

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y DE RECURSOS
NATURALES

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y
RECURSOS NATURALES



“TRATAMIENTO DEL EFLUENTE INDUSTRIAL DE UNA
PLANTA DE BENEFICIO DE RESES, MEDIANTE EL
MÉTODO DE ELECTROCOAGULACIÓN DE FLUJO A
ESCALA PILOTO”

TESIS PARA OPTAR POR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERÍA
AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES

PRESENTADO POR:

FRANKLIN ARCE HUAMANI

IVÁN ANTHONY CRUZ CHIROQUE

Asesor: Mg. Máximo Fidel Baca Neglia

Callao, Junio, 2019
PERÚ

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL Y DE RECURSOS
NATURALES

COMISION DE GRADOS Y TITULOS
ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS PARA OPTAR EL
TITULO DE INGENIERO AMBIENTAL Y DE RECURSOS
NATURALES
N° 011-2019-JEDT-FIARN

Siendo las 14:20 horas del día jueves 05 de setiembre del 2019, en el Auditorio de la Facultad de Ingeniería Ambiental y de Recursos Naturales ubicado en la Av. Juan Pablo II N° 308-Bellavista-Callao; se dio inicio a la Sustentación de la Tesis titulada "TRATAMIENTO DEL EFLUENTE INDUSTRIAL DE UNA PLANTA DE BENEFICIO DE RESES, MEDIANTE EL MÉTODO DE ELECTROCOAGULACIÓN DE FLUJO A ESCALA PILOTO" presentada para optar el título profesional de Ingeniero Ambiental y de Recursos Naturales de los Bachilleres Franklin Arce Huamani e Iván Anthony Cruz Chiroque.

Contando con la asistencia del Jurado Evaluador y Asesor a fin de dar cumplimiento a la Resolución N° 053-2019-D-FIARN de fecha 27 de agosto del 2019, los mismos que están integrados por los siguientes docentes:

Ing.	Abner Josué Vigo Roldán	Presidente
Ing.	Godofredo Teodoro León Ramírez	Secretario
Lic.	Janet Mamani Ramos	Vocal
Dr.	Máximo Fidel Baca Neglia	Asesor

Terminada la exposición y la absolución de las preguntas del Jurado Evaluador, se invita a los Bachilleres y al público en general se retiren del Auditorio de la Facultad de Ingeniería Ambiental y de Recursos Naturales, para las deliberaciones del caso.

Luego de las deliberaciones el Jurado Evaluador acuerda **APROBAR POR UNANIMIDAD**, no habiendo observación alguna con el Calificativo de BUENO y con ello dar por concluido el proceso de Sustentación de Tesis.

En señal de conformidad firman el Jurado Evaluador y Asesor, siendo las 15:40 horas del día jueves 05 de setiembre del 2019.

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
OFICINA DE SECRETARÍA GENERAL
SECRETARÍA GENERAL DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL
CALLAO
Ing. Abner Josué Vigo Roldán *(Firma)* Presidente
Ing. Godofredo Teodoro León Ramírez *(Firma)* Secretario
Lic. Janet Mamani Ramos *(Firma)* Vocal
Dr. Máximo Fidel Baca Neglia *(Firma)* Asesor

Callao, 23 OCT 2019, día 23

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
OFICINA DE SECRETARÍA GENERAL

DEDICATORIA

Dedicado a las personas que apostaron en este proyecto y tuvieron la disponibilidad de apoyarnos moralmente, académicamente y siempre confían que cada trabajo que nosotros realizamos, lo hacemos mejor cada día.

AGRADECIMIENTO

Agradecimiento a Dios por darnos un día más de vida y poner a personas maravillosas en nuestro camino.

A nuestro Asesor, Ing. Máximo Baca Neglia que nos orientó en este importante proyecto y los valiosos consejos para nuestra formación profesional.

A nuestras amistades que nos dan los ánimos necesarios para enfrentar las adversidades de la vida.

A nuestros docentes que nos brindan sus conocimientos y experiencias para poder innovar y dar soluciones.

Por último, agradecer a todas aquellas personas que fueron guía durante la elaboración y término del estudio de investigación.

ÍNDICE

ÍNDICE	1
INDICE DE TABLAS	3
ÍNDICE DE FIGURAS	4
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	5
CAPITULO I.....	9
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	9
1.1 Identificación del problema.....	9
1.2 Formulación del problema.....	10
1.3 Objetivos de la investigación. -.....	10
1.3.1 Objetivo general	10
1.3.2 Objetivos específicos.....	10
1.4 Justificación e Importancia.....	11
1.4.1 Legal	11
1.4.2 Social	13
1.4.3 Económica.....	14
1.4.4 Ambiental	14
1.4.5 Por su importancia.....	15
CAPITULO II	16
MARCO TEÓRICO.....	16
2.1 Antecedentes del estudio.....	16
2.2 Marco conceptual. -.....	18
2.2.1 Definición de las aguas residuales. -	18
2.2.2 Parámetros de calidad del agua residual de matadero. -.....	19
2.2.3 Tratamiento de aguas residuales.....	21
2.2.4 El Agua. -.....	23
2.2.5 Coagulación Química.	32
2.2.6 Eficiencia de remoción de la carga contaminante.....	40
2.2.7 Bases teóricas de electrocoagulación. -	40

2.2.8	Bases del funcionamiento de la electrocoagulación. -	42
2.2.9	Mecanismo y reacciones	50
2.2.10	Descripción del proceso en una planta de beneficio de reses ...	63
2.3	Términos básicos. –	66
CAPITULO III		68
VARIABLES E HIPÓTESIS.....		68
3.1	Variables de la investigación	68
3.2	Operacionalización de variables.....	68
3.3	Hipótesis:	69
3.3.1	Hipótesis general.....	69
3.3.2	Hipótesis específicas	69
CAPITULO IV.....		70
METODOLOGÍA.....		70
4.1	Tipo de investigación	70
4.2	Diseño de la investigación.....	70
4.2.1	Diseño y montaje del reactor o celda de electrocoagulación	70
4.2.2	Materiales y Equipos	72
4.2.3	Ensayo con Agua Residual de la planta de beneficio de reses ..	73
4.3	Población y muestra.....	73
4.4	Técnicas e instrumentos de recolección de datos	74
4.5	Caracterización de los efluentes generados en la planta de beneficios. -	76
4.6	Procedimientos de recolección de datos. -	78
4.7	Procesamiento estadístico y análisis de datos.	86
CAPITULO V.....		92
RESULTADOS.....		92
CAPITULO VI.....		112
DISCUSIÓN DE RESULTADOS		112
CAPITULO VII.....		127
CONCLUSIONES.....		127

