

DESARROLLO DE UNA PROPUESTA DE UN SISTEMA PARA EL
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTES DEL
TRATAMIENTO TÉRMICO REALIZADO POR UNA EMPRESA
METALMECÁNICA

PAULA ANDREA LIZARAZO ESTUPIÑAN
KATYA VANESSA VILLOTA SANTAMARIA

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERIAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BOGOTÁ D.C
2017

DESARROLLO DE UNA PROPUESTA DE UN SISTEMA PARA EL
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTES DEL
TRATAMIENTO TÉRMICO REALIZADO POR UNA EMPRESA
METALMECÁNICA

PAULA ANDREA LIZARAZO ESTUPIÑAN
KATYA VANESSA VILLOTA SANTAMARIA

Proyecto Integral de Grado para optar el título de
INGENIERO QUÍMICO

Asesor
Oscar Lombana
Ingeniero Químico

Director
Diana Cuesta
Ingeniera Ambiental

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA INGENIERÍA QUÍMICA
BOGOTÁ D.C.
2017.

Nota de Aceptación

Oscar Libardo Lombana.

Juan Camilo Cely G.

Sandra Liliana Mesa E.

Bogotá, D.C. Agosto, 2017

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

Dra. ANA JOSEFA HERRERA VARGAS

Secretario General

Dr. JUAN CARLOS POSADA GARCIA-PEÑA

Decano de Facultad Ingeniería

Dr. JULIO CESAR FUENTES ARISMENDI

Director Programa de Ingeniería Química

Dr. LEONARDO DE JESUS HERRERA

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

CONTENIDO

	pag.
INTRODUCCION	22
OBJETIVOS	24
1.MARCO DE REFERENCIA	25
1.1TRATAMIENTO TÉRMICO	25
1.1.1 Temple	25
1.1.2 Revenido	27
1.1.3 Lavado de piezas	27
1.2 NORMATIVIDAD	28
1.2.1 Resolución No 631 del 17 de marzo del 2015.	28
1.3 PARÁMETROS DE CONTROL DE AGUA	29
1.3.1 Cianuro Total	30
1.3.1.1 Mecanismos de descomposición del cianuro	31
1.3.1.2 Técnicas de análisis químico del cianuro	34
1.3.2 Demanda química de oxígeno (DQO)	36
1.3.3 Sólidos suspendidos totales	36
1.3.4 pH	37
1.3.5 Turbidez	37
1.4 TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	37
2.DIAGNÓSTICO	39
2.1 DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA	39
2.1.2 Descripción del proceso productivo	39
2.2 CALIDAD DE AGUA RESIDUAL SIN TRATAMIENTO	43
3.METODOLOGÍA	45
3.1 METODO DE EXPERIMENTACIÓN	45
3.1.1 Selección de oxidantes	45
3.1.2 Selección de coagulantes	45
3.1.3 Selección de floculantes	46
3.1.4 Test de jarras	47
3.1.4.1 Cálculos de concentración de peróxido de hidrógeno	47
3.1.4.2Cálculos de concentración de hipoclorito de sodio	48
4.ANÁLISIS DE RESULTADOS	51
4.1 RESULTADOS DE LA OXIDACIÓN	51
4.1.1 Experimentación final	51
4.1.1.1 Oxidación con Hipoclorito de sodio	51

4.2 RESULTADOS COAGULACIÓN-FLOCULACIÓN	53
5.DISEÑO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO	56
5.1 CONSUMO DE AGUA QUE SERÁ TRATADA	56
5.2 TRAMPA DE GRASAS Y ALMACENAMIENTO DEL AGUA CRUDA	56
5.3 VOLUMEN DE REACTIVOS REQUERIDOS PARA EL TRATAMIENTO	57
5.3.1 Volumen de hipoclorito de sodio	57
5.3.2 Concentración de coagulante	58
5.3.3 Concentración de floculante	59
5.4 DISEÑO EQUIPOS PARA EL TRATAMIENTO DEL AGUA	59
5.4.1 Tanque sedimentador	60
5.4.1.1 Área superficial de la zona de sedimentación	60
5.4.1.2 Área superficial de la zona de espesamiento	60
5.4.2 Selección de paletas de agitación para el tanque sedimentador	61
5.4.2.1 Motorreductor	63
5.4.3 Filtros	63
5.4.3.1 Filtro de arena	63
5.4.3.2 Filtro de carbón activado	66
5.4.4 Bombas	66
5.4.4.1 Bomba sumergible	66
5.4.4.2 Selección de bomba centrífuga	66
5.4.4.3 Bombas dosificadoras	68
5.4.5 Tanque de almacenamiento del agua clarificada	69
6.ANÁLISIS DE COSTOS	71
6.1 COSTO DE REACTIVOS POR TRATAMIENTO REALIZADO A 2m ³ DE AGUA CRUDA	71
6.1.1 Costo de hipoclorito de sodio	71
6.1.2 Costo de Cloruro Férrico	71
6.1.3 Costo Floculante Catiónico	71
6.2 COSTOS DE SERVICIOS PÚBLICOS ASOCIADOS AL TRATAMIENTO	72
6.3 ANÁLISIS DE COSTOS DE OPERACIÓN y MANTENIMIENTO	72
6.4 ANÁLISIS DE COSTO DE LA PROPUESTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS	75
6.5 CÁLCULO DE COSTO DE LA MULTA	77
6.5.1 Calculo del Beneficio ilícito	78
6.5.2 Grado de afectación ambiental y/o evaluación del riesgo.	78
6.5.3 Factor de temporalidad	78
6.5.4 Circunstancias agravantes y atenuantes	79
6.5.5 Costos asociados	79
6.5.6 Capacidad socioeconómica del infractor	79

6.6 COMPARACION DE COSTOS	80
7. CONCLUSIONES	81
8. RECOMENDACIONES	83
BIBLIOGRAFÍA	84
ANEXOS	90

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Composición y propiedades de las mezclas de cianuro de sodio para baños de cianuración. Para cada tipo de salmuera (97, 75, 45 y 30) se muestra la cantidad equivalente en porcentaje de cianuro de sodio, carbonato de sodio y cloruro de sodio además del punto de fusión de cada una de estas.	26
Tabla 2. Parámetros fisicoquímicos y sus valores límites máximos permisibles según la resolución 631 del 2015, artículos 13 y 16.	29
Tabla 3. Comparación de métodos de oxidación cianuro con diferentes parámetros para la selección de los métodos seleccionados para el desarrollo del laboratorio	32
Tabla 4. Potenciales óxido- reducción teóricos para la oxidación del cianuro.	36
Tabla 5. Contenido de cloruro de potasio y cianuro de sodio	42
Tabla 6. Comparación de datos de la caracterización del agua cruda con respecto a la Resolución 631 del 2015.	43
Tabla 7. Comparación de Coagulantes y los rangos de pH de trabajo.	46
Tabla 8. Concentración de peróxido de hidrógeno para experimentación.	47
Tabla 9. Resultados obtenidos en la concentración determinada experimentalmente.	52
Tabla 10. Resultados obtenidos de la experimentación realizada a diferentes concentraciones de hipoclorito en el laboratorio ANALQUIM S.A. Todos a 40RPM, pH inicial de 10,6 y 1h de contacto.	52
Tabla 11. Resultados de coagulación – floculación obtenidos para cada experimentación (E _n). E ₁ y E ₂ contienen coagulante sulfato de aluminio y floculante catiónico y aniónico respectivamente; mientras que E ₃ y E ₄ contienen coagulante cloruro férrico y floculante catiónico y aniónico respectivamente.	54
Tabla 12. Caracterización del agua tratada con hipoclorito de sodio, cloruro férrico y floculante catiónico, sedimentada y filtrada.	55
Tabla 13. Consumo de agua por los trabajadores.	56
Tabla 14. Recopilación datos de volúmenes requeridos para tratar 2m ³ de agua cruda.	59
Tabla 15. Valores iniciales para el diseño de los equipos.	59
Tabla 16. Especificaciones finales del tanque sedimentador	61
Tabla 17. Datos otorgados por la empresa Hidro-Metálica para selección de estructura del filtro.	64
Tabla 18 . Valores seleccionados para la estructura del filtro de arena.	65
Tabla 19. Valores determinados de altura y diámetro de salida del filtro.	65
Tabla 20. Valores iniciales para la selección de bombas requeridas para el proceso.	66
Tabla 21. Bomba Sumergible.	66
Tabla 22. Bombas centrífugas.	68
Tabla 23. Características Bomba centrífuga.	68
Tabla 24. Sensor de pH.	69
Tabla 25. Sensor de ORP.	69

Tabla 26. Bombas dósificadoras.	69
Tabla 27. Costo de reactivos.	71
Tabla 28. Tabla construida a partir de simulador de consumo de Codensa, para la industria, estrato 3. Costos aproximados para 1 mes, equivalente a 4 tratamientos realizados (un tratamiento por semana).	72
Tabla 29. Mantenimiento del tanque sedimentador	73
Tabla 30. Mantenimiento de los equipos mecánicos	74
Tabla 31. Cotización realizada de los equipos requeridos para el tratamiento de agua residual.	75
Tabla 32. Cotización realizada de otros requerimientos para el montaje y puesta en marcha del tratamiento de agua residual	76
Tabla 33. Cotización de sensores y bombas dosificadoras.	77
Tabla 34. Capacidad socioeconómica del infractor (persona jurídica).	79
Tabla 35. Comparación de costos de la propuesta vs el costo de la multa.	80
Tabla 38. Composición química del acero 1020	102
Tabla 39. Propiedades químicas del acero 1016	102
Tabla 40. Propiedades químicas del acero 1030	103
Tabla 41. Propiedades químicas del acero 4140	103
Tabla 42. Propiedades químicas del acero 4340	104
Tabla 43. Propiedades químicas del acero 1045	104

LISTA DE IMÁGENES

	pág.
Imagen 1. Horno de sales y cementación (1) utilizado en la empresa durante el tratamiento térmico, proceso del cual se obtiene el agua residual.	40
Imagen 2. Fotografía de tanques de salmueras (1) y de aceites térmicos (2).	40
Imagen 3. Zona de lavado de piezas (1).	41
Imagen 4. Horno eléctrico o de cámara usado para realizar revenido (alivio de tensiones).	41
Imagen 5. Coagulantes sulfato de aluminio (1) y cloruro férrico (2), y floculante catiónico.	54
Imagen 6. Coagulantes sulfato de aluminio (1) y cloruro férrico (2), y floculante aniónico.	55
Imagen 7. Trampa de grasas.	57
Imagen 8. Tanque sedimentador, vista frontal.	61
Imagen 9. Representación de agitación axial	62
Imagen 10. Motorreductor.	63
Imagen 11. Diagrama de la estructura.	64
Imagen 12. Estructura del filtro 1 (se muestra altura total, H, y DN) y lecho filtrante 2 (se muestra DN y el diámetro del filtro).	65

LISTA DE ECUACIONES

	pág.
Ecuación 1. Hidrolisis del cianuro	31
Ecuación 2. Descomposición del cianuro	31
Ecuación 3. Reacción del nitrato de plata con el ion cianuro	35
Ecuación 4. Sulfato de plata y yoduro de plata en reacción con el cianuro en solución.	35
Ecuación 5. Área superficial de la zona de sedimentación.	60
Ecuación 6. Área superficial de la zona de espesamiento.	60
Ecuación 7. Velocidad de flujo.	62
Ecuación 8. Velocidad media del fluido.	62
Ecuación 9. Análisis de costo de mantenimiento del sistema	75
Ecuación 10. Calculo de la multa según resolución 2086 del 2016.	78
Ecuación 11. Calculo del beneficio ilícito según la resolución 2086 del 2010.	78
Ecuación 12. Grado de afectación en unidades monetarias.	78
Ecuación 13. Calculo del factor de temporalidad según resolución 2086 del 2010.	79
Ecuación 14. Cálculo de multa máxima.	80

LISTA DE GRÁFICOS

	pág.
Gráfico 1. Comportamiento de la oxidación del cianuro en diferentes concentraciones de hipoclorito de sodio, según la experimentación	53
Gráfico 2. Curva de sedimentación obtenida de datos experimentales en los laboratorios de Analquim por las autoras.	59
Gráfico 3. Información de bombas centrifugas Franklin- electric.	67

LISTA DE DIAGRAMAS

pág.

Diagrama 1. Esquema representativo del tratamiento de aguas residuales. Posibles tratamientos a realizar dentro de cada etapa (Pre-tratamiento, Tratamiento primario, secundario y terciario) que dependerán de los contaminantes del agua residual y el posterior uso de esta.	38
Diagrama 2. Proceso de tratamiento térmico de la empresa estudiada según el instructivo de tratamiento térmico otorgado por la empresa.	42
Diagrama 3. Diagrama procedimiento para la experimentación (OXIDACIÓN).	48
Diagrama 4. Diagrama proceso para la experimentación (Coagulación).	49
Diagrama 5. Diagrama proceso para la experimentación (Floculación)	50
Diagrama 6. Diagrama del proceso del tratamiento de agua residual propuesto.	69

LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. Informe otorgado por ANALQUIM. S.A.	91
Anexo B. Cotización reactivos de la oxidación	93
Anexo C. Descripción técnica de las bombas	94
Anexo D. Descripción técnica de los sensores	96
Anexo E. Cotizaciones	97
Anexo F. Composición de materiales tratados	102
Anexo G. Guía de métodos estándar	105
Anexo H. NTC 3651 calidad del agua, determinación del pH.	113

GLOSARIO

AGUAS RESIDUALES: son aguas que después de haber sido utilizadas en un proceso industrial o de pasar por los hogares, contienen contaminantes (químicos, metales, plásticos, desechos animales o desechos humanos) en altas concentraciones y es por esto que requieren un tratamiento.

AMONIACO: el amoníaco se produce de manera natural por la acción de bacterias en el suelo o en los animales. Es un gas formado por tres átomos de hidrógeno y por un átomo de nitrógeno, siendo su fórmula química NH_3 .¹

CARACTERIZACIÓN: la caracterización determina los compuestos que contaminan el agua residual industrial, que pueden afectar los efluentes que están conectados con la red de tuberías de la empresa. Los parámetros importantes a determinar son: pH, temperatura, color, sólidos en suspensión y sólidos sedimentables, concentración de tóxicos metálicos, nitrógeno, fósforo, amoníaco, cloruros, DBO5 (demanda biológica de oxígeno) y DQO (demanda química de oxígeno).

CAUDAL: cantidad de fluido que circula a través de una sección del ducto (tubería, cañería, oleoducto, río, canal) por unidad de tiempo. Se identifica con el flujo volumétrico o volumen que pasa por un área dada en la unidad de tiempo.²

CEMENTACIÓN: tratamiento termoquímico, que se realiza al acero de bajo carbono (menos del 0,25%) con el objetivo de enriquecer la capa superficial con carbono (más del 0,8%).³

CIANURO: es una sustancia química altamente reactiva y tóxica, utilizada en procesamiento del oro, joyería, laboratorios químicos, industria de plásticos, pintura, pegamentos, solventes.

CLORUROS: los cloruros son compuestos que llevan un átomo de cloro en estado de oxidación formal -1. Corresponden al estado de oxidación más bajo de este elemento debido a que tiene completada la capa de valencia con ocho electrones.⁴

¹ PÉREZ PORTO, Julián y GARDEY, Ana. Amoníaco. [Consultado el diciembre 12] Disponible en: <http://definicion.de/amoniaco/>

² CABANA, Denis. Caudales máximos. Agosto 8,. [Consultado el junio 10] Disponible en: <https://prezi.com/jqbwwaf5w-f2/caudal-es-la-cantidad-de-fluido-que-circula-a-traves-de-una/>

³Cementación. Disponible en internet: (estudioyensayo.files.wordpress.com/2008/11/cementacion.pdf)

⁴ GARCIA, Álvaro. Funciones de las moléculas orgánicas e inorgánicas. Disponible en internet: <http://es.calameo.com/books/001000217a4f7c43497d3>

COLOR: impresión sensorial que produce la luz sobre cualquier objeto captado por la vista, no es una propiedad intrínseca de los cuerpos, dependen de la naturaleza de la luz que reciben.⁵

CONCENTRACIÓN DE TÓXICOS METÁLICOS: alta concentración de los iones de un metal pesado, puede llegar a ser letal para los seres vivos y el medio ambiente.

DBO (DEMANDA BIOLÓGICA DE OXÍGENO): mide la cantidad de oxígeno consumido al degradar la materia orgánica de una muestra líquida

DQO (DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO): determina la cantidad de oxígeno requerido para oxidar la materia orgánica en una muestra de agua residual.

DUCTILIDAD: es una propiedad presente en algunos materiales, bajo la acción de una fuerza, pueden deformarse plásticamente de manera sostenible sin romperse.⁶

FLOC: conglomerado de partículas sólidas que se genera a través de los procesos de coagulación y floculación en una solución.⁷

FÓSFORO: forma la base de gran número de compuestos, los más importantes son los fosfatos. Los fosfatos desempeñan el papel en los procesos de transferencia de energía, como el metabolismo, la fotosíntesis, la función nerviosa y la acción muscular.

NITRÓGENO: es el principal constituyente de la atmósfera. El nitrógeno se presenta en diversas formas. Es constituyente de todas las proteínas (vegetales y animales), así como también de muchos materiales orgánicos. Su principal fuente mineral es el nitrato de sodio.⁸

OXIDACIÓN: se da cuando un elemento o compuesto pierde uno o más electrones. Generalmente, cuando una sustancia se oxida (pierde electrones), otra sustancia recibe o capta dichos electrones reduciéndose.

OXÍGENO DISUELTO: mide la cantidad de oxígeno gaseoso disuelto (O₂) en una solución acuosa.

⁵ Anónimo, Color. Disponible en: <http://www.profesorenlinea.cl/artes/colorestudiodel.htm>

⁶ BOZZO ROTONDO, Luis y BARBAT, Alex. Diseño sísmo resistente de edificios: técnicas convencionales y avanzadas; España: Editorial Reverté S.A, 2004. 104-106 p. ISBN 84-297-2011-

⁷ GIL BUSTAMANTE, Antonio. Consideraciones sobre el desarrollo del floc. [0]. [Consultado el 15 de julio] Disponible en: <http://www.serquimsa.com/consideraciones-sobre-el-diseno-del-floc/>

⁸ Anónimo Nitrógeno - N. 1998-2017. Disponible en: <http://www.lenntech.es/periodica/elementos/n.htm>

pH: medida de acidez o alcalinidad de una disolución. El pH indica la concentración de iones hidrógeno $[H]^+$ presentes en una disolución.⁹

REVENIDO: el acero suele quedar duro por el temple, se desarrolla el revenido para suavizar sutilmente el acero templado y suministrarle mayor tenacidad, ductilidad eliminar toda clase de tensiones internas.

SÓLIDOS SEDIMENTABLES: por la gravedad se deposita un volumen determinado de partículas gruesas en solución.¹⁰

SÓLIDOS SUSPENDIDOS: se define como un parámetro para clasificar la calidad del agua y en el tratamiento de aguas residuales. Indica la cantidad de sólidos en suspensión.¹¹

TEMPERATURA: magnitud escalar relacionada con la energía interna de un sistema termodinámico.¹²

TEMPLE: se endurece el acero por medio del calor con el fin de aumentar su resistencia. Se eleva la temperatura del material, con arreglo a su contenido de carbono, siguiendo las exigencias del acero que se desea obtener. Termina enfriando el acero rápidamente por inmersión en un líquido apropiado.

TENACIDAD: energía de deformación total que es capaz de absorber o acumular un material antes de alcanzar la rotura en condiciones de impacto.¹³

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES: el desarrollo de sistemas de tratamiento y correctas adecuaciones ayudan a transformar todo tipo de agua residual en agua más limpia y segura que podrá ser empleada en diversos usos. Las aguas residuales son materiales provenientes de residuos domésticos o

⁹ López, Raymond Chang, Kenneth A. Goldsby; revisión técnica, Rodolfo Álvarez Manzo, Silvia Ponce (2013). *Química* (11a. ed. edición). México; Madrid [etc.]: MacGraw-Hill. ISBN 978-607-15-0928-4.

¹⁰ Ricardo Sánchez Murillo, et al. Determinación de la concentración de sólidos suspendidos totales (SST) y metales pesados en la cuenca del Río Morote, Nicoya, Guanacaste. En: UNICIENCIA. Mar 1, .vol. 23, no. 1,

¹¹SARMIENTO GARCIA, Cesar. Glosario. [Consultado el abril 20] Disponible en: <https://sites.google.com/site/cesarsarmiento1095/actividades/glosario-2>

¹²Anónimo Temperatura. [Consultado el maro 12] Disponible en: <https://hernanleon1002.wordpress.com/fisica-de-fluidos-y-termodinamica/segundo-corte/marco-teorico/temperatura/>

¹³ GONZALES, Monica. Tenacidad. Dic 6,. [Consultado el mayo 17] Disponible en: <http://fisica.laguia2000.com/dinamica-clasica/fuerzas/tenacidad>

procesos industriales, por razones de salud pública, es necesario realizar un tratamiento de aguas residuales.

TRATAMIENTO TÉRMICO: tratamiento aplicado a metales para mejorar sus propiedades y características. Durante este proceso son calentadas las piezas durante un corto tiempo, seguido de enfriarlas para conseguir la estructura deseada.

LISTA DE ABREVIATURAS

CN: cianuro

COP: pesos colombianos

D: (m²) Diámetro de la paleta

DBO₅: (mg/LO₂) Demanda Biológica de Oxígeno

De: (mm) Diámetro interno

DQO: (mg/LO₂) Demanda química de oxígeno.

e: (mm)Espesor

E_n: experimento número (n)

GAL: galones.

H: (mm) Altura total

H₀: (m) Altura Inicial

NTU: unidad nefelométrica de turbidez

OD: oxígeno Disuelto

ORP: (mV) Potencial oxido-reducción

Q: (GPM) Caudal

SS: (mg/L) Sólidos suspendidos.

SST: (mg/L) Sólidos suspendidos totales

T: (m²) Diámetro del tanque

T_u: (s) Tiempo necesario para obtener concentración de lodos requerida.

VS: (m/s) Velocidad de asentamiento

RESUMEN

El proyecto se enfocó en el desarrollo de una propuesta de un sistema para el tratamiento de agua residual proveniente del tratamiento térmico realizado por una empresa metalmeccánica, con el fin de obtener agua que cumpliera con los parámetros permisibles que se encuentran en la Resolución 631 del 2015.

Para el diagnóstico del estado actual de la empresa se realizó una descripción del proceso que es llevado a cabo actualmente; teniendo en cuenta los parámetros propuestos en la Resolución y los principales contaminantes del agua cruda, para ello se buscó identificar los posibles contaminantes a partir de los reactivos usados en las piezas de acero y la composición de la materia prima que se utiliza del proceso de tratamiento térmico, con el fin de realizar una comparación y finalmente obtener los verdaderos contaminantes. Una vez realizada la identificación, por medio de una caracterización desarrollada en ANALQUIM S.A se corroboró la concentración de los contaminantes que se encuentran dentro del agua que es vertida al alcantarillado.

Una vez se obtuvieron los parámetros críticos, es decir que no cumplían con la normatividad especificada para el vertimiento de aguas residuales industriales, se procedió a determinar la experimentación requerida para poder seleccionar el conjunto de tratamiento que remueve mayor cantidad de impurezas. Durante la experimentación fueron seleccionados el oxidante (hipoclorito de sodio), el coagulante (cloruro férrico), el floculante (catiónico) y el sistema de tratamiento (trampa de grasas, sedimentador, filtros) que sería usado con el fin de que el agua vertida no incumpliera ningún parámetro.

De acuerdo a las concentraciones finales seleccionadas, se realizó un escalamiento para diseñar los equipos en los que se efectuará el tratamiento a nivel industrial y finalmente se analizaron los costos por medio de la comparación de los valores de la inversión y la multa que tendría que afrontar la empresa en caso de no realizar el tratamiento adecuado del agua residual.

PALABRAS CLAVES: cianuro total, demanda química de oxígeno, sólidos suspendidos totales, turbidez, pH, oxidación, coagulación, floculación, sedimentación, filtrado.

INTRODUCCION

La empresa metalmecánica se encarga de realizar maquinaria y piezas para empresas productoras de alimentos se encuentra ubicada en Ricaurte, Bogotá, durante la producción de maquinaria la materia prima debe ser llevada a tratamiento térmico, es de allí de donde sale el agua residual que debe ser tratada para su posterior vertimiento.

Para la obtención de aceros con propiedades y características requeridas usados durante la producción posterior de la maquinaria (producto final), la empresa realiza un tratamiento térmico al que se le agrega diariamente una mezcla de cloruro de potasio (KCl), entre 4 y 7 kg, y cianuro de sodio (NaCN), entre 5 y 9 kg; una vez el tratamiento ha sido realizado las piezas son lavadas con agua a presión para retirar las sales y aceites. Esa agua es desechada posteriormente. Según el último muestreo y caracterización fisicoquímica del vertimiento de aguas residuales llevado a cabo por el laboratorio ANALQUIM.S.A el 5 de mayo del 2017, se determinó que el cianuro total en la muestra tiene un valor de 97 mg/L por encima del valor máximo permitido por la Resolución 631 del 2015 que establece es de 0,1 mg/L debido que el cianuro es altamente tóxico y en altas concentraciones puede incluso llevar no solo a los humanos, sino también a cualquier ser vivo a la muerte¹⁴. Por esta razón se determinó que la problemática de la empresa es el incumplimiento del parámetro anteriormente nombrado de la Resolución en mención.

Además de los riesgos e implicaciones ambientales, las consecuencias que acarrea realizar un vertimiento de agua residual que no cumpla con la normatividad pueden ser multas o sanciones, incluso el cierre de la empresa según la Ley 1333 de 2009.

Por lo anterior se encontró necesario proponer un sistema de tratamiento de aguas residuales, debido que la empresa no cuenta con éste y así cumplir con los requerimientos que debe tener el agua residual para su posterior vertimiento. Durante el proyecto se llevó a cabo el análisis de los parámetros que se debían tener en cuenta para realizar la experimentación obteniendo como resultado: sólidos suspendidos totales, cianuro Total, pH, y demanda química de oxígeno. Una vez se seleccionaron los parámetros a tratar, se procedió a realizar la experimentación donde fueron seleccionados el oxidante (hipoclorito de sodio), coagulante (cloruro férrico) y floculante (catiónico); finalmente se realizó una selección y diseño de los equipos que serán usados en la empresa para llevar a cabo el tratamiento y para

¹⁴ Anónimo. RESUMEN DE SALUD PÚBLICA Cianuro; En: DEPARTAMENTO DE SALUD Y SERVICIOS HUMANOS DE LOS EE.UU., SERVICIO DE SALUD PÚBLICA AGENCIA PARA SUSTANCIAS TÓXICAS Y EL REGISTRO DE ENFERMEDADES. Julio .p. 1-10. Disponible en internet: https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs8.pdf

verificar que fuera viable económicamente se realizó la comparación con la multa que acarrea, disponer el agua sin ningún tratamiento.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Desarrollar una propuesta para un sistema de tratamiento de las aguas residuales generadas en el tratamiento térmico en una empresa metalmecánica.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Diagnosticar el estado del agua residual proveniente del tratamiento térmico.
2. Seleccionar el sistema de tratamiento del agua de acuerdo con el diagnóstico realizado por desarrollo experimental.
3. Especificar las operaciones unitarias del sistema de tratamiento.
4. Realizar el análisis de costos del sistema de tratamiento de agua.

1. MARCO DE REFERENCIA

Dentro de los procesos de una empresa metalmecánica se desarrollan tratamientos térmicos a diferentes piezas de acero con el fin de obtener características necesarias requeridas para poder continuar con el proceso productivo, dentro de los tratamientos térmicos se hace uso de reactivos con alta peligrosidad que no reaccionan completamente, por lo que al realizar el lavado de las piezas estos serán arrastrados por el agua convirtiéndose en contaminantes.

En la actualidad todas las empresas deben cumplir con la Resolución 631 del 2015 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, en la que se reglamentan las concentraciones finales de los contaminantes que se encuentren en el agua al momento de ser vertidas al alcantarillado, para cumplir con la norma las empresas pueden realizar tratamiento de las aguas residuales o hacer una disposición final con un agente externo que tenga la acreditación, como la empresa en estudio trabaja con reactivos altamente tóxicos y el agua vertida al alcantarillado no cuenta con ningún tratamiento, es indispensable desarrollar una propuesta para el tratamiento de estas, permitiendo así el cumplimiento de la norma anteriormente nombrada

En este capítulo se explicará teóricamente la base de la información que se encuentra en los siguientes capítulos, se inicia hablando del tratamiento térmico, ya que es indispensable conocer el proceso que se lleva a cabo dentro de la empresa para conocer de dónde sale el agua cruda dentro del proceso además de los reactivos y la materia prima (metales que serán tratados) usados dentro del tratamiento. Una vez se conoce el proceso, teniendo en cuenta que la empresa no cuenta con una planta de tratamiento, es importante conocer que normatividad debe cumplir la empresa, es por esto que se expone la Resolución 631 del 2015, en la que se muestran los parámetros a cumplir; teniendo en cuenta los reactivos y la materia prima es posible realizar una comparación de estos con los parámetros expuestos en la norma y así finalmente conocer que parámetros de control determinarán la experimentación. Finalmente se muestra cómo se lleva a cabo un tratamiento de aguas residuales, que será el punto final al que se quiere llegar.

1.1 TRATAMIENTO TÉRMICO

Es aquel tratamiento aplicado a metales para mejorar sus propiedades y características. Durante este proceso son calentadas las piezas por un corto tiempo, seguido de un proceso de enfriado realizado para conseguir la estructura deseada. El tratamiento consiste en los siguientes procesos:

1.1.1 Temple. En este proceso se endurece el acero haciendo uso de altas temperaturas con el fin de aumentar su resistencia. Se eleva la temperatura del material, teniendo en cuenta su contenido de carbono y las exigencias del acero

que se desea obtener. Finalmente, las piezas de acero son sumergidas en salmueras o aceites según convenga para realizar el enfriamiento¹⁵

Entre los medios de temple se encuentran:

- a) Agua: Es el medio de temple más económico, comúnmente usado para las piezas que no se distorsionan excesivamente y no se fisuran al ser templadas.
- b) Salmuera: las salmueras son soluciones acuosas, que contienen cloruro de sodio o cloruro de calcio, además de aditivos especiales o inhibidores de la corrosión. En algunos casos también son usadas mezclas de cianuro de sodio.
- c) Aceites: estos contienen aditivos que alteran las características de enfriamiento del aceite, permitiendo que la velocidad de enfriamiento sea más rápida.

La empresa en estudio realiza el temple con salmuera compuesta de cianuro de sodio, en la Tabla 1 se muestran las diferentes mezclas de sales posibles para realizar el temple con el cianuro de sodio como principal componente.

Tabla 1. Composición y propiedades de las mezclas de cianuro de sodio para baños de cianuración.¹⁶ Para cada tipo de salmuera (97, 75, 45 y 30) se muestra la cantidad equivalente en porcentaje de cianuro de sodio, carbonato de sodio y cloruro de sodio además del punto de fusión de cada una de estas.

