura 4.7- Volumen de efluente filtrado a una dosificación de 50mL de los floculantes preseleccionados.

Una vez analizado las gráficas del volumen filtrado en 15 segundos de los 4 floculantes preseleccionados, así como también las características del agua filtrada en conjunto con las características de la torta formada (Tabla 4.5), se pudo observar, que a pesar de que algunos efluentes dosificados filtraran más cantidad, esto no significaba que fuera el mejor, por lo que es de mayor importancia observar y tener en cuenta aquellos floculantes que arrojaran un mejor resultado de agua filtrada más clarificada y de la torta formada, ya que indican una mejor eficiencia de trabajo del floculante en este efluente a tratar, y de esta manera se selecciona los floculantes WET 1004 y WET 948 puesto que presentaron mejores resultados, para hacerles un estudio más detallado en cuanto a dosificación y así obtener la mejor dosis de trabajo.

En la figura 4.8 se muestran los resultados de las experiencias prácticas en el laboratorio, tanto prueba de jarras como las filtraciones, para los floculantes WET 1004 y WET 948 a una dosificación de 40mL. En la parte superior de la figura 4.8 se muestra el comportamiento del floculante WET 1004, en la jarra se observa la formación de grandes y excelentes flóculos, pero el agua filtrada no era muy clara, la torta formada tenía un aspecto húmedo. En la parte inferior de la figura, se muestra el comportamiento del WET 948 a la misma dosificación, en la jarra se observa buenos flóculos, un agua más cristalina y se formó una buena torta.

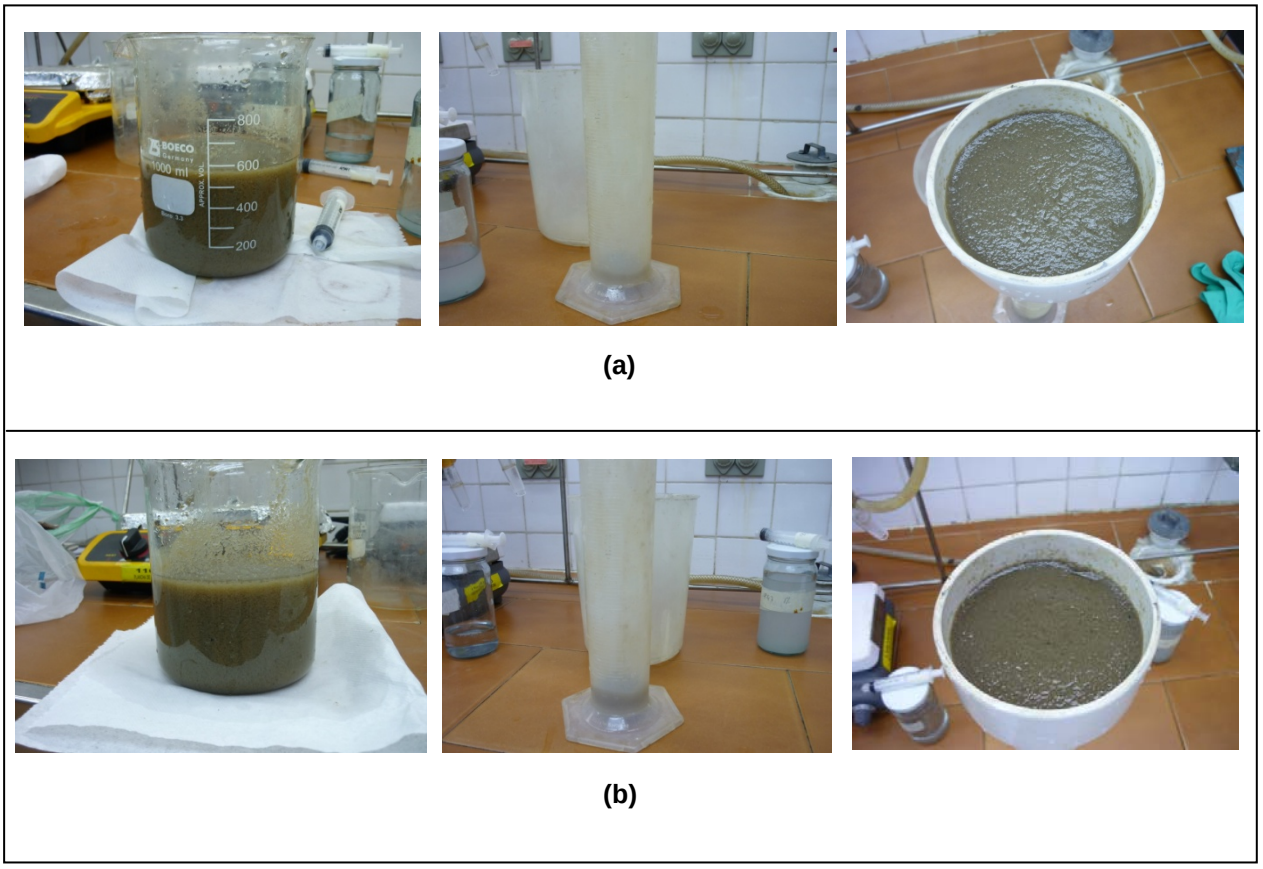


Figura 4.8- Resultados de las pruebas experimentales, prueba de jarras y filtración, para los floculantes WET 1004 (a) y WET 948 (b) a una dosis de 40mL.

De manera similar se observan las características obtenidas para los otros dos floculantes. En la figura 4.9 se muestran los resultados para los floculantes NALCO 7128 y NALCO 61067 a una dosificación de 40mL. En la parte superior de la figura 4.9 se muestra el comportamiento del floculante NALCO 7128, en la jarra se observa

flóculos pequeños, y el agua filtrada no es clara, y la torta formada es poca y con apariencia aguada (alta humedad contenida en ésta). En la parte inferior de la figura, se muestra el comportamiento del NALCO 61067 a la misma dosificación, en la jarra se observa muy pocos flóculos, el agua filtrada arrastra consigo lodo y no se forma casi torta.

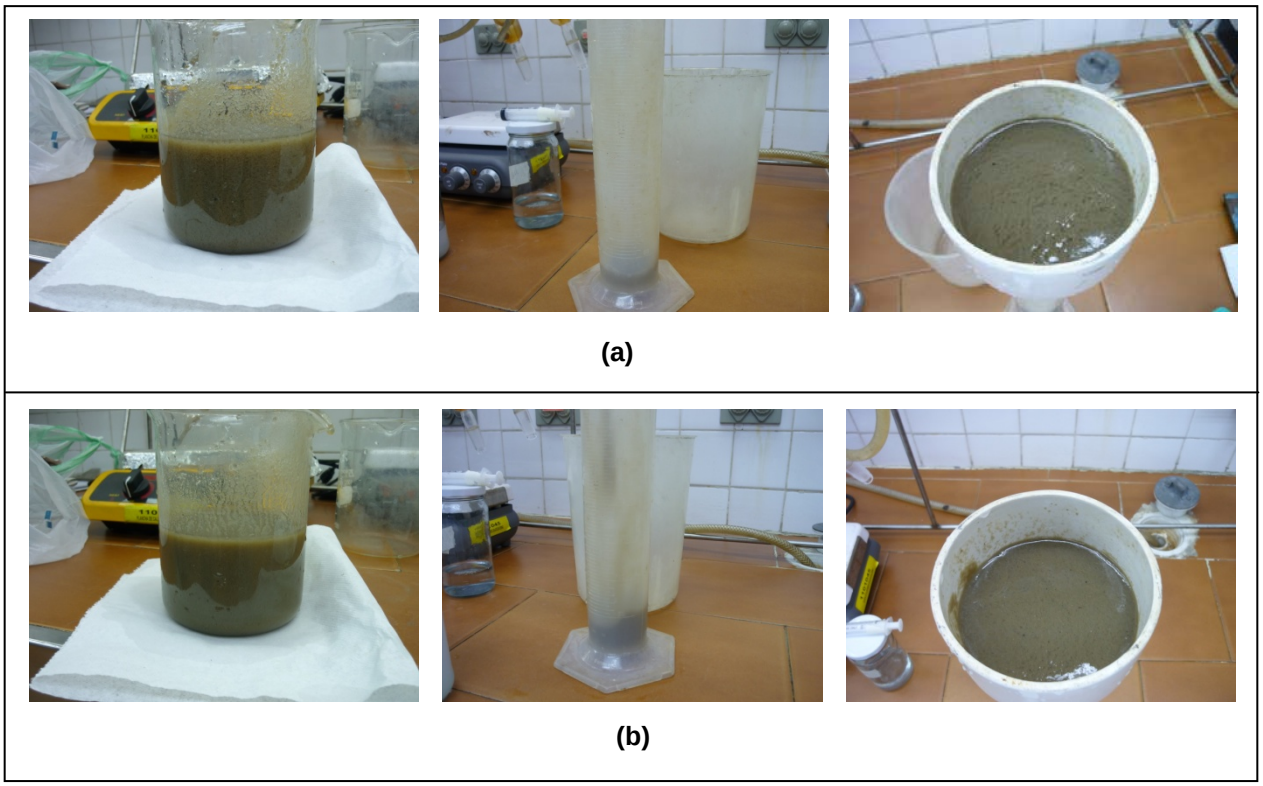


Figura 4.9- Resultados de las pruebas experimentales, prueba de jarras y filtración, para los floculantes NALCO 7128 (a) y NALCO 61067 (b) a una dosis de 40mL

Ya reducido las alternativas de floculantes propuestos inicialmente, a las dos opciones (WET 1004 y WET 948), que aportaron los mejores resultados en cuanto a remoción de sólidos, agua filtrada más clarificada y formación de una torta más compacta y seca, se realizó una mejora en la dosificación, y un estudio detallado de las características y parámetros importantes para la selección del floculante que mejor comportamiento ofrezca, genere mayor remoción de sólidos y menor porcentaje de humedad (parámetro de mayor importancia por ser el que falla en la planta).

Se realiza nuevamente un estudio de pruebas de jarras, para cada uno de los floculantes, pero con la diferencia de reducir las cantidades de dosificación para así encontrar la mejor dosis que ofrezca mayor rendimiento. Se establecen las siguientes dosis: 20mL, 25mL, 30mL, 35mL, 40mL, 45mL, y 50mL. Luego a cada jarra se le realiza pruebas de filtración de igual manera que los otros estudios, registrando los valores de volumen filtrado (Tabla E.2), y también se registran los comentarios acerca de las características observadas de la torta en la tabla 4.6.

TABLA 4.6

CARACTERÍSTICAS DE LA TORTA FORMADA AL FILTRAR EL EFLUENTE CON MENORES DOSIFICACIONES DE FLOCULANTE

Floculante	Volumen de floculante (V_{floc} ± 0,05)mL	Comentarios
WET 1004	20,00	Buen flóculo, formó buena torta
	25,00	Excelente flóculo, torta más seca
	30,00	Excelente flóculo, torta más seca
	35,00	Excelente flóculo, torta más seca
	40,00	Excelente flóculo, formó buena torta
	45,00	Buen flóculo, formó buena torta
	50,00	Buen flóculo, formó buena torta
WET 948	20,00	Paso de lodo, formó poca torta
	25,00	Paso de lodo, formó poca torta
	30,00	Paso de lodo, formó poca torta
	35,00	Paso de lodo, formó poca torta
	40,00	Buen flóculo, formó buena torta
	45,00	Excelente flóculo, torta más seca
	50,00	Excelente flóculo, torta más seca

Temperatura ambiente: (31,0 ± 0,5) °C
Presión ambiente: (709,46 ± 0,05) mmHg

En la tabla 4.6 se describen las características de la torta formada al filtrar el efluente con menores dosificaciones de los dos mejores floculantes. El floculante WET 1004 presenta mejores resultados, con una dosificación entre 25,00mL y 40,00mL, con este floculante se obtuvo muy buenos resultados, se observan excelentes y grandes flóculos formando mejores tortas y más secas, a pesar de no tener tanta agua filtrada en estas dosificaciones (Tabla E.2).

El floculante WET 948 presenta una mejor clarificación del agua, un excelente flóculo y una torta más seca para una dosificación de floculante entre 45,00mL y 50,00mL, como se indica en la tabla 4.6, formando mejores tortas y más secas, pero por debajo de esta dosificación el rendimiento de este floculante comienza a decaer obteniéndose agua filtrada con lodo y por consiguiente formándose poca torta, por lo que se observa este floculante no actúa de manera eficiente con dosis más bajas para este efluente residual.

En las siguientes dos (2) figuras se representa gráficamente los datos de la tabla E.2. En la figura 4.10 se muestra los volúmenes filtrados del efluente tratado a varias dosificaciones con floculante WET 1004. A pesar de que se observa que tuvo menor volumen filtrado para dosis entre 25mL y 35mL, las características de la torta formada y agua clarificada son los mejores. De igual forma sucede con el efluente dosificado con volúmenes de 45mL y 50mL con floculante WET 948, como se observa en la figura 4.11, que son los que menores valores de volumen de filtrado se obtienen, pero las características de agua clarificada y torta obtenida son mejores a esa dosificación.

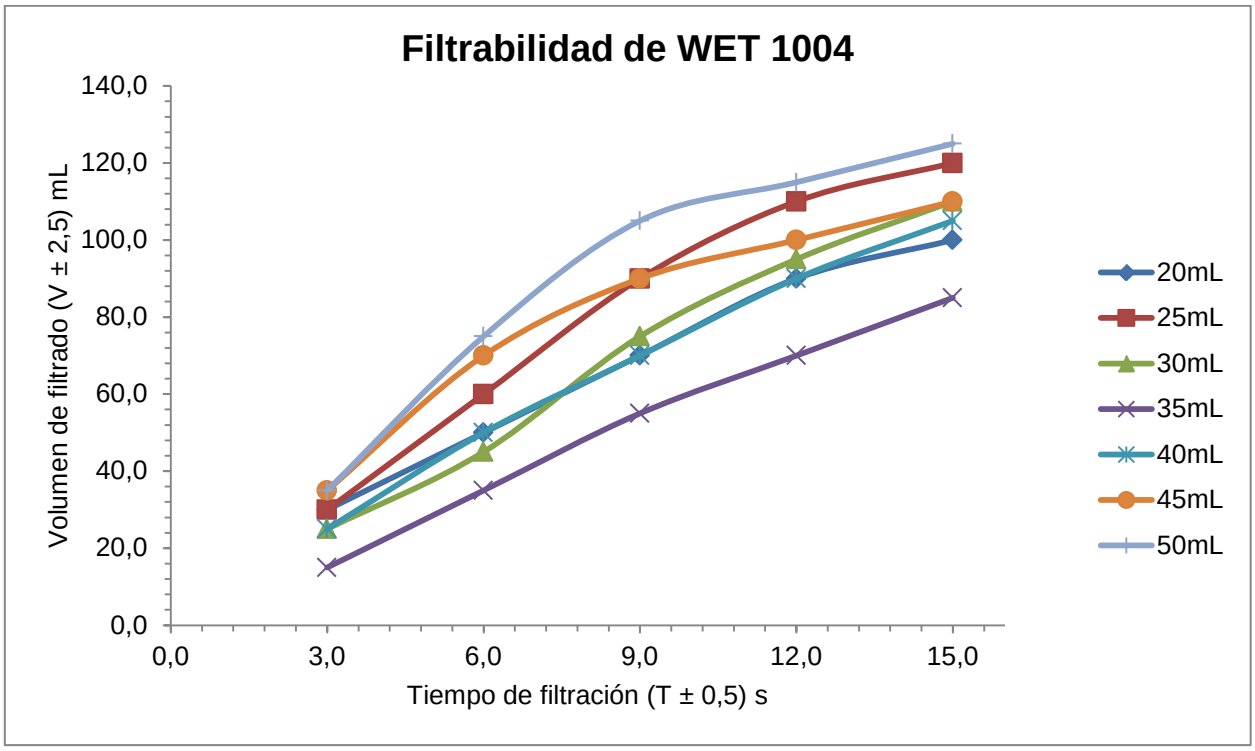


Figura 4.10- Volumen de efluente filtrado a varias dosificaciones del floculante WET 1004.

