

PROPUESTA PARA LA REUTILIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES DEL
PROCESO DE RECUBRIMIENTOS ELECTROLÍTICOS DE LA EMPRESA
ZINTEPEC LTDA.

DANIELA ANDREA FRANCO RODRIGUEZ

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BOGOTÁ D.C.
2018

PROPUESTA PARA LA REUTILIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES DEL
PROCESO DE RECUBRIMIENTOS ELECTROLÍTICOS DE LA EMPRESA
ZINTEPEC LTDA.

DANIELA ANDREA FRANCO RODRIGUEZ

Proyecto integral de grado para optar al título de
INGENIERO QUÍMICO

Director
LINO ADOLFO BENAVIDES PARRA
Ingeniero Mecánico Industrial

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BOGOTÁ D. C.
2018

Nota de aceptación

Diego Nicolás Rodríguez Serrano

Diana Marcela Cuesta Parra

Sandra Liliana Mesa Espitia

Bogotá D. C., Febrero de 2018

DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

Dr. Jaime Posada Díaz

Vicerrector de Desarrollo y Recursos Humanos

Dr. Luis Jaime Posada García-Peña

Vicerrectora Académica y de Posgrados

Dr. Ana Josefa Herrera Vargas

Secretario General

Dr. Juan Carlos Posada García-Peña

Decano Facultad de Ingenierías

Dr. Julio Cesar Fuentes Arismendi

Director Programa de Ingeniería Química

Dr. Leonardo de Jesús Herrera Gutiérrez

Las directivas de la Universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente a los autores.

Dedico este trabajo de grado a Dios quién me dio la capacidad de terminar esta etapa profesional de mi vida, quién me da sabiduría y salud, quién ha sido mi compañero, mi guía, mi descanso y mi fortaleza en el desarrollo de este proyecto. También se lo dedico a mi mami Marieta, por su confianza en mí, por animarme constantemente, por su dedicación, su respaldo, su atención e impulso en cada etapa de mi carrera y del proyecto. Igualmente, a mi papi Danilo, por sus palabras de aliento, por su apoyo, su colaboración y su credibilidad en mí. Y a mis hermanos Ivonne y Santiago, por su alegría, compañía, por escucharme, apoyarme y por toda la paciencia que siempre me han tenido.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por permitirme culminar esta etapa de formación profesional, por toda su sabiduría, fortaleza, acompañamiento, paz, amor y gracia que me brindó durante este trabajo de grado.

A mis padres y hermanos, por depositar su confianza en mí, por su apoyo, por su respaldo y amor en las diferentes circunstancias que se presentaron.

Al Ingeniero Mecánico Industrial, Lino Adolfo Benavides por brindarme sus conocimientos y experiencia, por su tiempo, apoyo y entrega al desarrollo de este trabajo de grado.

A la planta operativa y administrativa de la empresa ZINTEPEC LTDA., por toda su colaboración, en especial al Gerente Aníbal Daza por abrirme las puertas de su empresa a disposición de este proyecto.

Al Ingeniero Químico Diego Nicolás Rodríguez por su orientación, asesoría, apoyo y acompañamiento constante en cada una de las etapas.

Al Ingeniero Químico Alexander López por su colaboración y disponibilidad para el desarrollo experimental.

A la Ingeniera Química Elizabeth Torres por su apoyo y colaboración.

A la Coordinación de Laboratorios y Talleres de la Universidad de América por proporcionarme los espacios y equipos necesarios para el desarrollo experimental.

Al Ingeniero Mecatrónico Juan Carlos Piñeros por su colaboración en este proyecto.

A Jaime Alonso Castiblanco por su ayuda en la realización de este proyecto.

A la Universidad de América y sus docentes, que hicieron posible mi formación como profesional.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	19
OBJETIVOS	20
1. GENERALIDADES	21
1.1 MUESTREO DE AGUA	21
1.1.1 Métodos de aforo de caudales	21
1.1.2 Tipos de muestra	21
1.1.2.1 Muestra instantánea	21
1.1.2.2 Muestra compuesta	21
1.1.2.3 Muestra integrada	21
1.1.3 Clases de muestreo	21
1.1.3.1 Muestreo manual	22
1.1.3.2 Manual automático	22
1.2 CLASIFICACIÓN DE TRATAMIENTOS DE AGUA RESIDUAL	22
1.2.1 Tratamiento primario	22
1.2.2 Tratamiento secundario	22
1.2.3 Tratamiento terciario	22
1.2.4 Tratamiento físico	22
1.2.5 Tratamiento químico	23
1.2.6 Tratamiento biológico	23
1.3 TRATAMIENTOS PARA AGUAS RESIDUALES DE LA INDUSTRIA GALVÁNICA	23
1.3.1 Óxido-reducción	23
1.3.1.1 Oxidación del cianuro	23
1.3.1.2 Reducción del cromo	23
1.3.2 Precipitación química	24
1.3.3 Intercambio iónico	25
1.3.4 Electrocoagulación	
1.3.5 Sedimentación	26
1.3.6 Filtración	26
1.3.7 Adsorción	26
1.3.8 Ósmosis inversa	27
1.4 MARCO LEGAL	27
2. DIAGNÓSTICO DEL AGUA RESIDUAL DEL PROCESO DE RECUBRIMIENTO ELECTROLÍTICO	30
2.1 DESCRIPCIÓN DE PROCESOS DE RECUBRIMIENTOS ELECTROLÍTICOS DE LA EMPRESA	30
2.1.1 Proceso de cincado ácido y alcalino	30

2.1.1.1	Desengrase	33
2.1.1.2	Enjuague	33
2.1.1.3	Decapado	33
2.1.1.4	Ajuste de pH	34
2.1.1.5	Electrólisis	34
2.1.1.6	Cromatizado	35
2.1.1.7	Secado	36
2.1.2	Proceso de cobre - níquel – cromo	36
2.1.2.1	Desengrase.	37
2.1.2.2	Electrólisis	37
2.1.3	Tratamiento de aguas residuales actual	39
2.2	BALANCE HÍDRICO	40
2.3	CARACTERIZACIÓN DEL AGUA RESIDUAL	45
2.4	CAUSA DEL INCUMPLIMIENTO	46
3.	SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA DE TRATAMIENTO PARA LA REUTILIZACIÓN DEL AGUA RESIDUAL	47
3.1	PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS	47
3.1.1	Alternativa A - Electrocoagulación.	47
3.1.2	Alternativa B – Osmosis Inversa	49
3.1.3	Alternativa C – Fisicoquímico	50
3.2	METODOLOGÍA DE SELECCIÓN	52
3.2.1	Criterios de selección.	52
3.2.2	Matriz de selección	53
3.2.3	Método Monte Carlo	55
3.2.3.1	Procedimiento con <i>Crystal Ball</i>	55
3.3	SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA	59
4.	DESARROLLO EXPERIMENTAL	60
4.1	PRIMER AJUSTE DE pH	60
4.2	OXIDACIÓN DEL CIANURO	62
4.3	SEGUNDO AJUSTE DE pH	62
4.4	REDUCCIÓN DE CROMO	63
4.5	TERCER AJUSTE DE pH	64
4.6	FLOCULACIÓN	66
4.7	FILTRACIÓN	68
4.8	INTERCAMBIO IÓNICO	68
4.9	RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN DEL AGUA TRATADA	69
5.	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	71
5.1	PROCESO PROPUESTO PARA EL TRATAMIENTO.	71
5.2	ESPECIFICACIONES PREVIAS	71
5.3	CANTIDAD DE MATERIA PRIMA Y TIEMPOS DE OPERACIÓN	73
5.4	DIMENSIONAMIENTO Y SELECCIÓN DE EQUIPOS	74
5.4.1	Trampa de grasas	74

5.4.2 Tanque de sedimentación	74
5.4.3 Agitador mecánico	77
5.4.3.1 Tipo de impulsor	78
5.4.3.2 Dimensiones del impulsor	79
5.4.3.3 Potencia de trabajo requerida	80
5.4.4 Filtro de arena	82
5.4.5 Proceso de intercambio iónico	83
5.4.6 Bomba para transporte de agua	85
5.4.7 Tanque de almacenamiento de agua tratada	86
5.4.8 Tubería de Conducción y válvulas de paso de proceso	87
5.5 ESQUEMA DE DISTRIBUCION DE PLANTA.	87
5.6 REUTILIZACIÓN DEL AGUA TRATADA	89
6. COSTOS DE LA PROPUESTA	90
6.1 COSTO DE INVERSIÓN (CAPEX)	90
6.2 COSTO DE OPERACIÓN (OPEX)	90
6.2.1 Costo de materias primas	90
6.2.2 Costo de servicios públicos	91
7. CONCLUSIONES	92
8. RECOMENDACIONES	94
BIBLIOGRAFÍA	95
ANEXOS	102

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Curva de solubilidad de hidróxidos metálicos vs pH de la solución	24
Figura 2. Sistema de electrocoagulación	26
Figura 3. Diagrama del proceso de cincado ácido	31
Figura 4. Diagrama del proceso de cincado alcalino	32
Figura 5. Tanque de desengrase	33
Figura 6. Tanque de decapado	34
Figura 7. Baños electrolíticos	35
Figura 8. Diagrama proceso cobre-níquel-cromo	36
Figura 9. Desengrase en caliente	37
Figura 10. Baño electrolítico de cobre	38
Figura 11. Baño electrolítico de níquel	38
Figura 12. Diagrama del tratamiento de aguas residuales actual	40
Figura 13. Diagrama Alternativa A - Electrocoagulación	47
Figura 14. Diagrama Alternativa B – Osmosis Inversa	49
Figura 15. Diagrama alternativa C – Fisicoquímico	51
Figura 16. Muestra de agua residual	61
Figura 17. Muestra de agua residual después del tercer ajuste de pH	65
Figura 18. Cambio de color por la reducción de cromo hexavalente	66
Figura 19. Muestra con floculante aniónico	66
Figura 20. Muestra con floculante catiónico	67
Figura 21. Muestras con polímero catiónico a diferentes dosis	67
Figura 22. Filtración con arena sílice	68
Figura 23. Intercambio iónico con resina catiónica	69
Figura 24. Diagrama de bloques de la propuesta	71
Figura 25. Esquema de equipos existentes	72
Figura 26. Sección cónica del tanque de sedimentación	76
Figura 27. Dimensiones del tanque sedimentador	77
Figura 28. Relación dimensional Tanque / Impulsor	79
Figura 32. Tanques plásticos comerciales	86
Figura 33. Esquema de distribución de planta	88

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Parámetros y límites máximos permisibles para usar aguas tratadas en la industria.	28
Tabla 2. Parámetros Físicoquímicos y límites máximos permitidos para vertimientos de aguas residuales	29
Tabla 3. Condiciones del cincado ácido y alcalino	35
Tabla 4. Condiciones del recubrimiento cobre-níquel-cromo	39
Tabla 5. Agua obtenida de EAAB	41
Tabla 6. Caudales de enjuagues del proceso cincado ácido	42
Tabla 7. Caudal de enjuague del proceso cincado alcalino	42
Tabla 8. Caudales de enjuagues del proceso cobre-níquel-cromo	42
Tabla 9. Caudal agua residual de enjuagues	42
Tabla 10. Caudal agua residual de procesos	43
Tabla 11. Agua residual en cada proceso de recubrimientos electrolíticos	45
Tabla 12. Resultados de la caracterización del agua residual comparados con la Resolución 1207 de 2014 y la Resolución 631 de 2015	45
Tabla 13. Ventajas y desventajas de la alternativa A - Electrocoagulación	48
Tabla 14. Ventajas y desventajas de la alternativa B – Osmosis Inversa	50
Tabla 15. Ventajas y desventajas de la alternativa C - Físicoquímico	52
Tabla 16. Criterios cuantitativos y cualitativos	53
Tabla 17. Calificación criterios cualitativos	53
Tabla 18. Calificación criterios cuantitativos	53
Tabla 19. Matriz de selección	54
Tabla 20. Plantilla usada en <i>Crystal Ball</i>	56
Tabla 21. Desviación estándar y coeficiente de varianza de las tres alternativas	58
Tabla 22. Datos experimentales del primer ajuste de pH con NaOH	61
Tabla 23. Datos experimentales del segundo ajuste de pH con HCl	63
Tabla 24. Prueba de floculantes	66
Tabla 25. Dosificación floculante	67
Tabla 26. Resultados del agua tratada comparados con la Resolución 1207 de 2014 y la Resolución 631 del 2015	69
Tabla 27. Cantidades necesarias de cada materia prima	73
Tabla 28. Datos de entrada conocidos	77
Tabla 29. Especificaciones técnicas de impulsores para agitación mecánica	78
Tabla 30. Especificaciones técnicas del agitador seleccionado	82
Tabla 31. Listado de equipos de la planta	87
Tabla 32. Tabla de costos totales de la inversión de la propuesta	90
Tabla 33. Cantidad de materias primas por mes	90
Tabla 34. Cantidad necesaria de arena sílice y resina	91
Tabla 35. Costos de las materias primas	91
Tabla 36. Costo del consumo de energía eléctrica	91

LISTA DE ECUACIONES

	pág.
Ecuación 1. Reducción del cromo hexavalente	24
Ecuación 2. Balance hídrico	40
Ecuación 3. Agua obtenida por el acueducto	40
Ecuación 4. Agua residual	40
Ecuación 5. Caudal de agua del acueducto	41
Ecuación 6. Caudal de agua residual doméstica	43
Ecuación 7. Peso de la alternativa	55
Ecuación 8. Peso de la alternativa	56
Ecuación 9. Reacción de oxidación del cianuro	62
Ecuación 10. Reacción de reducción del cromo hexavalente	64
Ecuación 11. Carga hidráulica superficial	74
Ecuación 12. Volumen del tanque	75
Ecuación 13. Volumen del cilindro	75
Ecuación 14. Ángulo de inclinación	76
Ecuación 15. Volumen del cono	76
Ecuación 16. Volumen del cilindro	76
Ecuación 17. Diámetro del agitador	80
Ecuación 18. Distancia del agitador al tanque	80
Ecuación 19. Longitud del eje	80
Ecuación 20. Número de Reynolds	80
Ecuación 21. Potencia	82
Ecuación 22. Número de filtros	83
Ecuación 23. Tasa de filtración	83
Ecuación 24. Tasa de flujo de servicio	84
Ecuación 25. Volumen de la resina	84
Ecuación 26. Volumen del lecho de la resina	84
Ecuación 27. Área de paso de la columna	85
Ecuación 28. Cantidad de hidróxido de sodio	107
Ecuación 29. Cantidad de hipoclorito de sodio	107
Ecuación 30. Dilución	107
Ecuación 31. Cantidad de bisulfito de sodio	108
Ecuación 32. Cantidad de floculante	108
Ecuación 33. Concentración del floculante	108
Ecuación 34. Cantidad de hidróxido de sodio para el tratamiento en la empresa	119
Ecuación 35. Densidad	120
Ecuación 36. Cantidad de bisulfito de sodio para el tratamiento en la empresa	122
Ecuación 37. Cantidad de hidróxido de sodio para el tratamiento en la empresa	123
Ecuación 38. Cantidad de floculante para el tratamiento en la empresa	123
Ecuación 39. Cantidad de polímero para el tratamiento en la empresa	123

LISTA DE GRÁFICAS

	pág.
Gráfica 1. Resultados de la alternativa A con <i>Crystal Ball</i>	57
Gráfica 2. Resultados de la alternativa B con <i>Crystal Ball</i>	57
Gráfica 3. Resultados de la alternativa C con <i>Crystal Ball</i>	57
Gráfica 4. Sensibilidad de los criterios de selección de la alternativa C	58
Gráfica 5. Primer ajuste de pH con NaOH	61
Gráfica 6. Segundo ajuste de pH con HCl	63
Gráfica 7. Curvas experimentales de potencia N_p	81
Gráfica 8. Especificaciones técnicas electrobomba modelo AL Red 135	86

LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. Caracterización del agua residual cruda	103
Anexo B. Recibo del acueducto	104
Anexo C. Acta de reunión	105
Anexo D. Preparación de soluciones y dosificación	107
Anexo E. Fichas técnicas	110
Anexo F. Caracterización agua residual tratada	118
Anexo G. Cantidades de productos químicos	119
Anexo H. Fichas técnicas equipos y cotizaciones	125

GLOSARIO

AMPOLLAMIENTO: son vejigas que se forman en la superficie del material por falta de adherencia del recubrimiento.¹

BIOMBOS: los biombos son tambores giratorios hexagonales, que trabajan en forma horizontal para tratar piezas pequeñas a granel, sus paredes son de materiales aislantes como el plástico.²

CR: *cold rolled*- laminado en frío, deformación para disminuir el espesor de una plancha metálica sin producir capas de óxido y haciendo el metal más resistente.³

CROMATIZADO: el cromatizado o pasivado, es el sello final de los materiales, en el que se cierran los poros y se retira la reactividad del acabado. El cromatizado se realiza con sales de cromo.⁴

CUBA: la cuba es el tanque donde se realiza la electrólisis, es donde está el electrólito. Estos tanques deben ser de un material aislante como el plástico para que no interfieran en el recubrimiento.

DECAPADO: el decapado es el proceso por el cual, se eliminan óxidos de la superficie de los materiales, para asegurar buena adherencia de la capa metálica a depositar y activar la superficie. Se realiza sumergiendo la pieza en ácidos inorgánicos, generalmente sulfúricos, nítricos o clorhídricos.⁵

ELECTRODEPOSICIÓN: técnica electrolítica para proteger las superficies metálicas, creando una capa o depósito fino con la finalidad de protegerla de la corrosión y también darle un acabado decorativo.⁶

¹ GONZÁLEZ FERNÁNDEZ, José A. Control De La Corrosión: Estudio y Medida Por Técnicas Electroquímicas. Consejo Superior de Investigaciones científicas, 1989. p. 409

² CENTRO DE ECONOMÍA VERDE. Agencia de Protección Ambiental. Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires. Investigación Sobre El Sector Productivo Galvanoplastias. [Electrónica (1)]: Buenos Aires.

³ GROOVER, Mikell P. Fundamentos De Manufactura Moderna: Materiales, Procesos y Sistemas. Pearson Educación, 1997. p. 449

⁴ ALZATE, Adriana. En: Guía De Producción Más Limpia Para El Sector De Recubrimientos Electrolíticos En Colombia. Centro Nacional De Producción Más Limpia (2010). Disponible en: <http://www.siame.gov.co/siame/documentos/Guias_Ambientales/Gu%C3%ADas%20Resoluci%C3%B3n%201023%20del%2028%20de%20julio%20de%202005/INDUSTRIAL%20Y%20MANUFACTURERO/Guias%20de%20buenas%20pr%C3%A1cticas%20ambientales%20para%20recubrimientos%20electrol%C3%ADticos.pdf> [citado el 14 de noviembre de 2016] p.10.

⁵ DAMA. ACERCAR. Manual Para Empresarios De La PYME. Galvanotecnia: Planes De Acción Para El Mejoramiento Ambiental. Edición Juan Darío Baquero ed. Bogotá D.C: Santafé de Bogotá, 1999. p. 81

⁶ REBOIRAS, MD. Química: La Ciencia Básica. Editorial Paraninfo, 2006. p. 907

FOSFATADO: el fosfatado es el proceso en el que se cambia una superficie metálica en otra que no tenga propiedades metálicas, por lo tanto, es un recubrimiento no metálico, que se caracteriza por mejorar la resistencia a la corrosión y absorción para aplicar pinturas.⁷

HR: *hot rolled*-laminado en caliente, deformación para disminuir el espesor de una plancha metálica por medio de rodillos a altas temperaturas, por lo que al contacto con el aire produce una capa de óxido llamada calamina.⁸

PAVONADO: el pavonado es una operación para proteger el objeto metálico, produciendo la oxidación superficial del mismo a través del calentamiento en una atmosfera oxidante. Esta operación produce un recubrimiento de magnetita, óxido ferroso-férrico de color negro, este recubrimiento es una capa impermeable adherida al metal base.⁹

RECUBRIMIENTO ELECTROLÍTICO: es el recubrimiento por vía electrolítica a un material con una delgada capa de metal por medio de electricidad. Para estos recubrimientos se usan metales como el zinc, cromo, plata, oro, níquel, cobre y estaño.¹⁰

TRASIEGO: cambio de una cosa de un lugar a otro, especialmente un líquido de un recipiente a otro.¹¹

⁷ EMPRESA PARA LA GESTIÓN DE RESIDUOS INDUSTRIALES. Aplicaciones Del Manual Media a Sectores Industriales: Sector Tratamiento De Superficies. Escuela de Organización Industrial, 1999.

⁸ GROOVER. Op. cit., p. 448.

⁹ MORRAL, Facundo Rolf; JIMENO, Emilio y MOLERA, P. Metalurgia General. Reverté, 1985.

¹⁰ ALZATE. Op. cit., p 7.

¹¹ ESPAÑOLA, Real Academia. Diccionario de la Lengua Española. [Electrónica (1)]. Madrid. 2017]. Disponible en: <http://dle.rae.es/srv/search?m=30&w=trasegar> [citado el 14 de Enero de 2017]

RESUMEN

El presente proyecto expone la propuesta de reutilización del agua residual de los procesos de recubrimientos electrolíticos de la empresa ZINTEPEC LTDA, para disminuir el consumo de agua en los enjuagues y cumplir Resolución 1207 del 2014 para los límites máximos permitidos para uso industrial en intercambio de calor en torres de enfriamiento y en calderas, así como la Resolución 631 del 2015 para los límites máximos permitidos en la fabricación de maquinaria y equipos (Recubrimiento Electrolíticos).

Para el desarrollo de este proyecto se realiza el diagnóstico del agua residual, el cual contiene la descripción de los procesos realizados en la empresa, el balance hídrico que determina el volumen a reutilizar y la caracterización del agua residual que muestra el incumplimiento de los parámetros establecidos por las normas. Se estableció de esta forma que el volumen de agua a reutilizar es de 1,73 m³, la cual incumple las resoluciones vigentes con los siguientes parámetros: 24,6 mg CN /L de cianuro total, 2,43 mg Cu /L de cobre, 32,46 mg Cr /L de cromo, 45,47 mg Fe /L de hierro, 20,60 mg Ni /L de níquel, 4,06 unidades de pH, 200,75 mg Zn /L de zinc, 1154 mg O₂ /L de DQO y 900 mg O₂ /L de DBO₅

Teniendo en cuenta el diagnóstico del agua residual se plantean tres alternativas de tratamiento que permiten la reutilización del recurso hídrico, las cuales se evalúan según las necesidades de la empresa, seleccionando una de ellas por medio de un método determinístico (matriz de selección) y un método probabilístico (método Monte Carlo – *Crystal Ball*). Se seleccionó la alternativa C que es un tratamiento físico-químico por presentar el mayor puntaje 3,87 en la matriz de selección, la menor desviación estándar 3,59 y el menor coeficiente de varianza 0,0514 en el método Monte Carlo con el software Crystal Ball. Al tener la alternativa seleccionada, por medio de un desarrollo experimental a nivel laboratorio se evalúa los parámetros frente a las normativas vigentes, evidenciándose que los parámetros de cromo con 99,34% de remoción y zinc con 93,23%, fueron los únicos que no se encontraron en los límites establecidos por las normas.

Luego, se definen las especificaciones técnicas en cuanto a equipos y materias primas. Seleccionando el agitador, la bomba, los tanques y filtros correspondientes.

Finalmente, se indica el costo de inversión (*CAPEX*) que es de \$11.893.300 pesos y el costo de operación (*OPEX*) de la propuesta que es de \$34.235.805 pesos al año, cumpliendo de esta forma los objetivos del proyecto.

Palabras Claves: reutilización de aguas residuales, recubrimientos electrolíticos, Crystal Ball, metales pesados, galvanoplastia, agua residual, oxido-reducción, floculación.

INTRODUCCIÓN

La empresa ZINTEPEC LTDA, ubicada en la Zona Industrial de Bogotá D.C., pertenece al sector de galvanoplastia, en donde se realizan recubrimientos electrolíticos a diferentes objetos. Los recubrimientos electrolíticos son importantes para prevenir la corrosión y dar un acabado decorativo al material, además de darle dureza, uniformidad y estabilidad. Este proceso requiere de una etapa de limpieza del material por medio del desengrase y el decapado, luego la etapa de recubrimiento en donde se hace la neutralización y la electrolisis, para terminar con la etapa del sellado por medio de un cromatizado y secado. Entre cada proceso existen enjuagues intermedios para evitar contaminantes de una etapa a otra. Este tipo de procesos genera un alto consumo del recurso hídrico a causa de los enjuagues intermedios, a los baños electrolíticos, al desengrase y al decapado. Y produce igualmente residuos líquidos que antes de ser vertidos son previamente tratados con procesos de ajustes de pH, óxido-reducción y precipitación.

El alto consumo del recurso hídrico, es proporcional a los residuos líquidos que se producen y vierten al sistema de alcantarillado. Por lo tanto, con en este proyecto se busca la reutilización del agua residual de los procesos productivos de la empresa, para que se disminuya el consumo del recurso y a la vez su costo, cumpliendo con los límites estipulados en la legislación colombiana, Resolución 1207 de 2014 y Resolución 631 del 2015. Convirtiéndose en un ejemplo para este sector de la industria al promover una producción más limpia y sostenible ambientalmente, dando un buen manejo del recurso hídrico y de los residuos líquidos.

Esta reutilización de agua residual se lleva a cabo, en primer lugar, identificando la cantidad de agua posible a reutilizar y diagnosticándola para reconocer la cantidad de contaminantes presentes, para luego, poder establecer diferentes alternativas de tratamiento que permitan cumplir la normativa vigente de reutilización (Resolución 1207 de 2014), y seleccionar una de ellas de acuerdo a las condiciones de la empresa según criterios previamente establecidos. Posteriormente, por medio de un desarrollo experimental se definirían los equipos y cantidades requeridos por la propuesta seleccionada, y finalmente se analizaría el costo que la propuesta implica.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Desarrollar una propuesta para la reutilización de las aguas residuales del proceso de recubrimientos electrolíticos de la empresa ZINTEPEC LTDA.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diagnosticar el agua residual del proceso de recubrimientos electrolíticos de la empresa.
- Seleccionar la alternativa de tratamiento que permita la reutilización del agua residual.
- Establecer las especificaciones técnicas de la alternativa de tratamiento seleccionada por medio de un desarrollo experimental.
- Determinar los costos de la propuesta en la empresa.

1. GENERALIDADES

1.1 MUESTREO DE AGUA

Para realizar los análisis correspondientes a las aguas residuales, el IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia) establece el protocolo para la toma de muestras de aguas residuales, determina los materiales necesarios para la muestra como son el personal indicado, los equipos requeridos y el tipo de muestreo que se debe realizar según el caudal de la fuente.¹²

1.1.1 Métodos de aforo de caudales. Entre los métodos de aforo para establecer el caudal se encuentran el método volumétrico mediante balde o caneca que se utiliza para un canal abierto o tubería con caída de agua; el método del vertedero que se lleva a cabo en industrias o PTA según las condiciones físicas de la efluente; el método de canales abiertos utilizado en ríos, quebradas, canales; el método molinete; el métodos con flotadores¹³; el métodos con colorantes, con fluorescentes, con trazadores químicos o radiactivos.¹⁴

1.1.2 Tipos de muestra. A continuación, se encuentran los tipos de muestra.

1.1.2.1 Muestra instantánea. En este tipo de muestreo se analizan las características de la muestra luego de recogerla, este método se puede realizar cuando el agua presenta propiedades constantes, cuando las descargas son intermitentes y cuando se tiene que caracterizar parámetros especiales.¹⁵

1.1.2.2 Muestra compuesta. Es una mezcla de varias muestras de cantidad reducida que se recolectan a un tiempo o con un caudal similar, este tipo de muestra se toma cuando el efluente no entrega características constantes.¹⁶

1.1.2.3 Muestra integrada. Esta muestra la componen diferentes muestras recogidas en diferentes sitios del efluente al mismo tiempo.¹⁷

1.1.3 Clases de muestreo. A continuación, se presentan las clases de muestreo.

¹² COLOMBIA. INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES. Instructivo Para La Toma De Muestras De Aguas Residuales. Toma de muestras de aguas residuales. 2007.

¹³ *Ibíd.*, p. 7.

¹⁴ UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA. Métodos de aforo de aguas superficiales. [Electrónico]. <http://datateca.unad.edu.co/>. Disponible en: http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358002/Abastecimiento_Contenido_en_linea/leccin_23_mto_dos_de_aforo_de_aguas_superficiales.html [citado el 22 de octubre de 2016]

¹⁵ RAMÍREZ, Sierra y Ramírez, Carlos Alberto Carlos Alberto Sierra. Calidad Del Agua: Evaluación y Diagnóstico. 2011. p. 219.

¹⁶ *Ibíd.*, p.220.

¹⁷ *Ibíd.*, p. 221.

1.1.3.1 Muestreo manual. Se realiza cuando se identifica un fácil acceso a la fuente de vertimientos, en este tipo de muestreo el personal encargado de hacerlo logra identificar características físicas del agua residual para aportar al análisis como olor y color.¹⁸

1.1.3.2 Manual automático. Se realiza cuando el acceso a los vertimientos es difícil y también cuando se tiene un equipo de muestreo automático, lo que reduce la mano de obra humana, pero se requiere de controles continuos para evitar fallas en el mismo.¹⁹

1.2 CLASIFICACIÓN DE TRATAMIENTOS DE AGUA RESIDUAL

Los tipos de tratamiento para aguas residuales se pueden clasificar, según los contaminantes que tengan (primario, secundario y terciario) y según la técnica a realizar (físico, químico y biológico).

1.2.1 Tratamiento primario. Consiste en eliminar del agua sustancias como grasas, sólidos suspendidos, arenas y espumas, utilizando métodos sencillos como la flotación, sedimentación, neutralización, tamización, entre otros.²⁰

1.2.2 Tratamiento secundario. Este tratamiento busca disminuir las concentraciones de otras sustancias que contienen las aguas como son la materia orgánica, logrando disminuir el DBO (demanda bioquímica de oxígeno) por medio de microorganismos.²¹ En los que se encuentran lodos activados, filtro de goteo, lagunaje con aireación, filtros biológicos, entre otros.²²

1.2.3 Tratamiento terciario. En este tratamiento también llamado avanzado, se eliminan los contaminantes que no se retiraron por completo con el tratamiento secundario, se utiliza para retirar compuestos orgánicos e inorgánicos disueltos y sólidos suspendidos.²³ Se realizan métodos complejos como destilación, osmosis inversa, precipitación química, filtración, adsorción, intercambio iónico, entre otros.²⁴

1.2.4 Tratamiento físico. No se produce un nuevo producto, solo se retienen los contaminantes, al hacer procesos como filtración, adsorción, sedimentación, clarificación o aireación, entre otros.²⁵

¹⁸ UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA. Op. cit. p 3.

¹⁹Ibid., p. 1

²⁰MANAHAN, STANLEY E. En: Introducción a La Química Ambiental. Reverté, 2006. p.209.

²¹FRAUME, Néstor Julio; TORRES, Alberto Palomino y RAMÍREZ-AZA, Marcela. Manual Abecedario Ecológico: La Más Completa Guía De Términos Ambientales. Editorial San Pablo, 2006.

²²RAMALHO, Rubens Sette; BELTRÁN, Domingo Jiménez y DE LORA, Federico. Tratamiento De Aguas Residuales. Reverté, 1990. p. 9.

²³MANAHAN. Op. cit., p.214

²⁴RAMALHO. Op. cit., p. 9.

²⁵ARELLANO DÍAZ, Javier. Introducción a La Ingeniería Ambiental. Alfaomega, 2002. p. 32

1.2.5 Tratamiento químico. Causa sustancias nuevas y diferentes. Se efectúa por medio de coagulación, oxido-reducción, desinfección, entre otros.²⁶

1.2.6 Tratamiento biológico. Se realiza por medio de organismos vivos para obtener un cambio químico, existen la digestión aerobia y anaerobia, entre otros.²⁷

1.3 TRATAMIENTOS PARA AGUAS RESIDUALES DE LA INDUSTRIA GALVÁNICA

1.3.1 Óxido-reducción. En este tipo de tratamiento se desarrolla mediante reacciones de oxidación-reducción que permiten llevar sustancias como el cromo, cianuro, plomo, cobre a un estado de baja toxicidad, que permita una sencilla manipulación. Los agentes reductores pueden ser dióxido de azufre, sales de sulfitos y sales de hierro, entre otros. Se puede combinar con métodos como la precipitación química.²⁸

1.3.1.1 Oxidación del cianuro. El “cianuro” es la denominación que se asigna a los compuestos inorgánicos que contienen un átomo de carbono enlazado a un átomo de nitrógeno. Puede estar presente como cianuro libre, compuestos complejos de cianuro, compuestos simples de cianuro, cianuro total y derivados de cianuro (tiocianato, cianato, amoniaco, ion nitrato y nitrito).²⁹

El cianuro es tóxico para los seres vivos por lo tanto es necesario degradarlo antes de que llegue a fuentes hídricas, aire o suelo. Para su degradación uno de los métodos químicos es la oxidación, que se puede realizar con peróxido de hidrogeno, cloración alcalina, sulfato ferroso, ozono y Ácido de Caro.³⁰

1.3.1.2 Reducción del cromo. Para eliminar el cromo del agua es necesario reducirlo. En la siguiente reacción (ecuación 1), se observa la reacción que se lleva a cabo en la reducción utilizando bisulfito de sodio en un pH de 1.5 a 4. El cromo VI es altamente tóxico y soluble en agua al convertirlo en cromo III su toxicidad baja hasta 1000 veces³¹ siendo insoluble en pH alcalinos y de esta forma es fácil de remover por precipitación u otros métodos. En la ecuación 1 se presenta la reacción

²⁶ARELLANO. Op. cit., p. 33

²⁷ARELLANO. Op. cit., p. 33

²⁸DÁVILA SULBARÁN, Diana Carolina y RINCÓN VELÁSQUEZ, Nicolás. Diseño De Un Sistema a Nivel Piloto Para La Remoción Del Hierro y El Manganeseo Por Debajo De La Concentración Letal Media (CL 50-48) Para Daphnia Magna. Universidad de la Salle, 2011.

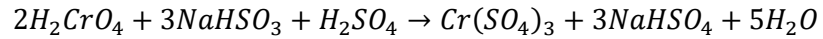
²⁹RUALES GARZÓN, Jonathan. Determinación De Tratamiento Para Destrucción De Cianuro En Efluentes Líquidos Provenientes De La Piscina De Relaves Sólidos De La Planta Svetlana. Universidad Internacional SEK, 2012. p. 6

³⁰GÓMEZ LEIVA, Patricia. Degradación De Cianuros Mediante Oxidación Química En Efluentes Industriales. Universidad de Oviedo, 2012. p. 17.

³¹MÉNDEZ, Ramón, et al. Producción Limpia En La Industria De Curtiembre. Santiago de Compostela: Universidad de Santiago de Compostela, 2007. p. 197

de reducción³².

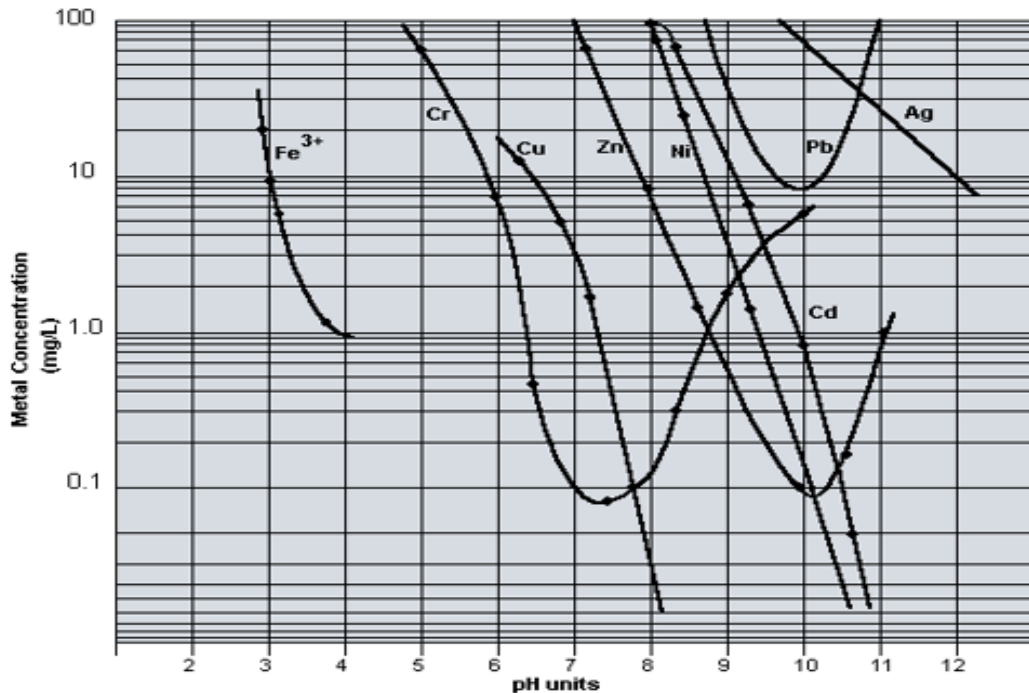
Ecuación 1. Reducción del cromo hexavalente



1.3.2 Precipitación química. Es el método por el cual se logra separar metales pesados del agua residual, usando agentes químicos que modifican el estado físico de los metales disueltos o en suspensión, para que después sean removidos por medio de sedimentación.³³ Los metales disueltos quedan precipitados en hidróxidos y sales básicas.³⁴ Los agentes químicos pueden ser sulfato de aluminio, sulfato ferroso, sales férricas, carbonato de sodio y sales de carbonatos básicos³⁵

En la figura 1, se observan las curvas de solubilidad de los hidróxidos metálicos pesados versus el pH de la solución, que permite determinar un rango adecuado para precipitar la mayor cantidad de hidróxidos metálicos.