Compuesto o propiedad	Tipo de salmuera			
	97	75	45	30
Cianuro de sodio (%)	97	75	45,3	30
Carbonato de sodio (%)	2,3	3,5	37	40

¹⁵ Tratamientos térmicos de los aceros. México: Limusa Noriega, 2000 p. 96-79, 241-244

¹⁶ *Ibíd.*, p.241-244

Tabla 1. (Continuación).

Compuesto o propiedad	Tipo de salmuera			
	97	75	45	30
Cloruro de sodio (%)	Trazas	21,5	17,7	30
Punto de fusión °C	560	590	570	625

Fuente: Tratamientos térmicos de los aceros. México: Limusa Noriega, 2000. P. 20

En la Tabla 1 se muestran los valores en porcentaje de concentración para cada tipo de mezcla, el nombre de cada una se da de acuerdo al valor del porcentaje de cianuro de sodio debido que es el componente más importante pues son salmueras cianuradas, su uso se determinará de acuerdo a las características que se le quieran otorgar a las piezas y también al tipo de tratamiento que se realizará.

1.1.2 Revenido. Como resultado del proceso de temple el acero suele quedar duro, es por esto que se realiza el proceso de revenido con el fin de suavizar sutilmente el acero templado y suministrarle mayor tenacidad, ductilidad y eliminar toda clase de tensiones internas.¹⁷ Entre los medios de revenido se encuentran:

- a) Baños de sales fundidas: Se aplican temperaturas arriba de 165°C, obteniendo mezclas de sales con diferente intervalo de temperaturas de operación.
- b) Baños de aceite: Se utiliza el mismo método que el de las sales. Para estos se realiza agitación con el fin de conservar la temperatura uniformemente y así prolongar la vida útil del aceite.¹⁸

1.1.3 Lavado de piezas. Para remover contaminantes, sales que no reaccionaron y aceites; durante el proceso es necesario realizar un lavado de las piezas resultantes, esto se realiza con agua a presión. Para lograr determinar los contaminantes del agua residual, la resolución 631 del 2015 expone todos los

¹⁷MONDRAGON Fonseca y FERNANDO Raúl, Elaboración de un plan de implementación para el manejo de los residuos sólidos y líquidos generados en los procesos de mecanizado y tratamientos térmicos en la fábrica general José María Córdova de la industria militar. Trabajo de grado Ingeniero Químico. Bogotá D.C.: Fundación Universidad de América. Facultad de ingenierías, 1998. P. 31.

¹⁸ GRINBERG, Dora. Tratamientos térmicos de aceros y sus prácticas de laboratorio. Mexico: Limusa Noriega, 1994 p. 83-108.

contaminantes que pueden resultar de los vertimientos realizados por una empresa metalmeccánica.

1.2 NORMATIVIDAD

La normatividad vigente expedida en Colombia sobre vertimientos está a cargo del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, el cual busca reducir y controlar las sustancias contaminantes que llegan a los ríos, embalses, lagunas y cuerpos de agua natural o artificial, además busca mejorar la calidad del agua trabajando en la recuperación de las principales arterias fluviales del país.¹⁹ Para controlar el vertimiento de contaminantes a las fuentes hídricas, el Ministerio desarrolló la Resolución 631 de 2015 en donde se dictan los límites máximos, esta resolución se encuentra dividida en artículos y cada artículo se encuentra sub-dividido en actividades. La industria a tratar se clasifica en la Resolución 631 del 2015 en el artículo 13 como: Actividad: Tratamiento y revestimiento de metales, que incluye los tratamientos térmicos de metales (temple, recocido, revenido, entre otros). En este artículo se especifican los valores máximos de los posibles contaminantes que puede tener el agua residual después de realizar el tratamiento térmico, como en la empresa en estudio, el agua es vertida al alcantarillado se deben tener en cuenta las especificaciones del artículo 16 en el que se muestran factores por los que deben ser multiplicados los límites determinados en el artículo 13 para obtener el valor que debe ser tomado para la disposición final (ver tabla 2).

1.2.1 Resolución No 631 del 17 de marzo del 2015. “Se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de agua superficiales a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones”.²⁰

ARTÍCULO 13. “Parámetros fisicoquímicos a monitorear y sus valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales de aguas residuales no domésticas (ARND) a cuerpos de aguas superficiales de actividades asociadas con fabricación y manufactura de bienes”. Los parámetros fisicoquímicos y sus valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales de Aguas Residuales no Domésticas (ARND) de las actividades de fabricación y manufactura de bienes a cumplir, serán los siguientes:

¹⁹ VALLEJO LOPEZ, Gabriel. Minambiente presenta nueva Norma de Vertimientos que permitirá mejorar la calidad agua del país]. marzo 18,. [Consultado el marzo 2] Disponible en: <http://www.minambiente.gov.co/index.php/noticias/1700-minambiente-presenta-nueva-norma-de-vertimientos-que-permitira-mejorar-la-calidad-agua-del-pais>

²⁰ COLOMBIA. CONGRESO DE LA REPUBLICA. Resolución 0631. (17, marzo, 2015). Por la cual se crea el sistema de seguridad ambiental y se dictan otras disposiciones. Diario Oficial. Bogotá, D.C., 2015. no. 49.486.

Tabla 2. Parámetros fisicoquímicos y sus valores límites máximos permisibles según la resolución 631 del 2015, artículos 13 y 16.

Parámetros	Unidades	Parámetros máximos permisibles artículo 13	Parámetros máximos permisibles artículo 16
pH	mg/L	6-9	5-9
DQO	mg/L O2	250	375
DBO	mg/L O2	100	150
Sólidos suspendidos totales	mg/L	50	75
Sólidos sedimentados	mL/L	2	3
Grasas y aceites	mg/L	10	15
Fenoles	mg/L	0,2	0,2
Hidrocarburos totales	mg/L	10	10
Cianuro total	mg/L	0,1	0,1
Aluminio	mg/L	3	3
Arsénico	mg/L	0,1	0,1
Bario	mg/L	1	1
Cadmio	mg/L	0,05	0,05
Zinc	mg/L	3	3
Cobre	mg/L	1	1
Cromo	mg/L	0,5	0,5
Estaño	mg/L	2	2
Hierro	mg/L	3	3
Mercurio	mg/L	0,01	0,01
Níquel	mg/L	0,5	0,5
Plata	mg/L	0,2	0,5
Plomo	mg/L	0,2	0,2

Fuente: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Resolución 631 del 2015, artículos 13 y 16²¹

1.3 PARÁMETROS DE CONTROL DE AGUA

Se realiza una caracterización del agua con el fin de determinar las concentraciones de los contaminantes que esta contiene, si la concentración se encuentra por

²¹ COLOMBIA. CONGRESO DE LA REPUBLICA. Resolución 0631. El Cid Editor, 2015. p. 19

encima del valor máximo permitido por la normatividad (ver Tabla 2), estos pueden afectar los efluentes que están conectados con la red de tuberías de la empresa, por lo que deberán ser tratados para disminuir su concentración.

De acuerdo al proceso realizado por la empresa es posible determinar que contaminantes puede contener el agua residual, debido a que dentro del tratamiento son usadas salmueras (cianuro de sodio, cloruro de potasio) y aceites para el enfriamiento de las piezas.

Según Pérez Patiño, Juan Antonio.²² El tratamiento térmico se realiza para conferir características especiales al material tratado cambiando físicamente sus propiedades, por lo anterior es posible determinar que los materiales no pierden su composición por lo que no puede haber trazas y por consiguiente son descartados como contaminantes del agua residual.

Una vez se realiza la caracterización del agua residual y son conocidos los contaminantes que no cumplen la normatividad, se deben evaluar las diferentes alternativas que garanticen el mejor tratamiento. Para la selección de este último se deben tener en cuenta los parámetros de selección que se muestran a continuación:

1.3.1 Cianuro Total. El cianuro total se refiere a la medida de concentración de todas las especies de cianuro que se encuentran presentes en el agua cruda, estas especies pueden ser cianuro libre (ion cianuro y cianuro de hidrógeno ya sea acuoso o gaseoso), complejos de cianuro, cianuros metálicos, entre otros²³.

El cianuro es un compuesto altamente tóxico “Wolnik informa de siete muertos post-ingesta de un analgésico contaminado con 650 mg de cianuro de potasio”²⁴ es decir que una persona que consuma 650mg de cianuro de potasio, componente principal de la salmuera usada en el tratamiento térmico, una persona puede fallecer, y en menores cantidades puede presentar trastornos gastrointestinales, dolor abdominal y náuseas. En caso de ser inhalado el ácido cianhídrico, que es la especie de cianuro más tóxica²⁵, puede disminuir o aumentar la frecuencia respiratoria al inhibir la absorción de oxígeno haciendo que por falta de este los demás órganos fallen y

²² PEREZ PATIÑO, Juan Antonio. Trabajo de grado de maestría en ciencias de la mecánica con especialidad de los materiales. Tratamientos térmicos de los aceros; México.: Universidad Autónoma de Nuevo León, 1996. p. 32-39.

²³ Anónimo. Código internacional para el manejo de cianuro. Junio,. [Consultado el julio 10] Disponible en: https://www.cyanidecode.org/sites/default/files/sppdf/DefinitionsSpanish2_13.pdf

²⁴ RAMIREZ, Augusto V. Toxicidad del cianuro. Investigación bibliográfica de sus efectos en animales y en el hombre. En: ANALES DE LA FACULTAD DE MEDICINA. Mar 22,.vol. 71, no. 1, p. 54-61

²⁵ RAMIREZ, Augusto V. op cit., p. 31

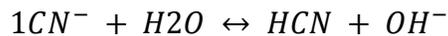
al tener contacto con la piel el cianuro penetra la epidermis llegando por el torrente sanguíneo a los diferentes órganos generando mareos, confusión, convulsión e incluso pérdida de conocimiento.

Como el tratamiento térmico hace uso de sales de cianuro y este no reacciona en su totalidad siendo arrastrado por el agua con la que son lavadas las piezas y teniendo en cuenta la toxicidad de este, es necesario contemplar dentro del tratamiento del agua un mecanismo que permita disminuir las concentraciones del cianuro que no puede ser desechado. Se deben tener en cuenta los diferentes procesos de degradación del mismo.

1.3.1.1 Mecanismos de descomposición del cianuro. Los procesos de descomposición del ion cianuro son complejos, estos ocurren por reacciones de hidrolisis y oxidación.

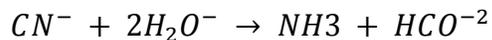
- La hidrolisis del cianuro a cianuro de hidrogeno volátil Ecuación 1, se produce a valores de pH menores que 10,5 siendo crítica a pH menores que el pKa del cianuro”.⁴

Ecuación 1. Hidrolisis del cianuro



A valores de pH mayores que 10,5 se produce la reacción Ecuación 2 también de hidrólisis, con una cinética muy lenta a temperatura ambiente, generando gradualmente la descomposición del cianuro de soluciones alcalinas:²⁶

Ecuación 2. Descomposición del cianuro



- Oxidación del cianuro: El ion cianuro es importante para la industria y para el medio ambiente. A continuación, se muestran los diferentes métodos de oxidación del cianuro:

²⁶ PESANTEZ Daniel, DE LA TORRE Ernesto y GUEVARA Alicia, Departamento de Metalurgia Extractiva Influencia del ion cúprico y del cobre metálico en la oxidación del cianuro libre con aire y carbón activado disponible en Revista Politécnica, 2010, Vol. 29(1): 1–7.p. 1.

Tabla 3. Comparación de métodos de oxidación cianuro con diferentes parámetros para la selección de los métodos seleccionados para el desarrollo del laboratorio

Tipo de oxidación	Degradación del CN-	pH	Costos	Generación de sólidos suspendidos	Toxicidad	Reacción exotérmica	Presencia de catalizador	Emisiones
<i>Cloración alcalina</i>	Oxidación y destrucción de las formas de cianuro libre y cianuro disociable, en ácido débil en medio alcalino pueden formar halógenos orgánicos absorbibles. ²⁷	Alcalino	Bajo	si	Alta	Exotérmica	no	Altas
<i>Sulfato ferroso</i>	El proceso trabaja con cianuro libre, la oxidación se da con luz solar. La adición de iones ferrosos a soluciones conteniendo cianuro férrico deja un precipitado azul. ²⁸	Acido	Bajo	si	Media	Ambiente	no	Altas
<i>Peróxidos</i>	En solución alcalina, el cianuro es oxidado a cianato. La oxidación de los iones cianuro es acelerada en presencia de catalizadores como iones de cobre o formaldehído. ²⁹	Acido-Alcalino	Bajo	si	Baja	Ambiente	si	Medio

²⁷ DIAS INOCENTE, Daysi Kelly y CONDORI COILLO, Ismael Rene. Proceso de identificación de soluciones cianuradas usando el método inco en efluentes. Trabajo de grado para ingeniería química. Lima.: Universidad Nacional de Ingeniería. Facultad de ingeniería química y textil. Departamento de ingeniería. 15-30 p.

²⁸ Anónimo, Cianuro. Disponible en: <http://www.ingenieroambiental.com/4014/compendio-cianuro.pdf>

²⁹ YÉPEZ, Chung. Pruebas de Destrucción Del Cianuro. 1999. Capítulo 4

Tabla 3. (Continuación)

Tipo de oxidación	Degradación del CN-	pH	Costos	Generación de solidos suspendidos	Toxicidad	Reacción exotérmica	Presencia de catalizador	Emisiones
<i>Ozono</i>	Oxida cianuro a dióxido de carbono y nitrógeno, hay la posibilidad de que se genere HCN. ³⁰	Alcalino-Acido	Alto	no	Alta	Ambiente	no	Altas
<i>Electrolítica</i>	Las concentraciones de cianuro tienen que ser bajas, el proceso debe ser controlado por el transporte de masa. ³¹	Alcalino	Alto	no	Baja	Exotérmica	si	Bajas
Proceso Inco	El proceso de oxidación del cianuro llega a un límite de concentración de 0,3mg/L, pasando de cianuro a cianato y tiocianato. ³²	Alcalino	Bajo	si	Media	Ambiente	si	Medio
Hipoclorito de Sodio	sustancia que no es toxica, reacciona fácilmente sin un catalizador, oxida a temperatura ambiente y a pH alcalino. ³³	Alcalino	Bajo	si	Baja	Ambiente	si	Medio

³⁰ FABIOLA NAVLA, Alonso; Elorza Rodríguez, Enrique; Uribe Salas, Alejandro; Barriga Ordóñez, Francisco. Eliminación de cianuro por oxidación con ozono - experiencia del cinvestav. Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN Facultad de Minas Metalurgia y Geología, Universidad de Guanajuato, Guanajuato Disponible en: <http://www.rilize.com/OZONO%20ELIMINACI%C3%93N%20DE%20CIANURO%20POR%20OXIDACI%C3%93N%20CON%20OZONO.pdf>

³¹ Anónimo. ELECTROQUÍMICA Y MEDIO AMBIENTE. [Consultado el junio 30] Disponible en: http://docencia.udea.edu.co/cen/electroquimica/tratamiento/tratamiento_contaminantes.pdf

³² GÓMEZ LEIVA Patricia, Degradación de Cianuros mediante Oxidación en Efluentes Industriales, Proyecto máster en química y desarrollo sostenible, España.: Universidad de Oviedo. Departamento de química orgánica e inorgánica, 2012. Disponible en internet: digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/10651/3986/6/TFM_PatriciaGomezLeiva.pdf

³³ *Ibíd.*, p.15-50

En la tabla 3, se realizó una comparación de diferentes parámetros a cada tipo de oxidación para neutralizar el cianuro, tomando en cuenta el pH al cual trabaja, su toxicidad, si genera solidos suspendidos, emisiones entre otros.

Se descartó la oxidación por cloración alcalina, debido a que es exotérmica a altas concentraciones de cianuro y puede llegar a producir combinaciones toxicas peligrosas, optando por descartar esta opción para la neutralización del cianuro debido a que se manejan altas concentraciones de cianuro en el efluente. La oxidación química por sulfato ferroso forma gran cantidad de lodos y requiere luz solar para la descomposición del cianuro libre, por esta última condición fue descartada, debido a que se realizara el proceso de tratamiento dentro de las instalaciones de la planta y esta no cuenta con acceso solar. La oxidación química con ozono es una forma de neutralización bastante complicada de aplicar, debido a que la reacción es bastante inestable y la exposición a ozono es tóxica en ambientes no ventilados, no se optó por usar este oxidante, al ser un agente que genera peligro a los trabajadores que estén cerca de la planta de tratamiento e incluso en las instalaciones de la empresa. La oxidación electrolítica no se aplica debido a que su aplicación conlleva a un costo elevado, la cual no es conveniente para la empresa. La oxidación por hipoclorito de sodio y oxidación con peróxido de hidrogeno son las dos opciones de neutralización del cianuro que se eligieron a desarrollar, por su economía, facilidad de reacción sin catalizadores metálicos, las temperaturas a las que se realizan las oxidaciones son temperatura ambiente, por lo que no requieren de calentamiento o enfriamiento y a su vez esto implica menos costos, no son riesgosas, se realizan con pH alcalinos por lo que no se obtendrá como producto ácido cianhídrico que es un componente altamente tóxico, se pueden manipular fácilmente los oxidantes al no ser tóxicos para la neutralización

1.3.1.2 Técnicas de análisis químico del cianuro. Para llevar a cabo la selección de una técnica de análisis químico se deben tener en cuenta los siguientes factores:

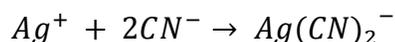
- El tipo de cianuro que se quiere analizar y la concentración a la que este se encuentra (alta o baja).
- La precisión requerida al momento de la determinación.
- La turbidez de la solución y principalmente, la presencia de sustancias que pueden interferir con el método de análisis.³⁴

³⁴ RAMIREZ, Augusto V. Op. Cit., p. 30

Las técnicas más empleadas son la titulación (volumetría) y el electrodo específico en la determinación del cianuro libre y la destilación para el cianuro total.³⁵

- a. Cianuro libre por volumetría: Para concentración es de cianuro mayores de 5 mg/L se utiliza este método. Se realiza con la reacción del nitrato de plata con el ion cianuro en solución alcalina para formar el complejo soluble $Ag(CN)_2^-$ según la reacción:

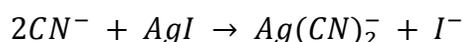
Ecuación 3. Reacción del nitrato de plata con el ion cianuro



Cuando se elimina la concentración de cianuro en solución, precipita el exceso de plata como AgCN o reacciona con el indicador (generalmente KI) para formar AgI.³⁶

- b. Cianuro libre por electrodo específico de cianuro: Un electrodo para medir cianuro cuenta con una membrana de sulfuro de plata y yoduro de plata reaccionando con el cianuro en solución, liberando una cantidad proporcional de ión yoduro, según la siguiente reacción⁸:

Ecuación 4. Sulfato de plata y yoduro de plata en reacción con el cianuro en solución.



Se utiliza un electrodo para detectar el cianuro libre y todos los complejos de cianuro que poseen.³⁷

- c. Cianuro total por destilación: Para cuantificar el cianuro libre, los cianuros simples y la mayoría de los complejos metálicos de cianuro. Se realiza una destilación ácida a reflujo utilizando cloruro de magnesio ($MgCl_2$) como catalizador y así se descomponen los complejos metálicos en solución.³⁸
- d. Cianuro total mediante uso de sensor ORP³⁹. Debido a los costos que implica realizar los análisis anteriormente mencionados y teniendo en cuenta que la finalidad de la determinación del cianuro total es saber si este ha sido oxidado o

³⁵ NAVA Alonso, RODRÍGUEZ Elorza, URIBE SALAS Y R. PÉREZ, Garibay REV. Análisis químico de cianuro en el proceso de cianuración. METAL. MADRID, [enero-febrero 2007], ISSN: 0034-8570: revisión de los principales métodos. p.4-5.

³⁶ *Ibíd.*, p. 4-5

³⁷ *Ibíd.*, p. 4-5

³⁸ *Ibíd.*, p. 4-5

³⁹ Potencial de Oxido-Reducción.

no, es posible determinar la presencia de cianuro en la muestra que está siendo oxidada por medio del potencial de óxido-reducción.

Tabla 4. Potenciales óxido- reducción teóricos para la oxidación del cianuro.

Reacción de Oxidación	Ecuación Química.	pH	ORP(mV)
Cianuro→ Cianato	$NaCN + 2NaOH + Cl_2$ $\leftrightarrow NaCNO + 2NaCl$ $+ H_2O$	10-11,5	250-400
Cianato → Dioxido de Carbono + Nitrogeno	$2NaCNO + 4NaOH + 3Cl_2$ $\leftrightarrow 6NaCl + 2CO_2 + N_2$ $+ 2H_2O$	8,5-9	300-600

Fuente: SENSOREX. Cyanide wastewater treatment. Designed and assembled in California, USA. ⁴⁰

Como se muestra en la Tabla 4, es posible determinar si los cianuros que se encuentran en la muestra de agua cruda han sido oxidados. Dependiendo del potencial de óxido reducción medido por el sensor ORP que al llegar a un valor por encima de 500 mV determinará que el cianuro presente en la muestra ha sido oxidado completamente a dióxido de carbono y nitrógeno.

1.3.2 Demanda química de oxígeno (DQO). Para determinar el porcentaje de DQO que se encuentra en las muestras, se utilizó la guía de Standard Methods para el análisis de agua potable y agua residual, código 5220B llamado “closed Reflux, Colorimetric method.” La DQO se define como la cantidad de oxidante (ion dicromato) que reaccione en la muestra de agua que se tiene al convertirse en ion crómico, también se debe tener en cuenta que para análisis con valores de DQO mayores a $50 \frac{mg O_2}{L}$ se deben usar las secciones 5220B.4^a, 5220C.4, o 5220D.4. Teniendo en cuenta los equipos disponibles, se escogió el procedimiento 5220D.4. Según la guía de standard methods⁴¹ como se muestra en el Anexo G

1.3.3 Sólidos suspendidos totales. Para determinar el porcentaje de Sólidos Suspendidos Totales presentes en las muestras se realizó la metodología según la

⁴⁰ SENSOREX. Cyanide wastewater treatment. Designed and assembled in California, USA. Disponible en internet: (www.sensorex.com/docs/white_papers/AppNoteCyanideWastewater.pdf) <https://www.sensorex.com/docs/white_papers/AppNoteCyanideWastewater.pdf>

⁴¹ Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater [online]. Copyright 1999 by American Public Health Association, American Water Works

guía de Standard Methods para el análisis del agua potable y agua residual, código 2540D llamado “Total Suspended Solids Dried at 103–105°C.” Para este el procedimiento es: primero se filtra la muestra de agua residual, después se realiza calentamiento entre 103°C a 105°C con el fin de secar el filtro que contiene los sólidos en suspensión, después del secado con el calentamiento anteriormente nombrado, se realizaran los cálculos especificados en la guía para determinar el porcentaje de solidos suspendidos.⁴² Como se muestra en el Anexo G

1.3.4 pH. Para determinar el pH del agua residual, se tuvo en cuenta la norma NTC 3651 (calidad del agua, determinación del pH) donde se exponen los métodos para la determinación de este parámetro. El análisis se hizo por el método electrométrico y en la norma anteriormente nombrada se muestra el procedimiento, equipos, e incluso una explicación general⁴³ (ver Anexo H)

1.3.5 Turbidez. Para determinar la turbidez de las muestras de agua residual se realizó el análisis de la guía de Standard Methods, código 2130 llamado “Turbidity”⁴⁴La medición de este parámetro se realizó con ayuda de un nefelómetro (instrumento especializado para la medición de la turbidez) y se siguió el procedimiento estipulado en la guía anteriormente nombrada.⁴⁵

Una vez seleccionado los tratamientos que se utilizaron para que el tratamiento del agua residual cumpla con los parámetros expuestos en la Resolución 631 del 2015, se planteó el tratamiento de agua residual. (Ver Anexo G)

1.4 TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

El desarrollo de sistemas de tratamiento y correctas adecuaciones ayudan a transformar todo tipo de agua residual en agua más limpia y segura que podrá ser empleada en diversos usos. Las aguas residuales son materiales provenientes de residuos domésticos o procesos industriales que, por razones de salud pública, es necesario realizar un tratamiento de estas⁴⁶.

Association, Water Environment Federation. Disponible en internet: (www.mwa.co.th/download/file_upload/SMWW_4000-6000.pdf <https://www.mwa.co.th/download/file_upload/SMWW_4000-6000.pdf>)

⁴² Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, op. cit, p.36

⁴³ ICONTEC. Norma técnica Colombiana NTC 3651, Calidad del agua, determinación del pH [online]. Editada por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC) Apartado 14237 Bogotá, D.C. 1994. 2-14 p. Disponible en internet: (documents.mx/documents/ntc-3651-calidad-del-agua-determinacion-del-ph.html <<http://documents.mx/documents/ntc-3651-calidad-del-agua-determinacion-del-ph.html>>)

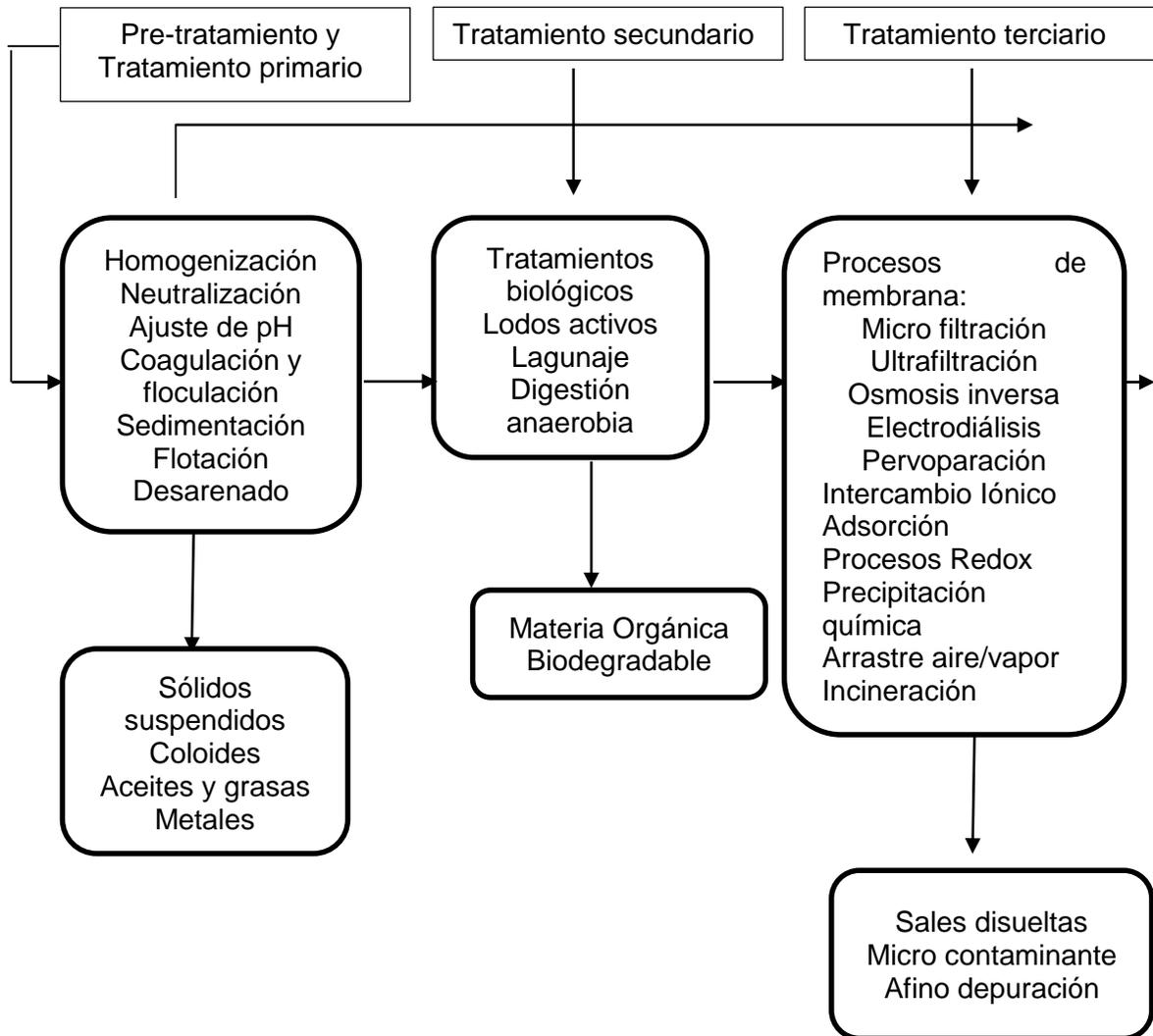
⁴⁴ Ibid., p. 2-14

⁴⁵ Ibid., p. 2-14

⁴⁶ BARON, Laura Milena. Aguas Residuales. El Cid Editor, 2009. p. 31

El siguiente esquema resume el diagrama general de los procesos llevados a cabo durante el tratamiento de las aguas residuales:

Diagrama 1. Esquema representativo del tratamiento de aguas residuales. Posibles tratamientos a realizar dentro de cada etapa (Pre-tratamiento, Tratamiento primario, secundario y terciario) que dependerán de los contaminantes del agua residual y el posterior uso de esta.



Fuente: Analiza Calidad Asesores. Tratamiento de aguas industriales.⁴⁷

⁴⁷ ANALIZA CALIDAD. Tratamiento de aguas residuales industriales [online]. Versión en internet: <<http://www.analizacalidad.com/docftp/fi1110aguas.pdf>> .p.3

2. DIAGNÓSTICO

La empresa estudiada en la actualidad no cuenta con tratamiento de aguas residuales provenientes del tratamiento térmico, teniendo en cuenta que para realizar este proceso se usan reactivos altamente tóxicos, fue necesario el diagnóstico del agua residual que se desarrolló con el fin de determinar las concentraciones de los diferentes contaminantes, también se debió conocer la empresa, sus instalaciones pues el espacio donde se encontrarán los equipos es un limitante y de qué forma se desarrollan los procesos dentro de la empresa ya que de esta forma se definieron los volúmenes de agua que serán tratados. Identificar el proceso productivo permitió determinar los posibles contaminantes del agua residual y una vez se seleccionaron los parámetros a medir se realizó la caracterización inicial, que es el punto de partida para la experimentación.

2.1 DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA

La empresa metalmecánica, especializada en la fabricación de maquinaria y repuestos para las empresas procesadoras de alimentos de consumo humano y animal se encuentra ubicada en la localidad de Ricaurte, Bogotá.

Esta empresa cuenta con varias sedes, una es donde se encuentra la planta de metalistería, otra se encuentra la planta de mecanizado y finalmente la sede en la que se encuentra la planta de tratamientos térmicos; en esta, el proceso es llevado a cabo en las máquinas que se encuentran en el primer piso, además cuenta con un mezzanine que por el momento se encuentra desocupado, este espacio será dispuesto para construir la planta de tratamiento de agua residual; debido a la normatividad, la empresa ha ido incorporando al proceso algunos equipos con el fin de mejorar la calidad del agua que es vertida al alcantarillado, es por esto que cuentan con una trampa de grasas que retiene el aceite que queda en las piezas después del enfriamiento y que es arrastrado por el agua cuando se realiza el lavado final.