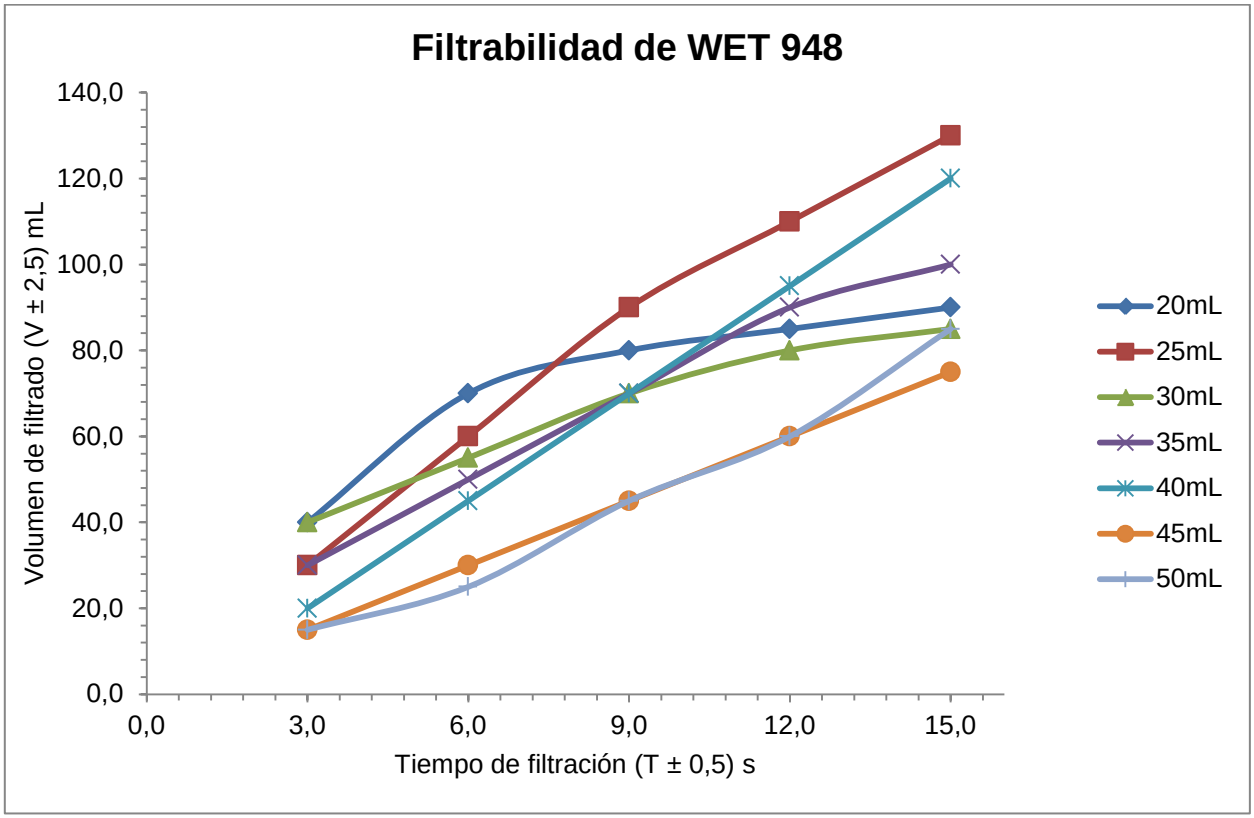


Figura 4.11- Volumen de efluente filtrado a varias dosificaciones del floculante WET 948.

En la parte superior de la figura 4.12 se observa el comportamiento del floculante WET 1004 a una dosificación de 25mL, en la jarra muestra se excelentes flóculos, el agua filtrada es muy clara, y la torta formada es más compacta y seca. En la parte inferior de la figura, se muestra el comportamiento del WET 948 a dosificación de 50mL, en la jarra se observa también excelentes flóculos, el agua filtrada es también clara y se forma una buena torta compacta y seca.

(a)

(b)

Figura 4.12- Resultados de las pruebas experimentales, prueba de jarras y filtración, para los floculantes WET 1004 (a) y WET 948 (b)

Adicionalmente de tomar los volúmenes y características del agua filtrada a estas menores dosificaciones de floculantes, se toma una nueva variable, la turbidez de cada filtrado. En la tabla F.1 se muestra los valores de la turbidez del agua clarificada una vez tratada y filtrada con las diferentes dosis de floculante y en la figura 4.13 su representación gráfica. Para el floculante WET 1004 se obtiene un punto mínimo de 3,20NTU a una dosis de 25,00mL, y en general se obtienen valores muy bajos de turbidez. Con el floculante WET 948, se observa que a medida que se aumenta la dosis

de floculante la turbidez disminuye, dando como mejores resultados a 45,00mL y 50,00mL con una turbidez de 5,80NTU y 5,30NTU respectivamente.

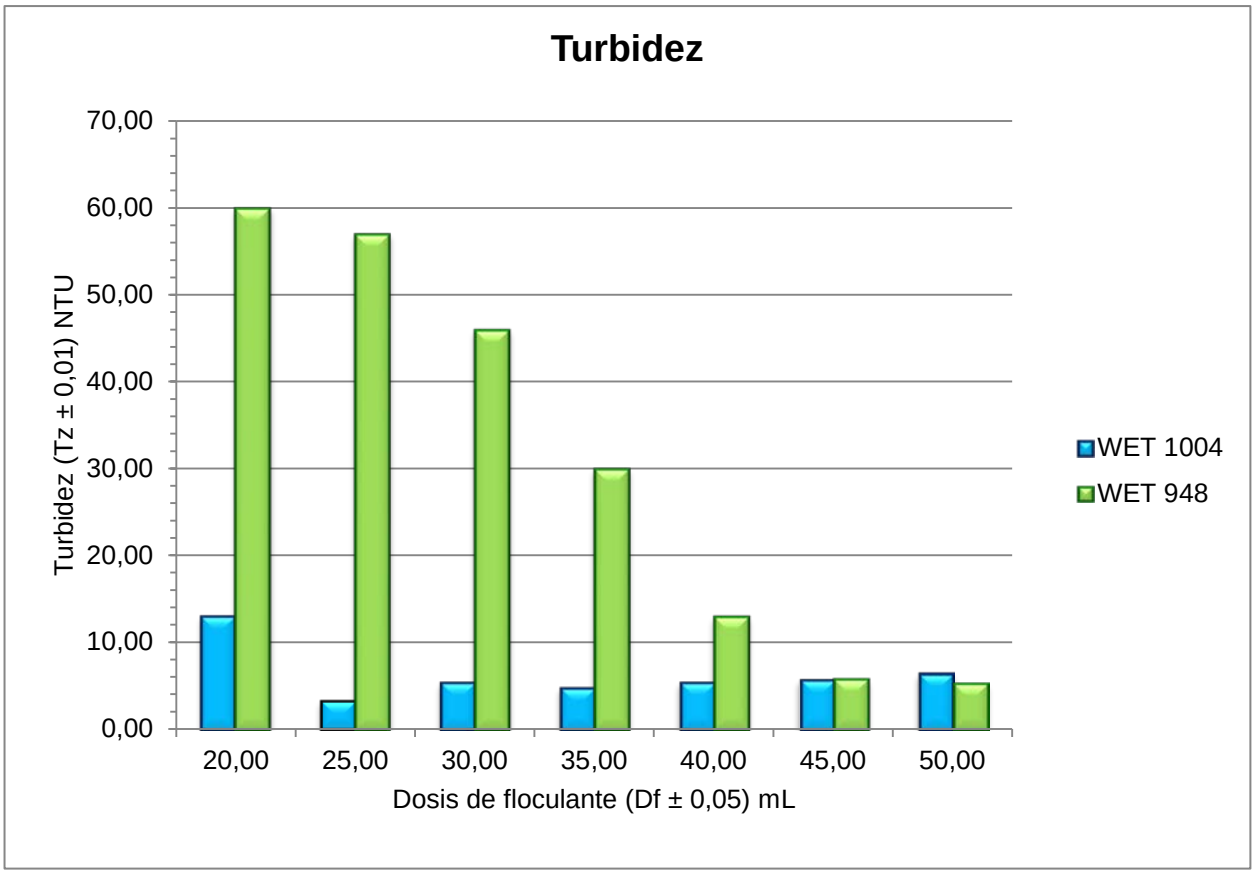


Figura 4.13- Resultados de turbidez del efluente, a las diferentes dosis de los floculantes en estudio.

Según (Nordell, 1961) cualquier impureza finamente dividida, cualquiera que sea su naturaleza, que pueda ser suspendida en el agua y disminuir su claridad, se le conoce colectivamente como turbidez. En la figura 4.14 (izquierda) se observa la muestra del efluente que sale del digestor de lodos sin adición de floculante; este recipiente es luego colocado en el turbidímetro (derecha) para que el equipo mida su turbidez. La turbidez del blanco (efluente sin adición de ningún químico) tiene una turbidez de 113,60NTU. De manera similar se realizó la medición de turbidez con las demás muestras mostrando estos datos gráficamente en la figura 4.13.

Figura 4.14- Aspecto de la turbidez del efluente (sin adición de ningún químico) a la salida del digestor de lodos.

Como la remoción de sólidos está relacionada con la turbidez del efluente residual sin la adición de ningún floculante y con el agua clarificada obtenida luego de la dosificación, los valores donde se obtenga una menor turbidez, por el contrario, son los que obtienen un mayor porcentaje de remoción de sólidos. Esto significa que mientras mayor sea este porcentaje, menor será la turbidez del agua y por consiguiente mayor es la clarificación del agua, obteniéndose así, mediante cálculos, el floculante y la dosificación que mejor rendimiento arroje para la remoción de sólidos, dando como resultado un agua más clara y limpia. En figura 4.15, se muestra gráficamente lo explicado anteriormente, y también se observa que para el floculante WET 1004 se obtiene un punto mínimo de porcentaje de remoción de sólidos de 97,2% a una dosis de 25,00mL, y en general se obtienen valores muy altos de porcentaje de remoción. Con el floculante WET 948, se observa que los mejores resultados son a 45,00mL y 50,00mL con un porcentaje de remoción de 94,9% y 95,3% respectivamente. Los cálculos de porcentaje de remoción de sólidos se muestran en el apéndice A.

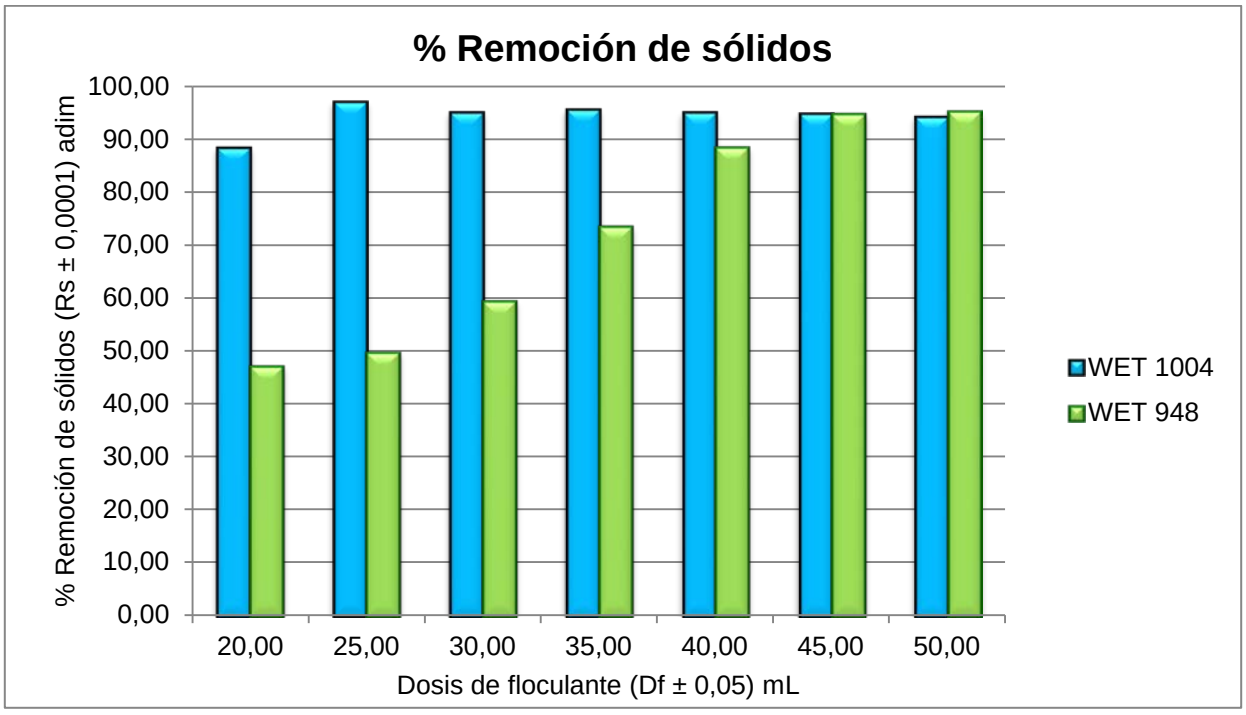


Figura 4.15- Porcentaje de remoción de sólidos, a las diferentes dosis de los floculantes en estudio.

Ahora, el parámetro más importante es la determinación de la humedad contenida en los lodos, y establecer que floculante de las dos alternativas en estudio, proporciona menores valores de humedad, de manera que cumpla con las normativas del comunicado del MPPA.

Luego de realizar las pruebas de filtración, se procedió registrar los pesos de las tortas (tabla E.3) antes y después de llevarlas a la estufa, para luego mediante cálculos obtener los valores de porcentaje de humedad. Los resultados se registran en las tablas F.1 y F.2.

El valor del porcentaje de humedad retenido en cada una de las tortas, el cual indica la cantidad de agua en los lodos y de esta forma, permite cuantificar la deshidratación de dichos lodos, representa las mejores dosificaciones de floculante para tener un mejor rendimiento y que cumpla con los requerimientos de la empresa. Con el floculante WET 1004 se obtuvieron resultados (Tabla F.2), en su mayoría, menores al 85% (límite establecido por MPPA), siendo el de menor porcentaje de humedad de 79,1% utilizando

una dosificación de 25,00mL, y para el floculante WET 948 se obtienen buenos resultados de baja humedad con una dosificación de 45,00mL y 50,00mL, obteniéndose como mejor dosificación, de acuerdo al porcentaje de remoción de sólidos y el porcentaje de humedad, a 50mL con un valor de humedad de 79,4%. Los datos del porcentaje de humedad se representan gráficamente en la figura 4.16.

Como se observa en la figura 4.16, se necesita mayores dosificaciones del floculante WET 948 comparándolo con el WET 1004 para realizar el mismo trabajo de generar aguas más claras y menor porcentaje de humedad en los lodos, y esto se debe a que el floculante WET 1004 es un polvo y estos se caracterizan por ser 100% activos, en cambio los floculantes líquidos son emulsiones los cuales son aproximadamente 30-40% activos (Restrepo, 1999).

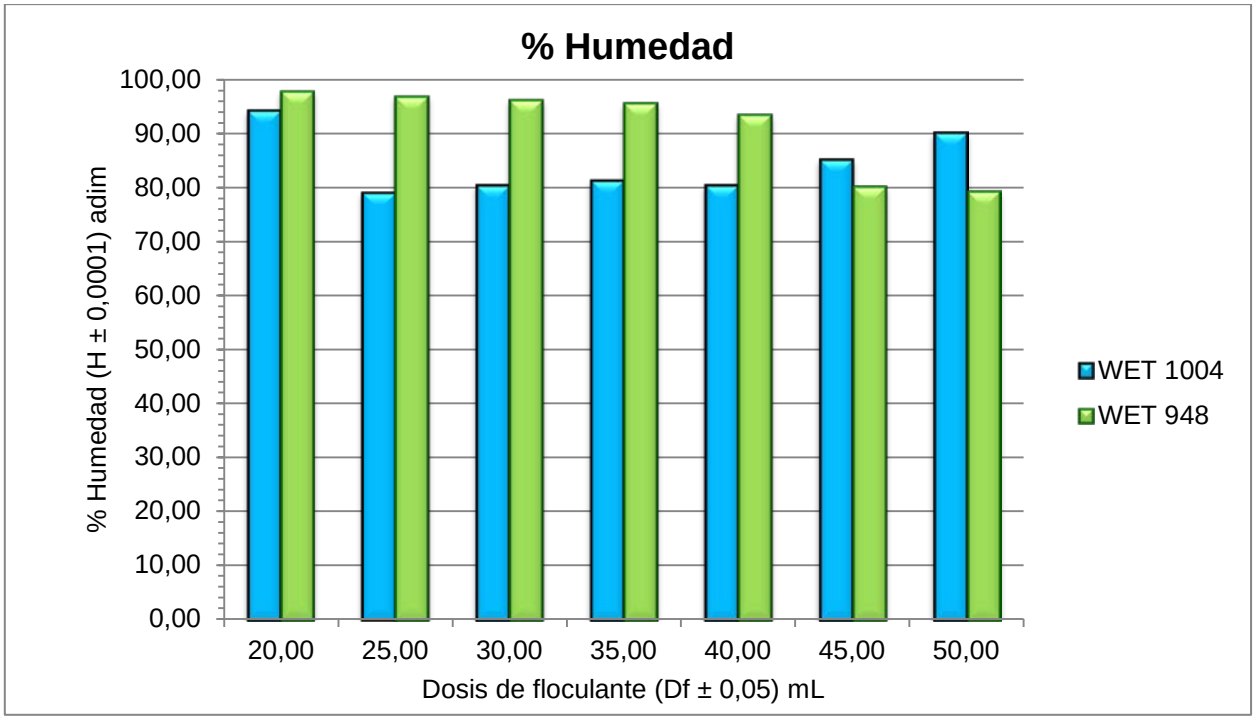


Figura 4.16- Porcentaje de humedad, a las diferentes dosis de los floculantes en estudio.

Luego de evaluar técnicamente en el laboratorio las diversas alternativas de floculantes mediante la realización de pruebas de jarra y de filtración, se obtuvo los resultados cualitativos y cuantitativos del comportamiento de los floculantes en el efluente tratado. Esta evaluación permitió descartar las alternativas inicialmente propuestas de tal

manera de reducirlas con el fin de obtener los que presentaron mejores resultados de remoción de sólidos y disminución de humedad en los lodos.