CAPITULO VIII.....	128
RECOMENDACIONES.....	128
CAPITULO XI.....	129
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	129
APENDICE 1: Matriz de Consistencia.....	136
APENDICE 2: Resultados del Análisis del agua residual tratada mediante electrocoagulación.....	137
APENDICE 3: Pruebas de Electrocoagulación	145

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. 1 CATEGORÍA 3- PARÁMETROS PARA RIEGO DE VEGETALES.....	12
Tabla 1. 2 COMPARACIÓN DE LOS LÍMITES ESTÁNDAR DE LAS DISTINTAS JURISDICCIONES MUNDIALES PARA LA DESCARGA DE AGUAS RESIDUALES DE LOS MATADEROS	13
Tabla 2. 1 PROPIEDADES DE LOS COLOIDES MÁS IMPORTANTES	30
Tabla 3. 1 MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.....	68
Tabla 4. 1 EQUIPOS DE MEDICIÓN	72
Tabla 4. 2 MATERIALES DE LABORATORIO.....	73
Tabla 4. 3 REQUISITOS DE TOMA DE MUESTRA Y PRESERVACIÓN.....	75
Tabla 4. 4 MÉTODOS NORMALIZADOS Y EQUIPOS PARA MONITOREO DE AGUAS RESIDUALES	75
Tabla 4. 5 PUNTOS DE MONITOREO DE LA PLANTA DE BENEFICIO	76
Tabla 4. 6 PUNTOS DE MONITOREO DE LA PLANTA DE BENEFICIO	77
Tabla 4. 7 CONDICIONES DE OPERACIÓN DEL DÍA 1.....	78
Tabla 4. 8 CONDICIONES DE OPERACIÓN DEL DÍA 2.....	79
Tabla 4. 9 CONDICIONES DE OPERACIÓN DEL DÍA 3.....	79
Tabla 4. 10 CONDICIONES DE OPERACIÓN DEL DÍA 4.....	80
Tabla 4. 11 CONDICIONES DE OPERACIÓN DEL DÍA 5.....	80
Tabla 4. 12 CONDICIONES DE OPERACIÓN DEL DÍA 6.....	81
Tabla 4. 13 CONDICIONES DE OPERACIÓN DEL DÍA 7.....	81
Tabla 4. 14 CONDICIONES DE OPERACIÓN DEL DÍA 8.....	82
Tabla 4. 15 CONDICIONES DE OPERACIÓN DEL DÍA 9.....	82
Tabla 4. 16 CONDICIONES DE OPERACIÓN DEL DÍA 10.....	83
Tabla 4. 17 CONDICIONES DE OPERACIÓN DEL DÍA 11.....	83
Tabla 4. 18 CONDICIONES DE OPERACIÓN DEL DÍA 12.....	84
Tabla 4. 19 CONDICIONES DE OPERACIÓN PARA DBO, DQO, ACEITES Y GRASA A CAUDAL MEDIO.....	84

Tabla 4. 20 CONDICIONES DE OPERACIÓN PARA DBO, DQO, ACEITES Y GRASAS A CAUDAL MEDIO	85
Tabla 4. 21 CONDICIONES DE OPERACIÓN PARA DBO, DQO, ACEITES Y GRASAS A CAUDAL MEDIO	85
Tabla 4. 22 CONDICIONES DE OPERACIÓN PARA DBO, DQO, ACEITES Y GRASAS A CAUDAL MEDIO	86

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2. 1 ESTRUCTURA MOLECULAR DEL AGUA	25
Figura 2. 2 REPRESENTACIÓN DE LA SOLVATACIÓN DEL ION SODIO	26
Figura 2. 3 TAMAÑO DE LAS PARTÍCULAS SUSPENDIDAS EN EL AGUA.....	27
Figura 2. 4 DISOLUCIONES COLOIDALES	28
Figura 2. 5 CLASIFICACIÓN DE LOS COLOIDES	28
Figura 2. 6 LAS FORMAS MÁS COMUNES DE PARTÍCULAS COLOIDALES.....	30
Figura 2. 7 ESQUEMA DE LAS FUERZAS DE INTERACCIÓN QUE ACTÚAN SOBRE UNA PARTÍCULA EN SUSPENSIÓN	34
Figura 2. 8 MECANISMOS DE COAGULACIÓN DE PARTÍCULAS COLOIDALES	34
Figura 2. 9 MECANISMOS DE DESESTABILIZACIÓN DE EMULSIONES	38
Figura 2. 10 FORMACIÓN DE COMPUESTOS INSOLUBLES A PARTIR DE MATERIA ORGÁNICA SOLUBLE.....	39
Figura 2. 11 INSTALACIÓN DE COAGULACIÓN-FLOCULACIÓN EMPLEADA A ESCALA INDUSTRIAL.....	40
Figura 2. 12 CLASIFICACIÓN DE LAS CELDAS ELECTROQUÍMICAS	44
Figura 2. 13 PARTES DE LA CELDA ELECTROLÍTICA	45
Figura 2. 14 PARTES DE LA CELDA GALVÁNICA	47
Figura 2. 15 REACCIONES EN LAS CELDAS GALVÁNICAS.....	48
Figura 2. 16 DISOLUCIÓN ACUOSA EN LOS METALES HIDRATADOS.....	53
Figura 2. 17 PROCESO DE ELECTROCOAGULACIÓN	54
Figura 2. 18 TIPOS DE CELDAS O REACTORES ELECTROQUÍMICAS.....	56
Figura 2. 19 MODOS DE CIRCULACIÓN DEL AGUA EN EL REACTOR	57
Figura 2. 20 TIPO DE CONEXIÓN ELECTRÓDICA	58
Figura 2. 21 FLUJOGRAMA DEL PROCESO PRODUCTIVO DE LA PLANTA DE BENEFICIO	65
Figura 4. 1 MONTAJE DE CELDA DE ELECTROCOAGULACIÓN	71
Figura 4. 2 FUENTE PODER	71
Figura 4. 3 FLUJOGRAMA DEL PROCESO DE ELECTROCOAGULACIÓN A FLUJO CONTINUO	72
Figura 4. 4 PROGRAMA MINITAB.....	86
Figura 4. 5 LLENADO DE INFORMACIÓN EN MINITAB.....	87
Figura 4. 6 ANÁLISIS DE DISEÑO FACTORIAL	88
Figura 4. 7 DIAGRAMA DE PARETO	88
Figura 4. 8 GRÁFICA DE RESIDUOS	89
Figura 4. 9 GRAFICAS FACTORIALES	90
Figura 4. 10 GRAFICA DE EFECTOS PRINCIPALES	90
Figura 4. 11 GRÁFICA DE INTERACCIÓN.....	91