Figura 1. Curva de solubilidad de hidróxidos metálicos vs pH de la solución



<http://heienv.com/hydroxide-precipitation-of-metals/>

³² CHEREMISINOFF, Nicholas P. Handbook of Water and Wastewater Treatment Technologies. Butterworth-Heinemann, 2001. p.442

³³ SANS, Ramón y DE PABLO RIBAS, Joan. Ingeniería Ambiental: Contaminación y Tratamientos. Marcombo, 1989. p. 101.

³⁴ MANAHAN. Op. cit., p 621.

³⁵ SANS. Op. cit., p. 101.

1.3.3 Intercambio iónico. Es un tratamiento adecuado para aguas residuales con metales disueltos³⁶, consiste en una resina que retiene ciertos iones del agua residual, a la vez que cede en una misma cantidad otros iones del mismo signo, de esta forma se sustituyen las sustancias tóxicas disminuyendo la contaminación del agua tratada. Las resinas son compuestas por polietileno y poliamidas.³⁷

Existe el intercambio catiónico y aniónico, el intercambio catiónico es el desplazamiento de un ion positivo por otro ion positivo o catión. Estos cationes generalmente son calcio, magnesio, sodio, hierro, manganeso, metales y amonio. El intercambio aniónico es el desplazamiento de un ion negativo por otro ion negativo o anión, estos son cloruro, sulfato, nitrato, carbonato, hidróxido y fluoruro³⁸.

También se pueden clasificar los intercambiadores en intercambiadores iónicos sintéticos, intercambiadores iónicos inorgánicos (zeolitas, arcillas, sales ácidas, sales de heteropoliácidos, etc.), intercambiadores iónicos orgánicos (celulosa, dextrano, agarosa, carbón, etc.), intercambiadores iónicos líquidos, entre otros. Los intercambiadores iónicos sintéticos son los más usados por su resistencia mecánica y química, por su capacidad, por su velocidad de intercambio y por presentar la oportunidad de caracterizarse según las necesidades de la solución a tratar³⁹.

Entre los factores que influyen en el intercambio iónico son el pH en relación a la solubilidad de las partículas, la temperatura porque afecta la viscosidad de la solución, el tiempo de contacto que generalmente es mínimo para asegurar remoción completa y el tamaño de las partículas la resina⁴⁰.

1.3.4 Electrocoagulación. Tratamiento para aguas residuales en el que se utiliza corriente eléctrica para que las sustancias suspendidas en el agua se compacten en partículas sólidas. Se utiliza un reactor electroquímico, que funciona como una celda electrolítica, utilizando el fluido de interés como electrolito y metales como el aluminio, titanio o fibras de carbón y grafito son usados como electrodos.⁴¹ En la figura 2 se encuentra el sistema de electrocoagulación y sus partes.

³⁶MARTÍNEZ, Salvador. Reciclaje y tratamiento de residuos. En: Acta Geológica Hispánica. vol. 30, no. 1, p. 63-72

³⁷VERITAS, Bureau. Manual para la formación en medio ambiente. En: Valladolid. Editorial Lex Nova SA.

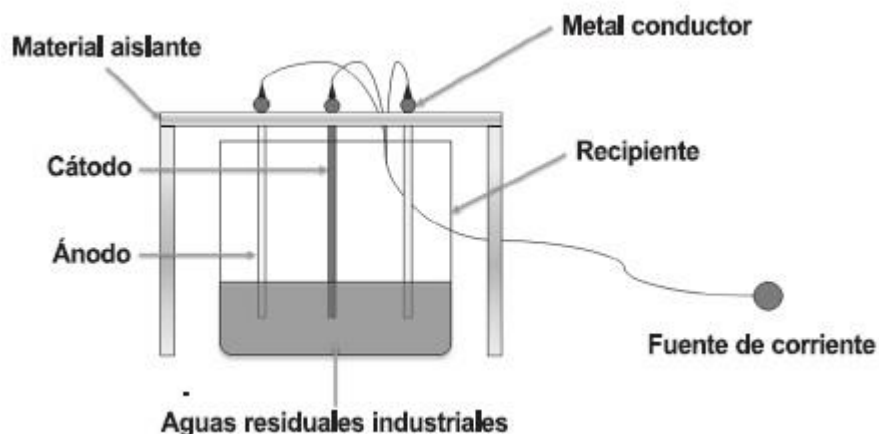
³⁸ROJAS, Jairo A. Romero. Purificación Del Agua. Escuela Colombiana de Ingeniería, 2006. p. 335

³⁹NOGUEROL ARIAS, Joan; VALIENTE MALMAGRO, Manuel y MURAVIEV, Dimitri. Tecnologías Limpias Para La Reducción De Contaminantes y La Recuperación De Solutos De Fuentes Hidrominerales Mediante Resinas De Intercambio Iónico. Universidad Autónoma de Barcelona, 2008. p.18

⁴⁰ROMERO ROJAS. Purificación del agua. Op. cit., p. 336.

⁴¹RUIZ, Álvaro Arango. La electrocoagulación: una alternativa para el tratamiento de aguas residuales. En: Revista Lasallista De Investigación. vol. 2, no. 1,

Figura 2. Sistema de electrocoagulación



<https://revistas.unimilitar.edu.co/index.php/rcin/article/view/282/1923>

1.3.5 Sedimentación. Es el proceso que permite obtener un líquido clarificado y lodos o sólidos sedimentados por medio de la diferencia de densidades entre las partículas y el líquido que las contiene.⁴² En la sedimentación se utilizan diferentes procesos y equipos dependiendo el agua residual a tratar, para el agua residual que contiene metales pesados se puede llevar a cabo por la adición de un químico que permitan la aglomeración de estas partículas en los que se encuentran coagulantes como sulfato de aluminio, cloruro férrico, sulfato ferroso, cal, aluminato de sodio, soda cáustica.⁴³ La dosificación de estos compuestos se determina por desarrollos experimentales como el ensayo de jarras.

1.3.6 Filtración. Es el método para lograr agua de calidad superior, eliminando sólidos suspendidos, turbiedad, material no sedimentable, metales pesados.⁴⁴ Utilizando filtros de material granular o sintético que retienen los sólidos indeseados, se debe tener un control en la acumulación de sólidos o coloidales en el filtro para evitar la deficiencia en el proceso, en la profundidad necesaria y en el tamaño de partícula adecuado ya que este estipula la retención de sólidos en el filtro y modifica la capacidad del tratamiento.⁴⁵

1.3.7 Adsorción. Es el proceso por el cual se adhieren y acumulan, sobre una superficie o interface, sustancias, moléculas o iones, presentándose una separación en iguales o diferentes fases de las sustancias involucradas (líquido-líquido, gas-líquido, líquido-sólido, etc.), en donde la superficie se denomina adsorbente y la

⁴²SÁNCHEZ HERNÁNDEZ, Enrique. Tratamiento De Residuales: Fundamentos y Aplicaciones Para Latinoamérica. Heredia: Editorial Universidad Nacional, 2015. p. 41497899776542879

⁴³DAMA. Op. cit., p 82

⁴⁴ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. Tratamiento De Aguas Residuales: Teoría y Principios De Diseño. Santa Fe de Bogotá: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería, 1999. p. 1232

⁴⁵DAMA. Op. cit., p 82

sustancia adsorbida se denomina adsorbato.⁴⁶

1.3.8 Ósmosis inversa. Se utiliza para remover iones disueltos del agua residual, en el que se usa una membrana semipermeable por la que se pasa el agua residual a presiones mayores que la osmótica causada por sales disueltas que contenga el agua. Esta alternativa de tratamiento presenta altos costos y especificaciones en cuanto a que el agua a tratar no debe contener sólidos disueltos ni contenidos altos en hierro y manganeso o tener pH entre 4 a 7,5.⁴⁷

1.4 MARCO LEGAL

Para el desarrollo del presente trabajo de grado se realiza la recolección de normas que llevan a conocer la regulación del reúso de los recursos naturales para este caso especial el recurso agua, hasta llegar a la aplicación normativa para reutilización de aguas residuales.

Constitución Política de Colombia de 1991. El artículo 79, establece que “todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano. La ley garantizará la participación de la comunidad en las decisiones que puedan afectarlo. Es deber del Estado proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica y fomentar la educación para el logro de estos fines”.⁴⁸

Decreto - Ley 2811 de 1974. Código de Recursos Naturales. Expedido por la Presidencia de la República de Colombia. El artículo 51, establece “que el derecho de usar los recursos naturales renovables puede ser adquirido por Ministerio de la ley, permiso, concesión y asociación”.⁴⁹

Decreto 3930 de 2010. Expedida por el Presidencia de la República de Colombia. Esta norma contiene la definición del Reúso del agua, “Utilización de los efluentes líquidos previo cumplimiento del criterio de calidad”.⁵⁰

Resolución 1207 de 2014. Expedida por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Esta resolución establece las condiciones para el reúso de aguas residuales tratadas. Artículo 7, define los criterios de calidad que el agua tratada debe cumplir para uso industrial, tomando los límites máximos permitidos de la tabla de intercambiadores de calor en torres de enfriamiento y calderas⁵¹. (tabla 1)

⁴⁶WEBER, Walter J. Control De La Calidad Del Agua: Procesos Físicoquímicos. Reverté, 1979.

⁴⁷SANS. Op. cit., p. 115.

⁴⁸ CONSTITUCIÓN POLÍTICA DE COLOMBIA DE 1991.

⁴⁹ PRESIDENCIA DE LA REPÚBLICA DE COLOMBIA. Decreto - Ley 2811 De 1974. Código De Recursos Naturales. 1974.

⁵⁰ PRESIDENCIA DE LA REPÚBLICA DE COLOMBIA. Decreto 3930 De 2010. 2010. p.6

⁵¹ MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Colombia. Resolución 1207 De 2014. 2014. p4-7

Tabla 1. Parámetros y límites máximos permisibles para usar aguas tratadas en la industria

VARIABLE	UNIDAD DE MEDIDA	VALOR LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE INTERCAMBIADORES DE CALOR EN TORRES DE ENFRIAMIENTO Y CALDERAS
FISICOQUÍMICOS		
pH	Unidades de pH	6 a 9
Iones		
Cianuro Libre	mg CN/L	0,05
Cloruros	mg Cl/L	300
Fluoruros	mg F/L	1
Sulfatos	mg SO ₄ ²⁻ /L	500
Metales		
Aluminio	mg Al/L	5
Berilio	mg Be/L	0,1
Cadmio	mg Cd/L	0,01
Cinc	mg Zn/L	3
Cobalto	mg Co/L	0,05
Cobre	mg Cu/L	1
Cromo	mg Cr/L	0,1
Plomo	mg Pb/L	5
Hierro	mg Fe/L	5
Litio	mg Li/L	2,5
Manganeso	mg Mn/L	0,2
Mercurio	mg Hg/L	0,001
Molibdeno	mg Mo/L	0,07
Níquel	mg Ni/L	0,2
Vanadio	mg V/L	0,1

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. En línea.
<http://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/normativa/Res_1207_2014.pdf> Consultado en mayo 14 del 2017.

Resolución 631 de 2015 expedida por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Establece los valores límites máximos permisibles de los parámetros que debe tener el agua de vertimiento ya sea a cuerpos de aguas superficiales o a los sistemas de alcantarillado público. La empresa ZINTEPEC LTDA se encuentra ubicada en el sector de Actividades de Fabricación y manufactura en la actividad de Fabricación de maquinaria y equipos (Recubrimiento Electrolíticos). El artículo 13, presenta los parámetros fisicoquímicos a controlar en los vertimientos puntuales de aguas residuales no domésticas y sus valores máximos permisibles⁵².

⁵² MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Colombia. Resolución 631 De 2015. 2015. p. 21-22.

Tabla 2. Parámetros Físicoquímicos y límites máximos permitidos para vertimientos de aguas residuales

PARÁMETRO	UNIDADES	FABRICACIÓN DE MAQUINARIA Y EQUIPOS (RECUBRIMIENTO ELECTROLITICOS)
Generales		
Ph	Unidades de pH	6 a 9
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L O ₂	200
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L O ₂	100
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/L	30
Sólidos Sedimentables (SSED)	mg/L	1
Grasas y Aceites	mg/L	10
Fenoles	mg/L	0,3
Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM)	mg/L	Análisis y Reporte
Compuestos de Fósforo		
Fosforo Total (P)	mg/L	Análisis y Reporte
Compuestos de Nitrógeno		
Nitrógeno Total (N)	mg/L	Análisis y Reporte
Iones		
Cianuro Total (CN ⁻)	mg/L	0,5
Metales y Metaloides		
Cadmio (Cd)	mg/L	0,05
Cinc (Zn)	mg/L	3
Cobre (Cu)	mg/L	1
Cromo (Cr)	mg/L	0,5
Estaño (Sn)	mg/L	2
Mercurio (Hg)	mg/L	0,01
Níquel (Ni)	mg/L	0,2
Plomo (Pb)	mg/L	0,2
Otros Parámetros para Análisis y Reporte		
Acidez Total	mg/L CaCO ₃	Análisis y Reporte
Alcalinidad Total	mg/L CaCO ₃	Análisis y Reporte
Dureza Cálctica	mg/L CaCO ₃	Análisis y Reporte
Dureza Total	mg/L CaCO ₃	Análisis y Reporte
Color Real	m ⁻¹	Análisis y Reporte

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. En línea.
 <http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/resoluciones/d1-res_631_marz_2015.pdf> Consultado en mayo 14 del 2017.

2. DIAGNÓSTICO DEL AGUA RESIDUAL DEL PROCESO DE RECUBRIMIENTO ELECTROLÍTICO

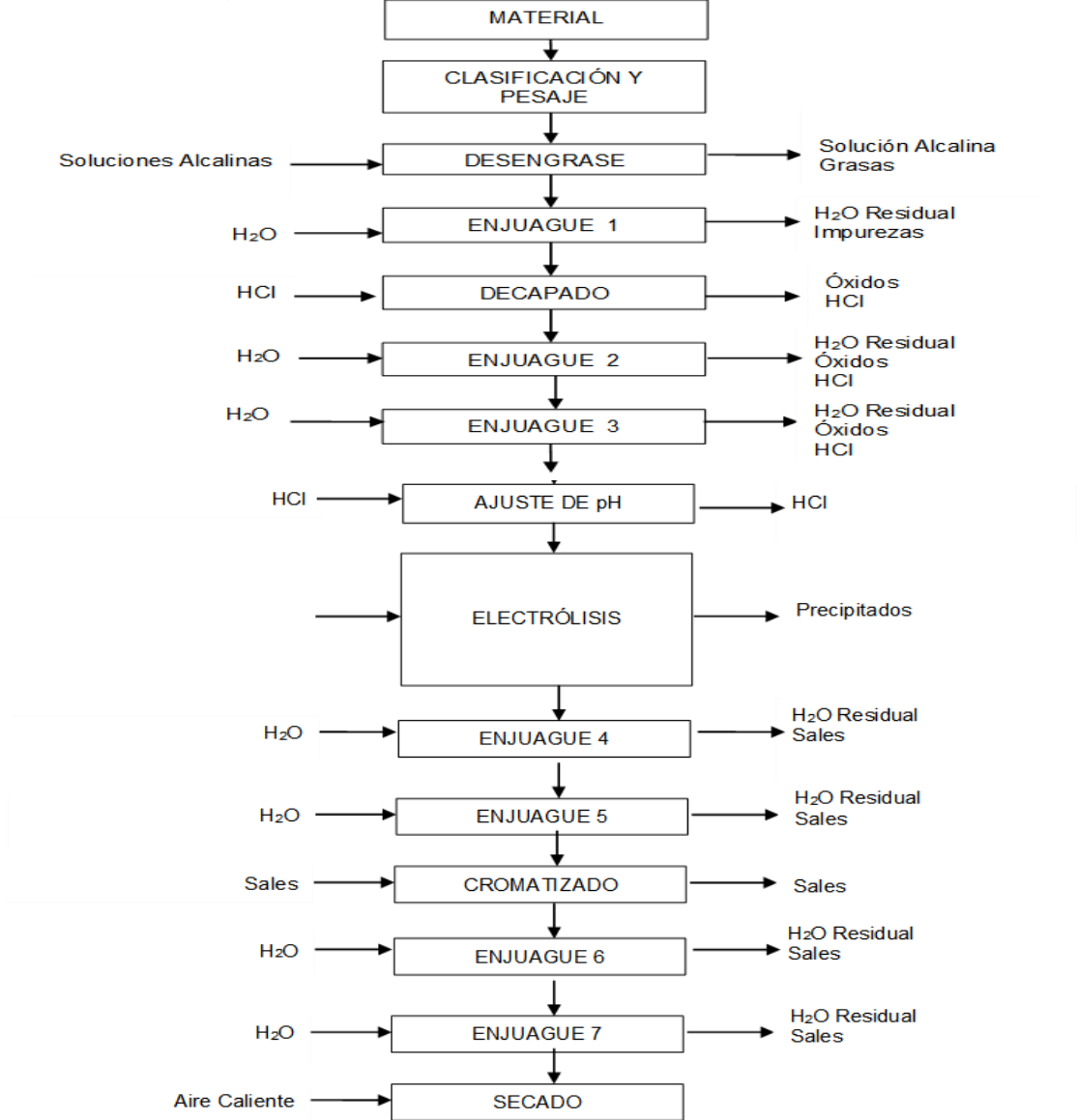
En este capítulo se describe el proceso de recubrimientos electrolíticos que desarrolla la empresa, el balance hídrico, la caracterización del agua residual identificando que parámetros cumplen las normas vigentes y la causa que desvía los límites establecidos de los parámetros que las incumplen.

2.1 DESCRIPCIÓN DE PROCESOS DE RECUBRIMIENTOS ELECTROLÍTICOS DE LA EMPRESA

La empresa ZINTEPEC LTDA pertenece al sector de galvanoplastia, en la que se realizan recubrimientos electrolíticos para prevenir la corrosión y obtener un acabado decorativo de herramientas agrícolas, autopartes, griferías, muebles, maquinaria, artefactos a gas, tales como: soportes de la batería, abrazadera, tornillos, varillas, platinas, exostos, arandelas, rines, espárragos, tubos de escape, piñones, prensa de monta llantas, peñilla (machete), tubos para sillas y mesas, bases para lámparas decorativas, troquel, acoples, racores, manijas, entre otros, provenientes de empresas y personas particulares. Los procesos de electrodeposición que se realizan son cincado ácido, cincado alcalino, cobre-níquel-cromo, fosfatado y pavonado. Los dos últimos procesos se desarrollan a petición exclusiva del cliente.

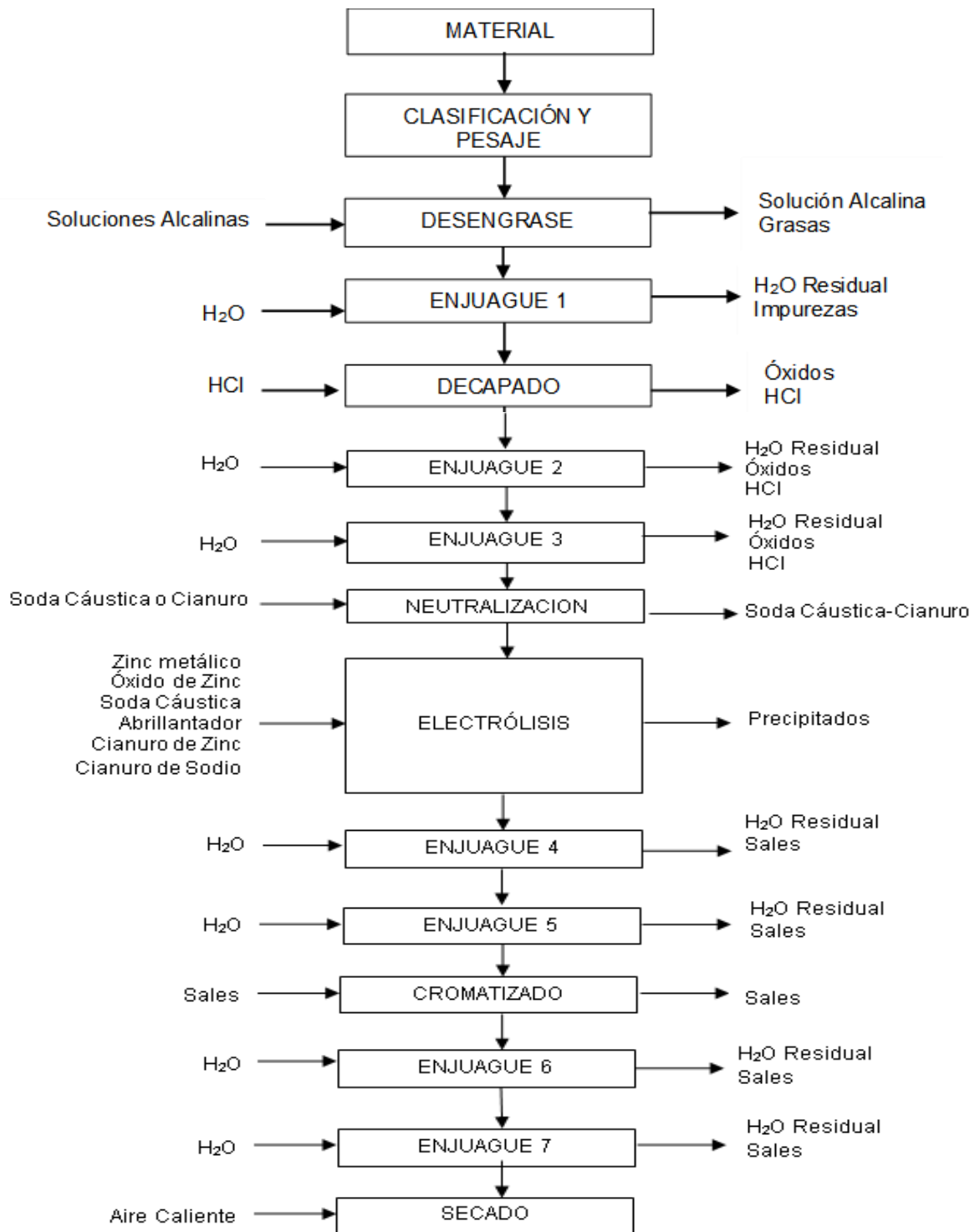
2.1.1 Proceso de cincado ácido y alcalino. El recubrimiento electrolítico en el cincado ácido (figura 3) y alcalino (figura 4) inicia con la recepción de los materiales donde son pesados y clasificados. Luego, se continúa con el desengrase del material, el decapado, la neutralización, la electrólisis, el cromado y el secado, entre cada etapa del proceso se realizan enjuagues correspondientes. Después del decapado se realizan dos enjuagues, porque en el primer enjuague se concentra el ácido y el segundo es necesario para evitar arrastres de materia.

Figura 3. Diagrama del proceso de cincado ácido



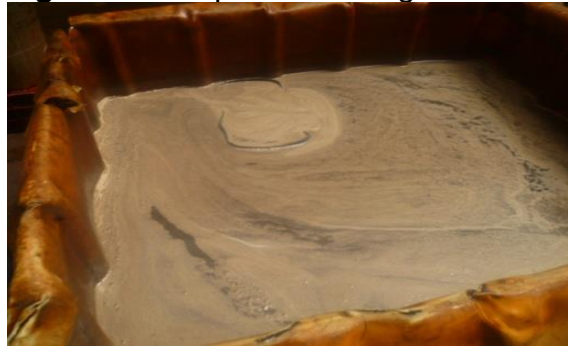
En la figura 4 se presentan los procesos que tiene el cincado alcalino con los reactivos y salidas correspondientes a cada fase, empezando con la recepción del material, luego la etapa de limpieza (desengrase y decapado), después la etapa de recubrimiento (neutralización y electrólisis) y finalizando con la etapa de sellado (cromatizado y secado).

Figura 4. Diagrama del proceso de cincado alcalino



2.1.1.1 Desengrase. Es una etapa determinante en el recubrimiento electrolítico, ya que se limpia el material con el fin de eliminar grasas, aceites y suciedades que estén adheridas a este y de esta forma se asegura una adecuada y completa electrodeposición,⁵³ evitando un ampollamiento (*) del objeto al final del proceso. Este desengrase se logra por inmersión caliente de las piezas en un tanque (figura 5) con soluciones alcalinas, a temperaturas que van alrededor de los 70°C y 80°C. El tiempo de duración depende de la fabricación, de la forma de la pieza y del lubricante con el que se hizo, pueden durar alrededor de los 5 minutos: piezas planas, varillas, tubos, peinillas, soportes de la batería, arandelas, entre otras, y cerca de los 20 minutos piezas con curvas, cavidades profundas y roscas como racores, acoples, piñones, espárragos, abrazaderas, tornillos, tuercas, prensas de monta llantas, troquel, entre otros. Posteriormente el material ya desengrasado se pasa a un enjuague.

Figura 5. Tanque de desengrase



2.1.1.2 Enjuague. Todo el material se enjuaga al pasarlo por un tanque con agua potable evitando de esta forma el arrastre de sustancias contaminantes a la siguiente etapa.

2.1.1.3 Decapado. Es una etapa relevante para que el metal quede adherido sobre la superficie. En esta etapa se eliminan los óxidos de la superficie del material adquiridos por contacto con la atmósfera, utilizando un tanque con una solución de ácido clorhídrico al 36%, en donde la pieza se sumerge (figura 6) durante un tiempo de 3 a 15 minutos dependiendo del material de la pieza, si es HR (*) tiene bastante calamina (capa de óxido) y necesitará cerca de 15 minutos, pero si es CR (**) solo 3 minutos. A medida que aumentan los contaminantes en este proceso, se debe

(*) vejigas formadas entre la superficie y el recubrimiento por falta de adherencia.

⁵³COLOMBIA, EQUIPO PROFESIONAL DE PROPEL FUNDES Y MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. Guía De Buenas Prácticas Para El Sector Galvanotecnia. 2001. Disponible en: <http://www.siame.gov.co/siame/documentos/Guias_Ambientales/Gu%C3%ADas%20Resoluci%C3%B3n%201023%20del%2028%20de%20julio%20de%202005/INDUSTRIAL%20Y%20MANUFACTURERO/Gu%C3%ADa%20Buenas%20Pr%C3%A1cticas%20Galvanotecnia.pdf> [citado en febrero 22 de 2017]

añadir ácido para mantener la concentración de la solución constante.⁵⁴ Después el material se pasa por dos enjuagues.

Figura 6. Tanque de decapado



2.1.1.4 Ajuste de pH En el cincado ácido se realiza el ajuste de pH para el material con ácido clorhídrico al 5% para poder llevar el material al baño electrolítico sin contaminantes. En el cincado alcalino el ajuste de pH es una neutralización que se lleva a cabo con solución alcalina generalmente de cianuro o con soda cáustica del 1% de esta forma se prepara el material para el baño electrolítico.

2.1.1.5 Electrólisis. En este proceso se realiza el recubrimiento del material, en donde se requiere de un baño electrolítico, una barra del metal de interés para el recubrimiento (ánodo) y el material preparado para recubrir (cátodo). De igual manera es necesario un potencial eléctrico, diferente para cada baño, el cual es obtenido por un transformador, regulador y rectificador.

La empresa realiza el cincado ácido y alcalino de dos formas: en estático y a granel. En el recubrimiento estático las piezas y el ánodo se cuelgan en barras (figura 7a) que atraviesan la cuba (tanque plástico donde se realiza el recubrimiento electrolítico) aplicando un voltaje de 3 a 5v y un amperaje de 600 a 700A dependiendo de las piezas, y en el recubrimiento a granel el material se introduce en un biombo hexagonal de plástico que se cierra y está sumergido entre la cuba (figura 7b) mientras va girando hasta terminar el proceso, con un voltaje de 8 a 10 v y 1500 a 1800 A.

(*) *Hot rolled* [laminado en caliente]

(**) *Cold rolled* [laminado en frío]

⁵⁴ ALZATE. Op. cit., p. 9.

Figura 7. Baños electrolíticos

a) Recubrimiento estático



b) Recubrimiento a granel



La duración en el baño electrolítico depende del espesor del recubrimiento que se desee en el material, se deja mínimo 40 minutos cuando el espesor va de 6 μm a 8 μm y máximo 50 minutos cuando es de 12 μm a 15 μm .

- Baño electrolítico cincado ácido: Este baño está compuesto por cloruro de potasio, cloruro de zinc, una base, un abrillantador y ácido clorhídrico para mantener el pH de 4,5 a 5 y con zinc metálico como ánodo.
- Baño electrolítico cincado alcalino: Al igual que el cincado ácido el ánodo es el zinc, y el baño está compuesto por óxido de zinc, cianuro de zinc, cianuro de sodio, abrillantador y soda cáustica para mantener el pH básico.

En la tabla 3 se presenta las condiciones de cada cincado de manera consolidada.

Tabla 3. Condiciones del cincado ácido y alcalino

	Cincado Ácido	Cincado Alcalino
COMPUESTOS DEL BAÑO	KCl ZnCl ₂ HCl Base	ZnO Zn(CN) ₂ NaCN NaOH
ANODO	Abrillantador Zn metálico	Abrillantador Zn metálico
pH	4,5 -5	12-14
TEMPERATURA	18°C \pm 2	18°C \pm 2

Después de la electrólisis, el material se pasa por dos enjuagues para continuar a la etapa de cromatizado.

2.1.1.6 Cromatizado. En esta etapa se agrega una capa protectora y se le da color al material. Existe el cromatizado irisado, verde, negro, blanco y azul que se escoge según la decisión del cliente. El material luego del cromatizado se sumerge en dos

enjuagues para pasar a la etapa final que es el secado.

2.1.1.7 Secado. Durante el secado el material también se está sellando para que no queden poros abiertos. Para el material a granel el secado se realiza por aire caliente en una centrifuga y para las piezas que se recubrieron en estático se realiza por inmersión en agua caliente.

2.1.2 Proceso de cobre - níquel – cromo. Así como en el cincado el material se pesa y se clasifica, pero antes de empezar el proceso el material debe estar pulido. Este recubrimiento (figura 8) solo se realiza en estático y se compone de los siguientes procesos: desengrase, neutralización y tres baños electrolíticos de cobre, níquel, cromo con enjuagues intermedios en cada etapa del proceso.

Figura 8. Diagrama proceso cobre-níquel-cromo

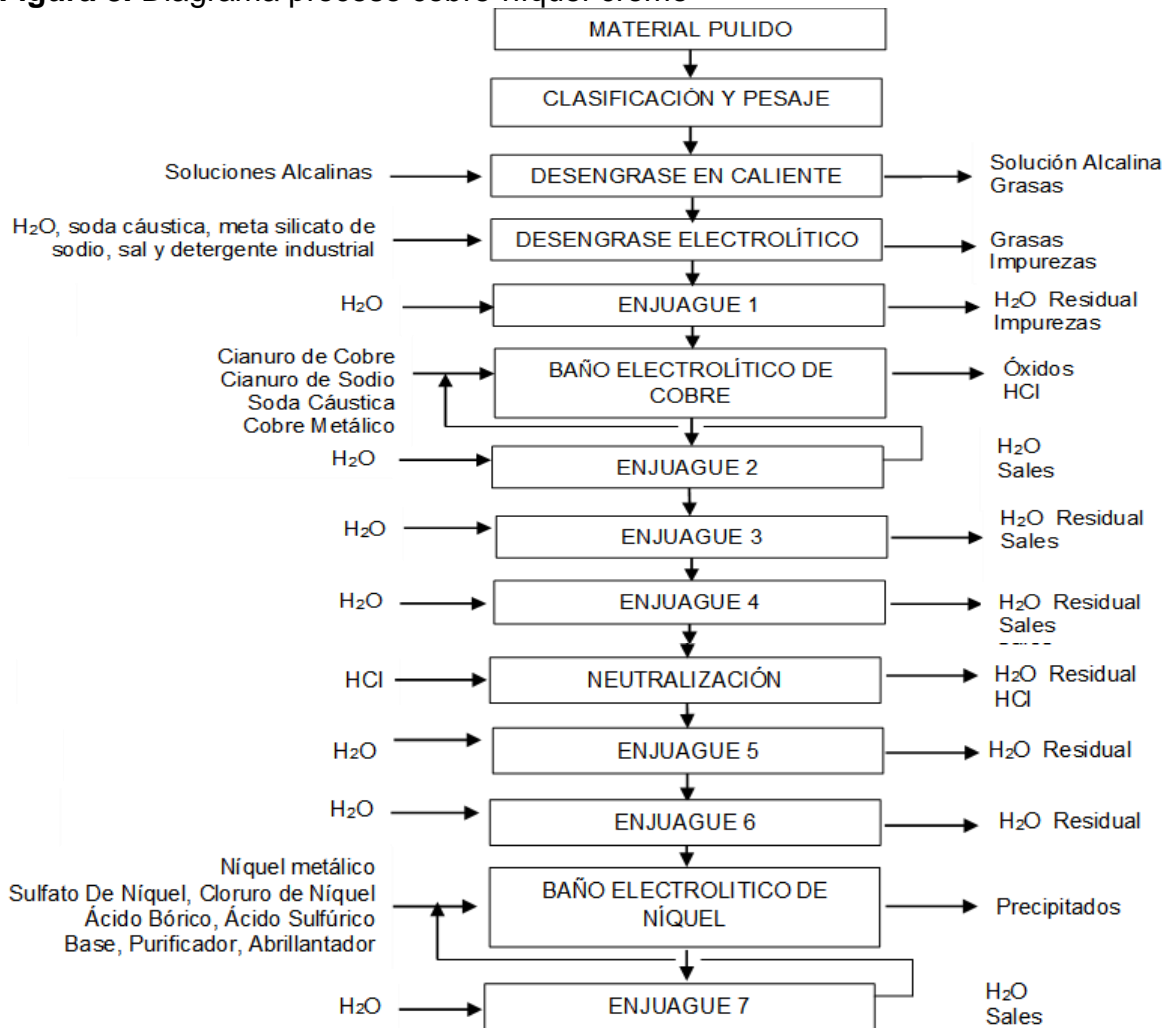
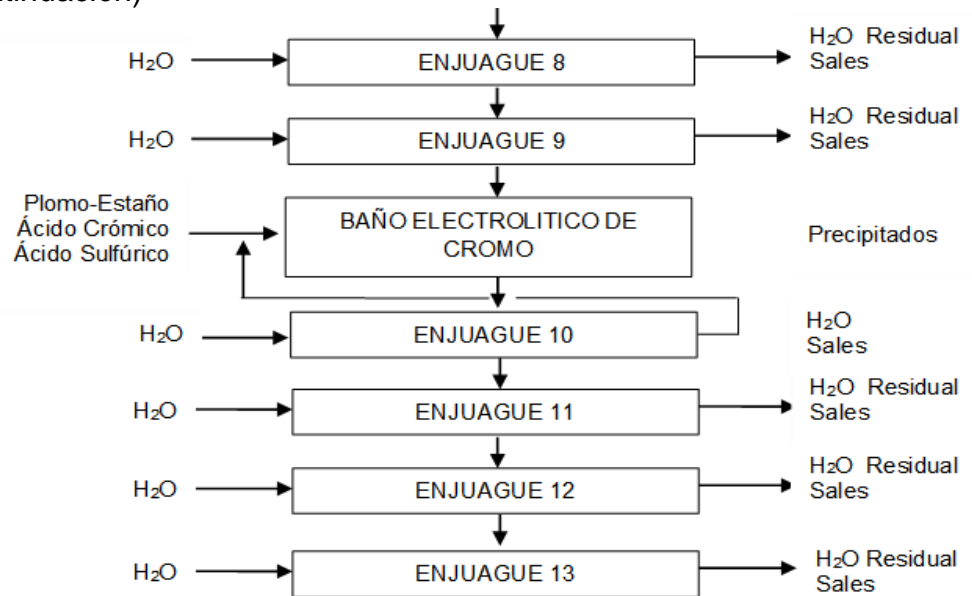


Figura. 8 (Continuación)



2.1.2.1 Desengrase. Se realizan dos desengrases al material, debido a que el recubrimiento cobre-níquel-cromo requiere mayor limpieza en las piezas. Primero es el desengrase en caliente (figura 9) en donde la temperatura alcanza 70°C a 80°C, y luego el material pasa a un desengrase electrolítico a temperatura ambiente con corriente invertida para remover partículas que aún queden en las piezas, donde el baño está compuesto por metasilicato de sodio, soda cáustica, sal, detergente industrial y el ánodo es la pieza a recubrir. Al finalizar el desengrase el material se enjuaga para pasar al baño electrolítico de cobre.

Figura 9. Desengrase en caliente



2.1.2.2 Electrólisis. En el proceso de cobre-níquel-cromo se realizan tres baños electrolíticos correspondientes a cada metal, todos los baños tienen un voltaje de 6v y con una intensidad de corriente de 1000 a 1200 A. Después de cada baño electrolítico el material se pasa por tres enjuagues, el primer enjuague funciona

como un recuperador para el baño electrolítico por estar concentrado es decir que se recircula a su baño propio y los dos siguientes enjuagues son eliminados por contaminación del agua, siendo vertidos al cárcamo de recolección de aguas residuales.

- Baño de Cobre: El material se sumerge de manera estática en el baño de cobre, el cual está compuesto por cianuro de cobre, cianuro de sodio, soda cáustica y cobre metálico como ánodo (figura 10). Luego de los tres enjuagues el material se sumerge en un tanque con ácido para hacer la neutralización y nuevamente se pasa por dos enjuagues para continuar con el baño de níquel.

