



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

**“DISEÑO DE UN ELECTROCOAGULADOR PARA AGUAS
INDUSTRIALES CLARIFICADAS DE LA EMPRESA
PLUSAMBIENTE BASE CANTÓN JOYA DE LOS SACHAS,
PROVINCIA DE ORELLANA”**

Trabajo de titulación presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO QUÍMICO

AUTOR: NELSON ÁLVARO CAMBO CHILLO

TUTOR: ING. DANIEL CHUQUIN

Riobamba-Ecuador

2017

©2017, Nelson Álvaro Cambo Chillo

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

CERTIFICADO DEL TRIBUNAL

El Tribunal de Trabajo de Titulación certifica que: El presente trabajo “DISEÑO DE UN ELECTROCOAGULADOR PARA AGUAS INDUSTRIALES CLARIFICADAS DE LA EMPRESA PLUSAMBIENTE BASE CANTÓN JOYA DE LOS SACHAS, PROVINCIA DE ORELLANA”, de responsabilidad del señor Nelson Álvaro Cambo Chillo, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal, quedando autorizada su presentación.

Fecha

Firma

**DIRECTOR DE TRABAJO DE
TITULACIÓN**

Ing. Daniel Chuquin

.....

.....

Ing. Marco Chuiza

.....

.....

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

“Yo, Nelson Álvaro Cambo Chillo, declaro que soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en este trabajo, y el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo”.

Nelson Álvaro Cambo Chillo

DEDICATORIA

Este trabajo lo dedico a mi madre Noemí Chillo, por su amor y apoyo que me ha regalado para alcanzar el éxito, sin ella no hubiera sido posible.

A mis hermanos Wilmer, Danilo, Betty, Yadira, Jessenia, Rosalia y Mariuxi, fueron mi inspiración para demostrarles un ejemplo a seguir. A mi hermana Salome. A mí querido hermano quien en vida se llamó Jimmy, pude adquirir buenos ejemplos de él, y que desde el cielo estará pendiente de mí y estoy seguro que estará orgulloso.

A mi tío Aníbal Chillo, por ser una excelente persona con mi familia, quien ha estado pendiente de nosotros cuando lo hemos necesitado, así mismo, sus diálogos me han servido mucho para cumplir mis sueños.

A todas mis amistades que creyeron en mí, de alguna manera me animaron a culminar mi meta.

Álvaro

AGRADECIMIENTOS

A mi Dios por darme el amor, fuerza y sabiduría durante toda mi vida.

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo en especial a la Escuela de Ingeniería Química por haberme abierto las puertas para mi formación académica.

Un agradecimiento de forma muy especial al Ing. Daniel Chuquin y al Ing. Marco Chuiza, por sus tutorías académicas, compartiendo sus mejores conocimientos, experiencias y sugerencias durante el desarrollo de este trabajo.

A la ing. Mónica Andrade por su contribución de conocimientos en este trabajo.

Al Ing. Trajano Ramírez del departamento de Aceleración de electrones de la Escuela Politécnica Nacional por su amable gentileza que supo comunicarme su experiencia acerca de este trabajo fundamental para aclarar mis inquietudes.

A la empresa Plusambiente, por haberme dado la oportunidad de desarrollar este trabajo, del cual he aprendido mucho, muy importante para ampliar mis conocimientos.

Para ellos muchas gracias que Dios los bendiga.

Autor

TABLA DE CONTENIDOS

PORTADA	I
CERTIFICACIÓN	III
DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD	IV
DEDICATORIA	V
AGRADECIMIENTOS	VI
TABLA DE CONTENIDOS.....	VII
ÍNDICE DE TABLAS	IX
ÍNDICES DE GRÁFICOS.....	X
ÍNDICE DE ANEXOS.....	XI
ÍNDICE DE ABREVIATURAS	XII
RESUMEN.....	XIV
SUMMARY	XV

CAPÍTULO I

1.	DIAGNÓSTICO Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	
1.1.	Identificación del problema.....	1
1.2.	Justificación del proyecto.....	1
1.3.	Línea de base del Proyecto.....	2
1.3.1.	PLUSAMBIENTE	2
1.3.2.	Sistema de tratamiento actual de aguas industriales	2
1.3.3.	Fuente de las aguas industriales clarificadas.....	3
1.3.4.	Muestreo de aguas clarificadas	5
1.3.5.	Caracterización del agua clarificada.	5
1.3.6.	Volumen de agua clarificada del tanque	8
1.3.7.	Caudal para el electrocoagulador	8
1.4.	Beneficiarios directos e indirectos	9

CAPÍTULO II

2.	OBJETIVOS DEL PROYECTO	
2.1.	Objetivo General	10
2.2.	Objetivos Específicos.....	10

CAPÍTULO III

3.	ESTUDIO TÉCNICO	
3.1.	Localización del proyecto.....	11
3.1.2.	Área de estudio.....	11
3.2.	Ingeniería del Proyecto	12
3.2.1.	Electrocoagulación.....	12
3.2.1.1.	Factores que influyen al proceso de electrocoagulación	14
3.2.1.2.	Reactor electroquímico de electrocoagulación	16
3.2.2.	Fabricación de una celda de electrocoagulación para pruebas.....	18
3.2.3.	Pruebas de tratabilidad por electrocoagulación.....	20
3.2.3.1.	Resultados y discusión de las pruebas de tratamiento.....	22
3.2.4.	Diseño del Electrocoagulador	26
3.2.5.	Diseño de un sedimentador convencional.....	34
3.3.	Proceso de Producción	41
3.4.	Requerimientos de tecnología, equipos y maquinaria.....	42
3.5.	Análisis de costo/beneficio del proyecto.....	43
3.6.	Cronograma de ejecución del proyecto.....	46
	CONCLUSIONES	47
	RECOMENDACIONES	48
	BIBLIOGRAFÍA	
	ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1:	4 a, límites permisibles en el punto de descarga de efluentes (descargas líquidas)..	6
Tabla 2-1:	Técnica de análisis para aguas residuales	6
Tabla 3-1:	Caracterizaciones del agua clarificada.....	7
Tabla 4-3:	Observaciones de las pruebas de electrocoagulación a 3 A.....	21
Tabla 5-3:	Resultados de análisis de agua obtenida por electrocoagulación a 3 A.....	22
Tabla 6-3:	Porcentaje de remoción de parámetros	25
Tabla 7-3:	Resultados experimentales de voltaje.....	31
Tabla 8-3:	Resumen del diseño del electrocoagulador.....	33
Tabla 9-3:	Velocidades terminales para decantadores rectangulares.....	35
Tabla 10-3:	Resultados del diseño del sedimentador	41
Tabla 11-3:	Materiales y equipos de muestreo.....	42
Tabla 12-3:	Materiales y equipos para determinación del volumen de agua clarificada	42
Tabla 13-3:	Materiales, equipos y reactivos utilizados en pruebas de tratamiento	43
Tabla 14-3:	Materiales, equipos y reactivos utilizados en las caracterizaciones de aguas	43
Tabla 15-3:	Costos de construcción del equipo	44
Tabla 16-3:	Estimación de costos de tratamiento.....	46
Tabla 17-3:	Cronograma de ejecución del proyecto	46

ÍNDICES DE GRÁFICOS

Figura 1-1. Diagrama de flujo del sistema de tratamiento de aguas clarificadas	3
Figura 2-1. Ciclo de aguas en el lavado de gases.....	4
Figura 3-3. Localización geográfica del cantón La Joya de los Sachas.	11
Figura 4-3. Localización geográfica de Plusambiente	12
Figura 5-3. Esquema de una celda de electrocoagulación.....	14
Figura 6-3. Reactores de electrocoagulación de flujo horizontal y vertical	16
Figura 7-3. Reactores de electrocoagulación con disposición de canal múltiple y único	17
Figura 8-3. Reactores con distribución de electrodos monopolares y bipolares.	18
Figura 9-3. Gráfica de variación de la CE en función del tiempo de electrolisis a 3 A.	23
Figura 10-3. Gráfica de variación de ST en función del tiempo de electrolisis a 3 A.	24
Figura 11-3. Gráfico de variación del DQO en función del tiempo de electrolisis a 3 A.	25
Figura 12-3. Grafica intensidad vs tensión	32
Figura 13-3. Sedimentador convencional	35
Figura 14-3. Diagrama de tratamiento de aguas	42

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo I.	Toma de muestras	5
Anexo II.	Sistema de electrocoagulación para pruebas.....	6
Anexo III.	Pruebas de tratamiento	7
Anexo IV.	Equipos utilizados en la caracterización	8
Anexo V.	Caracterización inicial uno.....	9
Anexo VI.	Caracterización inicial dos	10
Anexo VII.	Caracterización inicial tres.....	11
Anexo VIII.	Caracterización final del agua de tratamiento	13
Anexo IX.	Plano del electrocoagulador	14
Anexo X.	Plano del sedimentador convencional.....	15
Anexo XI.	Plano Global.....	16

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

A	Amperios
Al	Aluminio
Al(OH)₃	Hidróxido de aluminio
APHA	American Public Health Association
AqLab	Laboratorio de Análisis y Evaluación Ambiental
Ba	Bario
CaCl₂	Cloruro de calcio
CaCO₃	Carbonato de calcio
Ca(OH)₂	Cal o hidróxido de calcio
Ca⁺²	Ion calcio
CD	Corriente continúa
CE	Conductividad eléctrica
cm	Centímetros
cm²	Centímetros cuadrados
cm³	Centímetros cúbicos
CNEL	Corporación Nacional de Electricidad Sucumbios
CO₂	Dióxido de carbono
CO_x	Óxidos de carbono
Cr total	Cromo total
DQO	Demanda química de oxígeno
Fe	Hierro
Fe(OH)₂	Hidróxido ferroso
Fe(OH)₃	Hidróxido férrico
h	Horas
HCO₃⁻	Ion bicarbonato
H₂S	Ácido sulfhídrico
H₂CO₃	Ácido carbónico
H₂O	Agua
H₂	Hidrógeno
H⁺	Ion hidrógeno
Km	Kilómetro
kg	Kilogramos
l	Litros
LABSU	Laboratorio de suelos del Vicariato Apostólico de Aguarico

l/s	Litros por segundo
m	Metros
mg	Miligramo
Mg⁺²	Ion magnesio
min	Minutos
mm	Milímetros
msnm	Metros sobre el nivel del mar
m³	Metros cúbicos
NaCl	Cloruro de sodio
NO_x	Óxidos de nitrógeno
O₂	Oxígeno
Pb	Plomo
pH	Potencial de hidrogeno
RAOHE	Reglamento Ambiental para Operaciones Hidrocarburíferas del Ecuador
s	Segundos
SO₂	Dióxido de azufre
SO₄⁻²	Ión sulfato
ST	Sólidos totales
TPH	Hidrocarburos totales de petróleo
V	Voltios
Va	Vanadio
Ω	Ohmios
°C	Grados centígrados

RESUMEN

El trabajo desarrollado tuvo como objetivo diseñar un electrocoagulador para aguas industriales clarificadas de la empresa Plusambiente, planta base cantón La Joya de los Sachas, provincia de Orellana, con la finalidad de incrementar la eficacia en tratamiento y reducir el grado de contaminación en el agua. Se inició con el muestreo y posterior caracterización del agua en base al Reglamento ambiental para operaciones hidrocarburíferas del Ecuador, determinando los parámetros que influyen en la contaminación, siendo la conductividad eléctrica, sólidos totales y demanda química de oxígeno. El empleo de ciencia y tecnología favoreció para realizar pruebas de tratabilidad mediante una simulación del proceso a escala de laboratorio, en el que se determinaron variables y condiciones adecuadas para el funcionamiento, siendo los más importantes; el tipo de ánodo, cátodo, distribución espacial, tiempo de electrolisis, intensidad de corriente, y además, el modelo de funcionamiento del equipo. Se desarrollaron cálculos de ingeniería para el diseño del electrocoagulador, y se dimensionó un sedimentador como complemento para el proceso. El diseño propuesto fue validado con los resultados de caracterización final del agua obteniéndose remociones del 5, 33% de conductividad eléctrica, 25,41 % de sólidos totales y 35,78% de la demanda química de oxígeno. En conclusión, con el diseño propuesto se logra reducir el grado de contaminación de las aguas clarificadas, más no cumplir con el reglamento. Recomendamos al ingeniero de planta de la empresa que se ponga en marcha el modelo de diseño planteado para el propósito de tratamiento de aguas, así mismo, sugerimos que se realicen investigaciones sobre el empleo de electrodos inertes, sistemas de filtración y electrodiálisis que podrían ser posibles aplicaciones luego del tratamiento por electrocoagulación.

Palabras clave: <ELECTROCOAGULACIÓN > <REGLAMENTO AMBIENTAL PARA OPERACIONES HIDROCARBURÍFERAS DEL ECUADOR (RAOHE)> <LA JOYA DE LOS SACHAS (CANTÓN) > <PRUEBAS DE TRATAMIENTO MEDIANTE ELECTROCOAGULACIÓN > <DISEÑO DE UN ELECTROCOAGULADOR > <SEDIMENTADOR CONVENCIONAL >

SUMMARY

The current work has like objective to design an electro-coagulator for clarified industrial water of Plusambiente Company, host plant, La Joya de los Sachas canton Orellana province, in order to increase the efficacy in treatment and to reduce the pollution degree in water. It was started with the sample and later characterization of water based on the Environmental regulations for Hydrocarbons Operations of Ecuador, determining the parameters that influence in the pollution, being the electrical conductivity, total solids and chemical demand of oxygen. The science and technology usage helped to make testing the treatability, through a simulation of process to lab scale, in which variables and conditions proper for the functioning were determining being the most important: the type anode, cathode, spatial distribution, electrolysis time, current intensity, and the equipment functioning model. The engineering calculations for design of electro-coagulator and a settling was dimensioned like complement for the process. The proposed design was validated with the results of final water characterization, obtaining removals of 53% of electrical conductivity, 25,41% of total solids, and 35,78% of chemical oxygen demand. In conclusion, with the proposed design, the degree of clarified water pollution decreased, but the regulation does not carried out. It is recommended to the plant engineers of Company that the model of design be effective in order to treat the water, and it is suggested that carried out investigations about the use of inert electrodes, filter systems and electro dialysis that could be possible applications before of treatment by electrocoagulation.

Key words: <ELECTROCOAGULATION > <ENVIRONMENTAL REGULATION FOR HYDROCARBON OPERATIONS OF ECUADOR (RAHOE)> <LA JOYA DE LOS SACHAS (CANTON)> < TREATMENT TESTS BY ELECTROCOAGULATION> <ELECTROCOAGULATOR DESIGN< >CONVENTIONAL SETTLING<

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

1.1. Identificación del problema

PLUSAMBIENTE dispone de un sistema de tratamientos de aguas industriales para procesar aguas de la industria petrolera principalmente de la provincia de Orellana, también es utilizada para tratar aguas clarificadas obtenidas desde su planta de incineración de desechos peligrosos.

La empresa tiene problemas con el tratamiento de aguas clarificadas, donde no logra reducir en totalidad toda la carga contaminante del agua exigidos por el Reglamento Ambiental para Operaciones Hidrocarburíferas del Ecuador (RAOHE), Decreto No. 1215.

Las posibles causas se deben a que el método empleado no es el adecuado para este tipo de aguas clarificadas, ya que estas aguas se han estado continuamente clarificando y reutilizando en sus procesos de lavado, las mismas que llegan a saturarse con el tiempo por la posible materia disuelta que no precipita.

La empresa se siente insegura al momento de invertir en nuevos métodos proporcionados por empresas comerciales sin ser estudiados y probados con toda seguridad para estos tipos de agua, la misma que se le ha presentado dificultades en experimentar el método de electrocoagulación.

1.2. Justificación del proyecto

Se busca cumplir a cabalidad con la normativa ambiental, para ello existe la necesidad de introducir cambios en sus procesos, mediante la aplicación de nuevos métodos de tratamiento que garanticen mejoras en su funcionamiento, logrando así estar a la par de los avances tecnológicos y cumplir con las legislaciones cada día más exigentes.

La electrocoagulación es una tecnología moderna que sustituye al método convencional con mejores rendimientos de remoción de contaminantes del agua y optimiza procesos complejos de tratamiento. Por ello se justifica la necesidad de “DISEÑAR UN ELECTROCOAGULADOR PARA AGUAS INDUSTRIALES CLARIFICADAS DE LA EMPRESA PLUSAMBIENTE BASE CANTÓN JOYA DE LOS SACHAS, PROVINCIA DE ORELLANA” que sea capaz reducir el grado de contaminación.