A continuación se establecen las relaciones de costos y beneficios de cada floculante, de acuerdo a una serie de criterios técnico-económicos, para luego escoger la mejor alternativa para la deshidratación de lodos, teniendo en cuenta no solo la parte experimental y resultados obtenidos con las pruebas sino también tomando en cuenta los costos asociados para el cambio de alternativa.

4.4) ESTABLECER UNA RELACIÓN COSTO-BENEFICIO DE LAS ALTERNATIVAS DE TIPOS DE FLOCULANTES, TOMANDO EN CUENTA LA DOSIS ÓPTIMA

Al ofrecer una serie de alternativas para cualquier cambio, es necesario no solo realizar pruebas experimentales donde se obtengan los resultados y mejorías, sino que también se debe tener en cuenta los costos y gastos que implican esos cambios, así como también los beneficios que se puedan obtener de esa nueva propuesta. Es por eso que se establece una serie de datos y variables involucradas en la selección del floculante, para luego establecer una relación costo-beneficio. Entre las variables económicas involucradas en la evaluación de costos para la comparación más significativas están:

- **Dosificación y preparación del floculante:** entre las alternativas se tiene floculantes tanto sólidos como en emulsión. Los floculantes en emulsión tienen un 30-40% de activo a diferencia de un floculante en polvo que tiene un 100% de activo (Restrepo, 1999), es por esto que para obtener el mismo resultado en la deshidratación de lodos se requiere más cantidad de dosis de un floculante en emulsión que de un floculante en polvo, y dicha dosificación es proporcional a los costos. Es por ello que se requiere menor cantidad de WET 1004 que con el WET 948 para tratar el mismo efluente. Y tomando en cuenta la facilidad de dosificación de floculante en el efluente, con el WET 948 resulta ser más fácil su dosificación por ser en emulsión, en cambio el WET 1004 por ser en polvo, se requiere pesar cantidades adecuadas de acuerdo a la dosis a utilizar y disolverlo antes de que entre en contacto con el efluente para garantizar su mezcla y efectividad.

- **Costos del floculante:** de acuerdo a los precios de los floculantes en el mercado, el WET 1004 tiene un precio de 68,00Bs/Kg, el WET 948 tiene un precio de 45,00Bs/Kg (WET Chemical, 2011) y el NALCO 7128 tiene un costo de 50,18Bs/Kg (NALCO An Ecolab Company, 2011)

- **Costos de disposición:** todos aquellos gastos que la empresa tiene al disponer los lodos en el relleno sanitario, así como también los gastos en transporte del traslado de dichos lodos al relleno sanitario, y que para las alternativas se mantienen puesto que se mantendrá dicha disposición.

- **Costos de devolución:** gastos que la empresa busca eliminar por la falla que actualmente está presentando, pero que con la propuesta de diversas alternativas de floculantes se busca solventar y/o disminuir, para evitar la devolución de los lodos del relleno sanitario por no cumplir los requerimientos del Ministerio del Popular Para el Ambiente.

Con los resultados obtenidos en el objetivo 3, se lleva a cabo un análisis y comparación de las variables económicas consideradas anteriormente para las dos mejores alternativas planteadas.

De acuerdo a los valores obtenidos y representados en las figuras 4.15 y 4.16, se observa que el menor valor de porcentaje de humedad y mayor porcentaje de sólidos para el floculante WET 1004 es de 79,1%, y 97,2% respectivamente con una dosificación de 25,00mL, y para obtener resultados similares utilizando el floculante WET 948 se necesita una dosificación de 50,00mL, siendo este el doble de volumen del primero, por lo que se requiere mayor dosis de WET 948 para obtener mejores resultados, pero al comparar los gastos de compra, el precio del WET 948 es menor al otro lo que permite una nivelación en cuanto a los gastos, debido a que la cantidad de floculante está relacionado directamente con los costos de éstos, y a pesar de que los floculantes sólidos son más caros se utiliza menores cantidades para su efectividad.

Otro aspecto importante es la preparación del floculante. Actualmente el floculante que utiliza la planta es un floculante en emulsión el cual es inyectado directamente en el caudal a la salida del digestor de lodo que se dirige a la centrífuga, por lo que el floculante WET 948 no generaría nuevos gastos en cuanto a la dosificación, caso contrario sucede con el floculante WET 1004 para el cual se necesitaría de equipos, como: bomba, tanque, tuberías etc. para la previa dilución del mismo, por lo que involucra un gasto adicional.

En la siguiente tabla se compara los parámetros que más influyen entre las alternativas y el floculante actual de la planta de tratamiento de aguas, dando una idea de las mejorías de cada uno de ellos y del costo asociado a éstos.

TABLA 4.7

COMPARACIÓN DE LOS PARÁMTEROS MÁS INFLUYENTES ENTRE LAS ALTERNATIVAS Y EL FLOCULANTE ACTUAL

Parámetros	NALCO 7128*	WET 1004	WET 948
Volumen de floculante (V_{floc} ± 0,05)mL	40,00	25,00	50,00
% Remoción de sólidos (R_s± 0,0001)%	66,2600	97,1831	95,3345
%Humedad (H ± 0,0001)%	85,0000	79,1092	79,4035
Precio de compra (P_{floc} ± 0,01)Bs/Kg	50,18	68,00	45,00

* Floculante actual utilizado por APC – Planta Turmero.

Los costos de un proyecto son la cuantificación en efectivo de todos los recursos que utilizará el proyecto para su desarrollo y durante el ciclo de vida. A veces es necesario tomar nuevas medidas con el objetivo de permitir una ganancia mayor, no solo desde el punto de vista económico sino también en el manejo y gestión ambiental (Nemerow y Dasgupta, 1998).

Los costos varían de acuerdo a cada floculante, ya que para ello se toma en cuenta, los costos de floculante los cuales engloban la dosificación de floculante por sus costos respectivos. Como se observa en la tabla 4.7, para el floculante WET 1004, se necesita una dosis de 25,00mL y tiene un costos en el mercado de 68,00Bs/Kg, en cambio el WET 948 necesita una dosis mayor (50,00mL) pero su costo es menor (45,00Bs/Kg) que la alternativa anterior; y el floculante utilizado actualmente, NALCO 7128, necesita una dosis de 40,00mL y su costo es de 50,18Bs/Kg.

En la tabla 4.8 se muestra la cantidad de floculante necesario para tratar el caudal de efluente a tratar ($5m^3/h$), durante las 8 horas de trabajo de la centrífuga, en las 3 veces por semana que se deshidratan los lodos durante un mes. Como se observa en la tabla, a pesar de que se necesita una mayor cantidad (48Kg) de floculante WET 948, al realizar los cálculos asociados a los costos de floculante necesarios que implica esta nueva propuesta, los costos de floculante de esta alternativa son mayores a la propuesta de WET 948, pero no por mucha diferencia que la propuesta de WET 1004, del cual se necesita mensualmente 24Kg y genera unos costos de 1632Bs. en cambio el WET 984 presenta unos costos de 2160Bs y el floculante usado actualmente (Nalco 7128) genera un gasto mensual de 1927Bs. El estudio de económico para estimar los costos y los beneficios que se generan en un período de un mes; se presentan y se calculan en el apéndice A.

TABLA 4.8

CANTIDAD DE FLOCULANTE Y COSTO DURANTE UN MES

Floculante	Dosis de floculante (D_{Floc})Kg	Costo unitario de floculante (C_i)Bs/Kg	Costo mensual del floculante (C_{floc})Bs
NALCO 7128*	38	50,18	1927
WET 1004	24	68,00	1632
WET 948	48	45,00	2160

* Floculante actual utilizado por APC – Planta Turmero.

Los costos de disposición de los lodos en el relleno sanitario no presentan cambios (tabla 4.9), ya que éstos dependen de los costos que se gastan por el transporte (camión) y los gastos del uso del relleno sanitario, y estos aspectos no varían, puesto que son tarifas que se mantienen.

TABLA 4.9

COSTO DE DISPOSICIÓN DE LOS LODOS EN EL RELLENO SANITARIO DURANTE UN MES

Floculante	NALCO 7128*	WET 1004	WET 948
Costos del camión (C_c)Bs/vez	800		
Costo del relleno sanitario (C_R)Bs/vez	1000		
Veces de disposición (V)vez	12		
Costo de disposición (C_{Disp})Bs	21600		

* Floculante actual utilizado por APC – Planta Turmero.

En la tabla 4.10 se observa los costos totales que implica el cambio de las alternativas propuestas para el mejorar la deshidratación de los lodos. Los costos totales del WET 948 es el mayor de los tres floculantes a comparar, generando un valor de 23760Bs, pero no tiene gran diferencia de los costos del floculante actual (NALCO 7128) y tampoco con los costos totales del floculante WET 1004 con un valor de 23232Bs. Es necesario destacar que el costo del floculante WET 1004 es calculado sin contar con los costos de implementación, pero si se concluye que la mejor alternativa es este floculante, la empresa tendrá un costo inicial adicional que incluya la preparación de dicho floculante, por ser un floculante en polvo, ya que necesitará de la compra de nuevos equipos para su preparación; en cambio la alternativa de WET 948 lleva la ventaja de que no cuenta con gastos iniciales para su implementación, ya que es un floculante en emulsión y el actual floculante usado en la PTAR también lo es.

TABLA 4.10

COSTO TOTAL POR CADA FLOCULANTE DURANTE UN MES

Floculante	Costo mensual del floculante (C_{Floc})Bs	Costo de disposición (C_{Disp})Bs	Costo total de la alternativa (C_T)Bs
NALCO 7128*	1927	21600	23527
WET 1004	1632		23232
WET 948	2160		23760

* Floculante actual utilizado por APC – Planta Turmero.

Por otra parte, los beneficios son todas aquellas ganancias, provecho, ventajas, ayudas etc., que por su naturaleza son difíciles de cuantificar, pero tiene un gran impacto positivo sobre la organización. La identificación de los beneficios puede justificar la inversión y/o el cambio por realizar. (Nemerow y Dasgupta, 1998)

Los beneficios se representan tanto cuantitativamente como cualitativamente. Cualitativamente, porque se logra tener un alto porcentaje de remoción de sólidos, lo que representa una menor turbidez y por consiguiente una agua más clarificada luego de finalizar el proceso de la PTAR, así como también una mejora en la deshidratación de los lodos, por presentar disminución de la cantidad de humedad; y cuantitativamente, porque se busca evitar las devoluciones de los lodos del relleno sanitario, y al cumplir con la disminución de humedad contenida en los lodos se garantiza que cumple con el límite establecido por el MPPA de acuerdo a su comunicado presentado en el apéndice B.

Los beneficios obtenidos para esta propuesta es el presentado en la tabla 4.11, donde se refleja todos los gastos que implica la devolución de los lodos cuando no cumple con el porcentaje de humedad establecido por el MPPA. Con la propuesta del cambio de floculante para mejorar la deshidratación de los lodos disminuyendo el porcentaje de humedad contenido en éste, se evita los gastos que generan su devolución del relleno sanitario, por lo que la planta se beneficia con la cantidad de 29400Bs mensuales.

TABLA 4.11

COSTOS AHORRADOS POR DEVOLUCIÓN DURANTE UN MES

Floculante	NALCO 7128*	WET 1004	WET 948
Costos del camión (C_c)Bs/vez	800		
Costo de la finca (C_{TF})Bs/vez	5000		
Costo del terreno provisional (C_{TP})Bs/h.vez	500		
Horas de uso (C_{TP})h	8		
Veces de disposición (V)vez	3		
Beneficios (B)Bs	29400		

* Floculante actual utilizado por APC – Planta Turmero.

Finalmente, en la tabla 4.12, se observa que todas las alternativas de floculantes son aceptables dando una relación de costo-beneficio menores a la unidad, por lo que del punto de vista económico está justificado realizar el cambio a cualquiera de los floculantes propuesto, ya que los beneficios son mayores debido a que se asegura que con las nuevas propuestas de floculantes, los lodos no serán devueltos al cumplir con los límites de humedad establecidos por el MPPA. Se aprecia que, aunque la relación entre el floculante actual y las alternativas no presenten gran variación entre sí desde un punto de vista económico, la diferencia se refleja en los resultados del punto de vista técnico.

TABLA 4.12

RESULTADOS DE LA RELACIÓN COSTO-BENEFICIO

Parámetros	NALCO 7128	WET 1004	WET 948
Beneficios (Bs)	29400	29400	29400
Costo (Bs)	23528	23760	23232
Relación C/B (adim)	0,80	0,81	0,79

Una vez analizado y estudiado las alternativas de los diversos floculantes para mejorar la deshidratación de los lodos de la planta, se puede decir que si es posible utilizar otros floculantes que mejoren el proceso de deshidratación de lodos para que cumplan con la disposición final y a su vez sea rentable el cambio.

4.5) SELECCIONAR LA ALTERNATIVA MÁS ADECUADA SEGÚN LOS ESTUDIOS TÉCNICOS Y ECONÓMICOS REALIZADOS

De acuerdo a todo lo presentado anteriormente, para la selección del mejor floculante, se realiza una serie de estudios experimentales para observar el comportamiento de las diferentes alternativas propuestas inicialmente, y de acuerdo a los resultados obtenidos se redujo dicha lista, hasta obtener los floculantes que presentaban mejores rendimientos; además de buscar la menor y mejor dosis. La mejor dosis no es aquella que solo genere los mejores resultados a una baja dosificación, si luego al calcular los costos que genera, son mayores que los beneficios, y por otro lado la otra alternativa necesite mayor dosis de floculante y no genere tantos gastos, es por ello que para tener una visión más amplia de los aspectos que influyen en la selección del mejor floculante se realiza una matriz de selección, dando un puntaje a los criterios de acuerdo a su mayor impacto.

Los criterios a establecer para la comparación de los floculantes y selección de la alternativa más adecuada, son los siguientes:

- **Turbidez y remoción de sólidos:** para este criterio se tiene en cuenta las característica visuales del agua clarificada una vez tratado con el floculante y realizado la filtración, así como también de la mejor formación de flóculos y compactación de la torta. Su importancia va de la mano con el porcentaje de humedad.

- **Humedad:** criterio de mayor importancia, ya que esta investigación está basado en el alto porcentaje de humedad que presenta la etapa de deshidratación de lodos.

- **Dosificación del floculante:** se incluye este aspecto, para la determinación de la cantidad de floculante necesario para cumplir los requerimientos establecidos por la empresa y que cumpla con las normas del MPPA.

- **Preparación del floculante:** este criterio indica la facilidad de preparación de los floculantes dependiendo si es un sólido o una emulsión, además de su dosificación en el efluente.

- **Costos de implementación:** se toma en cuenta los costos asociados a la compra de los nuevos equipos para la preparación de floculantes en polvo.

En la Tabla 4.13 se presenta la matriz de selección del método cualitativo de los factores determinantes, tomando en cuenta los parámetros establecidos para su comparación, que se realizó para establecer la importancia que existe entre cada uno de los criterios a evaluar.

TABLA 4.13

MATRIZ DE COMPARACIÓN E IMPORTANCIA DE CADA PARÁMETRO ESTABLECIDO

Criterios	Tb y Rs	Humedad	Dosis	Preparación	Costos	Total	Ponderación
Tb y Rs	0,5	0,5	1	1	1	4	32
Humedad	0,5	0,5	1	1	1	4	32
Dosis	0	0	0,5	1	1	2,5	20
Preparación	0	0	0	0,5	0,5	1	8
Costos	0	0	0	0,5	0,5	1	8
						12,5	∑ =100

Donde:
Tb: Turbidez del agua filtrada
Rs: Remoción de sólidos

Como se recordará, las puntuaciones o valores por criterios se realizan en función de la importancia de cada parámetro. La puntuación es la siguiente:

- 0: Criterio de menor importancia.
- 0,5: Criterio de igual importancia (mismo criterio).
- 1: Criterio de mayor importancia.

Como se aprecia en la tabla 4.13, en cuanto al criterio de turbidez del agua filtrada y remoción de sólidos, presenta igual importancia que la humedad, ya que así como es necesario obtener una agua clarificada luego de tratar el efluente en la PTAR, es necesario que la humedad contenida en los lodos cumpla con los límites establecidos por el MPPA. Además se considera este criterio mayor que la preparación y la dosis de floculante porque si no se añade la cantidad necesaria de floculante, ya sea polvo o líquido, no se cumplirá el objetivo de una PTAR, la cual es tratar los efluentes y eliminar los contaminantes contenidos en ella, de manera de regresarla a sus cursos naturales como agua limpia. Y por último, la turbidez y remoción de sólidos es de mayor importancia que los costos puesto que es más importante obtener una agua clarificada para cumplir con las normas ambientales a pesar de los costos que esto lo conlleve.

El criterio de humedad es más importante que la dosis y preparación, porque el cambio de la propuesta surge del problema de la alta humedad contenida en los lodos, por lo que debe cumplir con esta limitante. De igual forma, el criterio de humedad es más importante que el de los costos, puesto que deben cumplir constantemente con el límite de humedad establecido por el MPPA para evitar devoluciones.