Figura 5. 1 EFECTOS PRINCIPALES PARA TURBIDEZ.....	92
Figura 5. 2 HISTOGRAMAS DE PARETO PARA TURBIDEZ	93
Figura 5. 3 INTERACCIÓN PARA TURBIDEZ.....	93
Figura 5. 4 GRÁFICO DE RESIDUOS PARA TURBIDEZ.....	94
Figura 5. 5 EFECTOS PRINCIPALES PARA SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS	95
Figura 5. 6 DIAGRAMA DE PARETO PARA SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS	96
Figura 5. 7 GRAFICA DE RESIDUOS PARA SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS	96
Figura 5. 8 INTERACCIÓN PARA SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS	97
Figura 5. 9 DIAGRAMA DE PARETO PARA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA.....	98
Figura 5. 10 GRAFICA DE EFECTOS PRINCIPALES PARA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA	99
Figura 5. 11 GRAFICA DE RESIDUOS PARA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA	99
Figura 5. 12 GRAFICA DE INTERACCIÓN PARA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA	100
Figura 5. 13 DIAGRAMA DE PARETO PARA TEMPERATURA.....	101
Figura 5. 14 GRÁFICO DE EFECTOS PRINCIPALES PARA TEMPERATURA.....	102
Figura 5. 15 GRAFICA DE RESIDUOS PARA TEMPERATURA.....	102
Figura 5. 16 GRÁFICA DE INTERACCIÓN PARA TEMPERATURA.....	103
Figura 5. 17 DIAGRAMA DE PARETO PARA EL PH	104
Figura 5. 18 GRAFICA DE EFECTOS PRINCIPALES PARA PH	105
Figura 5. 19 GRAFICA DE RESIDUOS PARA PH.....	105
Figura 5. 20 GRÁFICA DE INTERACCIÓN PARA PH.....	106
Figura 5. 21 PRUEBAS DE ELECTROCOAGULACIÓN.....	145

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 5. 1 REMOCIÓN DE TURBIEDAD	107
Gráfico 5. 2 REMOCIÓN DE SOLIDOS TOTALES DISUELTOS.....	108
Gráfico 5. 3 VARIACIÓN DE CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA	108
Gráfico 5. 4 VARIACIÓN DE TEMPERATURA	109
Gráfico 5. 5 VARIACIÓN DE PH	109
Gráfico 5. 6 REMOCIÓN DE LA DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGENO	110
Gráfico 5. 7 REMOCIÓN DE LA DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENO	111
Gráfico 5. 8 REMOCIÓN DE ACEITES Y GRASAS	111
Gráfico 6. 1 REMOCIÓN DE TURBIDEZ Y ESTÁNDARES DE CALIDAD AMBIENTAL PARA AGUA	112
Gráfico 6. 2 REMOCIÓN DE SOLIDOS TOTALES DISUELTOS Y ESTÁNDARES DE CALIDAD AMBIENTAL PARA AGUA	112
Gráfico 6. 3 VARIACIÓN DE CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA Y ESTÁNDARES DE CALIDAD AMBIENTAL PARA AGUA	113
Gráfico 6. 4 VARIACIÓN DE TEMPERATURA Y ESTÁNDARES DE CALIDAD AMBIENTAL PARA AGUA.....	114
Gráfico 6. 5 VARIACIÓN DE PH Y LOS ESTÁNDARES DE CALIDAD AMBIENTAL PARA AGUA- CATEGORÍA 3.....	114

Gráfico 6. 6 REDUCCIÓN DE LA DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGENO Y ESTÁNDARES DE CALIDAD AMBIENTAL PARA AGUA- CATEGORÍA 3.	115
Gráfico 6. 7 REDUCCIÓN DE LA DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENO Y ESTÁNDARES DE CALIDAD AMBIENTAL PARA AGUA- CATEGORÍA 3.	116
Gráfico 6. 8 REDUCCIÓN DE ACEITES Y GRASAS Y ESTÁNDARES DE CALIDAD AMBIENTAL PARA AGUA.	117
Gráfico 6. 9 DISCUSIÓN DE RESULTADOS DE REMOCIÓN DE TURBIEDAD	118
Gráfico 6. 10 DISCUSIÓN DE RESULTADOS DE REMOCIÓN DE SOLIDOS TOTALES DISUELTOS.....	119
Gráfico 6. 11 DISCUSIÓN DE RESULTADOS DE REMOCIÓN DE CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA.....	120
Gráfico 6. 12 DISCUSIÓN DE RESULTADOS DE LA VARIACIÓN DE TEMPERATURA	121
Gráfico 6. 13 DISCUSIÓN DE RESULTADOS DE VARIACIÓN DE PH	122
Gráfico 6. 14 DISCUSIÓN DE RESULTADOS DE REMOCIÓN DE LA DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGENO	124
Gráfico 6. 15 DISCUSIÓN DE RESULTADOS DE REMOCIÓN DE LA DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENO	124
Gráfico 6. 16 DISCUSIÓN DE RESULTADOS DE REMOCIÓN DE LA ACEITES Y GRASAS	125

RESUMEN

La problemática ambiental en nuestro país cada vez se vuelve más frecuente con el crecimiento económico, ya que se necesita incluir el ámbito social y la conservación del medio ambiente. Este trabajo de investigación propone una alternativa de solución para la mitigación del impacto ambiental ocasionado por vertimientos de aguas residuales de una planta de beneficios (camal) a un ecosistema natural protegido, "Pantanos de Villa", el cual es vulnerable por contaminación del crecimiento poblacional aledaño, falta de saneamiento e industrias informales que descargan sus aguas servidas en este lugar. En la presente investigación se evaluó el tratamiento de las aguas residuales de una planta de beneficios de reses por el método de electrocoagulación de flujo continuo en el cual se obtuvieron eficiencia del 94% en Remoción de Turbiedad, 21% en Remoción de Sólidos Totales Disueltos, 22% en Remoción de Conductividad Eléctrica, 51% en Remoción de Demanda Bioquímica de Oxígeno, 94% en Remoción de Aceites y Grasas, 63% en Remoción de Demanda Química de Oxígeno bajo condiciones de operación óptima de 40 Amperios y Caudal de 26 litros/hora con electrodos de aluminio. Los resultados obtenidos después del tratamiento del agua residual sobrepasan los Estándares de Calidad Ambiental para Agua a excepción del parámetro aceites y grasas. Es importante seguir investigando el método de electrocoagulación a distintas condiciones de operación tales como, tipos de electrodos, formas y posiciones, diseño del reactor para evacuación de lodos; evaluando la viabilidad técnica para diferentes tipos de aguas residuales industriales.