1.3. Línea de base del Proyecto

1.3.1. PLUSAMBIENTE

Es una empresa de servicios ambientales, que produce y desarrolla estudios, soluciones y prácticas, a fin de fomentar y apoyar el desarrollo integral y armónico de los medios urbanos y rurales, encaminados hacia la elevación de los niveles de vida de sus habitantes, conservando el medio ambiente, mediante acciones dirigidas a la satisfacción de sus necesidades (Plusambiente).

La empresa está integrada por diferentes áreas, entre estas mencionamos;

- Área de tratamiento de aguas industriales, y aguas negras o/y grises.
- Área de tratamiento de residuos sólidos peligrosos
- Área de tratamiento de lodos, ripios y suelos contaminados
- Área de mecánica.
- Área de almacenamiento de combustibles
- Área administrativa

1.3.2. Sistema de tratamiento actual de aguas industriales

La empresa cuenta con su planta de tratamientos de aguas industriales en proceso batch con cargas de 500 barriles para brindar el servicio de tratamiento de aguas a diferentes empresas dedicadas a las actividades hidrocarburíferas de la provincia de Orellana. También lo emplea para tratar las aguas industriales clarificadas generadas por su planta de incineración de desechos peligrosos.

Aplica el diagrama siguiente para las aguas industriales clarificadas en proceso batch.

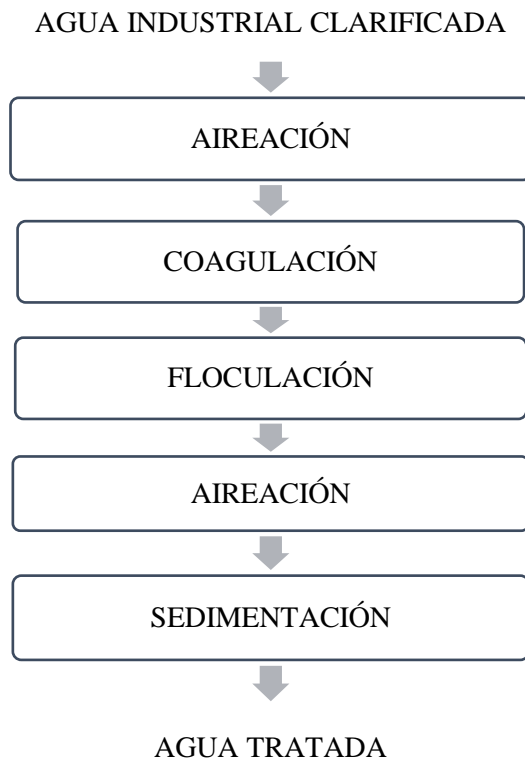


Figura 1-1. Diagrama de flujo del sistema de tratamiento de aguas clarificadas

Realizado por: CAMBO, Nelson, 2017

Los lodos generados del sistema de tratamiento de aguas son enviados a un lecho de secado para deshidratarlo y sea más manejable, posteriormente se los utiliza para fines de confinamiento.

1.3.3. Fuente de las aguas industriales clarificadas

Aguas clarificadas son aquellas que han recibido un tratamiento químico físico de precipitación y sedimentación.

La precipitación consiste en la eliminación de una sustancia disuelta indeseable, por adición de un reactivo que forme un compuesto insoluble con el mismo, facilitando así su eliminación por cualquier método físico. El reactivo de uso muy frecuente es el Ca^{2+} , dado la gran cantidad de sales insolubles que se forman (Rodríguez et al., 2006, p. 24).

La planta de tratamiento (Incineración) de desechos peligrosos utiliza el agua para lavar el aire contaminado por gases de combustión mediante un sistema venturi, el agua adquiere carga contaminante presentado por un color oscuro y pasa a un tratamiento de precipitación con cal y sedimentación, retirándose de esta forma un gran porcentaje de contaminantes y obteniéndose agua clarificada en forma de ciclos fig. 2-1.

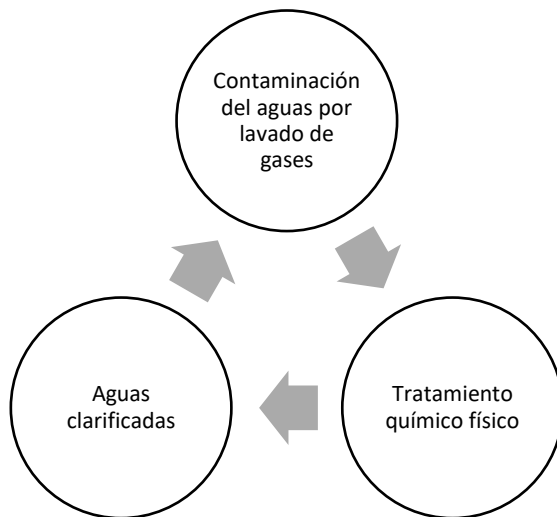


Figura 2-1. Ciclo de aguas en el lavado de gases

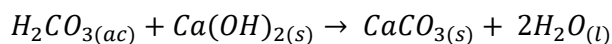
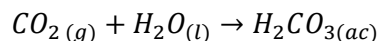
Realizado por: CAMBO, Nelson, 2017

La concentración de carga contaminante acidifica el agua volviéndola inadecuada para recipientes metálicos que la contienen por la corrosión que se generaría, es por esto que es necesario la adición de cal para controlar el pH y mantener el agua en condiciones adecuadas para su reutilización.

Las aguas clarificadas que han sido utilizadas en el lavado de gases llegan a saturarse por su alta concentración de sales disueltas, y requieren el reemplazo por una nueva carga de agua limpia para operar nuevamente. Esta operación del retiro del agua clarificada saturada se realiza en periodos aproximados 25 días según la labor diaria y es enviada a un tanque de 500 barriles para su posterior tratamiento empleado.

En el sistema venturi se atrapa los contaminantes gaseosos como el CO_x , SO_2 , NO_x , H_2S , etc., estos se convierten en ácidos al reaccionar con el agua decreciendo el pH a medida que la concentración de ácidos incrementa. Al producirse la dosificación de cal se producen reacciones de precipitación de sales sólidas, mientras que otras quedan disueltas en el medio acuoso, a

continuación, se indica las reacciones producidas tomando como referencia el dióxido de carbono.



En esta reacción el CO₂ gaseoso proveniente de combustión de desechos peligrosos reacciona con el H₂O líquida para transformarse en H₂CO₃ acuoso, posteriormente reacciona con el Ca(OH)₂ sólido adicionado al agua industrial dándose lugar a la precipitación de sal de CaCO₃ sólido.

1.3.4. Muestreo de aguas clarificadas

Un muestreo bien dirigido asegura la validez de los resultados analíticos, por ende, las muestras deben representar a la masa de agua y no debe existir cambios fisicoquímicos entre el tiempo de muestreo y el tiempo de análisis de las mismas.

El agua clarificada solo se obtiene en periodos de 25 días, se pretendió realizar tres muestreos en los meses octubre, noviembre y diciembre del 2016.

El muestreo se realizó desde una cisterna a una profundidad de 15 a 30 cm aproximadamente desde toda el área de superficie libre del líquido, evitando tocar las paredes, se sumergió un recipiente de vidrio para coleccionar muestras individuales de 1 litro, y se mezclaron en un balde plástico limpio para obtener una muestra compuesta de 20 litros de agua clarificada las mismas que se conservaron (NTE INEN 2169 (1998). Agua. Calidad del agua. Muestreo. Manejo y conservación de muestras) para los análisis de caracterización y pruebas de tratamiento.

1.3.5. Caracterización del agua clarificada.

Los parámetros a evaluar fueron en base a la tabla 4 a de la RAOHE que corresponde a los límites permisibles para destino de descargas líquidas hacia el continente, en actividades de exploración, producción, industrialización, transporte, almacenamiento y comercialización de hidrocarburos y sus derivados, inclusive lavado y mantenimiento de tanques, y vehículos (RAOHE, Decreto 1215 del 2001, p. 49).

Tabla 1-1: 4 a, límites permisibles en el punto de descarga de efluentes (descargas líquidas)

Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor permisible
Potencial de hidrógeno	pH	--	5 < pH < 9
Conductividad eléctrica	CE	uS/cm	<2500
Sólidos totales	ST	mg/L	<1700
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/L	<120
Bario	Ba	mg/L	<5
Cromo (total)	Cr	mg/L	<0,5
Plomo	Pb	mg/L	<0,5
Vanadio	Va	mg/L	<1
Hidrocarburos totales de petróleo	TPH	mg/L	<20

Fuente: RAOHE. 2001 (Decreto ejecutivo 1215)

Realizado por: CAMBO, Nelson, 2017

Las caracterizaciones del agua clarificada industrial y aguas de ensayos de electrocoagulación se realizaron en los laboratorios de suelos del Vicariato Apostólico de Aguarico LABSU.

Las técnicas analíticas del agua aplicadas por los laboratorios se realizan en base a los Métodos Estandarizados APHA (American Public Health Association), y Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, descritas a continuación.

Tabla 2-1: Técnica de análisis para aguas residuales

Parámetro	Unidad	Método
Potencial de hidrogeno	--	SM 4500 B
Conductividad eléctrica	uS/cm	SM 2510 B
Sólidos totales	mg/L	SM 2540 B
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	SM 5220 C
Bario	mg/L	SM 3030 B, 3111 D
Cromo (total)	mg/L	SM 3030 B, 3111 B
Plomo	mg/L	SM 3030 B, 3111 B
Vanadio	mg/L	SM 3030 D, 3111 D
Hidrocarburos totales	mg/L	EPA 418.1

Fuente: LABSU.2016., AqLab.2016 (Laboratorio de suelos del Vicariato Apostólico de Aguarico);

Realizado por: CAMBO, Nelson, 2017

Potencial de hidrógeno: Es una medida de acidez o alcalinidad de una solución. El pH indica la concentración de iones hidrógeno [H⁺] presentes en el agua y se mide con un pH-metro.

Conductividad eléctrica: Es una medida de la capacidad de una solución acuosa para transmitir una corriente eléctrica y es igual al recíproco de la resistividad de la solución. Dicha capacidad depende de la presencia de iones; de su concentración, movilidad, valencia y temperatura.

Sólidos totales: Analíticamente, se define como la materia que se obtiene como residuo después de someter al agua a un proceso de evaporación entre 103 y 105 °C. Estos pueden clasificarse en sólidos en suspensión (no filtrable) y sólidos disueltos y/o coloidales que corresponden a la fracción filtrable.

Demanda química de oxígeno: Se define como cualquier sustancia orgánica o inorgánica susceptibles de ser oxidadas por medios químicos.

Hidrocarburos totales de petróleo: Se designa para describir a un grupo extenso de varios cientos de sustancias químicas derivadas originalmente del petróleo crudo. En este sentido, los TPH son realmente una mezcla de sustancias químicas. Se les llama hidrocarburos porque casi todos los componentes están formados enteramente de hidrógeno y carbono. Los productos de petróleo que contienen TPH se incendian. Algunos TPH son líquidos incoloros o de color claro que se evaporan fácilmente, mientras que otros son líquidos espesos de color oscuro o semisólidos que no se evaporan. Debido a que en la sociedad moderna se usan tantos productos derivados del petróleo (por ejemplo, gasolina, kerosén, aceite combustible, aceite mineral y asfalto), la posibilidad de contaminación ambiental es alta. Debido al gran número de hidrocarburos involucrados, generalmente no es práctico medir cada uno de ellos.

En la tabla 3-1, se presentan las caracterizaciones de 3 muestras compuestas de aguas clarificadas.

Tabla 3-1: Caracterizaciones del agua clarificada

Parámetros	Unidad	Norma	Muestras			Promedio	Cumple
			1	2	3		
Potencial de hidrogeno	----	05-09	6,23	6,3	6,63	6,37	Si
Conductividad eléctrica	uS/cm	<2500	5200	6605	5070	5625	No
Sólidos totales	mg/l	<1700	5412	7488,44	5232,92	6044,45	No
Demanda Química de Oxigeno	mg/l	<120	137	>150	122,57	136,52	No
Bario	mg/l	<5	x	<0,30	x	x	Si
Cromo total	mg/l	<0,5	x	<0,05	x	x	Si
Plomo	mg/l	<0,5	x	0,6	0,33	x	Si
Vanadio	mg/l	<1	x	<0,20	x	x	Si
Hidrocarburos totales	mg/l	<20	x	0,87	x	x	Si

Fuente: LABSU.2016., AqLab.2016 (Laboratorio de suelos del Vicariato Apostólico de Aguarico); (Laboratorios de Análisis y Evaluación Ambiental)

Realizado por: CAMBO, Nelson, 2017

La caracterización del agua clarificada permite determinar los parámetros que cumplen y no cumplen con la normativa para descargas. Los parámetros que se encuentran fuera de la normativa son; CE, ST y DQO, mientras que los demás cumplen con el reglamento, sin embargo, la CE y ST son los dos parámetros que más influyen en la contaminación.

1.3.6. Volumen de agua clarificada del tanque

Para determinar el volumen de agua clarificada se procedió a medir el radio del tanque y la altura del agua presente en el mismo, el radio es de 2 m y la altura es de 6 m, con estos datos y reemplazando en la ecuación 1-1, se determina el volumen de agua clarificada.

$$V_T = \pi * r^2 * h$$

Ecuación: 1-1

Dónde:

V_T : volumen del tanque (m^3)

R: radio del tanque (m)

H: altura del tanque (m)

$$V_T = \pi * (2m)^2 * 6m$$

$$V_T = 75,40 m^3$$

El volumen de agua clarificada es de 75,40 m^3 y se genera volúmenes similares en periodos promedios 25 días dependiendo de labor diario, el mismo que es almacenado en un tanque de capacidad de 500 barriles para su tratamiento final.

1.3.7. Caudal para el electrocoagulador

También denominado caudal de diseño, y se lo determina con la ecuación 2-1. Conociendo el volumen total de 75,40 m^3 de agua clarificada presente en el tanque, y asumiendo un tiempo de

tratamiento de 24 horas, se determina el caudal para el electrocoagulador con un factor de seguridad de 1.1.

$$Q = \frac{V}{t} * f$$

Ecuación: 2-1

Dónde:

- Q: caudal (l/s)
V: volumen (l)
t: tiempo (s)
f: factor de seguridad

$$V = 75,40m^3 = 75400L$$

$$t = 24 h = 86400 s$$

$$Q = \frac{75400 L}{86400s} * 1,1$$

$$Q = 0,96 \frac{l}{s} \cong 1 \frac{l}{s}$$

$$Q = 1 \frac{l}{s} = 0,06 \frac{m^3}{min} = 86,40 \frac{m^3}{dia}$$

1.4. Beneficiarios directos e indirectos

El beneficiario directo es la empresa PLUSAMBIENTE, ya que dispondrá de un nuevo método para efectuar cambios en sus sistemas de tratamiento, empresas hidrocarburíferas que buscan contratar servicios de calidad para la gestión de sus residuos peligrosos generados por sus plantas.

Los beneficiarios indirectos se le considera a la población de la Parroquia de San Sebastián del Coca, en vista que la empresa se encuentra enmarcada en una política de mejora continua con la finalidad de reducir al mínimo los efectos de contaminación hacia sus alrededores. Por otro lado, se beneficia actores interesados en conocer sobre el método electroquímico de tratamiento, además, profesionales en vías de investigación.

CAPÍTULO II

2. OBJETIVOS DEL PROYECTO

2.1. Objetivo General

Diseñar un electrocoagulador para aguas industriales clarificadas de la empresa Plusambiente base cantón Joya de los Sachas, provincia de Orellana.

2.2. Objetivos Específicos

- Caracterizar el agua industrial clarificada en base al Reglamento Ambiental para las Operaciones Hidrocarburíferas del Ecuador (RAOHE) Decreto 1215 del 2001.
- Identificar las variables para diseño del equipo de electrocoagulación mediante una simulación del proceso para aplicar pruebas de tratabilidad de aguas residuales clarificadas a escala de laboratorio.
- Realizar los cálculos de ingeniería para el dimensionamiento del equipo de electrocoagulación.
- Validar el diseño del equipo en tratabilidad en base al Reglamento Ambiental para las Operaciones Hidrocarburíferas del Ecuador (RAOHE) Decreto 1215 del 2001.
- Realizar la disposición final de los lodos generados.