Por otro lado, la dosis es más importante que la preparación porque implica la cantidad de floculante a utilizar para obtener los resultados esperados en el efluente a tratar y tiene mayor importancia que los costos de implementación porque de la dosis depende un buen resultado en la remoción de turbidez, sólidos y reducción del porcentaje de humedad.

En cuanto a la preparación de floculante, este resulta ser de igual importancia que los costos, ya que una vez que se tiene los equipos necesarios para su preparación, solo es necesario unos acondicionamientos, más no está relacionado con los costos de las alternativas.

Una vez establecido la valoración por cada uno de los criterios, y la importancia entre ellos, realizando una comparación tomando como referencia los criterios colocados en fila contra cada uno de los criterios colocados en columnas, se suma el puntaje de cada uno de ellos, y se calcula la ponderación (Apéndice A) que le corresponde a cada uno de los criterios establecidos para la selección de la mejor alternativa propuesta. Obteniéndose un 32% de importancia tanto para la turbidez y remoción de sólidos como para la humedad, un 20% de importancia para la dosis de floculante para tratar los efluentes, un 8% de importancia en cuanto a los costos de la nueva propuesta, y por último, un 8% en la preparación de los floculantes tal como se presentó en la tabla 4.13.

En la tabla 4.14, se presenta la matriz de selección para la alternativa más adecuada para la deshidratación de lodos según los estudios técnicos y económicos. Una vez establecido la importancia entre los criterios de la tabla 4.12, se realiza una matriz de selección, otorgándole una ponderación a los criterios de acuerdo a su importancia en los floculantes a comparar.

De acuerdo al criterio de turbidez y mayor remoción de sólidos se tiene que el WET 1004 y WET 948 reciben una excelente puntuación porque de las pruebas experimentales se observó un agua muy clarificada a comparación del NALCO 7128 que aun contenía algunos flóculos; en cuanto a otro criterio de gran importancia como lo es la humedad, de acuerdo a los datos en general, el WET 1004 fue con el que obtuvo mejores resultados, siguiendo muy de cerca el WET 948 y por último el NALCO 7128 con la mínima ponderación porque no deshidrata bien. Los costos de implementación y la preparación están relacionados, ya que la preparación de los floculantes dependen del sistema y equipos necesarios; además se observa que el WET 1004 recibe una excelente puntuación en cuanto a dosis pero una puntuación deficiente en cuanto a

costo de implementación debido a la necesidad de preparar floculantes en polvo, caso contrario sucede con el WET 948 que recibe una excelente puntuación en cuanto a costos de implementación pero una puntuación regular en cuanto a la dosis (ya que requiere una mayor dosis que el WET 1004), y por último, al momento de preparar el floculante, la ventaja lo lleva los de emulsión porque no necesita una previa preparación como el WET 1004 obteniendo éste ultimo la menor ponderación.

TABLA 4.14

MATRIZ DE SELECCIÓN PARA LA ALTERNATIVA MÁS ADECUADA PARA LA DESHIDRATACIÓN DE LODOS SEGÚN LOS ESTUDIOS TÉCNICOS Y ECONÓMICOS

Criterio	Ponderación	Alternativas de floculantes					
		NALCO 7128		WET 1004		WET 948	
		Apc	A	Apc	A	Apc	A
Tb y Rs	32	2	64	5	160	5	160
Humedad	32	2	64	5	160	5	160
Dosis	20	4	80	5	100	3	60
Preparación	8	5	40	3	24	5	40
Costos de implementación	8	5	40	2	16	5	40
Total	∑ = 100		∑ =288		∑ =460		∑ = 460

La valoración por criterio utilizada en la matriz de selección es la siguiente:

- 1: Muy deficiente.
- 2: Deficiente.
- 3: Regular.
- 4: Aceptable.
- 5: Excelente.

Una vez calculado las ponderaciones correspondientes a cada alternativa, como se tiene en la tabla 4.14, se obtiene que ambas puntuaciones para las dos alternativas de floculantes son iguales, con un valor de 460.

Los floculantes muestran similitudes en cuanto a remoción de sólidos, turbidez y disminución en el porcentaje de humedad en los lodos, la diferencia se observa en la preparación y costos de implementación, ya que para el WET 948 a pesar de necesitar mayor cantidad de floculante este se contrarresta con el costo unitario, no requiere gastos de implementación ni de preparación puesto que se puede implementar con sólo sustituir el floculante actual, caso contrario sucede con el floculante WET 1004, pero a pesar de ello, las dos alternativas de floculantes, WET 1004 y WET 948, son factibles y aceptables para el cambio; sin embargo el floculante WET 948 lleva la ventaja sobre el WET 1004 por ser un floculante en emulsión como el que añaden actualmente, ya que no requerirá de equipos adicionales a los que tienen actualmente en la PTAR.

Es por ello que como mejor alternativa para mejorar la deshidratación de lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales de Alimentos Polar Comercial – Planta Turmero se recomienda el uso del floculante WET 948.

CONCLUSIONES

1. Una de las fallas en el proceso de deshidratación del lodo es la ausencia del tanque espesador de lodos.

2. En el primer barrido de pruebas, los floculantes preseleccionados según los valores del índice de Wilcomb y tamaño del flóculo son el WET 1004, WET 948, NALCO 7128 y NALCO 61067; luego de realizar un análisis más profundo, en base a los que presentaron mejor agua filtrada clarificada y mejor formación de torta son los floculante WET 1004 y WET 948.

3. Para una baja dosis de floculante WET 1004 se obtiene menor turbidez, mayor remoción de sólidos y menor porcentaje de humedad; en cambio, para obtener resultados similares de estos parámetros se debe dosificar más cantidad de floculante WET 948.

4. La alternativa que presenta menores costos es el WET 948 pero con poca diferencia (500Bs) del floculante WET 1004, y monto similar a los costos actuales del actual floculante NALCO 7128, por lo que en la evaluación costo-beneficio se obtuvo que las alternativas WET 1004 y WET 948 son factibles y justificados para el cambio de floculante, permitiendo además un ahorro de Bs.29400,00 al mejorar la humedad de los lodos y evitar la devolución de los mismos del relleno sanitario.

5. A pesar de que no hay variación significativa entre las alternativas de floculantes WET 948 y WET 1004 desde el punto de vista económico, la diferencia se observa es desde el punto de vista técnico con buenos resultados de remoción de sólidos, porcentaje de humedad de los lodos y menores costos de implementación fue el floculante WET 948, por lo que es seleccionado como la mejor alternativa propuesta.

RECOMENDACIONES

1. Realizar estudios continuos, para verificar y comprobar las mejoras del cambio de floculante al que poseen actualmente, y que cumpla con la disminución de humedad esperada.

2. Realizar un estudio y análisis del uso de polímeros en el tanque de separación de agua-aceite, de manera que mejore dicha separación y se obtenga un lodo con menos contenido de aceites.

3. Estudiar la posibilidad de usar los lodos, de acuerdo a sus características (no tóxicas ni peligrosas) y disminución del exceso de humedad, como acondicionador de suelos o abono para fines agrícolas y para restaurar suelos degradados, de tal manera de que puedan ser vendido con dichos fines.

4. Analizar el lodo deshidratado de tal manera de que pueda emplearse para la alimentación de lombrices (lombricultura), para producir vermicompost, sustancia inodora enriquecida en flora bacteriana, nutrientes y micro-elementos, parecidos al humus, de gran valor como nutriente agrícola.

5. Implementar tanques de dosificación de producto o floculadores, en vez de la dosificación de floculante por línea directa, para que exista un mayor tiempo de contacto del efluente con el floculante y tiempo de maduración.

6. Poner de nuevo en funcionamiento el tanque espesador de lodos, de forma tal de que aumente los sólidos del efluente a la salida del digestor.

7. Colocar un medidor de flujo en la línea donde se dosifica el floculante a la centrífuga, para controlar la cantidad de polímero adicionado.

REFERENCIAS

Acosta, V. (1993). *Evaluar la capacidad de deshidratación de los lodos de la Planta de Tratamientos de Aguas Residuales, utilizando un Decantador Centrífugo.* [Trabajo no publicado de APC – Planta Turmero]. Maracay, Venezuela.

Acosta, V. (2010). *Planta de tratamiento de aguas residuales APC – Turmero* [Trabajo no publicado de APC – Planta Turmero]. Maracay, Venezuela.

Aguilar, M., Sáez, J., Soler, A., LLórens, M., y Ortuño, J. (2002). *Tratamientos físico-químicos de aguas residuales: Coagulación-Floculación* (Vol. Tercera edición). Murcia, España: Servicio de Publicaciones - Universidad de Murcia.

Andía, Y. (2000). *Tratamiento de agua: Coagulación y Floculación.* Lima - Perú: Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima (SEDAPAL). Recuperado el 01 de Agosto de 2011, de http://es.scribd.com/doc/38045977/coagulacion-floculacion

Arboleda, J. (2000). *Teoría y práctica de la purificación del agua.* Colombia: McGraw-Hill.

Bengoechea, J. (1998). Espesamiento y deshidratación parcial de lodos municipales e industriales. *Ponencia presentada en XXVI Congreso Internacional de AIDIS (Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental).* Lima. Perú. Recuperado el 18 de Enero de 2011, de http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/tratagua/peru/usawef002.pdf

Cardozo, J. (2010). *Elaboración de una propuesta para la reutilización de los efluentes líquidos industriales en la empresa Alimentos Polar Comercial, planta Turmero.* (Tesis de grado no publicada). Universidad Metropolitana, Caracas.

Carrasco, C. (2007). *Tratamiento Físico-Químico de Aguas Residuales.* (Tesis de Grado). Universidad de Chile, Chile. Recuperado el 15 de Agosto de 2011 de http://www.cybertesis.cl/tesis/uchile/2007/carrasco_c/sources/carrasco_c.pdf

Cohen, E., y Franco, R. (2000). *Evaluación de proyectos sociales.* Madrid, España: Siglo Veintiuno Editores.

Degremont. (1979). *Manual técnico del agua* (4nd ed).España: Grafo, S.A..

Departamento de Sanidad del Estado de Nueva York. (2005). *Manual de tratamiento de aguas negras.* Nueva York: Limusa.

Díaz, P. (2010). *Diseño paramétrico de estación de tratamiento de agua.* Universidad Pontificia Comillas, Instituto de Investigación Tecnológica, Madrid. Recuperado el 23 de Abril de 2012, de http://www.iit.upcomillas.es/pfc/resumenes/4aa7c26986558.pdf

Escobar, J. (2002). Selección de la dosis óptima de polímero para el acondicionamiento y deshidratación de lodos de plantas de agua potable mediante centrífugas de laboratorio*. Ponencia presentada en XXVIII Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental*. Cancún, México. Recuperado el 12 de Mayo de 2011 de http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/mexico26/iii-016.pdf

Ferreira, S. (1997). Pré-condicionamento de lodos de estaçoes de tratamento de agua visando o seu adensamento por gravidade*. Ponencia presentada en 19° Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*. São Paulo, Brasil. Recuperado el 03 de Febrero de 2011 de http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/abes97/adensamento.pdf

Gallo, J. y Uribe, J. (2003). *Reutilización de lodos de planta de potabilización en el tratamiento de aguas residuales*. (Tesis de grado no publicada). Universidad Nacional de Colombia, Colombia. Recuperado el 09 de Agosto de 2011 de http://www.bdigital.unal.edu.co/1215/

Hagstrom (1996), L.G. Optimizing polymer conditioning for centrifugal sludge dewatering. *Elsevier*, *24*(3), 21 p.

Kemmer, F., y McCallion, J. (1993). *Manual del agua. Su naturaleza tratamiento y aplicaciones* (Tomo I). México: McGraw-Hill.

Laines, J., Goñi, J., Adams, R., y Chiu, W. (2008). Mezclas con potencial coagulante para tratamiento de lixiviados de un relleno sanitario. *Redalyc, 33*(1), 22-28.

Lapeña, M. (1990). *Tratamiento de aguas industriales: Aguas de proceso y residuales.* España: Boixareu.

Leiva, N., Jorge, N., Cáceres, S., y Gómez, M. (1997). Empleo del gel de almidón de productos regionales como coadyuvante en el tratamiento de aguas. *Información Tecnológica, 8*(2), 169-175.

Ley de Gestión Integral de la Basura. Gaceta Oficial Extraordinaria No. 6.017 del 30 de Diciembre de 2010. Venezuela.

Logsdon, G. (2008). *Water filtration practices.* United States of America: American Water Works Association (AWWA).

López, R., y Casp, A. (2003). *Tecnología de Alimentos. Tecnología de mataderos.* Barcelona, España: Aedos.

Metcalf & Eddy, I. (2000). *Ingeniería de Aguas Residuales* (3nd ed., Vol. I). México: McGraw-Hill.

Mijares, G. (1978). *Tratamiento de aguas residuales* (2nd ed.). Madrid, España: Vega.

Monteagudo, J. (2011). *Diseño de procesos en Ingeniería Ambiental.* Universidad de Castilla - La Mancha, Curso IMAES - Grupo de Ingeniería Química y Medioambiental. Recuperado el 17 de Octubre de 2011, de http://www3.uclm.es/profesorado/giq/contenido/dis_procesos/tema5.pdf

Muñoz. (1998). *Como elaborar y asesorar una investigación de tesis.* México: Prentice Hall Hispanoamericana

NALCO An Ecolab Company. (2011). Boletín Técnico del Producto NALCO OPTIMER 7128. Venezuela: NALCO An Ecolab Company.

Nemerow, N., y Dasgupta, A. (1998). *Tratamiento de vertidos industriales y peligrosos.* Madrid, España: Ediciones Díaz de Santos

Nordell, E (1961). *Tratamiento de agua para la industria y otros usos.* México: Compañía Continental Editorial.

Norma Venezolana. Aguas naturales, industriales y residuales. Guía para las técnicas de muestreo. COVENIN 2709:2002. 1re revisión. FONDONORMA

Normas para la Clasificación y el Control de la Calidad de las Aguas de la Cuenca de Lago de Valencia. Gaceta Oficial Extraordinaria No. 5.305. Decreto 3219 del 01 de Febrero de 1999. Venezuela.

Normas para el control de la recuperación de materiales peligrosos y el manejo de los desechos peligrosos. Gaceta Oficial Extraordinaria No. 5.245. Decreto 2635 del 03 de Agosto de 1998. Venezuela.

Ramalho, R. (2003). *Tratamiento de aguas residuales.* Distrito Federal, México: Reverté.

Ramírez, R., Durán, A., Martínez, A., y Orta, M. (2000). *Proceso de coagulación-floculación para el tratamiento de aguas residuales: desarrollo y utilización de nuevos compuestos para la reducción de lodos.* Universidad Autónoma de México, México. Obtenido de http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/tratagua/mexicona/R-0199.pdf

Restrepo, M. (1999). *Manual de jarras y pruebas*. Cali - Colombia: Empresas Muncipales de Cali (EMCALI). Recuperado el 16 de Junio de 2011, de http://es.scribd.com/doc/39353489/Manual-Jarras-y-Pruebas

Rodríguez, P. (2009). *Ingeniería de Tratamiento y Acondicionamiento de Aguas.* Universidad Autónoma de Chihuahua, Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería Sanitaria, México. Recuperado el 01 de Agosto de 2011, de http://www.oocities.org/edrochac/sanitaria/sedimentacion3.pdf

Sabino, C. (1992). *El proceso de investigación* (2nd ed.). Caracas, Venezuela: Panapo.

Sampieri, R., Fernández, C., y Baptista, P. (1997). *Metodología de la investigación.* México: McGraw-Hill.

Sánchez, L., Sandoval, L., Piña, M., & Montellano, L. (1999). *Evaluación de la resistencia específica a la filtración y porciento de humedad en la deshidratabilidad de lodos de plantas potabilizadoras.* Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, México. Obtenido de http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/tratagua/mexicona/R-0063.pdf

Seoánez, M. (2002). *Manual de tratamiento, reciclado, aprovechamiento y gestión de las aguas residuales de las industrias agroalimentarias.* Madrid, España: Mundi-Prensa.

Virginia, B., y Loredo, E. (2009). *Manual pedagógico de práctica de química general en microscópico.* México: Universidad Iberoamericana. Departamento de Ingeniería y Ciencias Química.

Weber, W. (1979). *Control de la calidad del agua. Procesos fisicoquímicos.* España: Reverté.

WET Chemical. (2011). WET Clear 948 Floculante Catiónico. Venezuela: WET Chemical.

WET Chemical. (2011). WET Clear EV 1004 Floculante Catiónico. Venezuela: WET Chemical.

PARSEC. (2011). Floculímetro de laboratorio – PARSEC JAR TEST. Venezuela: PARSEC. Recuperado el 02 de Abril de 2012, de http://www.instrumentalparsec.com.ar/catalogo_floculimetro.asp

APÉNDICES

APENDICE A

CÁLCULOS TÍPICOS

En esta sección se dará a conocer cada uno de los cálculos realizados y necesarios para la obtención de los resultados experimentales y posterior análisis de éstos. Los cálculos se basan en modelos matemáticos correspondientes a cada caso y en el uso de los datos tomados durante las pruebas experimentales.