Figura 10. Baño electrolítico de cobre



- Baño de Níquel: El baño de níquel (figura 11) está compuesto por sulfato de níquel, cloruro de níquel, bases de mantenimiento, un abrillantador, ácido bórico y ácido sulfúrico para mantener el pH entre 4 y 5, su ánodo es de níquel metálico, y se mantiene a una temperatura entre 55°C y 60°C. Luego del baño, el material se pasa por los tres enjuagues, para llevarlo posteriormente al baño de cromo.

Figura 11. Baño electrolítico de níquel



- Baño de Cromo: En el baño de cromo el ánodo es una aleación de Pb-Sn y está compuesto por ácido crómico y ácido sulfúrico para mantener el pH en 5, con

una temperatura entre 45°C a 50°C. Después del baño de cromo el material se pasa por los tres enjuagues y el último es con agua caliente a 80°C aproximadamente, donde el material se deja sumergido por 15 minutos para sellarlo y luego se deja secar a temperatura ambiente.

En la tabla 4 están las condiciones consolidadas de cada baño del recubrimiento cobre-níquel-cromo.

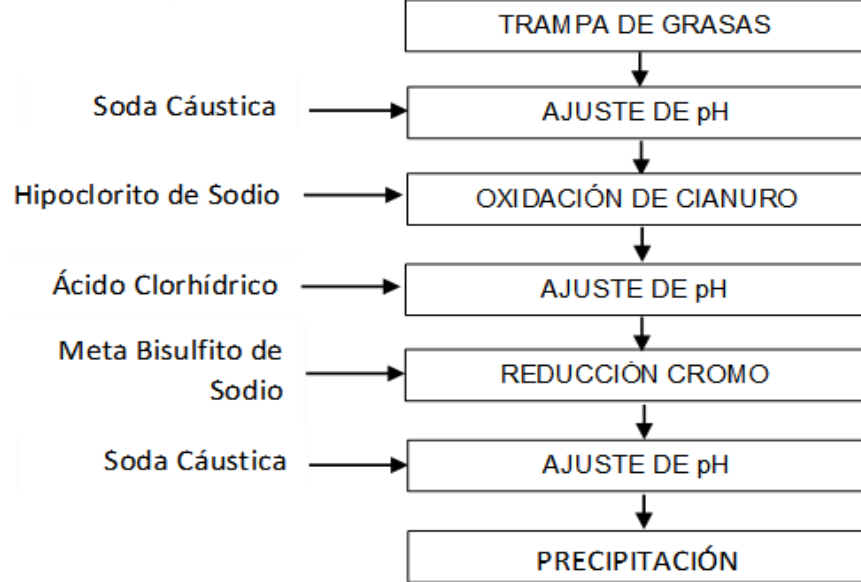
Tabla 4. Condiciones del recubrimiento cobre-níquel-cromo

	Baño Cobre	Baño Níquel	Baño Cromo
COMPUESTOS DEL BAÑO	CuCN NaCN NaOH	NiSO ₄ NiCl ₂ H ₃ BO ₃ H ₂ SO ₄ Bases de mantenimiento Abrillantador	H ₂ CrO ₄ H ₂ SO ₄
ÁNODO	Cu metálico	Ni metálico	Aleación Pb-Sn
pH	12-14	4,5 - 5	5
TEMPERATURA	18°C ± 2	55°C - 66°C	45°C -50°C
TIEMPO	10 minutos	20 a 40 minutos	10 a 30 segundos

2.1.3 Tratamiento de aguas residuales actual. La empresa realiza un tratamiento físico-químico (figura 12) a las aguas residuales. Utilizando un cárcamo para recibir el agua, una trampa de grasas con tres baffles y tres pasa muros, construida en concreto y revestida en cerámica con un volumen de 1m³, un tanque homogeneizador con agitador también construido en concreto y revestido con cerámica con capacidad de 5m³, una bomba centrífuga de 750W de potencia, un tanque sedimentador cónico en polietileno de 2m³ de capacidad y un tanque con una manga de poliamida para la filtración y recolección de lodos de 0,22m³ de capacidad.

Cuando el agua ya está en el tanque sedimentador, se empieza a subir el pH a un valor cercano a 11 agregando soda cáustica (NaOH), al estar la solución en medio básico se continua con la oxidación del cianuro utilizando hipoclorito de sodio (NaClO), luego se realiza un nuevo ajuste de pH dejándolo en medio ácido de 1 a 4 adicionando ácido clorhídrico (HCl). La condición apropiada es el medio ácido para continuar con la reducción del cromo hexavalente a cromo trivalente utilizando metabisulfito de sodio (Na₂S₂O₅). Finalmente, se vuelve a subir el pH de 6 a 9 con soda cáustica para la precipitación de los hidróxidos metálicos. El agua clarificada se evacua del tanque sedimentador y se vierte al alcantarillado, y por la parte inferior se retiran los lodos, se filtran en la manga de poliamida y se almacenan para su posterior disposición.

Figura 12. Diagrama del tratamiento de aguas residuales actual



2.2 BALANCE HÍDRICO

El balance hídrico (ecuación 2) se realiza con el fin de establecer qué cantidad de agua residual se obtiene en cada proceso de recubrimiento y de esta forma también determinar el consumo en cada uno.

En la empresa ZINTEPEC LTDA el agua se obtiene de la Empresa de Acueducto (ecuación 3) y Alcantarillado de Bogotá (EAAB) y se genera agua residual industrial (ecuación 4), doméstica y agua residual de trasiego.

Ecuación 2. Balance hídrico

$$\sum H_2O \text{ entra} = \sum H_2O \text{ sale}$$

Ecuación 3. Agua obtenida por el acueducto

$$Q_{ac} = Q_{ri} + Q_{rd} + Q_{rt}$$

Ecuación 4. Agua residual

$$Q_{ri} = Q_{re} + Q_{rp}$$

Donde,

Q_{ac} : Caudal agua obtenida del acueducto

Q_{ri} : Caudal agua residual industrial

Q_{rd} : Caudal agua residual doméstica

Q_{rt} : Caudal agua residual de trasiego (*)⁵⁵

Q_{re} : Caudal agua residual de enjuagues

Q_{rp} : Caudal agua residual de procesos

Agua obtenida del acueducto (Q_{ac}): El agua proveniente de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB) (tabla 5) se toma del consumo presentado en los recibos del año 2017 hasta el mes de agosto (ANEXO A), se realiza un promedio entre los datos y tomando 22 días laborales se define el caudal diario, como se ve en la ecuación 5.

Tabla 5. Agua obtenida de EAAB

Meses 2017	Q (m ³ /mes)
Dic 2016 – Feb.	74
Feb. – Abr.	108
Abr. – Jun.	83
Jun. – Ago.	70
Promedio	84

Ecuación 5. Caudal de agua del acueducto

$$Q_{ac} = 84 \frac{m^3}{2mes} \left(\frac{1 mes}{22 días} \right) = 1,91 \frac{m^3}{día}$$

Agua residual de enjuagues (Q_{re}): El agua proveniente de los enjuagues (tabla 9) se determina con la información proporcionada por la empresa acerca del tiempo en que se cambia cada enjuague y su volumen correspondiente. En los procesos de cincado ácido (tabla 6) y cincado alcalino (tabla 7) se comparten los enjuagues, sin incluir el enjuague de neutralización de este último, (cincado alcalino) que se realiza en tanques diferentes por tener una solución alcalina. El proceso cobreníquel-cromo (tabla 8) tiene trece enjuagues de los cuales diez son eliminados y tres son recuperadores, es decir que se recirculan a su baño electrolítico correspondiente para restituir el volumen del baño que disminuye debido a pérdidas por evaporación o derrames, por lo tanto, estos tres enjuagues recuperadores no se tuvieron en cuenta en el balance hídrico. Todos los caudales fueron suministrados por la empresa tomándose como datos teóricos con un tiempo de 8 horas de trabajo por día.

⁵⁵ (*) agua que gotea mientras se transporta material de un proceso a otro.

Tabla 6. Caudales de enjuagues del proceso cincado ácido

# Enjuague	Q (L/h)	Q (m ³ /día)
1	30	0,24
2	15	0,12
3	15	0,12
4	14,0	0,11
5	14,0	0,11
6	13,3	0,11
7	10,0	0,08
Total	111,3	0,89

Caudales suministrados por la empresa ZINTEPEC LTDA

Tabla 7. Caudal de enjuague del proceso cincado alcalino

# Enjuague	Q (L/h)	Q (m ³ /día)
4	14,0	0,11
Total	14,0	0,11

Caudales suministrados por la empresa ZINTEPEC LTDA

Tabla 8. Caudales de enjuagues del proceso cobre-níquel-cromo

# Enjuague	Q (L/h)	Q (m ³ /día)
1	5,50	0,04
3	5,50	0,04
4	5,50	0,04
5	5,50	0,04
6	5,50	0,04
8	5,50	0,04
9	5,50	0,04
11	2,60	0,02
12	2,60	0,02
13	2,60	0,02
Total	46,29	0,37

Caudales suministrados por la empresa ZINTEPEC LTDA

Tabla 9. Caudal agua residual de enjuagues

Proceso	Q(m ³ /día)
Cincado Ácido	0,89
Cincado Alcalino	0,11
Cobre - Níquel –Cromo	0,37
Total	1,37

Caudales suministrados por la empresa ZINTEPEC LTDA

$$Q_{re} = 1,37 \frac{m^3}{día}$$

Agua residual de procesos (Q_{rp}): El agua residual de procesos (tabla 10) contiene el agua usada en el desengrase, el cromatizado del cincado y las neutralizaciones de los tres recubrimientos. En el agua residual de procesos no se incluye el agua que corresponde a los baños electrolíticos, ya que esta no es eliminada. Los caudales del agua residual de procesos fueron suministrados por la empresa y se toman como datos teóricos.

Tabla 10. Caudal agua residual de procesos

Proceso	Q (L/h)	Q(m3/día)
Desengrase	31,25	0,25
Neutralización (Cincado ácido)	3,13	0,025
Neutralización (Cincado alcalino)	3,13	0,025
Cromatizado	1,00	0,008
Neutralización (Níquel - Cromo)	4,16	0,033
Total	42,67	0,34

Caudales suministrados por la empresa ZINTEPEC LTDA

$$Q_{rp} = 0,12 \frac{m^3}{día}$$

Agua residual industrial (Q_{ri}): El caudal del agua residual industrial se obtiene por la suma del caudal del agua residual de los enjuagues y de los procesos (ecuación 3).

Remplazando valores en la ecuación 3.

$$Q_{ri} = 1,37 \frac{m^3}{día} + 0,34 \frac{m^3}{día} = 1,71 \frac{m^3}{día}$$

Agua residual doméstica (Q_{rd}): El agua que se consume en la zona administrativa corresponde a la empleada en baños y cocina, se determina con la ecuación 6, establecida en el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS⁵⁶ que permite obtener la demanda de agua según la dotación estipulada.

Ecuación 6. Caudal de agua residual doméstica

$$Q_{rd} = \frac{P * D}{86400}$$

⁵⁶ MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Reglamento Técnico Del Sector De Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS. Título B Sistemas de Acueducto. 2010. Disponible en: <<http://www.minvivienda.gov.co/Documents/ViceministerioAgua/TITULOB%20030714.pdf> [citado marzo 10 de 2017] p.39.

En donde,

P= es el número de trabajadores = 7 trabajadores

D= es dotación (L/trabajador*día) =80 (L/trabajador *día)⁵⁷

Reemplazando valores en la ecuación 6.

$$Q_{rd} = \frac{7 \text{ trabajador} * 80 \frac{L}{\text{trabajador} * \text{día}} * \frac{1m^3}{1000 L}}{86400 * \frac{1 \text{ hora}}{3600 s} * \frac{1 \text{ día}}{8 \text{ hora}}}$$

$$Q_{rd} = 0,18 \frac{m^3}{\text{día}}$$

Agua residual de trasiego (Q_{rt}): Durante el transporte del material de un proceso a otro se gotea agua, pues los recipientes que contienen el material están diseñados con orificios por toda su área para que las soluciones estén en contacto con las piezas; para establecer el caudal de esta agua se toma los caudales de agua obtenida del acueducto y los demás caudales de agua residual previamente determinados.

Despejando Q_{rt} de la ecuación 2 se obtiene,

$$Q_{rt} = Q_{ac} - Q_{ri} - Q_{ra}$$

$$Q_{rt} = 1,91 \frac{m^3}{\text{día}} - 1,71 \frac{m^3}{\text{día}} - 0,18 \frac{m^3}{\text{día}}$$

$$Q_{rt} = 0,02 \frac{m^3}{\text{día}}$$

Se establece en general el agua residual que tiene cada proceso de recubrimiento electrolítico (tabla 11) considerando su caudal en el agua residual de enjuagues, de procesos y de trasiego. En donde se identifica que el proceso de cincado ácido y alcalino presenta el mayor gasto de agua que es de 1,32 m³/día y en el proceso cobre-níquel-cromo es de 0,41 m³/día, y el caudal total de agua residual que se genera en los procesos es de 1.73 m³/día que es el mismo caudal de agua que se tratará para reutilizar.

⁵⁷ INCONTEC Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. Código Colombiano de Fontanería NTC 1500. Bogotá, DC. Disponible en: <<https://es.slideshare.net/farnebar70/ntc-1500-codigo-colombiano-de-fontanera>> [citado en marzo 10 de 2017] p. 48.

Tabla 11. Agua residual en cada proceso de recubrimientos electrolíticos

Caudal	Proceso cincado ácido y alcalino (m ³ /día)	Proceso cobre-níquel-cromo (m ³ /día)
Agua residual de enjuagues (Q_{re})	1	0,37
Agua residual de procesos (Q_{rp})	0,31	0,03
Agua residual de trasiego (Q_{rt})	0,01	0,01
Total	1.32	0.41
Agua residual a tratar		1,73

2.3 CARACTERIZACIÓN DEL AGUA RESIDUAL

Se realiza la caracterización del agua residual de la empresa ZINTEPEC LTDA tomando la muestra del tanque homogeneizador, con el laboratorio ANALQUIM LTDA con el fin de determinar su estado actual y poder proponer las alternativas correspondientes desde el punto inicial de eliminación de las aguas por parte de la empresa (no se toma en cuenta el tratamiento actual). Los resultados obtenidos de cada parámetro (ANEXO B) se comparan con los valores establecidos y permitidos por la Resolución 1207 de 2014 expedida por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, para el reusó de aguas residuales tratadas en la empresa tomando los límites máximos permitidos para intercambio de calor en torres de enfriamiento y caldera. También se comparan los resultados con los límites máximos permitidos de la Resolución 631 del 2015 para los vertimientos de agua residual en la actividad de Fabricación de maquinaria y equipos (Recubrimiento Electrolíticos). (tabla 12)

Tabla 12. Resultados de la caracterización del agua residual comparados con la Resolución 1207 de 2014 y la Resolución 631 de 2015

Parámetro	Resultados (mg /L)	Resolución 1207 De 2014	Resolución 631 De 2015	Cumplimiento
Cianuro Total (mg CN /L)	24,6	≤0,05	≤0,5	NO CUMPLE
Cobre (mg Cu /L)	2,43	≤1	≤1	NO CUMPLE
Cromo (mg Cr /L)	32,46	≤ 0,1	≤ 0,5	NO CUMPLE
Hierro (mg Fe /L)	45,47	≤0,5	NE	NO CUMPLE
Níquel (mg Ni /L)	20,60	≤ 0,2	≤ 0,2	NO CUMPLE
pH (unidades)	4,06	6 a 9	6 a 9	NO CUMPLE
Zinc (mg Zn /L)	200,75	≤ 3	≤ 3	NO CUMPLE
DQO (mg O ₂ /L)	1154	NE	200	NO CUMPLE
DBO ₅ (mg O ₂ /L)	900	NE	100	NO CUMPLE
Sólidos sedimentables (ml /L)	<0,1	NE	1	SI CUMPLE

NE: No Especifica

Al evaluar los parámetros analizados con los valores que estipulan las resoluciones, se evidencia que solo se cumple para la resolución 631 del 2015 el valor límite permisible de sólidos sedimentables, pero ninguno de los demás parámetros evaluados cumple los límites establecidos por las normas vigentes. El pH es ácido y las concentraciones de los metales Cu, Cr, Fe, Ni, Zn y del cianuro presentan un valor muy alto al permitido, siendo la concentración de zinc la más alta.

2.4 CAUSA DEL INCUMPLIMIENTO

La caracterización del agua muestra que ningún parámetro evaluado cumple con la resolución. La causa de este resultado es la concentración de metales disueltos que se retira de los objetos y queda en el agua residual en las etapas de enjuague y en el trasiego de material. Las concentraciones de metales disueltos y el cianuro que se forma se deben a que los baños electrolíticos requieren de sales metálicas para realizar los recubrimientos, además hay ánodos metálicos correspondientes a cada baño, lo que aumenta la concentración de los metales como el zinc siendo este el más utilizado. El pH es variable y su estado ácido o básico depende de los recubrimientos que se esté realizando.

3. SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA DE TRATAMIENTO PARA LA REUTILIZACIÓN DEL AGUA RESIDUAL

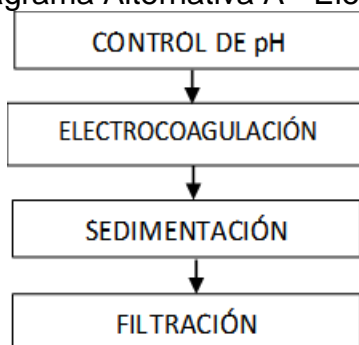
El capítulo anterior permite identificar las condiciones actuales del efluente de agua residual de la empresa, para que, en el presente capítulo, se analicen las posibles alternativas de manera teórica para aguas con metales pesados y cianuro. Luego, para escoger la alternativa de tratamiento que permita reutilizar el agua de la empresa se emplea una matriz de selección con la aplicación del método de sumas ponderadas y el método de Monte Carlo con *Crystal Ball*.

3.1 PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS

El agua residual sin tratar de la empresa ZINTEPEC LTDA se caracteriza, según los resultados del diagnóstico, por tener altas concentraciones de metales pesados disueltos, por tener alta concentración de cianuro y un pH ácido. En este sentido, se identificaron tres alternativas que permiten la reutilización del agua residual, estabilizando los parámetros analizados, para que se cumpla la Resolución 1207 de 2014.

3.1.1 Alternativa A - Electrocoagulación. Esta alternativa tiene las siguientes operaciones: control de pH, electrocoagulación, sedimentación y filtración. Estas operaciones se pueden ver en la figura 13. Esta alternativa requiere de un pH cercano a 7⁵⁸ para que se presente una mejor remoción de contaminantes, luego se utiliza un método electroquímico para eliminar por medio de corriente eléctrica y electrodos metálicos las sustancias disueltas en el agua, produciéndose reacciones químicas que alteran la forma de los contaminantes, y obteniendo así partículas sólidas (flóculos) de fácil remoción por medio de la sedimentación y filtración. En la tabla 13 se presentan las ventajas y desventajas de esta alternativa.

Figura 13. Diagrama Alternativa A - Electrocoagulación



⁵⁸ RESTREPO, Ana; ARANGO, Álvaro y GARCÉS, Luis. La Electrocoagulación: retos y oportunidades en el tratamiento de aguas. En: Producción Limpia. vol. 1, no. 2, p. 58-77. p.70.

Tabla 13. Ventajas y desventajas de la alternativa A - Electrocoagulación

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none">• Requiere de un equipo sencillo compuesto por una celda electrolítica con electrodos (ánodo y cátodo)⁵⁹• Permite la reutilización del agua.⁶⁰• No utiliza productos químicos adicionales, por lo tanto no hay contaminación secundaria al usar otras sustancias como en la precipitación química.⁶¹• Produce menor cantidad de lodos y más compactos.⁶²• Alta remoción de metales pesados (cromo, níquel, zinc, hierro, cobre, arsénico, plomo, cadmio) del 95 al 99%.⁶³⁻⁶⁴⁻⁶⁵• Permite la recuperación de metales removidos que se quedan en el cátodo evitando la contaminación al medio ambiente.⁶⁶	<ul style="list-style-type: none">• Es necesario reponer los electrodos de sacrificio periódicamente.⁶⁷• Altos costos por el consumo de electricidad.⁶⁸• Por la formación de óxido en el cátodo se puede presentar baja eficiencia.⁶⁹• Requiere método adicional (filtración o sedimentación) para retirar los flocs.⁷⁰• Requiere ajustes de pH.⁷¹

⁵⁹ GIL PAVAS, Edison. Aplicación de la electroquímica en el tratamiento de aguas residuales. En: Cuadernos De Investigación. no. 65. p. 6.

⁶⁰ RESTREPO, ARANGO y GARCÉS. Op. cit., p.64-65.

⁶¹ GIL. Op. cit., p. 8.

⁶² RESTREPO, ARANGO y GARCÉS. Op. cit., p. 64.

⁶³ ACOSTA NIÑO, Gema Eunice, et al. LA ELECTROCOAGULACIÓN COMO UN TRATAMIENTO EFICIENTE PARA LA REMOCIÓN DE METALES PESADOS PRESENTES EN AGUAS RESIDUALES. En: Revista Facultad De Ciencias Básicas. vol. 9, no. 2, p. 312-313.

⁶⁴ ABRIL PIERNAGORDA, Diebar Weimar y LÓPEZ CASTRO, Alexander. Ingeniería Básica De Una Planta a Escala Piloto Para El Tratamiento De Aguas Residuales En La Empresa Quimaplic Ltda. Mediante El Método De Electrocoagulación. Bogotá: Universidad de América, 2009. p. 55-58.

⁶⁵ TCHAMANGO, Serge, et al. Treatment of dairy effluents by electrocoagulation using aluminium electrodes. En: Science of the Total Environment. vol. 408, no. 4, p. 947-952

⁶⁶ NOGUEROL, VALIENTE y MURAVIEV. Op. cit., p. 49.

⁶⁷ GIL. Op. cit., p. 9.

⁶⁸ CAMARGO ORTIZ, Juan Pablo. Remoción De Metales Pesados Presentes En Aguas Residuales a Través Del Proceso De Electrocoagulación. Universidad Militar Nueva Granada, 2016. p. 13.

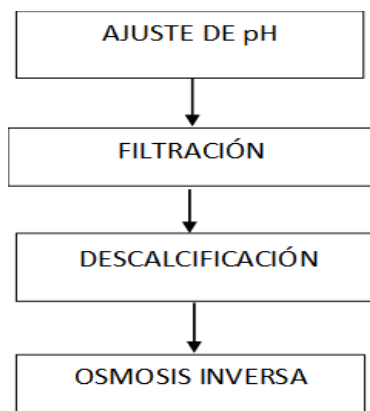
⁶⁹ GIL. Op. cit., p. 9.

⁷⁰ RESTREPO, ARANGO y GARCÉS. Op. cit., p 68.

⁷¹ RESTREPO, ARANGO y GARCÉS. Op. cit., p. 70 -71.

3.1.2 Alternativa B – Osmosis Inversa. La alternativa se constituye de las siguientes operaciones: un pretratamiento que incluye: ajuste de pH, filtración por arena, filtración con carbón activado, un suavizador, y luego la osmosis inversa⁷². El pretratamiento evita incrustaciones y agentes de ensuciamiento, realizando una filtración y utilizando inhibidores de incrustaciones, ácidos o ablandamiento⁷³. La osmosis inversa es la eliminación de iones y sólidos disueltos en el agua por medio de una membrana semipermeable bajo presión con un modelo de solución-difusión⁷⁴. En el artículo *Removal of Ni(II) and Zn(II) from an aqueous solution by reverse osmosis* la remoción del níquel y del zinc es de 99.2% y 98.8% correspondientemente utilizando un pretratamiento que incluye filtro de arena y filtro de carbón granular activado (GAC).⁷⁵ También se puede ver en el artículo *Pilot scale membrane separation of electroplating waste water by reverse osmosis* una alta remoción del cobre en aguas galvánicas usando osmosis inversa en donde se pasan de 340 ppm a 4 ppm de cobre⁷⁶. La remoción de metales como el cromo, el hierro, cobre, cobalto, aluminio entre otros, es mayor del 93% utilizando el proceso de osmosis inversa según el artículo *Reverse osmosis rejection of heavy metal cations*⁷⁷. Ver figura 14. En la tabla 14 se presentan las ventajas y desventajas de la alternativa B.

Figura 14. Diagrama Alternativa B – Osmosis Inversa



⁷² BENAVIDES MORENO, José Alberto. Diseño De Planta De Tratamiento De Agua De Osmosis Inversa Para La Empresa Dober Osmotech De Colombia Ltda. UNIVERSIDAD AUTONOMA DE OCCIDENTE, SANTIAGO DE CALI: Ingeniería Biomédica, 2011. p 30-31.

⁷³ GARCÍA OLMOS, Carlos Francisco. Fundamentos y Aplicaciones De Las Tecnologías Limpias Con Membranas En El Tratamiento De Aguas. Colección Tierra y Vida, 2016. p. 49-53.

⁷⁴ FARIÑAS IGLESIAS, Manuel. Osmosis Inversa Fundamentos, Tecnología y Aplicaciones. McGraw-Hill Interamericana de España, 1999. p. 47.

⁷⁵ IPEK, Ubeyde. Removal of Ni (II) and Zn (II) from an aqueous solution by reverse osmosis. En: Desalination. vol. 174, no. 2, p. 161.

⁷⁶ CHAI, Xijun, et al. Pilot scale membrane separation of electroplating waste water by reverse osmosis. En: Journal of Membrane Science. vol. 123, no. 2, p. 235.

⁷⁷ JOHNSTON, H. Kirk. Reverse osmosis rejection of heavy metal cations. En: Desalination. vol. 16, no. 2, p. 205 p. 213 y 215

Tabla 14. Ventajas y desventajas de la alternativa B – Osmosis Inversa

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none">• Remueve el color⁷⁸• Permite la reutilización del agua⁷⁹• Presenta una remoción del 98% de metales disueltos como el cadmio, cobre, cromo, níquel y zinc.⁸⁰• Recuperación de sales procedentes de los baños.⁸¹⁻⁸²• No produce lodos⁸³• Requiere menos tiempo de un operario para su operación y mantenimiento que un tratamiento físico-químico⁸⁴• El agua tratada tiene una calidad constante y el proceso es de manera continua.⁸⁵• Reducir al mínimo el volumen de efluentes⁸⁶	<ul style="list-style-type: none">• Requiere limpieza periódica para evitar ensuciamiento e incrustaciones en las membranas.⁸⁷• Requiere gran inversión de capital (obtener las membranas y bombas) y costos de operación⁸⁸• Requiere de un pre tratamiento adicionando inhibidor de incrustaciones y/o ácidos⁸⁹• Altos costos en energía eléctrica por bombeo a alta presión.⁹⁰

3.1.3 Alternativa C – Fisicoquímico. Esta alternativa tiene los siguientes procesos: ajuste de pH, óxido-reducción, ajuste de pH, floculación, filtración e intercambio iónico. Ver figura 15. En el proceso de óxido-reducción, se realiza en primer lugar la oxidación del cianuro en un pH alcalino para evitar la producción de gases tóxicos como el ácido cianhídrico⁹¹, luego con un segundo ajuste en pH ácido se continua con la reducción del cromo pasando de cromo hexavalente (Cr^{+6}) a cromo trivalente

⁷⁸ FARIÑAS IGLESIAS, Manuel. Op. cit., p 124.

⁷⁹ *Ibíd.*, p. 134.

⁸⁰ NOGUEROL, VALIENTE y MURAVIEV. Op. cit., p 50.

⁸¹ *Ibíd.*, p. 50.

⁸² FARIÑAS IGLESIAS, Manuel. Op. cit., p 134.

⁸³ *Ibíd.*, p. 119.

⁸⁴ *Ibíd.*, p. 119.

⁸⁵ FUENTES, Carlos Babiche. Intercambio iónico vs. ósmosis inversa. En: Industrial Data. vol. 3, no. 1, p. 12 p. 17

⁸⁶ FARIÑAS IGLESIAS, Manuel. Op. cit., p 134.

⁸⁷ GARCIA. Op. cit., p 45- 53.

⁸⁸ *Ibíd.*, p. 82.

⁸⁹ *Ibíd.*, p. 82.

⁹⁰ CORREDOR FORERO, Héctor Diego y DIAZ AREVALO, Elkin Alberto. Alternativa Para La Disminución De Metales Pesados En Los Efluentes De Proceso De La Industria Galvánica Galvanotecnica. Bogotá: Universidad de América, 2011. 37

⁹¹ ARUNDEL, John y GONZÁLEZ, Vicente San José. Tratamiento De Aguas Negras y Efluentes Industriales. España: Acribia S.A, 2000. p.74

(Cr⁺³). Se realiza un tercer ajuste de pH en donde son insolubles los metales pesados (Zn, Cr, Fe, Cu, Ni) y por medio de la floculación estos precipitan en hidróxidos metálicos para que sean retirados en el lodo sedimentado. Por último, el agua clarificada pasa por un proceso de filtración para retirar sólidos suspendidos y por un proceso de intercambio iónico para garantizar la calidad del agua removiendo trazas de iones metálicos. En la tabla 15 se presentan las ventajas y desventajas de la alternativa.

La alternativa C es similar al tratamiento actual que realiza la empresa porque tiene ajustes de pH y procesos de óxido-reducción, pero a diferencia del proceso actual la reducción del cromo hexavalente se realizará en esta alternativa con bisulfito de sodio en vez de metabisulfito.

Figura 15. Diagrama alternativa C – Físicoquímico

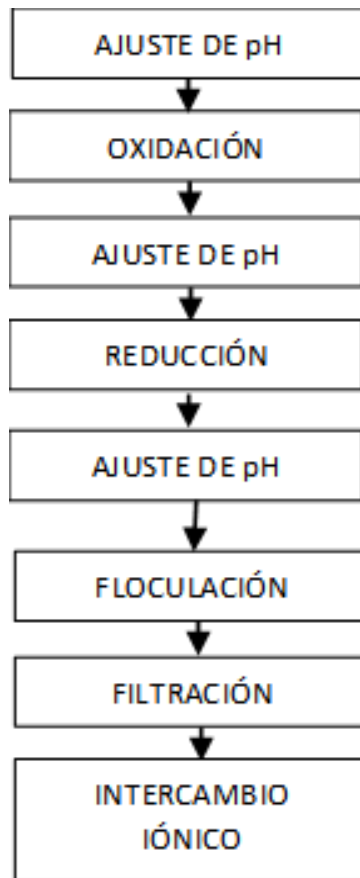


Tabla 15. Ventajas y desventajas de la alternativa C - Fisicoquímico

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none">• La empresa ya tiene tanques para realizar parte de la alternativa (hasta precipitación).• Bajos costos⁹²• Permite la reutilización del agua• Elimina el color y turbiedad.⁹³• Obtener los compuestos químicos es de manera fácil y pueden ser económicos. (La empresa ya tiene parte de los reactivos)• El operario no necesita de profundo entrenamiento• Remoción mayor del 95% de sólidos y metales disueltos (Cr, Zn, Cu, Ni, Fe, Pb, Cd).⁹⁴⁻⁹⁵⁻⁹⁶• Costos de mantenimiento son mínimos.⁹⁷	<ul style="list-style-type: none">• Control constante de pH.⁹⁸• Control en la dosis de agentes químicos• Generación de lodos⁹⁹

3.2 METODOLOGÍA DE SELECCIÓN

Para la selección de la alternativa, se establecieron criterios que permitieron evaluar las alternativas según las necesidades de la empresa. Luego, se utilizó dos métodos para escoger la alternativa, en primer lugar, por medio de una matriz de selección y, en segundo lugar, se utilizó la extensión *Crystal Ball* con el método Monte Carlo

3.2.1 Criterios de selección.

- **Eficiencia teórica:** es el porcentaje teórico de remoción de metales disueltos (Zn, Cr, Cu, Fe, Ni) que presenta cada alternativa. La alternativa escogida debe tener alta remoción de contaminantes, que permita la reutilización.
- **Inversión:** relaciona la inversión necesaria en equipos y reactivos de la alternativa como un estimado. La alternativa seleccionada debe requerir baja inversión.
- **Factibilidad de implementación:** este criterio establece la disponibilidad de la empresa a implementar la alternativa en cuanto a espacio disponible y requerir

⁹² CASTELLS, Xavier Elías. Tecnologías Aplicables Al Tratamiento De Residuos: Reciclaje De Residuos Industriales. Ediciones Díaz de Santos, 2012. p. 109

⁹³ ORELLANA, Jorge. Tratamiento De Las Aguas. [Electronic (1)]: UNT-FRRO: 2005. p. 3

⁹⁴ CORREDOR y DIAZ AREVALO Op. cit., p. 70.

⁹⁵ BAUTISTA TRIANA, Deissy Johanna y NIETO ZARATE, Duvan Ernesto. Desarrollo De La Propuesta Para El Tratamiento De Las Aguas Residuales De La Empresa Extrusiones SCHULER LTDA. Bogotá D. C.: Universidad de América, 2011. p. 115.

⁹⁶ MARTÍNEZ VELÁSQUEZ, Adriana Paola. Propuesta Para El Mejoramiento Del Tratamiento De Aguas Residuales En ABS CROMOSOL LTDA. Bogotá: Universidad de América, 2010. p..76.

⁹⁷ *Ibíd.*, p..89.

⁹⁸ CASTELLS Op. cit., p. 109.

⁹⁹ NOGUEROL, VALIENTE y MURAVIEV. Op. cit., p 57

nuevos equipos y reactivos. La alternativa escogida debe presentar alta factibilidad de implementación.

- **Mantenimiento o repuestos:** hace referencia a la facilidad, frecuencia y costo del mantenimiento y/o repuestos. Se pretende que la alternativa presente un fácil mantenimiento no tan frecuente y de bajo costo al igual que los repuestos.
- **Consumo energético:** hace referencia al consumo de energía que requieren los equipos y la alternativa durante el tratamiento. Se busca que la alternativa tenga un bajo consumo de energía.
- **Tiempo de operario:** hace referencia al tiempo que gasta el operario encargado para la realización del tratamiento. La alternativa debe requerir poco tiempo del operario.

Los criterios de selección se clasifican en cuantitativos y cualitativos en la tabla 16.

Tabla 16. Criterios cuantitativos y cualitativos

Criterios Cuantitativos	Criterios Cualitativos
Eficiencia teórica	Factibilidad de implementación
Inversión	Tiempo de operario
Mantenimiento o repuestos	
Consumo energético	

3.2.2 Matriz de selección. Se realizó una matriz de selección con los criterios y las alternativas establecidas con datos bibliográficos de cada una. Por medio de una reunión en la empresa (ANEXO C), se le asignó a cada criterio un peso de importancia (porcentaje) y se evaluó cada criterio para las diferentes alternativas según las tablas de calificación (tabla 17 y tabla 18). La puntuación total de cada alternativa se determinó: multiplicando la calificación de la alternativa por el porcentaje que tenía el criterio, y luego, sumando todos los valores obtenidos para cada una de las alternativas. Al tener la puntuación total de cada alternativa se escogerá la que presente el valor más alto. En la tabla 19 se presenta la matriz de selección.

Tabla 17. Calificación criterios cualitativos

Calificación	Valor
Bueno	5
Regular	3
Malo	1

Tabla 18. Calificación criterios cuantitativos

Calificación	Valor
Excelente	5
Buena	4
Regular	3
Mala	2
Deficiente	1

Tabla 19. Matriz de selección

criterio	%	Alternativa A	Alternativa B	Alternativa C	
Eficiencia teórica	8	Remueve contaminantes del 95 al 98% ¹⁰⁰	5 Remueve 98% de metales disueltos ¹⁰¹	5 Remueve más del 95% de sólidos y metales. ¹⁰²	4
Inversión	6	Se requiere invertir en la celda para realizar el tratamiento Entre \$2'500.000 y \$3'000.000 de pesos ¹⁰³	3 Es necesario invertir en equipos y su instalación. Entre \$7'000.000 y \$8'000.000 de pesos ¹⁰⁴	1 Ya se tiene varios equipos que pueden ser utilizados, se necesita invertir en productos químicos y algunos equipos. Entre \$1'500.000 y \$3'000.000 de pesos ¹⁰⁵	4
Factibilidad de implementación	27	Regular: porque se requiere adquirir equipos y un espacio de 2m ² para la implementación. Los electrodos tienen que cambiarse cada año. Entre \$1'200.000 y \$1'600.000 de pesos al año ¹⁰⁶	3 Malo: porque se requiere adquirir todos los equipos y un espacio de 4m ² para implementación.	1 Bueno: porque se tiene la mayoría de equipos y ya existe el espacio necesario.	5
Mantenimiento o repuestos	26	Consume energía por el motor del agitador y la electricidad necesaria para el proceso de electrocoagulación 3.782 kWh ¹⁰⁹ anual	4 Realizar mantenimiento cada 2 o 3 meses. Entre \$3'000.000 y \$3'500.000 pesos al año ¹⁰⁷	3 El mantenimiento se realiza anual. No es superior a \$1'000.000 de pesos al año ¹⁰⁸	5
Consumo energético	11	Bueno: Una hora aproximadamente ¹¹²	1 Consumo de energía en motor de las bombas y en automatización. 587 kWh ¹¹⁰ anual	3 Consumo de energía anual por el motor de la bomba. 308 kWh ¹¹¹ anual	4
Tiempo de operario	22	Bueno: Una hora aproximadamente ¹¹²	5 Bueno: Una hora aproximadamente ¹¹³	5 Malo: Dos horas aproximadamente ¹¹⁴	1
Total	100	3,64	2,94	3,87	

¹⁰⁰ Acosta, Coy, Bourdón y Cuervo. Op. cit., p. 312-313.