CAPÍTULO III

3. ESTUDIO TÉCNICO

3.1. Localización del proyecto.

El cantón La Joya de los Sachas está ubicado en la Región Nor-oriente Ecuatoriana, en la provincia de Orellana, a una altura aproximada de 320 m.s.n.m. Su latitud es 0°18' sur y su longitud es 76°51' oeste.



Figura 3-3. Localización geográfica del cantón La Joya de los Sachas.
Fuente: UBICA EC, 2016

3.1.2. Área de estudio

El proyecto se lleva a cabo en la empresa PLUSAMBIENTE planta base ubicada en el Km 1,7 vía a las minas de Huataracu, Parroquia San Sebastián del Coca, Cantón La Joya de los Sachas, provincia de Orellana (Fig. 4,3).



Figura 4-3. Localización geográfica de Plusambiente
Fuente: GOOGLE MAPS, 2016

3.2. Ingeniería del Proyecto

Se aplica la ciencia y tecnología disponible para simular un proceso de electrocoagulación a escala de laboratorio que facilite realizar una serie de pruebas de tratamiento y a la vez identificar variables y condiciones de diseño.

3.2.1. Electrocoagulación

Es un método electroquímico utilizado para el tratamiento de aguas residuales, por medio del cual se desestabilizan las partículas contaminantes que se encuentran suspendidas, emulsionadas o disueltas en un medio líquido, induciendo corriente eléctrica en el agua a través de placas metálicas paralelas de diversos materiales, generalmente de Fe y Al (Arango y Garcés, 2009: p. 55).

Se considera que en un proceso de electrocoagulación intervienen tres etapas sucesivas; inicialmente se forma el coagulante por oxidación electrolítica del ánodo de sacrificio, luego se da la desestabilización de los contaminantes, suspensión de partículas y rotura de emulsiones y, finalmente, se produce la formación de flóculos por agregación de partículas del contaminante (Mohllah et al., 2004: p. 200).

La aplicación de corriente eléctrica a los electrodos, provoca reacciones separadas:

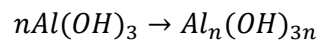
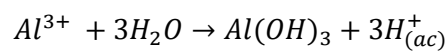
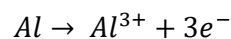
- Los electrodos de Fe o Al se disuelve generando iones metálicos correspondientes, que en el medio acuoso espontáneamente reaccionan para producir los correspondientes

hidróxidos y/o polihidróxidos que son excelentes agentes coagulantes que se generan in situ.

- El agua también es electrolizada produciéndose pequeñas burbujas de O₂ en el ánodo e H₂ en el cátodo. Estas burbujas atraen las partículas floculadas (Ozyonar y Karagozoglú, 2011: p. 174).

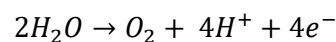
Por ejemplo, cuando se utiliza aluminio como material de electrodo, las reacciones son las siguientes:

En el ánodo;

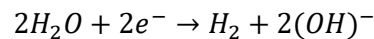


Electrólisis del agua:

En el ánodo;



En el cátodo;



Una celda de electrocoagulación simple está compuesta por un ánodo y un cátodo, cuando se aplica un potencial desde una fuente de energía externa, el material del ánodo sufre oxidación, mientras que el cátodo se somete a la reducción o deposición reductora de metales elementales (fig.5-3).

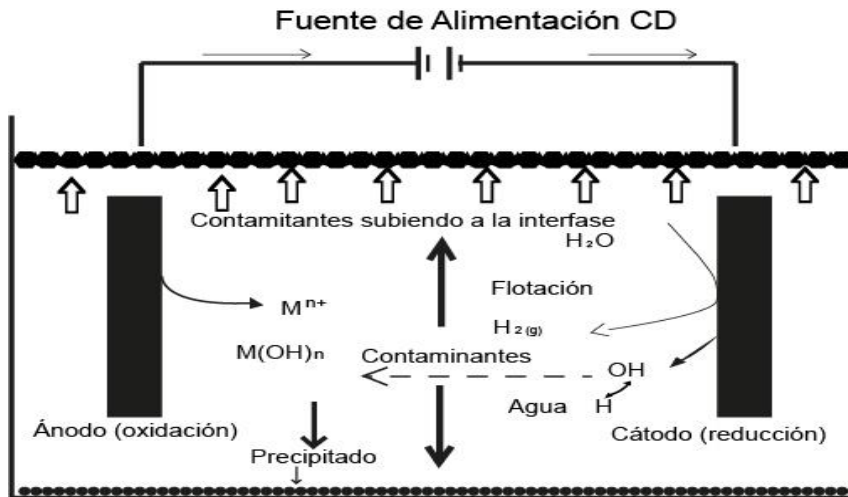


Figura 5-3. Esquema de una celda de electrocoagulación

Fuente: MOLLAH et al., 2004. Fundamentals, present and future perspectives of electrocoagulation.

Realizado por: CAMBO, Nelson, 2017.

Mohllah et al. (2004: p. 200) menciona que la electrocoagulación se ha empleado con éxito en la eliminación de metales, partículas suspendidas, minerales arcillosos, tintes orgánicos, y aceites y grasas de una variedad de efluentes industriales; Castillo (2010, p. 23) menciona la aplicabilidad en eliminación de tensoactivos y fosfatos de lavanderías industriales, desinfección de aguas con altísimas cargas de microorganismos

3.2.1.1. Factores que influyen al proceso de electrocoagulación

Los principales factores que se deben tomar en cuenta al momento de realizar un diseño de un proceso de electrocoagulación y que influyen directamente son:

- **Potencial de hidrogeno**

El pH influye sobre la eficiencia de la corriente en el proceso de solubilidad del metal para formar un hidróxido. Se ha observado en diferentes investigaciones que el pH varía durante el proceso de electrocoagulación y esta variación es dependiente del material de los electrodos y del pH inicial del agua a tratar. El pH durante el proceso puede incrementarse para aguas residuales ácidas, efecto atribuido a la generación de gas hidrógeno que se origina en el cátodo. En contraposición, en aguas residuales alcalinas el pH puede decrecer a su vez y, dependiendo de la naturaleza del contaminante (Arango y Garcés, 2009: p. 54-56).

- **Densidad de corriente**

Determina la cantidad de metal (Me^+) que se libera en el sistema: altas densidades de corriente permiten unidades de electrocoagulación más pequeñas. Sin embargo, cuando se emplean densidades de corriente demasiado elevadas, aumenta el empleo de energía eléctrica para la reacción paralela de generación de gases y también la potencia disipada en forma de calor por efecto Joule, produciendo un aumento en la temperatura del medio acuoso (Consolider Tragua. 2010, p. 140).

- **Conductividad**

Cuando la conductividad del agua no es elevada, es frecuente la adición de un electrolito soporte para aumentar su valor, consiguiéndose así una disminución en el voltaje de la celda y, por tanto, un ahorro energético considerable. En electrocoagulación una de las sales más empleadas para este fin es el NaCl o CaCl_2 , ya que se ha determinado que los iones cloruro pueden contrarrestar los efectos adversos de aniones como el HCO_3^- y el SO_4^{2-} pues la presencia de estos aniones en el agua a tratar puede conducir a la precipitación de iones Ca^{2+} y Mg^{2+} , y la formación de una capa aislante en la superficie de los electrodos, que podrían ocasionar un aumento en el voltaje de la celda

(Arango, 2012, p. 63; Consolider Tragua. 2010, p. 140).

- **Distribución espacial**

Influye en la resistencia a la conducción eléctrica que ofrece la fase acuosa que los separa; mientras mayor sea la distancia entre los electrodos, mayor será la resistencia al paso de corriente entre ellas, lo que redundará en una disminución de la remoción de contaminante (Aristizábal y Bermúdez, 2007, p. 68; Phalakomkule et al., 2009, p. 279).

- **Tiempo de electrólisis**

La eficiencia aumenta con el tiempo de electrólisis, pero hasta un valor óptimo, en donde se alcanza un valor de saturación y el rendimiento es ya constante (Suárez et al, 2015, p. 12).

- **Materiales electródicos**

Deben poseer estabilidad física y química, conductividad, capacidad catalítica y en especial la existencia de grandes sobrepotenciales para el proceso de oxidación del agua (Consolider Tragua. 2012: p. 140).

Cuando se aplica electrodos de Al o Fe la remoción para material suspendido es debido a la desestabilización de los coloides para que se aglutinen y se separen, mientras para los disueltos el coagulante los adsorbe o los retiene (Piña et al, 2011: p. 265).

Cuando se trata de electrodos inertes como el acero inoxidable, titanio platino, níquel, grafito, etc., la remoción es debido a que se presenta una reducción electroquímica del agua en el cátodo incrementándose el pH propiciando la formación de sales básicas poco solubles e hidróxidos de metal polivalentes que precipitan (Piña et al, 2011: p. 266).

3.2.1.2. Reactor electroquímico de electrocoagulación

Existen muchos tipos de celdas electroquímicas empleadas en procesos de electrocoagulación, y pueden clasificarse atendiendo a diferentes criterios:

➤ Dirección del flujo de agua residual

Según (Consolider Tragua. 2012, p. 143) los reactores se pueden clasificar en unidades de flujo horizontal o vertical (fig. 6-3). Esta disposición puede tener importancia cuando se pretende aprovechar el movimiento provocado por el O_2 y el H_2 generados en los procesos anódicos y catódicos de oxidación y reducción del agua.

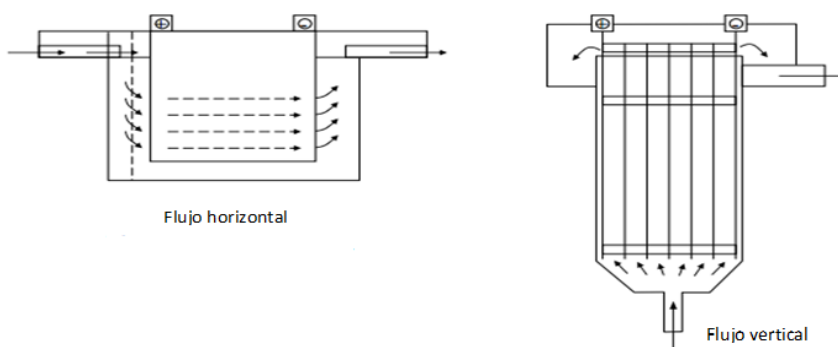


Figura 6-3. Reactores de electrocoagulación de flujo horizontal y vertical

Fuente: CHEN, G. 2008. Electrochemical Technologies in Wastewater Treatment.

➤ Modo de circulación del flujo

Las celdas de canales múltiples son más fáciles de ubicar y disponer dentro del reactor. Sin embargo, debido al pequeño caudal de electrolito en cada uno de los canales, esta disposición puede favorecer el fenómeno de pasivación de los electrodos (Piña et al., 2011: p. 264).

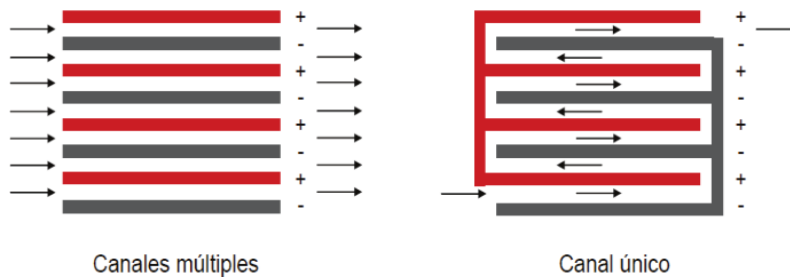


Figura 7-3. Reactores de electrocoagulación con disposición de canal múltiple y único

Fuente: MENDIETA, M. 2013. Dimensionamiento de un proceso de electrocoagulación para el tratamiento de aguas lixiviadas del relleno sanitario. El Inga. p. 17.

➤ Tipo de configuración electródica

La configuración bipolar tienen la ventaja de la sencillez de su disposición, ya que sólo es necesaria la conexión de dos electrodos (electrodos alimentadores), y por tanto el espacio entre los electrodos puede ser más pequeño, sin embargo, el elevado potencial entre los electrodos alimentadores también origina que una parte de corriente fluya a través del medio acuoso causando un bypass de corriente a los electrodos bipolares (Jiang y Col., 2002; citado por Consolider Tragua, p.138), y produciendo por tanto pérdidas de corriente, (Koby et al. 2011; citados en Suárez et al, 2015) reportaron que este tipo de conexión es el más rentable para los dos electrodos de aluminio y hierro.

Otro tipo de configuración es la monopolar, se conecta a la fuente externa de alimentación con un arreglo en paralelo. Esta configuración resuelve en parte la disminución de la eficiencia de la electrocoagulación por formación de una capa de óxido sobre los electrodos (Piña et al, 2011: p. 267).

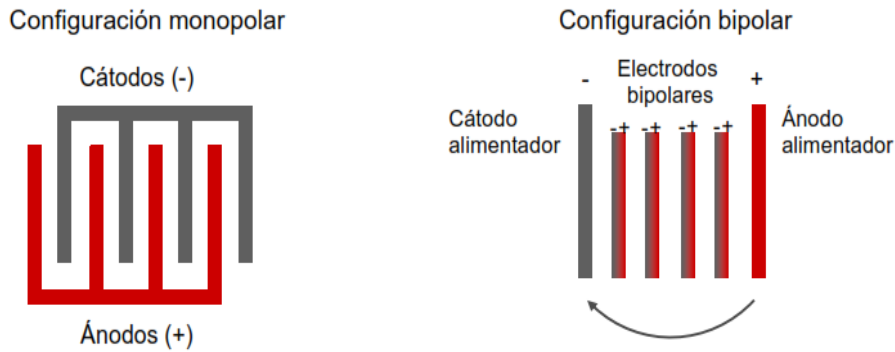


Figura 8-3. Reactores con distribución de electrodos monopolares y bipolares.

Fuente: MENDIETA, M. 2013. Dimensionamiento de un proceso de electrocoagulación para el tratamiento de aguas lixiviadas del relleno sanitario. El Inga. p. 18.

➤ Finalidad de la celda

La finalidad de una celda puede ser simplemente la generación de agente coagulante, o bien puede ser más ambiciosa e incluir el movimiento de contaminantes (electrofloculación) o incluso llegar a favorecer el proceso de flotación mediante la utilización del oxígeno y el hidrógeno generados respectivamente en los ánodos y cátodos de la instalación (electroflotación) (Consolider Tragua, 2012, p. 138).

3.2.2. Fabricación de una celda de electrocoagulación para pruebas.

Un electrocoagulador a escala de laboratorio está integrada por una celda, electrodos, conductores eléctricos, fuente CD, y el agua del tratamiento. Cabe mencionar que son necesario otros instrumentos adicionales como un multímetro y un cronómetro.

Previamente se realizaron ensayos simulando una celda y utilizando una fuente de alimentación CD de 3 salidas fijas de +6, +20 V, -20V con capacidad de 2 A de propiedad del laboratorio de electrónica de la facultad de ingeniería de la Universidad Nacional de Chimborazo. Se obtuvieron resultados favorables, pero no fueron adecuados para la toma de datos experimentales. Se decide adquirir una fuente de alimentación CD variable y fabricar una celda con ciertas especificaciones.

Se fabrica una celda de electrocoagulación de dimensiones (10 x 11,5 x 21) cm de ancho largo y alto, el material seleccionado es metacrilato de metilo transparente, lo cual permitirá apreciar con claridad aspectos físicos y químicos del agua que se presente en el proceso de electrocoagulación. Se tiene el criterio de fabricarla totalmente desarmable, de tal manera que

permita cambiar la polaridad de los electrodos, variar la distribución espacial y facilite una mejor limpieza después de cada prueba. En la superficie del fondo de la celda se instaló un grifo para tomar muestras de agua, y en la parte superior exterior de celda se instalaron unas canaletas para recolectar agua y sólidos por desborde.

- **Electrodos**

Los materiales utilizados como electrodos son aluminio y hierro, se decide en base a estudios realizados por (Piña et al, 2011, Mendieta, M. 2013; Aguilar, E. 2015) que indican obtener muy buenos resultados, además por su bajo costo y fáciles de conseguir en el mercado. Las dimensiones de los electrodos son (9,8 x 22,5 x 0,3) cm de ancho, altura y espesor, se fabricaron 8 electrodos de aluminio y 8 de hierro.

- **Distribución espacial**

La separación de electrodo a electrodo es de 1 cm, y se puede incrementar a 2 cm de ancho, el espacio mínimo es de 1 cm se define en base al tipo de configuración monopolar en paralelo permite que la corriente se distribuya uniformemente por todos los electrodos, por lo que no es necesario un espacio menor de 1 cm como suele suceder para conexiones bipolares, también se pretende aprovechar la buena conductividad del agua clarificada, otra consideración es debido a que espacios muy pequeños desfavorece la formación de flóculos e interrumpe el movimiento de los mismos.