1. Cálculo del porcentaje de remoción de sólidos

Para la determinación del porcentaje de remoción de los sólidos que logra el floculante en el efluente tratado, se emplea la ecuación 3.1. Este cálculo se ejemplifica con una comparación entre la turbidez del agua sin adición de floculante (blanco) y la turbidez del agua tratada con el floculante WET 1004 a una dosis de (20,00 ± 0,05)mL con los datos que se muestran en la tabla F.1. Sustituyendo los valores, se obtiene:

$$\%R_S = \frac{(113{,}60\text{-}13{,}00)\text{NTU}}{113{,}60\ \text{NTU}} \times 100$$

$$\%R_S = 88{,}55633$$

El error asociado a la cantidad de sólidos suspendidos en los efluentes, se obtiene mediante el método de las derivadas parciales:

$$\Delta\%R_S = \left|\frac{\partial\%R_S}{\partial T_N}\right| .\Delta T_N + \left|\frac{\partial\%R_S}{\partial T_D}\right| .\Delta T_D$$

$$\Delta\%R_S = \left|\frac{T_D}{T_N{}^2}\right| .\Delta T_N + \left|\frac{-1}{T_N}\right| .\Delta T_D$$

Sustituyendo los valores, se obtiene:

$$\Delta\%R_S = \left|\frac{13,00}{(113,60)^2}\right| .0,01 + \left|\frac{-1}{113,60}\right| .0,01$$

$$\Delta\%R_S = 0,000098 \cong 0,0001$$

Finalmente:

$$\%R_S = (88,5563 \pm 0,0001)\%$$

2. Cálculo del porcentaje de humedad en la deshidratación de lodos

Para la determinación del porcentaje de humedad que se evapora luego de colocar las muestras en la estufa durante el tiempo y condiciones establecidos, se emplea la ecuación 3.2. Este cálculo se ejemplifica con el peso de las tortas húmeda y seca luego de haber tratado el agua con el floculante WET 1004 a una dosis de (20,00 ± 0,05)mL y la filtración. Los datos utilizados se muestran en la tabla E.3. Sustituyendo los valores, se obtiene:

$$\%H_e = \frac{(182,50g - 172,14)g}{182,50g} \times 100$$

$$\%H_e = 5,67671$$

El error asociado al porcentaje de humedad evaporada en la muestra, se obtiene mediante el método de las derivadas parciales:

$$\Delta\%H_e = \left|\frac{\partial\%H_e}{\partial T_H}\right| .\Delta T_H + \left|\frac{\partial\%H_e}{\partial T_S}\right| .\Delta T_S$$

$$\Delta\%H_e = \left|\frac{T_S}{T_H^2}\right| .\Delta T_H + \left|\frac{-1}{T_H}\right| .\Delta T_S$$

Sustituyendo los valores, se obtiene:

$$\Delta\%H_e = \left|\frac{172,14}{(182,50)^2}\right| .0,01 + \left|\frac{-1}{182,50}\right| .0,01$$

$$\Delta\%H_e = 0,0001$$

Finalmente:

$$\%H_e = (5,6767 \pm 0,0001)\ \%$$

Luego, para la obtención del valor del porcentaje de humedad retenido en cada una de las tortas, se emplea la ecuación 3.3:

$$\%H = (100 - 5,6767)\ \%$$

Finalmente:

$$\%H = (94,3233 \pm 0,0001)\ \%$$

3. Cálculo de la relación costo-beneficio de las propuestas

Se determina la cantidad de floculante necesario para tratar el caudal de efluente a tratar, durante las 8 horas de trabajo de la centrífuga, en las 3 veces por semana, durante un mes, para luego determinar los costos implicados en éste proceso. Este cálculo se ejemplifica con los datos del floculante WET 1004 a la dosis que se utiliza (25,00 ± 0,05)mL de la tabla 4.7, en jarras de 500mL y a una concentración de 0,1%:

- Cantidad de gramos de floculante añadidos, de acuerdo a la concentración utilizada:

$$\%\frac{p}{v} = 0,1 \quad \rightarrow \quad 0,1\% = \frac{g}{v} \times 100 \quad \rightarrow \quad g = \frac{0,1 \times V_{floc}}{100} \qquad (1)$$

Sustituyendo los valores en la ecuación anterior:

$$g = \frac{\frac{0,1g}{mL} \times 25,00mL}{100} = 0,025g$$

- Cantidad de veces de deshidratación de lodos:

$$V = V_s \times S_m \quad (2)$$

Donde:

V: Veces de deshidratación de lodos, (adim)

V_s: Veces por semana, (adim)

S_m: Semanas por mes, (adim)

Sustituyendo los valores en la ecuación anterior:

$$V = 3 \times 4 = 12 \text{ veces}$$

- Cantidad de horas por mes:

$$t = h \times V \quad (3)$$

Donde:

t: tiempo total de dosificación por mes, (h)

Sustituyendo los valores en la ecuación anterior:

$$t = 8h \times 12 = 96h$$

- Caudal a tratar con efluente durante un mes:

$$Q_T = Q_{cent} \times t \quad (4)$$

Donde:

Q_T: Caudal total a tratar en un mes, (m^3/h)

Q_{cent}: Caudal que trata la centrífuga en un día, (m^3/h)

Sustituyendo los valores en la ecuación anterior:

$$Q_T = 5\frac{m^3}{h} \times 96h = 480m^3$$

Haciendo una conversión de unidades para el caudal:

$$480m^3 \times \frac{1000L}{1m^3} = 480000L$$

Ahora, para determinar la cantidad de floculante que se necesita para tratar dicha cantidad de efluente mensual, se realiza una regla de tres:

$$0{,}025g \rightarrow 0{,}5L$$
$$Xg \rightarrow 480000L$$

$$X = \frac{480000L \times 0{,}025g}{0{,}5L} = 24000g$$

Haciendo una conversión de unidades para la cantidad de floculante:

$$24000g \times \frac{1Kg}{1000g} = 24Kg$$

❖ Costo por floculante gastado: para la determinación de los costos que representan los gastos por el nuevo floculante propuesto, se emplea la ecuación 3.5:

$$C_{Floc} = 68\frac{Bs}{Kg} \times 24Kg$$

$$C_{Floc} = 1632Bs$$

❖ Costo de la disposición de lodos: para la determinación de los gastos por la disposición de los lodos en el relleno sanitario, se emplea la ecuación 3.6:

$$C_{Disp} = \left(800\frac{Bs}{vez} + 1000\frac{Bs}{vez}\right) \times 12\ veces$$

$$C_{Disp} = 21600Bs$$

❖ Costo total de la alternativa: para la determinación los costos generados por las alternativas de floculantes propuestos, se emplea la ecuación 3.4:

$$C_T = 1632Bs + 21600Bs$$

$$C_T = 23232Bs$$

❖ Beneficios: para la determinación de los beneficios de las alternativas si la empresa se ahorra los gastos de devolución, tomando como base 3 devoluciones por mes, se emplea la ecuación 3.7:

$$B = \left(800\frac{Bs}{vez} + 5000\frac{Bs}{vez} + \left(500\frac{Bs}{h.vez} \times 8h\right)\right) \times 3\ veces$$

$$B = 29400Bs$$

❖ Relación Costo/Beneficio: para ello se emplea la ecuación 3.9, y los resultados obtenidos anteriormente:

$$R = \frac{23232Bs}{29400Bs}$$

$$R = 0,79adim$$

4. Cálculo de la puntuación en la matriz de selección de la mejor alternativa de floculante

Los cálculos se ejemplifican para la humedad y NALCO 7128, tomando los datos de la tabla 4.14, tomando en cuenta que la ponderación para este criterio es de 32% y se le dio una deficiente ponderación en cuanto a la humedad contenida en los lodos. Utilizando la ecuación 3.10:

$$A = 2 \times 32 = 64$$

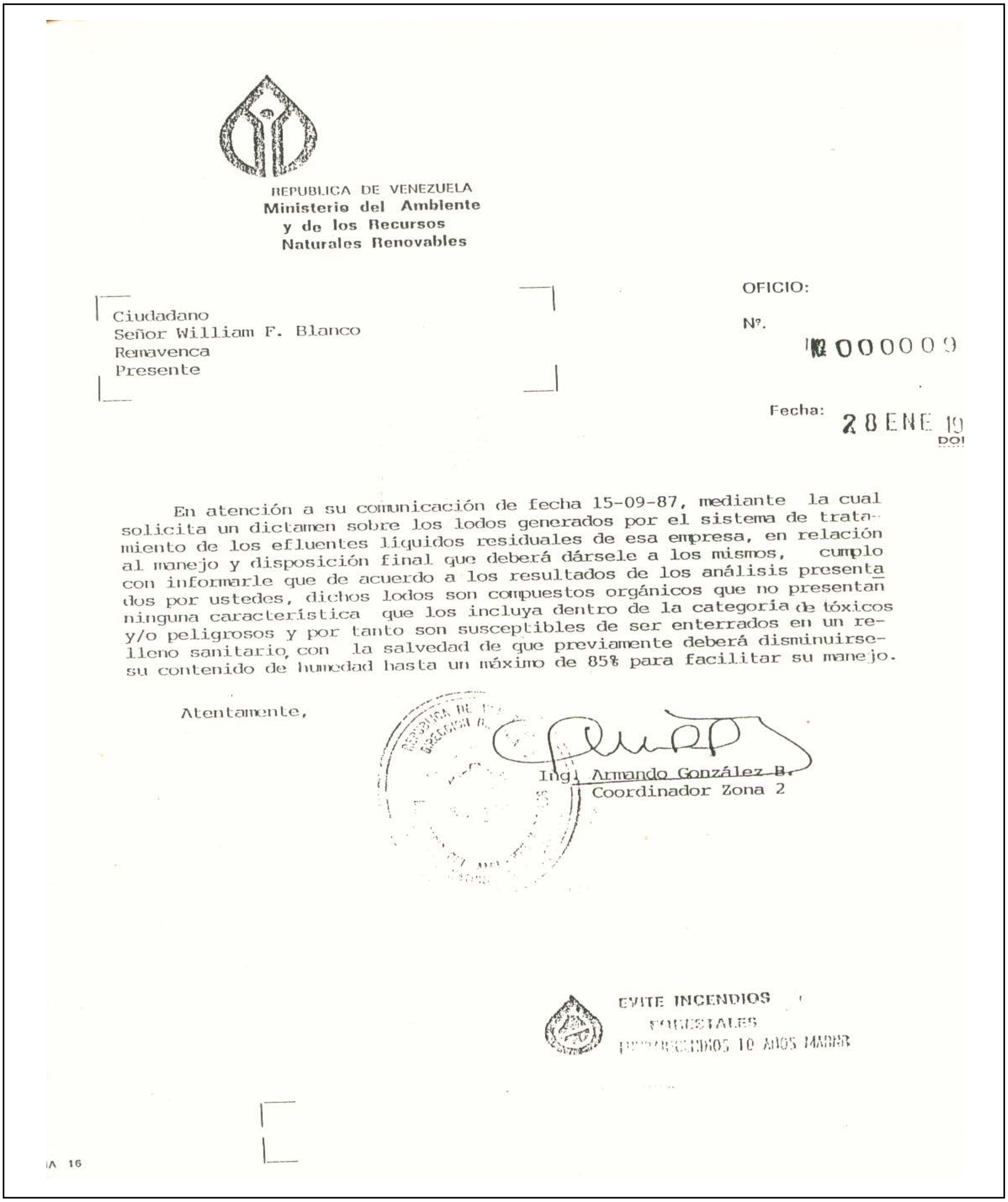
Ahora se realiza la sumatoria del valor acumulado por todos los criterios de cada alternativa, para ello se emplea la ecuación 3.11:

$$PT = \sum_{i=1}^{n} (64 + 64 + 80 + 40 + 40)$$

$$PT = 288$$

APENDICE B

COMUNICADO DEL MINISTERIO DEL PODER POPULAR PARA EL AMBIENTE



REPUBLICA DE VENEZUELA
Ministerio del Ambiente
y de los Recursos
Naturales Renovables

OFICIO:
Nº. 000009

Ciudadano
Señor William F. Blanco
Remavenca
Presente

Fecha: 28 ENE 19

En atención a su comunicación de fecha 15-09-87, mediante la cual solicita un dictamen sobre los lodos generados por el sistema de tratamiento de los efluentes líquidos residuales de esa empresa, en relación al manejo y disposición final que deberá dársele a los mismos, cumplo con informarle que de acuerdo a los resultados de los análisis presentados por ustedes, dichos lodos son compuestos orgánicos que no presentan ninguna característica que los incluya dentro de la categoría de tóxicos y/o peligrosos y por tanto son susceptibles de ser enterrados en un relleno sanitario, con la salvedad de que previamente deberá disminuirse su contenido de humedad hasta un máximo de 85% para facilitar su manejo.

Atentamente,

Ing. Armando González B.
Coordinador Zona 2

EVITE INCENDIOS
FORESTALES

IA 16

Figura B.1. Comunicado del Ministerio del Poder Popular para el Ambiente dirigida a Alimentos Polar Comercial Planta Turmero (Anteriormente REMAVENCA).

APENDICE C

CARACTERIZACIÓN DE LOS LODOS

En esta sección se muestran el informe de los resultados del estudio realizado por Hidrolab Toro Consultores, C.A. donde indican que los lodos biológicos de APC - Turmero no son tóxicos y/o peligrosos, de acuerdo a lo establecido en el Decreto N° 2.635 de la Gaceta Oficial Extraordinaria N° 5.245 de fecha 03 de Agosto de 1998.

Hidrolab Toro Consultores, C.A.

RIF.: J-07584620-6

CALIDAD DE AIRE, EMISIONES ATMOSFÉRICAS, DESECHOS PELIGROSOS, HIGIENE OCUPACIONAL, AGUAS Y EFLUENTES INDUSTRIALES.
Registrado en el M.P.P.A. - Nº 02-038

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO
SENCAMER

Valencia, 14 de Junio de 2011.

Señores:
ALIMENTOS POLAR COMERCIAL
(Planta Turmero).
Turmero, Edo. Aragua.

Atn.: Ing. Yasenka Machado.
Ref.: APCT-006-L-2011.

Estimados Señores:

Nos es grato dirigirnos a ustedes en la oportunidad de presentarles los resultados de los análisis efectuados a los **Lodos Biológicos**, captados en sus instalaciones el día **03 de Mayo de 2011.**

Sin otro particular a que hacer referencia y quedando a sus gratas ordenes para cualquier aclaratoria adicional, nos suscribimos de Ustedes.

Atentamente,
Por, HIDROLAB TORO CONSULTORES, C. A.

Mag. Ing. Miguel Mura V.
Director Gerente y Técnico

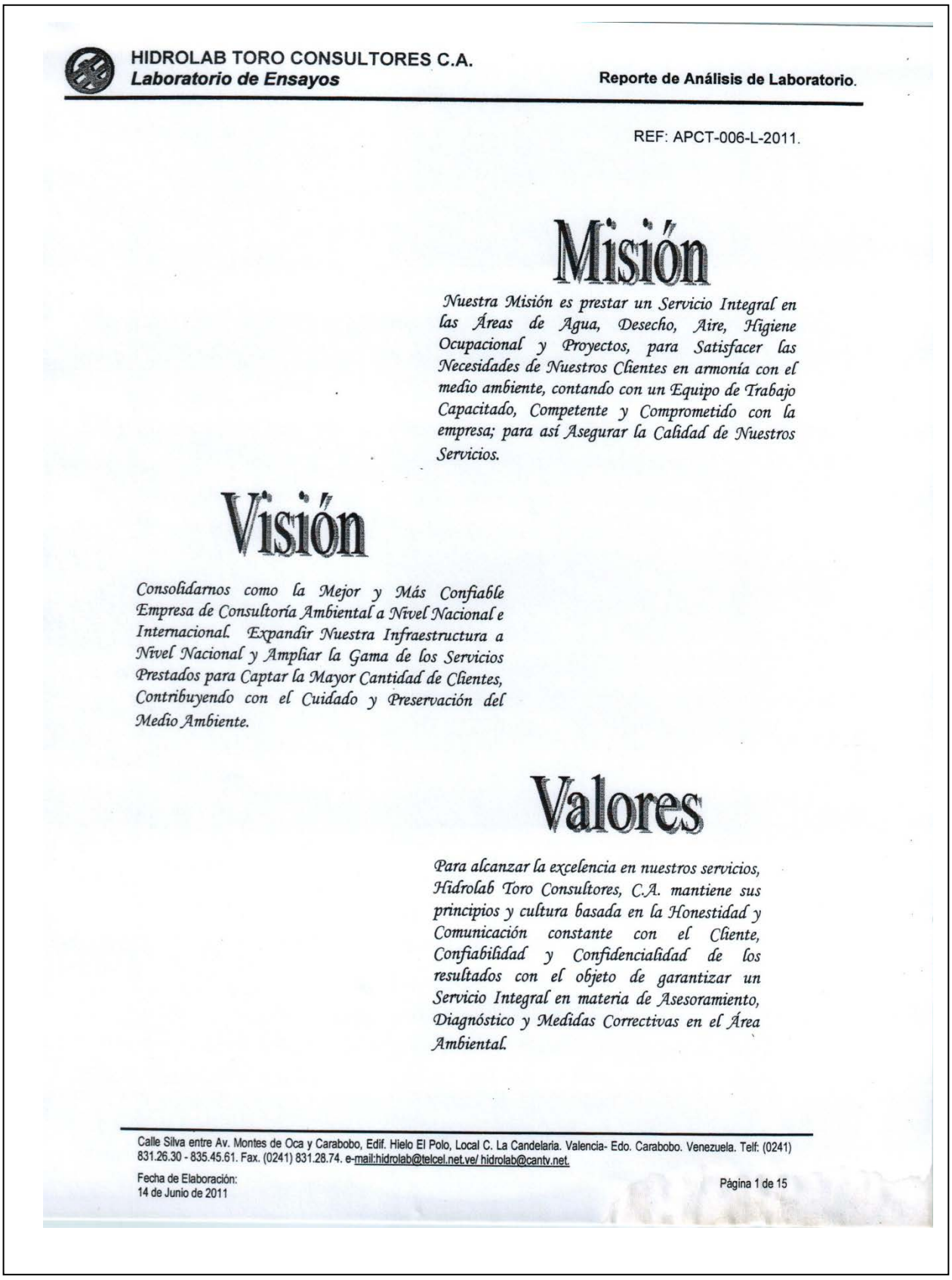
Este informe no debe ser reproducido total o parcialmente sin una autorización por escrito de HIDROLAB TORO CONSULTORES, C.A. y ALIMENTOS POLAR COMERCIAL (PLANTA TURMERO).