ABSTRACT

The environmental problems in our country become more frequent with economic growth; since it is necessary to include the social environment and the conservation of the environment. This research work seeks to find a solution alternative for the mitigation of environmental impact caused by wastewater discharges from a (camal) benefits plant to a protected natural ecosystem, "Pantanos de Villa", which is vulnerable to contamination due to population growth neighboring, lack of sanitation and informal industries that discharge their wastewater in this place. In the present investigation the treatment of wastewater from a cattle benefit plant was evaluated by the continuous flow electrocoagulation method in which 94% in efficiency Turbidity Removal, 21% in Total Dissolved Solids Removal, 22% in Electric Conductivity Removal, 51% in Biological Oxygen Demand Removal, 94% in Oils and Fats Removal, 63% in Chemical Oxygen Demand Removal under operating conditions of 40 Amperes and a Flow rate of 26 liters / hour with aluminum electrodes. The results after the wastewater treatment exceed the Environmental Quality Standards for Water, with the exception of the oils and fats parameter. It is important to continue investigating the electrocoagulation method at different operating conditions such as electrode types, shapes and positions, reactor design for sludge evacuation; evaluating the technical feasibility for different types of industrial wastewater.

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Identificación del problema. - Los Pantanos de Villa, así como otros ecosistemas como los manglares de Tumbes, el estuario de Virrilá, los Pantanos de Puerto Viejo, la Reserva Nacional de Paracas, forman un corredor ecológico en la ruta migratoria de muchas especies de aves, comportándose como un área de descanso y alimentación. Este humedal es de gran importancia a nivel nacional e internacional, desde el 20 de enero de 1997, es considerada como Sitio RAMSAR por la Convención Relativa a los Humedales de Importancia Internacional, especialmente como Hábitat de Aves Acuáticas. Sin embargo, este ecosistema sufre varios conflictos socio-ambientales, económicos y legales, a través del crecimiento poblacional e industrial.

Los Pantanos de Villa y sus alrededores sufren una complejidad de conflictos ambientales, los cuales encontramos en los conflictos territoriales sobre la urbanización, asentamientos humanos, actividades productivas y no productivas, que día a día están ganando terreno. También los conflictos socioeconómicos que suele darse con las actividades económicas- productivas como grandes almacenes, locales clandestinos, centros recreativos; la problemática institucional y jurídica, con normativas y reglamentos contradictorios e irregulares. La mala gestión y aplicación de estos instrumentos, hacen que no se llegue a un acuerdo tanto para actividades económicas y los ecosistemas protegidos.

El diario El Comercio, presentó un artículo en el mes de febrero del 2017, señalando que los niños que se bañan en las acequias de los Pantanos de Villa están expuestos a adquirir enfermedades infecciosas, entre ellas la meningitis. La fuente de contaminación sería por filtración de los pozos sépticos de las viviendas cercanas, ya que

no cuentan con servicio de agua potable y desagüe. Otra fuente de contaminación sería las aguas residuales de un camal que opera dentro de la zona de amortiguamiento, debido a que no cuenta con una planta de tratamiento y sus aguas se filtran fácilmente a través del suelo.

Este trabajo de investigación tiene como objetivo contribuir a la descontaminación de las aguas residuales generadas por un camal ubicado en la zona de amortiguamiento de los pantanos de villa ya que sus aguas residuales contienen grandes cantidades de compuestos orgánicos e inorgánicos, aceites y grasas, siendo dañinos para el hombre y el medio ambiente. Es así que se plantea el método de electrocoagulación con electrodos de aluminio, como alternativa para remover la carga contaminante presente en el agua residual de este tipo de industria.

1.2 Formulación del problema. -

¿El tratamiento de las aguas residuales de una planta de beneficio de reses por el método de electrocoagulación de flujo será el apropiado?

1.3 Objetivos de la investigación. -

1.3.1 Objetivo general. –

Tratar las aguas residuales de una planta de beneficios de reses por el método de electrocoagulación de flujo para obtener calidad de agua para riego de vegetales.

1.3.2 Objetivos específicos. –

- Determinar los niveles de remoción de contaminantes en el agua residual de la planta de beneficio de reses por el método de electrocoagulación de flujo.
- Determinar las condiciones de operación del sistema de electrocoagulación de flujo.

1.4 Justificación e Importancia

1.4.1 Legal. -

1.4.1.1 En el marco normativo, el numeral 22 del artículo 2° de la Constitución Política del Perú establece que toda persona tiene derecho a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de su vida; que según el artículo I del Título Preliminar de la Ley N° 28611, Ley General del Ambiente, toda persona tiene el derecho irrenunciable a vivir en un ambiente saludable, equilibrado y adecuado para el pleno desarrollo de la vida y el deber de contribuir a una efectiva gestión ambiental y debe proteger el ambiente, así como a sus componentes asegurando particularmente la salud de las personas en forma individual y colectiva, la conservación de la diversidad biológica, el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales y el desarrollo sostenible del país.

1.4.1.2 La Ley 26834 Áreas Naturales Protegidas, en el Art 25, menciona que las actividades que se realicen en las zonas de Amortiguamiento no deben poner en riesgo el cumplimiento de los fines del Área Natural Protegida.

1.4.1.3 El Decreto Supremo D.S N° 002-2008-MINAM aprueba los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua, y su modificatoria D.S N° 015-2015-MINAM modifican los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua y establecen disposiciones complementarias para su aplicación. Para el caso de reutilización del agua tratada se utilizará la categoría 3 parámetros para riego de vegetales y bebidas de animales.

Tabla 1. 1

CATEGORÍA 3- PARÁMETROS PARA RIEGO DE VEGETALES

Parámetros	Unidad	Categoría 3
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L O ₂	15
Aceites y Grasas	mg/L	5
Sólidos Totales Suspendidos	mg/L	---
Nitrógeno Total	mg/L	---
Fosforo Total	mg/L	---
Coliformes Fecales	NMP/100 ml	1000
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L O ₂	40
pH	Unidad de pH	6.5 a 8.5
Temperatura	°C	Δ3

Fuente: D.S N° 015-2015-MINAM Δ3: Variación de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multianual del área evaluada.