¹⁰¹ NOGUEROL, VALIENTE y MURAVIEV. Op. cit., p. 50

¹⁰² CORREDOR y DÍAZ. Op. cit., p. 70

¹⁰³ ABRIL y LÓPEZ. Op. cit., p. 101-106

¹⁰⁴ MARTÍNEZ. Op cit., p 100-104

¹⁰⁵ RAMÍREZ PERDOMO, Lina Paola y ZORRILLA RAMÍREZ, Jorge Camilo Roberto. Ingeniería básica para el tratamiento de los vertimientos del proceso de zincado en ASTECNICA LTDA. Bogotá: Universidad de América, 2010. p. 87--90.

¹⁰⁶ ABRIL y LÓPEZ. Op. cit., p. 103.

¹⁰⁷ MARTÍNEZ. Op cit., p. 100.

¹⁰⁸ *Ibíd.*, p. 90

¹⁰⁹ ABRIL y LÓPEZ. Op. cit., p. 103.

¹¹⁰ CORREDOR y DÍAZ. Op. cit., p. 72

¹¹¹ MARTÍNEZ. Op. cit., p. 90.

¹¹² CORREDOR y DÍAZ. Op. cit., p. 71.

¹¹³ *Ibíd.*, p. 71.

¹¹⁴ *Ibíd.*, p. 71.

De acuerdo con los resultados de la matriz de selección, la alternativa adecuada para la empresa es la alternativa C, en donde se hace un proceso de óxido-reducción, floculación, filtración e intercambio iónico. Esta alternativa tuvo un valor total de 3,87 por presentar un puntaje alto, en los criterios de inversión, factibilidad de implementación y mantenimiento o repuestos, esto se debe, a que la empresa ya tiene equipos del proceso actual que pueden ser usados para implementar este tratamiento. Mientras que las demás alternativas, presentan valores más bajos en estos criterios. Por ejemplo, la alternativa A presenta baja calificación en el criterio de consumo energético e inversión, y la alternativa B en la inversión y factibilidad de implementación.

3.2.3 Método Monte Carlo. Se utiliza el método Monte Carlo en la selección de la alternativa, con el fin de que el porcentaje dado a los criterios no sea de manera determinística. Es un método numérico y de simulación para resolver situaciones matemáticas o físicas, de manera probabilística por medio de sucesos aleatorios.¹¹⁵ El método consiste en realizar un número bastante grande de iteraciones, variando de forma aleatoria los valores de las variables independientes con el fin de obtener una muestra estadística de los resultados de la variable dependiente.

Al utilizar este método por medio del software *Crystal Ball* un complemento de Excel, se evaluará cada alternativa individualmente con un número de iteraciones en donde el porcentaje de los criterios cambia en cada una, para que al final de la simulación al tener los resultados, se realice un análisis estadístico que permita seleccionar la alternativa que mejor comportamiento presente.

3.2.3.1 Procedimiento con *Crystal Ball*. Se comenzó estructurando la información en una hoja de Excel. Se incluyeron los criterios de selección con los porcentajes iniciales y a las alternativas se le colocaron los valores correspondientes a cada criterio, tomados de la tabla 19. Teniendo en cuenta, que para los criterios cualitativos el dato es de acuerdo a la tabla 17.

Luego, se determinó el peso de las alternativas en cada criterio por medio de la ecuación 7 y ecuación 8. La ecuación 7 se implementa cuando la relación es directa entre el valor de la variable y el peso que se obtiene, es decir a mayor valor del dato bibliográfico mayor peso de la alternativa. La ecuación 8 es utilizada para cuando la relación es inversa, es decir a mayor valor del dato bibliográfico menor peso tendrá la alternativa. Los pesos obtenidos en cada alternativa se sumaron para obtener el puntaje final de la misma.

Ecuación 7. Peso de la alternativa

$$peso\ alternativa = \left(\frac{dato\ alternativa - dato\ mínimo\ de\ las\ alternativas}{rango\ de\ datos\ de\ la\ alternativa} \right) * \%criterio$$

¹¹⁵ CREUS SOLÉ, Antonio. Fiabilidad y Seguridad De Procesos Industriales. Marcombo, 1991. p. 34

Ecuación 8. Peso de la alternativa

$$\text{peso alternativa} = - \left(\frac{\text{dato alternativa} - \text{dato máximo de las alternativas}}{\text{rango de datos de la alternativa}} \right) * \% \text{criterio}$$

Se definieron los porcentajes de los criterios como las suposiciones (color verde) y el puntaje total de cada alternativa como las variables de interés (color azul). Para las suposiciones se escogió la distribución normal dado que los porcentajes son variables aleatorias continuas y pueden tomar cualquier valor en un rango determinado, estableciendo el porcentaje de cada criterio como el valor inicial de la media y una desviación estándar relacionada con esta. Finalmente, se inició la simulación con 20.000 iteraciones. La plantilla utilizada está en la tabla 20.

Tabla 20. Plantilla usada en *Crystal Ball*

Criterio	%	Alternativa A	Alternativa B	Alternativa C
Eficiencia	8	97 ¹¹⁶	98 ¹¹⁷	96 ¹¹⁸
Teórica	<i>Peso</i>	4	8	0
Inversión	6	2.500.000	7.000.000	1.500.000
	<i>Peso</i>	3,82	0	6
Factibilidad de implementación	27	Regular	Malo	Bueno
	<i>Peso</i>	13,5	0	27
Mantenimiento o repuestos	26	1.200.000	3.000.000	1.000.000
	<i>Peso</i>	23,4	0	26
Consumo Energético	11	3.782	587	308
	<i>Peso</i>	0	10,12	11
Tiempo de operario	22	Bueno	Bueno	Malo
	<i>Peso</i>	22	22	0
Total	100%	66,72	40,12	70

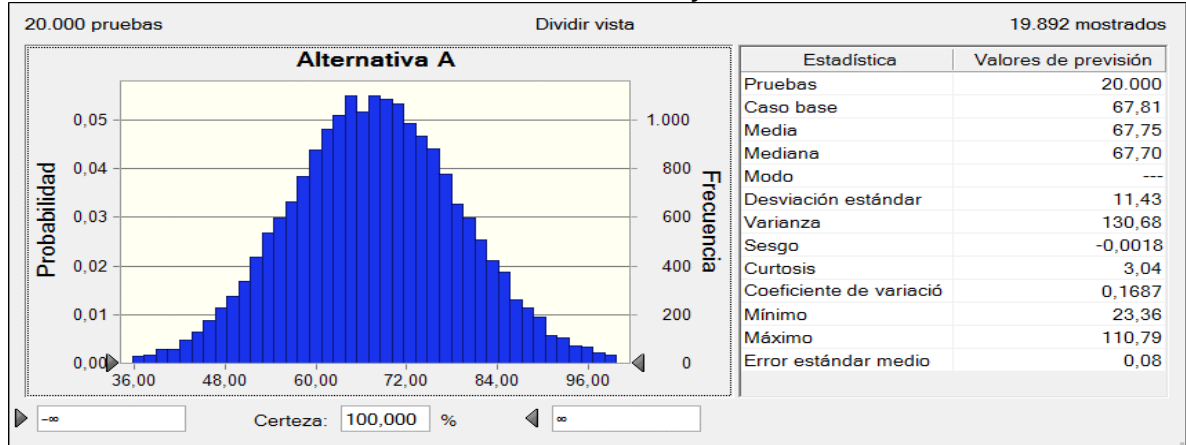
Los resultados obtenidos para cada alternativa se observan en las siguientes gráficas.

¹¹⁶ Acosta, Coy, Bourdón y Cuervo. Op. cit., p. 312-313.

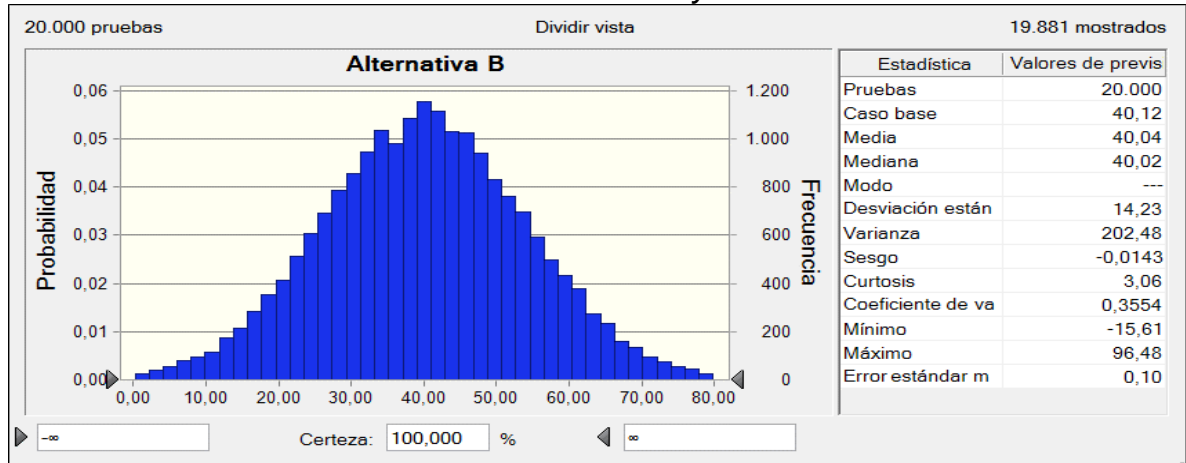
¹¹⁷ NOGUEROL, VALIENTE y MURAVIEV. Op. cit., p. 50.

¹¹⁸ CORREDOR y DÍAZ. Op. cit., p. 70.

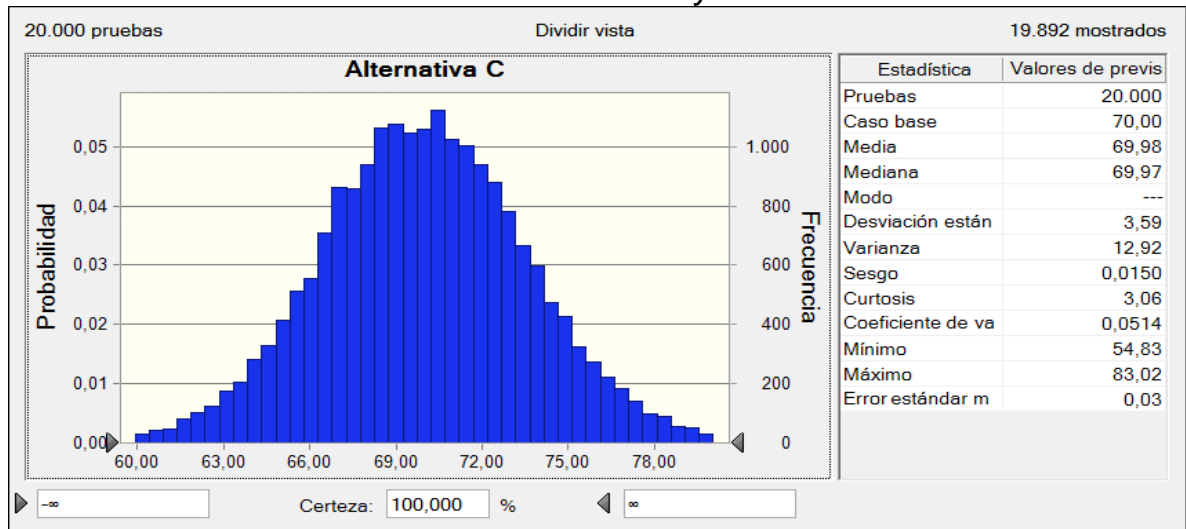
Gráfica 1. Resultados de la alternativa A con *Crystal Ball*



Gráfica 2. Resultados de la alternativa B con *Crystal Ball*



Gráfica 3. Resultados de la alternativa C con *Crystal Ball*



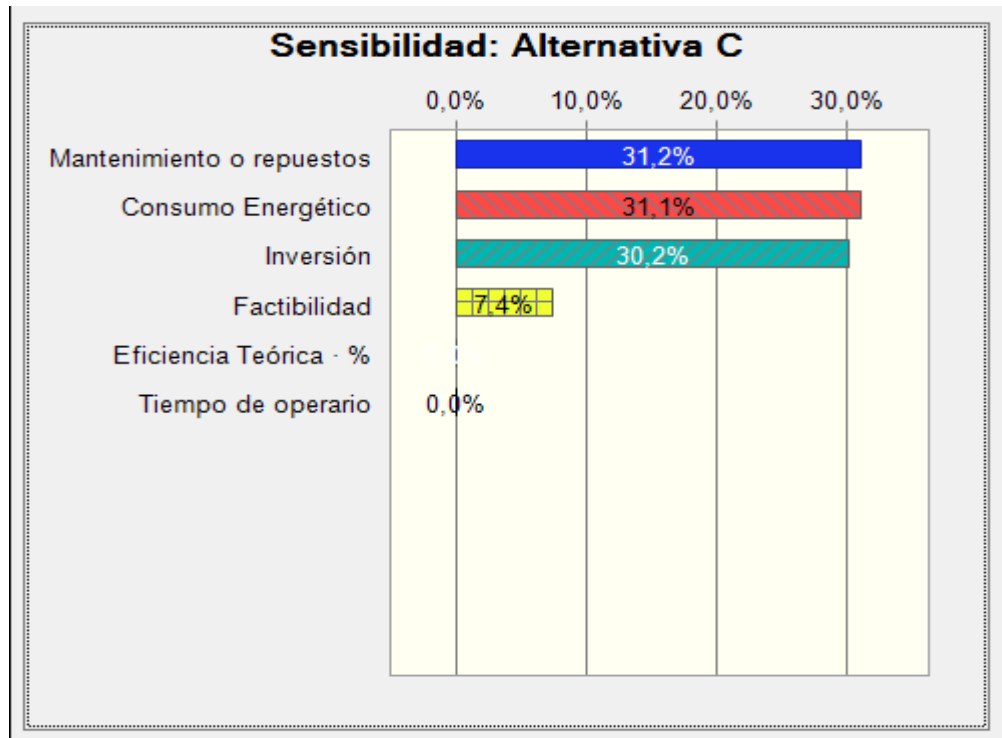
Para analizar los resultados de las tres alternativas, al ser una distribución normal, se tomaron como parámetros de comparación la desviación estándar y el coeficiente de variación, que son medidas numéricas que representan la dispersión y variabilidad de los datos, los cuales se pueden ver en la tabla 21.

Tabla 21. Desviación estándar y coeficiente de varianza de las tres alternativas

	Alternativa A	Alternativa B	Alternativa C
Desviación estándar	11,43	14,23	3,59
Coeficiente de variación	0,1687	0,3554	0,0514

Al observar la tabla 21, se concluyó que la alternativa C presenta el mejor comportamiento estadístico dentro de una distribución normal, por tener la menor desviación estándar de 3,59 y el menor coeficiente de varianza de 0,0514 lo que representa baja dispersión y baja variabilidad en sus datos. En la gráfica 4, se presenta la sensibilidad de los criterios de selección, en donde se puede observar en que porcentaje influye cada criterio. Siendo el mantenimiento o repuestos el de mayor porcentaje con 31,2%, seguido por el consumo energético y la inversión con un porcentaje mayor a 30% y los criterios con bajo porcentaje son eficiencia teórica y tiempo de operario con porcentajes de 0,1% y 0,0%.

Gráfica 4. Sensibilidad de los criterios de selección de la alternativa C



3.3 SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA

En los dos métodos de selección utilizados, la alternativa que mejor puntaje y comportamiento tuvo fue la alternativa C, por lo tanto, esta es la alternativa seleccionada como propuesta para la reutilización del agua residual de la empresa ZINTEPEC LTDA, y la cual se desarrollará experimentalmente a nivel laboratorio.

4. DESARROLLO EXPERIMENTAL

En este capítulo se desarrolla de manera experimental a nivel laboratorio la alternativa previamente seleccionada, para determinar la cantidad de reactivos a utilizar y sus condiciones necesarias.

La alternativa escogida en el capítulo anterior fue la C que es un tratamiento fisicoquímico el cual se tienen los siguientes procesos: tres ajustes de pH, oxidación del cianuro, reducción del cromo, floculación, filtración e intercambio catiónico.

En primer lugar, se realiza la oxidación del cianuro en medio básico (primer ajuste de pH) a razón de que el cianuro en condiciones ácidas libera cianuro de hidrogeno gaseoso el cual es altamente venenoso y al efectuar la oxidación en condiciones alcalinas se obtiene compuestos como el cianato que es 200 veces menos venenoso que el cianuro.¹¹⁹ Después de la oxidación se lleva el pH a medio ácido (segundo ajuste de pH) para llevar a cabo la reducción del cromo hexavalente a cromo trivalente y se continua con el tercer ajuste de pH para la precipitación de los hidróxidos metálicos. Posteriormente, se filtra el agua clarificada con arena para eliminar los sólidos suspendidos que aún queden en el agua y se finaliza el tratamiento con el paso del agua por el proceso de intercambio iónico para eliminar trazas de iones metálicos utilizando resina catiónica.

A continuación, se explica de manera detallada cada proceso del tratamiento escogido y se realiza la evaluación de cada parámetro frente a las normas vigentes (Resolución 1207 de 2014 y Resolución 631 del 2015).

4.1 PRIMER AJUSTE DE pH

El agua residual del tanque homogeneizador se encuentra en un pH de 2,11 y se requiere alcalino para la oxidación. Se empleó soda cáustica NaOH como agente alcalino, el cual, la empresa utiliza como materia prima en el proceso de desengrase y en baños electrolíticos de cobre y de cincado alcalino.

A una muestra de 500ml (figura 16) para subir el pH, se le agrega pausadamente a una agitación continua de 120 rpm, una solución de NaOH al 10% p/p (ANEXO D) hasta obtener un pH entre 10,5 a 11,5, dejando un tiempo de reacción de 15 minutos. En la tabla 22, está la tabulación de los datos y en la gráfica 5, se representa el promedio de los datos registrados para establecer la cantidad necesaria de solución alcalina.

¹¹⁹ ARUNDEL Y GONZÁLEZ Op. cit., p. 74.

Figura 16.Muestra de agua residual

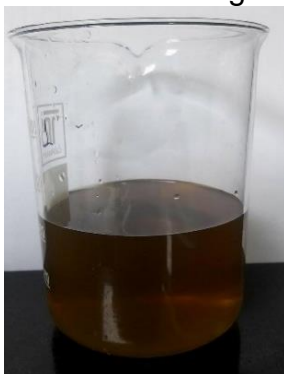
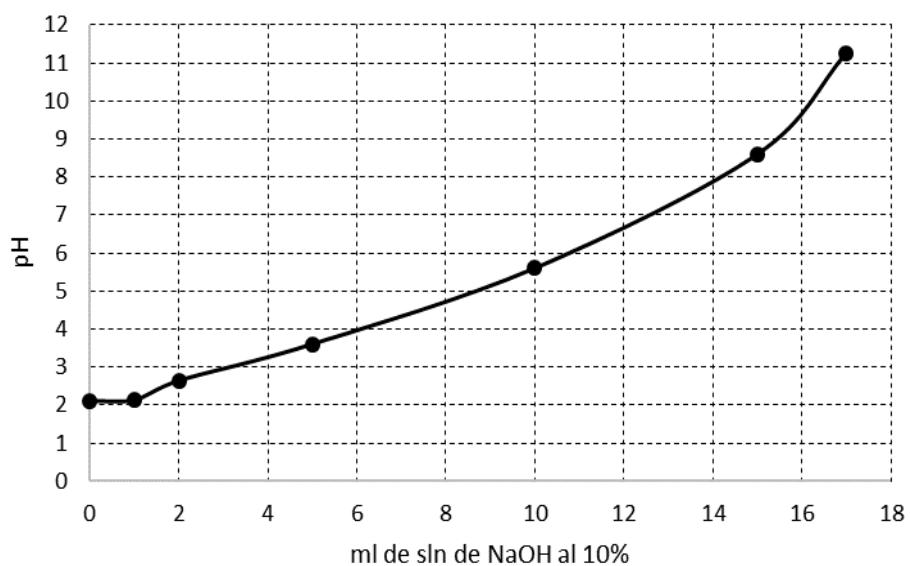


Tabla 22. Datos experimentales del primer ajuste de pH con NaOH

Sin de NaOH al 10% (ml)	Ph		
	Muestra 1	Muestra 2	Promedio
0	2,11	2,11	2,11
1	2,13	2,14	2,14
2	2,64	2,65	2,65
5	3,56	3,65	3,61
10	5,56	5,65	5,61
15	8,55	8,66	8,61
17	11,26	11,28	11,27

Gráfica 5. Primer ajuste de pH con NaOH

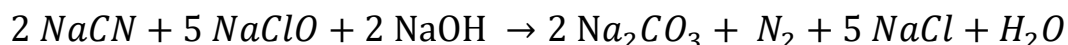


Con la gráfica 5, se puede observar que para obtener un pH de 11,2 es necesario agregar 17ml de solución alcalina de hidróxido de sodio al 10% y continuar con el siguiente proceso.

4.2 OXIDACIÓN DEL CIANURO

En la oxidación del cianuro, se decidió emplear el hipoclorito de sodio debido a que en el tratamiento actual de las aguas residuales la empresa lo utiliza. La adición hipoclorito de sodio, se hace con base a la experimentación que presenta Gaviria y Meza¹²⁰ teniendo una concentración inicial de cianuro de 5590 mg CN / L en donde la mayor degradación obtenida, fue con la relación 12,5:1 del hipoclorito de sodio y cianuro. La reacción de oxidación de cianuro con hipoclorito de sodio en medio básico (NaOH) es la siguiente (ecuación 9)¹²¹:

Ecuación 9. Reacción de oxidación del cianuro



Al realizar el primer ajuste de pH, este queda alcalino lo que permite la oxidación del cianuro evitando la producción de ácido cianhídrico que tiene un nivel alto de toxicidad.¹²² Entonces, a una muestra de 500ml se le agregó, a una agitación continua de 120 rpm, 1,5ml de NaClO, con un 25% en exceso para que al estar en el pH alcalino, el cloruro de cianógeno y el cianato se descompongan en nitrógeno gaseoso y carbonato¹²³, se dejó un tiempo de reacción de 30 minutos. En el anexo D, se encuentran los cálculos previos que permitieron determinar la dosificación del hipoclorito de sodio.

4.3 SEGUNDO AJUSTE DE pH

Después de la oxidación del cianuro, se requiere bajar el pH para la reducción del cromo hexavalente, el pH que se requiere debe ser menor de 4¹²⁴⁻¹²⁵⁻¹²⁶. Para lograr este pH, se utiliza el ácido clorhídrico HCl, que al igual que la soda cáustica, la empresa ya lo usa en los decapados y en el cincado ácido. A una muestra de 500ml

¹²⁰ GAVIRIA, Ana C. y MEZA, Luis A. Análisis de alternativas para la degradación del cianuro en efluentes líquidos y sólidos del municipio de Segovia, Antioquia y en la planta de beneficio de la empresa mineros nacionales, municipio de Marmato, Caldas. 2006. En: Dyna. vol. 73, no. 149, p. 37.

¹²¹ OROZCO, Carmen, et al. Contaminación Ambiental: Una Visión Desde La Química. Paraninfo, 2002. p. 275

¹²² ARUNDEL Y GONZÁLEZ Op. cit., p. 74.

¹²³ *Ibíd.*, p. 74.

¹²⁴ Junta de Andalucía. Tratamientos Físico-Químicos. [Electronic (1)]: Procesos de carácter químico. p. 420.

¹²⁵ SANJUÁN, Manuel Aguilar. Introducción a Los Equilibrios Iónicos. Reverté, 1998. p.487

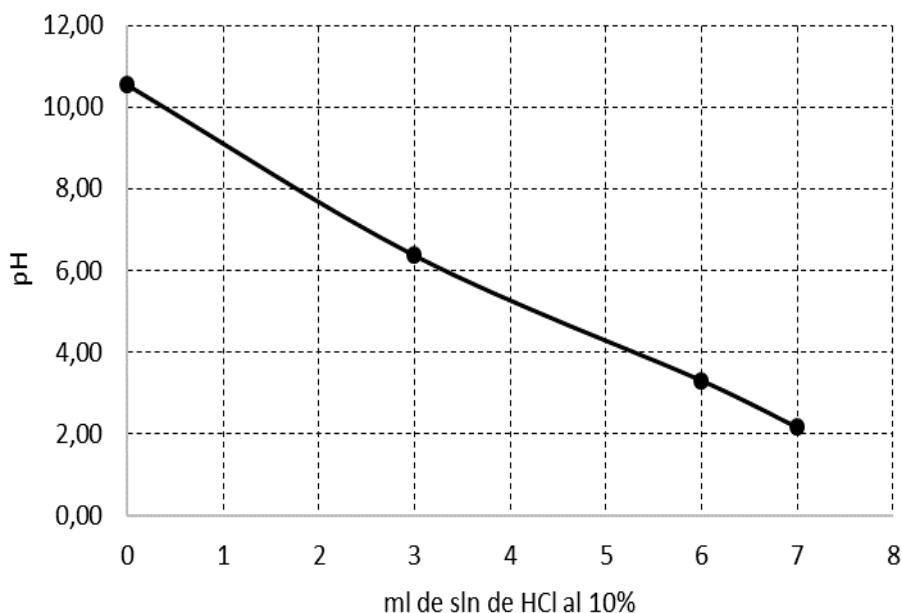
¹²⁶ ROMERO ROJAS. Tratamiento de aguas residuales: teoría y principios de diseño. Op. cit., p. 150.

previamente oxidada, se le agrega, a una agitación continua de 120 rpm, solución de HCl al 10% v/v (ANEXO D) hasta conseguir el pH entre 2 a 4, con un tiempo de reacción de 15 minutos. En la tabla 23, se presentan los datos experimentales y en la gráfica 6 el comportamiento del pH con la dosificación del HCl.

Tabla 23. Datos experimentales del segundo ajuste de pH con HCl

Soln de HCl al 10% (ml)	pH		Promedio
	Muestra 1	Muestra 2	
0	10,47	10,60	10,54
3	6,37	6,36	6,37
6	3,21	3,40	3,31
7	2,13	2,19	2,16

Gráfica 6. Segundo ajuste de pH con HCl



De la gráfica 6, se puede establecer que al agregar 7ml de la solución ácida se obtendrá el pH deseado de 2,1.

4.4 REDUCCIÓN DE CROMO

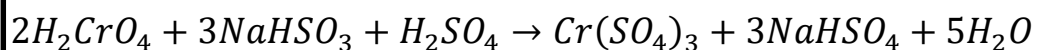
Según Romero Rojas, “el método más usado para remover cromo hexavalente es el de reducirlo de Cr^{+6} a Cr^{+3} y luego precipitarlo como hidróxido”¹²⁷ La reducción de cromo se debe realizar en un pH de 2 a 3 donde se obtiene ácido crómico, y de

¹²⁷ *Ibíd.*, p. 150.

esta forma se convierte el cromo hexavalente a cromo trivalente con el uso de un agente reductor, como son el metabisulfito de sodio, bisulfito de sodio, sulfito de sodio y sulfato ferroso¹²⁸. Resaltando que el cromo trivalente es menos tóxico¹²⁹ e insoluble en pH alcalinos.¹³⁰⁻¹³¹ En la empresa, actualmente se utiliza el metabisulfito de sodio, pero es necesario cambiarlo debido a restricciones para su obtención.

Se seleccionó el bisulfito de sodio como agente reductor considerando lo que dice, Flores, O., L. Manuel y Piña, S., Martin. "...en reducciones de cromo hexavalente a trivalente, se prefiere el uso de bisulfito de sodio en medios ácidos de pH < 4, debido a que la velocidad de reacción es mayor..."¹³², y además porque es un reactivo que tiene un fuerte carácter reductor¹³³, la reacción es espontánea en pH cercanos a 2¹³⁴⁻¹³⁵, es más estable y barato frente al sulfito de sodio, con respecto al sulfato ferroso el precipitado que se forma es más fácil de filtrar¹³⁶. En la ecuación 10 se ve la reacción que ocurre en la reducción del cromo hexavalente con bisulfito de sodio¹³⁷.

Ecuación 10. Reacción de reducción del cromo hexavalente



Por lo tanto, al tener el agua a un pH ácido de 2,1 se prepara una solución NaHSO₃ al 10% (ANEXO D) y se agrega a una muestra de 500ml, a una agitación continua de 120 rpm, hasta observar un cambio en el color, se agregó 75 ml de bisulfito de sodio pausadamente y se deja reaccionar por 30 minutos, para luego continuar con el tercer ajuste de pH.

4.5 TERCER AJUSTE DE pH

En este tercer ajuste de pH, se requiere un valor entre 7 a 11 unidades, ya que en este rango los metales pesados (Zn, Cr, Ni, Fe, Cu) disueltos disminuyen su

¹²⁸ *Ibíd.*, p. 150.

¹²⁹ FERNÁNDEZ, Ana María CAMEAN y JIMÉNEZ, Manuel REPETTO. *Toxicología Alimentaria*. Ediciones Díaz de Santos, 2012. p 338

¹³⁰ MÉNDEZ *Op. cit.*, p. 197.

¹³¹ CASTELLS *Op. cit.*, p. 594.

¹³² FLORES, O., L. Manuel y PIÑA, S., Martin. *Manual de evaluación de plantas potabilizadoras*, Citado por, CORREDOR y FORERO en *Alternativa para la disminución de metales pesados en los efluentes de proceso de la industria galvánica Galvanotecnica*, 2011. p. 77.

¹³³ JUNTA DE ANDALUCIA *Op. cit.*, p. 420.

¹³⁴ *Ibíd.*, p. 420.

¹³⁵ SANJÚAN *Op. cit.*, p. 487.

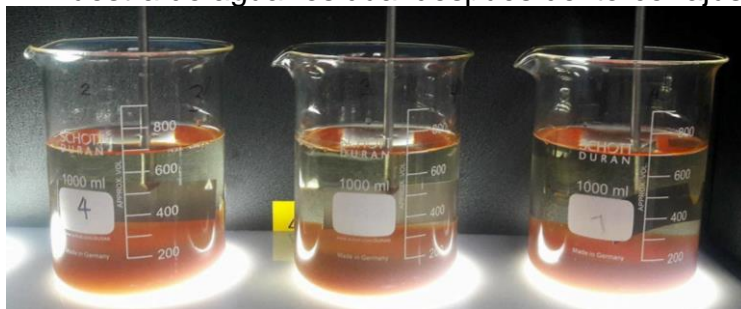
¹³⁶ *Ibíd.*, p. 487.

¹³⁷ CHEREMISINOFF *Op. cit.*, p. 442.

solubilidad¹³⁸. La muestra reducida presenta un pH de 2,28, y para subir su pH se utiliza la misma solución de soda cáustica al 10% p/p. con la misma agitación y tiempo de reacción. Entonces, al tener como base la gráfica 5, se adicionan 12,2ml de solución alcalina quedando el pH en 7.

Para evaluar la reducción del cromo se hace de manera visual con el cambio de color de la solución, en donde el cromo hexavalente presenta una coloración amarilla-naranja y el cromo trivalente una coloración azul-verde¹³⁹⁻¹⁴⁰⁻¹⁴¹. Luego, de los 15 minutos de subir el pH, se precipitaron las muestras (figura 17) dejando el agua con una tonalidad amarilla suave, debido a que la reducción del cromo no fue completa. Al no completarse la reducción de cromo, se realiza una nueva prueba. Para esta prueba los ajustes de pH y la oxidación de cianuro se efectúan con la misma dosificación anteriormente estipulada, y para la reducción de cromo se prepara una solución de bisulfito de sodio al 50 % p/p (ANEXO D), de la cual solo fue necesario agregar 1ml de agua para ver el cambio de color, de un naranja a un azul-verdoso¹⁴²⁻¹⁴³ (figura 18). No es necesario realizar coagulación debido a que en este tercer ajuste de pH se precipitan los hidróxidos metálicos, por lo tanto, se prosigue con la floculación para acelerar este proceso de precipitación.

Figura 17. Muestra de agua residual después del tercer ajuste de pH



¹³⁸ CASTELLS Op. cit., p. 109.

¹³⁹ LÓPEZ GARCÍA, Marta. Estudio Físicoquímico Del Proceso De Reducción-Adsorción De Cr (VI) En Medio Acuoso Sobre Biomateriales De Bajo Coste. La Coruña: UNIVERSIDADE DA CORUÑA, 2013. p. 26

¹⁴⁰ CASTILLO, Marta y MELIGENI, Daniel. Introducción a La Química, Módulo De Seminarios De Problemas y Trabajos Prácticos De Laboratorio. Mar del Plata: Universidad FASTA-Biblioteca, 2011. p. 78

¹⁴¹ UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA. Facultad de Ciencias. Anales De La Universidad De La Laguna, Facultad De Ciencias. Secretariado de Publicaciones, Intercambio Científico y Extensión Universitaria, 1967. p. 156

¹⁴² TREVIÑO SUÁREZ DEL REAL, Patricia Olivia. Estudio De La Reducción De Iones Cr⁶⁺ Por Medio De aluminio. México D. F.: Universidad Iberoamericana, 2009. p. 72

¹⁴³ MARTÍNEZ R., et al. Remoción y Reducción De Cromo (6) En Solución Por La Cáscara De Lichi (Litchi Chinensis Sonn). [Electronic (1)]: Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, México: 2012. p. 6

Figura 18. Cambio de color por la reducción de cromo hexavalente



4.6 FLOCULACIÓN

Después de tener un pH alcalino se continua con la floculación. La floculación se realizó con el procedimiento que sugiere la norma NTC3903, evaluando en primer lugar un polímero catiónico L-1569^a y uno aniónico L-1538. Ver ANEXO D la preparación de las soluciones y determinación de volúmenes a adicionar.

En muestras de 250ml de agua previamente ajustado el pH, se agregó la misma concentración de los polímeros y se agito por un minuto a 120rpm, luego se bajó la velocidad de agitación a 40 rpm por 10 minutos y se dejó sedimentar por 5 minutos para observar el precipitado. En la tabla 24, se presenta la prueba de los floculantes. En la figura19, se observa la muestra con el polímero aniónico y en la figura 20 el polímero catiónico. De estos dos polímeros el que mejor aglomeración presento fue el polímero aniónico por ser un floculante para lodos minerales, ver ficha técnica en ANEXO E.

Tabla 24. Prueba de floculantes

Muestra	Polímero	ml sln 0,08%
1	Aniónico	2,5
2	Catiónico	2,5

Figura 19. Muestra con floculante aniónico

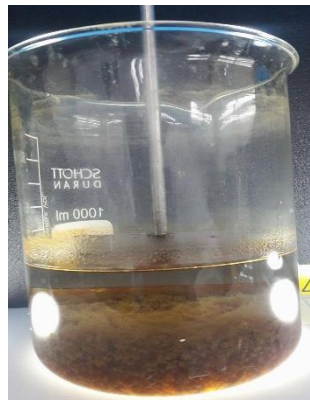


Figura 20. Muestra con floculante catiónico

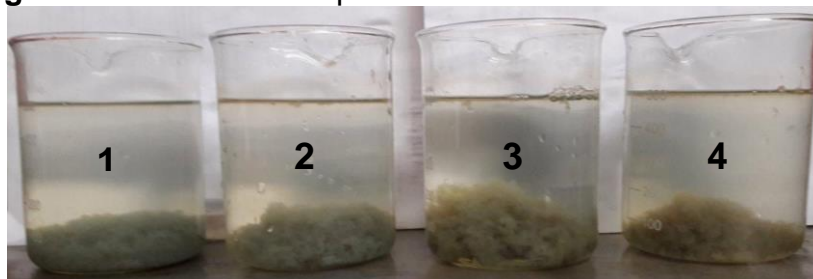


Se realiza una nueva prueba para saber la cantidad adecuada del polímero seleccionado que se debe agregar. Para este ensayo se toma muestras de 500ml de agua previamente oxidada, reducida y con un pH de 7. Se agrega el polímero en diferentes cantidades, se agita a 120rpm durante un minuto y a 40 rpm durante 10 minutos y luego se deja sedimentar por 20 minutos para observar la aglomeración. En la tabla 25, se presenta la dosificación. En la figura 21, se observa el comportamiento que presentaron las muestras con el polímero aniónico, siendo la dosificación de 2ppm la que mejor comportamiento presentó, con un índice de floculación de Willcomb de 10 (ANEXO D) ya que el floc se depositó totalmente de manera compacta y se observa un 20% de sedimentado. No se logró medir la turbidez de las muestras por falta del equipo correspondiente.

Tabla 25. Dosificación floculante

Muestra	ml sln 0,08%	Índice Willcomb
1	1,3	10
2	3,1	8
3	6,3	6
4	9,4	8

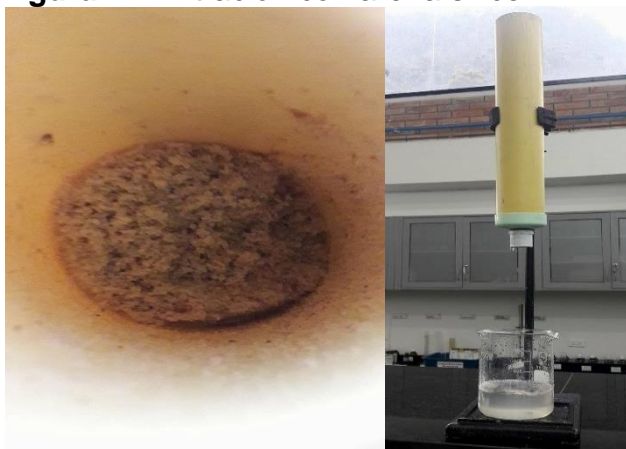
Figura 21. Muestras con polímero catiónico a diferentes dosis



4.7 FILTRACIÓN

Al seleccionar la dosis de floculante, se pasa la muestra por un filtro de arena para remover los sólidos suspendidos y turbidez del agua. El filtro se construyó con un tubo PVC de 2" de diámetro y con 35cm de largo, en la parte final se le acopló un adaptador macho y uno hembra a un retenedor de granos para evitar la salida de estos. Se deposita arena hasta un 70% del filtro (figura 22). La arena utilizada es arena sílice, ver ficha técnica en el ANEXO E.