- **Alimentación de corriente**

La corriente suministrada es corriente continua regulable mediante una fuente de alimentación CD marca Mastech HY3010E, tiene la capacidad de suministrar intensidades de 0 a 10 A y una tensión de 0 a 30 V, los cuales disponen de dos medidores digitales LED para intensidad y voltaje. La verificación de las lecturas de los medidores se hace utilizando un multímetro digital.

- **Tipo de configuración**

La configuración es monopolar en paralelo. Se utilizan cables de cobre No.14 de colores rojos y negros para diferenciar la polaridad, se conectan a dos terminales de bronce para distribuir la corriente y se instalan caimanes en los cables que van conectados a los electrodos.

3.2.3. Pruebas de tratabilidad por electrocoagulación

Las pruebas de tratabilidad se realiza empleando una celda de electrocoagulación para simular el proceso a escala de laboratorio, y de esta forma determinar las variables y condiciones de diseño.

Los procesos de electrocoagulación pueden estar influenciados por pH, conductividad, tiempo de electrolisis, distribución espacial de los electrodos, densidad de corriente, tipos de ánodos y cátodos. Tomando en cuenta estas variables se realizan las pruebas de electrocoagulación.

Para las pruebas de electrocoagulación se aplica el procedimiento siguiente:

- Armar la celda de electrocoagulación.
- Colocar en la celda 1,98 litros de agua.
- Conectar los polos positivos al electrodo ánodo de sacrificio y el polo negativo al electrodo cátodo
- Encender la fuente de alimentación CD
- Configurar la intensidad que se desea aplicar a la celda.
- Tomar el tiempo de tratamiento o electrolisis.
- Obtener muestras en función del tiempo
- Sedimentar
- Caracterizar
- Analizar resultados

Según experimentos para procesos de electrocoagulación se han requerido que el agua contenga una conductividad necesaria para permitir el paso de corriente, y se produzcan reacciones de electrocoagulación, el agua posee una buena conductividad, esto quiere decir, que no es necesaria la adición de algún electrolito soporte.

Se realizó ensayos con una intensidad de corriente de 1 A, con esta intensidad, los primeros resultados físicos se obtienen a los primeros 15 minutos, por lo que se ve necesario incrementar la intensidad para optimizar el tiempo de tratamiento. Se realizan una serie de ensayos incrementando la intensidad hasta encontrar la adecuada tomando en consideración las características físicas que presenta el agua en cada prueba en función del tiempo. Se determina que a partir de los 2,5 A se presenta una buena remoción física de contaminantes presentes en el agua facilitando la formación de flóculos en el menor tiempo posible, y no requiere floculantes,

a partir de esta prueba se centra el estudio de la influencia de la electrocoagulación aplicado al agua clarificada utilizando los dos tipos de electrodos de aluminio y hierro.

Por otro lado, la distribución espacial de los electrodos se modificó a 2 cm para conocer los efectos que se presentan, donde se visualizó, por medio de los medidores LED de la fuente y medición por multímetro, el incremento del voltaje, aumentando el consumo energético y el tiempo de tratamiento.

A continuación, se hace una breve descripción de las diferentes observaciones obtenidas durante los experimentos realizados con cada tipo de ánodo y cátodo utilizado.

Tabla 4-3. Observaciones de las pruebas de electrocoagulación a 3 A.

Ánodos y cátodos	Semejanza	Diferencias
Fe-Fe	<ul style="list-style-type: none"> • Se tiene una sedimentación rápida de los flóculos formados. • Se mantiene en suspensión un color verdoso característico de $\text{Fe}(\text{OH})_2$ y precipita en forma de $\text{Fe}(\text{OH})_3$ de color marrón en un tiempo estimado de 2 a 3 horas, también puede ser influenciado por la aireación. • Los sólidos generados adquieren un color café-rojo con el tiempo 	
Fe-Al		<ul style="list-style-type: none"> • Se presenta una deposición de calcio con un color blanco sobre toda la superficie de los cátodos, el mismo que puede ser removido por algún instrumento mecánico.
Al-Al	<ul style="list-style-type: none"> • Sedimentación rápida tanto de los flóculos como el exceso de hidróxidos y polihidróxidos aluminio • Los sólidos generados adquieren un color plomo oscuro. 	<ul style="list-style-type: none"> • Buena remoción del color del agua inicial
Al-Fe		<ul style="list-style-type: none"> • No existe una gran remoción del color del agua inicial

Realizado por: CAMBO, Nelson, 2017

Se realizan las pruebas de electrocoagulación con electrodos de aluminio y hierro con intensidades de 3 A y distribución espacial de 1 cm, se obtiene muestras en periodos de 10 minutos y se caracterizan los parámetros de CE, ST, DQO y pH, con el objetivo de estudiar su variabilidad en el tiempo y de esta forma determinar el tiempo de electrolisis, tipo de ánodo y cátodo más eficiente en remoción.

3.2.3.1. Resultados y discusión de las pruebas de tratamiento

Los resultados de caracterizaciones del agua clarificada antes y durante el proceso de descontaminación por electrocoagulación, se presentan en la tabla 5-3, los valores expuestos permitieron obtener los gráficos y curvas de tendencia.

Tabla 5-3: Resultados de análisis de agua obtenida por electrocoagulación a 3 A.

Parámetro	Ánodo-Cátodo	Voltaje (V)	Tiempo de electrolisis (min)			
			0	10	20	30
pH	Al-Fe	2,0	6,63	7,0	7,79	8,06
	Fe-Fe	2,7		5,91	6,23	6,91
	Fe-Al	2,9		6,22	5,86	6,62
	Al-Al	2,6		5,9	6,14	6,4
CE (uS/cm)	Al-Fe	2,0	5070	4930	4840	4750
	Fe-Fe	2,7		5030	4990	4900
	Fe-Al	2,9		5010	4940	4580
	Al-Al	2,6		4800	4730	4670
ST (mg/l)	Al-Fe	2,0	5232,92	5021,65	4947,41	4934,54
	Fe-Fe	2,7		5171,1	5038,63	4948,01
	Fe-Al	2,9		4139,26	4677,78	4678,86
	Al-Al	2,6		3903,27	4628,67	4698,94
DQO (mg/l)	Al-Fe	2,0	122,57	99,55	96,83	97,21
	Fe-Fe	2,7		117,48	105,86	x
	Fe-Al	2,9		x	X	x
	Al-Al	2,6		78,71	X	x

Fuente: LABSU. 2016. (Laboratorio de suelos del Vicariato Apostólico de Aguarico)

Realizado por: CAMBO, Nelson, 2017

Variabilidad de los parámetros a 3 A:

La variación de pH, CE, ST y DQO respecto al tiempo de electrolisis se exponen en las figuras 3-9 a 3-12, respectivamente.

- Variabilidad del pH

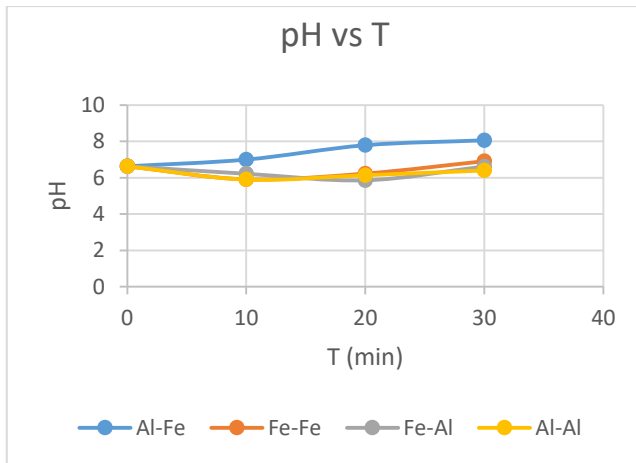


Figura 9-3. Gráfica de variación del pH en función del tiempo de electrolisis a 3 A.

Realizado por: CAMBO, Nelson, 2017

Según la figura 9-3, se puede notar que existe un incremento continuo del pH para Al-Fe a medida que se incrementa el tiempo de electrolisis. El Fe-Fe y Al-Al presentan una disminución del pH en los primeros 10 minutos y tienden a incrementarse a medida que transcurre el tiempo. El electrodo Fe-Al presenta una disminución del pH hasta los primeros 20 minutos y se incrementa a partir de este punto. En base a esta figura se observa que el pH presenta una variación en el tiempo de electrolisis, pero que se mantiene dentro del reglamento.

- Variabilidad de la CE

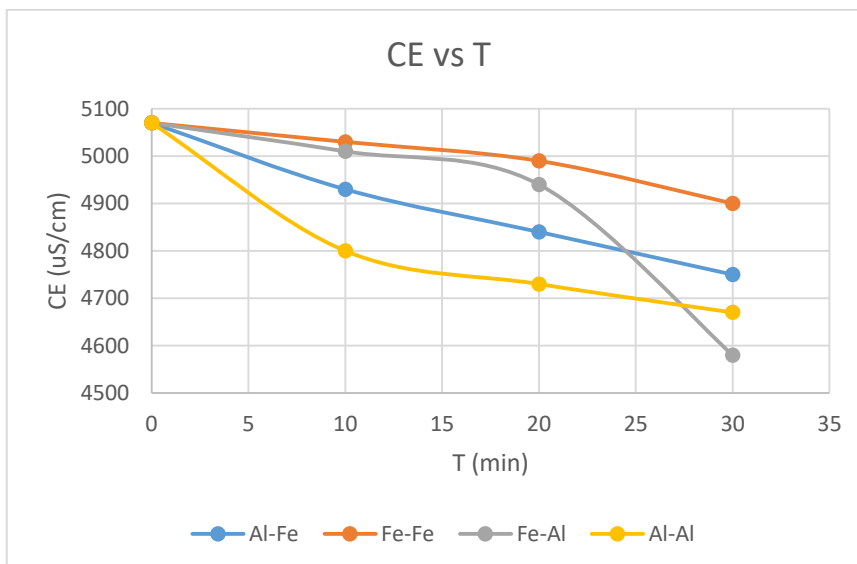


Figura 10-3. Gráfica de variación de la CE en función del tiempo de electrolisis a 3 A.

Realizado por: CAMBO, Nelson, 2017

En la figura 10-3, se observa que la CE disminuye durante el tiempo de electrolisis para los 4 tipos de configuraciones de ánodos y cátodos. El Al-Al presenta mayor disminución de la CE hasta sus primeros 10 min, sin embargo, continúa disminuyendo levemente. El Fe-Al presentan mayor eficacia en la disminución de la CE a partir de los 20 min.

- **Variabilidad de ST**

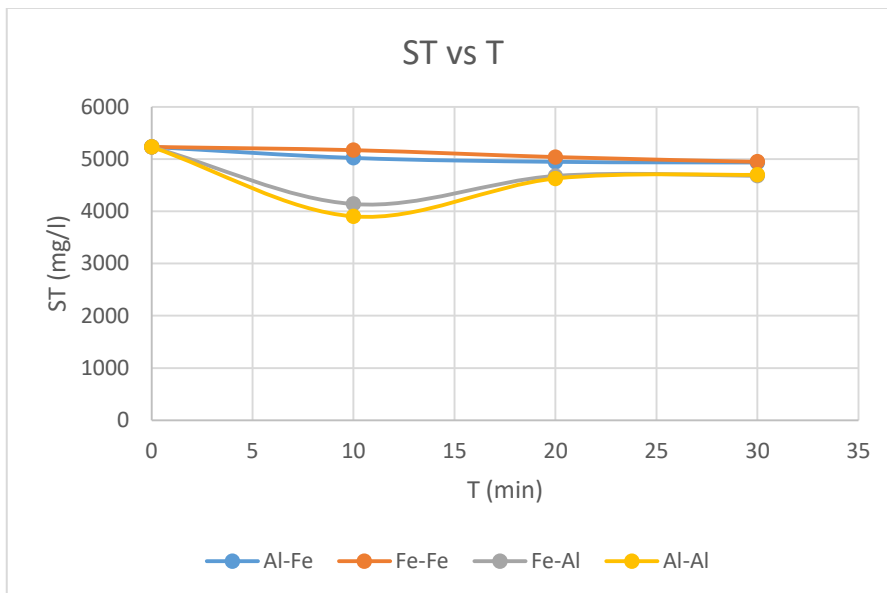


Figura 11-3. Gráfica de variación de ST en función del tiempo de electrolisis a 3 A.
Realizado por: CAMBO, Nelson, 2017

Según la figura 11-3, se puede observar que no hay una gran remoción de ST para Al-Fe y Fe-Fe. Mientras que el Fe-Al y Al-Al existe una gran remoción de ST en los primeros 10 min, y desde este instante se empieza a incrementarse la concentración de ST.

- **Variabilidad del DQO**

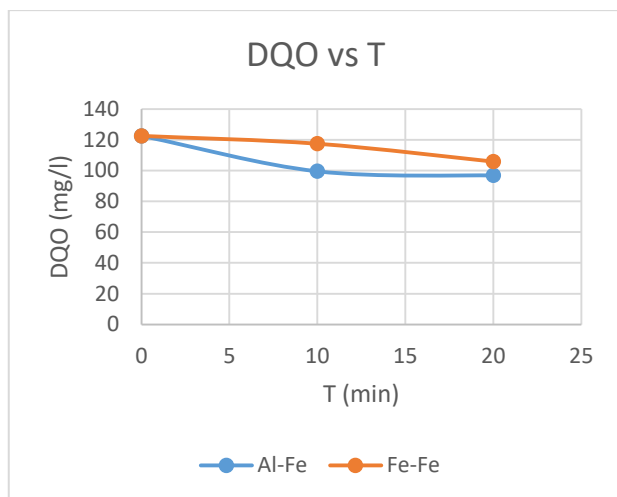


Figura 12-3. Gráfico de variación del DQO en función del tiempo de electrolisis a 3 A.
Realizado por: CAMBO, Nelson, 2017.

En la figura 12-3, se observa que el DQO disminuye en el tiempo de electrolisis, cabe indicar que no se realizó la representación gráfica para Al-Al y Fe-Al por falta de datos para la curva de tendencia, pero que en los primeros 10 minutos se logra reducir el DQO por debajo del reglamento.

Según el análisis de gráficos, se obtienen buenos resultados con ánodos y cátodos de Al con un tiempo estimado de electrolisis de 10 min, ya que se ha podido notar que los ST alcanzan su máxima disminución hasta este tiempo.

En la presente tabla se representan los porcentajes de remoción de parámetros a evaluar con ánodos y cátodos de Al, y un tiempo de electrolisis de 10 min.

Tabla 6-3: Porcentaje de remoción de parámetros

Parámetros	Agua inicial	Agua final	Porcentaje de remoción (%)
CE (uS/cm)	5070	4800	5,33
ST (mg/l)	5232,92	3903,27	25,41
DQO (mg/l)	122,57	78,71	35,78

Realizado por: CAMBO, Nelson, 2017

3.2.4. Diseño del Electrocoagulador

El sistema de electrocoagulación es de flujo continuo, el agua clarificada ingresa por el fondo de la celda y se distribuye uniformemente por toda la zona de reacción conformada por los electrodos con una dirección de flujo vertical y sale por desborde hacia unas canaletas para ser enviada a un sedimentador.