1.4.1.4 Decreto Supremo N°015-2012-AG. Aprueban el Reglamento Sanitario del Faenado de Animales de Abasto.- En el Anexo 2 del reglamento sanitario del faenado de animales de abasto, numeral 2 **Efluentes**, menciona: “Es obligatorio que el matadero cuente con un sistema de tratamiento de efluentes apropiado y suficiente para tratar todo el volumen que genera la máxima capacidad de carga; el efluente resultante sólo será evacuado al colector público previo tratamiento según normativa vigente al respecto”. Por lo tanto, dado que en la zona no se encuentran red de alcantarillado de SEDAPAL, se considerará como referencia los Estándares de Calidad Ambiental para Agua.

1.4.1.5 Normas Internacionales.- En nuestro país no contamos con una normativa que regule los efluentes de los mataderos; sin embargo, tomaremos como referencia la normativa internacional o niveles estándar de concentración de los constituyentes orgánicos, según lo recomendado por

diferentes agencias mundiales como el Consejo de Medio Ambiente y Conservación de Australia y Nueva Zelandia (ANZECC, 2000), Environment Canadá (2000, 2012), Consejo de las Comunidades Europeas (CEC, 1991), US EPA (2004), entre otros.

Tabla 1. 2

COMPARACIÓN DE LOS LÍMITES ESTÁNDAR DE LAS DISTINTAS JURISDICCIONES MUNDIALES PARA LA DESCARGA DE AGUAS RESIDUALES DE LOS MATADEROS

Parámetros	Estándares del Banco Mundial	Estándares de la Unión Europea	Estándares de Estados Unidos	Estándares Canadienses	Estándares Australianos
DBO ₅ (mg/l)	30	25	26	5 a 30	6 a 10
DQO (mg/l)	125	125	n/a	n/a	3 x DBO
Solidos Suspendidos Totales (mg/l)	50	35	30	5 a 30	10 a 15
Nitrógeno Total (mg/l)	10	10	8	1	0.1 a 15

Fuente: (Bustillo-Lecompte & Mehrvar, 2015)

En el caso de los estándares canadienses, los límites de DBO y Solidos Suspendidos Totales son 5, 20 y 30 mg/l en lagos de agua dulce y corrientes lentas; ríos, arroyos y estuarios; rivera respectivamente.

1.4.2 Social.- El crecimiento demográfico tiende a aumentar cada año en el Perú, y con ello, mayor demanda de alimentos en los mercados de abastos, entre ellos el consumo de carnes rojas proveniente de las plantas de beneficio de reses. Entonces, a mayor consumo de estas carnes rojas, mayor será la demanda de agua que se necesita para el proceso de matanza del bovino, y con ello mayor generación de aguas residuales las cuales contaminan los cuerpos de agua y suelo que sumándose a la contaminación urbana e industrial.

1.4.3 Económica. - El tratamiento físico químico de las aguas residuales, generalmente se realizan dosificando coagulantes sintéticos que generalmente son importados el cual es de un alto costo y si no se agrega la dosis exacta se podría incrementar la concentración de este coagulante haciendo que este se sature y no se pueda remover los contaminantes.

Debido a que la empresa de la planta de beneficio de reses se encuentra en proceso de crecimiento, el número de matanza de ganado semanal aumentará con el tiempo y con ello el costo de construcción de pozas para almacenar el agua residual, el transporte y eliminación de más metros cúbicos de aguas residuales por una empresa prestadora de servicios de aguas servidas.

La planta de beneficio de reses, se encuentra dentro de la zona de amortiguamiento de Los Pantanos de Villa, por lo que su ubicación lo hace vulnerable a constantes inspecciones por autoridades que protegen este refugio de vida silvestre, y ante la ausencia de un tratamiento efectivo de sus aguas, éstas contaminan; ante ello la empresa estaría sujeto a penas administrativas (multas). Es por ello la importancia de realizar un tratamiento de aguas, ya que en comparación a lo mencionado es relativamente de menor costo.

1.4.4 Ambiental.- Según el Decreto Supremo N°015-2012-AG, se debería gastar 700 litros de agua por bovino (res), el cual si hay un exceso de agua utilizada generará mayor cantidad de agua residual lo que sobrepasaría la capacidad de las pozas de almacenamiento de agua residual, forzando a generar lagunas de agua servidas dentro de todo el terreno de la empresa que se encuentra ubicada dentro de la zona de amortiguamiento de una área natural protegida por el estado específicamente un refugio de vida silvestre (Los pantanos de villa); generando así la

contaminación del suelo y mediante infiltración y percolación los cuerpos de agua y canales aledaños que se dirigen hacia los estuarios de los pantanos de villa, alterando el ecosistema frágil del área natural protegida; es por ello la importancia necesaria de justificar ambientalmente un tratamiento de las aguas generadas por el proceso de matanza del ganado bovino.

1.4.5 Por su importancia. - Al aplicar los conocimientos sobre la electrocoagulación, se podrá lograr una nueva alternativa para el tratamiento de los efluentes generados en los camales de sacrificio de animales. Normalmente para el tratamiento de estos efluentes se usa el tratamiento biológico ya que estos efluentes cuentan con alta carga orgánica y el proceso de tratamiento es largo. Sin embargo, la electrocoagulación es una alternativa que podría acelerar y optimizar el proceso de tratamiento y brindar buenos resultados.

CAPITULO II MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes del estudio. -

2.1.1 Según (Asselin, Drogui, Benmoussa, & Blais, 2008) en su trabajo de investigación llamado “Eficacia del proceso de electrocoagulación en la eliminación de compuestos orgánicos de las aguas residuales del matadero mediante células electrolíticas monopolar y bipolar” publicado el 10 de junio del 2008, mencionan que la técnica de electrocoagulación a escala laboratorio es efectiva para aguas residuales de matadero de aves de corral que contienen grandes cantidades de materia orgánica (sangre , grasa, etc.) . En el proceso de electrocoagulación utilizaron electrodos de acero y aluminio en sistema de configuración bipolar o monopolar. Se obtuvieron buenos resultados con la utilización del electrodo de acero en sistema bipolar a una intensidad de corriente de 0.3 A, en un tiempo de 60 a 90 min de tratamiento. El cual la remoción del DBO, aceites y grasas fueron de 86% y 99% respectivamente, mientras que DQO soluble y DQO total se removió en 50% y 82%, respectivamente; Para los sólidos suspendidos totales y turbidez fueron de 89% y 90% de remoción.