La cantidad de tratamientos térmicos realizados depende de los requerimientos de las empresas que llevan las piezas es decir que la empresa no realiza la misma cantidad de tratamientos semanalmente, por esta misma razón cuentan con un proceso en lotes.

2.1.2 Descripción del proceso productivo. La empresa en estudio realiza tratamiento térmico a piezas que son requeridas para la producción posterior de la maquinaria, con el fin de que obtener propiedades y características requeridas. En el proceso, el primer procedimiento es la recepción del material en donde se consignan en formatos específicos la referencia de material y la dureza que se desea, además se revisa que el material no contenga fisuras golpes o se encuentre con alguna deformación. El material recibido es amarrado con alambre dulce de calibre 18, antes de realizar el segundo procedimiento que es llevar las piezas al

horno (ver Imagen 1), se revisa que el horno cumpla con las condiciones de funcionamiento requeridas (porcentaje de carbono entre 0,7 a 0,9 % para lo cual se agrega una mezcla de cloruro de potasio y cianuro de sodio al horno diariamente, y nivel entre 15-25 cm por debajo de la superficie del horno).

En el segundo paso, las piezas se ubican en ganchos y se llevan al horno (ver Imagen 1) que se encuentra a 600°C por un tiempo determinado, que varía dependiendo del tipo y el diámetro del acero.

Imagen 1. Horno de sales y cementación (1) utilizado en la empresa durante el tratamiento térmico, proceso del cual se obtiene el agua residual.



Fuente: fotografía suministrada por la empresa.

En el tercer paso, el acero es llevado al área de enfriamiento, donde es sumergido en tanques con salmueras (ver

Imagen 2), para piezas con bajos porcentajes de carbono, o aceites térmicos, para piezas con altos porcentajes de carbonos, durante 3 a 15 minutos.

Imagen 2. Fotografía de tanques de salmueras (1) y de aceites térmicos (2).



Fuente: fotografía suministrada por la empresa.

En el cuarto paso, las piezas son llevadas a una pileta donde son sometidas a un lavado manual con agua a presión para eliminar impurezas (ver

Imagen 3), después del lavado se retira el alambre con el que fueron amarradas las piezas y se realiza un análisis de dureza rockwell C del material para verificar que el tratamiento haya sido exitoso.

Imagen 3. Zona de lavado de piezas (1).



Fuente: fotografía suministrada por la empresa.

En el quinto paso se realiza el revenido (ver Imagen 4) por lo que las piezas son llevadas al horno eléctrico, este procedimiento puede durar desde una hora en adelante y varía dependiendo el espesor del material. Una vez termina el proceso las piezas son llevadas a la zona de enfriamiento.

Imagen 4. Horno eléctrico o de cámara usado para realizar revenido (alivio de tensiones).

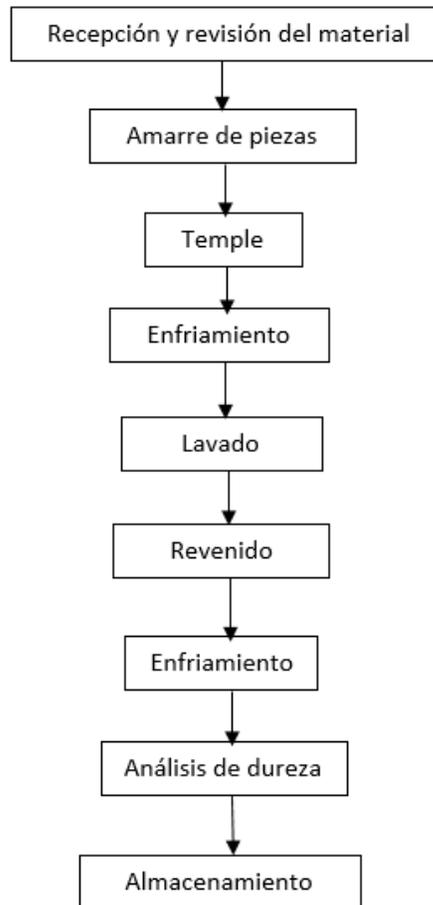


Fuente: fotografía suministrada por la empresa.

Finalmente se realiza un nuevo análisis de dureza al material tratado, verificando que este cumpla con los requerimientos solicitados por el cliente. En el Diagrama 2

se muestra el proceso de tratamiento térmico resumido en forma de diagrama de bloques:

Diagrama 2. Proceso de tratamiento térmico de la empresa estudiada según el instructivo de tratamiento térmico otorgado por la empresa.



Fuente: Información suministrada por la empresa.

Durante el proceso son usadas sustancias químicas tanto en el temple como en el enfriamiento y el revenido. Para el proceso de producción a diario se incorporan al horno de sales de cloruro de potasio y cianuro de sodio en las siguientes cantidades:

Tabla 5. Contenido de cloruro de potasio y cianuro de sodio

Sustancia	Masa de la sustancia contenida en el horno
Cloruro de potasio	4-7 kg
Cianuro de sodio	5-9 kg

Fuente: información suministrada por le empresa.

Para el proceso de enfriamiento son usados salmuera y aceite térmico, como se muestra a continuación:

“Salmuera: para piezas con bajo porcentaje de carbono. Requieren un rápido enfriamiento: 1010, 1016, 1030, CR, HR, forja 400, barra perforada.

Aceite térmico: para piezas con alto porcentaje de carbono. Pueden recibir un enfriamiento más lento: la mayoría de aceros como aleados, herramientas, etc.”⁴⁸

En el Tabla 5 se muestra la composición de cada acero usado como materia prima en el tratamiento térmico. Aunque estos tienen en su composición componentes que son nombrados en la resolución, en el tratamiento térmico se cambia la composición superficial del acero lo que indica que no es necesario tenerlos en cuenta dentro de la caracterización.

2.2 CALIDAD DE AGUA RESIDUAL SIN TRATAMIENTO

Del proceso se obtiene agua cruda contaminada con diferentes componentes en altas concentraciones que superan los límites permisibles según la normatividad. Como se mencionó anteriormente, teniendo en cuenta los parámetros de la resolución 631 del 2015, debido a que se sabe que la materia prima no cambia su composición y conociendo los reactivos usados durante el tratamiento térmico es posible descartar parámetros como el aluminio, fenoles, hidrocarburos totales, arsénico, bario, cadmio, zinc, cobre, cromo, estaño, hierro, mercurio, níquel, plata y plomo, al no haber una fuente que pueda generar este tipo de contaminantes, mientras que dentro del proceso se deben usar salmueras y aceites. Las grasas y aceites no fueron tenidas en cuenta debido que la empresa ya cuenta con una trampa de grasas, mientras que el cianuro total se tomó como parámetro al igual que los sólidos suspendidos totales, el DQO y el pH ya que no se tiene información que nos permita descartarlos.

Para el diagnóstico del agua residual, se realizó su caracterización por medio de análisis por medio del laboratorio Analquim S.A, a continuación, se exponen los resultados de concentraciones obtenidas para los parámetros seleccionados.

Tabla 6. Comparación de datos de la caracterización del agua cruda con respecto a la Resolución 631 del 2015.

Parámetros	Unidades	artículo 13	artículo 16	Analquim.S.A	cumple
Ph	mg/LO ₂	6-9	5-9	10,6	no

⁴⁸ INDUSTRIAS H. D. Instructivo tratamiento térmico.:2013.

Tabla 6. (Continuación)

DQO	mg/LO₂	250	375	310	si
Sólidos suspendidos totales	mg/L	50	75	76	no
Cianuro total	mg/L	0,1	0,1	97	no

Fuente: Laboratorios Analquim SA Bogotá D.C. 2017

Como se muestra en la Tabla 6 el único parámetro que se encuentra dentro de los valores permisibles es el DQO, lo que quiere decir que es necesario realizar la experimentación con el fin de determinar qué tratamiento será el mejor para remover cianuro total, solidos suspendidos totales y llevar el pH al valor permitido.

3. METODOLOGÍA

Una vez fueron descritos y seleccionados los parámetros en los que la empresa está incumpliendo con ayuda del diagnóstico, se seleccionaron los métodos que fueron usados con el fin de disminuir las concentraciones hasta los valores permisibles, para esto se seleccionaron de forma teórica los posibles oxidantes para disminuir el cianuro total, y coagulantes y floculantes para disminuir el pH y los sólidos suspendidos totales, también se describió el procedimiento que sería llevado a cabo durante la experimentación.

Según la norma NTC 3903 “ensayo de jarras”, son sugeridos los parámetros que deben medirse y controlarse, por disminución de costos se realizó comparación de estos con los parámetros que se encuentran en la Resolución 631 del 2015 para el tratamiento y revestimiento de materiales.

Finalmente se determinaron los parámetros de selección del tratamiento del agua cruda que será extrapolado al tratamiento del agua residual de la empresa en estudio.

3.1 METODO DE EXPERIMENTACIÓN

A continuación, se describirá la metodología que se realizó tanto para la selección de oxidante como de coagulante y floculante que tenga los mejores resultados de acuerdo a parámetros determinados.

3.1.1 Selección de oxidantes. El oxidante fue usado para eliminar el cianuro total que se encuentra en altas concentraciones dentro del agua cruda, la oxidación permite, como su nombre lo dice, oxidar el cianuro hasta que este es llevado hasta dióxido de carbono y nitrógeno, permitiendo que se elimine la toxicidad que puede llevar incluso a la muerte de un ser vivo.

Los oxidantes fueron seleccionados de acuerdo a la comparación realizada como se muestra en la Tabla 3, obteniendo como resultado que los oxidantes opcionados para tratar el agua cruda en estudio son el peróxido de hidrógeno y el hipoclorito de sodio.

3.1.2 Selección de coagulantes. El coagulante cumplió con la función de acumular los sólidos suspendidos totales en forma de coagulo, de esta forma por medio de una filtración posterior la concentración de estos fue disminuida.

Las sales de hierro y aluminio son usadas como coagulantes⁴⁹ debido a sus propiedades, para una correcta selección del coagulante es importante tener en

⁴⁹ CÁRDENAS, Yolanda Andía. Tratamiento de agua, coagulación y floculación. Evaluación de Platas y Desarrollo Tecnológico. Lima: 2000. Disponible en internet:

cuenta el pH en el que se desarrollará la coagulación, debido a que los coagulantes trabajan en diferentes rangos de pH, en ciertas concentraciones de partículas suspendidas en la muestra y dependen de la solubilidad de los compuestos formados.

Tabla 7. Comparación de Coagulantes y los rangos de pH de trabajo.

COAGULANTES	DESCRIPCIÓN
Sulfato de Alúmina	Coagulante comúnmente más usado en el tratamiento de aguas, tiene optima función en rangos de pH entre 5- 7,5
Sulfato Ferroso	Tiene un funcionamiento óptimo en pH alrededor de 9,5
Sulfato Férrico	Coagulante estable en un rango de pH de 4-7 y mayor a 9
Cloruro Férrico	Es similar al sulfato férrico, óptimo funcionamiento en pH entre 4-6 y después de 8, aunque puede presentar problemas al generar coloración en el agua tratada
Aluminato Sódico	Su uso no es tan común, su efectividad se limita a pH bajos.

Fuente: Cárdenas, Yolanda Andía Tratamiento de agua, coagulación-floculación. p 7.⁵⁰

En la Tabla 7, se muestra el rango de pH para el cual cada uno de estos tiene una acción eficiente, de esta misma forma se realizó la selección de los coagulantes teniendo en cuenta que éste es un parámetro limitante en el agua residual, el sulfato ferroso aunque tiene un pH alto e incluso cercano al pH del agua cruda, no cumple con el valor establecido por la normatividad, es por esta razón que quedó descartado, el sulfato férrico al igual que el aluminato sódico requiere pH bajos lo que implicaría la formación de ácido cianhídrico que es un gas altamente tóxico es por esto que se descartaron como posibles coagulantes, finalmente se obtuvo como resultado que los coagulantes opcionados son el sulfato de aluminio al ser el más usado además el rango de pH se encuentra dentro del establecido en la normatividad y el cloruro férrico que resulta ser el más opcionado teóricamente al ser el que además de cumplir con la normatividad tiene un rango de pH cercano al del agua cruda.

3.1.3 Selección de floculantes. los floculantes actúan en conjunto con los coagulantes cumpliendo la función de co-ayudante de la formación del floc, como

(www.ingenieroambiental.com/4014/andia.pdf
<<http://www.ingenieroambiental.com/4014/andia.pdf>>)

⁵⁰ CÁRDENAS, Yolanda Andía, op. cit, p.45

se dijo anteriormente el proceso el proceso de coagulación y floculación se realizó para remover los sólidos suspendidos totales que deben tener un tratamiento primario pues no pueden ser filtrados sin antes haberse acumulado en forma de floc. En el mercado se encuentran floculantes de tipo catiónico y aniónico, es por esta razón que se realizó la experimentación con los tipos para poder determinar cuál tenía una mejor eficiencia.

3.1.4 Test de jarras. El método utilizado para realizar experimentación fue el test de jarras, para esto se tomaron los lineamientos consignados en la norma NTC 3903 "Gestión ambiental. Agua. Procedimiento para el método de jarras en la coagulación-floculación del agua"

3.1.4.1 Cálculos de concentración de peróxido de hidrógeno. Según Gaviria y Mesa, la relación de peróxido de hidrogeno y cianuro es de 3,5:1 respectivamente, esta relación se toma de los resultados de la experimentación realizada a efluentes líquidos y sólidos del municipio de Segovia, Antioquia y en la planta de beneficio de la empresa mineros nacionales, municipio de Marmato, Caldas, teniendo en cuenta lo anterior para la concentración de cianuro determinada en la muestra de agua residual determinada por el laboratorio certificado Analquim S.A (ver Tabla 6)

En el mercado comúnmente se encuentra el Peróxido de hidrógeno al 50%, es por esta razón que los cálculos se realizaran teniendo en cuenta las propiedades de este:

$$97 \frac{mg CN^-}{L} \times \frac{3,5 mg H_2O_2}{1mgCN^-} = 339,5 \frac{mg H_2O_2}{L}$$

339,5 mg/L es la cantidad de peróxido de hidrogeno que se debe agregar a la muestra de agua residual para realizar la oxidación, teniendo en cuenta que comúnmente este se encuentra en solución al 50%, se deberán agregar 679 mg de solución de H₂O₂ al 50%; para una mejor medición será tomado como valor de trabajo 700 mg de solución de H₂O₂ por litro de muestra.

Tabla 8. Concentración de peróxido de hidrógeno para experimentación.

H ₂ O ₂ (mg/L)	Volumen (L)	Volumen (cm ³)
700	5 x10 ⁻⁴	0,5

En la Tabla 8 se muestran el volumen en cm³ de peróxido de hidrógeno necesario para oxidar 97 mg/L de cianuro según los resultados experimentales obtenidos por GAVIRIA Ana y MEZA Luis.⁵¹

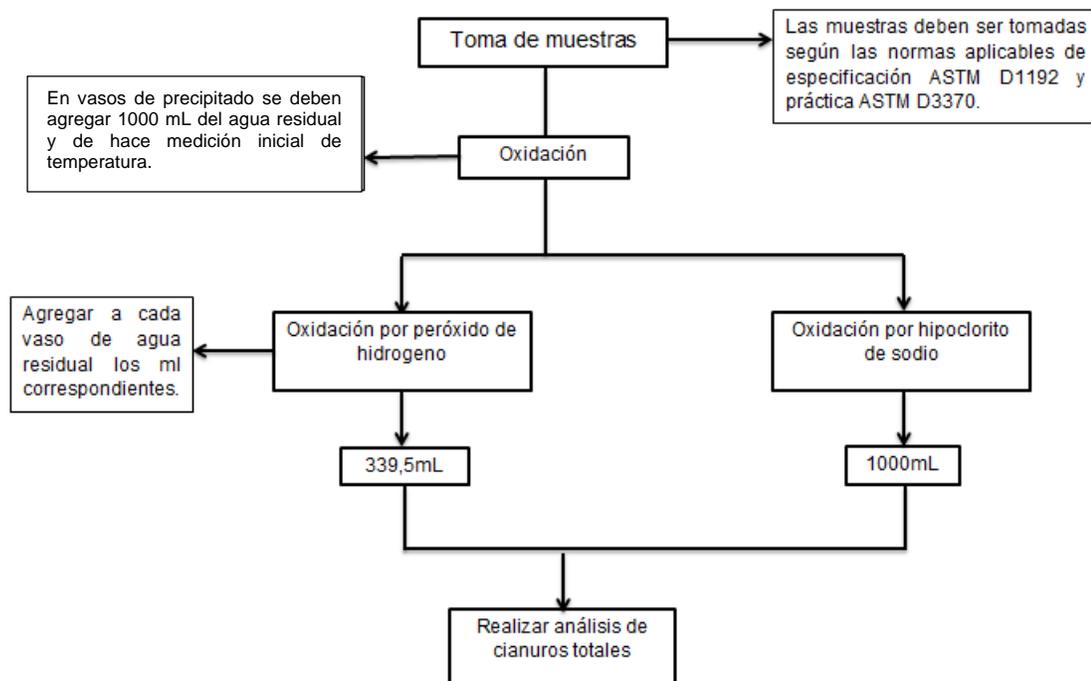
⁵¹ GAVIRIA Ana y MEZA Luis. Análisis de alternativas para la degradación del cianuro en efluentes líquidos y sólidos del municipio de Segovia, Antioquia y en la planta de beneficio de la empresa mineros nacionales, municipio de Marmato.

3.1.4.2 Cálculos de concentración de hipoclorito de sodio. Según Gaviria y Mesa, la relación de peróxido de hidrogeno y cianuro es de 12,5:1 respectivamente, esta relación se toma de los resultados de la experimentación realizada a efluentes líquidos y sólidos del municipio de Segovia, Antioquia y en la planta de beneficio de la empresa mineros nacionales, municipio de Marmato, Caldas, teniendo en cuenta lo anterior para la concentración de cianuro determinada en la muestra de agua residual determinada por el laboratorio certificado Analquim S.A (ver Tabla 6)

$$97 \frac{mg CN^-}{L} \times \frac{12NaOCl}{1mgCN^-} = 1212,5 \frac{mg NaOCl}{L}$$

1212,5 mg es la concentración de hipoclorito de sodio que se agregará a la muestra de agua residual para realizar la oxidación, para realizar le experimentación el valor de trabajo seleccionado es de 1000 mg de hipoclorito de sodio.

Diagrama 3. Diagrama procedimiento para la experimentación (OXIDACIÓN).

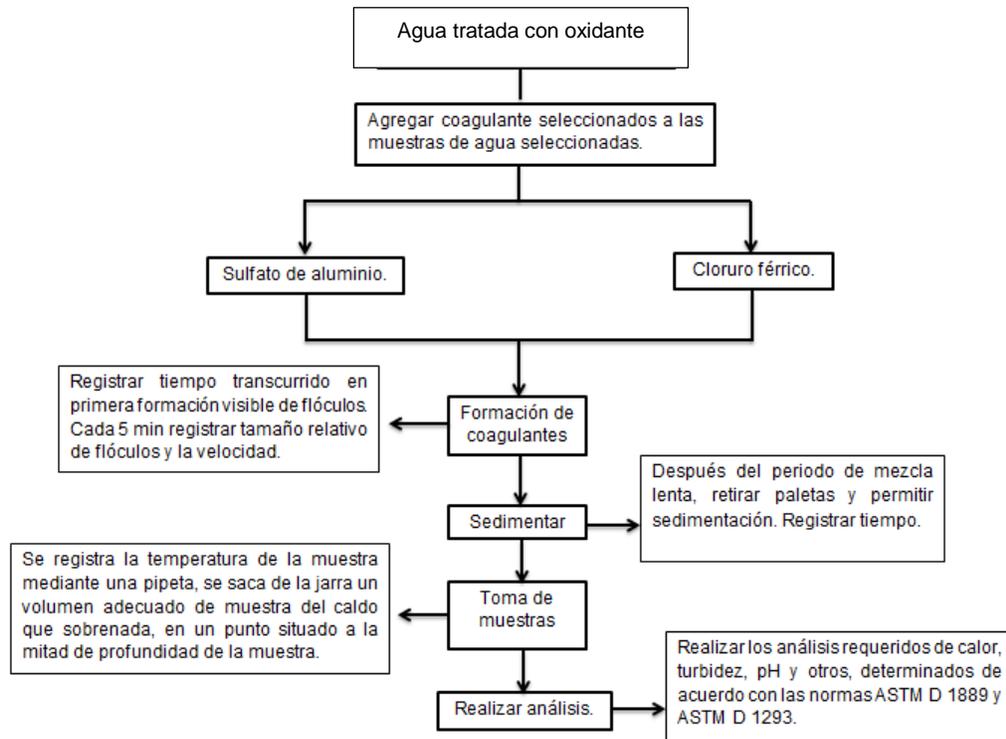


Fuente: Norma NTC 3903. GESTIÓN AMBIENTAL. Agua. Procedimiento para el método de jarras en la coagulación-floculación del agua. 1996.

Para la selección de oxidante, se realizó la experimentación con hipoclorito de sodio y peróxido de hidrógeno por el método de jarras según lo consignado en el

Diagrama 3, una vez se realizaron, se determinó la concentración de cianuro total mediante el método 4500-CN⁻ D, descrito en el capítulo 1 sección 1.3.1.2, para así conocer la cantidad de este que ha sido degradado. El oxidante con el que fue obtenida la mayor remoción se escogió para continuar con la experimentación, las concentraciones fueron elegidas según la relación determinada por GAVIRIA Ana y MEZA Luis.⁵²

Diagrama 4. Diagrama proceso para la experimentación (Coagulación).



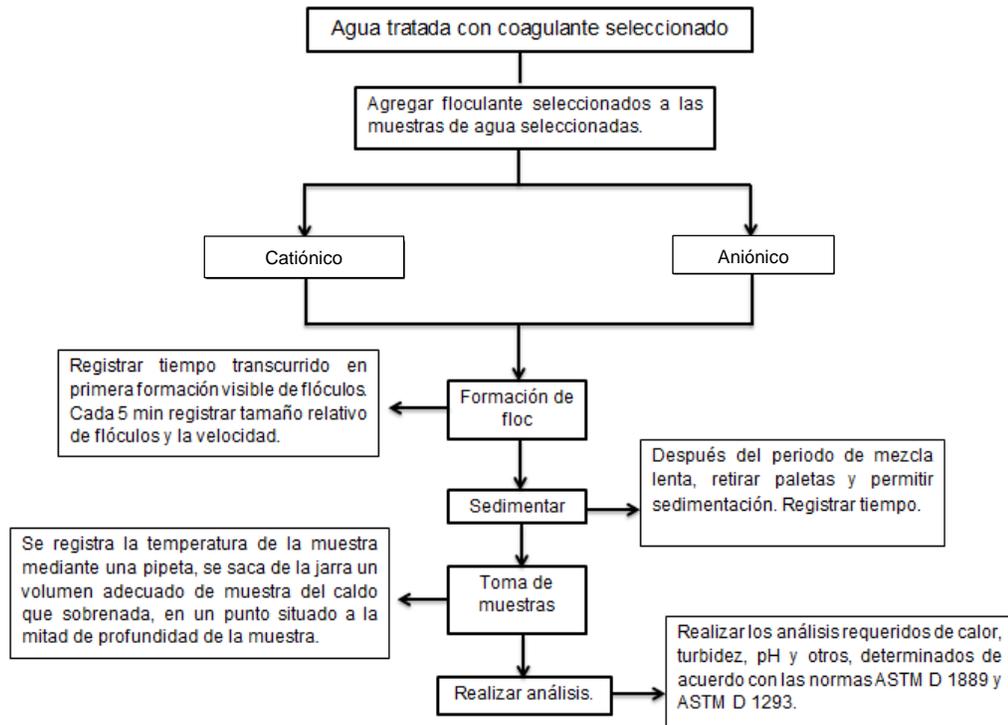
Fuente: INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Gestión ambiental. Agua. Procedimiento para el método de jarras en la coagulación- floculación del agua. Y vocabulario. NTC 3903. Bogotá D.C.: El Instituto, 2007. 7 p.

Una vez se seleccionó el método de oxidación, nuevamente se realizó el test de jarras, según lo consignado en el Diagrama 4 con los dos tipos de coagulantes: sulfato de aluminio y cloruro férrico. Para la selección del mejor coagulante se realizaron análisis de turbidez y pH, los resultados obtenidos fueron comparados con los parámetros permisibles en la Resolución 631 del 2015. Las concentraciones de coagulante fueron determinadas por el resultado de pH de trabajo para el sulfato de aluminio y el cloruro férrico, para obtener la concentración requerida, se fue agregando a la muestra de agua oxidada 0,1 mg de coagulante hasta obtener para

⁵² GAVIRIA Ana y MEZA Luis. Op. Cit, p.47

el cloruro férrico un pH a 9 y para el sulfato de aluminio un pH de 7. De acuerdo con lo expuesto en la Tabla 7

Diagrama 5. Diagrama proceso para la experimentación (Floculación)



Fuente: INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Gestión ambiental. Agua. Procedimiento para el método de jarras en la coagulación- floculación del agua. Y vocabulario. NTC 3903. Bogotá D.C.: El Instituto, 2007. 7 p.

Finalmente, una vez se seleccionaron el oxidante y el coagulante, se proseguirá a realizar la experimentación por medio de test de jarras, según lo consignado en el Diagrama 5 con floculantes: catiónicos y aniónicos. Estos fueron agregados durante el test de jarras de a 1,0 mg/L hasta obtener el floc. Para seleccionar el tratamiento se realizó el análisis de turbidez y DQO.

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

La experimentación se desarrolló en dos etapas, la pre-experimentación y la experimentación final, la primera fue desarrollada para realizar una selección del oxidante teniendo en cuenta costos y concentración requerida de reactivos el Hipoclorito de Sodio fue el oxidante seleccionado; en la experimentación final se realizó la oxidación con el Hipoclorito de sodio con el fin de determinar la concentración requerida y se evaluaron los coagulantes y floculantes seleccionados teóricamente, esta fue desarrollada en el laboratorio ANALQUIM S.A.

4.1 RESULTADOS DE LA OXIDACIÓN

La pre-experimentación, como se dijo anteriormente, permitió realizar la selección del oxidante, en ésta se usó un sensor ORP según como se muestra en el capítulo 1 sección 1.3.1.2. Para La oxidación con Hipoclorito de sodio éste se fue agregando hasta llegar a un valor de potencial de óxido-reducción de 520 mV lo que indicó que el cianuro había sido degradado; mientras que, para poder iniciar la oxidación con peróxido de hidrógeno, el pH del agua cruda debía encontrarse en un valor de 9 según Gómez Leiva Patricia⁵³, es por esto que primero se le agregó ácido clorhídrico para pasar el pH de 11,2 a 9 y después se le agregó peróxido de hidrógeno en la misma concentración que se había agregado el hipoclorito de sodio, obteniendo que el potencial de óxido-reducción era de 230mV lo que indicaba que el cianuro aún no había sido degradado.

De acuerdo con lo anterior teniendo en cuenta que el peróxido de hidrógeno es más costoso que el hipoclorito de sodio, que se requiere mayor concentración para degradar el cianuro y que además se debe tener en cuenta el valor del ácido para llegar al pH indicado, el peróxido de hidrogeno es descartado.

4.1.1 Experimentación final. Esta se realizó con el fin de determinar la concentración de hipoclorito de sodio requerida para degradar 97mg/L de CN⁻ y también para seleccionar el coagulante y floculante que permitieran que el agua cruda cumpliera con los parámetros establecidos en la Resolución 631 del 2015.

4.1.1.1 Oxidación con Hipoclorito de sodio. La experimentación se realizó con la concentración calculada en el capítulo 2 sección 3.1.4.2.

⁵³ GÓMEZ LEIVA Patricia, Op., cit., p. 33

Tabla 9. Resultados obtenidos en la concentración determinada experimentalmente.

	pH inicial	NaOCl (mg/L)	tiempo contacto (h)	velocidad de mezclado (RPM)	concentración CN- (mg/L)
E ₁ (500mL)	10,6	1000	1	40	62,3

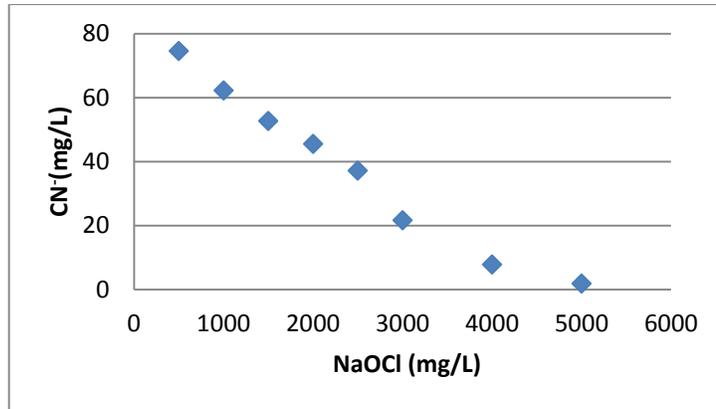
Una vez se realizó el experimento, se determinó la concentración de cianuro encontrando que la remoción fue del 35,8% pero aun así no se consiguió disminuirla hasta un valor que se encontrara dentro de los parámetros de la normatividad, es por esto que se continuó con la experimentación.

Tabla 10. Resultados obtenidos de la experimentación realizada a diferentes concentraciones de hipoclorito en el laboratorio ANALQUIM S.A. Todos a 40RPM, pH inicial de 10,6 y 1h de contacto.

	NaOCl (mg/L)	concentración CN- (mg/L)	Porcentaje de remoción (%)
E ₁ (500mL)	1500	52,7	45,7
E ₂ (500mL)	2000	45,6	53
E ₃ (500mL)	2500	37,2	61,6
E ₄ (500mL)	3000	21,7	77,6
E ₅ (500mL)	4000	7,9	91,9
E ₆ (500mL)	5000	1,9	98

Como se muestra en la Tabla 10 la concentración de hipoclorito se fue aumentando gradualmente hasta llegar a 5000 mg/L, aunque a esta concentración la remoción fue de un 98%, la concentración no cumple con la normatividad. La experimentación no pudo continuarse por costos y tiempo. Para observar el comportamiento de la oxidación del cianuro en solución se realizó una gráfica como se muestra a continuación:

Gráfico 1. Comportamiento de la oxidación del cianuro en diferentes concentraciones de hipoclorito de sodio, según la experimentación.



En el Gráfico 1 se muestra el comportamiento de la degradación del cianuro al aumentar la concentración de hipoclorito de sodio, aunque la degradación no fue completa, es posible determinar que a mayor concentración de hipoclorito de sodio se logrará la concentración establecida por la normatividad.