- **Área de los electrodos sumergidos en la celda de pruebas, (A_e , m^2)**

Se utilizaron 4 ánodos de sacrificio y 4 cátodos inertes, con un total de 8 electrodos.

$$A_e = a_e * h_e * n_e$$

Ecuación: 3-3

Dónde:

a_e : ancho de los electrodos (m)

h_e : altura de los electrodos sumergidos (m)

n_e : número de electrodos

$$A_e = 0,098 \text{ m} * 0,205 \text{ m} * 2 * 4$$

$$A_e = 0,16072 \text{ m}^2$$

- **Densidad de corriente experimental, (i_x , A/m^2)**

La densidad de corriente es igual a la intensidad aplicada a la celda por unidad de área de los ánodos.

$$i_x = \frac{I}{A}$$

Ecuación: 4-3

Dónde:

I: intensidad aplicada a la celda (A)

A: área de los electrodos sumergidos en la celda (m^2)

$$i_x = \frac{3A}{0,16072 \text{ m}^2}$$

$$i_x = 18,67 \frac{A}{m^2}$$

- **Volumen de los electrodos sumergidos en la celda, (V_e , cm^3)**

El volumen de los electrodos es igual al área de los electrodos sumergidos en la celda multiplicada por el espesor de los mismos.

$$V_e = A_e * e$$

Ecuación: 5-3

Dónde:

A_e : área de los electrodos sumergidos en la celda (m^2)

e : espesor de los electrodos (m)

$$V_e = 0,16072 \text{ m}^2 * 0,003 \text{ m}$$

$$V_e = 4,8216 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

- **Volumen efectivo del electrocoagulador, (V_{efE} , m^3)**

Se determina con la ecuación 6-3 (Guanoluiza, 2013, p. 67), la misma que toma en cuenta un caudal y un tiempo de electrólisis, el caudal de agua a tratar es de 1 l/s y el tiempo de electrólisis experimental de 10 min o 600s.

$$V_{efE} = ts * Q$$

Ecuación: 6-3

Dónde:

ts : tiempo de electrólisis, (s)

Q : caudal del electrocoagulador, (l/s)

$$V_{efE} = 600s * 1 \frac{l}{s}$$

$$V_{efE} = 600 \text{ l}$$

$$V_{efE} = 0,600 \text{ m}^3$$

- **Volumen de los electrodos del electrocoagulador, (V_{eE} , m^3)**

El volumen de los electrodos del electrocoagulador se determina con la ecuación planteada por (Guanoluiza, 2013, p. 67), la cual permite relacionar el volumen efectivo y volumen de los electrodos de la celda con los del electrocoagulador.

El volumen efectivo de la celda corresponde al volumen de agua añadido para el experimento, el mismo que fue de 1980 cm³.

$$\frac{V_{eE}}{V_{efE}} = \frac{V_e}{V_{ef}}$$

Ecuación: 7-3

Dónde:

V_{ef}: volumen efectivo de la celda (m³)

V_e: volumen de los electrodos de los electrodos de la celda (m³)

V_{efE}: Volumen efectivo del electrocoagulador, (m³)

$$\frac{V_{eE}}{0,600 \text{ m}^3} = \frac{4,8216 \times 10^{-4} \text{ m}^3}{1,980 \times 10^{-3} \text{ m}^3}$$

$$V_{eE} = 0,146 \text{ m}^3$$

- **Volumen del electrocoagulador, (V_R, m³)**

El volumen del electrocoagulador, es aquel que está conformada por el volumen de los electrodos y el volumen efectivo.

$$V_R = V_{efE} + V_{eE}$$

Ecuación: 8-3

Dónde:

V_{efE}: volumen efectivo del electrocoagulador (m³)

V_{eE}: volumen de los electrodos del electrocoagulador (m³)

$$V_R = 0,600 \text{ m}^3 + 0,146 \text{ m}^3$$

$$V_R = 0,746 \text{ m}^3$$

- Dimensiones de los electrodos del electrocoagulador

Para dimensionar los electrodos se toman en cuenta las medidas de las planchas metálicas de Al disponibles en el mercado, se encuentran de dimensiones de (1,22 x 2,44) m con espesores de 0,003 m, entonces, las dimensiones de los electrodos son; alto (h_e) de 0,75 m, ancho (a_e) de 0,60 m, y espesor (e_e) de 0,003 m, de cada plancha de metal se pueden obtener como máximo 6 electrodos. Los electrodos dispondrán de orejeras en uno de sus extremos con dimensiones de 5 cm de alto y 3 cm de ancho para conectar los cables y evitar problemas de corrosión del conductor.

- Dimensionamiento del electrocoagulador

Tomando en cuenta el volumen del electrocoagulador (V_R) y las dimensiones de los electrodos, se dimensiona el reactor de electrocoagulación. Las dimensiones de los electrodos son de 0,60 m de ancho y una altura de 0,75 m, en el ancho y altura se incrementa 0,04 m para facilitar la colocación y retiro de las mismas, entonces, la altura y ancho del electrocoagulador es de 0,79 m y 0,64 m respectivamente.

$$V_R = a_R * h_R * l_R$$

Ecuación: 9-3

Dónde:

V_R : volumen del electrocoagulador, (m^3)

a_R : ancho del electrocoagulador, (m)

h_R : altura del electrocoagulador, (m)

l_R : longitud del electrocoagulador, (m)

$$0,746m^3 = 0,64m * 0,79m * l$$

$$l = 1,48 m$$

- Número de electrodos del electrocoagulador

Empleando la ecuación 10-3, se determina el número de electrodos (Arango y Garcés, 2007, p. 64).

$$Ne = \frac{\text{Largo de la celda} - 2 * (\text{Distancia electrodos a cara lateral})}{(\text{Distribución espacial} + \text{Espesor de electrodos})}$$

Ecuación: 10-3

$$Ne = \frac{148cm - 2 * 2 cm}{1cm + 0,3cm}$$

$$Ne = 110$$

De esta forma determinamos que 55 electrodos son ánodos y 55 electrodos son cátodos, dispuestas con un arreglo intercalado.

- **Área de los electrodos del electrocoagulador, (A_{eR} , m^2)**

$$A_{eR} = a_{eR} * h_{eR} * n_R$$

Ecuación: 11-3

Dónde:

a_{eR} : ancho de los electrodos del electrocoagulador (m)

h_{eR} : altura de los electrodos del electrocoagulador (m)

n_R : número de electrodos del electrocoagulador

$$A_{eR} = 0,6m * 0,75m * 110$$

$$A_{eR} = 49,5m^2$$

- **Intensidad de corriente para el electrocoagulador, (I, A)**

Conociendo la densidad de corriente y el área de los electrodos se determina la intensidad consumida por electrocoagulador haciendo uso de la siguiente ecuación.

$$I = i_x * A_{eR}$$

Ecuación: 12-3

Dónde:

i_x : densidad de corriente experimental (A/m^2)

A_{eR} : área de los electrodos del electrocoagulador (m^2)

$$I = 18,67 \frac{A}{m^2} * 49,5m^2$$

$$I = 924 A$$

- **Voltaje del Electrocoagulación, (V)**

La ley de ohm estable una ecuación matemática que permite relacionar la intensidad, voltaje y resistencia de un circuito eléctrico cerrado (Hermosa, 2000. p 35).

$$I = \frac{V}{R}$$

Ecuación: 13-3

Se procedió a obtener datos experimentales de voltaje suministrando intensidades a la celda de 1 hasta 10 A y por medio de los medidores LED de la fuente se obtienen dichos valores de voltaje.

Tabla 7-3: Resultados experimentales de voltaje

Intensidad(A)	Voltaje (V)
1	1,5
2	2,1
3	2,6
4	3,1
5	3,6
6	4,1
7	4,6
8	5,1
9	5,5
10	6

Realizado por: CAMBO, Nelson, 2017

Estos datos experimentales se representan en la figura 13-3.

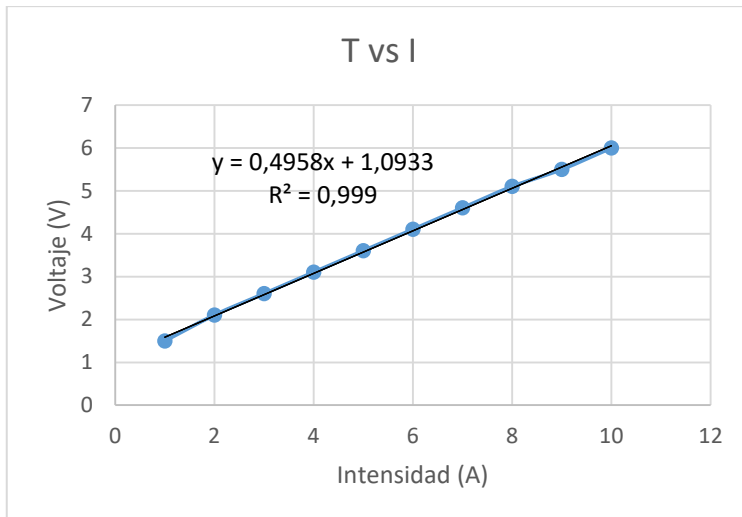


Figura 13-3. Grafica intensidad vs tensión

Realizado por: CAMBO, Nelson, 2017

Según la línea de tendencia de la figura 13-3, la intensidad y el voltaje son directamente proporcionales, esto quiere decir que al incrementar la intensidad también va existir un incremento en la tensión dándose el cumplimiento de la ley de ohm.

Se obtiene la ecuación de la recta con coeficiente de determinación (R^2) de 0,999.

$$y = 0,4958x + 1,0933$$

Ecuación: 14-3

Sustituyendo las variables (y) por V y (x) por I, se obtiene la ecuación siguiente.

$$V = 0,4958I + 1,0933$$

Ecuación: 15-3

Reemplazando el valor de 924 A en la ecuación anterior se calcula el valor de voltaje requerida para electrocoagulador.

$$V = 0,4958 * 924A + 1,0933$$

$$V = 459$$

- **Potencia, (P, kW)**

La Potencia requerida por el electrocoagulador se calcula utilizando la ecuación siguiente

$$P = \frac{I * V}{1000}$$

Ecuación: 16-3

Dónde:

P: potencia para el electrocoagulador, (kW)

I: intensidad de electrocoagulador, (A)

V: tensión del electrocoagulador, (V)

$$P = \frac{924A * 459V}{1000}$$

$$P = 424 \text{ kW}$$

Tabla 8-3: Resumen del diseño del electrocoagulador

Descripción	Símbolo	Unidad	Valor
DIMENSIONAMIENTO			
Electrodos:			
Ancho	a _e	m	0,60
Altura	h _e	m	0,75
Espesor	e _e	mm	3
Número de electrodos	N _e	---	110
Área	A _{eR}	m ²	49,5
Distribución espacial	---	cm	1
Celda:			
Longitud	l _R	m	1,48
Ancho	a _R	m	0,64
Altura	h _R	m	0,79
CONDICIONES DE FUNCIONAMIENTO			
Tiempo de electrolisis	t _s	min	10
Caudal	Q	l/s	1
Densidad de corriente	i _x	A/m ²	18,67
Intensidad de corriente	I	A	924
Voltaje	V	V	459
Potencia	P	kW	424

Realizado por: CAMBO, Nelson, 2017

3.2.5. Diseño de un sedimentador convencional

La sedimentación, conocida también como decantación, es el proceso mediante el cual los sólidos suspendidos en un fluido se separan del mismo por efecto de la gravedad.

Generalmente el agua en movimiento arrastra partículas granulares y materia floculenta de carácter liviano, manteniéndose en suspensión. La remoción de estos materiales se logra reduciendo la velocidad del agua para que de esta manera las partículas en suspensión se depositen en un determinado tiempo de retención (Valencia, 2013, p. 35).

En un modelo de sedimentación convencional se puede dividir en cuatro partes o zonas: Entrada, Salida, Sedimentación y Retención de partículas sedimentadas.

a) Zona de entrada

Estructura hidráulica de transición, que permite una distribución uniforme del flujo dentro del sedimentador.

b) Zona de sedimentación

Consta de un canal rectangular con volumen, longitud y condiciones de flujo adecuados para que sedimenten las partículas. La dirección del flujo es horizontal y la velocidad es la misma en todos los puntos, flujo pistón.

c) Zona de salida

Constituida por un vertedero, canaletas o tubos con perforaciones que tienen la finalidad de recolectar el efluente sin perturbar la sedimentación de las partículas depositadas.

d) Zona de recolección de lodos

Constituida por una tolva con capacidad para depositar los lodos sedimentados, y una tubería y válvula para su evacuación periódica.

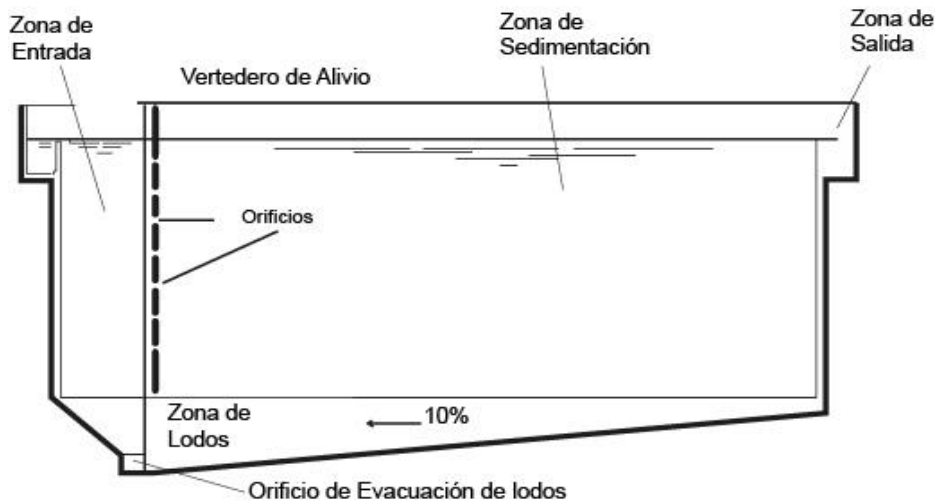


Figura 14-3. Sedimentador convencional

Fuente: UNATSABAR, OPS/CEPIS/05.158, 2005

Realizado por: CAMBO, Nelson, 2017.

Zona de sedimentación:

- Área superficial de la zona de sedimentación, (A_s , m²)

Corresponde al área superficial de la zona de sedimentación. Empleando una velocidad terminal o de sedimentación a caudal medio típico de la tabla 9-3, se determina el A_s .

Tabla 9-3: Velocidades terminales para decantadores rectangulares.

Caudal	Mínimo (m/h)	Típico (m/h)	Máximo (m/h)
Medio	0,8	1,3	1,8
Máximo	1,8	2,2	2,6

Fuente: HERNÁNDEZ. Manual de Depuración Uralita, p. 96

$$A_s = \frac{3600 * Q}{V_s}$$

Ecuación: 17-3

Dónde:

V_s : velocidad de sedimentación, (m/h)

Q : caudal de diseño, (m³/s)

$$A_s = \frac{3600 * 0.001}{1,3}$$

$$A_s = 2,78 \text{ m}^2$$

- **Longitud de la zona de sedimentación, (L_2 , m)**

UNATSABAR (2005) asumiendo un ancho del sedimentador ($B=1,4m$), se determina la longitud de la zona de sedimentación.

$$L_2 = \frac{As}{B}$$

Ecuación: 18-3

Dónde:

As: área superficial de la unidad, (m^2)

B: ancho de la unidad, (m)

$$L_2 = \frac{2,78 m}{1,4 m}$$

$$L_2 = 1,99 m$$

- **Longitud total del sedimentador, (L , m)**

Según (UNATSABAR, 2005) establece que la ubicación de una pantalla difusa debe estar entre 0,7 a 1,0 m de distancia de la pared de entrada, se asume una distancia de separación de la pantalla difusa (L_1) de 0,7 m.

$$L = L_1 + L_2$$

Ecuación: 19-3

Dónde:

L_1 : separación de la pantalla difusa, (m)

L_2 : longitud de la zona de sedimentación, (m)

$$L = 0,7m + 1,99 m$$

$$L = 2,69 m$$

- **Altura total del sedimentador, (H_T , m)**

UNATSABAR (2005) señala que los sedimentadores deben tener una altura del sedimentador (H) de 1,5 a 2,5 m, además indica que el fondo de la unidad debe tener una pendiente del 5 al 10% de la longitud de la zona de sedimentación (L_2) para facilitar el deslizamiento del sedimento, de acuerdo a lo indicado se asume un (H) de 1,5 m y una pendiente del 10% para determinar la H_T .

$$H_T = H + 0,10 * L_2$$

Ecuación: 20-3

Dónde:

H: altura del sedimentador, (m)

L₂: longitud de la zona de sedimentación, (m)

$$H_T = 1,5m + 0,10 * 1,99m$$

$$H_T = 1,70m$$

- **Volumen del sedimentador, (V, m³)**

$$V = L_2 * B * H$$

Ecuación: 21-3

Dónde:

L: longitud de la zona de sedimentación, (m)

B: ancho de la unidad, (m)

H: longitud de la zona de sedimentación, (m)

$$V = 1,99 m * 1,4 m * 1,5 m$$

$$V = 4,18 m^3$$

- **Tiempo de retención hidráulica, (T_o, min)**

$$T_o = \frac{V}{Q}$$

Ecuación: 22-3

Dónde:

V: volumen del sedimentador, (m³)

Q: caudal de diseño, (m³/min)

$$T_o = \frac{4,18 m^3}{0,06 \frac{m^3}{min}}$$

$$T_o = 70 min$$

- **Velocidad horizontal (V_H , m/s)**

$$V_H = \frac{100 * Q}{B * H}$$

Ecuación: 23-3

Dónde:

- Q: caudal de diseño, (m^3/s)
- B: ancho de la unidad, (m)
- H: altura de la unidad, (m)

$$V_H = \frac{100 * 0,001m^3/s}{1,4m * 1,5m}$$

$$V_H = 0.048cm/s$$

Zona de entrada:

- **Área total de los orificios, (A_{TO} , m^2)**

UNATSABAR (2005) explica que la velocidad de paso (V_o) entre orificios no debe superar los 0,15 m/s para no crear perturbaciones dentro de la zona de sedimentación, se asume una V_o de 0,1 m/s.

$$A_{TO} = \frac{Q}{V_o}$$

Ecuación: 24-3

Dónde:

- Q: caudal de diseño, (m^3/s)
- V_o : velocidad de paso, (m/s)

$$A_{TO} = \frac{0,001m^3/s}{0,1m/s}$$

$$A_{TO} = 0,01m^2$$

- **Área de cada orificio, (A_{CO} , m^2)**

Se asume un diámetro de orificio (do) de 0,03m.

$$A_{CO} = \pi \left(\frac{do}{2} \right)^2$$

Ecuación: 25-3

$$Aco = \pi \left(\frac{0,03}{2} \right)^2$$

$$Aco = 0,00071m^2$$

- **Número de orificios, (No)**

Los orificios deben ser aboquillados con un ángulo no mayor a 15° en el sentido del flujo.

$$No = \frac{A_{TO}}{Aco}$$

Ecuación: 26-3

Dónde:

A_{TO}: área total de los orificios, (m²)

A_{CO}: área de cada orificio, (m²)

$$No = \frac{0,01m^2}{0,00071m^2}$$

$$No = 14$$

- **Porción de altura de la pantalla con orificios, (h, m)**

$$h = H - \frac{2}{5} * H$$

Ecuación: 27-3

Dónde:

H: altura de la unidad, (m)

$$h = 1,5m - \frac{2}{5} * 1,5m$$

$$h = 0,9m$$

- **Espacio entre filas, (ef, m)**

Se asume un número de filas de orificios (nf) de 3, entonces se tiene el número de columnas (nc) de 5.

$$ef = \frac{h}{nf}$$

Ecuación: 28-3

Dónde:

h: porción de altura de la pantalla con orificios, (m)

nf: número de filas de orificios

$$ef = \frac{0,9m}{3}$$

$$ef = 0,3m$$

- **Espacio entre columnas, (ec, m)**

$$ec = \frac{B - ef(nc - 1)}{2}$$

Ecuación: 29-3

Dónde:

B: ancho de la unidad (m)

ef: espacio entre filas

nc: número de columnas

$$ec = \frac{1,4m - 0,3m(5 - 1)}{2}$$

$$ec = 0,1m$$

Zona de salida:

- **Altura del agua sobre el vertedero, (Hw, m)**

Con un vertedero de salida de longitud igual al ancho de la unidad (B) se tiene el Hw.

$$H_w = \left(\frac{Q}{1,84 * B} \right)^{2/3}$$

Ecuación: 30-3

Dónde:

Q: caudal de diseño, (m³/s)

B: ancho de la unidad, (m)

$$H_w = \left(\frac{0,001m^3/s}{1,84 * 1,4m} \right)^{2/3}$$

$$H_w = 0,0053 \text{ m}$$

$$H_w = 0,53 \text{ cm}$$

Tabla 10-3: Resultados del diseño del sedimentador

Descripción	Símbolo	Unidad	Valor
ZONA DE SEDIMENTACIÓN			
Área superficial de la zona de sedimentación	As	m ²	2,78
Longitud de la zona de sedimentación	L ₂	m	1,99
Ancho del sedimentador	B	m	1,40
Separación de la pantalla difusora	L ₁	m	0,70
Longitud total del sedimentador	L	m	2,69
Altura del sedimentador	H	m	1,50
Altura total del sedimentador	H _T	m	1,70
Volumen del sedimentador	V	m ³	4,18
Tiempo de retención hidráulica	To	min	70
Velocidad horizontal	V _H	cm/s	0,048
ZONA DE ENTRADA (PANTALLA DIFUSORA)			
Área total de los orificios	A _{TO}	m ²	0,01
Área de cada orificio	A _{CO}	m ²	0,00071
Número de orificios	No	-----	14
Porción de altura de la pantalla con orificios	H	m	0,9
Espacio entre filas	E _f	m	0,3
Espacio entre columnas	E _c	m	0,1
ZONA DE SALIDA			
Altura del agua sobre el vertedero	H _w	cm	0,53

Realizado por: CAMBO, Nelson, 2017

3.3. Proceso de Producción

El agua clarificada es enviada desde una cisterna hacia el electrocoagulador en donde se dan las reacciones electroquímicas y pasa a un sedimentador para la separación de sólidos, obteniéndose aguas con menor grado de contaminación.

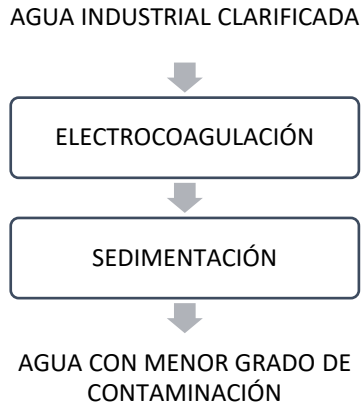


Figura 15-3. Diagrama de tratamiento de aguas

Realizado por: CAMBO, Nelson, 2017

3.4. Requerimientos de tecnología, equipos y maquinaria

Tabla 11-3: Materiales y equipos de muestreo

Materiales	Equipos
Botella de vidrio ámbar con tapa Frascos de plástico Vaso de precipitación Balde de 20 litros Guantes Mascarilla Mandil Casco Gafas	Cámara fotográfica

Realizado por: CAMBO, Nelson, 2017

Tabla 12-3: Materiales y quipos para determinación del volumen de agua clarificada

Materiales	Equipos
Flexómetro Guantes Mascarilla Mandil Casco Gafas	Cámara fotográfica

Realizado por: CAMBO, Nelson, 2017

Tabla 13-3: Materiales, equipos y reactivos utilizados en pruebas de tratamiento

Materiales	Equipo	Reactivos
Celda de electrocoagulación: <ul style="list-style-type: none"> - Cables de cobre # 14 de color rojos y negros - Cocodrilos - Terminales de cobre - Celda en metacrilato de metilo de 5 - Electrodo de aluminio y hierro - Uvalam (Pegamento) - Grifo Vasos de precipitación Matracas erlenmeyer Pipetas Varilla de agitación Flexómetro	Multímetro Fuente de alimentación CD Cámara fotográfica Cronómetro	Agua destilada Floculantes (catiónicos, aniónicos y super floc IP) Ácido clorhídrico Cloruro de sodio

Realizado por: CAMBO, Nelson, 2017

Tabla 14.3: Materiales, equipos y reactivos utilizados en las caracterizaciones de aguas

Materiales	Equipos	Reactivos
Vasos de precipitación Probetas Piseta Pipetas Balones Embudo Papel filtro Escobillas de cerdas Gradilla Cronómetro Caja Petri	pH-metro Conductímetro Baño maría Estufa Desecador Balanza analítica Termoreactor Espectrofotómetro vis Espectrofotómetro de adsorción atómica Compresor de aire seco Espectrofotómetro infra rojo	Viales de DQO Acetileno puro Óxido nítrico extra puro Estándar para metales grado AAS C Agua destilada Ácido nítrico concentrado Hexano grado ACS Sulfato de sodio Gel de sílice

Fuente: LABSU.2016. (Laboratorio de suelos del Vicariato Apostólico de Aguarico)

Realizado por: CAMBO, Nelson, 2017

3.5. Análisis de costo/beneficio del proyecto

➤ Costo de construcción del equipo:

Se consideran los costos de ingeniería, equipos, materiales e instalación.

Tabla 15-3: Costos de construcción del equipo

Rublo	Descripción	Desglose (USD)	Precio (USD)
1	Ingeniería y diseño		1395,32
2	Electrocoagulador:		14565,00
	Celda en acero negro de 6	280	
	110 electrodos de aluminio	2108,7	
	2 platinas de cobre	100	
	9 m de cable eléctrico rojo de 10 AWG	3,15	
	9 m de cable eléctrico negro de 10 AWG	3,15	
	Un codo 2 in 90° HG	4,80	
	Una Tee 2 in HG	5,20	
	1,5 m de tubo 2 in acero galvanizado	20	
	Una válvula de bola 2 in	40	
	Sand Blasting interior	300	
	Revestimiento anticorrosivo	200	
	Fuente de alimentación CD	10000	
	Ensamblaje y Construcción	1500	
3	Sedimentador:		2120,00
	Sedimentador en acero negro de 6	980	
	Malla perforada	140	
	Construcción	1000	
4	Instalación y puesta en marcha		500,00
	Costo Total		18580,32

Realizado por: CAMBO, Nelson, 2017

El costo total de construcción del equipo es de \$18780,32.

➤ **Costo de tratamiento:**

El equipo de electrocoagulación requiere de un suministro eléctrico para que puedan darse las reacciones de electrocoagulación en la involucra el consumo de electrodos y consumo eléctrico, por ende, se va a evaluar estas dos cantidades.

La energía y los electrodos son cantidades de consumo por m³ de aguas residuales tratadas. Los precios unitarios de la energía eléctrica para la industria estipulado por la Corporación Nacional de Electricidad Sucumbíos (CNEL) es 0,091 USD/kWh. El precio del material del electrodo en el mercado local es de 4,36 USD/kg.

El cálculo de la energía consumida se expresa (Ozyonar & Karagozoglú; 2011, p. 177):

$$E = \frac{V * I * t_s}{V_{ef} * 1000}$$

Ecuación: 31-3

Dónde:

E: energía consumida por el electrocoagulador, (kWh/m³)

V: voltaje de la celda, (V)

I: intensidad aplicada a la celda, (A)

t_s: tiempo de electrolisis (h)

V_{ef}: volumen efectivo de la celda, (m³)

$$E = \frac{2,6V * 3A * 0,167h}{1,98 \times 10^{-3} m^3 * 1000}$$

$$E = 0,658 \frac{kWh}{m^3}$$

El costo de energía consumida por metro cubico de agua tratada se determina de la siguiente manera.

$$\text{Costo de energia} = 0,658 \frac{kWh}{m^3} * 0,091 \frac{USD}{kWh}$$

$$\text{Costo de energia} = 0,06 \frac{USD}{m^3}$$

La cantidad de electrodo consumido se determina de acuerdo con la ley de Faraday (Ozyonar & Karagozoglu; 2011, p. 177).

$$W = \frac{I * t_s * M_A}{F * n * V_{ef}}$$

Ecuación 32-3

Dónde:

W: cantidad de metal de electrodo disuelto, (g/m³)

t_s: tiempo de electrolisis (s)

M_A: masa molar del electrodo (g/mol)

F: constante de Faraday, 96500 (C/mol)

n: número de electrones de transferencia

$$W = \frac{3A * 600s * 26,98g/mol}{96500C/mol * 3 * 1,98 \times 10^{-3} m^3}$$

$$W = 84,72 g/m^3$$

El costo de consumo de electrodos por metro cubico de agua tratada se determina.

$$\text{Costo de electrodos} = 0,08472 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 4,36 \frac{\text{USD}}{\text{kg}}$$

$$\text{Costo de electrodos} = \frac{0,37\text{USD}}{\text{m}^3}$$

Tabla 16-3: Estimación de costos de tratamiento

Costo de tratamiento	USD/m ³	%
Consumo de electrodos	0,37	86,05
Consumo energético	0,06	13,95
Total	0,43	100

Realizado por: CAMBO, Nelson, 2017

3.6. Cronograma de ejecución del proyecto

Tabla 17-3: Cronograma de ejecución del proyecto

ACTIVIDAD	TIEMPO																							
	1° mes				2° mes				3° mes				4° mes				5° mes				6° mes			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Revisión bibliográfica	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Caracterización del agua industrial clarificada				■				■				■				■				■				■
Realizar pruebas de tratabilidad para identificar las variables de diseño				■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■								
Diseño del electrocoagulador									■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■				
Validar el diseño del electrocoagulador													■	■	■	■								
Redacción del proyecto final																	■	■	■	■				
Empastado y presentación de trabajo final																					■	■	■	■
Auditoría académica																								
Defensa del proyecto																								

Realizado por: CAMBO, Nelson, 2017

CONCLUSIONES

- Las aguas industriales clarificadas de la empresa Plusambiente, según caracterización inicial de 3 muestras compuestas presento los parámetros que se encontraron fuera de norma. Siendo el promedio de estos; CE 5625 uS/cm, ST 6044,45 mg/l y DQO 136,52 mg/l.
- Mediante las pruebas de tratabilidad por medio de una simulación del proceso se identificaron y se definieron variables; tiempo de electrolisis 10 min, distribución espacial 1 cm, ánodos y cátodos de Al, y otras que deberían tomarse en cuenta en cálculos de ingeniería como el caudal, intensidad y voltaje.
- Mediante cálculos de ingeniería se desarrolló el dimensionamiento del electrocoagulador para tratar un caudal de 1 l/s, siendo de (1,48 x 0,64 x 0,79) m de longitud largo y altura, y para su funcionamiento se requiere de una fuente de alimentación CD con una capacidad de 924^a y 459V. Además, se dimensiono un sedimentador convencional como una operación adicional de complemento, el mismo que es (2,69 x 1,70 x 1,40) m de longitud total, altura total y ancho de la unidad.
- Se validó el diseño mediante la caracterización final del agua, en donde se obtuvieron los siguientes porcentajes en remoción; 5,33% de CE, 25,41% de ST y 35,78% del DQO, cabe mencionar que solo el DQO se logra cumplir con norma, mientras que los otros dos parámetros solo se logran reducir, mas no cumplir con la normativa.
- Antes de la disposición final de los sedimentos producidos en el tratamiento, estos serán enviados a un lecho de secado que existe en la empresa para su deshidratación.

RECOMENDACIONES

- Realizar estudios aplicados a sistemas de filtración y/o electrodiálisis para reducir los parámetros que están todavía fuera de norma.
- Realizar estudios de investigación sobre la aplicación de electrodos inertes en electrocoagulación.
- Alimentar el agua clarificada al electrocoagulador con un pH menor o igual a 7, en vista que en este proceso el pH se incrementa, incluso sobre los límites permisibles por la norma.
- Intercambiar la polaridad de los electrodos para que el desgaste sea tanto en los ánodos y cátodos.
- El personal que opera el equipo debe ser calificado y con entrenamiento, ya que controlara altas intensidades.
- Tener cuidado con las conexiones hacia los electrodos puede provocar daños irreparables a la fuente de alta potencia CD.
- Realizar una limpieza del electrocoagulador y del sedimentador al final de cada tratamiento.