2.1.2 Según (Thirugnanasambandham, Sivakumar, & Prakash Maran, 2014) en su trabajo de investigación Modelado de Superficie de Respuesta y Optimización del tratamiento de aguas residuales de la industria cárnica mediante el método de tratamiento electroquímico; cuyo objetivo es examinar los efectos de las variables del proceso de electrocoagulación como pH, tiempo de electrolisis, densidad de corriente y la dosis de electrolito en la eliminación del DQO y Color , utilizando un vaso precipitado de 1200 ml como reactor y placas de fierro de 50 mm x 50 mm como electrodos. Unas de las condiciones óptimas de

funcionamiento fueron: pH de 7, tiempo de electrolisis de 45 min, densidad de corriente de 35 mA/ cm² y dosis de electrolito de 1.4 g/l, respectivamente. Bajo estas condiciones se encontró que la eficiencia de eliminación de DQO y Color fue de 92% y 98%, respectivamente.

2.1.3 Barboza Palomino, en su tesis de maestría titulada “Reducción de la carga de contaminantes de las aguas residuales de la planta de tratamiento de Totora-Ayacucho”, empleó la técnica de electrocoagulación, (2011), cuya problemática de estudio indica la existencia de una alta concentración de bacterias coliformes totales (BCT) y demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) a la salida de la planta de tratamiento dirigidas al río Alameda. El objetivo de esta investigación es reducir la carga de contaminantes, específicamente determinar por medición del porcentaje de remoción de la turbidez, coliformes fecales y DBO₅; así como evaluar los parámetros de trabajo para el proceso, las cuales son: densidad de corriente, tiempo de electrocoagulación, conductividad, turbidez y pH en la muestra en estudio. La metodología fue de tipo experimental separadas en dos etapas, la primera consistió en realizar la caracterización física, química y biológica del efluente; y la segunda, la aplicación de electrodos de sacrificio al aluminio, para reducir la carga contaminante. En la investigación se concluyó que en 25 minutos de tratamiento utilizando una densidad de corriente de 12.5 mA/cm² y 21-23 voltios, con pH de trabajo regulado 7.33-7.34 se obtuvo 94.65% de remoción de turbidez, 65.1% de remoción de coliformes fecales y 64.8% de disminución de DBO₅, logrando mejorar la calidad del agua al reducir la turbidez y disminuir el valor de DBO₅ a 14.75 mg O₂ /L cuyo valor estaría dentro de los estándares de calidad ambiental del agua.

2.1.4 Aguilar Ascon, (2015), en su tesis de maestría titulada Evaluación de la eficiencia de una celda de electrocoagulación a escala laboratorio para el tratamiento de agua, tuvo como objetivo evaluar la eficiencia de la remoción de la demanda química de oxígeno (DQO) en una celda de electrocoagulación en base a electrodos de aluminio y hierro, proveniente del agua residual de la industria de pintura; así como determinar las condiciones del pH, conductividad, intensidad de corriente y tiempo de electrocoagulación. La metodología fue de tipo experimental, que consistió en el desarrollo del diseño del reactor, ensayos preliminares y definitivos, y condiciones de operación óptimas. La principal conclusión fue que a una intensidad de corriente (I)=5 amperios, pH natural del efluente =7.12 y tiempo de tratamiento de 15 minutos se determinó una eficiencia promedio del 87% en la remoción del DQO, la cual cumple con la normativa ambiental vigente.

2.2 Marco conceptual. -

2.2.1 Definición de las aguas residuales. - Las aguas residuales son aguas usadas y solidos que por uno u otro medio se introducen en las cloacas y son transportadas mediante el sistema de alcantarillado. (Romero Rojas, 2004) (López Escobar, 2014).

Son aquellas aguas cuyas características originales han sido modificadas por actividades humanas y que por su calidad requieren un tratamiento previo, antes de ser reusadas, vertidas a un cuerpo natural de agua o descargadas al sistema de alcantarillado.

Las aguas residuales se clasifican en:

Aguas residuales industriales: Son aquellas aguas residuales que resultan del desarrollo de un proceso productivo,

incluyéndose a las provenientes de la actividad minera, agrícola, energética, agroindustrial, entre otras.

- Aguas residuales municipales: Son aquellas aguas residuales domésticas que pueden estar mezcladas con aguas de drenaje pluvial o con aguas residuales de origen industrial previamente tratadas, para ser admitidas en los sistemas de alcantarillado de tipo combinado.
- Aguas residuales domésticas: Son aquellas aguas residuales de origen residencial y comercial que contienen desechos fisiológicos, entre otros, provenientes de la actividad humana, y deben ser dispuestas adecuadamente. (OEFA, 2014)

2.2.2 Parámetros de calidad del agua residual de matadero. - Las aguas residuales provenientes del procesamiento de las carnes son similares a las que provienen de los mataderos. Los parámetros importantes a evaluar son DBO₅, DQO, pH, SST, Aceites y Grasas, Coliformes Totales, Turbiedad, SDT, Color, Sustancias tóxicas. (Muñoz Muñoz, sistema de tratamiento de aguas residuales de matadero: para una población menor 2000 habitantes, 2005)

DBO: La demanda bioquímica de oxígeno se usa como una medida de la cantidad de oxígeno requerido para oxidación de la materia orgánica biodegradable presente en la muestra de agua y como resultado de la acción de oxidación bioquímica aerobia. (Ramalho, 1996)

DQO: La demanda química de oxígeno (DQO) corresponde al volumen de oxígeno requerido para oxidar la fracción orgánica de una muestra susceptible de oxidación al dicromato o permanganato, en medio ácido. (Ramalho, 1996)

Aceites y grasas: componentes biológicos que son insolubles en agua. (MINISTERIO DE VIVIENDA CONSTRUCCION Y SANEAMIENTO, 2009)

Turbiedad: es una expresión de la propiedad óptica que causa que la luz se disperse y se absorba en vez de transmitirse en línea recta a través de la muestra. La turbidez en el agua se debe a la materia suspendida como arcilla, lodo, algas, sílice, herrumbre, bacterias y otras partículas. La unidad estándar de medición de turbidez, adoptada por la industria del agua es la unidad nefelometría de turbidez (NTU, por sus siglas en inglés). (APHA, 1985) (Glynn, Heinke, & Escalona, 1999)

pH: por definición de una solución es la concentración del ión hidrógeno [H⁺]. La escala de pH en sistema acuoso va desde 0 a 14, en la cual las soluciones ácidas tienen un pH por debajo de 7 y las soluciones básicas tienen un pH por encima de 7 y las soluciones neutrales tienen un pH cercano a 7. (Mihelcic & Zimmerman, 2012)