MM/ac.

www.hidrolab.com.ve

CARACTERIZACIONES, PROYECTOS Y SISTEMAS DE CONTROL AMBIENTAL
Calle Silva Nº 102 - 66 La Candelaria Edif. Hielo El Polo, entre Montes de Oca y Carabobo. Valencia, Edo. Carabobo
Teléfonos: (0241) 836.02.34 - 831.26.30 - 835.45.61 - 835.55.64 - 836.04.98. Telefax: (0241) 831.28.74
E-mail: hidrolab@telcel.net.ve - hidrolab@cantv.net

Figura C.1. Informe de la caracterización de los lodos de APC – Planta Turmero.



HIDROLAB TORO CONSULTORES C.A.
Laboratorio de Ensayos

Reporte de Análisis de Laboratorio.

REF: APCT-006-L-2011.

Misión

Nuestra Misión es prestar un Servicio Integral en las Áreas de Agua, Desecho, Aire, Higiene Ocupacional y Proyectos, para Satisfacer las Necesidades de Nuestros Clientes en armonía con el medio ambiente, contando con un Equipo de Trabajo Capacitado, Competente y Comprometido con la empresa; para así Asegurar la Calidad de Nuestros Servicios.

Visión

Consolidarnos como la Mejor y Más Confiable Empresa de Consultoría Ambiental a Nivel Nacional e Internacional. Expandir Nuestra Infraestructura a Nivel Nacional y Ampliar la Gama de los Servicios Prestados para Captar la Mayor Cantidad de Clientes, Contribuyendo con el Cuidado y Preservación del Medio Ambiente.

Valores

Para alcanzar la excelencia en nuestros servicios, Hidrolab Toro Consultores, C.A. mantiene sus principios y cultura basada en la Honestidad y Comunicación constante con el Cliente, Confiabilidad y Confidencialidad de los resultados con el objeto de garantizar un Servicio Integral en materia de Asesoramiento, Diagnóstico y Medidas Correctivas en el Área Ambiental.

Calle Silva entre Av. Montes de Oca y Carabobo, Edif. Hielo El Polo, Local C. La Candelaria. Valencia- Edo. Carabobo. Venezuela. Telf: (0241) 831.26.30 - 835.45.61. Fax. (0241) 831.28.74. e-mail:hidrolab@telcel.net.ve/ hidrolab@cantv.net.

Fecha de Elaboración:
14 de Junio de 2011

Figura C.2. Informe de la caracterización de los lodos de APC – Planta Turmero, página 1 de 15

HIDROLAB TORO CONSULTORES C.A.
Laboratorio de Ensayos

Reporte de Análisis de Laboratorio.

REF: APCT-006-L-2011.

ANÁLISIS DE LABORATORIO Y CARACTERIZACIÓN DE LOS LODOS BIOLÓGICOS PARA LA EMPRESA ALIMENTOS POLAR COMERCIAL (PLANTA TURMERO).

Personal que participó en la elaboración del Informe Técnico

Participante	Cargo	Responsabilidad	Firma
Miguel Mura V. Magíster en Ingeniería Ambiental.	Director Gerente y Técnico	Autoriza la aprobación final del informe técnico	
Grisel Llovera TSU en Química	Jefe de Laboratorio	Revisa e interpreta los resultados de acuerdo a las normas técnicas ambientales	

Calle Silva entre Av. Montes de Oca y Carabobo, Edif. Hielo El Polo, Local C. La Candelaria. Valencia- Edo. Carabobo. Venezuela. Telf: (0241) 831.26.30 - 835.45.61. Fax. (0241) 831.28.74. e-mail:hidrolab@telcel.net.ve/ hidrolab@cantv.net.

Fecha de Elaboración:
14 de Junio de 2011

Figura C.3. Informe de la caracterización de los lodos de APC – Planta Turmero, página 2 de 15

HIDROLAB TORO CONSULTORES C.A.
Laboratorio de Ensayos

Reporte de Análisis de Laboratorio.

REF: APCT-006-L-2011.

ANÁLISIS DE LABORATORIO Y CARACTERIZACIÓN DE LOS LODOS BIOLÓGICOS PARA LA EMPRESA ALIMENTOS POLAR COMERCIAL (PLANTA TURMERO).

1. FECHA DEL MUESTREO: 03 de Mayo de 2011.

2. TIPO DE MUESTRA: Compuesta.

3. EMPRESA GENERADORA: ALIMENTOS POLAR COMERCIAL (PLANTA TURMERO).

- ✓ **DIRECCIÓN DE LA EMPRESA**: Carretera Nacional La Encrucijada-Turmero, Municipio Santiago Mariño, Zona Industrial Turmero, Turmero, Edo. Aragua.

- ✓ **IDENTIFICACIÓN DEL MATERIAL:**

Muestra Nº 1: Lodos Biológicos.

4. CANTIDAD GENERADA:

Muestra Nº 1: De este material se generan veinte mil (20.000) Kilogramos al mes aproximadamente.

5. CANTIDAD ALMACENADA:

Muestra Nº 1: De éste material se encuentran almacenados dos mil (2.000) Kilogramos aproximadamente.

Calle Silva entre Av. Montes de Oca y Carabobo, Edif. Hielo El Polo, Local C. La Candelaria. Valencia- Edo. Carabobo. Venezuela. Telf: (0241) 831.26.30 - 835.45.61. Fax. (0241) 831.28.74. e-mail:hidrolab@telcel.net.ve/ hidrolab@cantv.net.

Figura C.4. Informe de la caracterización de los lodos de APC – Planta Turmero, página 3 de 15

REF: APCT-006-L-2011.

6. FORMA DE ALMACENAMIENTO:

Muestra Nº 1: El material se encuentra almacenado provisionalmente en la tolva metálica para lodos.

7. PROCEDENCIA:

Muestra Nº 1: Este material proviene del Tratamiento Físico y Biológico de los Efluentes Industriales.

8. HORA DEL MUESTREO: 12:00 m. a 12:10 p.m.

9. SITIO DE UBICACIÓN DEL MATERIAL:

Muestra Nº 1: El material fue captado en la tolva metálica para lodos, el lugar se encuentra techado y con piso de concreto. Adicionalmente el punto de muestreo se encuentra adyacente a la planta de tratamiento y el patio de gandola. (Ver Croquis Anexo).

10. CANTIDAD TOTAL DE MUESTRA:

Se captó una (01) muestra de cuatrocientos (400) gramos aproximadamente.

11. NÚMERO DE MUESTRAS Y TOTAL CAPTADAS:

Se captó una (01) muestra con su duplicado para un total de dos (02) muestras captadas.

12. ESTADO FÍSICO DEL MATERIAL:

Muestra Nº 1: Color: marrón claro; Estado: Sólido; Composición: degradación biológica de los efluentes industriales.

Figura C.5. Informe de la caracterización de los lodos de APC – Planta Turmero, página 4 de 15

HIDROLAB TORO CONSULTORES C.A.
Laboratorio de Ensayos

Reporte de Análisis de Laboratorio.

REF: APCT-006-L-2011.

13. TIPO DE MUESTREADOR: Triers.

14. PLAN DE MUESTREO:

Se programa captar dieciséis (16) sub-muestras del lote para formar una mezcla de aproximadamente ochocientos (800) gramos, captando una muestra representativa de todo el estrato del mismo. De igual forma, se captó la muestra testigo para luego colocarlos en envases de plástico de un (01) Kg/. c/u para Análisis de Características de Peligrosidad, Metales en la muestra real y T.C.L.P, Compuesto Orgánicos Volátiles en muestra real, Nitrógeno , Fósforo, Coliformes Totales, Coliformes Fecales, los mismos se rotularon, preservaron y almacenaron en frío, llenando la Cadena de Custodia forma RCL-01-1.

15. MÉTODO DE COLECCIÓN:

Las muestras fueron colectadas manualmente utilizando el muestreador triers de acero inoxidable que obtiene las sub-muestras respectivas, las mismas son compuestas y totalmente representativas del universo total de la muestra.

16. PARÁMETROS, PRESERVACIÓN Y TIEMPO DE ALMACENAMIENTO:

En el Cuadro Nº 1 se presentan los parámetros, preservación y tiempos de almacenamiento.

17. DESCONTAMINACIÓN DEL EQUIPO DE MUESTREO:

El equipo fue descontaminado antes y después del muestreo utilizando agua de chorro, detergente líquido, hexano, ácido nítrico, enjuagando con metanol, agua desionizada y secado al aire.

Calle Silva entre Av. Montes de Oca y Carabobo, Edif. Hielo El Polo, Local C. La Candelaria. Valencia- Edo. Carabobo. Venezuela. Telf: (0241) 831.26.30 - 835.45.61. Fax. (0241) 831.28.74. e-mail:hidrolab@telcel.net.ve/ hidrolab@cantv.net.

Figura C.6. Informe de la caracterización de los lodos de APC – Planta Turmero, página 5 de 15

HIDROLAB TORO CONSULTORES C.A.
Laboratorio de Ensayos

Reporte de Análisis de Laboratorio.

REF: APCT-006-L-2011.

18. CADENA DE CUSTODIA:

Se llenó la cadena de custodia forma RCL-01-1 por los técnicos de campo (Ver Anexos).

19. ASEGURAMIENTO Y CONTROL DE CALIDAD:

Se captó un duplicado de campo, el cual se maneja en idéntica forma que la muestra para análisis y se obtuvo un blanco de campo con agua destilada para observar y descartar posibles contaminaciones durante el muestreo y transporte de las muestras al laboratorio.

Las muestras son analizadas en concordancia con lo establecido en las **Normas EPA, Standard Methods, ASTM y Norma Internacional ISO/IEC 17025:2005**, analizando al menos el 10% de las muestras por duplicado. En cada corrida analítica son utilizados materiales de referencia o patrones certificados con trazabilidad, los cuales de acuerdo al Procedimiento de Verificación de Ensayos MP-06-0, deben presentar un error inferior al 10% a fin de garantizar la exactitud y precisión de los ensayos efectuados.

Nuestro compromiso ante el cliente, se basa en el mejoramiento continuo de la calidad, la confidencialidad y confiabilidad de los resultados, para ello dedicamos nuestra atención a cualquier observación con el servicio prestado, siendo esto canalizado por nuestro Departamento de Aseguramiento de la Calidad, quién velará por el cumplimiento, mantenimiento y satisfacción de los requerimientos del Cliente.

Calle Silva entre Av. Montes de Oca y Carabobo, Edif. Hielo El Polo, Local C. La Candelaria. Valencia- Edo. Carabobo. Venezuela. Telf: (0241) 831.26.30 - 835.45.61. Fax. (0241) 831.28.74. e-mail:hidrolab@telcel.net.ve/ hidrolab@cantv.net.

Figura C.7. Informe de la caracterización de los lodos de APC – Planta Turmero, página 6 de 15

HIDROLAB TORO CONSULTORES C.A.
Laboratorio de Ensayos

Reporte de Análisis de Laboratorio.

REF: APCT-006-L-2011.

20. EQUIPOS DE SEGURIDAD UTILIZADOS:

- Guantes de Látex Desechable.
- Botas de Seguridad.
- Lentes de Seguridad.
- Bragas.
- Mascarilla.
- Casco.

21. PRESERVACIÓN Y FECHAS TOPE DE VENCIMIENTO:

Ver Cuadro Nº 1.

22. METODOLOGÍA UTILIZADA:

Toda metodología usada proviene del Test Methods for Evaluating Solid Waste. Volumen IA, IB y IC. U.S.E.P.A. SW-846. Año 1.986 y Normas Venezolanas COVENIN.

23. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES:

La interpretación de los resultados se efectuará en concordancia con los valores reglamentados en el Decreto Nº 2.635 de la Gaceta Oficial Nº 5.245 de fecha 03 de Agosto de 1.998.

De acuerdo con los resultados obtenidos en las Características de Peligrosidad de los **Lodos Biológicos** se considera que:

- Presenta un pH en solución acuosa de 8,08 unidades.
- Presenta una inflamabilidad >250 ºC. Por lo tanto, **no es inflamable.**

Calle Silva entre Av. Montes de Oca y Carabobo, Edif. Hielo El Polo, Local C. La Candelaria. Valencia- Edo. Carabobo. Venezuela. Telf: (0241) 831.26.30 - 835.45.61. Fax. (0241) 831.28.74. e-mail:hidrolab@telcel.net.ve/ hidrolab@cantv.net.

Figura C.8. Informe de la caracterización de los lodos de APC – Planta Turmero, página 7 de 15

REF: APCT-006-L-2011.

- Presenta una reactividad al Ácido Sulfhídrico (H_2S) <0,10 mg/Kg, siendo el valor regulado por la U.S.E.P.A. de 500 mg/Kg. Por lo tanto, **no es reactivo.**

- Presenta una reactividad al Ácido Cianhídrico (HCN) <0,10 mg/Kg, siendo el valor regulado por la U.S.E.P.A. de 250 mg/Kg. Por lo tanto, **no es reactivo.**

Con respecto a los análisis de metales efectuados a la muestra real, los parámetros evaluados presentan valores inferiores a los señalados en el Decreto Nº 2635, Anexo C, Artículo 5; por lo que se considera **NO PELIGROSO** en su contenido de metales.

En relación a los análisis de metales efectuados en el lixiviado, se observan valores inferiores a los reglamentados por el Anexo D del Decreto Nº 2635, por lo que se considera **NO TÓXICO** para fines de disposición.

24. BIBLIOGRAFÍA:

1. Lawrence, K. *Compilation of EPA'S Sampling and Analysis Methods.* Editorial Lewis Publishers. 2 Ed.1996. Florida. United States of America.
2. Tchobanoglous, G., Theisen, H. y Vigil, S. *Gestión Integral de Residuos Sólidos.* Editorial Mc Graw Hill. 1 Ed. 1994. Madrid. España.
3. Dial, C. y García, L. *Residuos Tóxicos y Peligrosos, Tratamiento y Eliminación.* Editorial Secretaría General Técnica Centro de Publicaciones Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo. 1 Ed. 1989. Madrid. España.
4. Buckingham, P., Evans, J. y LaGreca, M. *Gestión de Residuos Tóxicos, Tratamiento, Eliminación y Recuperación de Suelos.* Editorial Mc Graw Hill. 1 Ed. 1996. Madrid. España.

Figura C.9. Informe de la caracterización de los lodos de APC – Planta Turmero, página 8 de 15

HIDROLAB TORO CONSULTORES C.A.
Laboratorio de Ensayos

Reporte de Análisis de Laboratorio.

REF: APCT-006-L-2011.

NOTA:

La Institución calificada para autorizar la disposición de un Desecho sea o no Peligroso es el M.P.P.A. **Hidrolab Toro Consultores, C.A.**, no posee responsabilidad alguna en este sentido.

Conservar nuestro medio ambiente es garantizar nuestro futuro, la vida y la naturaleza para las próximas generaciones.

Calle Silva entre Av. Montes de Oca y Carabobo, Edif. Hielo El Polo, Local C. La Candelaria. Valencia- Edo. Carabobo. Venezuela. Telf: (0241) 831.26.30 - 835.45.61. Fax. (0241) 831.28.74. e-mail:hidrolab@telcel.net.ve/ hidrolab@cantv.net.

Fecha de Elaboración:
14 de Junio de 2011

Figura C.10. Informe de la caracterización de los lodos de APC – Planta Turmero, página 9 de 15

HIDROLAB TORO CONSULTORES C.A.
Laboratorio de Ensayos

Reporte de Análisis de Laboratorio.

REF: APCT-006-L-2011.