BIBLIOGRAFÍA

1. **ARANGO, Álvaro.** Efectos del pH y la conductividad en la electrocoagulación de aguas residuales de la industria láctea. *Rev. Producción + limpia* [en línea], 2012, Vol. 7, No. 1, pp. 59-67.
[Consultado: 22 abril del 2016].
URL: <http://www.scielo.org.co/pdf/pml/v7n1/v7n1a06.pdf>
2. **ARANGO, Álvaro, & GARCÉS, Luis.** Diseño de una celda de electrocoagulación para el tratamiento de aguas residuales de la industria láctea. *Rev. Universidad EAFIT* [en línea], 2007, Vol. 43, No. 147, pp. 56-67.
[Consultado: 22 abril 2016].
URL: <http://publicaciones.eafit.edu.co/index.php/revista-universidad-eafit/article/view/764/672>
3. **ARANGO, Álvaro., & GARCÉS, Luis.** Influencia de la conductividad eléctrica en la electrocoagulación de aguas residuales de la industria láctea. *Producción + Limpia* [en línea], 2009, Vol. 4, No. 2, pp. 54-64.
[Consulta: 20 abril 2016].
URL: <http://www.lasallista.edu.co/fxcul/media/pdf/RevistaLimpia/Vol4n2/53-64.pdf>
4. **ARISTIZÁBAL CATRILLÓN, Adriana, & BERMÚDEZ AGUDELO, María.** Estudio de la factibilidad de un sistema de electrocoagulación para tratamiento de aguas procedentes de lavanderías industriales con fines de reuso (**TESIS PREGRADO**). Universidad Pontificia Boliviana, Ingeniería Química, Medellín-Colombia. 2007. pp. 68-70.
[Consulta: 2016-05-02].
URL: <http://www.cntq.gob.ve/cdb/documentos/quimica/220.pdf>
5. **CASTILLO, Hugo.** Los procesos electroquímicos aplicados al control ambiental Enriquez. La experiencia ecuatoriana. *Rev. Ecuambiente de Asociación ecuatoriana de ingeniería sanitaria y ambiental* [en línea]. 2010, (Ecuador), Vol. 19, No. 1, p. 23.
[Consulta: 22 abril 2016].
URL: <http://aeisa.com.ec/revista-ecuambiente-19/>

6. **CHEN, Guohua.** Electrochemical Technologies in Wastewater Treatment. *Separation and purification technology*. 2008, Vol. 38, No. 1, p. 5.
7. **CONSOLIDER TRAGUA.** Tecnologías de tratamiento de aguas para la reutilización [en línea]. España: ISBN 978-84-695-3985-9, 2010, p. 140.
[Consulta: 26 abril 2016].
URL: http://www.consolider-tragua.com/documentos/Tecnologias_tratamiento_agua.pdf
8. **ECUADOR, NORMA TÉCNICA (NTE INEN 2169:98).** Agua. Calidad del agua. Muestreo. Quito- Ecuador, INEN, 2013. pp. 3-7.
9. **ECUADOR, MINISTERIO DEL AMBIENTE (RAOHE, Decreto 1215 del 2001)** Reglamento Ambiental para Operaciones Hidrocarburíferas del Ecuador. Quito- Ecuador. 2001, p. 56.
10. **GUANOLUIZA, Luis.** Dimensionamiento de un sistema de electrocoagulación aplicado al tratamiento de aguas residuales domésticas, con o sin irradiación de electrones acelerados (**TESIS PREGRADO**). Escuela Politécnica Nacional, Ingeniería Química, Quito, Ecuador. 2013
11. **HERMOSA, Antonio.** Principios de electricidad y electrónica I. Barcelona-España: Marcombo, 2000, p. 35.
12. **HERNÁNDEZ MUÑOZ, Aurelio et al.** Manual de depuración uralita. Sistemas para depuración de aguas residuales en núcleos de hasta 20.000 habitantes. 2ª ed. Uralita, S.A, 2004. pp. 67-116.
13. **MENDIETA, Mayra.** Dimensionamiento de un proceso de electrocoagulación para el tratamiento de aguas lixiviadas del relleno sanitario. El Inga. (**TESIS PREGRADO**). Escuela Politécnica Nacional, Ingeniería Química. Quito, Ecuador. 2013. pp. 17-18.
14. **MOLLAH, M. et al.** Fundamentals, present and future perspectives of electrocoagulation. *Journal of hazardous materials* [en línea], 2004, Vol. 11, No.1, pp. 199-210.
[Consulta: 21 abril 2016].
URL: https://www.researchgate.net/publication/51364269_Fundamentals_present_and_future_perspectives_of_electrocoagulation

- 15. OZYONAR, Fuat & KARAGOZOGLU, Bunyamin.** “Operating cost analysis and treatment of domestic wastewater by electrocoagulation using aluminum electrodes”. *Pol. J. Environ. Stud* [online]. 2011, Vol. 20 No. 1, p. 173-179.
[Consulta: 22 de febrero 2017]
URL: <http://docplayer.net/25249104-Operating-cost-analysis-and-treatment-of-domestic-wastewater-by-electrocoagulation-using-aluminum-electrodes.html>
- 16. PHALAKORNKULE, C. et al.** Performance of an Electrocoagulation Process in Treating Direct Dye: Batch and Continuous Upflow Processes. *World Academy of Science, Engineering and Technology* [online], 2009, Vol. 1, No. 1, pp. 277-282.
[Consulta: 22 de febrero 2017].
URL:
<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.193.4000&rep=rep1&type=pdf>
- 17. PIÑA, M. et al.** Revisión de variables de diseño y condiciones de operación en la electrocoagulación. *Rev. Mex. Ing. Quím* [online]. 2011, Vol. 10, No.2, pp. 257-271.
[Consulta: 28 de mayo 2016]
URL: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1665-27382011000200010&lng=es&nrm=iso
- 18. RESTREPO, Ana et al.** La Electrocoagulación: retos y oportunidades en el tratamiento de aguas. *Producción + limpia* [en línea], 2012, Vol. 1, No.2, pp. 58-77.
[Consultado: 20 de abril 2016]
URL: http://www.lasallista.edu.co/fxcul/media/pdf/RevistaLimpia/vol1n2/pl_v1n2_58-77_electrocoagulacion.pdf
- 19. RODRÍGUEZ, Antonio et al.** Tratamientos avanzados de aguas residuales industriales. Madrid-España, 2006. p. 24
- 20. SUÁREZ, Joaquín., JÁCOME, Alfredo., Y Pablo. URES.** *Electrocoagulación-Electroflotación (FT-AVA-002)* [en línea]. Indetex, 2015.
[Consulta: 12 de mayo 2016].
URL: [https://www.wateractionplan.com/documents/186210/200862/FT-AVA-002-ELECTROCOAGULATIONELECTROFLOCCULATION+\(SPANISH\).pdf/463f42e6-773c-4875-92f0-e0c6b02a90cc](https://www.wateractionplan.com/documents/186210/200862/FT-AVA-002-ELECTROCOAGULATIONELECTROFLOCCULATION+(SPANISH).pdf/463f42e6-773c-4875-92f0-e0c6b02a90cc)

21. UNATSABAR, OPS/CEPIS. *Guía para el diseño de desarenadores y sedimentadores* [en línea]. Lima-Perú, 2005.

[Consulta: 2016-12-10]

URL:http://www.bvsde.paho.org/bvsacg/guialcalde/2sas/d23/035_dise%C3%B1o%20de%20desarenadores%20y%20sedimentadores/Dise%C3%B1o%20de%20desarenadores%20y%20sedimentadores.pdf

22. VALENCIA, Adriana. Diseño de un sistema de tratamiento para aguas residuales de la cabecera parroquial de San Luis-Provincia de Chimborazo (**TESIS PREGRADO**). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Riobamba, Ecuador. 2013. pp.35-87.

ANEXOS

Anexo I. Toma de muestras



Lugar de muestreo

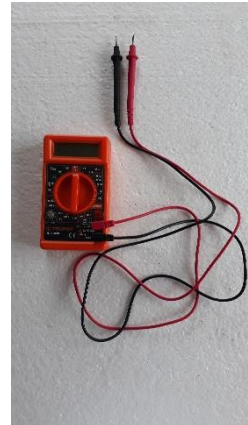


Muestreo

Anexo II. Sistema de electrocoagulación para pruebas



Electro de aluminio y hierro



Multímetro



Fuente de alimentación CD





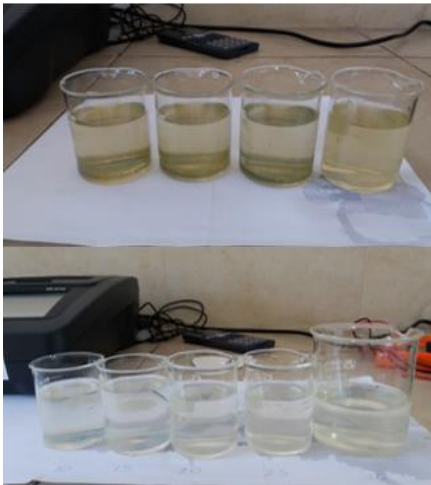



Cronómetro



Simulación de un sistema de electrocoagulación

Anexo III. Pruebas de tratamiento

	
<p>Simulación del sistema de tratamiento</p>	<p>Descarga de sólidos por flotación</p>
	
<p>Conprobación de intensidad</p>	<p>Sólidos generados</p>
	
<p>Obtención de aguas tratadas</p>	<p>Agua inicial y agua final</p>

Anexo IV. Equipos utilizados en la caracterización



Termoreactor



Espectrofotómetro



Sólidos después de la evaporación a Baño maria



Estufa



Ph-metro



Conductímetro

ESPOCH

INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Análisis solicitado por: Nelson Cambo

Fecha de Análisis: 28/11/16

Fecha de Entrega de Resultados: 29/11/16

Tipo de muestras: Agua industrial clarificada

Localidad: Joya de los Sachas (Plusambiente)

TRABAJO DE TESIS

Análisis Químico

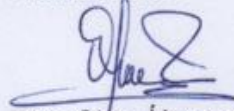
Determinaciones	Unidades	*Método	**Límites	Resultados
pH	Und.	4500-B	5-9	6,23
Conductividad	μ Siems/cm	2510-B	<2500	5200
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	5210-B	<120	137
Sólidos Totales	mg/L	2540-A	<1700	5412

*Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF 17 ed.

**RAOHE, Tabla 4 a; Límites de descarga a un cuerpo de agua.

Observaciones:

Atentamente.



Dra. Gina Álvarez R.
RESP. LAB. ANÁLISIS TÉCNICOS



Nota: El presente informe afecta solo a la muestra analizada. Los ensayos han sido realizados, por el estudiante bajo la dirección del técnico responsable.

AMPLIACIÓN AL INFORME DE ENSAYO Nº:5832

SR. NELSON CAMBO

Dirección: Guamayacu.

SAS: 16-529

Fecha y hora de ingreso al laboratorio:	2016/11/17 15:00	Fecha final de Análisis	2016/11/29	T máx: 32°C
Toma de muestra:	Sr. Nelson Cambo	Fecha y Hora	2016/11/17	T mín: 22°C
				12:00

Código de Muestra: a 4953.

Identificación: Agua inicial.

Parámetros, métodos y resultados:

Parámetros	Método de Ensayo	Referencia	Límite Máximo Permisible	Unidad	a 4953	Incertidumbre (K = 2)
Potencial hidrógeno	ITE-AQLAB-01	SM 4500-H ⁺ B	5,0 - 9,0	~	6,30	± 0,05
Conductividad eléctrica	ITE-AQLAB-02	SM 2510 B	< 2 500	uS/cm	6 605	± 80
Sólidos totales	ITE-AQLAB-03	SM 2540 B	< 1 700	mg/L	7 488,44	± 10%
Demanda química de oxígeno	ITE-AQLAB-07	HACH 8000	< 120	mg/L	> 150	± 7%
*Bario	ITE-AQLAB-33	SM 3030 B, 3111 D	< 5	mg/L	< 0,30	~
*Cromo (total)	ITE-AQLAB-38	SM 3030 B, 3111 B	< 0,5	mg/L	< 0,05	~
*Plomo	ITE-AQLAB-45	SM 3030 B, 3111 B	< 0,5	mg/L	0,60	~
*Vanadio	ITE-AQLAB-48	SM 3030 B, 3111 D	< 1	mg/L	< 0,20	~
*Hidrocarburos totales	ITE-AQLAB-13	EPA 1664, 418.1	< 20	mg/L	0,87	~

Fuente: Reglamento Ambiental para las Operaciones Hidrocarburíferas Decreto No.1215, febrero 2001.
Tabla # 4 a: Límites permisibles en el punto de descarga de efluentes (descargas líquidas).



Armando Meléndrez
Ing. Armando Meléndrez
DIRECTOR TÉCNICO

Francisco de Orellana, 29 de noviembre de 2016



Los ensayos marcados con (*) no están incluidos en el alcance de la acreditación del SAE.

El informe sólo afecta a la muestra sometida a ensayo. Prohibida la reproducción total o parcial por cualquier medio sin el permiso escrito del laboratorio

Calle Juan Huncite y Fray Gregorio de Alumina, detrás de Concesionario Mazda. Barrio Con Hogar.

e-mail: laboratorio@aqlabec.com · web: www.aqlabec.com Teléfono.: (593) 6 2881715 Celular: 0991666858

Anexo VII. Caracterización inicial tres

 <p>LABSU Laboratorio de Suelos, Aguas y Plantas</p>	<p>VICARIATO APOSTOLICO DE AGUARICO Fray P. de Villarquemado S/N y Av. Labaka E-mail: laboratorio@labsu.com Coca, Provincia de Orellana - Ecuador Telefax:(593) 6- 2881105</p>		 <p>Servicio de Acreditación Ecuatoriano Acreditación N° OAE LE 2C 07-003 LABORATORIO DE ENSAYOS</p>
	<p>INFORME DE ENSAYO N°: 111 873</p>		
	SPS: 16 – 4 119	Análisis de agua	

Coca, 31 de diciembre de 2016

Sr. Nelson Cambo.

Dirección: Joya de los Sachas.

1.- Datos generales:

Recogidas por Sr. Nelson Cambo.
 Fecha hora de toma de muestra 2 016 12 27 15:00.
 Fecha hora ingreso al Laboratorio 2 016 12 28 17:15.
 Fecha del análisis 2 016 12 28 a 2 016 12 31
 Condiciones Ambientales de Análisis. . T. Max. 26,0°C T. Min. 22,0°C
 Código de LabSu Identificación de la muestra.
 a 4 148 Muestra de Agua, # 1.

2.- Resultados / Parámetros y métodos/ referencias:

Ítem	Parámetros	Unidad	a 4 148	PEE-LABSU	Métodos / Norma Referencia	Incertidumbre (K = 2)
1	Conductividad eléctrica	uS/cm	5 070	PEE-LABSU-03	SM 2510 B	± 5%
2	Sólidos totales	mg/L	5 232,92	PEE-LABSU-49	SM 2540 B	± 10%
3	Demanda química de oxígeno	mg/L	122,57	PEE-LABSU-89	HACH 8000	± 5%

3.- Responsables del Informe:

Autorización: 
Ing. Viviana Lara Villegas.
 DIRECTOR TECNICO




Ing. Homero Vela W.
 RESPONSABLE CALIDAD

Notas: El informe sólo afecta a las muestras sometidas a ensayo.
 Prohibida la reproducción total o parcial; por cualquier medio sin el permiso escrito del laboratorio.
 Los ensayos marcados con (*) no están incluidos en el alcance de la acreditación del SAE.



VICARIATO APOSTOLICO DE AGUARICO
Fray P. de Villarquemado S/N y Av. Labaka
E-mail: laboratorio@labsu.com
Coca, Provincia de Orellana - Ecuador
Telefax:(593) 6- 2881105

**INFORME DE
ENSAYO N°: 112 021**

SPS: 17 - 0 009

Análisis de agua



Acreditación N° OAE LE 2C 07-003
LABORATORIO DE ENSAYOS

Coca, 08 de enero de 2017

Sr. Nelson Cambo.

Dirección: Joya de los Sachas.

1.- Datos generales:

Recogidas por.....Sr. Nelson Cambo.
Fecha hora de toma de muestra.....2 016 12 27 15:00.
Fecha hora ingreso al Laboratorio2 017 01 03 10:10.
Fecha del análisis2 017 01 03 a 2 017 01 08.
Condiciones Ambientales de Análisis...T. Max. 25,0°C T. Min. 20,0°C
Código de LabSuIdentificación de la muestra.
a 4 215Muestra de Agua, Industrial # 1.

2.- Resultados / Parámetros y métodos/ referencias:

Ítem	Parámetros	Unidad	a 4 215	PEE-LABSU	Métodos / Norma Referencia	Incertidumbre (K = 2)
1	Plomo	mg/L	0,33	PEE-LABSU-24	SM 3030 B, 3111 B	± 30%

3.- Responsables del Informe:

Autorización: Ing. Gilberto López Pérez
DIRECTOR TÉCNICO



Ing. Ricardo Caicedo Parra
RESPONSABLE CALIDAD

Notas: El informe sólo afecta a las muestras sometidas a ensayo.

Prohibida la reproducción total o parcial; por cualquier medio sin el permiso escrito del laboratorio.

Los ensayos marcados con (*) no están incluidos en el alcance de la acreditación del SAE.

MC2201-05

Página 1 de 1

Anexo VIII. Caracterización final del agua de tratamiento

 <p>LABSU Laboratorio de Suelos, Aguas y Plantas</p>	<p>VICARIATO APOSTOLICO DE AGUARICO Fray P. de Villarquemado S/N y Av. Labaka E-mail: laboratorio@labsu.com Coca, Provincia de Orellana - Ecuador Telefax:(593) 6- 2881105</p>	 <p>Servicio de Acreditación Ecuatoriano Acreditación N° OAE LE 2C 07-003 LABORATORIO DE ENSAYOS</p>
	<p>AMPLIACION AL INFORME DE ENSAYO N°: 112 018</p>	
	SPS: 17 – 0 009	Análisis de agua

Coca, 11 de enero de 2017

Sr. Nelson Cambo.