4.2 RESULTADOS COAGULACIÓN-FLOCULACIÓN

Para esta parte de la experimentación se realizó una muestra por cada complejo de coagulante- floculante teniendo en cuenta los pH de trabajo (valores teóricos como se muestra en Tabla 7) de los coagulantes y para los floculantes la concentración en la que se formaba el floc (según cada ensayo, resultado de la experimentación).

Como se puede muestra en la Tabla 11. el sulfato de aluminio, aunque forma floc, se demora más tiempo con respecto al cloruro férrico en sedimentar, es por esta razón que fue descartado como coagulante, el cloruro férrico en cambio sedimentó rápidamente por lo que es el coagulante seleccionado, además realizando comparación entre los floculantes catiónico y aniónico tanto los resultados del pH como la turbidez arrojados por el floculante catiónico son mejores, también teniendo en cuenta las imágenes (Imagen 5 e Imagen 6) el coagulante catiónico junto con el cloruro férrico se ve más claro que el floculante aniónico con el cloruro férrico.

Tabla 11. Resultados de coagulación – floculación obtenidos para cada experimentación (E_n). E_1 y E_2 contienen coagulante sulfato de aluminio y floculante catiónico y aniónico respectivamente; mientras que E_3 y E_4 contienen coagulante cloruro férrico y floculante catiónico y aniónico respectivamente.

E_n	Coagu- lante	Concen- tración (mg/L)	pH	Flocu- lante	Tiempo sedimen- tación. (min)	Evalua- ción	pH	Turbie- dad (NTU)
E_1	sulfato de aluminio	1,79	7,01	catiónico (kemira C-496)	12,40 (incom- pleto)	Descar- tado	-	-
E_2	sulfato de aluminio	1,79	7,01	anionico (kemira A-130)	15 (incom- pleto)	Descar- tado	-	-
E_3	cloruro férrico	0,67	8,92	catiónico (kemira C-496)	2,12	Opcio- nado	8,5	3,5
E_4	cloruro férrico	0,67	8,92	anionico (kemira A-130)	2,1	Opcio- nado	9,1	16,5

Como se observa en la Imagen 5 y la Imagen 6 la sedimentación del cloruro férrico tanto con floculante catiónico como aniónico es más rápida que la sedimentación del sulfato de aluminio con los mismos floculantes, además la clarificación es visiblemente mayor.

Imagen 5. Coagulantes sulfato de aluminio (1) y cloruro férrico (2), y floculante catiónico.

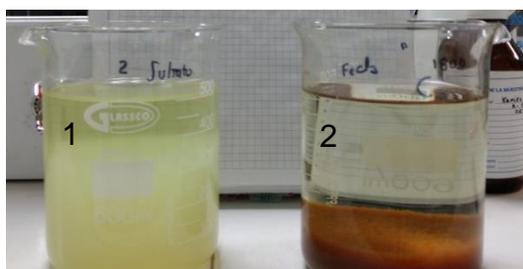
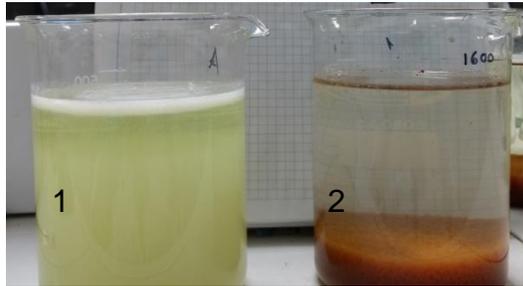


Imagen 6. Coagulantes sulfato de aluminio (1) y cloruro férrico (2), y floculante aniónico.



Finalmente, para corroborar que la selección del coagulante cloruro férrico y el floculante catiónico había sido adecuada y que estos permitían el cumplimiento de la normatividad, se realizó la caracterización final, obteniendo los resultados como se muestran en la Tabla 12.

Tabla 12. Caracterización del agua tratada con hipoclorito de sodio, cloruro férrico y floculante catiónico, sedimentada y filtrada.

Agua tratada	pH	Turbiedad (NTU)	Sólidos suspendidos totales (mg/L)	DQO (mg/L O ₂)
	8,58	1,6	< 5	310

Como se muestra en la Tabla 12. El agua tratada cumple con los parámetros permisibles de pH, sólidos suspendidos totales y DQO. Debe considerarse aumentar la concentración de hipoclorito de sodio para cumplir con el límite permisible de cianuro (CN⁻). Para los sólidos suspendidos totales el laboratorio hizo una filtración de la muestra antes de tomar el análisis, es por esta razón que para obtener los mismos resultados a nivel industrial se debe realizar una filtración después de realizar la sedimentación.

5. DISEÑO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO

Al determinar el sistema de tratamiento del agua cruda mediante la experimentación realizada a nivel laboratorio, estos resultados se escalaron al sistema de tratamiento a nivel industrial, por esto como primera medida se determinó el volumen de agua que será tratada puesto que este valor definió el tamaño de los equipos, también fue importante conocer con qué equipos cuenta la empresa ya que como uno de los limitantes son los costos, se debe hacer uso de estos para disminuir los costos de inversión y también se determinó para el tratamiento de oxidación, coagulación y floculación el volumen de reactivos requeridos para tratar el volumen de agua cruda, ya que estos también influyeron en el tamaño del tanque sedimentador.

Una vez se conoció el volumen de agua tratada y de reactivos y también con que equipos se cuentan actualmente en la empresa, se procedió a seleccionar y diseñar los diferentes equipos que cumplirían las actividades realizadas en el laboratorio.

5.1 CONSUMO DE AGUA QUE SERÁ TRATADA

Según datos suministrados por la empresa, esta consume mensualmente un promedio de 12m³ que corresponden a la usada en el tratamiento térmico y al agua usada por los trabajadores.

Tabla 13. Consumo de agua por los trabajadores.

Cantidad Trabajadores	Consumo en (L) por trabajador	Consumo total en (L)	Consumo total en (m ³)
50	80	4000	4

Fuente: NTC 1500, Código de fontanería del 2004⁵⁴

Como se muestra en la Tabla 13. El consumo total de agua por parte de los trabajadores es de 4m³ mensualmente, por lo que es posible determinar que el agua consumida en el tratamiento térmico es de $8 \frac{m^3}{mes}$.

5.2 TRAMPA DE GRASAS Y ALMACENAMIENTO DEL AGUA CRUDA

La empresa cuenta con una trampa de grasas que remueve los aceites que provienen del tratamiento térmico, al lavar las piezas son arrastradas por el agua, una vez estas son retiradas, el agua cruda pasa a ser almacenada en un tanque de 1m³.

⁵⁴ INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Código de fontanería. NTC 1500. Bogotá D.C.: El Instituto, 2004.

Imagen 7. Trampa de grasas.



Fuente: fotos suministradas por la empresa.

La planta de tratamiento estará ubicada en el mezzanine (segundo piso), mientras que el tanque y la trampa de grasas se encuentra en el primer piso, es por esto que se usará una bomba sumergible con el fin de bombear el agua requerida hasta el segundo piso.

5.3 VOLUMEN DE REACTIVOS REQUERIDOS PARA EL TRATAMIENTO

De acuerdo a lo seleccionado durante la experimentación se calculan las concentraciones de reactivos requeridos para tratar el agua cruda que proviene del tratamiento térmico. Como se determinó antes mensualmente son usados 8m^3 de agua en el tratamiento térmico, teniendo en cuenta que la planta de tratamiento estará ubicada en el mezzanine (plancha) por lo que en el diseño de los equipos deben contemplarse factores como espacio que ocupen y peso máximo que la plancha puede soportar, y que por el momento se cuenta con un tanque de almacenamiento de 1m^3 , por lo cual se tratarán 2m^3 por semana. El agua será almacenada en el tanque sedimentador y en caso de que el consumo aumente, se utilizará el tanque de almacenamiento existente.

5.3.1 Volumen de hipoclorito de sodio. El volumen requerido para oxidar 2m^3 de agua cruda según lo obtenido durante la experimentación (ver capítulo 4, sección 4.1.1.1) se calcula de la siguiente manera:

- Para oxidar 97 mg/L de CN^- , que es la concentración inicial, en un volumen de 500mL fueron usados 5000mg/L de hipoclorito, aunque este valor no oxida completamente el cianuro, nos permite conocer un volumen aproximado, por lo

que se tuvo en cuenta para el diseño del tanque sedimentador, ya que este se encontraba a una concentración del 13%, el volumen agregado fue de 19,23mL.

$$V1 \times C1 = V2 \times C2$$

$$500\text{mL} \times 5000 \text{ mg/L} = V2 * 130000 \text{ mg/L}$$

$$V2 = \frac{500\text{mL} * 5000 \text{ mg/L}}{130000 \text{ mg/L}} = 19,23 \text{ mL}$$

- De acuerdo con lo anterior para 1L de agua cruda, se requieren 0,0385 L de hipoclorito de sodio al 13%

$$19,23 \frac{\text{mL hipoclorito 13\%}}{500 \text{ mL de muestra}} \times 2 = 38,46 \frac{\text{ml hipoclorito 13\%}}{1\text{L de muestra}} \times \frac{1\text{L}}{1000\text{mL}}$$

$$= 0,0385 \frac{\text{L hipoclorito de sodio 13\%}}{1\text{L de muestra}}$$

- Finalmente se determinó que para 2m³ de agua cruda se requieren 77L de hipoclorito de sodio al 13%

$$0,0385 \frac{\text{L hipoclorito de sodio 13\%}}{1\text{L de muestra}} \times 2000\text{L} = 77 \text{ L}$$

5.3.2 Concentración de coagulante. El volumen requerido para coagular 2m³ de agua cruda según lo obtenido durante la experimentación se calcula de la siguiente manera:

- Por 1L de muestra de agua cruda deben ser usados 1,34g de cloruro férrico, como se obtuvo en la experimentación (ver capítulo 4, sección 4.2) lo que equivale a 4,6x10⁻⁴ L.

$$\frac{1,34 \frac{\text{g cloruro Férrico}}{\text{L agua cruda}}}{2,9 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \times \frac{1\text{cm}^3}{0,001\text{L}}} = 4,62 \times 10^{-4} \text{L cloruro ferrico}$$

- Para 2m³ se usarán 0,924 L de cloruro férrico.

$$4,62 \times 10^{-4} \text{L cloruro ferrico} \times 2000\text{L agua cruda} = 0,924 \text{ L cloruro ferrico}$$

5.3.3 Concentración de floculante. El volumen requerido para oxidar 2m³ de agua cruda según lo obtenido durante la experimentación (ver capítulo 4, sección 4.2) se calcula de la siguiente manera:

- Para el floculante catiónico por 1L de muestra deben ser usados 3mL, teniendo en cuenta lo anterior para 2m³ deberán ser usados 6 L de floculante catiónico.

$$3 \frac{\text{mL floc - catiónico}}{\text{L agua cruda}} \times \frac{1\text{L}}{1000\text{mL}} \times 2000 \text{ L agua cruda} = 6\text{L de floculante catiónico}$$

Tabla 14. Recopilación datos de volúmenes requeridos para tratar 2m³ de agua cruda.

Agua cruda (m ³)	Hipoclorito de sodio (L)	Cloruro Férrico (L)	Floculante Catiónico (L)
2	77	0,924	6

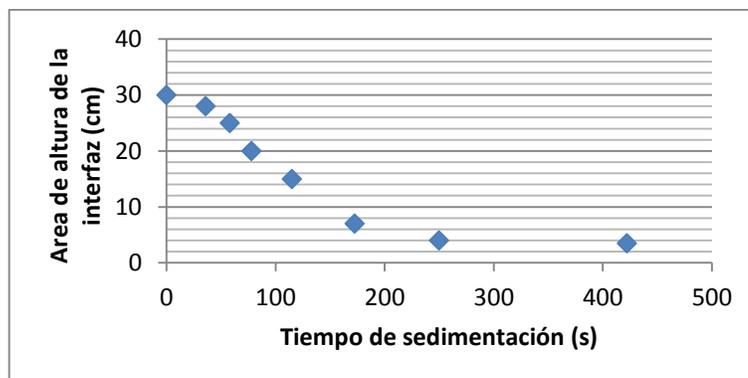
5.4 DISEÑO EQUIPOS PARA EL TRATAMIENTO DEL AGUA

Para iniciar con el diseño de los diferentes equipos que serán usados para el tratamiento se tiene:

Tabla 15. Valores iniciales para el diseño de los equipos.

Caudal de entrada (m ³ /s)	Velocidad de sedimentación (m/s)	Altura del tanque (m)	Tiempo requerido para concentración del lodo (s)
0,00315451	4,05x10 ⁻⁴	1,75	2463,14

Gráfico 2. Curva de sedimentación obtenida de datos experimentales en los laboratorios de Analquim por las autoras.



Como se observa en el Gráfico 2. Se muestra el tiempo de sedimentación, la velocidad de sedimentación. El caudal de entrada fue determinado por el caudal de salida de la bomba sumergible, que existe actualmente en la empresa, y la cual será incorporada al tanque de almacenamiento, tanto la velocidad de sedimentación como el tiempo requerido para la concentración de lodos se determinaron con datos experimentales, y la altura del tanque está determinada por la altura máxima del mezzanine que es donde este estará ubicado.

5.4.1 Tanque sedimentador. En el tanque sedimentador serán llevados a cabo los procesos de oxidación, coagulación y floculación.

5.4.1.1 Área superficial de la zona de sedimentación. El área de sedimentación se refiere a la parte cilíndrica del tanque, esta deberá contener un área superficial de 7,77 m², la cual fue calculada teniendo en cuenta el caudal de entrada (Q_o) y la velocidad de asentamiento (v_s) evidenciado en la experimentación como se observa en el gráfico 2. ⁵⁵

Ecuación 5. Área superficial de la zona de sedimentación.

$$A = \frac{Q_o}{v_s} = \frac{0,00315451 \frac{m^3}{s}}{4,0598 \times 10^{-4} \frac{m}{s}} = 7,77 m^2$$

5.4.1.2 Área superficial de la zona de espesamiento. El área de sedimentación se refiere a la parte cónica del tanque, esta deberá contener un área de espesamiento de 4,44 m², la cual fue calculada teniendo en cuenta el caudal afluente del tanque (Q), la altura inicial (H_o) y el tiempo necesario para obtener la concentración de lodos requerida (T_u). ⁵⁶

Ecuación 6. Área superficial de la zona de espesamiento.

$$A = \frac{QT_u}{H_o} = \frac{0,00315451 \frac{m^3}{s} \times 2463,14 s}{1,75 m} = 4,44 m^2$$

Para el tratamiento de agua se requiere un volumen total de 2,08m³ aproximando este valor se obtendrá un valor de 2,1 m³. Finalmente, para poder obtener el volumen requerido y teniendo en cuenta que la altura máxima del tanque es de

⁵⁵ ROMERO ROJAS. Jairo Alberto. Tratamiento de aguas residuales. Teoría y principios de diseño. Bogotá: Editorial: E. Colombiana de Ingeniería. 2004. 650-654 p.(ISBN: 9789588060132)

⁵⁶ Ibid., p.650-654

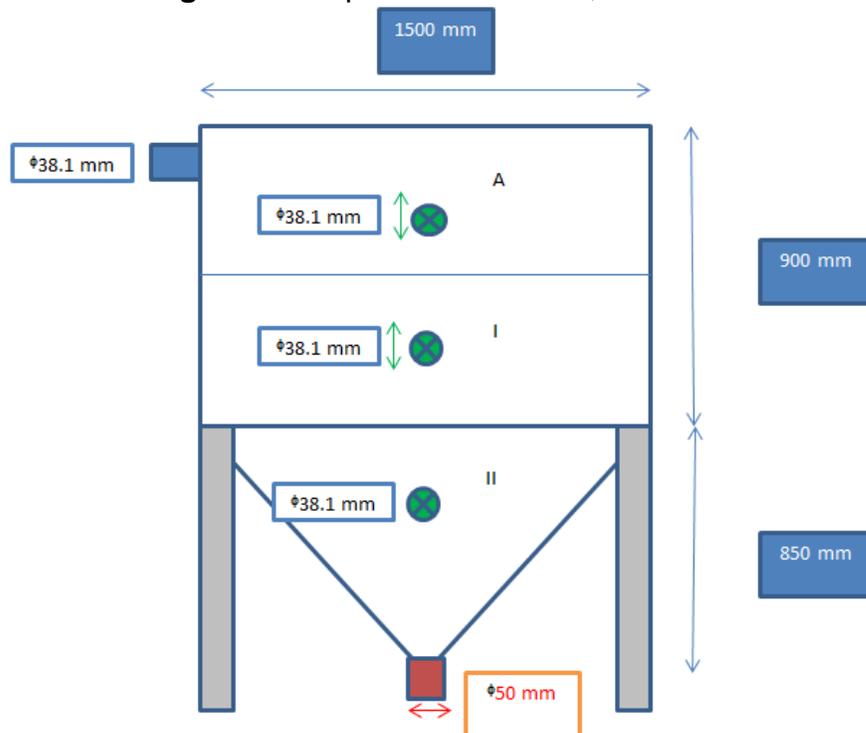
1,75m, la altura de la zona cilíndrica es de 0,9m y del cono es de 0,85 juntos con un diámetro de 1,5m.

Tabla 16. Especificaciones finales del tanque sedimentador

Área superficial zona espesamiento (m ²)	Área superficial zona sedimentación (m ²)	Volumen zona espesamiento (m ³)	Volumen zona sedimentación (m ³)	Volumen total (m ³)
7,77	4,44	0,6	1,5	2,1

Como se muestra en la Tabla 16 se muestran los valores de volúmenes obtenidos para el tanque sedimentador. Los lodos que sean extraídos del tratamiento serán llevados a un lecho de secado que la empresa ya tiene y una vez el agua sea extraída de estos, su disposición final será realizada por parte de una empresa externa que tiene licencia ambiental.

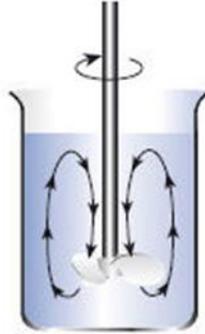
Imagen 8. Tanque sedimentador, vista frontal.



5.4.2 Selección de paletas de agitación para el tanque sedimentador. La selección de las paletas para el tanque sedimentador, se realizó teniendo en cuenta la geometría del tanque debido a que al ser un tanque troncocónico y por el proceso

que será llevado a cabo dentro de este (coagulación - floculación), es necesario que el agua residual a tratar con los reactivos usados durante el proceso se encuentre mezclada homogéneamente, el tipo de agitador seleccionado fue el que genera un flujo axial.

Imagen 9. Representación de agitación axial



Fuente: Laborbedarf bochem lab supply disponible en internet. p 1⁵⁷

Para determinar la velocidad del flujo y la velocidad media se hará uso del instructivo de la empresa SDM⁵⁸

Ecuación 7. Velocidad de flujo.

$$Velocidad\ de\ flujo = \frac{Q \frac{m^3}{h}}{\frac{\pi}{4} (Dm^2)^2} = \frac{11.354994 \frac{m^3}{h}}{\frac{\pi}{4} (1m^2)^2}$$

La velocidad del flujo dentro del tanque está determinada por el caudal de bombeo (Q) y el diámetro de la paleta (D), este diámetro se determinó según el instructivo de la empresa SDM

Ecuación 8. Velocidad media del fluido.

$$Velocidad\ media\ de\ fluido = \frac{Q \frac{m^3}{h}}{\frac{\pi}{4} (Tm^2)^2} = \frac{11.354994 \frac{m^3}{h}}{\frac{\pi}{4} (1,5m^2)^2} = 6,42 \frac{m^2}{h}$$

La velocidad media de fluido dentro del tanque está determinada por el caudal de bombeo (Q) y el diámetro del tanque (T), cuando la velocidad está dentro de un

⁵⁷ LABORBEDARF BOCHEM LAB SUPPLY. Disponible en internet: (www.bochem.com/es/Informaci%C3%B3n+%C3%BAtil/Tipos+de+agitadores.html)

⁵⁸ SISTEMAS DE DOSIFICACION Y MEZCLA, Principios de agitación de fluidos, conceptos aplicados. Disponible en internet: (<www.sdm---sistemas.com>)

rango entre 4-6,9 m³/h la intensidad de agitación es media lo que también se refiere a un proceso de homogenización.⁵⁹

5.4.2.1 Motorreductor. Para la agitación del tanque se requiere de un motorreductor, este será usado para controlar la velocidad del movimiento de las paletas y será ubicado como se muestra en la Imagen 10.

Imagen 10. Motorreductor.



Fuente: Sistemas de dosificación y mezcla. Principios de agitación de fluidos, conceptos aplicados., p 62⁶⁰

5.4.3 Filtros. El proceso de filtración se realizará con el fin de eliminar los sólidos suspendidos e hidrocarburos que permanezcan en el agua clarificada, en caso de que estos no sean incluidos los sólidos suspendidos en forma de floc no serían removidos por lo que, aunque se realizará el tratamiento el agua cruda, no cumpliría con la normatividad y no se lograría el objetivo del tratamiento, se hará uso de filtros rápidos generando vacío con la ayuda de una bomba centrifuga.⁶¹

5.4.3.1 Filtro de arena. El filtro de arena será empleado como se había dicho anteriormente para de remover los sólidos suspendidos totales que se encuentren en el agua clarificada. Estos filtros están compuestos por: equipo de bombeo, equipo de lavado, estructura, falso fondo y las tuberías.

Para el filtro de arena, se realizó una selección, no un diseño, debido a que es más económico comprar un filtro ya diseñado, las empresas dedicadas a vender esta clase de productos, ofrecen diferentes catálogos de filtros con una amplia gama de

⁵⁹ SISTEMAS DE DOSIFICACION Y MEZCLA. Op. Cit., p. 62

⁶⁰ Ibíd., p.2-9

⁶¹ HIDROMETÁLICA. Filtro de arena. Internet: (hidrometalica.com/wp-content/uploads/2017/03/Cat%C3%A1logo-Filtros-de-Arena.pdf <
<http://hidrometalica.com/wp-content/uploads/2017/03/Cat%C3%A1logo-Filtros-de-Arena.pdf>>)

características para suplir las especificaciones según lo requerido. Para la selección se usó el documento de la empresa Hidro-metálica⁶².

- Selección de estructura de los filtros: La estructura del filtro hace referencia a la carcasa de este, para la selección Hidro-metálica cuenta con diferentes tablas en las que muestra las características de los filtros que produce.

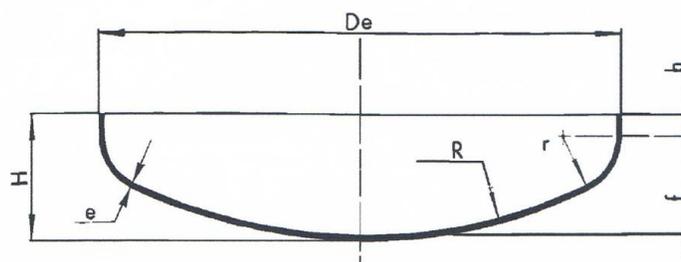
Tabla 17. Datos otorgados por la empresa Hidro-Metálica para selección de estructura del filtro.

De (mm)	E (mm)	Dd (mm)	H (mm)	Peso kg/mm e
900	3-20	1020	184	6,5
1000	3-20	1130	203	8
1100	3-20	1240	222	9,7
1200	4-20	1360	245	11,6
1300	4-30	1470	265	13,6
1400	4-30	1580	283	15,7
1500	4-30	1690	302	18

Fuente: HIDROMETÁLICA. Documento filtro de arena, p 2-20. ⁶³

Para conocer los diferentes aspectos a evaluar, se muestra en la Imagen 11 a que se refiere cada parámetro que se muestra en la Tabla 17, realizando una comparación entre la imagen y la tabla, es posible determinar que (De) se refiere al diámetro interno de la estructura, (e) al espesor, (H) a la altura del fondo del filtro.

Imagen 11. Diagrama de la estructura.



Fuente: HIDROMETÁLICA. Documento filtro de arena, p 2-20. ⁶⁴

Teniendo en cuenta que serán tratados 2m³ de agua residual, y además los filtros estarán ubicados en el mezzanine el peso de estos es una variable importante, no

⁶² HIDROMETÁLICA. Op. Cit., p.63

⁶³ Ibíd., p.2-20

⁶⁴ Ibíd., p. 2-20

deben ser muy pesados, se selecciona la estructura No 1. En la Tabla 18 se muestran los valores especificados para esta.

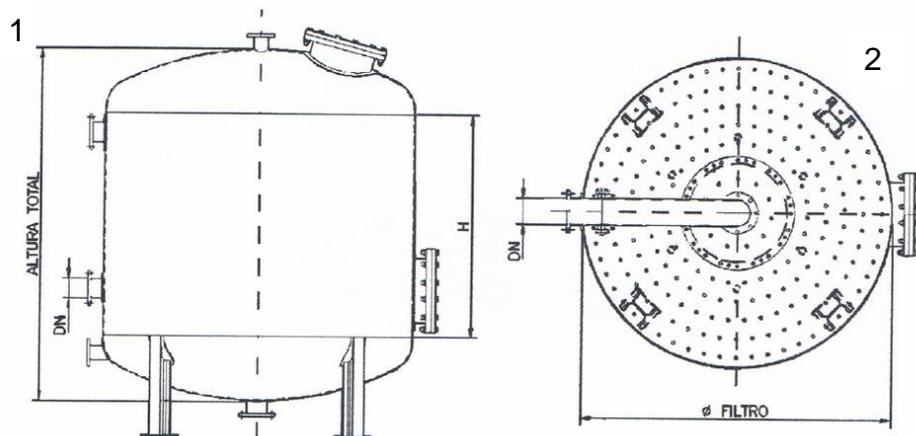
Tabla 18 . Valores seleccionados para la estructura del filtro de arena.

De (cm)	e (mm)	Dd	H	Peso kg/mm e
900	3-20	1020	184	6,5

Fuente: HIDROMETÁLICA. Documento filtro de arena, p 2-20 ⁶⁵

Para los filtros que ofrece la empresa Hidro-metálica el lecho filtrante tiene una altura de 1,20 m y la presión de trabajo se encuentra entre 0,5 - 2,5 kg/cm².

Imagen 12. Estructura del filtro 1 (se muestra altura total, H, y DN) y lecho filtrante 2 (se muestra DN y el diámetro del filtro).



Fuente: HIDROMETÁLICA. Documento filtro de arena, p 2-20 ⁶⁶

Como se muestra en la Imagen 12 la estructura tiene una altura total y diámetro de salida (DN) determinados, para esto se debe usar la Tabla 19, teniendo en cuenta que el diámetro De es de 900mm, la referencia del filtro será FA-900 y por consiguiente las especificaciones que se muestran.

Tabla 19. Valores determinados de altura y diámetro de salida del filtro.

REF	Φ FILTRO mm	Altura total	Φ salida Pul-DN
FA-900	900	1868 2368	1 ¼"-32

Fuente: HIDROMETÁLICA. Documento filtro de arena, p 2-20 ⁶⁷

⁶⁵ HIDROMETÁLICA. Op. Cit., p. 63

⁶⁶ Ibíd., p. 2-20

⁶⁷ Ibíd., p. 2-20

5.4.3.2 Filtro de carbón activado. El filtro de carbón activado será empleado para remover los hidrocarburos que se encuentren en el agua clarificada. Para seleccionarlo se tuvo en cuenta la misma información consignada en el literal 5.4.3.1 en el que se describe el filtro de arena.

5.4.4 Bombas. Para llevar el agua a través del proceso, se requieren bombas que la impulsen de acuerdo a las necesidades de presión, altura y caudal de entrada, para esto se tiene una información inicial proveniente de la estructura de la empresa, como por ejemplo la altura desde el tanque de almacenamiento hasta al mezzanine, estos valores se encuentran en la Tabla 20

Tabla 20. Valores iniciales para la selección de bombas requeridas para el proceso.

Presión de entrada de los filtros kg/cm ²	Altura (m)	Diámetro tubería (pulg)
1,5	10	1 ½

Fuente: HIDROMETÁLICA. Documento filtro de arena, p 2-20 ⁶⁸

5.4.4.1 Bomba sumergible. La empresa ya contaba con la bomba sumergible, esta será usada debido a que se puede introducir en el líquido a diferentes profundidades sin que esta se dañe, son mucho más económicas que las bombas de eje, con menor tamaño y su uso es flexible. Si se desea aumentar la presión de salida del agua residual, la adecuación resulta mucho más económico.⁶⁹ Esta será utilizada para transportar el agua desde el tanque de almacenamiento que se encuentra en el primer piso hasta el mezzanine donde se encontrará el tanque de sedimentación.

Tabla 21. Bomba Sumergible.

Diámetro de descarga (pulg)	Caudal (GPM)	Potencia (hp)
1 ½	50	1

Fuente: Evoindustria. Bombas sumergibles, p 1. ⁷⁰

5.4.4.2 Selección de bomba centrífuga. La bomba centrífuga será utilizada para llevar el agua clarificada hacia los filtros rápidos, con el fin de impulsar el agua y lograr la presión requerida a la entrada de estos. De la variedad de bombas en el mercado se buscaron las ventajas y el campo de trabajo de cada una, analizando

⁶⁸ EVOINDUSTRIA. Disponible en internet: (evoindustria.com/blog/bombas-sumergibles/

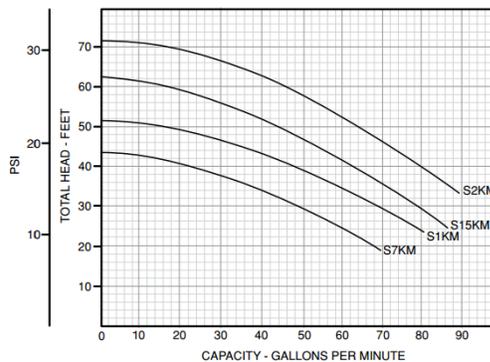
<<http://evoindustria.com/blog/bombas-sumergibles/>>)

⁶⁹ Ibid.,p.1

⁷⁰FRANKLIN ELECTRIC, Serie S, Bombas Centrífugas No Corrosivas. Disponible en internet: (www.geobombas.co/images/docs/Franklin/Bombas_No_Corrosivas_FPS/Serie_S.pdf)

cual era más apta para el sistema. Se seleccionó la bomba centrífuga porque es económica, es más fácil su instalación, no requiere mantenimiento frecuente es decir que puede operar mucho tiempo antes de requerir reparaciones⁷¹. “El fluido es entregado a presión uniforme, sin variaciones bruscas ni pulsaciones. Son muy versátiles, con capacidades desde 5gpm con presión diferencial de 2 a 5 lb/pulg² hasta bombas múltiples con 3000gpm y 3000 lb/pulg²”.⁷² Además pueden utilizarse con líquidos que contienen grandes cantidades de sólidos en suspensión, volátiles y fluidos hasta de 850°F, no alcanzan presiones excesivas aún con la válvula de descarga cerrada, el impulsor y eje son las únicas partes en movimiento, no tiene válvulas ni elementos recíprocos y tiene una operación a alta velocidad para correa motriz.⁷³ Debido que uno de los principales limitantes para la selección de equipos es el costo de estos, la empresa Franklin- electric ofrece una variedad de bombas a un costo bajo, es por esto que se realizará la selección con la información de las diferentes bombas centrífugas que ofrecen y están fabricadas en materiales termoplásticos que son anticorrosivos, un aspecto importante ya que pueden quedar trazas de cloruro férrico, reactivo altamente corrosivo.