Contenido en sólidos: es el parámetro inmediato para medir la calidad del agua. Estos sólidos (totales) pueden estar disueltos, suspendidos (provocando turbidez) o ser sedimentables. El término sólidos totales (ST) se refiere a la materia que permanece como residuo después de la evaporación y secado de 103 a 105° C. (Jarabo, Elortigui, & Jarabo, 2000) (ingeniería medioambiental aplicada a la industria y a la empresa, 1995)

Sólidos Suspendidos Totales (SST): es la porción de sólidos retenidos por una fibra de vidrio que posteriormente es secada a una determinada temperatura. (MINISTERIO DE VIVIENDA CONSTRUCCION Y SANEAMIENTO, 2009)

Sólidos Totales Disueltos (STD): Los sólidos disueltos totales (SDT) comprenden las sales inorgánicas (principalmente de calcio, magnesio, potasio y sodio, bicarbonatos, cloruros y

sulfatos) y pequeñas cantidades de materia orgánica que están disueltas en el agua. Los SDT presentes en el agua de consumo proceden de fuentes naturales, aguas residuales, escorrentía urbana y aguas residuales industriales. (Organización Mundial de La Salud, 2008)

Conductividad: es la expresión numérica de la habilidad del agua para transportar una corriente eléctrica. Depende de la concentración total de sustancias disueltas ionizadas en el agua y de la temperatura a la cual se haga la determinación. (manual de curso teórico- práctico de control de calidad para agua de bebida, 2007) (Barboza Palomino, reducción de la carga de contaminantes de las aguas residuales de la planta de tratamiento de totora- ayacucho empleando la técnica de electrocoagulación, 2011)

Color: se denomina color aparente si no se ha removido la turbiedad y color verdadero del agua en caso contrario. Se determina mediante unidades de color en escala Pt-Co. Estas mediciones se realizan a base de cloruro de cobalto (CoCl_2) y cloro-platino de potasio (Cl_6PtK_2) usando espectrometrías. El color del agua se debe principalmente a materia orgánica o minerales en suspensión o en estado coloidal. (Barrera Díaz, 2014)

2.2.3 Tratamiento de aguas residuales. - El tratamiento de las aguas residuales constituye un factor importante en la protección de la salud pública y del medio ambiente, ya que su volcadura sin tratamiento previo en un cuerpo receptor, representa una fuente de contaminación.

Las aguas residuales son tratadas en las denominadas plantas de tratamiento de aguas residuales, que se define como “la instalación donde se reciben las aguas residuales generadas por

las actividades diarias de la ciudad (comercio, industria, doméstica y de servicios) para que estos sean tratadas como protección de salud, del medio ambiente y puedan reusarse en actividades y/o en servicios que no requieran calidad de agua potable (Bravo, 2015).

Sin embargo, estas plantas de tratamiento también pueden ser definidas como instalaciones habilitadas para el tratamiento de agua para Agua Potable o Aguas Servidas, o para la transferencia, tratamiento y/o disposición de residuos sólidos de origen domiciliario y/o residuos líquidos de origen industrial.

Es así que, en la concepción y ejecución de una planta de tratamiento, se pueden considerar diferentes objetivos a causa de los recursos económicos y técnicos, pero son muchos los que concuerdan con el establecimiento de estas plantas por motivaciones ecológicas.

2.2.3.1 Técnicas de tratamiento de aguas residuales. - Las industrias utilizan una gran cantidad de agua en sus procesos de producción, es por ello que generan un elevado volumen de efluentes líquidos. Estas aguas deben ser tratadas antes de ser desechadas. Existen diferentes técnicas de tratamiento que dependen de las características de las aguas residuales, según el tipo de industria de la que provengan. A continuación, de acuerdo a Seoanez (2002) se detallan las técnicas convencionales de tratamientos empleados:

- **Pre tratamiento.** - El primer método de tratamiento para las aguas residuales, es la separación o eliminación de las partículas de gran tamaño que pueden producir daños en los sistemas de tratamiento. Entre las técnicas más usadas están: el cribado, dilaceración y desarenado
- **Tratamiento primario.** - El tratamiento primario tiene como objetivo la separación de la materia en suspensión que

transporta el agua residual y que no pudieron ser eliminados en el pre tratamiento. La tecnología a emplearse depende principalmente del agua residual, siendo los sistemas más conocidos los siguientes: sedimentación, decantación, filtración y flotación, procesos físico químicos (coagulación y floculación), separación de aceites y grasas.

- **Tratamiento secundario.** - Los tratamientos secundarios buscan la reducción de DBO, materia orgánica no biodegradable. Las tecnologías más utilizadas dependen de microorganismos capaces de destruir y metabolizar la materia orgánica soluble y coloidal.

- **Tratamiento terciario.** - Este tipo de tratamiento es considerado cuando los vertidos de los tratamientos primarios y secundarios no poseen una alta calidad, por este motivo es necesario complementar con un sistema de tratamiento refinado, que será escogido de acuerdo a cada tipo de industria. El principal inconveniente con este tipo de tratamiento es el alto costo económico que conlleva su instalación y mantenimiento. Los tratamientos terciarios que más se utilizan son: filtración, adsorción, oxidación, osmosis inversa, entre otros.

2.2.4 El Agua. -

2.2.4.1 Composición Química del Agua. - Fueron Cavendish y Lavoisier en 1780 los primeros en demostrar que el agua estaba compuesta de oxígeno e hidrógeno. Posteriormente Humboldt y Gay Lussac, en 1805, determinaron que la relación volumétrica entre H y O era de 2 a 1.

Por último, Dumas en 1842 comprobó que la relación al peso entre estos elementos era de aproximadamente 2 a 16. Fue así

como quedo establecido que la molécula de agua estaba constituida por H_2O .

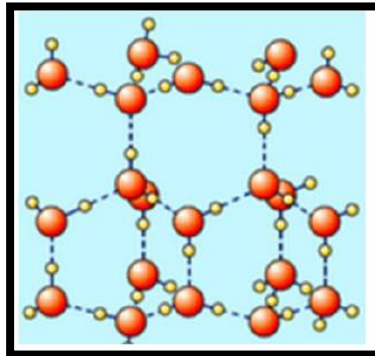
La simplicidad de este concepto tan ampliamente conocido es, sin embargo, solo aparente, pues en realidad la estructura del agua es extraordinariamente compleja, y aun no bien comprendida.