CUADRO Nº 1

TIEMPO DE ALMACENAJE Y PRESERVACIÓN REQUERIDA

PARÁMETROS	TIPO DE ALMACENAJE		PRESERVATIVOS		ENVASES DE MUESTREO (Sólidos)
	SÓLIDOS	LIQUIDOS	SÓLIDOS	LIQUIDOS	
pH	48 horas	15 min.	Enfrie a 4ºC	Ninguno	Envases boca ancha con tapa de rosca
Reactividad	No especificado	No especificado	Enfrie a 4ºC	Enfrie a 4ºC	
T.C.L.P.	14 días	15 días	Enfrie a 4ºC	Enfrie a 4ºC	
Metales Poluentes	6 meses, 28 días (Hg)	6 meses Enfrie a 4ºC	Enfrie a 4ºC	Ácido Nítrico	Captación por Duplicado (Muestra + Testigo)
Volátiles	14 días	15 días	---	Ácido Clorhídrico	
Semi-Volátiles	14 días Extrac. 40 días análisis	---	7 días Extrac. 40 días análisis	Tiosulfato de Sodio	

Calle Silva entre Av. Montes de Oca y Carabobo, Edif. Hielo El Polo, Local C. La Candelaria. Valencia- Edo. Carabobo. Venezuela. Telf: (0241) 831.26.30 - 835.45.61. Fax. (0241) 831.28.74. e-mail:hidrolab@telcel.net.ve/ hidrolab@cantv.net.

Figura C.11. Informe de la caracterización de los lodos de APC – Planta Turmero, página 10 de 15

HIDROLAB TORO CONSULTORES C.A.
Laboratorio de Ensayos

Reporte de Análisis de Laboratorio.

REF: APCT-006-L-2011.

ANÁLISIS DE LABORATORIO Y CARACTERIZACIÓN DE LODOS BIOLÓGICOS.

CLIENTE: ALIMENTOS POLAR COMERCIAL (PLANTA TURMERO).
DIRECCION: Carretera Nacional La Encrucijada-Turmero Municipio Santiago Mariño, Zona Industrial Turmero, Turmero, Edo. Aragua.

PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

Fecha de Captación: 03 de Mayo de 2011.
Hora de Captación: 12:00 m. a 12:10 p.m.
Fecha de Análisis: 03/05/2011 al 14/06/2011.

I. IDENTIFICACIÓN DE LA(S) MUESTRA(S):
Muestra Nº 1: Lodos Biológicos.

II. CONDICIONES AMBIENTALES DEL LABORATORIO.

PARÁMETRO	UNIDAD	VALOR
TEMPERATURA	ºC	26,9
HUMEDAD RELATIVA	%	52

III. CARACTERISTICAS DE PELIGROSIDAD.

PARÁMETROS	UNIDAD	MUESTRA Nº 1	VALOR (1) REGLAMENTADO	MÉTODO (2)
pH en solución acuosa	Adim.	8,08	≤ 2 ó ≥ 12,5	9045 C (2,1)
Punto de Inflamación	ºC	>250	< 60,5 Inflamable	1010
Reactividad al Ácido Sulfhídrico (H_2S)	mg/Kg.	<0,10	500 *	9030
Reactividad al Ácido Cianhídrico (HCN)	mg/Kg.	<0,10	250 *	9010

N.R.: No Reglamentado.

* Según Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA), la Reactividad del Ácido Sulfhídrico (H_2S) está regulado por la U.S.E.P.A. en 500 mg/Kg y para el Ácido Cianhídrico en 250 mg/Kg.

(1) Reglamentado según Gaceta Oficial Nº 5.245, Decreto Nº 2.635, Capítulo II, Artículo 6.

(2) Test Methods for the Evaluating Solid Waste Volumen IA, IB y IC de la U.S.E.P.A. Año 1.986.

(2,1) Test Methods for the Evaluating Solid Waste Volumen IA, IB y IC de la U.S.E.P.A. Año 1.995.

LEYENDA
CUMPLE
INCUMPLE

Realizado por:
TSU. Grisel Llovera

HIDROLAB TORO CONSULTORES C.A.

Aprobado por:
Mag. Ing. Miguel Mura.

Calle Silva entre Av. Montes de Oca y Carabobo, Edif. Hielo El Polo, Local C. La Candelaria. Valencia- Edo. Carabobo. Venezuela. Telf: (0241) 831.26.30 - 835.45.61. Fax. (0241) 831.28.74. e-mail:hidrolab@telcel.net.ve/ hidrolab@cantv.net.

Fecha de Elaboración:
14 de Junio de 2011

Página 11 de 15

Figura C.12. Informe de la caracterización de los lodos de APC – Planta Turmero, página 11 de 15

HIDROLAB TORO CONSULTORES C.A.
Laboratorio de Ensayos

Reporte de Análisis de Laboratorio.

REF: APCT-006-L-2011.

ANÁLISIS DE LABORATORIO Y CARACTERIZACIÓN DE LODOS BIOLÓGICOS.

CLIENTE: ALIMENTOS POLAR COMERCIAL (PLANTA TURMERO).
DIRECCION: Carretera Nacional La Encrucijada-Turmero Municipio Santiago Mariño, Zona Industrial Turmero, Turmero, Edo. Aragua.

PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

Fecha de Captación: 03 de Mayo de 2011.
Hora de Captación: 12:00 m. a 12:10 p.m.
Fecha de Análisis: 03/05/2011 al 14/06/2011.

I. IDENTIFICACIÓN DE LA(S) MUESTRA(S):
Muestra Nº 1: Lodos Biológicos.

II. EVALUACIÓN DE METALES.

PARÁMETROS	UNIDAD	MUESTRA Nº 1	VALOR (1) REGLAMENTADO	MÉTODO (2)
Cadmio y sus Compuestos	mg/Kg. Cd.	0,250	< 50	6010 B
Cromo y sus Compuestos	mg/Kg. Cr.	10,500	< 50	6010 B
Cinc y sus Compuestos (Polvos, Óxidos y Sales)	mg/Kg. Zn.	44,490	< 1000	6010 B
Cobre Compuestos Solubles (Sales y Ácidos)	mg/Kg. Cu.	6,990	< 1000	6010 B
Níquel y sus Compuestos (Sales y Óxidos)	mg/Kg. Ni.	4,810	< 1000	6010 B
Plomo y sus Compuestos (Sales y Óxidos)	mg/Kg. Pb.	3,970	< 1000	6010 B

N.R.: No Reglamentado.
1 mg/Kg. = 1 ppm; 1000 ppm = 0,10% p/p
(1) Reglamentado según Decreto Nº 2.635, Anexo C de la Gaceta Oficial Nº 5.245.
(2) Test Methods for the Evaluating Solid Waste Volumen IA, IB y IC de la U.S.E.P.A. Año 1.986.

LEYENDA
CUMPLE
INCUMPLE

Realizado por:
TSU. Grisel Llovera

HIDROLAB TORO CONSULTORES C.A.

Aprobado por:
Mag. Ing. Miguel Mura.

Calle Silva entre Av. Montes de Oca y Carabobo, Edif. Hielo El Polo, Local C. La Candelaria. Valencia- Edo. Carabobo. Venezuela. Telf: (0241) 831.26.30 - 835.45.61. Fax. (0241) 831.28.74. e-mail:hidrolab@telcel.net.ve/ hidrolab@cantv.net.

Fecha de Elaboración:
14 de Junio de 2011

Figura C.13. Informe de la caracterización de los lodos de APC – Planta Turmero, página 12 de 15

HIDROLAB TORO CONSULTORES C.A.
Laboratorio de Ensayos

Reporte de Análisis de Laboratorio.

REF: APCT-006-L-2011.

ANÁLISIS DE LABORATORIO Y CARACTERIZACIÓN DE LODOS BIOLÓGICOS.

CLIENTE: ALIMENTOS POLAR COMERCIAL (PLANTA TURMERO).
DIRECCION: Carretera Nacional La Encrucijada-Turmero Municipio Santiago Mariño, Zona Industrial Turmero, Turmero, Edo. Aragua.

ANÁLISIS CROMATOGRÁFICO EN MUESTRA REAL

Fecha de Captación: 03 de Mayo de 2011.
Hora de Captación: 12:00 m. a 12:10 p.m.
Fecha de Análisis: 03/05/2011 al 14/06/2011.

I. IDENTIFICACIÓN DE LA(S) MUESTRA(S):
Muestra Nº 1: Lodos Biológicos.

II. CONDICIONES AMBIENTALES DEL LABORATORIO.

PARÁMETRO	UNIDAD	VALOR
TEMPERATURA	ºC	26,9
HUMEDAD RELATIVA	%	52

III. COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES

PARÁMETROS	UNIDAD	MUESTRA Nº 1	VALOR (1) REGLAMENTADO	MÉTODO (2)
Acetona	ppm	N.D.	NR	3810
Acrilonitrilo	ppm	N.D.	< 1000	3810
Benceno	ppm	N.D.	< 1000	3810
Bromodiclorometano	ppm	N.D.	NR	3810
Bromoformo	ppm	N.D.	NR	3810
Bromometano	ppm	N.D.	NR	3810
Disulfuro de Carbono	ppm	N.D.	< 1000	3810
Tetracloruro de Carbono	ppm	N.D.	< 1000	3810
Clorobenceno	ppm	N.D.	< 1000	3810
Cloroetano	ppm	N.D.	< 1000	3810
Cloroformo	ppm	N.D.	< 1000	3810
Clorometano	ppm	N.D.	< 1000	3810
1,3 Dicloropropano	ppm	N.D.	< 1000	3810
Dibromoclorometano	ppm	N.D.	NR	3810
Dibromometano	ppm	N.D.	NR	3810
Etil Benceno	ppm	N.D.	< 1000	3810
Yodometano	ppm	N.D.	< 1000	3810
Xileno (Meta, Orto y Para)	ppm	N.D.	< 1000	3810
Cloruro de Metilo	ppm	N.D.	< 1000	3810
Estireno	ppm	N.D.	< 1000	3810
1,1,1,2 Tetracloroetano	ppm	N.D.	< 1000	3810
1,1,2,2 Tetracloroetano	ppm	N.D.	< 1000	3810
Tolueno	ppm	N.D.	< 1000	3810
1,2 Dicloroetileno	ppm	N.D.	< 1000	3810
Tricloroetileno	ppm	N.D.	< 1000	3810

NR: No Reglamentado, ND: No detectable, límite de detección 0,01 ppm
(1) Reglamento según Decreto Nº 2.635, Anexo C de la Gaceta Oficial Nº 5245.
(2) Test Methods for the Evaluating Solid Waste Volumen IA, IB y IC de la U.S.E.P.A. Año 1.986.

LEYENDA
CUMPLE
INCUMPLE

Realizado por:
TSU. Grisel Llovera.

Aprobado por:
Mag. Ing. Miguel Mura.

Calle Silva entre Av. Montes de Oca y Carabobo, Edif. Hielo El Polo, Local C. La Candelaria. Valencia- Edo. Carabobo. Venezuela. Telf: (0241) 831.26.30 - 835.45.61. Fax. (0241) 831.28.74. e-mail:hidrolab@telcel.net.ve/ hidrolab@cantv.net.

Fecha de Elaboración:
14 de Junio de 2011

Figura C.14. Informe de la caracterización de los lodos de APC – Planta Turmero, página 13 de 15

HIDROLAB TORO CONSULTORES C.A.
Laboratorio de Ensayos

Reporte de Análisis de Laboratorio.

REF: APCT-006-L-2011.

ANÁLISIS DE LABORATORIO Y CARACTERIZACIÓN DE LODOS BIOLÓGICOS.

CLIENTE: ALIMENTOS POLAR COMERCIAL (PLANTA TURMERO).
DIRECCION: Carretera Nacional La Encrucijada-Turmero Municipio Santiago Mariño, Zona Industrial Turmero, Turmero, Edo. Aragua.

ANÁLISIS ESPECIALES EN LA MUESTRA REAL

Fecha de Captación: 03 de Mayo de 2011.
Hora de Captación: 12:00 m. a 12:10 p.m.
Fecha de Análisis: 03/05/2011 al 14/06/2011.

I. IDENTIFICACIÓN DE LA(S) MUESTRA(S):
Muestra Nº 1: Lodos Biológicos.

II. EVALUACIONES VARIAS.

PARÁMETROS	UNIDAD	MUESTRA Nº 1	MÉTODO (1)
Nitrogeno	mg/Kg.	2860	4500-Norg D
Fosforo	mg/Kg.	979,44	3120 B
Coliforme Totales	NMP/10 g	110.000	9221 B
Coliformes Fecales	NMP/10 g	9.300	9221 E

(1) Test Methods for the Evaluating Solid Waste Volumen IA, IB y IC de la U.S.E.P.A. Año 1.986, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 20 th. Edición 1.998 y Normas Venezolanas COVENIN (NVC).

LEYENDA
CUMPLE
INCUMPLE

Realizado por:
TSU. Grisel Llovera.

Aprobado por:
Mag. Ing. Miguel Mura.

Calle Silva entre Av. Montes de Oca y Carabobo, Edif. Hielo El Polo, Local C. La Candelaria. Valencia- Edo. Carabobo. Venezuela. Telf: (0241) 831.26.30 - 835.45.61. Fax. (0241) 831.28.74. e-mail:hidrolab@telcel.net.ve/ hidrolab@cantv.net.

Fecha de Elaboración:
14 de Junio de 2011

Figura C.15. Informe de la caracterización de los lodos de APC – Planta Turmero, página 14 de 15

HIDROLAB TORO CONSULTORES C.A.
Laboratorio de Ensayos

Reporte de Análisis de Laboratorio.

REF: APCT-006-L-2011.

ANÁLISIS DE LABORATORIO Y CARACTERIZACIÓN DE LODOS BIOLÓGICOS.

CLIENTE: ALIMENTOS POLAR COMERCIAL (PLANTA TURMERO).
DIRECCION: Carretera Nacional La Encrucijada-Turmero Municipio Santiago Mariño, Zona Industrial Turmero, Turmero, Edo. Aragua.

TEST DE LIXIVIACIÓN (T.C.L.P.)

Fecha de Captación: 03 de Mayo de 2011.
Hora de Captación: 12:00 m. a 12:10 p.m.
Fecha de Análisis: 03/05/2011 al 14/06/2011.

I. IDENTIFICACIÓN DE LA(S) MUESTRA(S):
Muestra Nº 1: Lodos Biológicos.

II. RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS DE LIXIVIADO.

PARÁMETROS	UNIDAD	MUESTRA Nº 1
Sólidos Secos (SS)	%	54,66
Peso de la Muestra Seca a 103ºC	g.	1,3758
Muestra Lixiviada	g.	36,59
Fluido de Extracción	g.	400
pH Solución Acuosa	Adim.	8,08
pH Solución de HCl 1N	Adim.	1,74
pH Lixiviado	Adim.	5,20
Fluido de Extracción	Nº	1

III. EVALUACIÓN EN EL LIXIVIADO.

PARÁMETROS	UNIDAD	MUESTRA Nº 1	VALOR (1) REGLAMENTADO	MÉTODO (2)
Cadmio (Cd)	mg/L.	0,007	1,0	6010 B
Cromo Hexavalente (Cr^{+6})	mg/L.	<0,001	5,0	6010 B
Níquel (Ni)	mg/L.	0,007	5,0	6010 B
Plomo (Pb)	mg/L.	<0,001	5,0	6010 B

N.R.: No Reglamentado.
(1) Reglamentado según Decreto Nº 2.635, Anexo D de la Gaceta Oficial Nº 5.245.
(2) Test Methods for the Evaluating Solid Waste Volumen IA, IB y IC de la U.S.E.P.A. Año 1.986.

LEYENDA
CUMPLE
INCUMPLE

Realizado por:
TSU. Grisel Llovera

Aprobado por:
Mag. Ing. Miguel Mura.

Calle Silva entre Av. Montes de Oca y Carabobo, Edif. Hielo El Polo, Local C. La Candelaria. Valencia- Edo. Carabobo. Venezuela. Telf: (0241) 831.26.30 - 835.45.61. Fax. (0241) 831.28.74. e-mail:hidrolab@telcel.net.ve/ hidrolab@cantv.net.

Fecha de Elaboración:
14 de Junio de 2011

Figura C.16. Informe de la caracterización de los lodos de APC – Planta Turmero, página 15 de 15

APENDICE D

Caracterizaciones de entrada y salida de las aguas de la planta

TABLA D.1.

CARACTERÍSTICAS DE LOS AFLUENTES DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE ALIMENTOS POLAR COMERCIAL C.A – PLANTA TURMERO

PARÁMETROS	22/11/2010	30/03/2011	11/05/2011	09/08/2011
DBO (mg/L)	1.157	3.000	2.229	1.800
DQO (mg/L)	3.493	6.705	8.060	5.705
ST (mg/L)	3.680	3.680	2.000	3.170
SS (mg/L)	2.720	2.720	600	2.690
SD (mg/L)	960	960	1.400	480
A y G (mg/L)	106	2.184	1.282	1.268
Nitrógeno (mg/L)	81	18	18	24
Fósforo (mg/L)	4	37	9	8
pH	7	5,3	6,2	6,4

Fuente: APC Turmero, 2010 - 2011

TABLA D.2.