Gráfico 3. Información de bombas centrífugas Franklin- electric.



Fuente: Franklin Electric, Serie S, Bombas Centrífugas No Corrosivas, p 1.⁷⁴

⁷¹ Organización Panamericana de la Salud. Guía para la selección de equipos de bombeo para sistemas de abastecimiento de agua y saneamiento para el medio rural. Disponible en: <http://www.bvsde.ops-oms.org/tecapro/documentos/miscela/guiaselectequiposbombeo-rural.pdf>

⁷² BEJARANO RICO, Rafael. LATORRE CHACON, Leonardo y SALDARRIAGA Pablo. Selección de bombas centrífugas. Internet (fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulos/maquinashidraulicas/seleccionbombascentrifugas/seleccionbombascentrifugas.html <
<http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulos/maquinashidraulicas/seleccionbombascentrifugas/seleccionbombascentrifugas.html>>)

⁷³ Ibíd., p. 1

⁷⁴ FRANKLIN ELECTRIC. Op. Cit., p. 66

Como se puede observar en Gráfico 3 y Tabla 22, teniendo en cuenta el valor de entrada de presión de los filtros que es de 1,5kg/m², la altura inicial que es de 10m, el diámetro tanto de carga como de descarga 1/2" y además que el peso debe ser el menor posible debido que esta estará ubicada en el segundo piso se realiza la selección, ya que la primera bomba no logra la presión deseada, se usara la bomba SK1M que logra altura, presión y también es una de las que menor peso tienen.

Tabla 22. Bombas centrífugas.

Succión x descarga	Modelo	HP	Voltaje	Peso
1-1/2" x 1-1/2"	S7KM	2/4	115	22
	S1KM	1	115	24
	S15KM	1-1/2	115	26
	S2M	2	115/230	31

Fuente: Franklin Electric, Serie S, Bombas Centrífugas No Corrosivas⁷⁵

En la Tabla 23 se muestran las características (diámetro de descarga, caudal y potencia requerida) de la bomba centrífuga seleccionada, que se encargará de llevar el agua tratada a los filtros.

Tabla 23. Características Bomba centrífuga.

Diametro de descarga (pulg)	Caudal (GPM)	Potencia (hp)
1 1/2	40	1

Fuente: Franklin Electric, Serie S, Bombas Centrífugas No Corrosivas, p 1.⁷⁶

5.4.4.3 Bombas dosificadoras. Las bombas dosificadoras serán usadas para realizar la dosificación de los reactivos (hipoclorito de sodio, cloruro férrico, floculante) al tanque sedimentador.

- Oxidación: el agua ingresa al tanque sedimentador con un pH de 11,3, para corroborar que el pH se encuentre alcalino pasará a través de un sensor de pH, si el agua se encuentra en un pH superior a 10, se activa la bomba dosificadora de hipoclorito de sodio que está asociada a un sensor de ORP que parará el suministro al llegar a 600mV, de acuerdo con la experimentación en este valor termina el proceso de oxidación.
- Coagulación: la bomba de dosificación de cloruro férrico se activa en pH superior a 10,5 y deja de suministrar al llegar a pH 8,9.
- Floculante: la floculación se realiza de forma manual.

⁷⁵ FRANKLIN ELECTRIC. Op. Cit., p. 66

⁷⁶ Ibid., p.1

Se diseñó el proceso de esta manera para que el sistema fuera automatizado, haciéndolo eficiente y sencillo de manejar para los operarios a la hora de tratar el agua residual.

En la Tabla 24 podemos encontrar algunas especificaciones del sensor de pH, este fue escogido debido al costo.

Tabla 24. Sensor de pH.

Rango pH	Calibración
0.0-14.0	Manual

Fuente: Panel-Mounted pH Indicators & Controllers, p 3-15.⁷⁷

En la Tabla 25 se muestran algunas de las especificaciones del sensor ORP, este fue seleccionado por el rango de óxido reducción y además por costos.

Tabla 25. Sensor de ORP

Rango mV	Calibración
-100 +100	Manual

Fuente: Panel-Mounted pH Indicators & Controllers, p 3-15.⁷⁸

En la Tabla 26 se muestran algunas especificaciones de las bombas dosificadoras, estas fueron escogidas debido que tenían el mayor caudal y a su vez su peso era el menor entre todas las bombas dosificadoras ofrecidas por la empresa HANNA instruments.

Tabla 26. Bombas dosificadoras.

GPH	Peso (kg)
4,8	3 kg

Fuente: Instrucción manual, bombas dosificadoras, p 3-15.⁷⁹

5.4.5 Tanque de almacenamiento del agua clarificada. Una vez el agua es clarificada debe pasar a un tanque de 2m³ esto con el fin de que la bomba no cavite ya que, si la bomba se llegara a conectar al tanque sedimentador al ir disminuyendo

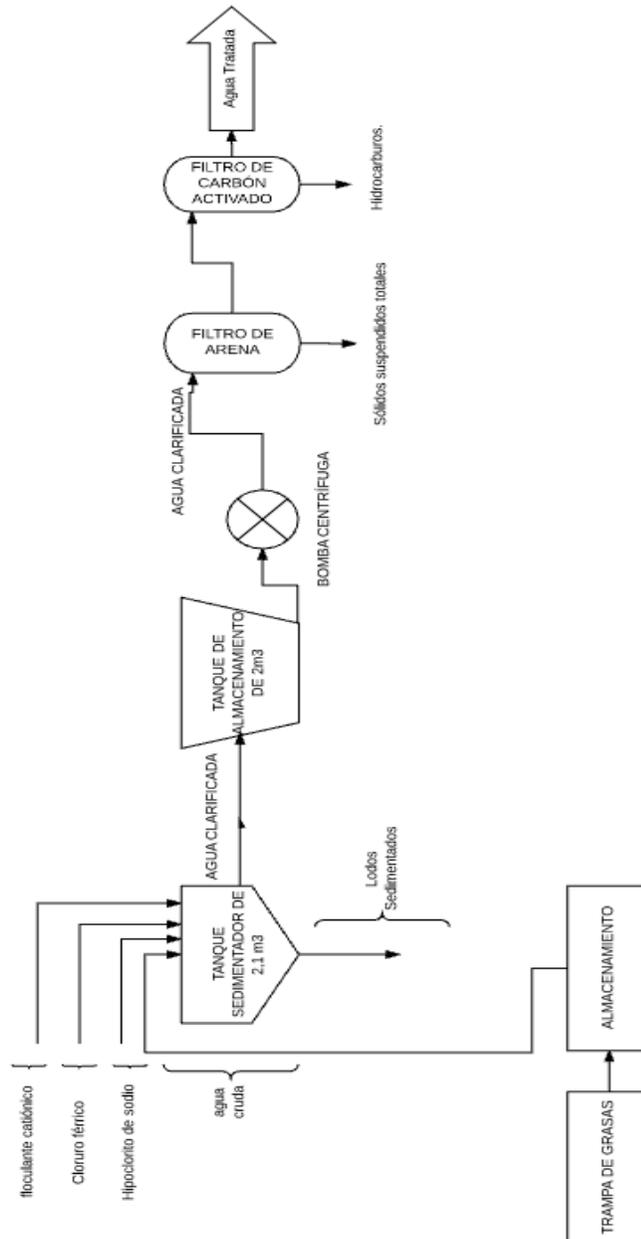
⁷⁷ Panel-Mounted pH Indicators & Controllers. Blac Stone, archivo 1-2.p

⁷⁸ Instrucción manual, Canadá, bombas dosificadoras, Disponible en internet: Instrucción manual. Disponible en internet (www.hannacan.com) <<http://www.hannacan.com>>

⁷⁹ Ibid., p 3-15

el nivel del agua, esta se alejaría de la entrada de la bomba lo que generaría la cavitación⁸⁰.

Diagrama 6. Diagrama del proceso del tratamiento de agua residual propuesto.



⁸⁰ HIDRAOIL, Cavitación en las bombas hidráulicas. Disponible en internet (www.hidrooil.es/articulo/cavitacion-en-las-bombas-hidraulicas/ <<http://www.hidrooil.es/articulo/cavitacion-en-las-bombas-hidraulicas/>>)

6. ANÁLISIS DE COSTOS

6.1 COSTO DE REACTIVOS POR TRATAMIENTO REALIZADO A 2m³ DE AGUA CRUDA

Para cada tratamiento de 2m³ de agua cruda, se determinaron los costos de reactivos que serán usados.

6.1.1 Costo de hipoclorito de sodio. Para oxidar 2m³ de agua cruda, se usarán 77 L de hipoclorito de sodio al 13%, el galón de este tiene un valor de \$7.200 COP, por lo que la oxidación tendría un costo total de \$146.457 COP. (Aunque esta concentración no oxida completamente el cianuro, es un valor aproximado que nos permite realizar una comparación final)

$$7200 \frac{COP}{GAL} \times \frac{1 GAL}{3,78541 L} \times 77L = 146.457 COP$$

6.1.2 Costo de Cloruro Férrico. Para coagular 2m³ de agua cruda, se usarán 0,924L de cloruro férrico al 30%, 500 mL de este tienen un costo de \$45.000 COP, por lo que la coagulación tiene un costo total de \$83160 COP.

$$45000 \frac{COP}{500mL} \times \frac{1000mL}{1L} \times 0,924L = 83160 COP$$

6.1.3 Costo Floculante Catiónico. Para coagular 2m³ de agua cruda, se usarán 6 L de floculante catiónico, el galón de este tiene un valor de \$13000 COP, por lo que la floculación tiene un costo total de

$$13000 \frac{COP}{GAL} \times \frac{1 GAL}{3,78541 L} \times 6L = 20.605 COP$$

Tabla 27. Costo de reactivos.

Reactivos	Costo (COP)
Hipoclorito de sodio	146.457
Cloruro férrico	83.160
Floculante Cationico	20.605
TOTAL	250.222

6.2 COSTOS DE SERVICIOS PÚBLICOS ASOCIADOS AL TRATAMIENTO

Para determinar el costo de los servicios públicos utilizados durante un año para el tratamiento del agua residual, se usó el simulador de consumo⁸¹ que ofrece, Codensa, empresa prestadora de este servicio, para el estrato 3 industrial.

Tabla 28. Tabla construida a partir de simulador de consumo de Codensa, para la industria, estrato 3. Costos aproximados para 1 mes, equivalente a 4 tratamientos realizados (un tratamiento por semana).

BOMBAS	CAUDAL (GPM)	FLUIDO DE TRABAJO	CONCENTRACIÓN (GAL)	TIEMPO (min)	TIEMPO (min/mes)	POTENCIA (KWH)	CONSUMO (COP)
Sumergible	50,00	AGUA CRUDA	528,34	10,57	42,27	6,20	2204,00
Centrifuga	40,00	AGUA CRUDA	528,34	13,21	52,83	6,20	2204,00
Dosificadora 1	0,08	HIPOCLORITO DE SODIO	20,34	254,25	1017,00	1,60	551,00
Dosificadora 2	0,08	CLORURO O FÉRRICO	0,24	3,05	12,20	1,00	352,00
CONSUMO TOTAL POR MES (COP)							5311,00

La bomba dosificadora 1 será utilizada para dosificar el oxidante (hipoclorito de sodio), y la bomba dosificadora 2 será utilizada para dosificar el coagulante (cloruro férrico). De acuerdo a los valores obtenidos de las concentraciones que se deben agregar al proceso y teniendo en cuenta que serán tratados 2m³ de agua cruda, se calcula el costo del tratamiento como se muestra en la tabla anterior.

Una vez es obtenido el consumo por cada bomba para el tratamiento de 2m³ de agua residual, se obtiene el valor total por 4 tratamientos, es posible calcular el valor anual del consumo de servicios públicos, obteniendo un valor de \$63.732COP.

6.3 ANÁLISIS DE COSTOS DE OPERACIÓN y MANTENIMIENTO

Los costos de operación se definen como los egresos necesarios para mantener un proyecto, línea de procesamiento o un equipo en funcionamiento. Para la proyección de costos es necesario realizar una propuesta de mantenimiento de la planta de

⁸¹ CODENSA S.A. ESP. Simulador de consumo. Disponible en: <http://simulador.micodensa.com/index.php/main/viewSimulator>

tratamiento de aguas residuales, según Aigosa Piragauta Ricardo Andrés,⁸² la propuesta de mantenimiento se debe plantear de la siguiente forma:

Tabla 29. Mantenimiento del tanque sedimentador

Estructura	Labor a realizar	Frecuencia
Tanque de sedimentación	Inspección visual	Diaria
	Lavado de pared interna y área adyacente	Una vez al mes
	Inspección detallada del mezclador	Trimestral
	Verificación de parámetros eléctricos y de continuidades de los cableados	Anual
Tanque de almacenamiento subterráneo	Inspección visual	Diaria
Tanque de almacenamiento después de la oxidación	Inspección visual	Diaria
	Lavado de pared interna y área adyacente	Una vez al mes

Fuente: Raigosa Piragauta Ricardo Andrés. Diagnóstico y optimización del sistema operativo y de mantenimiento del reactor discontinuo secuencial (sbr) de la planta de tratamiento de aguas residuales del municipio de la calera, p 18.⁸³

En la tabla 29 se tienen en cuenta los parámetros de mantenimiento para los tres tanques que se tienen dentro del tratamiento, es decir el de almacenamiento, oxidación y coagulación-floculación y el tanque en el que será almacenada el agua para evitar la cavitación de la bomba centrífuga. En la tabla 30, se muestran los parámetros para el mantenimiento del mezclador y las bombas.

⁸² RAIGOSA PIRAGAUTA Ricardo Andrés, diagnóstico y optimización del sistema operativo y de mantenimiento del reactor discontinuo secuencial (sbr) de la planta de tratamiento de aguas residuales del municipio de la calera, Universidad de la Salle, facultad de ingeniería ambiental y sanitaria, proyecto de grado para optar al título de ingeniero ambiental y sanitario, Bogotá D.C, 2007

⁸³ *Ibíd.*, p.18

Tabla 30. Mantenimiento de los equipos mecánicos

PROGRAMA DE INSPECCIONES Y MANTENIMIENTO PREVENTIVO			
EQUIPO MECÁNICO	Cantidad	Cada 3 meses:	Cada año
Mezclador	1	Inspección visual exterior	Engrase del eje
		Revisión de soportes, ajuste de tuercas	Limpieza de zonas oxidadas de las pinturas de soportes y retoques de las mismas
		Revisión de guías	
		Revisión conexiones eléctricas (cables conectores)	
		Verificación de ruidos en operación	
		Inspección de fuga	
Bombas	4	Inspección exterior.	Destapada de la bomba
		Inspección visual fugas	Revisión de Rodamientos
		Verificación de ruidos en operación	Revisión de carcasas
			Cambio de empaques.
		Revisión de bujes y escobillas del motor eléctrico.	

Fuente: Raigosa Piragauta Ricardo Andrés. Diagnóstico y optimización del sistema operativo y de mantenimiento del reactor discontinuo secuencial (sbr) de la planta de tratamiento de aguas residuales del municipio de la calera, p 18.⁸⁴

Para el análisis de costos, se tiene en cuenta de la Tabla 29y la Tabla 30 que es requerido un operador que revisa el sistema aproximadamente 5 veces al año ya que se tiene 1 mezclador que hace uso de un motor y 4 bombas para los cuales se realizan revisiones cada 3 meses y cada año, con una duración de una hora en cada revisión y además para los equipos como el sedimentador y la parte de maquinaria.

A continuación, se realiza el cálculo del costo del operario que realiza la revisión del sistema anual en la planta.

⁸⁴ RAIGOSA PIRAGAUTA Ricardo Andrés. Op., cit., p. 73

Ecuación 9. Análisis de costo de mantenimiento del sistema

$$\text{Numero de operarios que revisan el sistema} \times \text{salario minimo legal vigente} \\ \times \text{meses de trabajo} = \text{costo de revisión y mantenimiento}$$

Se remplazan las variables de la ecuación anterior, teniendo en cuenta que el operario trabaja todo el año en la planta, desarrollando el mantenimiento del sistema, dando el siguiente resultado.

$$1 \times 737.717 \times 12 \text{ meses} = 8'852.604 \text{ COP}$$

6.4 ANÁLISIS DE COSTO DE LA PROPUESTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS

De acuerdo con las especificaciones determinadas en el dimensionamiento de los equipos que serán usados para el tratamiento del agua cruda, se realizaron diferentes cotizaciones, unas fueron realizadas por equipo y otras por sistema de tratamiento, finalmente se seleccionó:

Tabla 31. Cotización realizada de los equipos requeridos para el tratamiento de agua residual.

DESCRIPCIÓN	VALOR APROXIMADO
Tanque principal de tratamiento de agua	\$2.000.000 **
Tanque clarificador	\$1.000.000
Tanque de almacenamiento	\$1.000.000
Tubería y accesorios	\$1.500.000
Tablero eléctrico	\$1.000.000
Cables eléctricos	\$800.000
Sistema de bombeo	\$6.800.000 ***
Instrumentación	\$1.500.000
Motoreductor	\$1.500.000 **
Aspa	\$500.000
Filtros (2)	\$4.000.000
Arena y carbón activado	\$500.000
TOTAL	\$22.100.000*

En la Tabla 31 se muestran los valores aproximados de lo que costaría cada equipo y la Tabla 32 muestra otras actividades que se deben realizar como planos, certificados, permisos entre otros aspectos para que la planta de tratamiento pueda funcionar correctamente.

Tabla 32. Cotización realizada de otros requerimientos para el montaje y puesta en marcha del tratamiento de agua residual

Levantamiento de planos arquitectónico y de redes de la planta de producción de tratamiento térmico y plano del sistema de tratamiento de aguas residuales.	\$ 856.000**
<u>**Si la empresa cuenta con dibujante que realice estos planos, se puede considerar eliminar este costo</u>	
Documentación para la solicitud de permiso de vertimientos,	\$ 2.140.000
<ol style="list-style-type: none"> 1. Acompañamiento en la visita técnica por parte de la SDA, para el permiso de vertimientos. 2. Formato único de solicitud de permiso de vertimientos 3. Costos del proyecto (información suministrada por la empresa) 4. Fuente de abastecimiento de agua 5. Características de las actividades que generan vertimientos (información suministrada por la empresa) 6. Plano de ubicación del proyecto 7. Nombre de la fuente receptora 8. Caudal de descarga 9. Tiempo de descarga 10. Tipo de flujo 11. Ubicación del sistema de tratamiento, Información de diseño, memorias y manuales de operación 	
No incluye	
<ol style="list-style-type: none"> 1. Concepto de uso de suelo (se solicita en curaduría) 2. Certificado de existencia y representación legal 3. Certificado de instrumentos públicos y privados del inmueble 4. Pago por evaluación ambiental (La empresa debe realizar el pago a la SDA) 	
TOTAL	\$2.996.000

* No incluye costos de mano de obra

** Los equipos descritos pueden ser reemplazados con equipos existentes en la empresa

*** Sujeto a diseño y determinación de caudal

Para los sensores y las bombas dosificadoras se muestran los valores de las cotizaciones realizadas en la Tabla 33.

Tabla 33. Cotización de sensores y bombas dosificadoras.

EQUIPO	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
Mini controlador de pH	1	1'008.990	1'008.990
Mini controlador ORP	1	756.990	756.990
Electrodo pH	1	641.990	641.990
Electrodo ORP	1	747.990	747.990
Bomba dosificadora	2	660.990	1'321.980

Fuente: ElectroChen Ltda optimación. Gestión y procesamiento de residuos, fabricación y comercialización de productos y equipos para la industria galvánica, química y metalmecánica, p 1.⁸⁵

6.5 CÁLCULO DE COSTO DE LA MULTA

La posible multa que tendría que pagar la empresa, puede ser calculada mediante la Resolución 2086 del 2010 “Por el cual se adopta la metodología para la tasación de multas consagradas en el numeral 1º del artículo 40 de la Ley 1333 del 21 de julio de 2009 y se toman otras determinaciones”⁸⁶

Para calcular el valor de la multa que han de pagar, la resolución propone una ecuación con diferentes criterios:

- B: Beneficio ilícito
- α : Factor de temporalidad
- i: Grado de afectación ambiental y/o evaluación del riesgo
- A: Circunstancias agravantes y atenuantes
- Ca: Costos asociados
- Cs: Capacidad socioeconómica del infractor

⁸⁵ ElectroChen Ltda optimación. Gestión y procesamiento de residuos, fabricación y comercialización de productos y equipos para la industria galvánica, química y metalmecánica Disponible en internet (www.reciclajequimico.net)

⁸⁶ MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Resolución 2086 (25 de octubre del 2010) Por el cual se adopta la metodología para la tasación de multas consagradas en el numeral 1º del artículo 40 de la Ley 1333 del 21 de julio de 2009 y se toman otras determinaciones. Bogotá D.C. Resolución, 2010. 3-11.p

Ecuación 10. Calculo de la multa según resolución 2086 del 2016.

$$Multa = B + [(\alpha \times i) \times (1 + A) + Ca]Cs^{87}$$

6.5.1 Calculo del Beneficio ilícito. Para calcular el beneficio ilícito la resolución expone una ecuación por la cual este puede ser calculado:

- Ingresos directos (y1)
- Costos evitados (y2)
- ahorros de retraso (y3)
- Capacidad de detección de la conducta (p): para la capacidad de detección de la conducta se encuentran unos valores determinados, estos dependen si es baja, media o alta.

Ecuación 11. Calculo del beneficio ilícito según la resolución 2086 del 2010.

$$[B] = \frac{Y \times (-p)}{p}^{88}$$

6.5.2 Grado de afectación ambiental y/o evaluación del riesgo. Para poder determinar el grado de afectación se debe realizar una matriz en la que se evalúan diferentes parámetros como la extensión, persistencia, reversibilidad, recuperabilidad e intensidad, cada uno de estos son explicados en la resolución 2086 del 2010, finalmente por medio de una ecuación se evalúa el valor de importancia.

Una vez se ha obtenido el valor de importancia, se debe obtener la equivalencia de este en unidades monetarias, para lo cual la resolución expone la siguiente ecuación.

Ecuación 12. Grado de afectación en unidades monetarias.

$$i = (22,06 \times SMMLV) * IMPORTANCIA^{89}$$

6.5.3 Factor de temporalidad. El factor de temporalidad se refiere al número de días en los cuales el ilícito sucede y es posible calcularlo de la siguiente forma:

⁸⁷ MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Resolución 2086. Op. Cit., p. 77

⁸⁸ ibíd., p. 3-11

⁸⁹ ibíd., p. 1

Ecuación 13. Cálculo del factor de temporalidad según resolución 2086 del 2010.

$$\alpha = \frac{3}{364}d + \left(1 - \frac{3}{364}\right) = \frac{3}{364}365 + \left(1 - \frac{3}{364}\right) = 4^{90}$$

6.5.4 Circunstancias agravantes y atenuantes. Las diferentes circunstancias se encuentran tabuladas en la resolución y a cada una de estas se le otorga un valor numérico.

6.5.5 Costos asociados. Corresponden a los gastos en los que debe incurrir la autoridad ambiental mientras se realiza el proceso sancionatorio.

6.5.6 Capacidad socioeconómica del infractor. “Para el cálculo de la Capacidad Socioeconómica del Infractor, se tendrá en cuenta la diferenciación entre personas naturales, personas jurídicas y entes territoriales”⁹¹

Tabla 34. Capacidad socioeconómica del infractor (persona jurídica).

Tamaño de la empresa.	Factor de ponderación.
Micro empresa	0.25
Pequeña	0,5
Mediana	0,75
Grande	1

Fuente: MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Resolución 2086.⁹²

Teniendo en cuenta que la empresa se toma como una persona jurídica, se debe tomar como referencia la Tabla 34. En la cual se especifica el valor que se ha de tomar para la variable Cs y que será de 0,75.

Por cuestiones legales por parte de la empresa, la información financiera es confidencial, por lo que no es posible realizar el cálculo de la multa como se mostró anteriormente, en la ley 1333 del 2009 “Por la cual se establece el procedimiento sancionatorio ambiental y se dictan otras disposiciones” específicamente en el artículo 40 se habla de las sanciones y se dicta que el valor máximo de la sanción diaria será de hasta por cinco mil (5000) salarios mínimos mensuales legales vigentes, de esta forma se calcula el valor máximo de la multa que podría tener la empresa.

⁹⁰ MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Resolución 2086. Op. Cit., p. 77

⁹¹ *Ibíd.*, p.1

⁹² *Ibíd.*, p.1

Según el decreto 2209 del 2016 ⁹³el salario mínimo legal vigente tiene un valor de \$737.717 COP y el valor diario equivale a \$24,590.57 COP por lo que el valor máximo de la multa será de \$122'958.850 COP.

Ecuación 14. Cálculo de multa máxima.

$$\frac{24.590,57\text{COP}}{\text{dia}} \times 5000 = 122'952.850 \text{ COP}$$

6.6 COMPARACION DE COSTOS

Tabla 35. Comparación de costos de la propuesta vs el costo de la multa.

TIPO COSTO	COP/MENSUAL	COP/AÑO	COP/AÑO TOTAL
COSTO FIJO	3'274.200,833	30'290.410	
COSTO VARIABLE (MANTENIMIENTO)	737.717	8'852.604	
COSTO VARIABLE(SERVICIOS)	58.6261,3846	7'035.136,615	58'188.806,62
COSTO VARIABLE (REACTIVOS)	1'000.888	12'010.656	
COSTO MULTA	10'246.070,83	122'952.850	122'952.850

Como se muestra en la Tabla 35. El costo total de la multa es 2 veces mayor que el costo de la inversión inicial más el costo del tratamiento, es por esto que resulta ser beneficioso para la empresa realizar la inversión. Además, una vez se pague la inversión de los equipos, el costo anual disminuirá de \$58'188.806,62 COP a \$27'898.396,62 COP; también se debe tener en cuenta que la reincidencia en la infracción puede llevar a la empresa incluso al cierre total de esta.

⁹³ PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA. Decreto 2209. (30 de diciembre del 2016). Por el cual se fija el salario mínimo mensual legal. Bogotá D.C.: El ministerio, 2016.

7. CONCLUSIONES

- Se realizó un Diagnostico de la empresa para conocer el estado del agua residual proveniente del tratamiento térmico, en el proceso se emplean sales de cianuro de sodio y cloruro de potasio, en el análisis de la calidad del agua residual realizados por el Instituto de Higiene Ambientas S.A.S en marzo 26 del 2015 y agosto 03 del 2015, se obtuvo que los parámetros de la resolución 631 de 2015 que no se cumplen son el CN con 42,35 mg/L, hidrocarburos totales con 159 mg/L , demanda biológica de oxígeno (DBO) con 170,6 mg/L, solidos suspendidos totales con 228,5 mg/L y grasas y aceites con 44,1 mg/L.
- Fue seleccionado un sistema de tratamiento que incluye las etapas de oxidación, coagulación, floculación y filtración, de acuerdo con los resultados experimentales, para la oxidación se escogió el hipoclorito de sodio debido a que el agua inicia con pH alcalino 11.3 y no requiere otro agente químico para su adecuación, mientras que el peróxido de hidrogeno requiere el uso de un ácido para reducir el pH a 9. El hipoclorito tiene un valor 51,67% inferior al peróxido de hidrogeno.
- En el desarrollo del proceso experimental los coagulantes utilizados fueron el cloruro férrico y el sulfato de aluminio, fue seleccionado el cloruro férrico debido a que el sulfato de aluminio se demoró en sedimentar 12 minutos mientras que el cloruro férrico sedimentó en 2 minutos 12 segundos, el pH final del cloruro férrico fue 8,5.
- Para la selección del floculante se tuvo en cuenta la turbidez y el pH, para el floculante aniónico se obtuvo una turbidez de 16,5 NTU y un pH de 9,06, que incumple con el parámetro de calidad del agua residual vigente, mientras que el floculante catiónico tuvo una turbidez de 3,5 NTU y un pH de 8,5 cumpliendo con la norma.
- Con la selección de tratamiento los resultados finales fueron CN 1,9 mg/L, si bien no cumple con el límite permisible tuvo una remoción del 98%; la DQO fue de 172 mg/L con una reducción del 44,5% y cumple con la norma. Para sólidos suspendidos totales la concentración inicial fue de 76 mg/L y después del tratamiento el resultado fue <5mg/L, con una eficiencia de 93,4%. La turbidez en el agua cruda fue de 46 NTU y se redujo en un 96,5% después de filtración obteniendo una turbidez final de 1,6 NTU
- Para el sistema de tratamiento de agua residual industrial se dimensionaron los equipos para un proceso físico químico y de oxidación de cianuros, teniendo en cuenta el caudal de operación equivalente a 2 m³ por semana, fue diseñado un tanque sedimentador troncocónico con capacidad de 2,2 m³ y las paletas con diámetro de 1m que realizaran la homogenización de la mezcla; fue

seleccionado el sistema de bombeo que incluye una bomba sumergible con caudal de 50 GPM para trasiego del agua dos bombas dosificadoras 4.8GPH para como su nombre lo dice dosificar los reactivos y una bomba centrífuga con caudal de 40 GPM para el proceso de filtración, fue seleccionado el sistema de filtración rápida con presión con lechos de arena, grava y carbón activado.

- El análisis de costos se realizó a partir del costo de la inversión y el costo de reactivos y servicios públicos que serán usados para cada tratamiento y los costos de mantenimiento y comparándolo con la multa máxima que la empresa podría llegar a recibir en caso de seguir desechando el agua sin ningún tratamiento. Para el costo de la inversión y los costos totales del tratamiento anuales, el valor total será de \$58'188.806,62 COP mientras que el costo de la multa será de 122'952.850 COP, dos veces mayor que el valor de la inversión por lo que es más beneficioso para la empresa realizar la inversión. También una vez se haya pagado la inversión el costo del tratamiento será de \$27'898.396,62COP anuales.

8. RECOMENDACIONES

- Por costos el diagnóstico fue basado en los aspectos que se encontraban dentro de los análisis que la empresa tenía como soporte, por esta razón no se tiene la información de todos los parámetros contemplados en la resolución 631 del 2015, se recomienda realizar un análisis detallado de todos los parámetros y así confirmar que los parámetros que no fueron evaluados se encuentran dentro de los valores límites establecidos.
- Se recomienda antes de poner en marcha la planta de tratamiento, realizar una planta piloto, para que una vez se realice el tratamiento, se verifique que todos los parámetros cumplen con la resolución 631 del 2015.
- Debido a los cambios en la cantidad de tratamientos realizados en la empresa y además de que normalmente la materia prima no siempre es la misma, lo que implica un cambio de la composición inicial y puede influir en la composición del agua una vez se hace el lavado, es recomendable determinar la concentración de cianuro presente en el agua que será tratada para así poder definir la cantidad de hipoclorito de sodio que se deba agregar.
- El proceso propuesto no expone un tratamiento para los lodos que provienen del agua residual en el tanque sedimentador, por lo que se recomienda realizar un estudio con el fin de determinar un proceso más eficiente y que genere menores costos para la disposición final de estos.
- Aunque se propone una automatización inicial para la sedimentación tanto en la oxidación como en la coagulación por medio de los sensores de pH y ORP es importante automatizar los demás procesos, así como también el tiempo de agitación y la floculación con el fin de disminuir costos en contratación de personal y posibles equivocaciones que estos puedan cometer.