Figura 22. Filtración con arena sílice



4.8 INTERCAMBIO IÓNICO

En este proceso se retienen iones por medio de fuerzas electrostáticas a los grupos funcionales con carga eléctrica sobre un sólido, estos iones retenidos se intercambian por iones con carga similar en solución¹⁴⁴. En este proceso son los iones metálicos los que quedan retenidos en la columna, en donde la resina intercambia cationes sustituyendo el metal tóxico por un catión con muy poca toxicidad o sin esta.¹⁴⁵ En el intercambio iónico se utilizan resinas sintéticas que consisten en una matriz polimérica reticulada portadora de cargas eléctricas¹⁴⁶. Luego de la filtración, la muestra se pasó por un proceso de intercambio iónico para retirar trazas de metales del agua tratada, utilizando resina de intercambio catiónico *Lewatit Mono Plus TP 207*, ficha técnica en ANEXO E. Para esto, se construyó un intercambiador, similar al filtro de arena, en tubo PVC de 2" de diámetro y 30cm de largo, en la parte final se empalma un adaptador macho y uno hembra junto con el retenedor de granos, con resina hasta un 63% (figura 23).

¹⁴⁴ ROMERO ROJAS. Purificación del agua. Op. cit., p.336

¹⁴⁵ ARUNDEL Y GONZÁLEZ Op. cit., p. 78

¹⁴⁶ AMADO DUARTE, Diana Carolina y GUTIERREZ GONZALEZ, Zahira Tathianna. Evaluación Técnica Para La Recuperación y Reutilización De Las Aguas Residuales Industriales De La Empresa FANTAXIAS LTDA Por Resinas De Intercambio Iónico. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 2006.

Figura 23. Intercambio iónico con resina catiónica



4.9 RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN DEL AGUA TRATADA

Se llevó para su caracterización agua residual tratada con las especificaciones previamente establecidas al LABORATORIO QUIMICONTROL LTDA. para evaluar la alternativa seleccionada y su cumplimiento con la Resolución 1207 del 2014 tomando los límites máximos permitidos para uso industrial en intercambio de calor en torres de enfriamiento y caldera. De igual manera, se comparan los resultados con los límites máximos permitidos de la Resolución 631 del 2015. Los resultados obtenidos se presentan en la tabla 26 (ANEXO F)

Tabla 26. Resultados del agua tratada comparados con la Resolución 1207 de 2014 y la Resolución 631 del 2015

Parámetro	Antes De Experimentación	Después De Experimentación	Porcentaje De Remoción	Resolución 1207 De 2014	Resolución 631 De 2015	Cumple
Cianuro Total (mg CN/L)	24,6	0	100%	≤0,05	≤0,5	SI
Cobre (mg Cu /L)	2,43	0,373	84,65%	≤1	≤1	SI
Cromo (mg Cr /L)	32,46	0,215	99,34%	≤ 0,1	≤ 0,5	NO
Hierro (mg Fe /L)	45,47	0,094	99,79%	≤0,5	NE	SI
Níquel (mg Ni /L)	20,60	<0,011	99,95%	≤ 0,2	≤ 0,2	SI
pH (unidades)	4,06	6,93	-	6 a 9	6 a 9	SI
Zinc (mg Zn /L)	200,75	13,6	93,23%	≤ 3	≤ 3	NO
DQO (mg O ₂ /L)	1154	91,9	92,04%	NE	200	SI
DBO ₅ (mg O ₂ /L)	900	<10,3	98,86%	NE	100	SI
Sólidos sedimentables (ml /L)	<0,1	0,5	-	NE	1	SI

NE: No Especifica

Con los resultados del laboratorio (tabla 26) se observan altos porcentajes de remoción de metales, cianuro, DBO y DQO, es decir que el tratamiento propuesto fue eficiente y cumplen las dos resoluciones. Por otro lado, de los parámetros analizados, el cromo y el zinc no cumplen la resolución de reúso 1207; sin embargo, la remoción del cromo en el agua tratada fue alta, de 99,34%, presentando una concentración muy cercana a la permitida por la norma vigente (resolución 1207 de 201) y cumpliéndose la resolución de vertimientos (resolución 631 de 2015). De igual forma, la remoción del zinc también fue significativa de un 93,23% teniendo 10 mg/L por encima del valor límite que establecen las dos resoluciones.

Para un cumplimiento total de la normativa vigente en la concentración de estos parámetros se debe aumentar el pH a un valor entre 8,5 a 9 en el tercer ajuste de pH, para la precipitación máxima del zinc¹⁴⁷ y del cromo.

¹⁴⁷ LÓPEZ, Germán Alfonso Galarza. Las Caras Del Agua Subterránea: Congreso, En Memoria De Germán Alfonso Galarza López. IGME, 2001. [Electrónico] Disponible en: <<https://books.google.com.co/books?id=gw595pVWYUC&pg=PA50&dq=curva+solubilidad+del+zn&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwi2jZD8jJHXAhVE5CYKHSDsDaEQ6AEIMTAC#v=onepage&q=curva%20solubilidad%20del%20zn&f=false>> [citado en agosto 12 de 2017] p. 50.

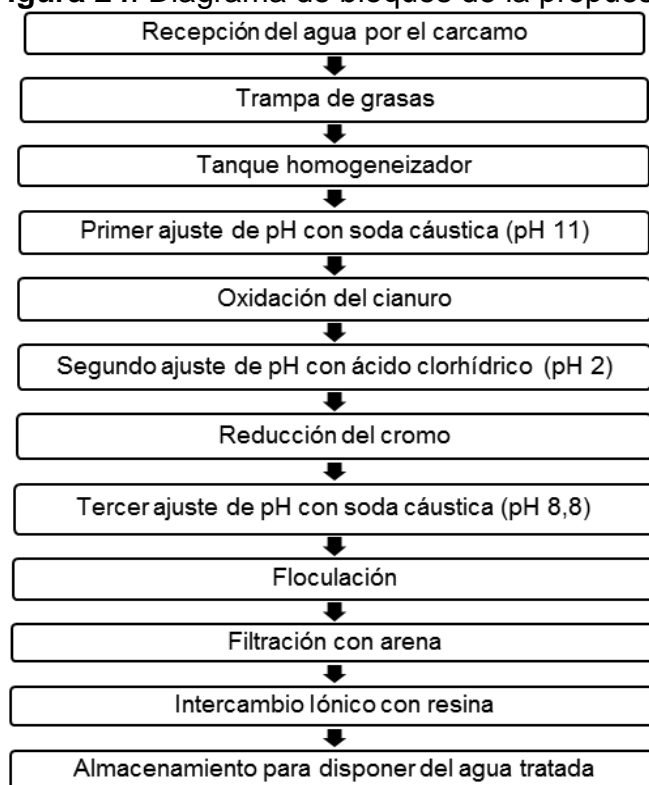
5. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

En este capítulo se presentarán las condiciones técnicas de la alternativa, seleccionando los equipos de cada proceso y las cantidades de cada reactivo o materia prima a utilizar, teniendo en cuenta el desarrollo experimental y los resultados de la caracterización del agua tratada.

5.1 PROCESO PROPUESTO PARA EL TRATAMIENTO

La figura 24 describe mediante un diagrama de bloques el proceso completo para el tratamiento del agua residual propuesto en la alternativa seleccionada.

Figura 24. Diagrama de bloques de la propuesta

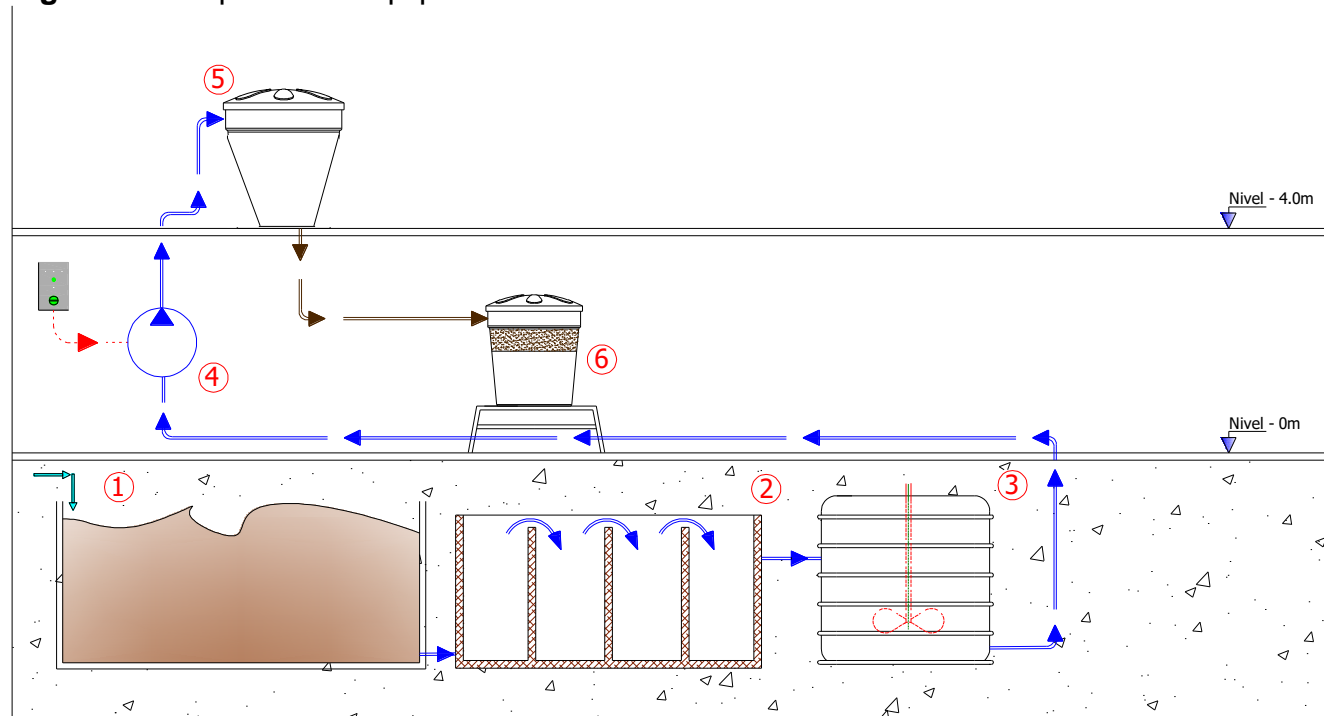


5.2 ESPECIFICACIONES PREVIAS

- El tratamiento al agua residual se realizará de manera manual y tipo batch.
- El pH es el parámetro de control operacional que tendrá el tratamiento entre cada proceso.
- El agua tratada se reutilizará industrialmente en los enjuagues de los procesos de desengrase y decapado.

- La empresa ZINTEPEC LTDA., cuenta con un sistema de almacenamiento y tratamiento primario del agua residual que consta de un cárcamo, una trampa de grasas, un tanque de homogenización de 5m³, sistema de conducción del agua cruda al tanque de proceso, tanque con capacidad 2m³ para realizar el proceso químico y tanque de recolección de lodos, lo que se ilustra en la figura 25.

Figura 25. Esquema de equipos existentes



A continuación, se enlistan los equipos existentes según la numeración otorgada en la figura 24 y se describe el funcionamiento de cada uno.

1. Cárcamo: Este recolecta y almacena el agua residual de los procesos de recubrimientos electrolíticos.
2. Trampa de grasas: Tiene un volumen de 1m^3 , con tres baffles y tres pasa muros en concreto, revestida con cerámica para que resista los pH bajos.
3. Tanque homogeneizador: También fabricado en concreto, revestido con cerámica para que resista los pH bajos, con capacidad de 5m^3 , almacena el agua cruda después de pasar por la trampa de grasa y homogeneiza el agua por medio de un agitador.
4. Motobomba y tubería: Transportan el agua cruda al tanque para proceso químico, Motobomba de 1HP., altura máxima manométrica 15 m., la tubería es de PVC Ø1"
5. Tanque de sedimentación: Tanque comercial, fabricado en polietileno con capacidad de 2m^3 que servirá para realizar los ajustes de pH, la oxidación, la reducción y la floculación.
6. Tanque de recolección de lodos: En el primer piso se ubica este tanque que cuenta en su interior con una bolsa o manga de poliamida para filtrar los lodos resultantes de la sedimentación presentada durante el proceso de floculación. Su capacidad es de $0,22\text{m}^3$. Los lodos producidos la empresa los dispone a una compañía certificada.

5.3 CANTIDAD DE MATERIA PRIMA Y TIEMPOS DE OPERACIÓN

Mediante el desarrollo experimental se puede establecer la cantidad requerida de reactivo en cada proceso, para tratar $1.73\text{m}^3/\text{día}$ que es caudal de agua residual que se obtiene a diario en la empresa.

En la tabla 27, se presentan las cantidades necesarias de materia prima, junto con los tiempos de reacción y en el ANEXO G, se pueden ver los cálculos correspondientes.

Todos los ajustes de pH, la oxidación, la reducción y la floculación se realizan en el tanque de proceso con agitación continua. Estableciendo, un tiempo de sedimentación de 3 horas para luego pasar el agua clarificada a la filtración y al intercambio iónico.

Tabla 27. Cantidades necesarias de cada materia prima

Materia Prima	Cantidad (kg/día)	Tiempos Reacción (min)
Hidróxido de sodio al 99% (1 ^{er} ajuste pH)	5,88 (kg/día)	15
Hipoclorito de sodio al 13%	5,04 (L/día)	30
Ácido clorhídrico al 37% (2 ^{do} ajuste pH)	6,55 (L/día)	15
Bisulfito de sodio	1,73 (kg/día)	30
Hidróxido de sodio al 99% (3 ^{er} ajuste pH)	5,19 (kg/día)	15
Floculante	$2,77 \times 10^{-3}$ (kg/día)	10
Agua destilada	$3,46 \times 10^{-3}$ (kg/día)	

5.4 DIMENSIONAMIENTO Y SELECCIÓN DE EQUIPOS

Para los procesos de la propuesta de reutilización se procede con el dimensionamiento y la selección de los equipos necesarios para la agitación, la floculación (tanque de sedimentación), la filtración, el intercambio iónico y disposición del agua a reutilizar.

5.4.1 Trampa de grasas. El paso del agua por este tanque permite la remoción de grasas y aceites provenientes del desengrasado de las piezas, este proceso evita taponamiento de las tuberías y el arrastre de grasas a los procesos siguientes de tratamiento.

La trampa de grasas que tiene la empresa tiene como medidas 1,8m x 0,8m x 0,7m y un volumen de 1m³. Teniendo en cuenta el caudal de operación 40L/min (19,2m³/d) se determina la carga hidráulica superficial (C.H.S) en la ecuación 11.

Ecuación 11. Carga hidráulica superficial

$$C.H.S = \frac{Q}{A_{TG}}$$

Donde,

C.H.S: Carga hidráulica superficial

Q: Caudal de operación

A_{TG}: Área superficial de la trampa de grasas

Reemplazando valores en la ecuación 11, la carga hidráulica superficial es de 13,33m³/d/m².

$$C.H.S = \frac{19,2\text{m}^3/\text{d}}{1,8\text{m} * 0,8\text{m}} = 13,33 \frac{\text{m}^3/\text{d}}{\text{m}^2}$$

El área superficial de la trampa de grasas y el caudal de operación si cumplen lo que establece el Reglamento Técnico Del Sector De Agua Potable Y Saneamiento Básico Ras-2000, título E tratamiento de aguas residuales, donde se indica que debe existir un área superficial de 0,25 m² de trampa de grasas por cada litro por segundo de caudal¹⁴⁸, ya que la trampa existente tiene una relación entre el área y el caudal de 2,16 m² por L/s, cumpliéndose lo que establece el reglamento.

5.4.2 Tanque de sedimentación. En esta sección se determinarán las dimensiones necesarias para el tanque de sedimentado tomando un volumen de agua de 1,73m³.

¹⁴⁸ REGLAMENTO TÉCNICO DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BASICO RAS - 2000. Título E Tratamiento De Aguas Residuales. 2000. p.28

En el tanque de sedimentado se realizan los procesos de ajustes de pH, oxidación, reducción y floculación. Al final de esta parte del tratamiento se obtiene agua clarificada que pasara al filtro y lodos que serán eliminados por la parte inferior del tanque.

Para determinar el diámetro del tanque se despeja el diámetro de la ecuación del volumen de un cilindro (ecuación 12) y se tiene en cuenta: la relación altura-diámetro de 1,5¹⁴⁹, un factor de seguridad de 15% y el volumen del tanque (ecuación 13).

Ecuación 12. Volumen del tanque

$$V_{tanque} = 1,73m^3 + (1,73m^3 * 0,15) = 1,99m^3$$

Ecuación 13. Volumen del cilindro

$$V_{cilindro} = \frac{\pi}{4} * D^2 * h$$

Donde,

D: Diámetro del tanque

h: Altura del tanque (se toma con la relación h/D de 1,5)

Despejando el diámetro de la ecuación 12 y remplazando los valores

$$D = \sqrt[3]{\frac{4 * V_{tanque}}{\pi * 1,5}} = \sqrt[3]{\frac{4 * 1,99m^3}{\pi * 1,5}} = 1,19m$$

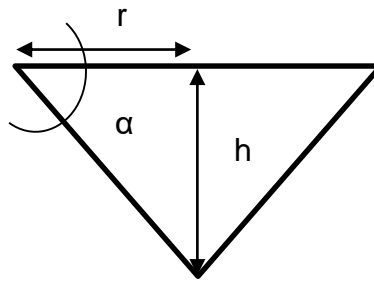
El diámetro del tanque debe ser de 1,19m con respecto al volumen del tanque de la ecuación 11 y de la relación h/D de 1,5.

Para la sección cónica del tanque de sedimentación (figura 26) se establece un ángulo de 45° respecto a la horizontal¹⁵⁰ y con la ecuación 14 se puede definir la altura de esta sección.

¹⁴⁹ ROMERO ROJAS. Tratamiento de aguas residuales: teoría y principios de diseño. Op. cit., p. 1093

¹⁵⁰ Hernández Arizala Diana, Leal Paula. Ingeniería básica para una planta de tratamiento de aguas residuales en cárnicos rico jamón. Fundación Universidad de América. Ingeniería Química. 2009, p 86.

Figura 26. Sección cónica del tanque de sedimentación



Ecuación 14. Ángulo de inclinación

$$\tan \alpha = \frac{h}{r}$$

Donde,

α : Grados de inclinación

h : Altura sección cónica

r : Radio de la sección cónica o del tanque

Despejando h de la ecuación 14 y reemplazando valores.

$$h = r * \tan \alpha = \frac{1,19m}{2} * \tan 45^\circ = 0,595m$$

La sección cónica tiene una altura de 0,595m. Al tener la altura de la sección cónica se determina su volumen en la ecuación 15.

Ecuación 15. Volumen del cono

$$V_{cono} = \frac{\pi}{3} * r^2 * h = \frac{\pi}{3} * \left(\frac{1,19m}{2}\right)^2 * 0,595m = 0,22m^3$$

El volumen del cono determinado fue 0,22m³. Con el volumen del tanque y del cono se halla el volumen del cilindro (ecuación 16), con este volumen del cilindro y la ecuación 12 se determina la altura del cilindro.

Ecuación 16. Volumen del cilindro

$$V_{cilindro} = V_{tanque} - V_{cono} = 1,99m^3 - 0,22m^3 = 1,77m^3$$

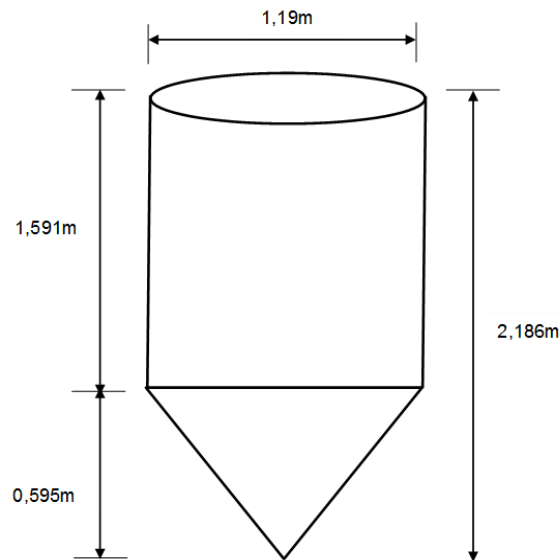
$$h_{cilindro} = \frac{4 * V_{cilindro}}{\pi * D^2} = \frac{4 * 1,77m^3}{\pi * (1,19m)^2} = 1,591m$$

El volumen del cilindro fue de $1,77\text{m}^3$ y la altura fue de $1,591\text{m}$. La altura total del tanque de sedimentación se calcula sumando la altura del cilindro y la altura de la sección cónica.

$$h_{total} = h_{cilindro} + h_{cono} = 1,591\text{m} + 0,595\text{m} = 2,186\text{m}$$

La altura total del tanque es de $2,186\text{m}$, en la figura 27 se observan todas las dimensiones del tanque de sedimentación.

Figura 27. Dimensiones del tanque sedimentador










5.4.3 Agitador mecánico. Para realizar la selección del agitador mecánico utilizado en el tanque de proceso se presentan los datos de entrada conocidos en la tabla 28 suministrados por la empresa.

Tabla 28. Datos de entrada conocidos

Parámetro	Valor
Fluido a agitar	Agua residual
Densidad del fluido	1043 kg/m^3
Viscosidad del fluido	$0,00121 \text{ kg/m*s}$
Diámetro del tanque	$1,52 \text{ m}$
Altura del tanque (incluida la tapa)	$1,83 \text{ m}$
Tapa del tanque	Curva
Fondo del tanque	Plano
Volumen de llenado	$1,73 \text{ m}^3$
Velocidad de agitación (experimentación)	40 a 120 rpm
Datos suministrados por la empresa	

5.4.3.1 Tipo de impulsor. En el mercado nacional se encuentran varios tipos de impulsores para agitación, estas se clasifican según tamaño, velocidad de trabajo, proceso y volumen del depósito a agitar. La tabla 29 muestra los tipos de impulsores y especificaciones técnicas y comerciales de NOVATEC FLUID SISTEM S. A.¹⁵¹ que es un reconocido fabricante de Sistemas y equipos para el manejo, control, dosificación y agitación de fluidos, por medio de las cuales se realiza la selección del tipo de impulsor.

Tabla 29. Especificaciones técnicas de impulsores para agitación mecánica

Nombre	Imagen	Especificación	Valor	Unid	Aplicaciones
Hélice marina para bajos caudales		Ø impulsor Velocidades Potencia Volumen	de 128 a 160 de 900 a 1750 Hasta 1,5 500	Mm Rpm kW L	Mezcla sencilla de líquidos
Turbina de 4 palas inclinadas		Ø impulsor Velocidades Potencia Volumen	de 200 a 800 de 73 a 140 Hasta 3 de 200 a 10000	Mm Rpm kW L	Disoluciones, reactivos, lechadas, suspensión de lodos.
Propela curva de 3 palas		Ø impulsor Velocidades Potencia Volumen	de 200 a 1800 de 40 a 315 Hasta 22 Hasta 150	Mm Rpm kW m ³	Homogeneización, Suspensión de lodos, polímeros, floculaciones,
Propela gran caudal		Ø impulsor Velocidades Potencia Volumen	de 400 a 1500 Hasta 355 Hasta 30 Hasta 500	mm Rpm kW m ³	Homogeneización, Suspensión de lodos, polímeros, floculaciones,
Propela bipala		Ø impulsor Velocidades Potencia Volumen	de 300 a 3600 Hasta 70 Hasta 2,2 Hasta 500	mm rpm kW m ³	Floculaciones, mezcla lenta, lodos biológicos, homogeneización
Propela escualizable (alas plegables)		Ø impulsor Velocidades Potencia Volumen	de 300 a 540 de 100 a 250 Hasta 1,5 Hasta 1000	mm rpm kW L	Homogeneización mezcla rápida, preparación de Polímeros, disoluciones.
Agitador horizontal Propela gran caudal		Ø impulsor Velocidades Potencia Volumen	de 250 a 600 Hasta 290 Hasta 11 de 10 a 400	mm Rpm Kw m ³	Homogeneización suspensión de lodos, disoluciones.

NOVATEC FLUID SYSTEM S.A. [Electronic(1)]. [Consultado el 10/272017].
Disponible en: <http://novatecfs.com/>. Adaptado por autor.

¹⁵¹ NOVATEC FLUID SYSTEM S.A. [Electronic(1)]. [Consultado el 10/272017]. Disponible en: <http://novatecfs.com/>

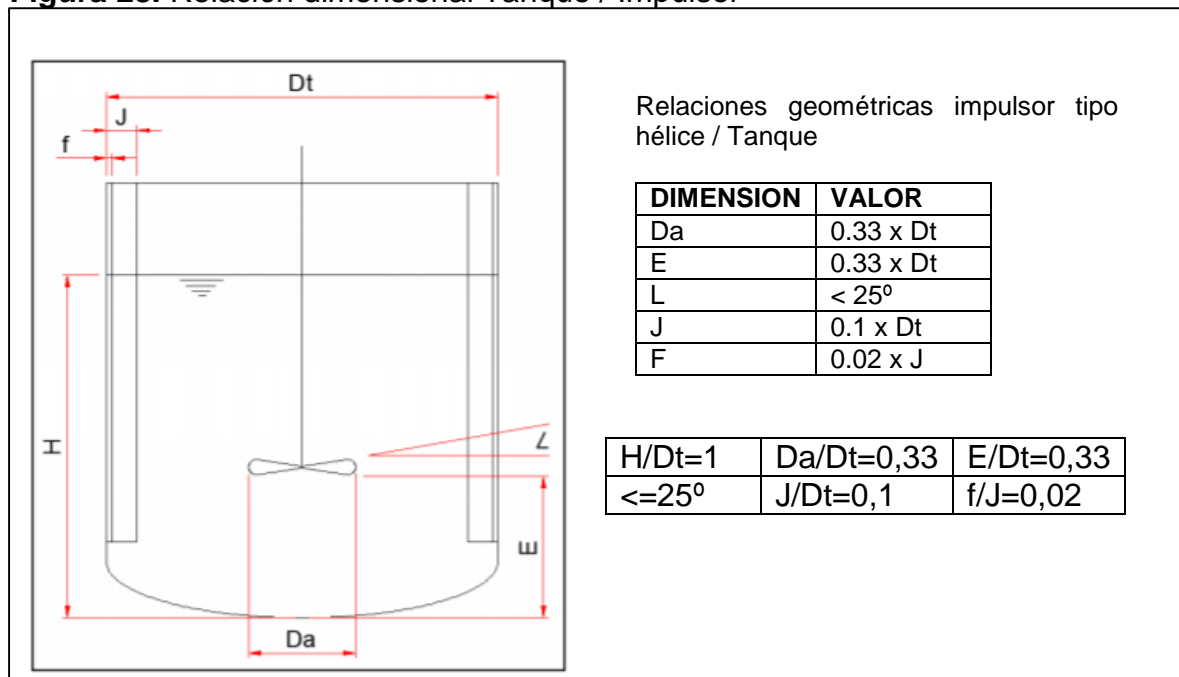
De los datos para la selección del impulsor, el más relevante es la velocidad, dado que está definida desde la experimentación entre 40 y 120 rpm. Se realiza un primer filtro por este parámetro arrojando como resultado que los únicos tipos de impulsor que cumplen son:

- Propela curva de 3 palas, que trabaja entre 40 y 315 rpm
- Propela gran caudal, que funciona entre 0 y 355 rpm
- Agitador horizontal Propela gran caudal que funciona entre 0 y 290 rpm.

El siguiente parámetro a tener en cuenta es el volumen que en este caso es de 1.73m^3 por lo cual se descarta el impulsor "Agitador horizontal Propela gran caudal" ya que el volumen máximo de depósito es de 400m^3 . Ahora bien, teniendo en cuenta el \varnothing del impulsor que hasta el momento es desconocido se prefiere trabajar con el impulsor tipo "Propela curva de 3 palas" ya que tiene un rango más amplio de diámetro de trabajo permitido.

5.4.3.2 Dimensiones del impulsor. Para los cálculos de dimensionamiento y potencia de la propela curva de 3 palas, se establece que el impulsor es de tipo hélice. En la figura 28, se indica la relación entre las dimensiones del tanque y las dimensiones del impulsor.¹⁵²

Figura 28. Relación dimensional Tanque / Impulsor



CASTILLO URIBE, Vladimir. Diseño y Cálculo De Un Agitador De Fluidos. Chile: Universidad del Bío-Bío, 2013. Modificado por autor

¹⁵² CASTILLO URIBE, Vladimir. Diseño y Cálculo De Un Agitador De Fluidos. Chile: Universidad del Bío-Bío, 2013. p. 29.

Con las relaciones de la figura 28 y el diámetro del tanque $D_t = 1,52m$ (tabla 28), se determinan las dimensiones del impulsor.

Entonces,

El diámetro del agitador, D_a , se determina por la ecuación 17.

Ecuación 17. Diámetro del agitador

$$D_a = 0.33 * 1,52m = 0,502m$$

La distancia entre el fondo del tanque y el agitador (E), es calculada por la ecuación 18.

Ecuación 18. Distancia del agitador al tanque

$$E = 0.33 * 1,52m = 0,502m$$

Al tener la distancia (E) es posible determinar la longitud mínima del eje del agitador con la ecuación 19.

Ecuación 19. Longitud del eje

$$Long. Eje = Altura tanque - E$$

$$Long. Eje = 1,83m - 0,502m = 1,328m$$

Las dimensiones J y f no se tienen en cuenta en este caso, ya que corresponden a los deflectores en el tanque, y no es viable instalarlos en un tanque comercial de polietileno.

5.4.3.3 Potencia de trabajo requerida. Para calcular la potencia requerida para el trabajo se realiza gráficamente con la relación del número de Reynolds (ecuación 20) y número de potencia.

- Número de Reynolds (N_R).

Ecuación 20. Número de Reynolds

$$N_R = \frac{N * D_a^2 * \rho}{\mu}$$

Donde,

N : Velocidad de rotación en Revoluciones por segundo (rps), se toma la mayor velocidad de trabajo con el fin de realizar el cálculo con la condición menos favorable para el motor.

D_a : Diámetro del agitador

ρ : Densidad del fluido
 μ : Viscosidad del fluido

Reemplazando los valores en la ecuación 20.

$$N_R = \frac{2rps * 0,502m^2 * 1043 \frac{kg}{m^3}}{0,00121 \frac{kg}{ms}} = 434446,5$$

El valor del número de Reynolds define si el carácter del fluido es turbulento o laminar. De la siguiente manera:

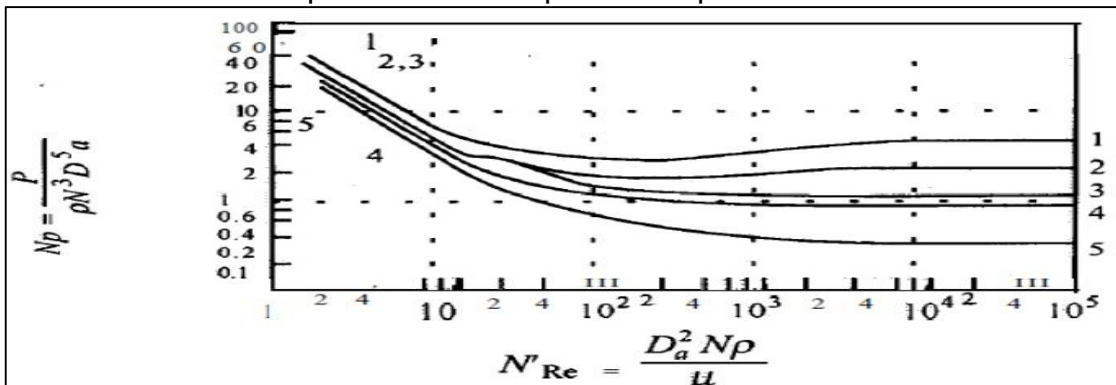
Régimen laminar: $N_R < 10$
 Régimen transitorio: $300 < N_R < 10000$
 Régimen turbulento: $N_R > 10000$

El valor del Reynolds es mayor a 10000 por lo tanto el fluido presenta un régimen turbulento.

- Número de Potencia

Mediante el número (N_R) y la gráfica 7, se determina el número de potencia (N_p). Se utiliza la curva No 5 del gráfico, la cual corresponde a un propulsor (propela) en posición angular sin deflectores en el tanque. Se establece de esta forma que el número de potencia es 0,37.

Gráfica 7. Curvas experimentales de potencia N_p



Correlaciones de potencia para diversos impulsores y deflectores (véase las dimensiones D_a , D_t , J y W).
Curva 1. Turbina de seis aspas planas; $D_a/W = 5$; cuatro deflectores cada uno con $D_t/J = 12$.
Curva 2. Turbina abierta de seis aspas planas; $D_a/W = 8$; cuatro deflectores con $D_t/J = 12$.
Curva 3. Turbina abierta de seis aspas a 45° ; $D_a/W = 8$; cuatro deflectores con $D_t/J = 12$.
Curva 4. Propulsor; inclinación $2D_a$. cuatro deflectores con $D_t/J = 10$; también es válida para el mismo propulsor en posición angular y desplazado del centro sin deflectores.
Curva 5. Propulsor; inclinación = D_a . Cuatro deflectores con $D_t/J = 10$; también es válida para un propulsor en Posición angular desplazada del centro sin deflectores.

Procesos de transporte y operaciones unitarias. Geankopolis.

- Potencia

Al tener el número de potencia (N_p), se calcula la potencia con la ecuación 21.

Ecuación 21. Potencia

$$P = N_p * N^3 * D_a^5 * \rho$$

Donde,

N_p : Numero de potencia

N : Velocidad de rotación

D_a : Diámetro del agitador

ρ : Densidad del fluido

Reemplazando los valores en la ecuación 21.

$$P = 0,37 * 2rps^3 * 0,502m^5 * 1043 \frac{kg}{m^3} = 98,4 W$$

La potencia requerida es

$$P = 98,4W$$

En la tabla 30, se presentan las especificaciones técnicas para el agitador requerido, tomando en cuenta los datos y las dimensiones calculadas.

Tabla 30. Especificaciones técnicas del agitador seleccionado
Características Del Agitador

Producto	Agitador mecánico giratorio
Tipo de soporte	Marco soportado al piso (por ser tanque plástico)
Potencia	98,4 W
Voltaje	220 V
Velocidades	40 y 120 rpm
Material agitador y eje	Acero inoxidable 304
Longitud de eje	1,33 m
Tipo de agitador	Propela curva de tres palas
Diámetro del agitador	0.5 m

5.4.4 Filtro de arena. Luego de los procesos de óxido-reducción y floculación que se realizan en el tanque de proceso, se procede con la filtración. La filtración realizada es bajo presión por lo que se denomina filtración rápida, en donde las velocidades de filtración van de 120 a 150 m³/día¹⁵³.

¹⁵³PÉREZ, José M. Avances En Filtración. [Print(0)]: p. 11

A continuación se presenta el dimensionamiento del filtro: con la ecuación 22¹⁵⁴ se halla el número de filtros necesario para el caudal de 40L/min (19,2 m³/d).

Ecuación 22. Número de filtros

$$n = 0,044\sqrt{Q}$$

Donde,

n : Número de filtros

Q : Caudal total en m³/d

Reemplazando valores en la ecuación 22.

$$n = 0,044\sqrt{19,2m^3/d} = 0,192 \cong 1 \text{ filtro}$$

Para este caudal se requiere un filtro de arena. Luego para hallar el área superficial del filtro se utiliza la ecuación 23¹⁵⁵ despejando el área superficial.

Ecuación 23.Tasa de filtración

$$q = \frac{Q}{A_s}$$

Donde,

q : Tasa de filtración. Para filtros rápidos es 120m/d¹⁵⁶

Q : Caudal total en m³/d

A_s : Área superficial

Despejando el área superficial de la ecuación 23 y reemplazando los valores

$$A_s = \frac{Q}{q} = \frac{19,2m^3/d}{120m/d} = 0,16m^2$$

El filtro tendrá 0,2m de ancho, 0,8m de largo y una profundidad del medio filtrante de 0,65m

5.4.5 Proceso de intercambio iónico. Luego de pasar el agua tratada por el filtro de arena se lleva a la columna de intercambio iónico, en este proceso el objetivo principal es eliminar los iones metálicos que aún queden en el agua. Para el dimensionamiento del intercambiador se utiliza la información de la resina *Lewatit*

¹⁵⁴ Villegas de Brigard, María Paulina. Purificación De Aguas: Ejercicios. Colombia. Escuela Colombiana de Ingeniería, 2007. p. 99

¹⁵⁵ ROMERO ROJAS. Purificación del agua. Op. cit., p. 188.

¹⁵⁶ *Ibíd.*, p. 201.

Mono Plus TP 207 (ANEXO E).

Para determinar el volumen del lecho de la resina V_R , se despeja de la ecuación 24¹⁵⁷ que es la tasa de flujo de servicio (SFR) que tiene la resina.

Ecuación 24. Tasa de flujo de servicio

$$SFR = \frac{Q}{V_R}$$

Donde,

SFR (*Service Flow Rate*): Tasa de flujo de servicio de la resina

Q : Caudal de operación

V_R : Volumen del lecho de la resina

Despejando V_R y reemplazando valores de la ecuación 24.

$$V_R = \frac{Q}{SFR} = \frac{2,4 \frac{m^3 \text{ agua}}{h}}{25 \frac{m^3 \text{ agua}}{m^3 \text{ resina} * h}} = 0,096 m^3$$

Al volumen de resina hallado es de $0,096 m^3$, a este se le aplico un factor de seguridad de 15% (ecuación 25), quedando un volumen de resina de $0,11 m^3$.