Dirección: Joya de los Sachas.

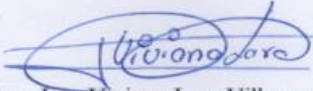
1.- Datos generales:

Recogidas por Sr. Nelson Cambo.
 Fecha hora de toma de muestra 2 017 01 02 15:00.
 Fecha hora ingreso al Laboratorio 2 017 01 02 15:20.
 Fecha del análisis 2 017 01 02 a 2 017 01 11.
 Condiciones Ambientales de Análisis... T. Max. 26,5°C T. Min. 21,0°C
 Código de LabSu **Identificación de la muestra.**
 a 4 211 **Muestra de Agua, Industrial # 11.**

2.- Resultados / Parámetros y métodos/ referencias:

Ítem	Parámetros	Unidad	a 4 211	PEE-LABSU	Métodos / Norma Referencia	Incertidumbre (K = 2)
1	Conductividad eléctrica	uS/cm	4 800	PEE-LABSU-03	SM 2510 B	± 5%
2	Sólidos totales	mg/L	3 903,27	PEE-LABSU-49	SM 2540 B	± 10%
3	Demanda química de oxígeno	mg/L	78,71	PEE-LABSU-89	HACH 8000	± 5%

3.- Responsables del Informe:

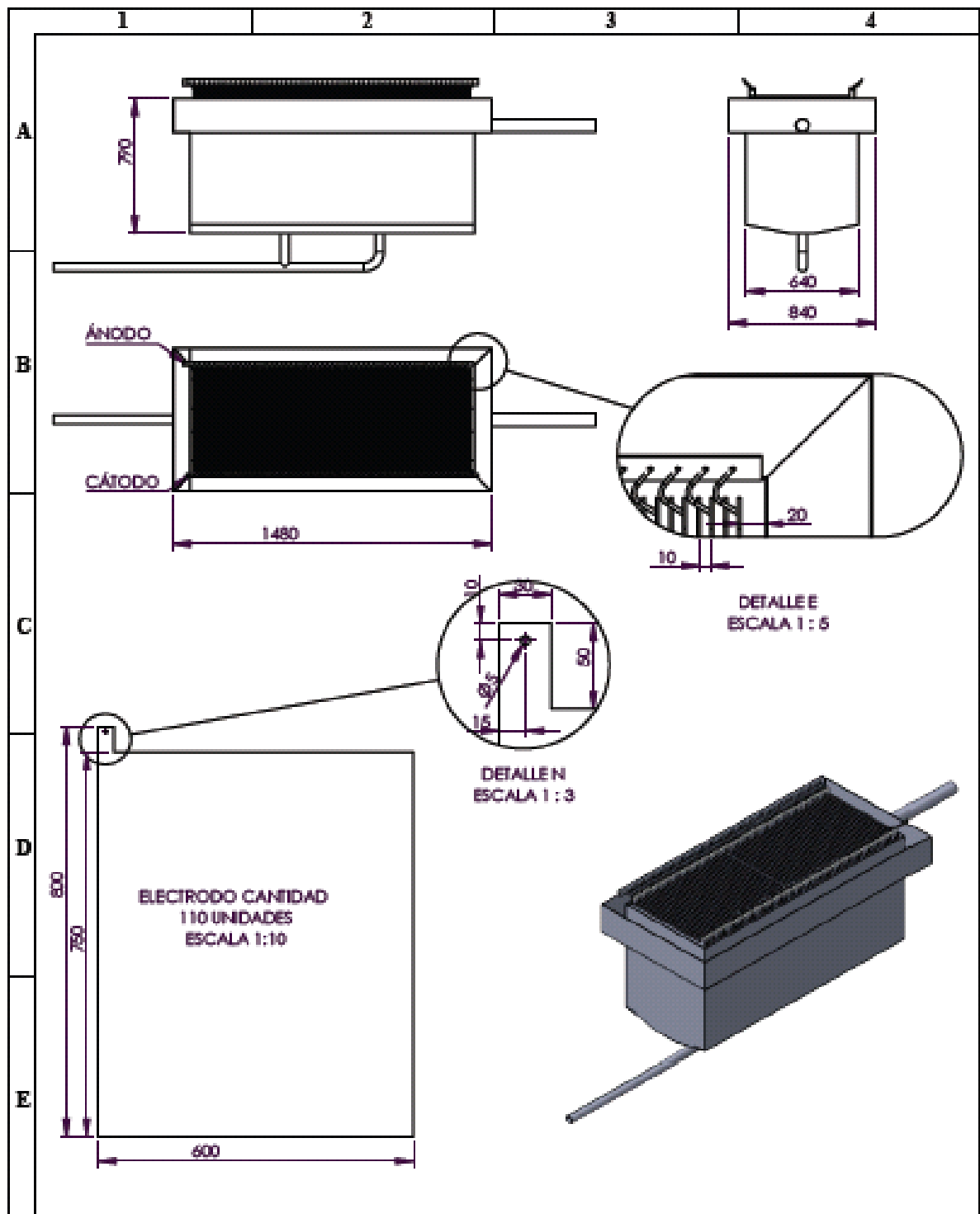

 Autorización: Ing. Viviana Lara Villegas.
 DIRECTOR TECNICO




Ing. Homero Vela W.
 RESPONSABLE CALIDAD

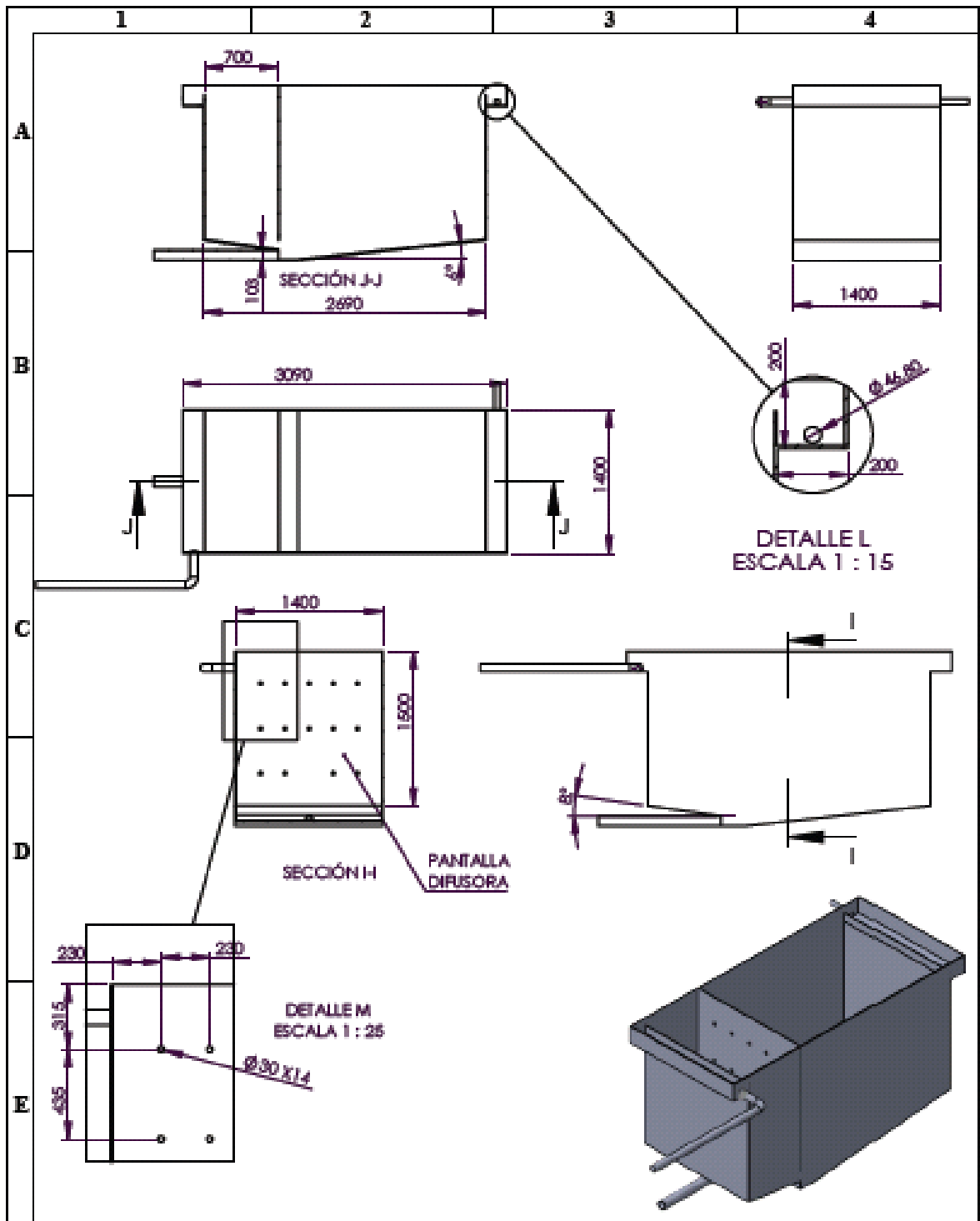
Notas: El informe sólo afecta a las muestras sometidas a ensayo.
 Prohibida la reproducción total o parcial; por cualquier medio sin el permiso escrito del laboratorio.
 Los ensayos marcados con (*) no están incluidos en el alcance de la acreditación del SAE.

Anexo IX. Plano del electrocoagulator



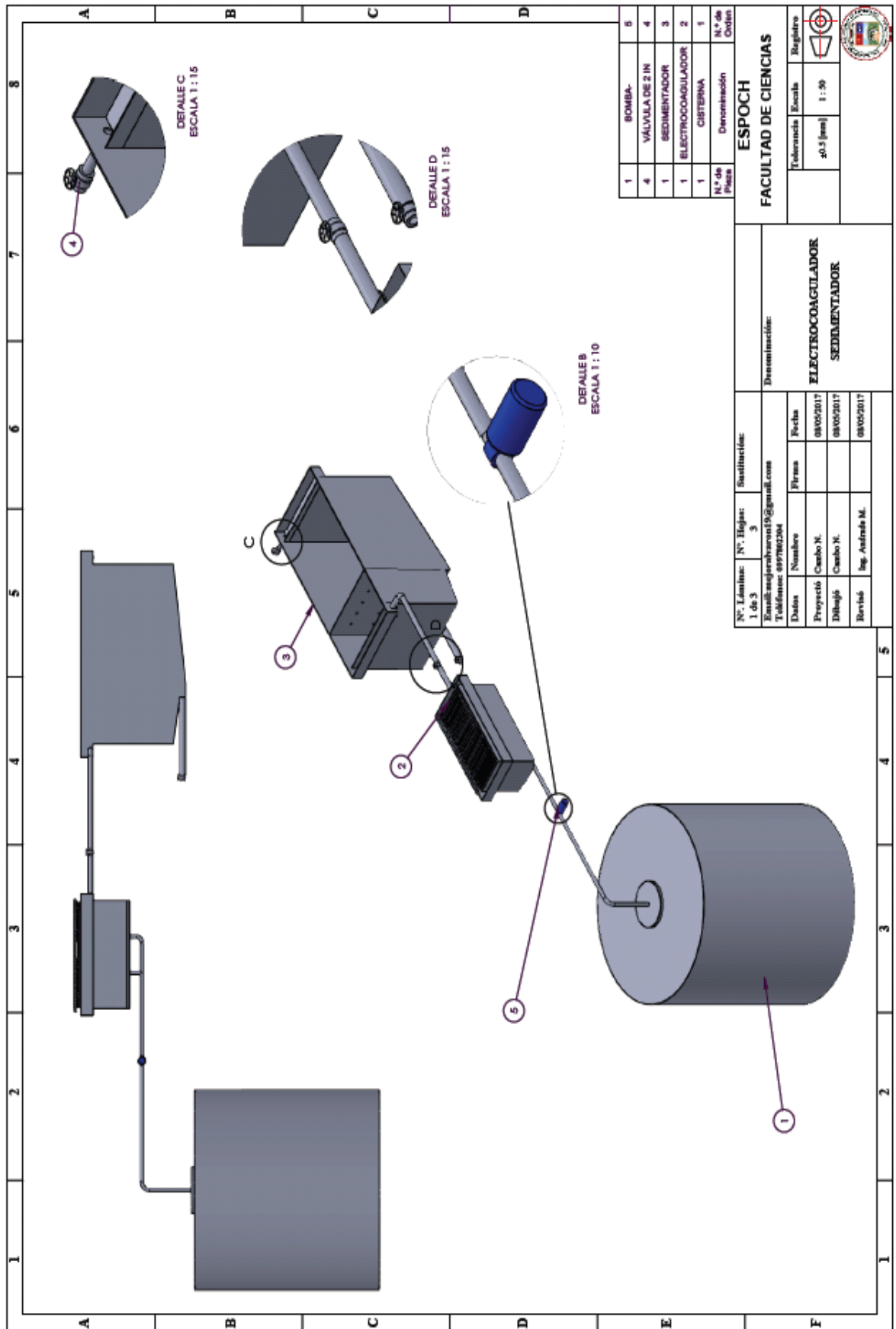
Nº. Lámina: 2 de 3		Nº. Hojas: 3		Sustitución:		ESPOCH FACULTAD DE CIENCIAS																
Email: mejoralvarado1@gmail.com Teléfonos: 0997802304				Denominación:					<table border="1"> <tr> <th>Tolerancia</th> <th>Escala</th> <th>Registro</th> </tr> <tr> <td>±0.5 [mm]</td> <td>1:35</td> <td></td> </tr> </table>		Tolerancia	Escala	Registro	±0.5 [mm]	1:35							
Tolerancia	Escala	Registro																				
±0.5 [mm]	1:35																					
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Datos</th> <th>Nombre</th> <th>Firma</th> <th>Fecha</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Proyectó</td> <td>Camilo N.</td> <td></td> <td>08/05/2017</td> </tr> <tr> <td>Dibujó</td> <td>Camilo N.</td> <td></td> <td>08/05/2017</td> </tr> <tr> <td>Revisó</td> <td>Ing. Andrés M.</td> <td></td> <td>08/05/2017</td> </tr> </tbody> </table>		Datos	Nombre	Firma	Fecha	Proyectó	Camilo N.		08/05/2017	Dibujó	Camilo N.		08/05/2017	Revisó	Ing. Andrés M.		08/05/2017	ELECTROCOAGULADOR.				
Datos	Nombre	Firma	Fecha																			
Proyectó	Camilo N.		08/05/2017																			
Dibujó	Camilo N.		08/05/2017																			
Revisó	Ing. Andrés M.		08/05/2017																			

Anexo X. Plano del sedimentador convencional




N°. Lámina: 3 de 3		N°. Hojas: 3		Sustitución:		ESPOCH FACULTAD DE CIENCIAS																	
Email: mejeravaren19@gmail.com				Teléfono: 0997802304					SEDIMENTADOR														
Denominación:		Tolerancia		Escala		Registro																	
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Datos</th> <th>Nombre</th> <th>Firma</th> <th>Fecha</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Proyectó</td> <td>Carbo N.</td> <td></td> <td>08/05/2017</td> </tr> <tr> <td>Dibujó</td> <td>Carbo N.</td> <td></td> <td>08/05/2017</td> </tr> <tr> <td>Revisó</td> <td>Ing. Andrés M.</td> <td></td> <td>08/05/2017</td> </tr> </tbody> </table>		Datos	Nombre	Firma	Fecha	Proyectó	Carbo N.		08/05/2017	Dibujó	Carbo N.		08/05/2017	Revisó	Ing. Andrés M.		08/05/2017	±0.5 [mm]		1:50			
Datos	Nombre	Firma	Fecha																				
Proyectó	Carbo N.		08/05/2017																				
Dibujó	Carbo N.		08/05/2017																				
Revisó	Ing. Andrés M.		08/05/2017																				

Anexo XI. Plano Global



1	BOMBA-	8
4	VÁLVULA DE 2 IN	4
1	SEDIMENTADOR	3
1	ELECTROCOAGULADOR	2
1	CISTERNA	1
N.º de Piezas		N.º de Orden

ESPOCH	
FACULTAD DE CIENCIAS	
Tolerancia	Escala
±0.5 [mm]	1 : 50
	

Denominación:	
ELECTROCOAGULADOR SEDIMENTADOR	
N.º Láminas:	N.º Hojas:
1 de 3	5
E-mail: mejorbarros15@gmail.com	
Teléfono: 897602204	
Datos	Nombre
Proyecto	Fecha
Diseño	08/05/2017
Revisó	08/05/2017
	08/05/2017
	Ing. Andrés M.