BIBLIOGRAFÍA

ACEROS ARAVO catálogo de productos, disponible en internet ([/www.acerosbravo.cl/imgmodulo/Imagen/114.pdf](http://www.acerosbravo.cl/imgmodulo/Imagen/114.pdf)) <<http://www.acerosbravo.cl/imgmodulo/Imagen/114.pdf>>

ANALIZA CALIDAD. Tratamiento de aguas residuales industriales [online]. Disponible en internet: <http://www.analizacalidad.com/docftp/fi1110aguas.pdf> .p.3

ACEROS INDUSTRIALES lideres por naturaleza, Aceros de bajo carbono [online], disponible en internet: (www.acerosindustriales.com/sitio/images/stories/pdfs/ACEROS_DE_BAJO_CARBONO-SAE_1005_A_1020.pdf) <http://www.acerosindustriales.com/sitio/images/stories/pdfs/ACEROS_DE_BAJO_CARBONO-SAE_1005_A_1020.pdf>

ALBERTS Industries, Temple y revenido. Disponible en internet (www.trateriber.es/pdf/Temple-Revenido.pdf) <<http://www.trateriber.es/pdf/Temple-Revenido.pdf>>

Aceros para Construcciones Mecánicas, características, disponible en internet (matensayos.webcindario.com/acerosiram/1030.pdf) <<http://matensayos.webcindario.com/acerosiram/1030.pdf>>

ANALIZA CALIDAD. Tratamiento de aguas residuales industriales [online]. Versión en internet: <<http://www.analizacalidad.com/docftp/fi1110aguas.pdf>> .p.3

Anónimo, Cianuro. Disponible en: <http://www.ingenieroambiental.com/4014/compendio-cianuro.pdf>

Anónimo. ELECTROQUÍMICA Y MEDIO AMBIENTE. [Consultado el junio 30] Disponible en: http://docencia.udea.edu.co/cen/electroquimical/tratamiento/tratamiento_contaminantes.pdf

Anónimo. RESUMEN DE SALUD PÚBLICA Cianuro; En: DEPARTAMENTO DE SALUD Y SERVICIOS HUMANOS DE LOS EE.UU., SERVICIO DE SALUD PÚBLICA AGENCIA PARA SUSTANCIAS TÓXICAS Y EL REGISTRO DE ENFERMEDADES. Julio .p. 1-10. Disponible en internet: https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs8.pdf

BARON, Laura Milena. Aguas Residuales. El Cid Editor, 2009. p. 7

BEJARANO RICO, Rafael. LATORRE CHACON, Leonardo y SALDARRIAGA Pablo. Selección de bombas centrífugas. Internet

(fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulos/maquinashidraulicas/seleccionbombascentrifugas/seleccionbombascentrifugas.html) <
<
<http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulos/maquinashidraulicas/seleccionbombascentrifugas/seleccionbombascentrifugas.html>>

CÁRDENAS, Yolanda Andía. Tratamiento de agua, coagulación y floculación. Evaluación de Platas y Desarrollo Tecnológico. Lima: 2000. Disponible en internet: (www.ingenieroambiental.com/4014/andia.pdf) <
<
<http://www.ingenieroambiental.com/4014/andia.pdf>>

Cementación. Disponible en internet: (estudioyensayo.files.wordpress.com/2008/11/cementacion.pdf) <
<
<https://estudioyensayo.files.wordpress.com/2008/11/cementacion.pdf>>

CODENSA S.A. ESP. Simulador de consumo. Disponible en: <http://simulador.micodensa.com/index.php/main/viewSimulator>

COLOMBIA. CONGRESO DE LA REPUBLICA. Resolución 0631. (17, marzo, 2015). Por la cual se crea el sistema de seguridad ambiental y se dictan otras disposiciones. Diario Oficial. Bogotá, D.C., 2015. no. 49.486.

DIAS INOCENTE, Daysi Kelly y CONDORI COILLO, Ismael Rene. Proceso de identificación de soluciones cianuradas usando el método inco en efluentes. Trabajo de grado para ingeniería química. Lima.: Universidad Nacional de Ingeniería. Facultad de ingeniería química y textil. Departamento de ingeniería. 15-30 p.

ElectroChen Ltda optimación. Gestión y procesamiento de residuos, fabricación y comercialización de productos y equipos para la industria galvánica, química y metalmeccánica Disponible en internet (www.reciclajequimico.net)

EVOINDUSTRIA. Disponible en internet: (evoindustria.com/blog/bombas-sumergibles/) <
<
<http://evoindustria.com/blog/bombas-sumergibles/>>

FABIOLA NAVLA, Alonso; Elorza Rodríguez, Enrique; Uribe Salas, Alejandro; Barriga Ordóñez, Francisco. Eliminación de cianuro por oxidación con ozono - experiencia del cinvestav. Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN Facultad de Minas Metalurgia y Geología, Universidad de Guanajuato, Guanajuato Disponible en: <http://www.rilize.com/OZONO%20ELIMINACION%20DE%20CIANURO%20POR%20OXIDACION%20CON%20OZONO.pdf>

FRANKLIN ELECTRIC, Serie S, Bombas Centrífugas No Corrosivas. Disponible en internet:

(www.geobombas.co/images/docs/Franklin/Bombas_No_Corrosivas_FPS/Serie_S.pdf)

GAVIRIA Ana y MEZA Luis. 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 Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, Facultad de Minas, 2005 página 6. Disponible en internet (revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/view/804/1261 <<http://revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/view/804/1261>>)

GÓMEZ LEIVA Patricia, Degradación de Cianuros mediante Oxidación en Efluentes Industriales, Proyecto máster en química y desarrollo sostenible, España.: Universidad de Oviedo. Departamento de química orgánica e inorgánica, 2012. Disponible en internet (digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/10651/3986/6/TFM_PatriciaGomezLeiva.pdf <http://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/10651/3986/6/TFM_PatriciaGomezLeiva.pdf>)

GRINBERG, Dora. Tratamientos térmicos de aceros y sus prácticas de laboratorio. Mexico: Limusa Noriega, 1994 p. 83-108.

HIDRAOIL, Cavitación en las bombas hidráulicas. Disponible en internet (www.hidraoil.es/articulo/cavitacion-en-las-bombas-hidraulicas/ <<http://www.hidraoil.es/articulo/cavitacion-en-las-bombas-hidraulicas/>>)

HIDROMTÁLICA. Filtro de arena. Internet: (hidrometalica.com/wp-content/uploads/2017/03/Cat%C3%A1logo-Filtros-de-Arena.pdf <<http://hidrometalica.com/wp-content/uploads/2017/03/Cat%C3%A1logo-Filtros-de-Arena.pdf>>)

ICONTEC. Norma técnica Colombiana NTC 3651, Calidad del agua, determinación del pH [online]. Editada por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC) Apartado 14237 Bogotá, D.C. 1994. Disponible en internet: (documents.mx/documents/ntc-3651-calidad-del-agua-determinacion-del-ph.html <<http://documents.mx/documents/ntc-3651-calidad-del-agua-determinacion-del-ph.html>>)

INDUSTRIAS H. D. Instructivo tratamiento térmico.:2013.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Referencias bibliográficas. Contenido, forma y estructura. NTC 5613. Bogotá D.C.: El instituto, 2008. 2-31p.

----- . Documentación. Presentación de tesis, trabajos de grado y otros trabajos de investigación. NTC 1486. Bogotá D.C.: El instituto, 2008. 2-7p.

----- . Gestión ambiental. Agua. Procedimiento para el método de jarras en la coagulación- floculación del agua. y vocabulario. NTC 3903. Bogotá D.C.: El Instituto, 2007. 7 p.

----- . Código de fontanería. NTC 1500. Bogotá D.C.: El Instituto, 2004.

----- . Referencias documentales para fuentes de información electrónicas. NTC 4490. Bogotá D.C.: El instituto, 1998. 2-21p.

Instrucción manual, Canadá, bombas dosificadoras, Disponible en internet:
Instrucción manual. Disponible en internet (www.hannacan.com
<<http://www.hannacan.com>>)

LABORBEDARF BOCHEM LAB SUPPLY. Disponible en internet:
(www.bochem.com/es/Informaci%C3%B3n+%C3%BAtil/Tipos+de+agitadores.html
<<http://www.bochem.com/es/Informaci%C3%B3n+%C3%BAtil/Tipos+de+agitadores.html>>)

MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL.
Resolución 2086 (25 de octubre del 2010) Por el cual se adopta la metodología para la tasación de multas consagradas en el numeral 1º del artículo 40 de la Ley 1333 del 21 de julio de 2009 y se toman otras determinaciones. Bogotá D.C. Resolución, 2010. 3-11.p

MONDRAGON Fonseca y FERNANDO Raúl, Elaboración de un plan de implementación para el manejo de los residuos sólidos y líquidos generados en los procesos de mecanizado y tratamientos térmicos en la fábrica general José María Córdova de la industria militar. Trabajo de grado Ingeniero Químico. Bogotá D.C.: Fundación Universidad de América. Facultada de ingenierías, 1998. P. 31.

NAVA Alonso, RODRÍGUEZ Elorza, URIBE SALAS Y R. PÉREZ, Garibay REV.
Análisis químico de cianuro en el proceso de cianuración. METAL. MADRID, [enero-febrero 2007], ISSN: 0034-8570: revisión de los principales métodos. p.4-5
Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater [online]. Copyright 1999 by American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation. Disponible en internet:
(www.mwa.co.th/download/file_upload/SMWW_4000-6000.pdf)

ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD y AGENCIA SUIZA PARA EL DESARROLLO Y LA COOPERACIÓN COSUDE, Guía para la selección equipos de bombeo para sistemas de abastecimiento de agua y saneamiento para el medio

rural. Lima.: luéd, 2007, p. 23. Internet (www.bvsde.ops-oms.org/tecapro/documentos/miscela/guiaselequiposbombeo-rural.pdf <http://www.bvsde.ops-oms.org/tecapro/documentos/miscela/guiaselequiposbombeo-rural.pdf>)

Panel-Mounted pH Indicators & Controllers. Blac Stone, archivo 1-2.p

PESANTEZ Daniel, DE LA TORRE Ernesto y GUEVARA Alicia, Departamento de Metalurgia Extractiva Influencia del ion cúprico y del cobre metálico en la oxidación del cianuro libre con aire y carbón activado disponible en Revista Politécnica, 2010, Vol. 29(1): 1–7.p. 1.

PILLAJO Ivonne. Ferrocianuro férrico o Azul de Prusia, 2012, disponible en internet (issuu.com/ivonnepillajo/docs/ferrocianuro_f_rrico <https://issuu.com/ivonnepillajo/docs/ferrocianuro_f_rrico>)

PEREZ PATIÑO, Juan Antonio. Trabajo de grado de maestría en ciencias de la mecánica con especialidad de los materiales. Tratamientos térmicos de los aceros; México.: Universidad Autónoma de Nuevo León, 1996. p. 32-39.

RAMIREZ, Augusto V. Toxicidad del cianuro. Investigación bibliográfica de sus efectos en animales y en el hombre. En: ANALES DE LA FACULTAD DE MEDICINA. Mar 22,.vol. 71, no. 1, p. 54-61

RAIGOSA PIRAGAUTA Ricardo Andrés, diagnóstico y optimización del sistema operativo y de mantenimiento del reactor discontinuo secuencial (sbr) de la planta de tratamiento de aguas residuales del municipio de la calera, Universidad de la Salle, facultad de ingeniería ambiental y sanitaria, proyecto de grado para optar al título de ingeniero ambiental y sanitario, Bogotá D.C, 2007

PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA. Decreto 2209. (30 de diciembre del 2016). Por el cual se fija el salario mínimo mensual legal. Bogotá D.C.: El ministerio, 2016.

ROMERO ROJAS. Jairo Alberto. Tratamiento de aguas residuales. Teoría y principios de diseño. Bogotá: Editorial: E. Colombiana de Ingenieria. 2004. 650-654 p.(ISBN: 9789588060132)

SANDOVAL REYES, Carlos Alberto. Decreto 3930 DE 2010, Artículo 1°. Objetivo. Publicado en el Registro Distrital número 2206 de agosto 11 de 2000. Capítulo 1. Disponible en internet (www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=40620 <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=40620>)

SENSOREX. Cyanide wastewater treatment [online]. Designed and assembled in California, USA. Disponible en internet: (www.sensorex.com/docs/white_papers/AppNoteCyanideWastewater.pdf <https://www.sensorex.com/docs/white_papers/AppNoteCyanideWastewater.pdf>)

SISTEMAS DE DOSIFICACION Y MEZCLA, Principios de agitación de fluidos, conceptos aplicados. Disponible en internet: (<www.sdm---sistemas.com>)

SUMITEC. Suministros técnicas S.A, Acero gramado maquinaria [online], disponible en internet: (www.sumiteccr.com/Aplicaciones/Articulos/pdfs/AISI%201020.pdf <<http://www.sumiteccr.com/Aplicaciones/Articulos/pdfs/AISI%201020.pdf>> también disponible en <www.sumiteccr.com>)

Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater [online]. Copyright 1999 by American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation. Disponible en internet: (www.mwa.co.th/download/file_upload/SMWW_4000-6000.pdf <https://www.mwa.co.th/download/file_upload/SMWW_4000-6000.pdf>)

Tratamientos térmicos de los aceros. México: Limusa Noriega, 2000 p. 96-79, 241-244

VALLEJO LOPEZ, Gabriel. Minambiente presenta nueva Norma de Vertimientos que permitirá mejorar la calidad agua del país]. marzo 18,. [Consultado el marzo 2] Disponible en: <http://www.minambiente.gov.co/index.php/noticias/1700-minambiente-presenta-nueva-norma-de-vertimientos-que-permitira-mejorar-la-calidad-agua-del-pais>

YÉPEZ, Chung. Pruebas de Destrucción Del Cianuro. 1999. Capítulo 4

ANEXOS

ANEXO A. INFORME OTORGADO POR ANALQUIM. S.A.



ANALQUIM LTDA.
ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS Y CALIDAD DEL AIRE



Bogotá, mayo 05 de 2017

Señoritas:

PAULA LIZARAZO
KATIA VILLOTA

Comedidamente me permito remitir a ustedes el informe de tratabilidad (remoción de cianuros, coagulación, floculación y filtración), de una muestra de agua residual industrial de una empresa dedicada a la metalmecánica tomada el 26 de abril de 2017.

Para realizar la etapa de remoción de cianuros, se llevó a cabo el siguiente procedimiento:

- Se realizó la determinación de la concentración inicial de cianuros mediante el método 4500-CN⁻C y D del estándar método edición 22 del 2012.

Tabla 1: Concentración de cianuro en el A.R.I.

Concentración inicial Cianuro	97 mg/Lt de CN⁻
--------------------------------------	-----------------------------------

- Una vez conocida la concentración inicial de cianuros se adicionaron diferentes dosis de cloro como Cl₂ a partir de hipoclorito de sodio, de la siguiente manera:

Tabla 2: Dosis de cloro para remoción de cianuro.

Vaso #	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Tiempo contacto (h)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Conc. De cloro (mg/Lt Cl₂)	0	300	500	1000	1500	2000	2500	3000	4000	5000
Conc. CN⁻ (mg/Lt)	97	86.4	74.6	62.3	52.7	45.6	37.2	21.7	7.9	1.9
% remoción	0	10.9	23.1	35.8	45.7	53.0	61.6	77.6	91.9	98.0

De acuerdo a la concentración de cloro adicionada entre 4000 y 5000 mg/L de Cl₂, se observa una baja remoción de cianuro entre una y otra dosis, por consiguiente, se recomienda como dosis óptima 4000 mg/L Cl₂.





- Una vez encontrada la dosis optima de cloro (Cl₂) para la remoción de cianuros se realizó el proceso de clarificación:

COMPUESTOS QUIMICOS UTILIZADOS

Se utilizó como coagulante sulfato de aluminio tipo A y B., cloruro férrico, cal, diferentes poli-electrólitos (floculantes). Presentando buenos resultados con cloruro férrico y el polímero Kemira super-floc 496C.

COMPUESTOS QUIMICOS SELECCIONADOS

Se seleccionaron de acuerdo a los óptimos resultados en el tratamiento del agua el cloruro férrico y el polímero Kemira super-floc 496C.

CONDICIONES DEL ENSAYO

Tabla 3: Dosis optimas de tratabilidad.

Dosis de cloruro férrico	1340 mg/L
Dosis del polímero Kemira super-floc 496C.	5 mg/L
Tiempo de mezcla rápida (minutos)	0.5
Tiempo de mezcla lenta (minutos)	7
Gradiente de mezcla lenta (seg ⁻¹)	30
Tiempo de sedimentación (minutos)	15

El floc es de formación rápida, mediano, disperso, denso, de asentamiento lento.

CARACTERISTICAS FISICO-QUIMICA DEL AGUA

Tabla 4: Concentración de Parámetros ambientales.

PARAMETRO	CRUDA	TRATADA
pH (unidades)	10.60	8.58
Turbiedad (NTU)	46	1.6
SST (mg/Lt)	76	<5
DQO (mg/Lt O ₂)	310	172

Las características del agua tratada corresponden a el agua coagulada, sedimentada y filtrada.


URIEL PARRA ROJAS
GERENTE TÉCNICO



GG-155



GA-178



GS-774

**ANEXO C.
DESCRIPCIÓN TÉCNICA DE LAS BOMBAS.**

PROPUESTA TECNICA-ECONÓMICA

**DESCRIPCIÓN GENERAL
Bombeo agua con quimicos Cianuro**

1. MOTOBOMBA CENTRIFUGA .

Marca	: Franklin_Electric
Construcción	: Plastico de alta Resistencia
Modelo	: S1KM
Etapas	: 1
Impulsor	: Plastico alta resistencia
Cierre del Eje	: Sello Mecánico
Eje	: Acero Inoxidable 304SS
Caudal	: 40 GPM
Altura	: 10 Mts
Succión	: 1 1/2"
Descarga	: 1 1/2"
Motor	: Eléctrico /Horizontal
Potencia	: 1HP
Velocidad	: 3450 RPM
Tensión	: 115v Monofásica
Fluido	: Agua con quimicos

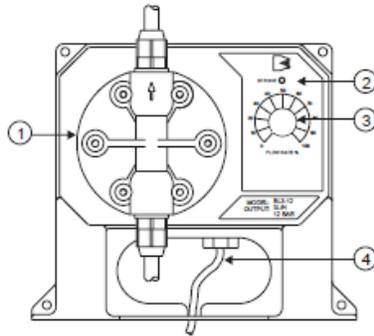
**PROPUESTA TECNICA-ECONÓMICA
MOTOBOMBA SUMERGIBLE**

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

BOMBA

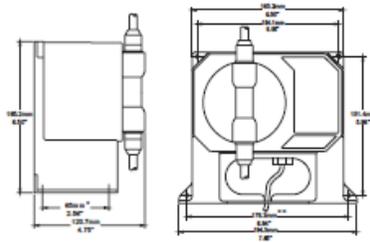
Tipo	: Sumergible
Marca	: Pedrollo
Modelo	: VXm 10/35I
Construcción	: Acero Inox.304
Impulsor	: Acero Inox.304
Voluta	: Acero Inox.
Diámetro Descarga	: 1 1/2"FNPT
Caudal	: 50 GPM
Altura	: 6 Metros
Sello	: Mecánico (Cerámica-Grafito-NBR)
Líquido Bombeo	: Agua Residual
Potencia	: 1 hp
Tension	: 220v
Consumo	: 5,2 AMP
Incluye	: Flotador , 5 Metros de Cable

FUNCTIONAL DESCRIPTION OF BLACKSTONE PUMPS



1. Pumphead
2. Stroke LED
3. Flow Rate % Knob
4. Power Cord

MECHANICAL DIMENSIONS



SPECIFICATIONS OF BLACKSTONE PUMPS

FLOW RATE	
BL1.5	1.5 lph (0.4 gph) @ 13 bar (188.5 psi)
BL3	2.9 lph (0.8 gph) @ 8 bar (116 psi)
BL 5	5.0 lph (1.3 gph) @ 7 bar (101.5 psi)
BL7	7.6 lph (2.0 gph) @ 3 bar (43.5 psi)
BL10	10.8 lph (2.9 gph) @ 3 bar (43.5 psi)
BL15	15.2 lph (4.0 gph) @ 1 bar (14.5 psi)
BL20	18.3 lph (4.8 gph) @ 0.5 bar (7.4 psi)
	Adjustable from 0 to 100% of maximum pump capacity
POWER SUPPLY	
BL.../115	100/115V; 50-60Hz
BL.../220	220/240; 50-60Hz
SELF PRIMING	Max. self-priming height 1.5 m (5')
ENVIRONMENT	0 to 50°C (32 to 122°F) 95% R.H. max
PROTECTION	IP65
WEIGHT	3 Kg (6.6 lb.)
DIMENSIONS	194 x 165 x 121 mm (WxHxD) (7.6 x 6.5 x 4.8")
MATERIAL	BODY: Polypropylene with reinforced fiberglass VALVES: glass balls PUMPHEAD: Kynar® DIAPHRAGM: Teflon®

Kynar® is registered Trademark of "Penwalt Co."
Teflon® is registered Trademark of "du Fort de Nemours & Co."

ANEXO D. DESCRIPCIÓN TÉCNICA DE LOS SENSORES.

Instruction Manual

BL 932700-0
BL 932700-1

Panel-Mounted ORP Indicators & Controllers



WARRANTY

These instruments are warranted for two years against defects in workmanship and materials when used for their intended purpose and maintained according to instructions. Probes are warranted for six months. This warranty is limited to repair or replacement free of charge. Damages due to accident, misuse, tampering or lack of prescribed maintenance are not covered. If service is required, contact the dealer from whom you purchased the instrument. If under warranty, report the model number, date of purchase, serial number and the nature of the failure. If the repair is not covered by the warranty, you will be notified of the charges incurred. If this instrument is to be returned to Hanna Instruments, first obtain a Returned Goods Authorization Number from the Customer Service department and then send it with shipment costs prepaid. When shipping any instrument, make sure it is properly packaged for complete protection.

Recommendations for Use:
Always dry these products, make sure they are wettable suitable for the environment in which they are used. Operation of these instruments in wetted areas will cause considerable interference to radio and TV equipment. Avoid handling the electrode unless it is clean. Being operated, ISE units should be kept in a well-ventilated area to avoid the accumulation of gases. Any solution intended for use in the supplied equipment may require ISE performance. To avoid electrode drift, do not use these instruments when subject to the maximum voltage of 24 V or 40 V. To avoid damage to the probe, do not perform any measurement in aggressive media.

Instruction Manual

BL 981411-0
BL 981411-1

Panel-Mounted pH Indicators & Controllers



WARRANTY

These instruments are warranted for two years against defects in workmanship and materials when used for their intended purpose and maintained according to instructions. Probes are warranted for six months. This warranty is limited to repair or replacement free of charge. Damages due to accident, misuse, tampering or lack of prescribed maintenance are not covered. If service is required, contact the dealer from whom you purchased the instrument. If under warranty, report the model number, date of purchase, serial number and the nature of the failure. If the repair is not covered by the warranty, you will be notified of the charges incurred. If this instrument is to be returned to Hanna Instruments, first obtain a Returned Goods Authorization Number from the Customer Service department and then send it with shipment costs prepaid. When shipping any instrument, make sure it is properly packaged for complete protection.

Recommendations for Use:
Always dry these products, make sure they are wettable suitable for the environment in which they are used. Operation of these instruments in wetted areas will cause considerable interference to radio and TV equipment. Avoid handling the electrode unless it is clean. Being operated, ISE units should be kept in a well-ventilated area to avoid the accumulation of gases. Any solution intended for use in the supplied equipment may require ISE performance. To avoid electrode drift, do not use these instruments when subject to the maximum voltage of 24 V or 40 V. To avoid damage to the probe, do not perform any measurement in aggressive media.

Dear Customer,
Thank you for choosing a Hanna product.
This manual will provide you with the necessary information for the correct operation of the meter. Please read it carefully before using the instrument.
If you need additional technical information, do not hesitate to e-mail us at tech@hannainst.com.
These instruments are in compliance with the CE directives.

PRELIMINARY EXAMINATION

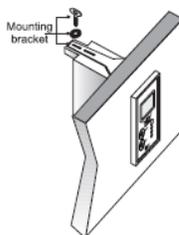
Remove the instrument from the packing material and examine it carefully. If any damage has occurred during shipment, immediately notify your Dealer or the nearest Hanna Customer Service Center.
Each meter is supplied with:
• Mounting bracket
• Instruction manual
Note: Conserve all packing material until the instrument has been observed to function correctly. Any defective item must be returned in its original packing.

GENERAL DESCRIPTION

BL932700-0 and BL932700-1 are panel-mounted ORP indicators and controllers designed for simplicity of use in a wide range of industrial applications.
Connectors and wiring to electrode, power supply, contacts and external recorder are made via the terminal block on the rear panel. The meters are equipped with a BNC socket and accept input from conventional ORP electrodes.
Other features include: 4-20 mA output, overtime control system, selection of dosing direction (Relay/Out), contact for external control and disabling of dosing action, multi-colour LED for indicating if the meter is in measurement/dosing/ alarm condition, possibility to set (DR)Auto-On switch) dosing action mode.
Two models are available:
• BL 932700-0 powered at 12 Vdc
• BL 932700-1 powered at 115 or 230 Vdc

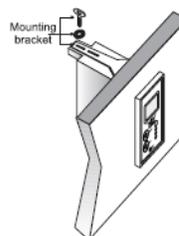
SPECIFICATIONS	
Range	±1000 mV
Resolution	1 mV
Accuracy (@ 20°C/68°F)	±5 mV
Typical EMC Deviation	±5 mV / ±0.10 mV
Calibration	Manual, through CAL trimmer
Dosing Contact	Maximum 2A (use protected), 230 Vac, 30 Vdc
Dosing Selection	Relay or Out, selectable on the back panel
Contact Open	Relay ON / Measure > Setpoint
Contact Close	Relay ON / Measure < Setpoint
Setpoint	Adjustable, from 0 to 1000 mV
Overtime	Adjustable, typically from 5 to approx. 30 minutes
Recorder Output	4 to 20 mA, accuracy ±0.20 mA, 500 Ω maximum load
Power Consumption	10 VA
Installation Category	I
Power supply:	External (use protected)
BL932700-0	12 Vdc
BL932700-1	115/230 Vac, 50/60Hz
Dimensions	83 x 52 x 99 mm (3.32" x 2.05" x 3.90")

ASSEMBLY VIEW



SPECIFICATIONS	
Range	0.0 to 14.0 pH
Resolution	0.1 pH
Accuracy (@ 20°C/68°F)	±0.2 pH
Typical EMC Deviation	±0.1 pH
Calibration	Manual, through CAL (20pF) trimmer
Dosing Contact	Maximum 2A (use protected), 230 Vac, 30 Vdc
Dosing Selection	Acid or Alk, selectable on the back panel
Contact Open	Acid dosage = Relay ON / Measure > Setpoint
Contact Close	Alk dosage = Relay ON / Measure < Setpoint
Setpoint	Adjustable, from 0 to 14 pH
Overtime	Adjustable, typically from 5 to approx. 30 minutes
Power Consumption	10 VA
Installation Category	I
Power supply:	External (use protected)
BL981411-0	12 Vdc
BL981411-1	115/230 Vac, 50/60Hz
Dimensions	83 x 53 x 99 mm (3.32" x 2.10" x 3.90")

ASSEMBLY VIEW



ACCESSORIES

ORP SOLUTIONS
 HI 7000ML ORP test solution (200-275 mV), 230/500 mL
 HI 7021ML ORP test solution (240 mV), 230/500 mL
 HI 7022ML ORP test solution (470 mV), 230/500 mL
 HI 7091ML Permanganate Reducing Solution, 230/500 mL
 HI 7092ML Permanganate Oxidizing Solution, 230/500 mL

OTHER SOLUTIONS
 HI 70000ML Electrode storage solution, 230/500 mL bottle
 HI 7061ML Electrode cleaning solution for general purposes, 230/500 mL bottle

ORP ELECTRODES
 HI 3214P/2 BNC-type, platinum, double-junction, plastic-body with 2m (6.6') cable
 HI 2003/5 Heavy-duty, BNC-type, platinum, double junction, plastic-body with 5m (16.5') cable
 HI 2012/5 Heavy-duty, BNC-type, platinum, double junction, plastic-body with 5m (16.5') cable

EXTENSION CABLES FOR SCREW-TYPE ELECTRODES, SCREW TO BNC CONNECTOR
 HI 7855/5 Extension cable 5 m (16.5') long
 HI 7856/10 Extension cable 10 m (33') long

OTHER ACCESSORIES
BL PUMPS Dosing Pumps with flow rate from 1.5 to 20LPH
 HI 6030 Submersible electrode holder, 60 cm (24")
 HI 6051 Submersible electrode holder, 110 cm (43")
 HI 6054B Electrode holder for in-line applications
 HI 6054T Electrode holder for in-line applications
 HI 70005 12 Vdc power adapter, US plug
 HI 70006 12 Vdc power adapter, European plug
 HI 70012 12 Vdc power adapter, Australian plug
 HI 70013 12 Vdc power adapter, South-African plug
 HI 71007/4 12 Vdc power adapter, UK plug
 HI 730326 Calibration screwdriver (20 pcs)
 HI 740146 Mounting brackets
 HI 7871 Level Controller (min and max)
 HI 7873 Level Controller (min, max and overflow)

ACCESSORIES

pH CALIBRATION SOLUTIONS
 HI 7004ML pH 6.86 buffer solution, 230/500 mL bottle
 HI 7007ML pH 7.01 buffer solution, 230/500 mL bottle

OTHER SOLUTIONS
 HI 70000ML Electrode storage solution, 230/500 mL bottle
 HI 7061ML Electrode general cleaning solution, 230/500 mL bottle
 HI 7073ML Protein cleaning solution, 230/500 mL bottle
 HI 7074ML Inorganic cleaning solution, 230/500 mL bottle
 HI 7075ML Oil & fat cleaning solution, 230/500 mL

REFILLING ELECTROLYTE SOLUTIONS (50 mL, 4-pcs.)
 HI 7077 3.5M KCl + AgCl for single junction electrodes
 HI 7078 1M KNO₃ solution
 HI 7082 3.5M KCl for double junction electrodes

pH ELECTRODES
 HI 1002/5 BNC connector, double junction, plastic-body with external thread & 5 m (16.5') cable
 HI 1090T Screw connector, double junction, glass-body with external thread
 HI 1110S Screw connector, single junction, glass-body with external thread
 HI 1210T Screw connector, double junction, plastic-body with external thread
 HI 2114P/2 BNC connector, double junction, plastic-body with 2 m (6.6') cable
 HI 1210B/5 BNC connector, double junction, plastic-body with 5 m (16.5') cable
 HI 2910B/5 BNC connector, double junction, plastic-body with built-in amplifier and 5 m (16.5') cable

EXTENSION CABLES, SCREW TO BNC CONNECTOR
 HI 7855/5 Extension cable 5 m (16.5') long
 HI 7856/10 Extension cable 10 m (33') long

OTHER ACCESSORIES
BL PUMPS Dosing Pumps flow rate from 1.5 to 20LPH
 HI 6030 Submersible electrode holder, 60 cm (24")
 HI 6051 Submersible electrode holder, 110 cm (43")
 HI 6054B Electrode holder for in-line applications
 HI 6054T Electrode holder for in-line applications
 HI 70005 12 Vdc power adapter, US plug
 HI 70006 12 Vdc power adapter, European plug
 HI 730326 Calibration screwdriver (20 pcs)
 HI 740146 Mounting brackets
 HI 7871 Level Controller (min and max)
 HI 7873 Level Controller (min, max and overflow)

**ANEXO E.
COTIZACIONES**



Ref. Cotización Asesoría para el montaje y operación para el sistema de tratamiento de aguas residuales y solicitud del permiso de vertimientos.