Ecuación 25. Volumen de la resina

$$V_R = 0,096 m^3 + (0,096 m^3 * 0,15) = 0,11 m^3$$

La resina utilizada establece mínimo una altura del lecho (h_l) de $1 m^3$, con esta medida y el volumen del lecho de la resina, despejando de la ecuación 26, se define el área de paso de la columna.

Ecuación 26. Volumen del lecho de la resina

$$V_R = A_C * h_l$$

Donde,

V_R : Volumen del lecho de la resina

A_C : Área de paso de la columna

h_l : Altura del lecho

¹⁵⁷ AGAMEZ SALVADOR, Carlos Ignacio. Diseño De Un Sistema De Intercambio Catiónico De Lecho Fijo Para La Potabilización De Agua En El Corregimiento De Malagana (Bolívar). Cartagena de Indias, D. T. Y C: Universidad de San Buenaventura Seccional Cartagena, 2014. p.56

Despejando el área de paso de la columna de la ecuación 26 y reemplazando los valores se define un área de $0,11m^3$.

$$A_c = \frac{V_R}{h_l} = \frac{0,11m^3}{1m} = 0,11m^2$$

Con la ecuación del área (ecuación 27) se despeja y determina el diámetro de la columna.

Ecuación 27. Área de paso de la columna

$$A_c = \frac{\pi * D^2}{4}$$

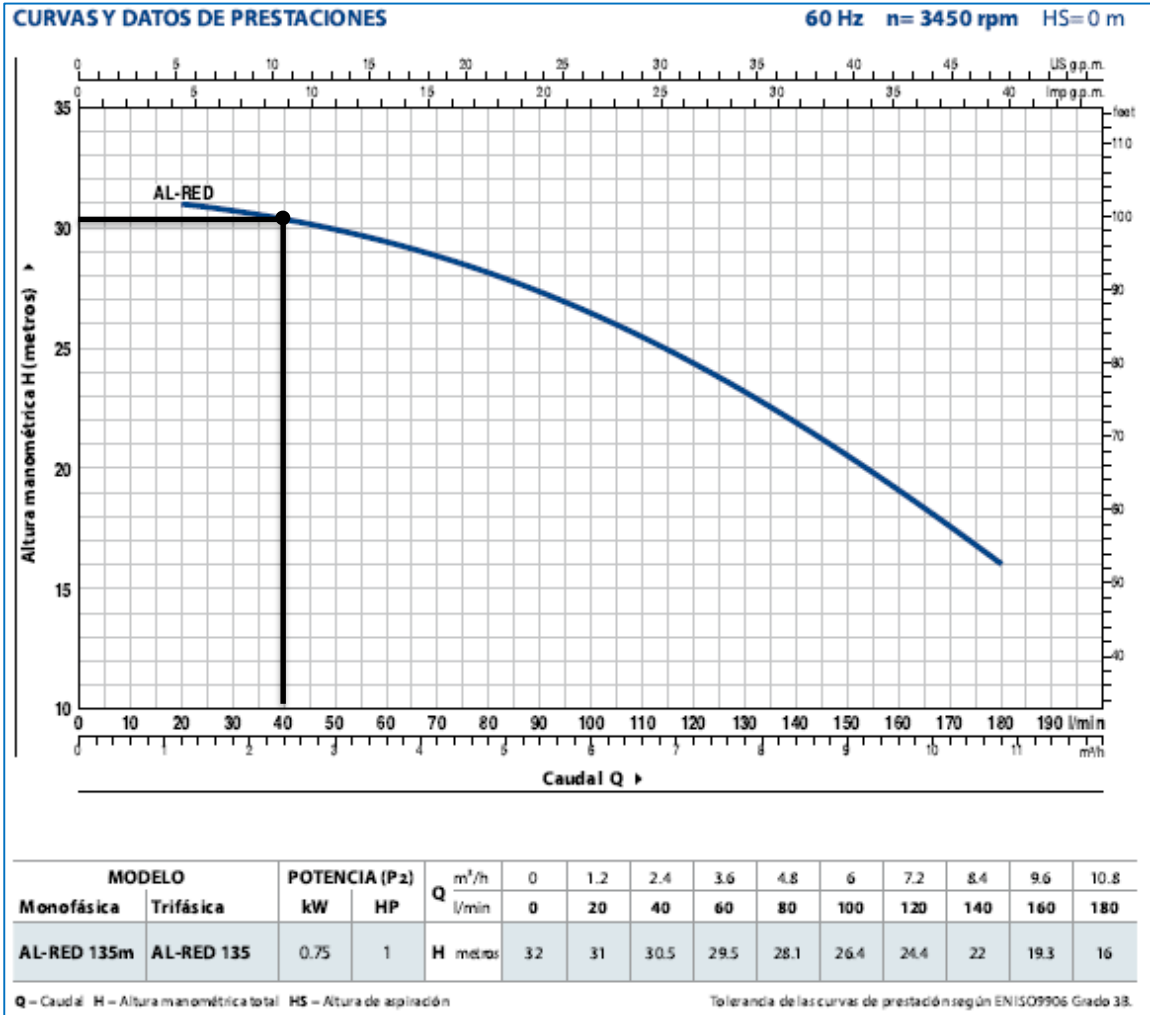
$$D = \sqrt{\frac{A_c * 4}{\pi}} = \sqrt{\frac{0,11m^2 * 4}{\pi}} = 0,37m$$

El diámetro de la columna es de 0,37m.

5.4.6 Bomba para transporte de agua. El recorrido del agua que impulsara la bomba seleccionada va desde el tanque de proceso hasta el tanque de almacenamiento de $5m^3$ pasando por el filtro de arena y el intercambiador.

Se selecciona la Electrobomba ref.: AL RED 135 marca PEDROLLO, (ANEXO H) por ser una Electro bomba comercialmente fácil de encontrar, los elementos que hacen contacto con el fluido son en acero inoxidable 304 lo que lo hace resistente a la acides de los químicos presentes y de acuerdo con sus especificaciones técnicas (grafica 8) cumple con los requerimientos de capacidad. El caudal a trabajar es de 40L/min, con una altura manométrica de 30m, una potencia de 750W.

Gráfica 8. Especificaciones técnicas electrobomba modelo AL Red 135



PEDROLLO S.p.A.

5.4.7 Tanque de almacenamiento de agua tratada. Se selecciona un tanque comercial de 5m³ fabricado en polietileno (figura 32). Esta capacidad permite tener suficiente agua tratada disponible para ser reutilizada en el proceso. (ANEXO H)

Figura 29. Tanques plásticos comerciales



	A	B	C	D	E
250 Lt.	54	72	79	87	95
500 Lt.	78	98	104	92	103
1000 Lt.	91	119	128	131	148
2000 Lt.	111	143	152	169	185
5000 Lt.	173	207	218	194	215
10000 Lt.	220	240	252	245	273

Dimensiones en cms.



coval.com.co

5.4.8 Tubería de Conducción y válvulas de paso de proceso. La tubería conductora debe ser de material PVC (Policloruro de Vinilo), la cual por no ser sensible a la corrosión es resistente a los químicos que podemos encontrar en el proceso.

Según los requerimientos de la electrobomba seleccionada, se debe usar tubo Ø1.1/4" en la entrada de esta y Ø1" a la salida de esta, así entonces.

- La tubería desde la salida del tanque de proceso hasta la electrobomba será Ø1.1/4"
- La tubería desde la electrobomba hasta el tanque de almacenamiento será de Ø1", incluyendo la conexión entre el filtro de arena y el intercambiador por resina catiónica
- La tubería de distribución del agua tratada será de Ø1".

El sistema contará con válvulas de paso tipo bola en la entrada del filtro de arena, del intercambiador catiónico, y en el final del proceso para la entrega a discreción de la necesidad de agua tratada al proceso. (ANEXO H)

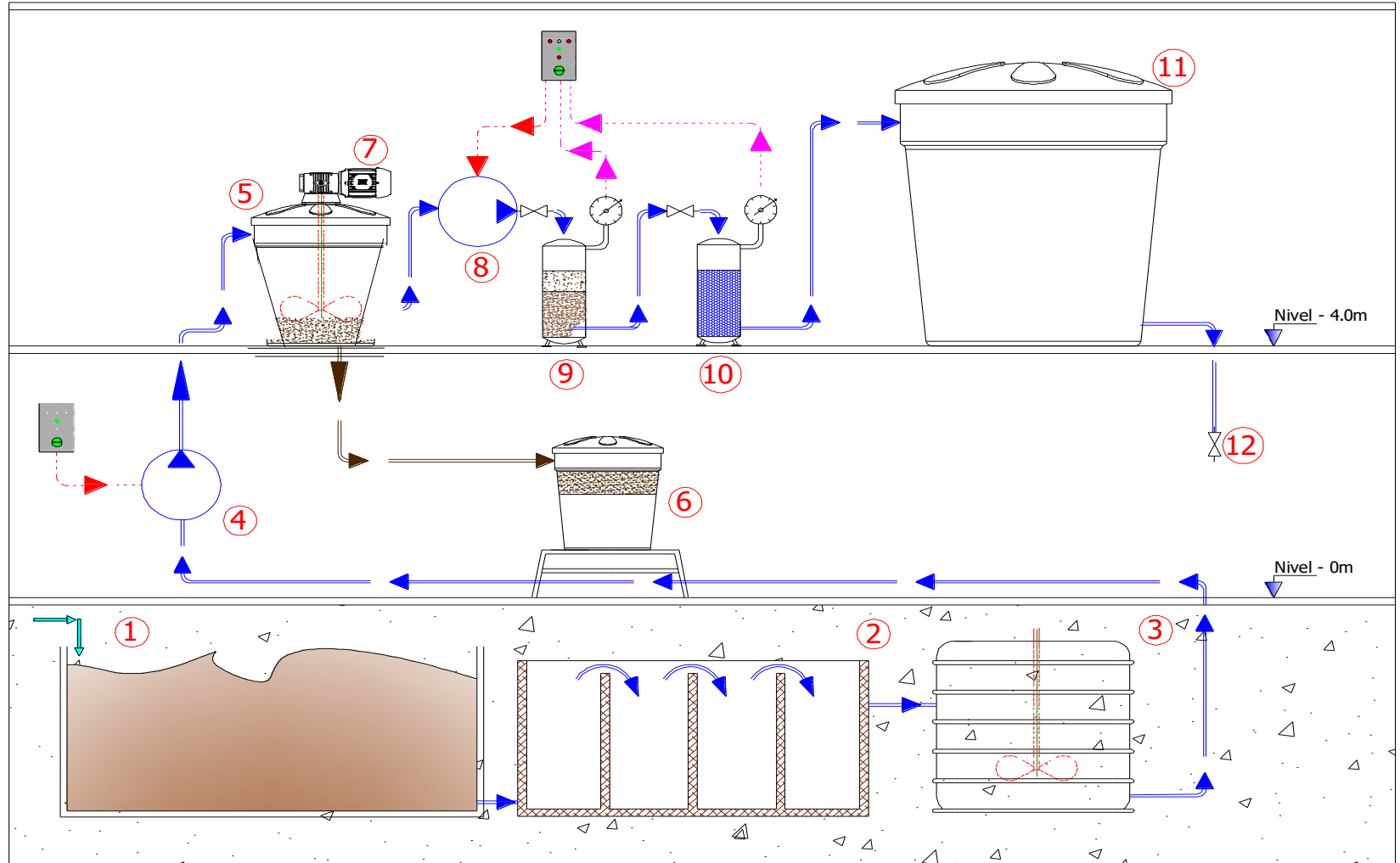
5.5 ESQUEMA DE DISTRIBUCION DE PLANTA

En la tabla 31 se presenta el listado de los equipos del esquema general de la propuesta (figura 33).

Tabla 31. Listado de equipos de la planta

Lista De Equipos		
ITEM	CANT	DESCRIPCION
1	1	CARCAMO DE RECOLECCION (Existente)
2	1	TRAMPA DE GRASAS, DIMENSIONES 1.8 X 0.8 X 0.7 (Existente)
3	1	TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE AGUA CRUDA 5m ³ CON HOMOGENIZADOR (Existente)
4	1	ELECTRO BOMBA CENTRIFUGA, POTENCIA 1HP, ALTURA MAXIMA 15m (Existente)
5	1	TANQUE DE PROCESO 2000 L., CON DE EVACUACION DE LODOS (Existente)
6	1	TANQUE DE RECOLECCION DE LODOS CON MEDIO FILTRANTE (Existente)
7	1	AGITADOR MECANICO PARA HOMOGENIZADO EN TANQUE DE PROCESO
8	1	BOMBA CENTRIFUGA POTENCIA 1HP, ALTURA MAXIMA 30m A 40 l/min
9	1	FITRO DE ARENA Ø13" X 54", DE 29 A 37 L/min
10	1	INTERCAMBIADOR IONICO Ø13" X 54", DE 28 A 40 L/min
11	1	TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE AGUA TRATADA CAP. 5000 L
12	3	VALVULA DE PASO DE BOLA MANUAL PARA CONTROL EN PROCESO

Figura 30. Esquema de distribución de planta



5.6 REUTILIZACIÓN DEL AGUA TRATADA

El balance hídrico permitió determinar la cantidad de agua residual disponible a reutilizar diariamente por parte de la empresa que es de 1,73m³ (tabla 11). Esta agua residual se trató por medio del proceso fisicoquímico (ajustes de pH, oxidación, reducción, floculación, filtración, intercambio iónico) que se desarrolló y evaluó en el capítulo cuarto. De los parámetros evaluados, el cromo y el zinc no estuvieron dentro de los límites permitidos por la norma de reutilización, la Resolución 1207 del 2014 y el zinc fue el único parámetro que no cumplió la norma de vertimientos, la Resolución 631 de 2015. Este incumplimiento posiblemente se presentó por dejar en el tercer ajuste de pH un valor de 7 en donde la precipitación de los metales no fue completa.

Al incumplir con el límite permitido de estos dos parámetros evaluados no es posible reutilizar el agua, por lo que se recomienda para un cumplimiento total de las normas aumentar el pH del último ajuste hasta un valor entre 8,5 a 9, siendo este el rango adecuado para la precipitación del zinc, del cromo y los demás metales como lo sugiere Germán López en su artículo Las Caras del agua subterránea¹⁵⁸.

Luego de hacer la corrección en el pH y teniendo presente los equipos necesarios y sus dimensiones correspondientes, es posible llevar a cabo su reutilización industrial del agua residual tratada, al distribuirla del tanque de almacenamiento, a los tanques de los enjuagues de los procesos de desengrase y decapado de los tres recubrimientos que se efectúan. De esta manera se estaría disminuyendo el consumo de agua diario y se cumplirían las normas vigentes, convirtiéndose la empresa ZINTEPEC LTDA en un ejemplo de producción limpia y ambiental para este sector y sus clientes.

¹⁵⁸ LÓPEZ, Germán Alfonso Galarza. Las Caras Del Agua Subterránea: Congreso, En Memoria De Germán Alfonso Galarza López. IGME, 2001. [Electrónico] Disponible en: <<https://books.google.com.co/books?id=gw595pVWYUC&pg=PA50&dq=curva+solubilidad+del+zn&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwi2jZD8jJHXAhVE5CYKHSDsDaEQ6AEIMTAC#v=onepage&q=curva%20solubilidad%20del%20zn&f=false>> [citado en agosto 12 de 2017] p. 50.

6. COSTOS DE LA PROPUESTA

En este capítulo se determinará el costo de inversión (*CAPEX*) y de operación (*OPEX*) de la propuesta, considerando los equipos seleccionados y las cantidades de materia prima establecidos previamente.

6.1 COSTO DE INVERSIÓN (*CAPEX*)

CAPEX o *Capital Expenditures* es el capital que la empresa gasta en adquirir equipos, edificios o vehículos para aumentar y mejorar la productividad de la misma.¹⁵⁹ En la tabla 32, se presenta el *CAPEX* de la propuesta, que es el costo de adquisición de los equipos y el montaje de la planta. (cotizaciones ANEXO H)

Tabla 32. Tabla de costos totales de la inversión de la propuesta

Equipo	Cantidad	V/Unitario	V/Total
Agitador mecánico potencia 183W	1	\$ 3.600.000	\$ 3.600.000
Bomba centrifuga Potencia 1hp	1	\$ 1.351.900	\$ 1.351.900
Filtro de arena 13" x 54"	1	\$ 882.900	\$ 882.900
Suavizador por intercambio iónico	1	\$ 882.900	\$ 882.900
Tanque de almacenamiento 5000 L	1	\$ 2.667.900	\$ 2.667.900
Válvula manual de paso de Bola	3	\$ 35.900	\$ 107.700
Servicio de montaje planta. (Incluye tubería y accesorios)	1	\$ 2.400.000	\$ 2.400.000
		Costo Total	\$ 11.893.300

6.2 COSTO DE OPERACIÓN (*OPEX*)

OPEX o *Operating Expense* es el costo continuo para el funcionamiento de un producto, negocio o sistema¹⁶⁰. Para la propuesta se consideran los costos de materia prima y los costos de servicios públicos.

6.2.1 Costo de materias primas. En primer lugar, se determinan la cantidad mensual (22 días) requerida de las materias primas para el proceso, en la tabla 33

Tabla 33. Cantidad de materias primas por mes

Materia Prima	Cantidad Diaria	Cantidad Mensual
Hidróxido de sodio al 99%	11,07 kg	243,54 Kg
Hipoclorito de sodio al 13%	6,09 kg	133,98 Kg
Ácido clorhídrico al 37%	7,79 kg	171,38 Kg
Bisulfito de sodio	1,73 kg	38,06 Kg
Floculante polímero aniónico	0,00277 kg	0,06094 Kg
Agua destilada	0,00346 kg	0,07612 Kg

¹⁵⁹ MERLO, YOLANDA. Qué Es El CAPEX y Por Qué Es Importante Para La Pyme. Cinco Días. Madrid. 8/08.

¹⁶⁰ ENERGYST. CAPEX frente a OPEX. [Electrónica (1)]. [Consultado el 11/22017]. Disponible en: <https://www.energyst.com/es/noticias/capex-frente-a-opex/>

En la tabla 34 se presenta la cantidad necesaria de arena sílice y resina.

Tabla 34. Cantidad necesaria de arena sílice y resina

Materia Prima	Cantidad Anual
Arena sílice	63,04 kg
Resina catiónica	121 kg

Al tener las cantidades necesarias de materias primas se calcula su costo mensual y anual en la tabla 35. (cotizaciones ANEXO H).

Tabla 35. Costos de las materias primas

Producto	V/Unit	Presentación	V/Total Mensual	V/Total Anual
Hidróxido de sodio al 99%	\$ 5.100	1kg	\$ 1.242.054	\$ 14.904.648
Hipoclorito de sodio al 13%	\$ 2.050	1kg	\$ 274.659	\$ 3.295.908
Ácido clorhídrico al 37%	\$ 1.609	1kg	\$ 275.750	\$ 3.309.005
Bisulfito de sodio	\$ 2.900	1kg	\$ 110.374	\$ 1.324.488
Floculante polímero aniónico	\$ 30.275	1kg	\$ 1.845	\$ 22.140
Agua destilada	\$ 11.800	1kg	\$ 898	\$ 10.776
Arena sílice	\$269	1kg	-	\$16.958
Resina catiónica	\$92600	121kg	-	\$11.204.600
TOTAL			\$ 1.905.580	\$34.088.523

El costo de las materias primas por año es de \$34.088.523 pesos.

6.2.2 Costo de servicios públicos. En la propuesta el único servicio público que se requiere es la energía eléctrica, que está involucrada en el motor del agitador y en la bomba. Para la empresa ZINTECPEC LTDA el valor del kWh es de \$440. En la tabla 36, se presenta el costo y consumo de energía eléctrica para cada equipo.

Tabla 36. Costo del consumo de energía eléctrica

EQUIPO	CANTIDAD	TIEMPO DE TRATAMIENTO (h)	TRATAMIENTOS POR MES	POTENCIA DEL EQUIPO (kW)	V/TOTAL MENSUAL	V/TOTAL ANUAL
Motor del agitador	1	1,92	22	0,098	\$1.821	\$21.857
Bomba	2	0,72	22	0,75	\$10.454	\$125.425
				TOTAL	\$12.275	\$147.282

El costo total de consumo energético al año es de \$ 147.282 pesos.

El costo total de operación anualmente es de \$34.235.805 pesos.

7. CONCLUSIONES

- Se diagnosticó el agua residual de los procesos de recubrimientos electrolíticos, permitiendo determinar que el volumen promedio de agua a reutilizar es de 1,73 m³, pero por contener 24,6 mg CN /L de cianuro total, 2,43 mg Cu /L de cobre, 32,46 mg Cr /L de cromo, 45,47 mg Fe /L de hierro, 20,60 mg Ni /L de níquel, 4,06 unidades de pH, 200,75 mg Zn /L de zinc, 1154 mg O₂ /L de DQO y 900 mg O₂ /L de DBO₅, no está en condiciones de ser reutilizada sobrepasando los límites permitidos de la Resolución 1207 del 2014 e incumpliendo también con los límites máximos permitidos por la resolución de vertimientos 631 del 2015.
- Se plantearon tres alternativas con sus características correspondientes de manera teórica, para seleccionar la que permitiera la reutilización de agua residual según las condiciones de la empresa y la normativa vigente. Estas alternativas se evaluaron en diferentes criterios, utilizando un método determinístico con la matriz de selección y uno probabilístico con el complemento de Excel, *Crystal Ball*. Se escogió la alternativa C (ajustes de pH, oxidación, reducción, floculación, filtración e intercambio iónico), por presentar el mayor puntaje 3,87, la menor desviación estándar 3,59 y el menor coeficiente de varianza 0,0514. Se identificó, que los criterios con mayor influencia sobre la alternativa fueron: la inversión, la factibilidad de implementación, el mantenimiento y el consumo energético.
- El desarrollo a nivel experimental de la alternativa seleccionada, permitió establecer que el floculante que mejor aglomeración presentó fue el polímero aniónico y también permitió determinar las cantidades necesarias de reactivos para tratar 1,73 m³ de agua residual en cada proceso: 5,88 kg de hidróxido de sodio al 99% para el primer ajuste de pH, 5,04 L de hipoclorito de sodio al 13% para la oxidación, 6,55 L de ácido clorhídrico al 37% para el segundo ajuste de pH, 1,73 kg de bisulfito de sodio para la reducción, 5,19 kg de hidróxido de sodio al 99% para tercer ajuste de pH y 0,00346 L de solución de polímero aniónico L-1538 para la floculación.
- El agua tratada a nivel laboratorio presentó los siguientes porcentajes de remoción de los parámetros evaluados: cianuro total 100%, cobre 84,65%, cromo 99,34%, hierro 99,79%, níquel 99,95%, zinc 93,23%, DQO 92,04%, DBO₅ 98,86% y 6,93 unidades de pH. De estos parámetros los únicos que no cumplieron la normativa vigente de reutilización 1207 del 2014, aunque obtuvieron alta eficiencia de remoción, fueron el cromo y el zinc. Sin embargo, el cromo si cumple la resolución de vertimientos 631 del 2015 y el único parámetro evaluado que no cumple esta resolución de vertimientos es el zinc.

- Se definieron las especificaciones técnicas de la propuesta a partir del desarrollo experimental, teniendo en cuenta los equipos existentes en la empresa (cárcamo, trampa de grasas, tanque homogeneizador, bomba, tanque de proceso y filtro de lodos). Estableciendo un caudal de 40 L/min y un tiempo de 3 horas para la sedimentación, se seleccionaron los siguientes equipos: un agitador propela curva de tres palas para el tanque de proceso, un filtro de arena, un intercambiador iónico, otra bomba de 1HP de potencia, con 30m de altura manométrica, tres válvulas de paso tipo bola, el tanque de almacenamiento de agua de 5m³ de polietileno para la distribución del agua tratada y tubería en PVC de Ø1.1/4" para la entrada de la bomba y de Ø1" para la salida de la bomba. Se realizó un esquema de distribución para todos los equipos.
- Se estableció que el costo de inversión de la propuesta es de \$11.893.300 pesos y que el costo de operación que incluye las materias primas y consumo energético es de \$34.235.805 pesos al año.

8. RECOMENDACIONES

- Para conseguir la máxima eficiencia de la planta no es recomendable tratar menos agua que la indicada en el proceso diario (1.73m^3), esto haría que la planta produzca menos agua por el mismo costo de mantenimiento y energía eléctrica.
- Aunque los elementos que hacen contacto con el agua son fabricados en material resistente a la acides propia del proceso, se debe en lo posible no dejar residuos de agua contaminada en estos elementos durante mucho tiempo.
- Realizar análisis y evaluación de la dosificación necesaria de hipoclorito de sodio en la oxidación del cianuro, para optimizar el consumo del reactivo obteniendo un ahorro económico.
- Hacer mantenimiento preventivo periódico a los motores de las bombas y agitador con el fin de revisar y evitar que los rodamientos sean atacados por los ácidos pues esto puede forzar los motores lo que produce pérdida de vida útil y hasta daño instantáneo por sobrecalentamiento.
- Realizar controles periódicos en el agua tratada para reutilizarse, permitiendo evaluar y analizar la calidad de la misma, el funcionamiento de los equipos, evitando dosificaciones incorrectas de los reactivos.
- Estudiar la composición de los lodos y proponer un proceso para la recuperación de los metales retenidos.
- Realizar capacitación completa al operario encargado de realizar el tratamiento, para que se cumplan las condiciones de reutilización, al dosificar las materias primas y manipular los equipos.
- Proponer la automatización del proceso para disminuir el tiempo de tratamiento.

BIBLIOGRAFÍA

ABRIL PIERNAGORDA, Diebar Weimar y LÓPEZ CASTRO, Alexander. Ingeniería Básica De Una Planta a Escala Piloto Para El Tratamiento De Aguas Residuales En La Empresa Quimaplic Ltda. Mediante El Método De Electrocoagulación. Bogotá.: Universidad de América, 2009. p. 101-106.

ACOSTA NIÑO, Gema Eunice, et al. LA ELECTROCOAGULACIÓN COMO UN TRATAMIENTO EFICIENTE PARA LA REMOCIÓN DE METALES PESADOS PRESENTES EN AGUAS RESIDUALES. En: REVISTA FACULTAD DE CIENCIAS BASICAS. vol. 9, no. 2.

AGAMEZ SALVADOR, Carlos Ignacio. Diseño De Un Sistema De Intercambio Catiónico De Lecho Fijo Para La Potabilización De Agua En El Corregimiento De Malagana (Bolívar). Cartagena de Indias, D. T. Y C.: Universidad de San Buenaventura Seccional Cartagena, 2014.

ALZATE, Adriana. Guía de Producción Más Limpia para el sector de recubrimientos electrolíticos en Colombia. En: GUÍA DE PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA PARA EL SECTOR DE RECUBRIMIENTOS ELECTROLÍTICOS EN COLOMBIA. CENTRO NACIONAL DE PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA (2010).

AMADO DUARTE, Diana Carolina y GUTIERREZ GONZALEZ, Zahira Tathianna. Evaluación Técnica Para La Recuperación y Reutilización De Las Aguas Residuales Industriales De La Empresa FANTAXIAS LTDA Por Resinas De Intercambio Iónico. Bucaramanga.: Universidad Industrial de Santander, 2006.

[Anónimo] La Membrana De Osmosis Inversa - Catálogo y Características [Consultado el 5/29/2017]. Disponible en: <http://www.osmosisinversafiltroagua.com/la-membrana/>

ARELLANO DÍAZ, Javier. Introducción a La Ingeniería Ambiental. 2002.

ARUNDEL, John y GONZÁLEZ, Vicente San José. Tratamiento De Aguas Negras y Efluentes Industriales. España: Acribia S.A, 2000.

BAUTISTA TRIANA, Deissy Johanna y NIETO ZARATE, Duvan Ernesto. Desarrollo De La Propuesta Para El Tratamiento De Las Aguas Residuales De La Empresa Extrusiones SCHULER LTDA. Bogotá D. C.: Universidad de América, 2011.

BENAVIDES MORENO, Jose Alberto. Diseño De Planta De Tratamiento De Agua De Osmosis Inversa Para La Empresa Dober Osmotech De Colombia Ltda. UNIVERSIDAD AUTONOMA DE OCCIDENTE, SANTIAGO DE CALI.: Ingeniería Biomédica, 2011.

CAMARGO ORTIZ, Juan Pablo. Remoción De Metales Pesados Presentes En Aguas Residuales a Través Del Proceso De Electrocoagulación. Universidad Militar Nueva Granada, 2016.

CASTELLS, Xavier Elías. Tecnologías Aplicables Al Tratamiento De Residuos: Reciclaje De Residuos Industriales. Ediciones Díaz de Santos, 2012.

CASTILLO, Marta y MELIGENI, Daniel. Introducción a La Química, Módulo De Seminarios De Problemas y Trabajos Prácticos De Laboratorio. Mar del Plata: Universidad FASTA-Biblioteca, 2011.

CASTILLO URIBE, Vladimir. Diseño y Cálculo De Un Agitador De Fluidos. Chile.: Universidad del Bío-Bío, 2013. p. 29.

CENTRO DE ECONOMÍA VERDE. Agencia de Protección Ambiental. Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires. Investigación Sobre El Sector Productivo Galvanoplastias. Buenos Aires.

CHAI, Xijun, et al. Pilot scale membrane separation of electroplating waste water by reverse osmosis. En: JOURNAL OF MEMBRANE SCIENCE. vol. 123, no. 2, p. 235

CHEREMISINOFF, Nicholas P. Handbook of Water and Wastewater Treatment Technologies. Butterworth-Heinemann, 2001.

COLOMBIA, Equipo Profesional de Propel Fundes y Ministerio del Medio Ambiente. Guía De Buenas Practicas Para El Sector Galvanotecnia. 2001.

CORREDOR FORERO, Héctor Diego y DIAZ AREVALO, Elkin Alberto. Alternativa Para La Disminución De Metales Pesados En Los Efluentes De Proceso De La Industria Galvánica Galvanotecnia. Bogotá.: Universidad de América, 2011.

CONSTITUCIÓN POLÍTICA DE COLOMBIA 1991.

CREUS SOLÉ, Antonio. Fiabilidad y Seguridad De Procesos Industriales. Marcombo, 1991.

DAMA. ACERCAR. Manual Para Empresarios De La PYME. Galvanotécnica: Planes De Acción Para El Mejoramiento Ambiental. Edición Juan Darío Baquero ed. Bogotá D.C: Santafé de Bogotá, 1999. 81 p. ISBN 671.732 G15g

DÁVILA SULBARÁN, Diana Carolina y RINCÓN VELÁSQUEZ, Nicolás. Diseño De Un Sistema a Nivel Piloto Para La Remoción Del Hierro y El Manganeseo Por Debajo De La Concentración Letal Media (CL 50-48) Para Daphnia Magna. Universidad de la Salle, 2011.

EMPRESA PARA LA GESTIÓN DE RESIDUOS INDUSTRIALES. Aplicaciones Del Manual Media a Sectores Industriales: Sector Tratamiento De Superficies. Escuela de Organización Industrial, 1999. ISBN 9788488723307

ENERGYST. CAPEX Frente a OPEX. [Electrónica (1)]. [Consultado el 11/2/2017]. Disponible en: <https://www.energyst.com/es/noticias/capex-frente-a-opex/>

ESPAÑOLA, Real Academia. Diccionario De La Lengua Española. [Electrónica (1)]. [Consultado el 8/01/ 2017]. Disponible en: <http://dle.rae.es/srv/search?m=30&w=trasegar>

FARIÑAS IGLESIAS, Manuel. Osmosis Inversa Fundamentos, Tecnología y Aplicaciones. McGraw-Hill Interamericana de España, 1999. 47 p.

FERNÁNDEZ, Ana María CAMEAN y JIMÉNEZ, Manuel REPETTO. Toxicología Alimentaria. Ediciones Díaz de Santos, 2012.

FRAUME, Néstor Julio; TORRES, Alberto Palomino y RAMÍREZ-AZA, Marcela. Manual Abecedario Ecológico: La Más Completa Guía De Términos Ambientales. Editorial San Pablo, 2006.

GARCÍA OLMOS, Carlos Francisco. Fundamentos y Aplicaciones De Las Tecnologías Limpias Con Membranas En El Tratamiento De Aguas. Colección Tierra y Vida, 2016. 49-53 p.

GAVIRIA, Ana C. y MEZA, Luis A. Análisis de alternativas para la degradación del cianuro en efluentes líquidos y sólidos del municipio de Segovia, Antioquia y en la planta de beneficio de la empresa mineros nacionales, municipio de Marmato, Caldas. En: DYNA. vol. 73, no. 149, p. 37

GIL PAVAS, Edison. Aplicación de la electroquímica en el tratamiento de aguas residuales. En: CUADERNOS DE INVESTIGACIÓN. no. 65.

GÓMEZ LEIVA, Patricia. Degradación De Cianuros Mediante Oxidación Química En Efluentes Industriales. Universidad de Oviedo, 2012.

GONZÁLEZ FERNÁNDEZ, José A. Control De La Corrosión: Estudio y Medida Por Técnicas Electroquímicas. Consejo Superior de Investigaciones científicas, 1989. 409 p.

GROOVER, Mikell P. Fundamentos De Manufactura Moderna: Materiales, Procesos y Sistemas. Pearson Educación, 1997. 449 p.

HERNÁNDEZ ARIZALA, Diana; LEAL, Paula. Ingeniería básica para una planta de tratamiento de aguas residuales en cárnicos rico jamón. Fundación Universidad de América. Ingeniería Química. 2009, p 86.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Documentación. Presentación de tesis, trabajos de grado y otros trabajos de investigación. NTC 1486. 2008. p. 36.

_____. Referencias bibliográficas. Contenido, forma y estructura. NTC 5613. 2008. p. 33.

_____. Código Colombiano de Fontanería NTC 1500. 2004. p.101

_____. Referencias documentales para fuentes de información electrónicas. NTC 4490. 1998. p.23

INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES. Instructivo Para La Toma De Muestras De Aguas Residuales. [Print(0)]: Toma de muestras de aguas residuales. 2007.

IPEK, Ubeyde. Removal of Ni (II) and Zn (II) from an aqueous solution by reverse osmosis. En: DESALINATION. vol. 174, no. 2, p. 161.

JOHNSTON, H. Kirk. Reverse osmosis rejection of heavy metal cations. En: DESALINATION. vol. 16, no. 2, p. 205.

Junta de Andalucía. Tratamientos Físico-Químicos. 2017.

LÓPEZ GARCÍA, Marta. Estudio Físicoquímico Del Proceso De Reducción-Adsorción De Cr (VI) En Medio Acuoso Sobre Biomateriales De Bajo Coste. La Coruña.: UNIVERSIDADE DA CORUÑA, 2013.

LÓPEZ, Germán Alfonso Galarza. Las Caras Del Agua Subterránea: Congreso, En Memoria De Germán Alfonso Galarza López. IGME, 2001.

MANAHAN, STANLEY E. En: INTRODUCCION A LA QUÍMICA AMBIENTAL.

MARTÍNEZ VELÁSQUEZ, Adriana Paola. Propuesta Para El Mejoramiento Del Tratamiento De Aguas Residuales En ABS CROMOSOL LTDA. Bogotá.: Universidad de América, 2010. p. 100-104.

MARTÍNEZ, R., *et al.* Remoción y Reducción De Cromo (6) En Solución Por La Cáscara De Lichi (Litchi Chinensis Sonn). [Electronic (1)]:Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, M^oéxico: 2012.

MARTÍNEZ, Salvador. Reciclaje y tratamiento de residuos. En: ACTA GEOLÓGICA HISPÁNICA. vol. 30, no. 1, p. 63-72

MÉNDEZ, Ramón, *et al.* Producción Limpia En La Industria De Curtiembre. Santiago de Compostela: Universidad de Santiago de Compostela, 2007. 197 p.

MERLO, Yolanda. Qué es el CAPEX y por qué es importante para la pyme. En: CINCO DÍAS. Madrid. 8/08.

MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. COLOMBIA. Resolución 631 del 2015.

MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. COLOMBIA. Resolución 1207 del 2014

MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Reglamento Técnico Del Sector De Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS. [Electrónica (1)]: [Consultado el 3/03/2017].

MINISTERIO DE DESARROLLO ECONÓMICO. República de Colombia. Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico. Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico RAS - 2000 Sección II. Título E. Tratamiento de aguas residuales.

MORRAL, Facundo Rolf; JIMENO, Emilio y MOLERA, P. Metalurgia General. Reverté, 1985.

NOGUEROL ARIAS, Joan; VALIENTE MALMAGRO, Manuel y MURAVIEV, Dimitri. Tecnologías Limpias Para La Reducción De Contaminantes y La Recuperación De Solutos De Fuentes Hidrominerales Mediante Resinas De Intercambio Iónico. Universidad Autónoma de Barcelona, 2008.

NOVATEC FLUID SYSTEM S.A. [Electrónica (1)]. [Consultado el 10/27/2017]. Disponible en: <http://novatecfs.com/>

ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD. Guía Para Diseño De Sistemas De Tratamiento De Filtración En Múltiples Etapas. Lima: 2005. p. 8

ORELLANA, Jorge. Tratamiento De Las Aguas. UNT-FRRO: 2005.

OROZCO, Carmen, *et al.* Contaminación Ambiental: Una Visión Desde La Química. Paraninfo, 2002.

PÉREZ, José M. Avances En Filtración.

PRESIDENCIA DE LA REPÚBLICA DE COLOMBIA. Decreto-Ley 2811 de 1974. Código de Recursos Naturales. 1974.

PRESIDENCIA DE LA REPÚBLICA DE COLOMBIA. Decreto 3930 De 2010. 2010.

REBOIRAS, MD. Química: La Ciencia Básica. Editorial Paraninfo, 2006

RAMALHO, Rubens Sette; BELTRÁN, Domingo Jiménez y DE LORA, Federico. Tratamiento De Aguas Residuales. Reverté, 1990.