CARACTERÍSTICAS DE LOS EFLUENTES DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE ALIMENTOS POLAR COMERCIAL C.A – PLANTA TURMERO

Parámetros / Fecha de muestreo	Unidades	29/04/2010	16/06/2010	08/09/2010	22/11/2010	PROMEDIO	Límites cloacas Decreto 3219
Efluente tratado	m^3/Trimestre	16.055	21.581	31.743	26.861	24.060	No aplica
Capacidad utilización PTAR	%	32,20	43,28	53,61	52,71	45,45	
Eficiencia de PTAR	%	93,00	98,48	97,81	92,59	95,47	
DBO	mg O_2/L	10	10	10	57	22	**350**
DQO	mg O_2/L	266	39	89	346	185	**700**
Sólidos totales	mg ST/L	401	490	810	1.020	680	**1.600**
Sólidos suspendidos	mg SS/L	22	8	12	19	15	**400**
Sólidos disueltos	mg SD/L	379	482	798	1001	665	**Ausentes**
Aceites y grasas	mg AG/L	1	13	1	6	5	**100**
Nitrógeno	mg N/L	3,00	2,00	2,00	4,00	3,00	**40**
Fósforo	mg P/L	1,00	2,00	2,00	5,00	3,00	**10**
pH	----------	7,30	7,30	7,50	7,50	7,00	**6 - 9**
Sulfato	mg $SO_4^{=}$/L	27	6	48	186	67	**400**

Fuente: APC Turmero, 2010

APENDICE E

TABLAS DE DATOS EXPERIMENTALES

En esta sección se muestran todos los datos obtenidos en las pruebas experimentales

TABLA E.1.

VOLÚMEN DE FILTRADO POR UNIDAD DE TIEMPO OBTENIDO EN LAS PRUEBAS DE FILTRABILIDAD

Floculante	Volumen de floculante (V_{floc} ± 0,05)mL	Tiempo de filtración (t ± 0,01)s				
		3,00	6,00	9,00	12,00	15,00
WET 1004	20,00	20,0	50,0	65,0	85,0	100,0
	30,00	20,0	40,0	60,0	85,0	110,0
	40,00	35,0	60,0	85,0	95,0	105,0
	50,00	40,0	65,0	80,0	105,0	125,0
WET 948	20,00	15,0	35,0	55,0	70,0	90,0
	30,00	20,0	40,0	60,0	75,0	85,0
	40,00	35,0	65,0	90,0	110,0	120,0
	50,00	10,0	25,0	40,0	55,0	85,0
NALCO 7128	20,00	40,0	85,0	125,0	175,0	220,0
	30,00	35,0	75,0	110,0	145,0	180,0
	40,00	40,0	65,0	90,0	115,0	130,0
	50,00	30,0	70,0	110,0	145,0	175,0
NALCO 61067	20,00	50,0	80,0	110,0	130,0	160,0
	30,00	20,0	50,0	75,0	90,0	110,0
	40,00	45,0	75,0	100,0	125,0	150,0
	50,00	15,0	45,0	65,0	90,0	120,0

Temperatura ambiente: (31,0 ± 0,5) °C
Presión ambiente: (709,46 ± 0,05) mmHg
Volumen de filtrado (V_{fil} ± 2,5)mL

TABLA E.2.

VOLÚMEN DE FILTRADO POR UNIDAD DE TIEMPO OBTENIDO EN LA MEJOR DOSIFICACIÓN DEL FLOCULANTE EN LA PRUEBA DE FILTRABILIDAD

Floculante	Volumen de floculante (V_{floc} ± 0,05)mL	Tiempo de filtración (t ± 0,01)s				
		3,00	**6,00**	**9,00**	**12,00**	**15,00**
Efluente sin floculante (Blanco)	0,00	60,0	120,0	200,0	270,0	350,00
WET 1004	20,00	30,0	50,0	70,0	90,0	100,0
	25,00	30,0	60,0	90,0	110,0	120,0
	30,00	25,0	45,0	75,0	95,0	110,0
	35,00	15,0	35,0	55,0	70,0	85,0
	40,00	25,0	50,0	70,0	90,0	105,0
	45,00	35,0	70,0	90,0	100,0	110,0
	50,00	35,0	75,0	105,0	115,0	125,0
WET 948	20,00	40,0	70,0	80,0	85,0	90,0
	25,00	30,0	60,0	90,0	110,0	130,0
	30,00	40,0	55,0	70,0	80,0	85,0
	35,00	30,0	50,0	70,0	90,0	100,0
	40,00	20,0	45,0	70,0	95,0	120,0
	45,00	15,0	30,0	45,0	60,0	75,0
	50,00	15,0	25,0	45,0	60,0	85,0

Temperatura ambiente: (31,0 ± 0,5) °C
Presión ambiente: (709,46 ± 0,05) mmHg
Volumen de filtrado (V_{fil} ± 2,5)mL

TABLA E.3.

DATOS DE PESOS DE LAS MUESTRAS DE LODO OBTENIDOS EN LAS PRUEBAS DE FILTRABILIDAD

FLOCULANTE	Volumen de floculante (V_{floc} ± 0,05)mL	Torta húmeda (T_H ± 0,01)g	Torta seca (T_S ± 0,01)g	Volumen filtrado (V_{fil} ± 2,5)mL
WET 1004	20,00	182,50	172,14	100,0
	25,00	174,00	137,65	120,0
	30,00	205,46	165,37	90,0
	35,00	213,23	173,45	85,0
	40,00	186,98	150,43	105,0
	45,00	189,04	161,08	110,0
	50,00	181,13	163,34	125,0
WET 948	20,00	204,08	199,78	90,0
	25,00	175,86	170,54	130,0
	30,00	209,55	201,88	85,0
	35,00	184,21	176,31	100,0
	40,00	177,27	165,87	120,0
	45,00	224,78	180,50	75,0
	50,00	235,04	186,63	85,0

Temperatura ambiente: (31,0 ± 0,5) °C
Presión ambiente: (709,46 ± 0,05) mmHg

APENDICE F

TABLAS DE RESULTADOS

En esta sección se muestran todos los resultados obtenidos de los cálculos respectivos como se muestran en el Apéndice A.

TABLA F.1.

TABLA DE RESULTADOS DE TURBIDEZ Y REMOCIÓN DE SÓLIDOS FINALIZADO LAS PRUEBAS EXPERIMENTALES DE LA DESHIDRATACIÓN DE LODOS

FLOCULANTE	Volumen de floculante (V_{floc} ± 0,05)mL	Turbidez (T_b ± 0,01)NTU	% Remoción de sólidos (R_s± 0,0001)%
WET 1004	20,00	13,00	88,5563
	25,00	3,20	97,1831
	30,00	5,40	95,2465
	35,00	4,80	95,7746
	40,00	5,40	95,2465
	45,00	5,70	94,9824
	50,00	6,40	94,3662
WET 948	20,00	60,00	47,1831
	25,00	57,00	49,8239
	30,00	46,00	59,5070
	35,00	30,00	73,5915
	40,00	13,00	88,5563
	45,00	5,80	94,8944
	50,00	5,30	95,3345

Temperatura ambiente: (31,0 ± 0,5) °C
Presión ambiente: (709,46 ± 0,05) mmHg
Turbidez del blanco: (113,60 ± 0,01)NTU

TABLA F.2.

TABLA DE RESULTADOS DE HUMEDAD FINALIZADO LAS PRUEBAS EXPERIMENTALES DE LA DESHIDRATACIÓN DE LODOS

FLOCULANTE	Volumen de floculante (V_{floc} ± 0,05)mL	%Humedad evaporada (H_e ± 0,0001)%	%Humedad (H ± 0,0001)%
WET 1004	20,00	5,6767	94,3233
	25,00	20,8908	79,1092
	30,00	19,5123	80,4877
	35,00	18,6559	81,3441
	40,00	19,5475	80,4525
	45,00	14,7905	85,2095
	50,00	9,8217	90,1783
WET 948	20,00	2,1070	97,8930
	25,00	3,0251	96,9749
	30,00	3,6602	96,3398
	35,00	4,2886	95,7114
	40,00	6,4309	93,5691
	45,00	19,6993	80,3007
	50,00	20,5965	79,4035

Temperatura ambiente: (31,0 ± 0,5) °C
Presión ambiente: (709,46 ± 0,05) mmHg

APENDICE G

BOLETINES TÉCNICOS DE LOS FLOCULANTES

En esta sección se muestran los boletines técnicos de las dos mejores alternativas de floculantes propuestos, y del floculante utilizado actualmente en la planta de tratamiento de aguas residuales.

NALCO® OPTIMER® 7128

Polímero Catiónico

NALCO

Boletín Técnico del Producto

BENEFICIOS DEL PRODUCTO

- **OPTIMER 7128** Reduce el riesgo de disposición de lodos, al producir un lodo más seco y compacto.
- Incrementa la claridad del agua removida de los espesadores de lodo al eliminar el arrastre de livianos.
- Elimina el arrastre en el efluente claro en los procesos de flotación con aire disuelto o aire inducido.
- Produce aguas clarificadas con muy bajo contenido de metales pesados.

DESCRIPCIÓN GENERAL

Consulte en la Hoja de Datos de Seguridad de Materiales de **OPTIMER 7128** para conocer las propiedades físicas y químicas características.

USOS PRINCIPALES

OPTIMER 7128 es un floculante catiónico, diseñado para la aplicación en procesos de tratamiento de lodos, tratamiento de agua potable e industrial y en procesos de filtración como ayudante en línea.

- Efectivo desempeño en deshidratación de lodos.
- Activo en espesamiento de lodos.
- Efectivo para procesos de clarificación de aguas residuales; tanto flotación como clarificación primaria.
- Excelente en procesos de remoción de metales pesados en aguas residuales.

En los procesos de deshidratación de lodos funciona para cualquier sistema de operación: Belt Press, filtración al vacío, filtros prensa y centrífugas.

DOSIFICACIÓN

Su representante de Nalco le recomendará la dosis y punto de aplicación para obtener máxima eficiencia del producto

APLICACIÓN

OPTIMER 7128 debe ser aplicado diluido en una concentración de 0.05% - 0.10% si desea obtener mayor eficiencia deberá ser aplicado en un punto de buena agitación para conseguir alta homogenización de la mezcla.

MANEJO Y ALMACENAMIENTO

Como todo producto químico, **OPTIMER 7128** debe ser manipulado cuidadosamente. Antes de utilizar este producto lea la Etiqueta y la Hoja de Datos de Seguridad de Materiales para obtener información completa acerca del manejo de este producto antes de usarlo. El límite recomendado de almacenamiento del **OPTIMER 7128** es de seis meses.

DESPACHO

OPTIMER 7128 se despacha desde centros regionales de fabricación y distribución, en tambores totes o portafeed. Consulte con su representante local de Nalco acerca de la última información sobre disponibilidad de empaques.

OBSERVACIONES

Si usted requiere asistencia técnica o información adicional comuníquese con el representante de Nalco más cercano o a nuestras oficinas en Bogotá al 6231103 o a cualquiera de las oficinas satélite.
En caso de emergencias médicas o transporte comunicarse con CISPROQUIM en Bogotá al 288 60 12 y a nivel nacional al 9800 91 60 12.
e-mail: cisproquim@cisred.com

Figura G.1. Boletín técnico del floculante usado actualmente en la planta de tratamiento de aguas residuales de APC Turmero, NALCO 7128.

Fuente: NALCO An Ecolab Company. 2011

WET Chemical
Water Ecological Technology

WETClear 948
Floculante Catiónico

Descripción

WETClear 948 es un floculante en emulsión, formulado a base de poliacrilamidas de peso molecular medio y con una carga catiónica muy alta.
El producto se puede utilizar en una gran variedad de procesos de separación sólido-líquido.

Beneficios

- Producto muy eficaz a bajas dosis.
- Fácil preparación, al compararlo con floculantes de tipo granular.
- Actúa en un amplio rango de pH.
- No causa interferencias en procesos de tipo biológico.
- Servicio técnico especializado que proporcionan los ingenieros de WET Chemical.

Usos del Producto

WETClear 948 se utiliza en procesos de sedimentación de partículas sólidas y desagüado de lodos industriales y sanitarios.
Es también efectivo al aplicarlo en espesadores de lodos biológicos existentes en sistemas de aireación biológica, y en otros procesos de separación sólido-líquido, tales como en filtros prensa, filtros rotativos y equipos de centrifugación.

Propiedades Generales

Aspecto	Líquido blanco opalescente
Densidad 20°C, (g/mL)	1.01 – 1.05
pH a 20°C	3.5 – 5.5
Viscosidad, mPa.s	900 – 1100

Datos de Aplicación

La dosis de **WETClear 948** depende de la aplicación y se determina mediante ensayos de laboratorio y pruebas de campo.
El producto se aplica disolviéndolo en agua a una concentración de 0.75 - 2.0%, mediante el uso de un agitador apropiado, y dejando reposar la solución durante unos 30 min.
Esta solución madre puede ser nuevamente diluida en línea en el momento de la adición a un punto donde haya un buen grado de mezcla con la corriente de líquido a tratar.
La solución madre mantiene su actividad durante 3-4 días. Pasado dicho tiempo conviene preparar una solución nueva.
El ingeniero de WET Chemical está calificado para colaborar en la determinación de la dosis y en el diseño del sistema de aplicación.

Almacenamiento y Manejo

Almacenar el producto en un ambiente seco, preferentemente en una bodega cubierta.
El producto, en su envase original y cerrado, tiene un plazo límite de almacenamiento de seis meses, contados a partir de la fecha de elaboración.
La manipulación del producto debe ser cuidadosa, adoptando las precauciones de seguridad típicas asociadas al manejo de productos químicos y utilizando equipos de protección personal.
Antes de iniciar la aplicación del producto, se debe leer íntegramente la Hoja de Datos de Seguridad de dicho producto.

Presentación

WETClear 948 se comercializa en tambores y contenedores IBC, con contenidos netos de 200 kg y 1000 kg respectivamente.

Soluciones Correctas en Procesos Industriales

WET Chemical International Corp • www.wetcorporate.com • Argentina • Bolivia • Brasil • Chile • Perú • Venezuela

Figura G.2. Boletín técnico del floculante WET 948

Fuente: WET Chemical, 2011

WET Chemical
Water Ecological Technology

WETClear EV 1004
Floculante Catiónico

Descripción

WETClear EV 1004 es un producto granular, a base de una poliacrilamida catiónica, de muy alto peso molecular y alta densidad de carga.
El producto está formulado con grupos funcionales específicos que promueven una eficiente separación sólido-líquido en operaciones de clarificación de aguas.

Beneficios

- Produce flocs grandes y densos.
- Proporciona una alta tasa de sedimentación y una buena claridad en el sobrenadante.
- Es efectivo en el rango de pH 4.0-9.0.
- Produce lodos compactos.
- Servicio técnico especializado que proporcionan los ingenieros de WET Chemical.

Usos del Producto

WETClear EV 1004 se utiliza normalmente en equipos de clarificación de agua industrial y en plantas de tratamiento de efluentes.
También puede utilizarse como ayudante de filtración y en espesadores de lodos biológicos, procedentes de sistemas de aireación.
El producto no es apto para aplicaciones asociadas a agua potable.

Propiedades Generales

Aspecto	Sólido blanco granular.
Tamaño de partícula	98% < 1750µm
Densidad aparente, g/cm^3	0.7
pH solución al 0.5%	3.5

Datos de Aplicación

La dosis de **WETClear EV 1004** está generalmente dentro del rango 0.05 – 10 ppm en relación al caudal de agua a tratar.
Como la dosis depende de las características del agua fuente y las condiciones de operación, se determina mediante ensayos de laboratorio y pruebas de campo.
La solución madre se prepara al 0.2 – 0.5% y se agita durante 1 – 2 h hasta lograr una completa homogeneización.
Posteriormente, el producto se alimenta en forma continua, previamente diluido en línea hasta concentraciones del orden de 0.05 – 0.2%.
La solución se aplica en un punto donde haya un buen grado de mezcla con la corriente a tratar.
La solución madre es estable durante 2-5 días. Pasado dicho tiempo conviene preparar una carga nueva.
El ingeniero de WET Chemical está calificado para colaborar en la determinación de la dosis y en el diseño del sistema de aplicación.

Almacenamiento y Manejo

Almacenar el producto en un ambiente seco, preferentemente en una bodega cubierta.
El producto, en su envase original y cerrado, tiene un plazo límite de almacenamiento de dos años, contado a partir de la fecha de elaboración.
La manipulación del producto debe ser cuidadosa, adoptando las precauciones de seguridad típicas asociadas al manejo de productos químicos y utilizando equipos de protección personal.
Antes de iniciar la aplicación del producto, se debe leer íntegramente la Hoja de Datos de Seguridad de dicho producto.

Presentación

WETClear EV 1004 se comercializa en bolsas de papel con revestimiento interno de polietileno, conteniendo 25 kg neto.

Soluciones Correctas en Procesos Industriales

WET Chemical International Corp • www.wetcorporate.com • Argentina • Bolivia • Brasil • Chile • Perú • Venezuela

Figura G.3. Boletín técnico del floculante WET 1004

Fuente: WET Chemical, 2011