Cordial Saludo:

Atendiendo su amable solicitud, me permito presentar a su consideración la propuesta para asesorar el sistema de tratamiento de agua residual y realizar la solicitud de permiso de vertimientos.

ALCANCE DE LA PROPUESTA:

La propuesta contempla:

- Asesoría para el diseño de sistema de tratamiento de aguas residuales.
- Asesoría en el montaje del sistema de tratamiento de aguas residuales.
- Solicitud del permiso de vertimientos.

Valor del Servicio

DESCRIPCIÓN	VALOR \$
Prueba de tratabilidad, Incluye informe técnico sobre suministro de sustancias químicas para el desarrollo del tratamiento e información para el diseño. Para la prueba de tratabilidad se requiere hacer dos análisis de agua, una de agua cruda y otro análisis de agua residual tratada para la salida del sistema, con laboratorio. No incluido en los costos de la prueba.	1.650.000
Asesoría para el montaje de sistema de tratamiento de aguas residuales, Incluye: 1. Cotizaciones de equipos de bombeo, suministros para filtración y el tratamiento y equipos de instrumentación como pHmetro. Tiras indicadoras, entre otros. 2. Memorias técnicas de diseño 3. Manual de sistema de tratamiento de agua 4. Dos sesiones de capacitación para operación, personal propio de la empresa No incluye:	5.350.000

<ol style="list-style-type: none"> 1. Montaje eléctrico, hidráulico o civil 2. Equipos o suministros, estos estarán a cargo de la empresa 3. Sustancias químicas para el tratamiento 	
<p>Levantamiento de planos arquitectónico y de redes de la planta de producción de tratamiento térmico y plano del sistema de tratamiento de aguas residuales.</p> <p><u>**Si la empresa cuenta con dibujante que realice estos planos, se puede considerar eliminar este costo</u></p>	\$ 856.000**
<p>Documentación para la solicitud de permiso de vertimientos,</p> <ol style="list-style-type: none"> 12. Acompañamiento en la visita técnica por parte de la SDA, para el permiso de vertimientos. 13. Formato único de solicitud de permiso de vertimientos 14. Costos del proyecto (información suministrada por la empresa) 15. Fuente de abastecimiento de agua 16. Características de las actividades que generan vertimientos (información suministrada por la empresa) 17. Plano de ubicación del proyecto 18. Nombre de la fuente receptora 19. Caudal de descarga 20. Tiempo de descarga 21. Tipo de flujo 22. Ubicación del sistema de tratamiento, Información de diseño, memorias y manuales de operación <p>No incluye</p> <ol style="list-style-type: none"> 5. Concepto de uso de suelo (se solicita en curaduría) 6. Certificado de existencia y representación legal 7. Certificado de instrumentos públicos y privados del inmueble 8. Pago por evaluación ambiental (La empresa debe realizar el pago a la SDA) 	\$ 2.140.000
TOTAL	\$9.950.000

**Las retenciones que aplican son 6% de retención y 1% de reteica

Forma de Pago

- 50% al inicio

- 20% al finalizar el montaje de la planta
- 30% Contra entrega de los documentos radicados en la Secretaria Distrital de Ambiente.

Condiciones Comerciales

- Esta oferta comercial tiene vigencia de 30 días calendario

Tiempo de Ejecución:

Prueba de tratabilidad: (5) días Hábiles

Diseño de filtros: (8) ocho días para la entrega de plano para la fabricación de filtros por parte del cliente

Montaje: (2) Dos semanas a partir de que el cliente suministre equipos, elementos para el montaje. El acompañamiento durante el montaje será intermitente

Acondicionamiento de planta (1) semana, se incluye la capacitación para el personal operativo.

Radicación del Permiso de vertimientos: 20 días después de la toma de la muestra por parte del laboratorio IDEAM.

Notas Aclaratoria:

- La empresa debe suministrar información de caudales, consumos de agua, actividades y costos de proyecto.
- La empresa debe suministrar el certificado de uso de suelo expedido por la Curaduría Distrital, Certificados de Representación legal para la solicitud del permiso de vertimientos y Certificado de instrumentos públicos y privados del inmueble.
- La empresa debe cancelar a la Secretaria Distrital de Ambiente los costos por evaluación de trámite ambiental de acuerdo con la Resolución de la Secretaria Distrital de Ambiente No. 5589 de 2011.
- La propuesta no incluye costos de análisis de calidad del agua residual, estos análisis se realizaran en un laboratorio acreditado por el IDEAM.
- En caso de que el primer análisis incumpla con algún parámetro la empresa debe realizar los ajustes necesarios y volverá solicitar el servicio de análisis de calidad de agua residual
Con gusto atenderé sus observaciones.

Anexo A. Costos Aproximados

Por solicitud del cliente, se dan costos aproximados para el suministro de equipos por parte de la empresa.

Tabla. 2. Costos de referencia estimados

DESCRIPCIÓN	VALOR APROXIMADO
Tanque principal de tratamiento de agua	\$2.000.000 **
Tanque clarificador	\$1.000.000
Tanque de almacenamiento	\$1.000.000
Tubería y accesorios	\$1.500.000
Tablero eléctrico	\$1.000.000
Cables eléctricos	\$800.000
Sistema de bombeo	\$6.800.000 ***
Instrumentación	\$1.500.000
Motoreductor	\$1.500.000 **
Aspa	\$500.000
Filtros (2)	\$4.000.000
Arena y carbón activado	\$500.000
TOTAL	\$22.100.000*

* No incluye costos de mano de obra

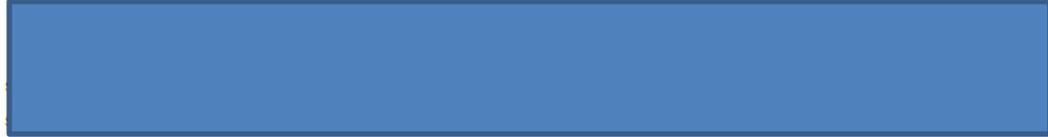
** Los equipos descritos pueden ser reemplazados con equipos existentes en la empresa

*** Sujeto a diseño y determinación de caudal



GESTION Y PROCESAMIENTO DE RESIDUOS, FABRICACION Y COMERCIALIZACION DE PRODUCTOS Y EQUIPOS PARA LA INDUSTRIA GALVANICA, QUIMICA Y METALMECANICA

MIT 808261754 9
- 3186679388 - ado@electrochem@yahoo.com.ar - Bogotá -
www.reciclajequimico.net



CIUDAD

En atención a su solicitud, nos permitimos enviar cotización de los siguientes productos.

DESCRIPCION	UNIDAD	CANT	VR.UNIT	VR.TOTAL
1. Mini Controlador de ORP BL 932700-1 (disponible 15 días)		1	\$1.008.990	\$1.008.990
2. Mini controlador de pH BL 981411-1 (disponible 15 días)		1	\$756.990	\$756.990
3. Electrodo pH combinado HI 1001 (disponible 15 días)		1	\$641.990	\$641.990
4. Electrodo ORP de platino HI 2002/3 (disponible 6-7 semanas)		1	\$747.990	\$747.990
5. Bomba dosificadora BL 20-1 110, 115V (disponible de 6 - 7 semanas)		2	\$660.990	\$1.321.980
			NETO	\$4.477.940
			IVA	\$716.470
			TOTAL	\$5.194.410



GESTION Y PROCESAMIENTO DE RESIDUOS, FABRICACION Y COMERCIALIZACION DE PRODUCTOS Y EQUIPOS PARA LA INDUSTRIA GALVANICA, QUIMICA Y METALMECANICA

MIT 808261754 9
- 3186679388 - ado@electrochem@yahoo.com.ar - Bogotá -
www.reciclajequimico.net

Garantía:

Los equipos HANNA Instruments son garantizados por los siguientes periodos:

- Mini controladores: 1 año de garantía.
- Bombas Dosificadoras: 6 meses de garantía
- Electrodo y sondas PH/ORP/T*/OD/CE y otros: 6 meses de garantía

ANEXO FICHAS TECNICAS

CONDICIONES COMERCIALES

Forma de pago: Anticipo 50%

Contra entrega 50%

Lugar de entrega: Instalaciones Tecnotratamiento

Tiempo de entrega: Según disponibilidad

Valides de la oferta: 15Días

Cordialmente

Ing. MSc. Oscar Javier Suarez

Gerente General

ANEXO F. COMPOSICIÓN DE MATERIALES TRATADOS

Los materiales llevados a tratamiento térmico son el acero al carbono AISI 1020, 1016, 1030, 4140, 4340 y 1045. A continuación se muestran la composición de cada uno de estos aceros, así como también en qué pueden ser usados.

Acero al carbono AISI 1020: Es ampliamente usado ya que tiene alta resistencia al desgaste, se usa para ejes de secciones, engranes, pines, piñones, cadenas, tornillos, componentes de maquinaria, prensas y levas.

Tabla 36. Composición química del acero 1020

Composición química	
Elementos	Porcentajes en la aleación
Carbono	0.18 – 0.23 %
Manganeso	0.30 – 0.60 %
Fosforo	0.04 %
Azufre	0.05 %

Fuente: Suministros técnicos⁹⁴

Acero al carbono 1016: Debido al porcentaje de carbono dentro de su composición tiene una ligera resistencia mecánica, son usados para tornillos, tuercas, remaches, accesorios para motos, accesorios para el sector automotriz, elementos decorativos, exhibidores, pasadores, arcos para candado, entre otros.

Tabla 37. Propiedades químicas del acero 1016

Propiedades químicas	
Elementos	Porcentajes en la aleación
Carbono	0.13 – 0.18 %
Manganeso	0.60 – 0.90 %
Fosforo	0.35 %
Azufre	0.05 %

Fuente: Ficha técnica SAE por ACEROS Industriales⁹⁵

⁹⁴ SUMITEC. Suministros técnicas S.A, Acero gramado maquinaria [online], disponible en internet: (www.sumiteccr.com/Aplicaciones/Articulos/pdfs/AISI%201020.pdf <<http://www.sumiteccr.com/Aplicaciones/Articulos/pdfs/AISI%201020.pdf>> también disponible en <www.sumiteccr.com>)

⁹⁵ ACEROS INDUSTRIALES lideres por naturaleza, Aceros de bajo carbono, Disponible en internet:

Acero al Carbono 1030: Contiene una mayor resistencia con respecto al acero AISI 1015, pero a su vez tiene menor capacidad de deformación. Comúnmente son usados en la fabricación de ejes

Tabla 38. Propiedades químicas del acero 1030

Propiedades químicas	
Elementos	Porcentajes en la aleación
Carbono	0.28 – 0.34 %
Manganeso	0.60 – 0.90 %
Fosforo	0.04 %
Azufre	0.05 %

Fuente: Acero para Construcciones Mecánicas⁹⁶

Acero al carbono AISI 4140: Acero al carbono aleado con Cr y Mo. Posee alta resistencia, se le realiza endurecimiento por tratamiento térmico. Es comúnmente utilizado para la fabricación de piñones, tijeras, tornillos, piezas para la construcción de vehículos entre otros.

Tabla 39. Propiedades químicas del acero 4140

Propiedades químicas	
Elementos	Porcentajes en la aleación
Carbono	0.38 – 0.43 %
Manganeso	0.75 – 1.00 %
Fosforo	0.035 %
Azufre	0.040 %
Cromo	0.8 – 1.10 %
Molibdeno	0.15 – 0.25%

Fuente: Catálogo de productos Aceros Aravo⁹⁷

(www.acerosindustriales.com/sitio/images/stories/pdfs/ACEROS_DE_BAJO_CARBONO-SAE_1005_A_1020.pdf) <
http://www.acerosindustriales.com/sitio/images/stories/pdfs/ACEROS_DE_BAJO_CARBONO-SAE_1005_A_1020.pdf>)

⁹⁶ Aceros para Construcciones Mecánicas, características, disponible en internet (matensayos.webcindario.com/acerosiram/1030.pdf) <
<http://matensayos.webcindario.com/acerosiram/1030.pdf>>)

⁹⁷ ACEROS ARAVO catálogo de productos, disponible en internet (www.acerosbravo.cl/imgmodulo/Imagen/114.pdf) <
<http://www.acerosbravo.cl/imgmodulo/Imagen/114.pdf>>)

Acero al carbono 4340: Acero al carbono aleado con Cr-Ni-Mo. Posee buena resistencia a la fatiga. Usado para piezas y herramientas que deban resistir altos esfuerzos estáticos y dinámicos, piñones, pernos y tornillos de alta resistencia, engranajes para máquinas, discos de freno, barras de torsión y árboles de transmisión.

Tabla 40. Propiedades químicas del acero 4340

Propiedades químicas	
Elementos	Porcentajes en la aleación
Carbono	0.38 – 0.43 %
Manganeso	0.60 – 0.80 %
Fosforo	0.035 %
Azufre	0.04 %
Níquel	1.65 - 2.00 %
Molibdeno	0.20 - 0.30 %
Silicio	0.15 – 0.35 %

Fuente: Catálogo de productos Aceros Aravo⁹⁸

Acero al carbono 1045: Acero al carbono, no es recomendado para cementación o cianurado. Es utilizado para la fabricación de componentes de maquinaria Por su dureza y tenacidad, ejes, semiejes, engranajes, piñones, cuñas, tornillos, pernos, martillos, pasadores, remaches, partes de maquinaria y herramientas agrícolas.

Tabla 41. Propiedades químicas del acero 1045

Propiedades químicas	
Elementos	Porcentajes en la aleación
Carbono	0.43 – 0.50 %
Manganeso	0.60 – 0.90 %
Fosforo	0.04 %
Azufre	0.05 %

Fuente: Catálogo de productos Aceros Aravo⁹⁹

⁹⁸ ACEROS ARAVO catálogo de productos. Op., cit., p. 8

⁹⁹ ACEROS ARAVO catálogo de productos. Op., cit., p. 8

ANEXO G.

GUÍA DE MÉTODOS ESTÁNDAR

Cianuro total por destilación 4500- CN

4-20

INORGANIC NONMETALS (4000)

content of the solid sample in milligrams per kilogram. Insoluble iron cyanides in the solid can be leached out earlier by stirring a weighed sample for 12 to 16 h in a 10% NaOH solution. The leached and wash waters of the solid waste will give the iron cyanide content with the distillation procedure. Prechlorination will have eliminated all cyanide amenable to chlorination. Do not expose sample to sunlight.

3. Selection of Method

a. Total cyanide after distillation: After removal of interfering substances, the metal cyanide is converted to HCN gas, which is distilled and absorbed in sodium hydroxide (NaOH) solution.¹⁹ Because of the catalytic decomposition of cyanide in the presence of cobalt at high temperature in a strong acid solution,^{20,21} cobaltocyanide is not recovered completely. Indications are that cyanide complexes of the noble metals, i.e., gold, platinum, and palladium, are not recovered fully by this procedure either. Distillation also separates cyanide from other color-producing and possibly interfering organic or inorganic contaminants. Subsequent analysis is for the simple salt, sodium cyanide (NaCN). Some organic cyanide compounds, such as cyanohydrins, are decomposed by the distillation. Aldehydes convert cyanide to cyanohydrins.

The absorption liquid is analyzed by a titrimetric, colorimetric, or cyanide-ion-selective electrode procedure:

1) The titration method (D) is suitable for cyanide concentrations above 1 mg/L.

2) The colorimetric method (E) is suitable for cyanide concentrations to a lower limit of 5 to 20 µg/L. Analyze higher concentrations by diluting either the sample before distillation or the absorber solution before colorimetric measurement.

3) The ion-selective electrode method (F) using the cyanide ion electrode is applicable in the concentration range of 0.05 to 10 mg/L.

b. Cyanide amenable to chlorination:

1) Distillation of two samples is required, one that has been chlorinated to destroy all amenable cyanide present and the other unchlorinated. Analyze absorption liquids from both tests for total cyanide. The observed difference equals cyanides amenable to chlorination.

2) The colorimetric method, by conversion of amenable cyanide and SCN⁻ to CNCl and developing the color complex with barbituric acid, is used for the determination of the total of these cyanides (D). Repeating the test with the cyanide masked by the addition of formaldehyde provides a measure of the SCN⁻ content. When subtracted from the earlier results this provides an estimate of the amenable CN⁻ content. This method is useful for natural and ground waters, clean metal finishing, and heat treating effluents. Sanitary wastes may exhibit interference.

3) The *weak acid dissociable cyanides* procedure also measures the cyanide amenable to chlorination by freeing HCN from the dissociable cyanide. After being collected in a NaOH absorption solution, CN⁻ may be determined by one of the three finishing procedures given for the total cyanide determination.

It should be noted that although cyanide amenable to chlorination and weak acid dissociable cyanide appear to be identical, certain industrial effluents (e.g., pulp and paper, petroleum refining industry effluents) contain some poorly understood substances that may produce interference. Application of the pro-

cedure for cyanide amenable to chlorination yields negative values. For natural waters and metal-finishing effluents, the direct colorimetric determination appears to be the simplest and most economical.

c. Cyanogen chloride: The colorimetric method for measuring cyanide amenable to chlorination may be used, but omit the chloramine-T addition. The spot test also may be used.

d. Spot test for sample screening: This procedure allows a quick sample screening to establish whether more than 50 µg/L cyanide amenable to chlorination is present. The test also may be used to estimate the CNCl content at the time of sampling.

e. Cyanate: CNO⁻ is converted to ammonium carbonate, (NH₄)₂CO₃, by acid hydrolysis at elevated temperature. Ammonia (NH₃) is determined before the conversion of the CNO⁻ and again afterwards. The CNO⁻ is estimated from the difference in NH₃ found in the two tests.²²⁻²⁵ Measure NH₃ by either:

1) The selective electrode method, using the NH₃ gas electrode; or

2) The colorimetric method, using direct nesslerization or the phenate method for NH₃ (Section 4500-NH₃-C or D).

f. Thiocyanate: Use the colorimetric determination with ferric nitrate as a color-producing compound.

4. References

1. MILNE, D. 1950. Equilibria in dilute cyanide waste solutions. *Sewage Ind. Wastes* 23:904.
2. DODDOROFF, P. 1976. Toxicity to fish of cyanides and related compounds. A review. EPA 600/3-76-038. U.S. Environmental Protection Agency, Duluth, Minn.
3. DODDOROFF, P. & M. KATZ. 1980. Critical review of literature on the toxicity of industrial wastes and their components to fish. *Sewage Ind. Wastes* 22:1432.
4. DODDOROFF, P. 1956. Some experiments on the toxicity of complex cyanides to fish. *Sewage Ind. Wastes* 28:1020.
5. DODDOROFF, P., G. LEDUC & C.R. SCHNEIDER. 1966. Acute toxicity to fish of solutions containing complex metal cyanides, in relation to concentrations of molecular hydrocyanic acid. *Trans. Amer. Fish. Soc.* 95:6.
6. SCHNEIDER, C.R. & H. FRIEDL. 1962. Determination of low level hydrocyanic acid. *Anal. Chem.* 34:69.
7. CLAFYS K. & H. FRIEDL. 1968. Gas chromatographic separation of HCN. *Environ. Sci. Technol.* 2:458.
8. MONTGOMERY, H.A.C., D.K. GARDNER & J.G. GREGORY. 1969. Determination of free hydrogen cyanide in river water by a solvent-extraction method. *Analyst* 94:284.
9. NELSON, K.H. & L. LYSY. 1971. Analysis of water for molecular hydrogen cyanide. *J. Water Pollut. Control Fed.* 43:799.
10. BRODERICK, S.J. 1981. Determination of hydrocyanic acid and free cyanide in aqueous solution. *Anal. Chem.* 53:1472.
11. BURDICK, G.E. & M. LIPSCHITZ. 1948. Toxicity of ferro and ferricyanide solutions to fish. *Trans. Amer. Fish. Soc.* 78:192.
12. ZILUCH, J.A. 1972. Toxicity of combined chlorine residuals to freshwater fish. *J. Water Pollut. Control Fed.* 44:212.
13. RUSSELL, J.D., W. MOORE & M.E. ETTINGER. 1958. The behavior of cyanates in polluted waters. *Ind. Eng. Chem.* 50:71.
14. PETTIT, A.E.J. & G.C. WARE. 1955. Disposal of cyanide wastes. *Chem. Ind.* 1955:1232.
15. BAILEY, P.L. & E. BISHOP. 1972. Hydrolysis of cyanogen chloride. *Analyst* 97:691.
16. LANCY, L. & W. ZABBAR. 1962. Analytical methods and instrumentation for determining cyanogen compounds. Spec. Tech. Publ. 337. American Soc. Testing & Materials, Philadelphia, Pa.

17. CALAMARI, D. & R. MARCHETTI. 1975. Predicted and observed acute toxicity of copper and ammonia to rainbow trout. *Progr. Water Technol.* 7(3-4):569.
18. WOOD, J.L. 1975. Biochemistry. Chapter 4 in A.A. Newman, ed. *Chemistry and Biochemistry of Thiocyanic Acid and its Derivatives*. Academic Press, New York, N.Y.
19. SERFASS, E.J. & R.B. FREEMAN. 1952. Analytical method for the determination of cyanides in plating wastes and in effluents from treatment processes. *Plating* 39:267.
20. LESCHBER, R. & H. SCHLICHTING. 1969. Über die Zersetzlichkeit Komplexer Metallcyanide bei der Cyanidbestimmung in Abwasser. *Z. Anal. Chem.* 245:300.
21. BASSETT, H., JR. & A.S. CORBET. 1924. The hydrolysis of potassium ferricyanide and potassium cobalticyanide by sulfuric acid. *J. Chem. Soc.* 125:1358.
22. DODGE, B.F. & W. ZABBAN. 1952. Analytical methods for the determination of cyanates in plating wastes. *Plating* 39:381.
23. GARDNER, D.C. 1956. The colorimetric determination of cyanates in effluents. *Plating* 43:743.
24. Procedures for Analyzing Metal Finishing Wastes. 1954. Ohio River Valley Sanitation Commission, Cincinnati, Ohio.

4500-CN⁻ B. Preliminary Treatment of Samples

CAUTION—Use care in manipulating cyanide-containing samples because of toxicity. Process in a hood or other well-ventilated area. Avoid contact, inhalation, or ingestion.

1. General Discussion

The nature of the preliminary treatment will vary according to the interfering substance present. Sulfides, fatty acids, and oxidizing agents are removed by special procedures. Most other interfering substances are removed by distillation. The importance of the distillation procedure cannot be overemphasized.

2. Preservation of Samples

Oxidizing agents, such as chlorine, decompose most cyanides. Test by placing a drop of sample on a strip of potassium iodide (KI)-starch paper previously moistened with acetate buffer solution, pH 4 (Section 4500-Cl.C.3e). If a bluish discoloration is noted, add 0.1 g sodium arsenite (NaAsO₂)/L sample and retest. Repeat addition if necessary. Sodium thiosulfate also may be used, but avoid an excess greater than 0.1 g Na₂S₂O₃/L. Manganese dioxide, nitrosyl chloride, etc., if present, also may cause discoloration of the test paper. If possible, carry out this procedure before preserving sample as described below. If the following test indicates presence of sulfide, oxidizing compounds would not be expected.

Oxidized products of sulfide convert CN⁻ to SCN⁻ rapidly, especially at high pH.¹ Test for S²⁻ by placing a drop of sample on lead acetate test paper previously moistened with acetic acid buffer solution, pH 4 (Section 4500-Cl.C.3e). Darkening of the paper indicates presence of S²⁻. Add lead acetate, or if the S²⁻ concentration is too high, add powdered lead carbonate [Pb(CO₃)₂] to avoid significantly reducing pH. Repeat test until a drop of treated sample no longer darkens the acidified lead acetate test paper. Filter sample before raising pH for stabilization. When particulate, metal cyanide complexes are suspected, filter solution before removing S²⁻. Reconstitute sample by returning filtered particulates to the sample bottle after S²⁻ removal. Homogenize particulates before analyses.

Aldehydes convert cyanide to cyanohydrin. Longer contact times between cyanide and the aldehyde and the higher ratios of aldehyde to cyanide both result in increasing losses of cyanide that are not reversible during analysis. If the presence of aldehydes is suspected, stabilize with NaOH at time of collection and

add 2 mL 3.5% ethylenediamine solution per 100 mL of sample.

Because most cyanides are very reactive and unstable, analyze samples as soon as possible. If sample cannot be analyzed immediately, add NaOH pellets or a strong NaOH solution to raise sample pH to 12 to 12.5 and store in a closed, dark bottle in a cool place.

To analyze for CNCl collect a separate sample and omit NaOH addition because CNCl is converted rapidly to CNO⁻ at high pH. Make colorimetric estimation immediately after sampling.

3. Interferences

a. Oxidizing agents may destroy most of the cyanide during storage and manipulation. Add NaAsO₂ or Na₂S₂O₃ as directed above; avoid excess Na₂S₂O₃.

b. Sulfide will distill over with cyanide and, therefore, adversely affect colorimetric, titrimetric, and electrode procedures. Test for and remove S²⁻ as directed above. Treat 25 mL more than required for the distillation to provide sufficient filtrate volume.

c. Fatty acids that distill and form soaps under alkaline titration conditions make the end point almost impossible to detect. Remove fatty acids by extraction.² Acidify sample with acetic acid (1 + 9) to pH 6.0 to 7.0. (**CAUTION**—Perform this operation in a hood as quickly as possible.) Immediately extract with iso-octane, hexane, or CHCl₃ (preference in order named). Use a solvent volume equal to 20% of sample volume. One extraction usually is adequate to reduce fatty acid concentration below the interference level. Avoid multiple extractions or a long contact time at low pH to minimize loss of HCN. When extraction is completed, immediately raise pH to >12 with NaOH solution.

d. Carbonate in high concentration may affect the distillation procedure by causing the violent release of carbon dioxide with excessive foaming when acid is added before distillation and by reducing pH of the absorption solution. Use calcium hydroxide to preserve such samples.³ Add calcium hydroxide slowly, with stirring, to pH 12 to 12.5. After precipitate settles, decant supernatant liquid for determining cyanide.

Insoluble complex cyanide compounds will not be determined. If such compounds are present, filter a measured amount of well-mixed treated sample through a glass fiber or membrane filter (47-mm diam or less). Rinse filter with dilute (1 to 9) acetic acid until effervescence ceases. Treat entire filter with insoluble ma-

Demanda química de oxígeno 5220 B

5-14

AGGREGATE ORGANIC CONSTITUENTS (5000)

5220 CHEMICAL OXYGEN DEMAND (COD)*

5220 A. Introduction

Chemical oxygen demand (COD) is defined as the amount of a specified oxidant that reacts with the sample under controlled conditions. The quantity of oxidant consumed is expressed in terms of its oxygen equivalence. Because of its unique chemical properties, the dichromate ion ($\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$) is the specified oxidant in Methods 5220B, C, and D; it is reduced to the chromic ion (Cr^{3+}) in these tests. Both organic and inorganic components of a sample are subject to oxidation, but in most cases the organic component predominates and is of the greater interest. If it is desired to measure either organic or inorganic COD alone, additional steps not described here must be taken to distinguish one from the other. COD is a defined test; the extent of sample oxidation can be affected by digestion time, reagent strength, and sample COD concentration.

COD often is used as a measurement of pollutants in wastewater and natural waters. Other related analytical values are biochemical oxygen demand (BOD), total organic carbon (TOC), and total oxygen demand (TOD). In many cases it is possible to correlate two or more of these values for a given sample. BOD is a measure of oxygen consumed by microorganisms under specific conditions; TOC is a measure of organic carbon in a sample; TOD is a measure of the amount of oxygen consumed by all elements in a sample when complete (total) oxidation is achieved.

In a COD analysis, hazardous wastes of mercury, hexavalent chromium, sulfuric acid, silver, and acids are generated. Methods 5220C and D reduce these waste problems but may be less accurate and less representative. (See ¶ 2 below.)

1. Selection of Method

The open reflux method (B) is suitable for a wide range of wastes where a large sample size is preferred. The closed reflux methods (C and D) are more economical in the use of metallic salt reagents and generate smaller quantities of hazardous waste, but require homogenization of samples containing suspended solids to obtain reproducible results. Ampoules and culture tubes with premeasured reagents are available commercially. Measurements of sample volumes as well as reagent volumes and concentrations are critical. Consequently, obtain specifications as to limits of error for pre-mixed reagents from manufacturer before use.

Determine COD values of >50 mg O_2/L by using procedures 5220B.4a, C.4, or D.4. Use procedure 5220B.4b to determine, with lesser accuracy, COD values from 5 to 50 mg O_2/L .

2. Interferences and Limitations

Oxidation of most organic compounds is 95 to 100% of the theoretical value. Pyridine and related compounds resist oxidation and volatile organic compounds will react in proportion to their contact with the oxidant. Straight-chain aliphatic compounds are oxidized more effectively in the presence of a silver sulfate catalyst.

The most common interferent is the chloride ion. Chloride reacts with silver ion to precipitate silver chloride, and thus inhibits the catalytic activity of silver. Bromide, iodide, and any other reagent that inactivates the silver ion can interfere similarly. Such interferences are negative in that they tend to restrict the oxidizing action of the dichromate ion itself. However, under the rigorous digestion procedures for COD analyses, chloride, bromide, or iodide can react with dichromate to produce the elemental form of the halogen and the chromic ion. Results then are in error on the high side. The difficulties caused by the presence of the chloride can be overcome largely, though not completely, by complexing with mercuric sulfate (HgSO_4) before the refluxing procedure. Although 1 g HgSO_4 is specified for 50 mL sample, a lesser amount may be used where sample chloride concentration is known to be less than 2000 mg/L, as long as a 10:1 weight ratio of $\text{HgSO}_4:\text{Cl}^-$ is maintained. Do not use the test for samples containing more than 2000 mg Cl^-/L . Techniques designed to measure COD in saline waters are available.^{1,2}

Halide interferences may be removed by precipitation with silver ion and filtration before digestion. This approach may introduce substantial errors due to the occlusion and carrydown of COD matter from heterogeneous samples.