RAMÍREZ PERDOMO, Lina Paola y ZORRILLA RAMÍREZ, Jorge Camilo Roberto. Ingeniería básica para el tratamiento de los vertimientos del proceso de zincado en ASTECNICA LTDA. Bogotá: Universidad de América, 2010. p. 87-90.

RAMÍREZ, Sierra y Ramírez, Carlos Alberto Carlos Alberto Sierra. Calidad Del Agua: Evaluación y Diagnóstico. 2011.

RESTREPO, Ana; ARANGO, Álvaro y GARCÉS, Luis. La Electrocoagulación: retos y oportunidades en el tratamiento de aguas. En: PRODUCCIÓN LIMPIA. vol. 1, no. 2, p. 58-77

RIERA, Josep Boatella. Química y Bioquímica De Los Alimentos II. Ediciones Universidad Barcelona, 2004.

ROMERO ROJAS, Jairo A. Purificación Del Agua. Escuela Colombiana de Ingeniería, 2006.

ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. Tratamiento De Aguas Residuales: Teoría y Principios De Diseño. Santa Fe de Bogotá: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería, 1999. 1232 p. ISBN 9588060133

RUALES GARZÓN, Jonathan. Determinación De Tratamiento Para Destrucción De Cianuro En Efluentes Líquidos Provenientes De La Piscina De Relaves Sólidos De La Planta Svetlana. Universidad Internacional SEK, 2012. p. 6.

SANJUÁN, Manuel Aguilar. Introducción a Los Equilibrios Iónicos. Reverté, 1998.

SANS, Ramón y DE PABLO RIBAS, Joan. Ingeniería Ambiental: Contaminación y Tratamientos. Marcombo, 1989.

TCHAMANGO, Serge, et al. Treatment of dairy effluents by electrocoagulation using aluminium electrodes. En: SCIENCE OF THE TOTAL ENVIRONMENT. vol. 408, no. 4.

TREVIÑO SUÁREZ DEL REAL, Patricia Olivia. Estudio De La Reducción De Iones Cr^{6+} Por Medio De aluminio. México D. F.: Universidad Iberoamericana, 2009.

UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA. Facultad de Ciencias. Anales De La Universidad De La Laguna, Facultad De Ciencias. Secretariado de Publicaciones, Intercambio Científico y Extensión Universitaria, 1967.

UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA. Métodos De Aforo De Aguas Superficiales. [Electrónica (1)]. Disponible en: http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358002/Abastecimiento_Contento_en_linea/leccin_23_mtodos_de_aforo_de_aguas_superficiales.html [Consultado el 18/10/2016]

UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA. Técnicas De Muestreo. [Electrónica (1)]. <http://datateca.unad.edu.co/>. Disponible en: http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358002/Abastecimiento_Contento_en_linea/leccin_27_tcnicas_de_muestreo.html [Consultado el 18/10/2016] VERITAS, Bureau. Manual para la formación en medio ambiente. En: VALLADOLID. EDITORIAL LEX NOVA SA.

VILLEGAS DE BRIGARD, María Paulina. Purificación De Aguas: Ejercicios. Colombia. Escuela Colombiana de Ingeniería, 2007.

WEBER, Walter J. Control De La Calidad Del Agua: Procesos Físicoquímicos. Reverté, 1979.

ANEXOS

ANEXO A. CARACTERIZACIÓN DEL AGUA RESIDUAL CRUDA



ANALQUIM LTDA.
ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS Y CALIDAD DEL AIRE



IDEAM
Instituto de Hidrología,
Meteorología y Estudios Ambientales
RUC - 880 / REC - 17223.2005
Resolución de Acreditación No. 1251-2016 - 2019



CCS
Consejo Colombiano
de Seguridad



RUC
Registro Uniforme
para Contratistas



CCS
CERTIFICADO
ISO 9001
00-155



CCS
CERTIFICADO
ISO 14001
04-178



CCS
CERTIFICADO
ISO 18001
05-774

INFORME DE RESULTADOS DE LABORATORIO

CÓDIGO: 133118

PÁGINA: 1 de 1

SEÑOR(ES): **ZINTEPEC LTDA**

DIRECCIÓN: **KRA 31 NO. 7 - 22**

TELÉFONO: **3005520969**

MUESTRA PROCEDENTE DE : **BOGOTÁ**

DEPARTAMENTO: **CUNDINAMARCA**

LUGAR TOMA DE LA MUESTRA: **TANQUE DE IGUALACION**

PUNTO DE CAPTACIÓN: **TANQUE DE ALMACENAMIENTO**

TIPO DE MUESTRA : **AGUA RESIDUAL**

FECHA DE TOMA DE LA MUESTRA: **23-DIC-2016**

HORA TOMA DE LA MUESTRA: **07:00H**

FECHA RECEPCIÓN DE LA MUESTRA: **23-DIC-2016**

RESULTADOS

ENSAYO	FEC-ANÁLISIS	TECNICA DE ANÁLISIS	REFERENCIA	RESULTADO
a. CIANURO TOTAL	27-DIC-2016	Destilación - Colorimetría	SM 4500 CN-B, C, E	24,6 mg/L CN
a. COBRE	11-ENE-2017	A.A de Llama	SM 3111 B	2,43 mg/L Cu
a. CROMO	11-ENE-2017	A.A de Llama	SM 3111 B	32,46 mg/L Cr
a D.B.O	23-DIC-2016	Incubación 5 días y Electrodo de membrana	SM 5210 B	900 mg/L O2
a. D.Q.O	10-ENE-2017	Reflujo abierto	SM 5220 B	1154 mg/L O2
a. HIERRO	11-ENE-2017	A.A de Llama	SM 3111 B	45,47 mg/L Fe
a. NÍQUEL	11-ENE-2017	A.A de Llama	SM 3111 B	20,60 mg/L Ni
PH	24-DIC-2016	Electrométrico	SM 4500 H-B	4.06 Unidades
a. SÓLIDOS SEDIMENTABLES	24-DIC-2016	Volumétrico - Cono Imhoff	SM 2540 F	<0,1 ml/L
a. ZINC	11-ENE-2017	A.A de Llama	SM 3111 B	200,75 mg/L Zn

No ANÁLISIS 10 --- FIN DEL REPORTE

OBSERVACIONES: Muestra puntual recolectada por el cliente.

Referencia (SM): Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 22d Edition. 2012.

a. Ensayos de laboratorio acreditados en Analquim Ltda. Res. No.1215 del 14 Jun 2016, 2147 del 23 de Sep 2016 y 2828 del 15 de Dic 2016. IDEAM.

El presente documento no podrá ser reproducido total ni parcialmente y es válido únicamente si tiene el sello seco.

Qca. MAGDA JULIETH CASTAÑO ANGEL
DIRECTOR DE LABORATORIO

NOTA:

Los resultados del presente informe hacen referencia únicamente a la muestra analizada.

Bogotá, 20-ENE-2017


FECHA DE EXPEDICIÓN

ANQ-PL-071-1 - Versión 2

El plazo límite para cualquier observación sobre los resultados de este informe, es de 5 días hábiles contados a partir de la fecha de expedición del mismo.

ANEXO B. RECIBO DEL ACUEDUCTO

FACTURA POR 2 MESES



acueducto

AGUA, ALCANTARILLADO Y ASEO DE BOGOTÁ

Línea de atención y emergencias 116 Acalínea
www.acueducto.com.co

62 - 62

Datos del usuario
FIDOLO ANIBAL DAZA DIAZ
KR 31 7 22

INMUEBLE (CORRESPONDENCIA) PUENTE ARANDA PENSILVANIA

ESTRATO: 3 CLASE DE USO: Industrial
UND.HABIT./FAMILIAS: 0 UND. NO HABITACIONAL: 1

ZONA: 3 CICLO: G3 RUTA: G33240

Datos del medidor
MARCA: SIRIUS NÚMERO: 14-3630511 TIPO: VEL0015R160 DIÁMETRO: 1/2"

CUENTA CONTRATO
Número para cualquier consulta **10042292**

Factura de Servicios Públicos No.
Número para pagos **24584933519**

TOTAL A PAGAR
Agua + Alcantarillado + Aseo (ver al respaldo)
+ Cobro a terceros (ver al respaldo) **\$892.870**

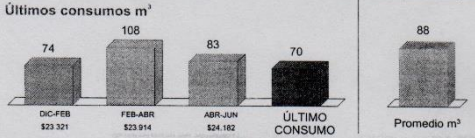
Fecha de pago oportuno SEP/18/2017

Fecha límite de pago para evitar suspensión SEP/21/2017

Datos del consumo

ÚLTIMA LECTURA:	2060	CONSUMO (m³)	70
LECTURA ANTERIOR:	1990		
FACTURADO CON:	Consumo Normal	Descargue fuente alterna	0

Últimos consumos m³



Periodo facturado
JUN/10/2017 - AGO/09/2017


Resumen de su cuenta FECHA DE EXPEDICIÓN SEP/07/2017 FECHA ESPERADA DE LA PRÓXIMA FACTURA NOV/15/2017

Descripción	Cantidad	Costo		(-)Subsidio (+) Aporte	Tarifa Valor Unitario	Valor a Pagar	Otros Cobros							
		Valor Unitario	Valor Total				No.	Cuota	Interés	Total	Saldo			
Acueducto							Ajuste a la Decena							
Cargo fijo residencial														
Consumo residencial básico														
Consumo residencial superior a básico														
Cargo fijo no residencial	1	\$12.644,04	\$12.644	\$3.793	\$16.437,26	\$16.437								
Consumo no residencial (m3)	70	\$2.296,24	\$160.737	\$61.080	\$3.168,81	\$221.817								
Subtotal Acueducto ①							Subtotal Otros Cobros ③							
			\$173.381	\$64.873		\$238.254						\$4-		
Alcantarillado							Otros conceptos que adeuda							
Cargo fijo residencial							Valor Total							
Consumo residencial básico														
Consumo residencial superior a básico														
Cargo fijo no residencial	1	\$5.911,86	\$5.912	\$1.833	\$7.744,54	\$7.745								
Consumo no residencial (m3)	70	\$2.534,71	\$177.430	\$76.295	\$3.624,64	\$253.725								
Subtotal Alcantarillado ②							Total otros conceptos que adeuda							
			\$183.342	\$78.128		\$261.470								
Descuento mínimo vital (12 metros cúbicos sin costo en estrato 1 y 2)							\$0							
TOTAL AGUA, ALCANTARILLADO Y OTROS COBROS ① ② ③ ④						\$499.720	CONSUMO MES AGUA Y ALCANTARILLADO	\$249.862	CONSUMO DÍA AGUA Y ALCANTARILLADO	\$8.192				

La tarifa es el costo más aportes o menos subsidios



Se otorgan subsidios a los estratos 1,2,3 para el consumo básico

Acueducto de Bogotá comprometido con la recuperación del Río Bogotá



CUIDA
tu conexión con la vida

Si evitamos arrojar basura a los cuerpos de agua, aportamos al saneamiento y sostenibilidad de nuestra ciudad.


ANEXO C. ACTA DE REUNIÓN



ZINTEPEC LTDA

IMAGEN DE CALIDAD

ACTA DE REUNIÓN



Propuesta para la reutilización de aguas residuales del proceso de recubrimientos electrolíticos de la empresa ZINTEPEC LTDA.

(Trabajo de grado- Universidad de América)

En Bogotá el día 29 de agosto del 2017 en las oficinas de la empresa ZINTEPEC LTDA ubicada en la Carrera 31 # 7-22, se reunieron ANÍBAL DAZA DÍAZ Gerente General de ZINTEPEC LTDA, LINO BENAVIDES PARRA Ingeniero Mecánico Industrial - Director del Trabajo de Grado y DANIELA ANDREA FRANCO RODRÍGUEZ proyectante, con el fin de conocer las tres alternativas, los criterios y la matriz de selección previa, que presenta la estudiante de Ingeniería Química DANIELA ANDREA FRANCO RODRÍGUEZ, para definir porcentajes a los criterios, evaluar cada alternativa y dar continuidad al trabajo de grado.

Las alternativas presentadas son:

- Alternativa A: control de pH, electrocoagulación, sedimentación y filtración
- Alternativa B: pretratamiento y osmosis inversa
- Alternativa C: óxido-reducción, floculación, precipitación, filtración y adsorción

Los criterios de selección cuantitativos son eficiencia teórica, inversión, mantenimiento o repuestos, consumo energético y los criterios cualitativos son factibilidad de implementación y tiempo del operario.

La matriz de selección es la siguiente:

CRITERIO	ALTERNATIVA A	ALTERNATIVA B	ALTERNATIVA C
Eficiencia teórica	Remueve contaminantes del 95 al 98%	Remueve entre 98% de metales disueltos	Remueve más del 95% de sólidos y metales.
Inversión	Se requiere invertir en la celda para realizar el tratamiento Entre \$3'500.000 y \$5'000.000 de pesos	Es necesario invertir en equipos y su instalación. Entre \$7'000.000 y \$8'000.000 de pesos.	Ya se tiene varios equipos que pueden ser utilizados, se necesita invertir en productos químicos y algunos equipos. Entre \$1'500.000 y \$3'000.000 de pesos.
Factibilidad de implementación	Se requiere adquirir equipos y un espacio de 2m ² para la implementación.	Se requiere adquirir todos los equipos y un espacio de 4m ² para implementación.	Se tiene la mayoría de equipos y ya existe el espacio necesario.
Mantenimiento o repuestos	Los electrodos tienen que cambiarse cada año. Entre \$1'200.000 y \$1'600.000 de pesos al año	Realizar mantenimiento cada 2 o 3 meses. Entre \$3'000.000 y \$3'500.000 pesos al año.	El mantenimiento se realiza anual. No es superior a \$1'000.000 de pesos al año.
Consumo energético	Consume energía por el motor del agitador y la electricidad necesaria para el proceso de electrocoagulación. 3.782 Kw/h anual	Consumo de energía en motor de las bombas y en automatización. 587 kw/h anual	Consumo de energía anual por el motor de la bomba. 308 kw/h anual.
Tiempo de operario	Una hora aproximadamente	Una hora aproximadamente	Dos horas aproximadamente

SERVICIOS DE RECUBRIMIENTO ELECTROLÍTICOS : ZINCADO - CROMO - PAVONADO - FOSFATADO - COBRIZADO
Y SERVICIO DE PULIMENTO

CARRERA 31 N° 7 - 22 TELS.: 247 05 15 - 247 05 25 TELEFAX: 277 07 40 BOGOTA, D.C.

E-mail:zintepec_ltlda@hotmail.com



ZINTEPEC LTDA

IMAGEN DE CALIDAD

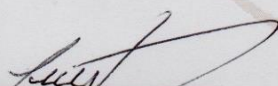


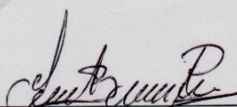
Luego, con base a la matriz elaborada por la estudiante, se definieron los porcentajes a cada criterio y se prosiguió a calificar cada alternativa. Los criterios cuantitativos se evaluaron de 1 a 5. Siendo deficiente y 5 excelente; y los criterios cualitativos se evaluaron en bueno, regular y malo.

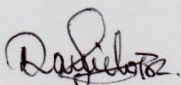
A continuación, se presenta la matriz con las calificaciones determinadas para de cada alternativa y los porcentajes de los criterios.

CRITERIO	PORCENTAJE	ALTERNATIVA A	ALTERNATIVA B	ALTERNATIVA C
Eficiencia teórica	8%	5	5	4
Inversión	6%	3	1	4
Factibilidad de implementación	27%	Regular	Malo	Bueno
Mantenimiento o repuestos	26%	4	3	5
Consumo energético	11%	1	3	4
Tiempo de operario	22%	Bueno	Bueno	Malo

Teniendo en consideración la matriz de calificación de los criterios propuesta por la empresa, esta será la base para la selección posterior de la alternativa a seguir. La presente una vez leída y aprobada, se termina y firma por los que en ella participaron.


Aníbal Daza Díaz
Gerente General


Lino Benavides Parra
Ingeniero Mecánico Industrial
Director Trabajo de Grado


Daniela Andrea Franco Rodríguez
Proyectante - Universidad de América

ANEXO D. PREPARACIÓN DE SOLUCIONES Y DOSIFICACIÓN

- **Solución de NaOH al 10% p/p**

Se utiliza hidróxido de sodio al 99% y la densidad del agua para preparar una solución de 250ml. Con el siguiente cálculo (ecuación 28) se determina la cantidad de NaOH requerida.

Ecuación 28. Cantidad de hidróxido de sodio

$$10\% \left(\frac{250g}{99\%} \right) = 25,3 \text{ g NaOH}$$

Entonces, se disolvió 25,3g de NaOH en 250ml de agua destilada.

- **Calculo cantidad de hipoclorito de sodio**

Para determinar la cantidad de NaClO que se adiciona a una muestra de 500ml, se realiza el siguiente cálculo (ecuación 29) teniendo en cuenta la relación 12,5g NaClO:1g CN, que el hipoclorito de sodio está al 13% p/p y que hay 24,6mg de CN en el agua residual.

Ecuación 29. Cantidad de hipoclorito de sodio

$$0,5L \left(\frac{24,6mg \text{ CN}}{L} \right) \left(\frac{1g}{1000mg} \right) \left(\frac{12,5g \text{ NaClO}}{1g \text{ CN}} \right) \left(\frac{100ml}{13g \text{ NaClO}} \right) = 1,2 \text{ ml NaClO}$$

- **Solución de HCl al 10% v/v**

Con la ecuación 30, se determina el volumen de HCl para preparar la solución, al utilizar HCl al 37%.

Ecuación 30. Dilución

$$C_1 * V_1 = C_2 * V_2$$

Donde,

C_1 : concentración al 37% del HCl

V_1 : volumen del HCl al 37%

C_2 : concentración al 10% de HCl

V_2 : volumen de la solución de HCl al 10%

$$V_1 = \frac{C_2 * V_2}{C_1} = \frac{10\% * 100ml}{37\%} = 27ml$$

Por lo tanto, se agregan 27ml de HCl al 37% en 100ml de agua destilada.

- **Solución de bisulfito de sodio al 10% y al 50%**

Para establecer la cantidad de NaHSO₃ requerida (ecuación 31), se prepara la solución de bisulfito de sodio al 10% teniendo en cuenta la densidad del agua.

Ecuación 31. Cantidad de bisulfito de sodio

$$10\% \left(\frac{500g}{100\%} \right) = 50g \text{ NaHSO}_3$$

Es decir que a 500ml de agua destilada se agregan 50g de NaHSO₃ para la solución al 10% y para la solución al 50%, en 500ml se agregan 250g de NaHSO₃.

- **Preparación de floculantes en solución al 0,08%p/p**

Para determinar la cantidad de floculante se utiliza la ecuación 32, considerando la densidad del agua. Tomando una concentración de los floculantes de 0,08% p/p siendo esta la solución disponible en el laboratorio.

Ecuación 32. Cantidad de floculante

$$0,08\% \left(\frac{1000g}{100\%} \right) = 0,8g \text{ de floculante}$$

Por lo tanto, la preparación del floculante es agregar 0,8g mientras se hace agitación constante en un litro de agua destilada, hasta conseguir una mezcla homogénea.

La concentración de la solución se define por la ecuación 33, en donde primero se convierte los gramos de floculante a miligramos para obtener la concentración en partes por millón.

Ecuación 33. Concentración del floculante

$$\frac{800mg}{1L} = 800ppm$$

El Volumen que se agrega de floculante en el ensayo de jarras se establece por la ecuación 30. Este cálculo se realiza para todos los ensayos de jarras con los volúmenes de muestra correspondiente.

En donde,

C_1 : concentración del floculante en solución inicial

V_1 : volumen del floculante necesario a la concentración inicial

C_2 : concentración del floculante en la jarra

V_2 : volumen de muestra en la jarra

Por ejemplo, para una jarra a 250ml se quiere adicionar 8ppm de floculante de la solución previamente preparada. El volumen se determinaría de la siguiente manera:

$$V_1 = \frac{C_2 * V_2}{C_1}$$

$$V_1 = \frac{8ppm * 250ml}{800ppm} = 2,5ml$$

El volumen necesario de la solución de floculante en este caso es de 2,5 ml.

- **Índice de floculación de Willcomb**

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

http://www.ingenieriasanitaria.com/web15/manual3/ma3_cap3.pdf

ANEXO E. FICHAS TÉCNICAS



LIPESA 1538

POLIMERO ANIÓNICO

- Ideal para la deshidratación mecánica de lodos inorgánicos o minerales.
- Aplicable a una gran variedad de aguas y efluentes industriales.
- Trabaja en un rango amplio de pH: 1.0 – 12.0
- Fácilmente emulsionable en agua.
- Excelente relación costo-rendimiento: Trabaja a dosis muy bajas

Usos principales

LIPESA 1538 ha sido especialmente formulado para ser utilizado en la deshidratación mecánica de lodos, provenientes de procesos de clarificación y espesamiento de efluentes industriales, especialmente los minerales. LIPESA 1538 tiene también aplicación en la clarificación y espesamiento de aguas industriales y muchos otros procesos como el papelero y azucarero.

Descripción General

LIPESA 1538 es un polímero sólido de "muy alto peso molecular", fuertemente aniónico, con las siguientes características:

Forma:	Sólido
Color:	Blanco
Olor:	Inodoro
Densidad:	800 Kg/m³ aprox.
Solubilidad:	1.0% en agua.
Viscosidad:	2000 cPs aprox. a 5.0g/l
	1000 cPs aprox. a 2.5 g/l
	300 cPs aprox. a 1.0g/l

Dosis

Las dosis de LIPESA 1538 varía de acuerdo al tipo de proceso y efluente tratado. Las dosis típicas son:

- Deshidratación mecánica: 10 - 150 g/m³
- Espesamiento y clarificación: 0.05 – 30 g/m³

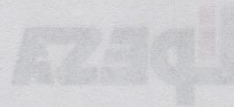
En todo caso, el Representante Técnico LIPESA le asesorará en el establecimiento de la dosis adecuada a su situación particular.

Modo de empleo y alimentación

LIPESA 1538 se debe alimentar de manera continua al proceso, en un punto de buena agitación y mezcla, utilizando bombas de dosificación de acero dulce o cualquier otro material. Para obtener el mejor rendimiento del producto, se debe preparar en soluciones hasta un 0.5% de concentración y alimentar luego al 0.1% de concentración como máximo.

El tiempo de preparación de las soluciones de LIPESA 1538 es de 40 minutos. Se recomienda realizarlo de la siguiente manera:

- Agregarlo lentamente al agua mientras se agita. Esto evita la formación de grumos o apelmazamiento.
- Agitar suavemente durante 10 – 15 minutos
- Dejar en reposo durante 5 -10 minutos.
- Y finalmente, agitar por 15 – 20 minutos



Despacho y almacenamiento

LIPESA 1538 se despacha en bolsas de 25 Kg y 750Kg. Se recomienda almacenarlo en un lugar seco y fresco. Mantener los envases cerrados para evitar la hidratación. No almacenar por más de doce meses en planta.

Manejo y Seguridad

LIPESA 1538 no presenta riesgos en su manejo. Como todo producto químico, evite el contacto con piel y ojos. No lo ingiera. En caso de contacto con los ojos, piel y ropa, lavarse con mucho agua. Si se presenta irritación en los ojos, acudir inmediatamente a un medico.

RM - 08/07
Rev. 0

Forma:	Sólida
Color:	Blanco
Olor:	Industria
Densidad:	300 Kg/m ³ aprox.
Solubilidad:	1.0% en agua.
Viscosidad:	1000 cps aprox. a 25°C 1000 cps aprox. a 25°C 300 cps aprox. a 10°C

Nota: Las dosis de LIPESA 1538 varían de acuerdo al tipo de proceso y eficiencia del sistema. Las dosis típicas son:

- Deshidratación mecánica: 10 - 150 g/m²
- Espesamiento y clarificación: 0.05 - 30 g/m³

En todo caso, el Responsable Técnico LIPESA le asesorará en el establecimiento de la dosis adecuada a su situación particular.

Modo de empleo y almacenamiento
LIPESA 1538 se debe almacenar de manera continua al proceso, en un punto de buena agitación y mezcla, evitando cualquier tipo de deposición de fondo, dulce o cualquier otro material. Para obtener el mejor rendimiento del producto, se debe preparar las soluciones hasta un 0.2% de concentración y elevar luego al 0.1% de concentración como máximo.

El tiempo de preparación de las soluciones de LIPESA 1538 es de 45 minutos. Se recomienda realizarlo de la siguiente manera:

- Agregar lentamente el agua mientras se agita. Esto evita la formación de grumos o espesamiento.
- Agitar suavemente durante 10 - 15 minutos.
- Que el tiempo dure 5 - 10 minutos.
- Y finalmente, agitar por 15 - 20 minutos.

ARENA SILICE

ESPECIFICACIONES Y FICHA TECNICA



CARACTERISTICAS

La arena sílice esta constituida por granos duros, semi redondos y densos de material cuarzo en un 98% de pureza, resistente a la degradación durante su manipulación y uso. Se encuentra visiblemente libre de arcilla, polvo, materiales orgánicos y micáceos. (NTC 2572)

TAMAÑO EFECTIVO (T.E—D10)

Es el tamaño de la abertura que deja pasar solo el 10% (en peso) del material, es representada en rangos y se encuentra disponible en T.E $1 \pm 0,05\text{mm}$.

ARENA STANDARD	T.E 0,45 - 0,55mm
ARENA TORPEDO	T.E 0,90 - 1,30mm

COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD (C.U—D60)

Es la relación calculada entre el tamaño de la abertura que solo deja pasar el 60%, entre la abertura que solo deja pasar el 10% (T.E) El C.U es = ó < de 1.60.

DUREZA

Es la resistencia que ofrece su superficie lisa a la abrasión, se mide en un ensayo de dureza y es de 7 en la escala de MOH.

PRESENTACION

Su presentación es en sacos de polipropileno de 50 Kg./s

UNIDADES DE MEDIDA

UNIDAD	KILOS	SACOS
TONELADA	1.000	20
M ³	1.500	30

Visitenos en www.carbyfilco.com y encuentre

- Instrucciones de Instalación
- Material Data Shett
- Controles de Granulometría
- Obras Instaladas

COMPONENTES FISICO- QUIMICOS

HUMEDAD	0.04
SOLUBILIDAD EN HCL	0.30
SOLUBILIDAD EN NAOH	0.10
DUREZA	7.00
GRAVEDAD ESPECIFICA	2.59
DENSIDAD	1576

CARBYFILCO LTDA
CALLE 10 89A - 62
PBX 4118488 FAX 4117607
E-mail info@carbyfilco.com
BOGOTA - COLOMBIA

ENERO DE 2009

La **Lewatit® MonoPlus TP 207** es una resina de intercambio catiónico macroporosa, débilmente ácida con grupos quelantes de ácido iminodiacético para el enlace selectivo de cationes de metales pesados en soluciones de ligeramente ácidas a débilmente básicas. Los cationes divalentes se eliminan en el orden siguiente a partir de las aguas neutralizadas : Cobre > vanadio (VO^{2+}) > uranio (UO_2^{2+}) > plomo > níquel > zinc > cadmio > hierro (II) > berilio > manganeso > calcio > magnesio > estroncio > bario >>> sodio .

La **Lewatit® MonoPlus TP 207** se caracteriza por una distribución de tamaño de partículas monodispersas y por lo tanto, los granos de tamaño idéntico. Sus propiedades cinéticas superiores conducen a una absorción de iones más rápida y a un mejor uso de la capacidad en comparación con resinas heterodispersas. Es especialmente adecuada para:

- » la concentración, eliminación y recuperación de metales pesados de soluciones hidro - metalúrgicas, por ejemplo, por aplicaciones de resina en pulpa
- » la eliminación de contaminantes metálicos de los baños de proceso
- » la recuperación de metales útiles de lavados de galvanoplastia
- » la eliminación selectiva de trazas de metales pesados de las aguas residuales de la superficie de metal acabado incluso a altas concentraciones de calcio
- » la eliminación de metales pesados de las aguas subterráneas para la producción de agua potable o de recuperación de aguas subterráneas

El enlace selectivo se produce en presencia de complejante siguiente :

- » compuestos de nitrógeno tales como amoníaco, aminas alifáticas y aromáticas
- » ácidos carboxílicos multivalentes, tales como ácido cítrico, ácido glucónico, ácido glucurónico, ácido oxálico o ácido tartárico
- » fosfatos, tales como tripolifosfato de sodio o de tetrasodio

La **Lewatit® MonoPlus TP 207** no puede absorber los metales pesados del EDTA o soluciones NTA. Sólo cadmio se elimina de soluciones de cianuro. Para efectuar el enlace de iones metálicos, especificándose en la secuencia de selectividad arriba a la derecha del ion uranilo, la resina después de cada regeneración, es decir antes de que el siguiente ciclo de carga, condicionada. Esto es causado por la solución de hidróxido de metal alcalino en una forma de sal parcial , por ejemplo en forma de la mono - sodio .

Las propiedades especiales de este producto solo podrán aprovecharse de manera óptima, si el proceso y el diseño del filtro están en consonancia con la técnica actual. Para cualquier asesoramiento ulterior no dude en consultar a LANXESS, BU Liquid Purification Technologies (LPT), un equipo a su disposición.

Este documento contiene información importante
y debe ser leído por completo.

Edición: 2014-01-16
Edición previa: 2014-01-13

1/5

INFORMACIÓN DE PRODUCTO LEWATIT® MonoPlus TP 207

Lewatit®

Descripción general

Forma de suministro	Na ⁺
Grupo funcional	Ácido aminodiacético
Matriz	Polistereno reticulado
Estructura	Macroporosa
Aspecto	Beige, opaco

Propiedades especificadas

		Unidades métricas	
Capacidad total	En forma H	min. eq/l	2,0
Coeficiente de uniformidad		máx.	1,1
Tamaño medio del grano		mm	0,61 (+/- 0,05)
Proporción de bolas en el rango	Tamaño medio del grano +/- 0,05	% vol.	

Propiedades físico-químicas

		Unidades métricas	
Densidad aparente	(+/- 5 %)	g/l	720
Densidad		aprox. g/ml	1,1
Contenido en agua		% en peso	55 - 60
Variación de volumen	Na ⁺ --> H ⁺	máx. % vol.	- 25
Estabilidad	rango de pH		0 - 14
Almacenaje	del producto	máx. años	2
Almacenaje	rango de temperatura	°C	-20 - +40

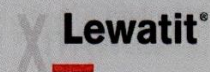
Este documento contiene información importante y debe ser leído por completo.

Edición: 2014-01-16
Edición previa: 2014-01-13

2/5

LANXESS
Energizing Chemistry

INFORMACIÓN DE PRODUCTO
LEWATIT® MonoPlus TP 207



Condiciones de funcionamiento recomendadas*

		Unidades métricas		
FUNCIONAMIENTO				
Temperatura de trabajo		máx. °C		80
Rango de pH de trabajo				1,5 - 9
Altura de lecho		min. mm		1000
Pérdida de presión específica	(15 °C)	aprox. kPa*h/m ²		1,1
Pérdida de presión		máx. kPa		250
Velocidad lineal	carga	máx. m/h		30
Carga específica	carga	máx. BV/h		5 - 25
REGENERACIÓN, CONTRA-CORRIENTE				
Regenerante	tipo			HCl H ₂ SO ₄ HNO ₃
Regenerante	cantidad	aprox. g/l		HCl 100 H ₂ SO ₄ 150 HNO ₃ 200
Regenerante	concentración	% en peso		HCl 7,5 H ₂ SO ₄ 10 HNO ₃ 12
Velocidad lineal	regeneración	aprox. m/h		5
Velocidad lineal	lavado	aprox. m/h		2
Consumo de agua de lavado	lento / rápido	aprox. BV		5
REGENERACIÓN, CO-CORRIENTE				
Regenerante	tipo			HCl H ₂ SO ₄ HNO ₃
Velocidad lineal	contra lavado (20 °C)	aprox. m/h		10
Velocidad lineal	lavado	aprox. m/h		2
Consumo de agua de lavado	lento / rápido	aprox. BV		5
Expansión del lecho	(20 °C, por m/h)	aprox. % vol.		4
Zona libre	contra lavado	% vol.		80 (Na)
ACONDICIONAMIENTO				
Agente acondicionador	tipo			
Agente acondicionador	cantidad	g/l		Mono-Na 40 - 48 Di-Na 80 - 96

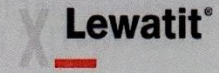
Este documento contiene información importante y debe ser leído por completo.

Edición: 2014-01-16
Edición previa: 2014-01-13

3/5

LANXESS
Energizing Chemistry

INFORMACIÓN DE PRODUCTO LEWATIT® MonoPlus TP 207



Agente acondicionador	concentración	aprox. % en peso	4
Velocidad lineal	lavado	aprox. m/h	5
Velocidad lineal	acondicionamiento	aprox. m/h	5
Regenerante	cantidad	aprox. g/l	H ₂ SO ₄ 200 HCl 150
Regenerante	concentración	aprox. % en peso	H ₂ SO ₄ 10 HCl 7,5

(Faded table content, likely a detailed technical specification table for the Lewatit MonoPlus TP 207 resin, including parameters like flow rate, regeneration volume, and chemical composition.)

Este documento contiene información importante
y debe ser leído por completo.

Edición: 2014-01-16
Edición previa: 2014-01-13

4/5



Información adicional y regulaciones

Medidas de precaución

Los oxidantes fuertes, p. Ej. el ácido nítrico, en contacto con las resinas de intercambio iónico pueden provocar reacciones violentas.

Toxicidad

Ver la hoja de seguridad antes de utilizar el producto. Contiene datos adicionales sobre la descripción del producto, transporte, almacenamiento, manipulación, seguridad y ecología.

Eliminación

En la Comunidad Europea los intercambiadores iónicos se tienen que eliminar según el correspondiente decreto de residuos, que puede ser consultado en la página de Internet de la Unión Europea.

Almacenaje

Se recomienda almacenar las resinas de intercambio iónico a temperaturas superiores al punto de congelación del agua, bajo techo, en lugar seco y sin exposición directa al sol. Si la resina se ha congelado, debe descongelarse lentamente a temperatura ambiente antes de su uso o manipulación. No debe provocarse el proceso de descongelación de forma acelerada.

La información precedente, así como nuestro asesoramiento técnico –ya sea de palabra, por escrito o mediante ensayos se proporcionan según nuestro leal saber y entender, pero a pesar de ello se consideran como meras advertencias e indicaciones no vinculantes, también por lo que respecta a los posibles derechos de propiedad industrial de terceros. El asesoramiento no les exige a ustedes de verificar los datos suministrados –especialmente los contenidos en nuestras fichas de seguridad y en las fichas técnicas de nuestros productos – ni de comprobar si los productos son adecuados para los procedimientos o los fines previstos. La aplicación, el empleo y la transformación de nuestros productos y de los productos fabricados por ustedes sobre la base de nuestro asesoramiento técnico se efectúan fuera de nuestras posibilidades de control y radican exclusivamente en la esfera de responsabilidad de ustedes. La venta de nuestros productos se realiza según nuestras Condiciones Generales de Venta y Suministro en su versión actual.

Lanxess Deutschland GmbH
BU LPT
D-51369 Leverkusen

www.lpt.lewatit.com
www.lanxess.com

Este documento contiene información importante
y debe ser leído por completo.

Edición: 2014-01-16
Edición previa: 2014-01-13

5/5

LANXESS
Energizing Chemistry

ANEXO F. CARACTERIZACIÓN AGUA RESIDUAL TRATADA



L. Q.
LABORATORIO QUIMICONTROL LTDA.
Ambiente e Industria



IDEAM
INSTITUTO DE HIDROLOGÍA,
METEOROLOGÍA Y
ESTUDIOS AMBIENTALES
Laboratorio acreditado
NITC-ISO/IEC 17025:
2005 Resolución de
renovación y extensión
de acreditación N° 0459
de 2015. Resoluciones
de extensión de la
acreditación N° 0097 de
2016, 0010 y 1903 de
2017.

INFORME DE RESULTADOS DE LABORATORIO

INFORME 1 OCA 1004-AG
25 de octubre de 2017

IDENTIFICACIÓN DEL CLIENTE

Señora
Daniela Franco Rodríguez
Teléfono: 755 28 64
Dirección: Carrera 31 N°7-22
e-mail: daniandre_21@hotmail.com
Bogotá

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA

ORDEN DE SERVICIO: 3300
FECHA RECEPCIÓN MUESTRA: 3 de octubre de 2017
MATRIZ: OT
FECHA DE MUESTREO: 03 de octubre de 2017
TIPO DE MUESTREO: Puntual
PUNTO DE MUESTREO: Laboratorio
IDENTIFICACIÓN MUESTRA: 17-AG4753
OBSERVACIONES: Muestra tomada por el cliente y enviada al laboratorio.

Variable	Unidad	Método	Fecha Análisis	Resultados	Incertidumbre
pH-en laboratorio a 19,00 °C **	Unidad	SM 4500-H ⁺ B, Electrométrico	2017-10-04	6,93	N.D.
Demanda química de oxígeno, DQO	mg/L O ₂	SM 5220 C, Volumétrico, Reflujo Cerrado	2017-10-03	91,9	±6,43
Demanda bioquímica de oxígeno DBO ₅	mg/L O ₂	SM 5210 B, 4500-O C Incubación Modificación de Azida	2017-10-20	< 10,3	±0,668
Sólidos sedimentables, SSED	mL/L	SM 2540 F, Volumétrico, Cono Imhoff	2017-10-03	0,5	±0
Cinc total, Zn	mg/L	SM 3030 H, 3111 B, A.A. Llama	2017-10-19	13,6	±0,463
Cobre total, Cu	mg/L	SM 3030 H, 3111 B, A.A. Llama	2017-10-12	0,373	±0,004
Cromo total, Cr	mg/L	SM 3030 H, 3111 B, A.A. Llama	2017-10-19	0,215	±0,012
Hierro total, Fe	mg/L	SM 3030 H, 3111 B, A.A. Llama	2017-10-18	0,094	±0,002
Níquel total, Ni	mg/L	SM 3030 H, 3111 D, A.A. Llama	2017-10-18	< 0,011	±0,001
Cianuro total, CN ⁻ **	mg/L	SM 4500-CN ⁻ F, Potenciométrico	2017-10-05	0	N.D.

SM: "STANDARD METHODS For The Examination Of Water And Wastewater" 22ND EDITION, 2012. (A.A.): Absorción Atómica, (**): Variable que no se encuentra acreditada. (<): Menor que límite de cuantificación del método. N.D.: No disponible. OT: Agua Residual Tratada.

NOTA 1: Los resultados que se relacionan en este informe corresponden únicamente a la muestra analizada.

NOTA 2: La reproducción parcial de este informe será autorizada por el Laboratorio Quimicontrol Ltda.

NOTA 3: Las muestras serán eliminadas cuarenta y cinco (45) días después de haber sido recibidas.

NOTA 4: Incertidumbre expandida para un nivel de confianza del 95,45 % con un factor K=2.

Este informe NO es válido para impresión ni almacenamiento sin firma original de las personas autorizadas por el Laboratorio.

CONSTANTINO N. ZULUAGA MOYA
Químico, Matrícula Profesional PQ-412
Especialista en Consultoría ambiental

Elaboró: Carolina Liceth Navarro Lopez
Revisó: Carlos Steven Moreno Giron

ANEXO G. CANTIDADES DE PRODUCTOS QUÍMICOS

- **Cantidad de hidróxido de sodio al 99% en primer ajuste de pH**

Para determinar la cantidad de NaOH necesaria, primero se establece la concentración de NaOH que tuvo la muestra de 500ml por medio de la ecuación 30, trabajando en ppm.

En el desarrollo experimental se agregó 17ml de NaOH al 10%p/p (10000ppm), a una muestra de 500ml.

En donde,

C_1 : concentración del NaOH

V_1 : volumen utilizado de la solución

C_2 : concentración del NaOH en la muestra

V_2 : volumen de muestra

$$\frac{100000 \text{ ppm} * 17\text{ml}}{500\text{ml}} = C_2$$

$$3400 \text{ ppm} = C_2$$

Al agregar 17ml de la solución, la muestra queda con una concentración de NaOH de 3400ppm, lo que quiere decir 3400 g/m³.

$$3400\text{ppm} = 3400 \frac{\text{g}}{\text{m}^3} \text{ de NaOH}$$

Ahora, con la concentración de hidróxido y la cantidad de agua a tratar para reutilización, se define la cantidad necesaria de NaOH al 99%. (ecuación 34)

Ecuación 34. Cantidad de hidróxido de sodio para el tratamiento en la empresa

$$3400 \frac{\text{g}}{\text{m}^3} * 1,73\text{m}^3 = 5882 \text{ g de NaOH} = 5,88 \text{ kg de NaOH}$$

La cantidad necesaria de hidróxido de sodio es de 5,88 kg para el primer ajuste de pH.

- **Cantidad de hipoclorito de sodio al 13 %**

Para establecer la cantidad de NaClO, se realiza la misma ecuación 29, pero tomando la cantidad de agua a tratar.

$$1730L \left(\frac{24,6mg\ CN}{L} \right) \left(\frac{1g}{1000mg} \right) \left(\frac{12,5g\ NaClO}{1g\ CN} \right) \left(\frac{100ml}{13g\ NaClO} \right) \left(\frac{1L}{1000ml} \right) = 4,09L\ NaClO\ al\ 13\%$$

Para agregar el hipoclorito con el exceso especificado en el desarrollo experimental, se le suma a esta cantidad el 25%, lo que quiere decir, que la cantidad necesaria es de 5,04 L de NaClO al 13%.

Como el NaClO lo venden por kilogramos, con su densidad ($\rho = 1,21 \frac{kg}{L}$) se determina la cantidad de kilogramos necesaria en la alternativa. (ecuación 35)

Ecuación 35. Densidad

$$m = \rho * v$$

Donde,

m : masa del hipoclorito de sodio

ρ : densidad del hipoclorito de sodio al 13%

v : volumen del hipoclorito de sodio

$$m = 1,21 \frac{kg}{L} * 5,04 L = 6,09 kg\ de\ NaClO\ al\ 13\%$$

Se requiere 6,09 kg de hipoclorito de sodio al 13% al día para el tratamiento del agua residual.

- **Cantidad de ácido clorhídrico al 37% para el segundo ajuste de pH**

Se halla la cantidad de ácido clorhídrico de forma similar que el hidróxido de sodio. Primero, determinar la concentración del HCl en la muestra al agregar 7ml de solución de HCl al 10% (100000 ppm) con la ecuación 30, en ppm como se estableció en la experimentación.

Donde,

C_1 : concentración del HCl

V_1 : volumen utilizado de la solución

C_2 : concentración del HCl en la muestra

V_2 : volumen de muestra

$$\frac{100000\ ppm * 7ml}{500ml} = C_2$$

$$1400\ ppm = C_2$$

La concentración del ácido en la muestra es de 1400 ppm, esta concentración se utiliza para determinar el volumen necesario del ácido clorhídrico al 37% (370000 ppm), al volumen de agua a tratar. Este volumen se calcula con la ecuación 30, en ppm.

Donde,

C_1 : concentración del HCl al 37%

V_1 : volumen requerido del HCl

C_2 : concentración del HCl en el agua

V_2 : volumen del agua residual

$$V_1 = \frac{1400 \text{ ppm} * 1730 \text{ L}}{370000 \text{ ppm}}$$

$$V_1 = 6,55 \text{ L de HCl al 37\%}$$

En el segundo ajuste de pH, el volumen a agregar es de 6,55 L de ácido clorhídrico al 37%. Para comprar el ácido es necesario pasar este volumen a kilogramos por medio de su densidad ($\rho = 1,19 \frac{\text{kg}}{\text{L}}$) utilizando la ecuación 35.

Donde,

m : masa del ácido clorhídrico

ρ : densidad del ácido clorhídrico al 37%

v : volumen del ácido clorhídrico

$$m = \rho * v = 1,19 \frac{\text{kg}}{\text{L}} * 6,55 \text{ L} = 7,79 \text{ kg de HCl al 37\%}$$

La cantidad de ácido en kilogramos para el tratamiento es de 7,79 kg.

- **Cantidad de bisulfito de sodio**

Determinar la cantidad necesaria de bisulfito de sodio para la reducción de cromo se realiza de igual manera que el hidróxido de sodio. En primer lugar, hallar la concentración de bisulfito de sodio en la muestra de 500ml al agregar 1ml de NaHSO_3 al 50% (500000 ppm) con la ecuación 30, en partes por millón.

Donde,

C_1 : concentración del NaHSO_3

V_1 : volumen utilizado de la solución

C_2 : concentración del NaHSO_3 en la muestra

V_2 : volumen de muestra

$$\frac{500000 \text{ ppm} * 1\text{ml}}{500\text{ml}} = C_2$$

$$1000 \text{ ppm} = C_2$$

Con la concentración de 1000 ppm de bisulfito de sodio, se determinará la cantidad de agente reductor para el volumen a tratar de agua residual que es de $1,73\text{m}^3$. (ecuación 36)

$$1000\text{ppm de NaHSO}_3 = 1000 \frac{\text{g}}{\text{m}^3} \text{ de NaHSO}_3$$

Ecuación 36. Cantidad de bisulfito de sodio para el tratamiento en la empresa

$$1000 \frac{\text{g}}{\text{m}^3} * 1,73\text{m}^3 = 1710 \text{ g de NaHSO}_3 = 1,73 \text{ kg de NaHSO}_3$$

La cantidad requerida de bisulfito de sodio es de 1,73 kg para tratar $1,73\text{m}^3$ de agua residual.

- **Cantidad de hidróxido de sodio al 99% para tercer ajuste de pH**

Esta cantidad se define de igual manera que en el primer ajuste de pH, cambiando la cantidad utilizada de NaOH en la muestra de 500ml que fue de 15ml de NaOH al 10%p/p (10000ppm). Se utiliza la ecuación 30, concentraciones en ppm.

En donde,

C_1 : concentración del NaOH

V_1 : volumen utilizado de la solución

C_2 : concentración del NaOH en la muestra

V_2 : volumen de muestra

$$\frac{100000 \text{ ppm} * 15\text{ml}}{500\text{ml}} = C_2$$

$$3000 \text{ ppm} = C_2$$

Al agregar 15ml de la solución, la muestra queda con una concentración de NaOH de 3000ppm, lo que quiere decir 3000 g/m^3 .

$$3000\text{ppm} = 3000 \frac{\text{g}}{\text{m}^3} \text{ de NaOH}$$

Ahora, con la concentración de hidróxido y la cantidad de agua a tratar para reutilización, se define la cantidad necesaria de NaOH al 99%. (ecuación 37)

Ecuación 37. Cantidad de hidróxido de sodio para el tratamiento en la empresa

$$3000 \frac{g}{m^3} * 1,73m^3 = 5190 g \text{ de NaOH} = 5,19 kg \text{ de NaOH}$$

La cantidad necesaria de hidróxido de sodio es de 5,19 kg para el tercer ajuste de pH.

- **Cantidad de floculante al 0,08%**

En el desarrollo experimental se utilizaron 2ppm de solución polímero aniónico al 0,08% en 500ml de muestra. Para deducir la cantidad de solución del floculante se multiplica esta concentración de 2ppm (2 L/m³) por la cantidad de agua a tratar. (ecuación 38)

$$2ppm = 2 \frac{L}{m^3} \text{ de floculante}$$

Ecuación 38. Cantidad de floculante para el tratamiento en la empresa

$$2 \frac{L}{m^3} * 1,73m^3 = 3,46 L \text{ de solución de floculante}$$

Se requiere 3,46 L de solución al 0,08% de floculante y la cantidad de polímero necesaria se halla con la ecuación 39, teniendo en cuenta la densidad del agua.

Ecuación 39. Cantidad de polímero para el tratamiento en la empresa

$$0,08\% \left(\frac{3460g}{100\%} \right) = 2,768 g \text{ de polímero}$$

La cantidad de polímero necesaria para el tratamiento del agua es de 2,768x10⁻³ kg que se disuelven en 3,46 L de agua destilada.

- **Cantidad de arena sílice**

Para determinar la cantidad de arena para el filtro se tiene en cuenta la densidad de la arena ($\rho = 1,576 \frac{kg}{L}$) y la ecuación 35.

Donde,

m : masa de la arena

ρ : densidad de la arena sílice

v : volumen del medio filtrante

$$m = \rho * v = 1,576 \frac{kg}{L} * 20L = 31,52 \text{ kg arena silice cada 6 meses}$$

La cantidad de arena necesaria para el filtro es de 89,2 kg, la cual se debe cambiar cada 6 meses o según condiciones del filtro y del proceso.

- **Cantidad de resina catiónica**

Para determinar la cantidad de resina catiónica para el intercambiador se tiene en cuenta la densidad de la resina ($\rho = 1,1 \frac{kg}{L}$) y la ecuación 35.

Donde,

m : masa de la resina

ρ : densidad de la resina

v : volumen requerido

$$m = \rho * v = 1,1 \frac{kg}{L} * 110L = 121 \text{ kg de resina catiónica por año}$$

La cantidad de resina catiónica necesaria en el intercambiador es de 121 kg la cual se debe cambiar cada año.

ANEXO H. FICHAS TÉCNICAS EQUIPOS Y COTIZACIONES

AL-RED

Electrobombas centrífugas en acero inoxidable

-  Agua limpia
-  Utilizo doméstico
-  Utilizo agrícola
-  Utilizo industrial



CAMPO DE PRESTACIONES

- Caudal máximo **180 l/min** (10.8 m³/h)
- Máxima altura manométrica **32 m**

LIMITES DE UTILIZO

- Altura de aspiración manométrica hasta **7 m**
- Temperatura del líquido de **-10 °C** hasta **+90 °C**
- Temperatura ambiente de **-10 °C** hasta **+40 °C**
- Presión máxima en el cuerpo de la bomba **4 bar**
- Funcionamiento continuo **S1**

EJECUCION Y NORMAS DE SEGURIDAD

EN 60335-1 EN 60034-1
IEC 60335-1 IEC 60034-1
CEI 61-150 CEI 2-3



CERTIFICACIONES

Empresa con sistema de gestión certificado DNV
ISO 9001: CALIDAD
ISO 14001: AMBIENTE

UTILIZOS E INSTALACIONES

Son recomendadas para bombear agua limpia, sin partículas abrasivas y líquidos químicamente no agresivos con los materiales que constituyen la bomba.

Por las características constructivas, esta bomba centrífuga es aconsejada para el utilizo en el sector doméstico, agrícola e industrial. Todos los componentes en contacto con el líquido bombeado son en acero inox AISI 304 para garantizar una higiene total y una alta resistencia a la corrosión.

La instalación se debe realizar en lugares cerrados o protegidos de la intemperie.

PATENTES - MARCAS - MODELOS

- Marca registrada n° 0001575587 AL-RED®

EJECUCION BAJO PEDIDO

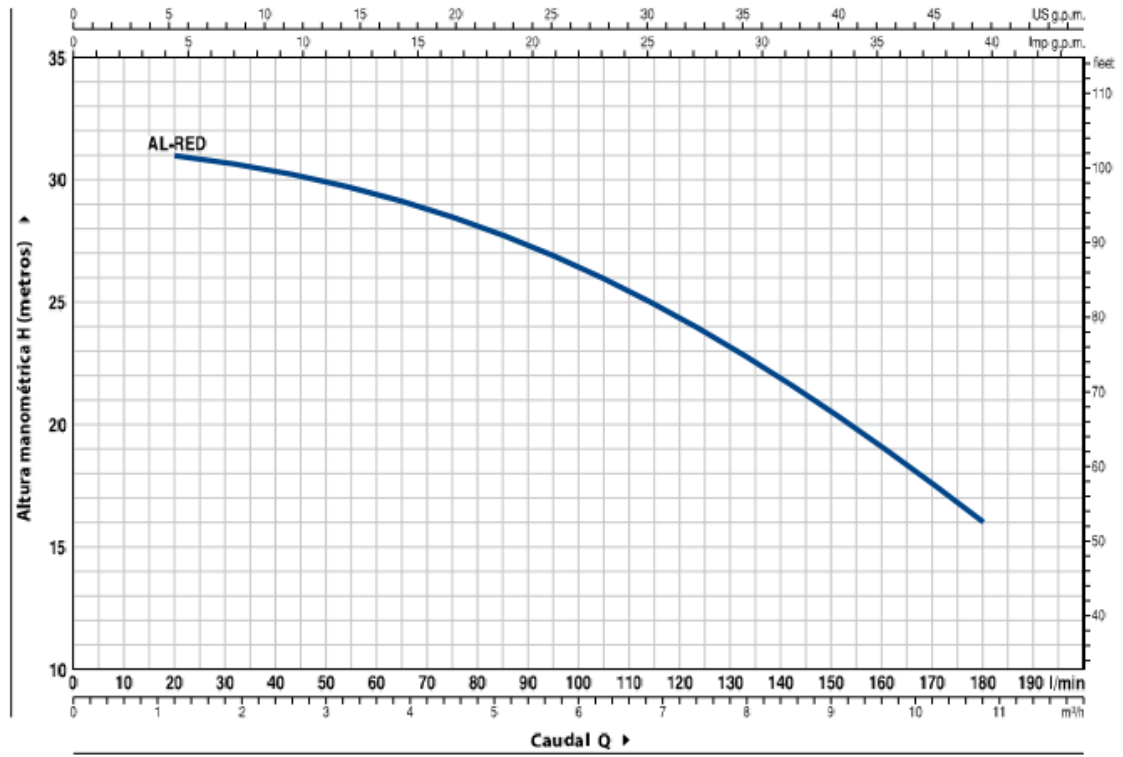
- Cuerpo bomba con bocas roscaadas NPT ANSI B 1.20.1
- Sello mecánico especial
- Eje motor en acero inoxidable EN 10088-3 - 1.4401 (AISI 316)
- Otros voltajes
- Protección IP X5

GARANTIA

2 años según nuestras condiciones generales de venta

CURVAS Y DATOS DE PRESTACIONES

60 Hz n= 3450 rpm HS= 0 m



MODELO		POTENCIA (P ₂)		Q	0	1.2	2.4	3.6	4.8	6	7.2	8.4	9.6	10.8
Monofásica	Trifásica	kW	HP		0	20	40	60	80	100	120	140	160	180
AL-RED 135m	AL-RED 135	0.75	1	H metros	32	31	30.5	29.5	28.1	26.4	24.4	22	19.3	16

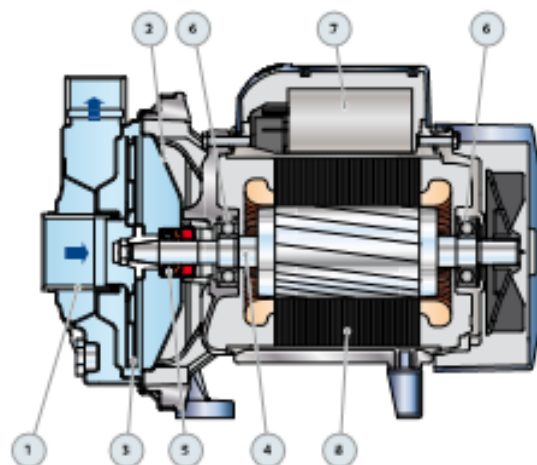
Q = Caudal H = Altura manométrica total HS = Altura de aspiración

Tolerancia de las curvas de prestación según EN ISO9905 Grado 3B.

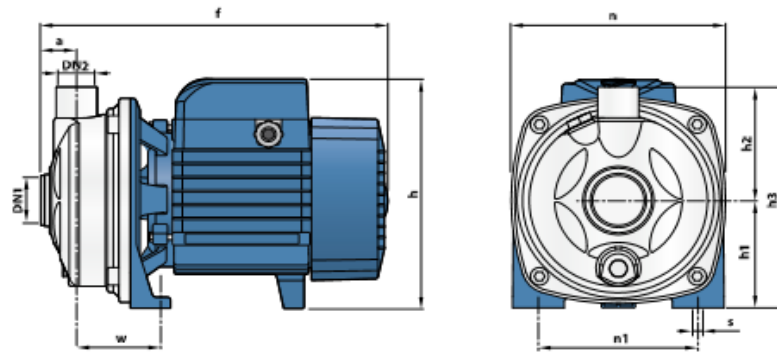
AL-RED

POS. COMPONENTE CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS

1	CUERPO BOMBA	Acero inoxidable AISI 304 con bocas roscadas ISO 228/1				
2	TAPA	Acero inoxidable AISI 304				
3	RODETE	Acero inoxidable AISI 304				
4	EJE MOTOR	Acero inoxidable EN 10088-3 - 1.4104				
5	SELLO MECANICO	<i>Sello</i>	<i>Eje</i>	<i>Materiales</i>		
		<i>Modelo</i>	<i>Ø exterior</i>	<i>Anillo fijo</i>	<i>Anillo móvil</i>	<i>Distanciero</i>
		AR-14	Ø 14 mm	Cerámica	Grafito	NBR
6	RODAMIENTOS	6203 ZZ / 6203 ZZ				
7	CONDENSADOR	<i>Capacidad</i>				
		<i>(220 V)</i>	<i>(370 V o 227 V)</i>			
		25 µF - 450 VL	60 µF - 300 VL			
8	MOTOR ELECTRICO	<p>AL-RED 135m: monofásica 220 V - 60 Hz con protección térmica incorporada en el bobinado.</p> <p>AL-RED 135: trifásica 220/380 V - 60 Hz o 220/440 V - 60 Hz.</p> <p>→ La electrobomba trifase está equipada con motor de alto rendimiento en clase IE2 (IEC 60034-30)</p> <p>- Aislamiento: clase F</p> <p>- Protección: IP 34</p>				



DIMENSIONES Y PESOS



MODELO		BOCAS		DIMENSIONES mm										kg	
Monofásica	Trifásica	DN1	DN2	a	f	h	h1	h2	h3	n	n1	w	s	1~	3~
AL-RED 135m	AL-RED 135	1 1/4"	1"	31	296	206 *	97	103	200	186	135	73.5	10	9.1	9.0

(*) h=225 mm para versión monofásica en 110 V o 127 V

CONSUMO EN AMPERIOS

MODELO	TENSION		
	220 V	110 V	127 V
AL-RED 135m	7.0 A	13.2 A	12.3 A

MODELO	TENSION			
	220 V	380 V	220 V	440 V
AL-RED 135	3.5 A	2.0 A	4.2 A	2.5 A

FICHA TÉCNICA Tanque 5000 Litros Colempaques

Atributo	Detalle
Capacidad	5000 Litros
Material	PVC
Alto	2,15 Metros
Uso	Para almacenamiento de agua
Diámetro	2,18 Metros
Color	Negro
Beneficios	Tanques higiénicos, colaminados, capa interior virgen, no suelta color, evita la producción de algas y bacterias, no se corroe ni se oxida, no suelta sedimento.
Tipo	Tanque
Características	Tanque de fácil instalación, con aletas que permiten que la tapa permanezca fija, con aditivo U.V que bloquea los rayos ultravioleta, haciéndolo más resistente a la intemperie.
Peso Vacío	108 Kilos

FICHA TÉCNICA Válvula Bola Rosca 1 Pg

Atributo	Detalle
Garantía	45 años
Largo	11 cm
Material	Metálica
Uso	Controlar el paso del agua entre conductos Plásticos o Metálicos
Ancho	3,4 cm
Color	Satín
Diámetro en pulg	1
Tipo	Válvula Bola Agua
Profundidad	NO incluye elementos no descriptos
Características	Válvula Bola Rosca de 1 pulgada para agua con manija larga que abren y cierran con tan solo un 1/4 de giro
Recomendaciones	Respaldo y garantía Grival



SISTEMA DE CALIDAD

F01-SC-PR-060

COTIZACIÓN

25 DE JUNIO 2009

CLIENTE: Daniela Andrea Franco Rodriguez.				001		
CONTACTO		DIRECCION:		FECHA: 13/10/2017		
ASESOR : Andrés Parra		CIUDAD: Bogotá		TELEFONO:		
PRODUCTO	ORIGEN	PRESENTACION	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	IVA 19%	TOTAL
BISULFITO DE SODIO	CHINA	SACO X 25 KILOS	1	48.824	9.276	58.100
BISULFITO DE SODIO	CHINA	KILO	1	2.437	463	2.900
SODA CÁUSTICA	CHINA	KILO	1	4.286	814	5.100
HIPOCLORITO DE SODIO al 13 %	COLOMBIA	GALON X 4 KILOS	1	6891	1.309	8.200
HIPOCLORITO DE SODIO al 13 %	COLOMBIA	GARRAFA 20 KILOS	1	30.336	5.764	36.100
					-	-
					-	-

DIACIDOS LTDA.

DISTRIBUIDORA DE ÁCIDOS
TEL. 3514483 - 2773895

Cra. 34 # 10-26 Bogotá, D.C.

PRODUCTOS QUÍMICOS INDUSTRIALES

FAX 379213 - 2477847
Email: diacid35@yahoo.com

Bogota, Octubre 15 de 2017

**Señores
ZINTEPEC LTDA**

Ref: cotización

De acuerdo a su solicitud nos permitimos cotizar

Cantidad	producto	Vr. por kilo	Sub total.	Vr, Total con iva
01 kls	Ácido Clorhídrico.	\$1.352	\$ 257	\$1.609

Quedo atenta a cualquier inquietud.

Atentamente,

CLAUDIA LOPEZ
Diacidos Ltda-



Tocancipá, 19 de Octubre de 2017

Señores
ZINTEPEC LTDA
Atn. Daniela Franco
Bogotá

Ref.: COTIZACION PRODUCTOS LIPESA

Cordial Saludo,

Lipesa Colombia S.A.S., ha enfocado su esfuerzo continuo hacia el desarrollo de los tratamientos y programas químicos preventivos y la satisfacción del cliente mediante la identificación y solución de las necesidades propias de cada industria.

Por esta razón, hacemos entrega de los siguientes productos necesarios para el tratamiento de agua.

1. LISTA DE PRECIOS Y PRESENTACIONES

PRODUCTO	FUNCION	PRESENTACION	PRECIO/Kg	PRECIO PRESENTACION
L-1589A	Polímero Catiónico	Saco 25 Kilos	\$ 27.050	\$ 676.250
L-1538	Polímero Aniónico	Saco 25 Kilos	\$ 30.275	\$ 756.875

2. CONDICIONES COMERCIALES

- A los precios deberá sumarse el IVA vigente a la fecha de facturación.
- Los precios tienen vigencia 60 días a partir de la fecha.
- La forma de pago es anticipada
- Los productos serán entregados CINCO (5) días hábiles después de recibir su Orden de Compra o pedido.
- El sitio de entrega de los productos será en sus instalaciones.

Carretera Central Bogotá- Tunja Frente a Bavaria, TOCANCIPA - COLOMBIA
Tel: 8786600 Fax 8786600 EXT 123 Celular: 3103239854
E-mail: SierraJ@lipesa.com - Web Site: www.lipesa.com
Nit 830035263-2



CARBYFILCO Ltda.
MATERIALES FILTRANTES
NIT: 800.070.691-0

Zipaquirá, octubre 10 de 2017

Señores
ZINTEPEC LTDA
Atn. DANIELA FRANCO RODRIGUEZ
Ciudad

Estimados Señores:
Por medio de la presente me permito enviar la Cotización solicitada para entrega en Planta Carbyfilco

MATERIAL	CAN	PRECIO KILO	SUBTOTAL	IVA	TOTAL
ARENA	100 kg	\$269	\$26,900.00	\$5,111	\$32,011
TOTAL	100 kg		\$26,900	\$5,111	\$32,011

Pago: anticipado

Tiempo de Entrega: 8 días después de la Orden de Compra y el respectivo pago.
Esperamos atender con su solicitud para más información comuníquese con nosotros al número 852 69 01 ext. 104 o a los Celulares 313 350 55 98 - 312 386 87 25 - 310 873 54 60.

Cordialmente,


JUAN ALBERTO SANCHEZ CHIQUIZA
GERENTE

www.carbyfilco.com

Km 15 Vía Zipaquirá Ubaté
MOVIL: 3133505598
Zipaquirá, Colombia
info@carbyfilco.com

**BIOCIDAS Y QUIMICOS S.A.S.**

Nit 830063261 Regimén Común

Código: F-GV-07

Versión: 2

COTIZACION No. 2837**FECHA:** 11-oct-17

CLIENTE ZINTEPEC LTDA

FORMA DE PAGO Contado

NIT 830044738 7

PLAZO DE DESPACHO: RECIBIDA OC Y VERIFICADO EL PAGO

CONTACTO

VALIDEZ OFERTA 11-oct-17

E-mail:

VENDEDOR ABILIO AJUNTA FAGUA

CIUDAD Bogota D.C.

OBSERVACIONES

DIRECCION CR 31 7 22

PRODUCTO PUESTO EN BOGOTÁ, OTRA CIUDAD FLETE A CARGO DEL CLIENTE

TELEFONO 2470525

Descripción	Presentación	Cantidad	U Medida	Valor Unitario	IVA	Total
LEWATIT MONOPLUS TP207. Resina selectiva para metales	SACO X 25 LITROS	25,00	l	92.800	19%	2.315.000

Valor en Letras

DOS MILLONES SETECIENTOS CINCUENTA Y CUATRO MIL OCHOCIENTOS CINCUENTA PESOS MICTE

SUBTOTAL	2.315.000
DESCUENTO	0
IVA	439.850
TOTAL DOCUMENT	2.754.850

NOTA: 1 - Disponibilidad según existencias en inventario. 2 - Se despacha a otras ciudades el mismo día; si se recibe la orden de compra y/o la confirmación del pago anticipado por parte del banco antes de la 1:00 pm se aplica.

Consignar en Banco de Bogotá Cuenta Corriente 023027527 ó Davivienda Cuenta Corriente 0018 6999 9829 a nombre de BIOCIDAS Y QUIMICOS SAS

En espera de que el contenido de la presente cotización sea de su utilidad, estamos en disposición de satisfacer con gusto sus necesidades.

Atentamente
División Comercial
email: servicioalcliente@biocidasyquimicos.com
PBX 6057222

Calle 24B No. 24 - 36 Bogotá-Colombia www.biocidasyquimicos.com

Bogotá D. C., 05 de Noviembre de 2017
CT-2017147

Ingeniera: DANIELA FRANCO
ZINTECPEC LTDA

Apreciada ingeniera:
De acuerdo a su amable solicitud, de la manera más atenta ponemos a su disposición la siguiente
Cotización:

ITEM	DESCRIPCIÓN	CANT.	VR. UNIDAD	VR. TOTAL
<i>Fabricación de filtro de arena con las especificaciones suministradas:</i>				
1	Tanque:	Ø330 mm X Alt. 1372 mm		
	Volumen del tanque:	104 Litros	1	\$ 882.900
	Área del tanque:	855 Cm2		\$ 882.000
	Volumen del medio filtrante:	56.6 Litros		
	Medio filtrante:	Arena sílice.		
<i>Fabricación de suavizador por intercambiador iónico con las especificaciones suministradas:</i>				
2	Tanque:	Ø330 mm X Alt. 1372 mm		
	Volumen del tanque:	104 Litros	1	\$ 882.000
	Área del tanque:	855 Cm2		\$ 882.000
	Volumen del medio filtrante:	56.6 Litros		
	Intercambio por:	Resina iónica		
<i>Fabricación de agitador mecánico con las especificaciones solicitadas.</i>				
3	Tipo de soporte:	Marco soportado al piso		
	Material del soporte:	Acero carbono A-36 recubierto con pintura epóxica.		
	Potencia	183 W	1	\$3.600.000
	Voltaje	220 V		\$3.600.000
	Velocidades	40 a 120 rpm		
	Material impulsor y eje	Acero inoxidable 304		
	Longitud de eje	1.33 m		
<i>Servicio de instalación y montaje planta de tratamiento de aguas residuales según esquema suministrado.</i>				
4	Solo incluye mano de obra, tubería PVC y accesorios de unión para la tubería.	1	\$2.400.000	\$2.400.000
TOTAL				\$7.764.000

Condiciones comerciales:
Plazo de entrega: 30 días
Vigencia: 10 días
Forma de pago: 50% anticipo y 50% contra entrega
Estos precios no incluyen IVA

Cordialmente
JAIME ALONSO CASTIBLANCO
Gerente General

Industria Colombiana de Soluciones Empresariales LTDA
Mantenimiento *Mecanizados *Automatización *Diseño de Maquinas *Fabricación de partes para maquinaria

Dirección: Cra 53 B Bis N° 4B-20
Teléfono: (1) 414 2813/Móvil: 311 538 9663

Bomba Centrífuga Acero Inoxidable 1HP 3 Fase Pedrollo

6 Unidades disponibles

SKU: 223670



Precio corresponde a la ubicación de CUNDINAMARCA
El precio puede cambiar al modificar la zona de envío o retiro.

\$ 1.306.900 Unidad

Acumulas: 1.306 CMR Puntos

Características del producto

Cantidad

1

Agregar al carro

[Agregar a mi lista](#)

Calcula el valor de tu cuota CMR

N° de cuotas

Valor de la cuota

1

\$ 1.306.900

MÉTODOS DE ENVÍO Y RETIRO

Envío a domicilio

[Ver opciones](#)

Retira tu compra en tienda

[Ver opciones](#)

Disponibilidad en tiendas

[Ver disponibilidad](#)

Tanque 5000 Litros Colempaques

5 Unidades disponibles

SKU: 04712



Precio corresponde a la ubicación de CUNDINAMARCA
El precio puede cambiar al modificar la zona de envío o retiro.

\$ 2.399.900 Unidad

Normal: \$2.667.900 Unidad

Acumulas: 2.399 CMR Puntos

Características del producto

Cantidad

1

Agregar al carro

[Agregar a mi lista](#)

Calcula el valor de tu cuota CMR

N° de cuotas

Valor de la cuota

1

\$ 2.667.900

MÉTODOS DE ENVÍO Y RETIRO

Válvula Bola Rosca 1 Pg Agua Manija Larga Grival

44 Unidades disponibles

SKU: 204041 [f](#) [t](#) [p](#)



Precio corresponde a la ubicación de CUNDINAMARCA
El precio puede cambiar al modificar la zona de envío o retiro.


 **\$ 35.900** Unidad

Acumulas: 35 CMR Puntos


[Características del producto](#) ▾

Cantidad

1

[Agregar al carro](#) 

[Agregar a mi lista](#)

 Fundación Universidad de América	FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA	Código:
	PROCESO: GESTIÓN DE BIBLIOTECA	Versión 0
	Autorización para Publicación en el Repositorio Digital Institucional – Lumieres	Julio - 2016


AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL LUMIERES




Yo Daniela Andrea Franco Rodriguez en calidad de titular de la obra Propuesta para la reutilización de aguas residuales del proceso de recubrimientos electrolíticos de la empresa ZINTEPEC LTDA., elaborada en el año 2017, autorizo al **Sistema de Bibliotecas de la Fundación Universidad América** para que incluya una copia, indexe y divulgue en el Repositorio Digital Institucional – Lumieres, la obra mencionada con el fin de facilitar los procesos de visibilidad e impacto de la misma, conforme a los derechos patrimoniales que me corresponde y que incluyen: la reproducción, comunicación pública, distribución al público, transformación, en conformidad con la normatividad vigente sobre derechos de autor y derechos conexos (Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, entre otras).

Al respecto como Autor manifesté conocer que:

- La autorización es de carácter no exclusiva y limitada, esto implica que la licencia tiene una vigencia, que no es perpetua y que el autor puede publicar o difundir su obra en cualquier otro medio, así como llevar a cabo cualquier tipo de acción sobre el documento.
- La autorización tendrá una vigencia de cinco años a partir del momento de la inclusión de la obra en el repositorio, prorrogable indefinidamente por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales del autor y podrá darse por terminada una vez el autor lo manifieste por escrito a la institución, con la salvedad de que la obra es difundida globalmente y cosechada por diferentes buscadores y/o repositorios en Internet, lo que no garantiza que la obra pueda ser retirada de manera inmediata de otros sistemas de información en los que se haya indexado, diferentes al Repositorio Digital Institucional – Lumieres de la Fundación Universidad América.
- La autorización de publicación comprende el formato original de la obra y todos los demás que se requiera, para su publicación en el repositorio. Igualmente, la autorización permite a la institución el cambio de soporte de la obra con fines de preservación (impreso, electrónico, digital, Internet, intranet, o cualquier otro formato conocido o por conocer).
- La autorización es gratuita y se renuncia a recibir cualquier remuneración por los usos de la obra, de acuerdo con la licencia establecida en esta autorización.
- Al firmar esta autorización, se manifiesta que la obra es original y no existe en ella ninguna violación a los derechos de autor de terceros. En caso de que el trabajo haya sido financiado por terceros, el o los autores asumen la responsabilidad del cumplimiento de los acuerdos establecidos sobre los derechos patrimoniales de la obra.
- Frente a cualquier reclamación por terceros, el o los autores serán los responsables. En ningún caso la responsabilidad será asumida por la Fundación Universidad de América.
- Con la autorización, la Universidad puede difundir la obra en índices, buscadores y otros sistemas de información que favorezcan su visibilidad.

Conforme a las condiciones anteriormente expuestas, como autor establezco las siguientes condiciones de uso de mi obra de acuerdo con la **licencia Creative Commons** que se señala a continuación:

 Fundación Universidad de América	FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA	Código:
	PROCESO: GESTIÓN DE BIBLIOTECA	Versión 0
	Autorización para Publicación en el Repositorio Digital Institucional – Lumieres	Julio - 2016

	Atribución- no comercial- sin derivar: permite distribuir, sin fines comerciales, sin obras derivadas, con reconocimiento del autor.	<input type="checkbox"/>
	Atribución – no comercial: permite distribuir, crear obras derivadas, sin fines comerciales con reconocimiento del autor.	<input checked="" type="checkbox"/>
	Atribución – no comercial – compartir igual: permite distribuir, modificar, crear obras derivadas, sin fines económicos, siempre y cuando las obras derivadas estén licenciadas de la misma forma.	<input type="checkbox"/>

Licencias completas: http://co.creativecommons.org/?page_id=13

Siempre y cuando se haga alusión de alguna parte o nota del trabajo, se debe tener en cuenta la correspondiente citación bibliográfica para darle crédito al trabajo y a su autor.

De igual forma como autor autorizo la consulta de los medios físicos del presente trabajo de grado así:


AUTORIZO (AUTORIZAMOS)	SI	NO
La consulta física (sólo en las instalaciones de la Biblioteca) del CD-ROM y/o Impreso	x	
La reproducción por cualquier formato conocido o por conocer para efectos de preservación	x	

Información Confidencial: este Trabajo de Grado contiene información privilegiada, estratégica o secreta o se ha pedido su confidencialidad por parte del tercero, sobre quien se desarrolló la investigación. En caso afirmativo expresamente indicaré, en carta adjunta, tal situación con el fin de que se respete la restricción de acceso.	SI	NO
		x

Para constancia se firma el presente documento en Bogotá, a los 2 días del mes de febrero del año 2018.

EL AUTOR:

Autor 1

Nombres	Apellidos
Daniela Andrea	Franco Rodríguez
Documento de identificación No	Firma
1023937641	

Nota: Incluya un apartado (copie y pegue el cuadro anterior), para los datos y la firma de cada uno de los autores de la obra.