Ammonia and its derivatives, in the waste or generated from nitrogen-containing organic matter, are not oxidized. However, elemental chlorine reacts with these compounds. Hence, corrections for chloride interferences are difficult.

Nitrite (NO_2^-) exerts a COD of 1.1 mg $\text{O}_2/\text{mg NO}_2^- \cdot \text{N}$. Because concentrations of NO_2^- in waters rarely exceed 1 or 2 mg NO_2^-/NL , the interference is considered insignificant and usually is ignored. To eliminate a significant interference due to NO_2^- , add 10 mg sulfamic acid for each mg $\text{NO}_2^- \cdot \text{N}$ present in the sample volume used; add the same amount of sulfamic acid to the reflux vessel containing the distilled water blank.

Reduced inorganic species such as ferrous iron, sulfide, manganous manganese, etc., are oxidized quantitatively under the test conditions. For samples containing significant levels of these species, stoichiometric oxidation can be assumed from known initial concentration of the interfering species and corrections can be made to the COD value obtained.

The silver, hexavalent chromium, and mercury salts used in the COD determinations create hazardous wastes. The greatest problem is in the use of mercury. If the chloride contribution to COD is negligible, HgSO_4 can be omitted. Smaller sample sizes (see 5220C and D) reduce the waste. Recovery of the waste material may be feasible if allowed by regulatory authority.³

3. Sampling and Storage

Preferably collect samples in glass bottles. Test unstable samples without delay. If delay before analysis is unavoidable, preserve sample by acidification to $\text{pH} \leq 2$ using conc H_2SO_4 . Blend (homogenize) all samples containing suspended solids before analysis. If COD is to be related to BOD, TOC, etc., ensure that all tests receive identical pretreatment. Make prelim-

* Approved by Standard Methods Committee, 1997.
Joint Task Group: 20th Edition—Clarence G. Johnson (chair), Donald G. Miller, John T. Prizani.

inary dilutions for wastes containing a high COD to reduce the error inherent in measuring small sample volumes.

4. References

1. BURNS, E.R. & C. MARSHALL. 1965. Correction for chloride interference in the chemical oxygen demand test. *J. Water Pollut. Control Fed.* 37:1716.

2. BAUMANN, F.I. 1974. Dichromate reflux chemical oxygen demand: A proposed method for chloride correction in highly saline waters. *Anal. Chem.* 46:1336.
3. HOLM, T.R. 1996. Treatment of Spent Chemical Oxygen Demand Solutions for Safe Disposal. Illinois State Water Survey, Champaign.

5220 B. Open Reflux Method

1. General Discussion

a. Principle: Most types of organic matter are oxidized by a boiling mixture of chromic and sulfuric acids. A sample is refluxed in strongly acid solution with a known excess of potassium dichromate ($K_2Cr_2O_7$). After digestion, the remaining un-reduced $K_2Cr_2O_7$ is titrated with ferrous ammonium sulfate to determine the amount of $K_2Cr_2O_7$ consumed and the oxidizable matter is calculated in terms of oxygen equivalent. Keep ratios of reagent weights, volumes, and strengths constant when sample volumes other than 50 mL are used. The standard 2-h reflux time may be reduced if it has been shown that a shorter period yields the same results. Some samples with very low COD or with highly heterogeneous solids content may need to be analyzed in replicate to yield the most reliable data. Results are further enhanced by reacting a maximum quantity of dichromate, provided that some residual dichromate remains.

2. Apparatus

a. Reflux apparatus, consisting of 500- or 250-mL erlenmeyer flasks with ground-glass 24/40 neck and 300-mm jacket Liebig, West, or equivalent condenser with 24/40 ground-glass joint, and a hot plate having sufficient power to produce at least 1.4 W/cm² of heating surface, or equivalent.

b. Blender.

c. Pipets, Class A and wide-bore.

3. Reagents

a. Standard potassium dichromate solution, 0.04167M: Dissolve 12.259 g $K_2Cr_2O_7$, primary standard grade, previously dried at 150°C for 2 h, in distilled water and dilute to 1000 mL. This reagent undergoes a six-electron reduction reaction; the equivalent concentration is $6 \times 0.04167M$ or 0.2500N.

b. Sulfuric acid reagent: Add Ag_2SO_4 reagent or technical grade, crystals or powder, to conc H_2SO_4 at the rate of 5.5 g Ag_2SO_4 /kg H_2SO_4 . Let stand 1 to 2 d to dissolve. Mix.

c. Ferrous indicator solution: Dissolve 1.485 g 1,10-phenanthroline monohydrate and 695 mg $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ in distilled water and dilute to 100 mL. This indicator solution may be purchased already prepared.*

* GFS Chemicals, Inc., Columbus, OH, or equivalent.

d. Standard ferrous ammonium sulfate (FAS) titrant, approximately 0.25M: Dissolve 98 g $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ in distilled water. Add 20 mL conc H_2SO_4 , cool, and dilute to 1000 mL. Standardize this solution daily against standard $K_2Cr_2O_7$ solution as follows:

Dilute 25.00 mL standard $K_2Cr_2O_7$ to about 100 mL. Add 30 mL conc H_2SO_4 and cool. Titrate with FAS titrant using 0.10 to 0.15 mL (2 to 3 drops) ferroin indicator.

Molarity of FAS solution

$$= \frac{\text{Volume } 0.04167M \text{ } K_2Cr_2O_7 \text{ solution titrated, mL}}{\text{Volume FAS used in titration, mL}} \times 0.2500$$

e. Mercuric sulfate, $HgSO_4$, crystals or powder.

f. Sulfamic acid: Required only if the interference of nitrites is to be eliminated (see 5220A.2 above).

g. Potassium hydrogen phthalate (KHP) standard, $HOOCCH_2COOK$: Lightly crush and then dry KHP to constant weight at 110°C. Dissolve 425 mg in distilled water and dilute to 1000 mL. KHP has a theoretical COD¹ of 1.176 mg O_2 /mg and this solution has a theoretical COD of 500 $\mu g \text{ } O_2$ /mL. This solution is stable when refrigerated, but not indefinitely. Be alert to development of visible biological growth. If practical, prepare and transfer solution under sterile conditions. Weekly preparation usually is satisfactory.

4. Procedure

a. Treatment of samples with COD of >50 mg O_2 /L: Blend sample if necessary and pipet 50.00 mL into a 500-mL refluxing flask. For samples with a COD of >900 mg O_2 /L, use a smaller portion diluted to 50.00 mL. Add 1 g $HgSO_4$, several glass beads, and very slowly add 5.0 mL sulfuric acid reagent, with mixing to dissolve $HgSO_4$. Cool while mixing to avoid possible loss of volatile materials. Add 25.00 mL 0.04167M $K_2Cr_2O_7$ solution and mix. Attach flask to condenser and turn on cooling water. Add remaining sulfuric acid reagent (70 mL) through open end of condenser. Continue swirling and mixing while adding sulfuric acid reagent. CAUTION: Mix reflux mixture thoroughly before applying heat to prevent local heating of flask bottom and a possible blowout of flask contents.

Cover open end of condenser with a small beaker to prevent foreign material from entering refluxing mixture and reflux for 2 h. Cool and wash down condenser with distilled water. Disconnect reflux condenser and dilute mixture to about twice its volume with

distilled water. Cool to room temperature and titrate excess $K_2Cr_2O_7$ with FAS, using 0.10 to 0.15 mL (2 to 3 drops) ferroin indicator. Although the quantity of ferroin indicator is not critical, use the same volume for all titrations. Take as the end point of the titration the first sharp color change from blue-green to reddish brown that persists for 1 min or longer. Duplicate determinations should agree within 5% of their average. Samples with suspended solids or components that are slow to oxidize may require additional determinations. The blue-green may reappear. In the same manner, reflux and titrate a blank containing the reagents and a volume of distilled water equal to that of sample.

b. Alternate procedure for low-COD samples: Follow procedure of § 4a, with two exceptions: (i) use standard 0.004167M $K_2Cr_2O_7$, and (ii) titrate with standardized 0.025M FAS. Exercise extreme care with this procedure because even a trace of organic matter on the glassware or from the atmosphere may cause gross errors. If a further increase in sensitivity is required, concentrate a larger volume of sample before digesting under reflux as follows: Add all reagents to a sample larger than 50 mL and reduce total volume to 150 mL by boiling in the refluxing flask open to the atmosphere without the condenser attached. Compute amount of $HgSO_4$ to be added (before concentration) on the basis of a weight ratio of 10:1, $HgSO_4:Cl^-$, using the amount of Cl^- present in the original volume of sample. Carry a blank reagent through the same procedure. This technique has the advantage of concentrating the sample without significant losses of easily digested volatile materials. Hard-to-digest volatile materials such as volatile acids are lost, but an improvement is gained over ordinary evaporative concentration methods. Duplicate determinations are not expected to be as precise as in 5220B.4a.

c. Determination of standard solution: Evaluate the technique and quality of reagents by conducting the test on a standard potassium hydrogen phthalate solution.

5. Calculation

$$COD \text{ as mg O}_2/L = \frac{(A - B) \times M \times 8000}{\text{mL sample}}$$

where:

- A* = mL FAS used for blank,
- B* = mL FAS used for sample,
- M* = molarity of FAS, and
- 8000 = milliequivalent weight of oxygen \times 1000 mL/L.

6. Precision and Bias

A set of synthetic samples containing potassium hydrogen phthalate and NaCl was tested by 74 laboratories. At a COD of 200 mg O_2/L in the absence of chloride, the standard deviation was ± 13 mg/L (coefficient of variation, 6.5%). At COD of 160 mg O_2/L and 100 mg Cl^-/L , the standard deviation was ± 14 mg/L (coefficient of variation, 10.8%).

7. Reference

1. PITWELL, L.R. 1983. Standard COD. *Chem. Brit.* 19:907.

8. Bibliography

- MOORE, W.A., R.C. KRONER & C.C. RUCHHOFF. 1949. Dichromate reflux method for determination of oxygen consumed. *Anal. Chem.* 21: 953.
- MEDALLA, A.I. 1951. Test for traces of organic matter in water. *Anal. Chem.* 23:1318.
- MOORE, W.A., F.J. LUDZACK & C.C. RUCHHOFF. 1951. Determination of oxygen-consumed values of organic wastes. *Anal. Chem.* 23:1297.
- DOBBS, R.A. & R.T. WILLIAMS. 1963. Elimination of chloride interference in the chemical oxygen demand test. *Anal. Chem.* 35:1064.

http://edgeanalytical.com/wp-content/uploads/Inorganic_SM5220.pdf

Solidos suspendidos totales 2540D

2540 SOLIDS*

Approved by Standard Methods Committee, 1997.

2540 D. Total Suspended Solids Dried at 103–105°C

1. General Discussion

a. Principle: A well-mixed sample is filtered through a weighed standard glass-fiber filter and the residue retained on the filter is dried to a constant weight at 103 to 105°C. The increase in weight of the filter represents the total suspended solids. If the suspended material clogs the filter and prolongs filtration, it may be necessary to increase the diameter of the filter or decrease the sample volume. To obtain an estimate of total suspended solids, calculate the difference between total dissolved solids and total solids.

b. Interferences: See 2540A.2 and 2540B.1. Exclude large floating particles or submerged agglomerates of nonhomogeneous materials from the sample if it is determined that their inclusion is not representative. Because excessive residue on the filter may form a water-entrapping crust, limit the sample size to that yielding no more than 200 mg residue. For samples high in dissolved solids thoroughly wash the filter to ensure removal of dissolved material. Prolonged filtration times resulting from filter clogging may produce high results owing to increased colloidal materials captured on the clogged filter.

2. Apparatus

Apparatus listed in Sections 2450B.2 and 2540C.2 is required, except for evaporating dishes, steam bath, and 180°C drying oven. In addition:

Aluminum weighing dishes.

3. Procedure

a. Preparation of glass-fiber filter disk: If pre-prepared glass fiber filter disks are used, eliminate this step. Insert disk with wrinkled side up in filtration apparatus. Apply vacuum and wash disk with three successive 20-mL portions of reagent-grade water. Continue suction to remove all traces of water, turn vacuum off, and discard washings. Remove filter from filtration apparatus and transfer to an inert aluminum weighing dish. If a Gooch crucible is used, remove crucible and filter combination. Dry in an oven at 103 to 105°C for 1 h. If volatile solids are to be measured, ignite at 550°C for 15 min in a muffle furnace. Cool in desiccator to balance temperature and weigh. Repeat cycle of drying or igniting, cooling, desiccating, and weighing until a constant weight is obtained or until weight change is less than 4% of the previous weighing or 0.5 mg, whichever is less. Store in desiccator until needed.

b. Selection of filter and sample sizes: Choose sample volume to yield between 2.5 and 200 mg dried residue. If volume filtered fails to meet minimum yield, increase sample volume up to 1 L. If complete filtration takes more than 10 min, increase filter diameter or decrease sample volume.

c. Sample analysis: Assemble filtering apparatus and filter and begin suction. Wet filter with a small volume of reagent-grade water to seat it. Stir sample with a magnetic stirrer at a speed to shear larger particles, if practical, to obtain a more uniform (preferably homogeneous) particle size. Centrifugal force may separate particles by size and density, resulting in poor precision when point of sample withdrawal is varied. While stirring, pipet a measured volume onto the seated glass-fiber filter. For homogeneous samples, pipet from the approximate midpoint of container but not in vortex. Choose a point both middepth and midway between wall and vortex. Wash filter with three successive 10-mL volumes of reagent-grade water, allowing complete drainage between washings, and continue suction for about 3 min after filtration is complete. Samples with high dissolved solids may require additional washings. Carefully remove filter from filtration apparatus and transfer to an aluminum weighing dish as a support. Alternatively, remove the crucible and filter combination from the crucible adapter if a Gooch crucible is used. Dry for at least 1 h at 103 to 105°C in an oven, cool in a desiccator to balance temperature, and weigh. Repeat the cycle of drying, cooling, desiccating, and weighing until a constant weight is obtained or until the weight change is less than 4% of the previous weight or 0.5 mg, whichever is less. Analyze at least 10% of all samples in duplicate. Duplicate determinations should agree within 5% of their average weight. If volatile solids are to be determined, treat the residue according to 2540E.

4. Calculation

$$\text{mg total suspended solids/L} = (A-B) \times 1000$$

sample volume, mL

where:

A = weight of filter + dried residue, mg, and

B = weight of filter, mg.

5. Precision

The standard deviation was 5.2 mg/L (coefficient of variation 33%) at 15 mg/L, 24 mg/L (10%) at 242 mg/L, and 13 mg/L (0.76%) at 1707 mg/L in studies by two analysts of four sets of 10 determinations each.

Single-laboratory duplicate analyses of 50 samples of water and wastewater were made with a standard deviation of differences of 2.8 mg/L.

https://www.norweco.com/html/lab/test_methods/2540dfp.htm

Turbidez 2130

TURBIDITY (2130) Nephelometric Method

2-9

the results from nephelometric measurements as nephelometric turbidity units (NTU).

Its precision, sensitivity, and applicability over a wide turbidity range make the nephelometric method preferable to visual methods. The Jackson candle method has been eliminated from the 17th and subsequent editions of *Standard Methods*.

3. Storage of Sample

Determine turbidity on the day the sample is taken. If longer storage is unavoidable, store samples in the dark for up to 24 h.

Do not store for long periods because irreversible changes in turbidity may occur. Vigorously shake all samples before examination.

4. References

1. AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION & WATER POLLUTION CONTROL FEDERATION, 1985. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 16th ed., American Public Health Assoc., Washington, D.C.

2130 B. Nephelometric Method

1. General Discussion

a. Principle: This method is based on a comparison of the intensity of light scattered by the sample under defined conditions with the intensity of light scattered by a standard reference suspension under the same conditions. The higher the intensity of scattered light, the higher the turbidity. Formazin polymer is used as the reference turbidity standard suspension. It is easy to prepare and is more reproducible in its light-scattering properties than clay or turbid natural water. The turbidity of a specified concentration of formazin suspension is defined as 40 nephelometric units. This suspension has an approximate turbidity of 40 Jackson units when measured on the candle turbidimeter; therefore, nephelometric turbidity units based on the formazin preparation will approximate units derived from the candle turbidimeter but will not be identical to them.

b. Interference: Turbidity can be determined for any water sample that is free of debris and rapidly settling coarse sediments. Dirty glassware, the presence of air bubbles, and the effects of vibrations that disturb the surface visibility of the sample will give false results. "True color," that is, water color due to dissolved substances that absorb light, causes measured turbidities to be low. This effect usually is not significant in the case of treated water.

2. Apparatus

a. Turbidimeter consisting of a nephelometer with a light source for illuminating the sample and one or more photoelectric detectors with a readout device to indicate intensity of light scattered at 90° to the path of incident light. Use a turbidimeter designed so that little stray light reaches the detector in the absence of turbidity and free from significant drift after a short warmup period. The sensitivity of the instrument should permit detecting turbidity differences of 0.02 NTU or less in waters having turbidity of less than 1 NTU with a range from 0 to 40 NTU. Several ranges are necessary to obtain both adequate coverage and sufficient sensitivity for low turbidities.

Differences in turbidimeter design will cause differences in measured values for turbidity even though the same suspension is used for calibration. To minimize such differences, observe the following design criteria:

1) Light source—Tungsten-filament lamp operated at a color temperature between 2200 and 3000 K.

2) Distance traversed by incident light and scattered light within the sample tube—Total not to exceed 10 cm.

3) Angle of light acceptance by detector—Centered at 90° to the incident light path and not to exceed $\pm 30^\circ$ from 90°. The detector and filter system if used, shall have a spectral peak response between 400 and 600 nm.

b. Sample tubes, clear colorless glass. Keep tubes scrupulously clean, both inside and out, and discard when they become scratched or etched. Never handle them where the light strikes them. Use tubes with sufficient extra length, or with a protective case, so that they may be handled properly. Fill tubes with samples and standards that have been agitated thoroughly and allow sufficient time for bubbles to escape.

2. Reagents

a. Turbidity-free water: Turbidity-free water is difficult to obtain. The following method is satisfactory for measuring turbidity as low as 0.02 NTU:

Pass distilled water through a membrane filter having precision-sized holes of 0.2 μm ; the usual membrane filter used for bacteriological examinations is not satisfactory. Rinse collecting flask at least twice with filtered water and discard the next 200 mL.

Some commercial bottled demineralized waters are nearly particle-free. These may be used when their turbidity is lower than can be achieved in the laboratory. Dilute samples to a turbidity not less than 1 with distilled water.

b. Stock turbidity suspension:

1) Solution I—Dissolve 1.000 g hydrazine sulfate (CAUTION: Carcinogen; avoid inhalation, ingestion, and skin contact), $(\text{NH}_2)_2\text{HSO}_2$, in distilled water and dilute to 100 mL in a volumetric flask.

2) Solution II—Dissolve 10.00 g hexamethylenetetramine, $(\text{CH}_2)_6\text{N}_4$, in distilled water and dilute to 100 mL in a volumetric flask.

3) In a 100-mL volumetric flask, mix 5.0 mL Solution I and 5.0 mL Solution II. Let stand 24 h at $25 \pm 3^\circ\text{C}$, dilute to mark, and mix. The turbidity of this suspension is 400 NTU.

4) Prepare solutions and suspensions monthly.

¹ Sackpore Corporation, 7035 Commerce Circle, Pleasanton, Calif., or equivalent.

c. *Standard turbidity suspension*: Dilute 10.00 mL stock turbidity suspension to 100 mL with turbidity-free water. Prepare daily. The turbidity of this suspension is defined as 40 NTU.

d. *Alternate standards*: As an alternative to preparing and diluting formazin, use commercially available standards such as styrene divinylbenzene beads⁷ if they are demonstrated to be equivalent to freshly prepared formazin.

e. *Dilute turbidity standards*: Dilute portions of standard turbidity suspension with turbidity-free water as required. Prepare daily.

4. Procedure

a. *Turbidimeter calibration*: Follow the manufacturer's operating instructions. In the absence of a precalibrated scale, prepare calibration curves for each range of the instrument. Check accuracy of any supplied calibration scales on a precalibrated instrument by using appropriate standards. Run at least one standard in each instrument range to be used. Make certain that turbidimeter gives stable readings in all sensitivity ranges used. High turbidities determined by direct measurement are likely to differ appreciably from those determined by the dilution technique, ¶ 4c.

b. *Measurement of turbidities less than 40 NTU*: Thoroughly shake sample. Wait until air bubbles disappear and pour sample into turbidimeter tube. When possible, pour shaken sample into turbidimeter tube and immerse it in an ultrasonic bath for 1 to 2 s, causing complete bubble release. Read turbidity directly from instrument scale or from appropriate calibration curve.

c. *Measurement of turbidities above 40 NTU*: Dilute sample with one or more volumes of turbidity-free water until turbidity falls between 30 and 40 NTU. Compute turbidity of original sample from turbidity of diluted sample and the dilution factor. For example, if five volumes of turbidity-free water were added to one volume of sample and the diluted sample showed a turbidity of 30 NTU, then the turbidity of the original sample was 180 NTU.

d. Calibrate continuous turbidity monitors for low turbidities by determining turbidity of the water entering or leaving them, using a laboratory-model turbidimeter. When this is not possible, use an appropriate dilute turbidity standard, ¶ 3c. For turbidities above 40 NTU use undiluted stock solution.

5. Calculation

$$\text{Nephelometric turbidity units (NTU)} = \frac{A \times (B + C)}{C}$$

where:

A = NTU found in diluted sample.

B = volume of dilution water, mL, and

C = sample volume taken for dilution, mL.

⁷ AMCO-ADPA Standard, Advanced Polymer Systems, 3099 C Haven Ave., Redwood City, Calif.

6. Interpretation of Results

a. Report turbidity readings as follows:

Turbidity Range NTU	Report to the Nearest NTU
0-1.0	0.05
1-10	0.1
10-40	1
40-100	5
100-400	10
400-1000	50
>1000	100

b. For comparison of water treatment efficiencies estimate turbidity more closely than is specified above. Uncertainties and discrepancies in turbidity measurements make it unlikely that two or more laboratories will duplicate results on the same sample more closely than specified.

7. Bibliography

- WHIPPLE, G.C. & D.D. JACKSON. 1900. A comparative study of the methods used for the measurement of turbidity of water. *Mass. Inst. Technol. Chem.* 13:274.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. 1931. Report of Committee on Standard Methods of Water Analysis. *Pub. Health Papers & Rep.* 27:377.
- WELLS, P.V. 1922. Turbidity of water. *J. Amer. Water Works Assoc.* 9:488.
- BAYLIS, J.R. 1926. Turbidimeter for accurate measurement of low turbidities. *Ind. Eng. Chem.* 18:311.
- WELLS, P.V. 1927. The present status of turbidity measurements. *Chem. Rev.* 3:331.
- BAYLIS, J.R. 1933. Turbidity determinations. *Water Works Sewage* 88:125.
- ROSE, H.E. & H.B. LEVON. 1946. On the measurement of the size characteristics of powders by photo-extinction methods. *J. Soc. Chem. Ind. (London)* 65:52 (Feb.); 65:55 (Mar.).
- ROSE, H.E. & C.C.J. FRENCH. 1948. On the extinction coefficient. Particle size relationship for fine mineral powders. *J. Soc. Chem. Ind. (London)* 67:283.
- GILFILL, T.R., P.F. MEADS & A.L. HOLVEN. 1949. Measuring color and turbidity of white sugar solutions. *Anal. Chem.* 21:1228.
- JULLANDER, I. 1949. A simple method for the measurement of turbidity. *Acta Chem. Scand.* 3:1309.
- ROSE, H.E. 1950. Powder-size measurement by a combination of the methods of nephelometry and photo-extinction. *J. Soc. Chem. Ind. (London)* 69:266.
- ROSE, H.E. 1950. The design and use of photoextinction sedimentimeters. *Engineering* 169:380, 408.
- BRICE, B.A., M. HAYWER & R. SPESER. 1950. Photoelectric light-scattering photometer for determining high molecular weights. *J. Opt. Soc. Amer.* 40:768.
- KNIGHT, A.G. 1950. The measurement of turbidity in water. *J. Inst. Water Eng.* 4:349.
- ITANNA, Y. 1950. Study of suspended matter in water. *Bull. Chem. Soc. Jap.* 23:216.
- JULLANDER, I. 1950. Turbidimetric investigations on viscose. *Swedish Papperstidsn.* 22:1.
- ROSE, H.E. 1951. A reproducible standard for the calibration of turbidimeters. *J. Inst. Water Eng.* 5:310.
- ATKIN, R.W. & D. MUECHER. 1953. Comment on "The measurement of turbidity in water." *J. Inst. Water Eng.* 5:328.

<https://archive.org/details/gov.law.apha.method.2130.1992>

ANEXO H. NTC 3651 CALIDAD DEL AGUA, DETERMINACIÓN DEL PH.

NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 3903

4. RESUMEN DEL PROCEDIMIENTO

4.1 El ensayo de coagulación - floculación se efectúa para determinar los productos químicos, las dosificaciones, y las condiciones requeridas para lograr resultados óptimos. Entre las variables principales por investigar utilizando el procedimiento recomendado están:

4.1.1 Aditivos químicos

4.1.2 pH.

4.1.3 Temperatura, y

4.1.4 Orden de adición y condiciones de mezcla.

5. IMPORTANCIA Y USO

5.1 Este procedimiento permite la evaluación de diversos coagulantes y ayudas coagulantes utilizadas en el tratamiento de agua y agua de desecho, para la misma agua y para las mismas condiciones experimentales.

5.2 Mediante este procedimiento también se pueden evaluar los efectos de la concentración de los coagulantes y de las ayudas coagulantes así como su orden de adición.

Adicionalmente, la información obtenida con la realización de los ensayos, se pueden usar tanto en el diseño de plantas de tratamiento de aguas como en su operación.

6. INTERFERENCIAS

6.1 Hay algunas interferencias posibles que pueden dificultar la determinación de las condiciones óptimas en el ensayo de jarras. Algunas de estas interferencias son:

6.1.1 Cambio de temperatura (durante el ensayo)

Se pueden presentar corrientes térmicas o de convección que impidan la sedimentación de las partículas coaguladas. Esto se puede evitar mediante el control de la temperatura.

6.1.2 Liberación de gas (durante el ensayo)

Se puede presentar flotación de los floculos coagulados, debido a la formación de burbujas de gas causadas por el agitador mecánico, el incremento de temperatura o la reacción química.

6.1.3 Período de ensayo

La actividad biológica u otros factores pueden alterar las características de coagulación del agua en el depósito prolongado. Por esta razón el período entre el muestreo y el ensayo se debe mantener a un mínimo y registrar el tiempo respectivo.

7. APARATO

7.1 AGITADOR MÚLTIPLE

Se debe usar un agitador de posición múltiple con variación continua de la velocidad desde aproximadamente 20 rpm hasta 150 rpm (con un tacómetro). Las paletas de agitación deben ser todas de la misma configuración y tamaño, hechas de material de calibre ligero resistente a la corrosión. Es útil una base iluminada para observar la formación de los floculos. Se deben tomar medidas de precaución para evitar que el sistema de iluminación difunda calor que pueda contrarrestar la sedimentación normal.

7.2 JARRAS (O VASOS DE PRECIPITADO)

Todos deben ser del mismo tamaño y forma; se pueden usar vasos de precipitado de Griffin de 1 500 ml (como tamaño mínimo se recomienda 1 000 ml), de material adecuado (vidrio).

7.3 SOPORTES DE REACTIVOS

Constituyen un medio de introducir cada solución de ensayo a todas las jarras simultáneamente. Para cada solución o suspensión de ensayo debe haber al menos un soporte. Los soportes deben ser similares al que se ilustra en la Figura 1.

8. REACTIVOS

8.1 PUREZA DE LOS REACTIVOS

En todos los ensayos se deben usar productos químicos de grado reactivo. Salvo que se indique de otra manera. El propósito es que todos los reactivos se amolden a las especificaciones del Comité sobre Reactivos Analíticos de la Sociedad Química Estadounidense, en los casos en que se disponga de tales especificaciones. Se pueden usar otros grados, siempre que previamente se establezca que el reactivo es de pureza suficientemente amplia para poder usarla sin disminuir la precisión de la determinación.

8.2 PUREZA DEL AGUA

Salvo que se indique de otro modo, se debe sobreentender que la referencia al agua para la preparación del reactivo significa agua reactiva de tipo 4 amoldada a la norma ASTM D1193.

8.3 Los siguientes aditivos y productos químicos son típicos de los que se usan para soluciones y suspensiones de ensayo. Los últimos, con la excepción de las ayudas de coagulantes, se pueden preparar diariamente mezclando productos químicos con agua a una concentración de 10 ($\pm 0,1$) g/l (1,0 ml de la solución o suspensión de ensayo cuando se agrega a 1 l de la muestra es equivalente a 10 mg/l):

Coagulantes principales

Alumina $[Al_2(SO_4)_3 \cdot 18 H_2O]$

Sulfato férrico

Cloruro férrico

Sulfato ferroso

 Fundación Universidad de América	FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA	Código:
	PROCESO: GESTIÓN DE BIBLIOTECA	Versión 0
	Autorización para Publicación en el Repositorio Digital Institucional – Lumieres	Agosto – 2017

AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL LUMIERES

Nosotras **Paula Andrea Lizarazo E. y Katya Vanessa Villota S.** en calidad de titulares de la obra **Desarrollo de una propuesta de un sistema para el tratamiento de aguas residuales provenientes del tratamiento térmico realizado por una empresa metalmeccánica**, elaborada en el año 2016, autorizamos 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 nos corresponden 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 Autoras manifestamos 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 de las autoras y podrá darse por terminada una vez las autoras lo manifiesten 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, las autoras asumen la responsabilidad del cumplimiento de los acuerdos establecidos sobre los derechos patrimoniales de la obra.
- Frente a cualquier reclamación por terceros, las autoras 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.

 Fundación Universidad de América	FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA	Código:
	PROCESO: GESTIÓN DE BIBLIOTECA	Versión 0
	Autorización para Publicación en el Repositorio Digital Institucional – Lumieres	Agosto – 2017

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

	Atribución- no comercial- sin derivar: permite distribuir, sin fines comerciales, sin obras derivadas, con reconocimiento del autor.	X
	Atribución – no comercial: permite distribuir, crear obras derivadas, sin fines comerciales con reconocimiento del autor.	
	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.	

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 sus autoras.

De igual forma como autoras autorizamos la consulta de los medios físicos del presente trabajo de grado así:

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 indicaremos, 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 14 días del mes de Agosto del año 2017.

LAS AUTORAS:

Autora 1

Nombres Paula Andrea	Apellidos Lizarazo Estupiñán
Documento de identificación No 1030642696	Firma 

Autora 2

Nombres Katya Vanessa	Apellidos Villota Santamaria
Documento de identificación No 1019089496	Firma 