- **Forma de la molécula:** se ha hallado que la molécula del agua tiene una forma angular con el oxígeno colocado en el vértice y las uniones con el hidrogeno formando un ángulo de aproximadamente 104.5° .
- **Estructura molecular:** desde la época de Roentgen (1892) los químicos han venido desarrollando diferentes modelos para explicar la estructura molecular del agua. uno de los más antiguos, aunque no de los más correctos, es el que considera el agua como un arreglo de una, dos o tres moléculas cortas llamadas monohidrol H_2O , dihidrol $(H_2O)_2$ y trihidriol $(H_2O)_3$.

Hoy, en cambio, se tiende a creer que debido a la polaridad de las moléculas, estas no pueden estar aisladas en el líquido ni unidas en conjuntos pequeños, sino que tienen que atraerse con otras formando grupos cerrados, de manera un tanto similar como se presentan en los sólidos, pero con las distancias interatómicas más expandidas.

Se ha concebido por eso la estructura molecular del agua como formada por conjuntos hexagonales, en donde cada molécula está unida a su vecina por medio de un puente de hidrogeno (Véase Figura N°2.2). (Barboza Palomino, Reduccion de la carga de contaminantes de las aguas residuales de la planta de tratamiento de totora- ayacucho empleando la tecnica de electrocoagulacion., 2011)

Figura 2. 1
ESTRUCTURA MOLECULAR DEL AGUA



Fuente: Barboza Palomino

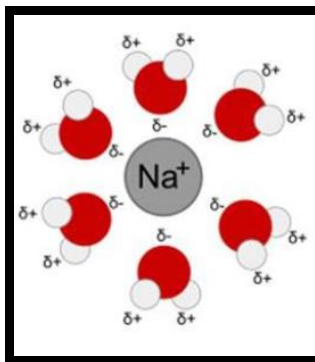
- **Ionización y Solvatación:** el carácter bipolar del agua impide que las sustancias que se disuelven en ella conserven sus moléculas intactas. Al contrario, la disolución implica la ionización o fraccionamiento de las moléculas en átomos o grupos de átomos con una carga eléctrica positiva (cationes) o negativa (aniones). Por ejemplo, el NaCl en solución se convierte en ion Na^+ e ion Cl^- .

Esto se debe a que cuando el soluto se dispersa, cada extremo de la molécula de la sustancia es atraído por el dipolo de carga opuesta, lo que produce la ruptura molecular y la consiguiente *disociación iónica*.

Cada ion crea y transporta su propio campo eléctrico y, por consiguiente, no puede permanecer aislado de las moléculas de agua que lo rodean y están polarizadas, sino que, por el contrario, produce una atracción electrostática entre él y los dipolos, los cuales quedan formando una envoltura a su alrededor orientada según sea la carga. Cuanto más intenso sea el campo del ion, tantas más moléculas de agua atraerá hacia sí. Este fenómeno se llama solvatación (véase figura N°2.3). La disgregación de la molécula del soluto en iones y la solvatación

son fenómenos simultáneos. (Barboza Palomino, Reduccion de la carga de contaminantes de las aguas residuales de la planta de tratamiento de totora- ayacucho empleando la tecnica de electrocoagulacion., 2011)

Figura 2. 2
REPRESENTACIÓN DE LA SOLVATACIÓN DEL ION SODIO



Fuente: Barboza Palomino,2011

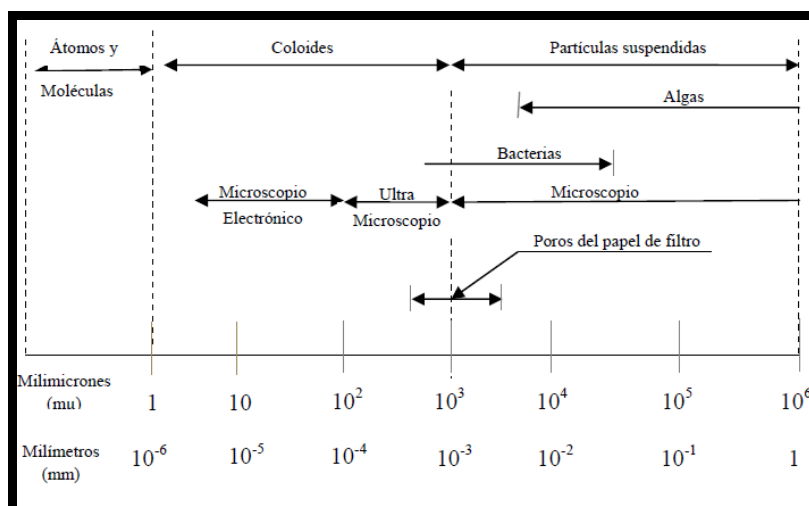
2.2.4.2 Sustancias Dispersas en el Agua. - Una sustancia puede estar dentro de otra de varios modos diferentes.

- **Primero:** la molécula de una sustancia A puede estar disgregada dentro de una sustancia B. En este caso se dice que la sustancia A esta disuelta dentro de la B.
- **Segundo:** partículas o gotitas muy pequeñas de la sustancia A pueden estar dispersas dentro de la sustancia B. En este caso se dice que la sustancia A esta en estado coloidal dentro de la sustancia B.
- **Tercero:** Partículas relativamente grandes de la sustancia A están flotando dentro de la sustancia B. En este caso se dice que la sustancia A esta en suspensión en la sustancia B. Como se ve, según el tamaño de las partículas del sólido o líquido disgregado dentro de otro, hay un cambio en la clasificación del fenómeno y en las características que este reviste. Cuando hay

verdadera solución, el soluto tiene dimensiones aproximadamente iguales o inferiores a 1 $m\mu$; cuando hay estado coloidal, el coloide tiene dimensiones que varían entre 1 $m\mu$ y 1000 $m\mu$. Y cuando hay suspensión gruesa las partículas o gotas suspendidas tienen tamaños iguales o mayores a 1000 $m\mu$ sobre el tamaño aproximado de las partículas y su distribución (véase figura N°2.4).

Figura 2. 3

TAMAÑO DE LAS PARTÍCULAS SUSPENDIDAS EN EL AGUA



Fuente: Barboza Palomino, 2011

Los coloides propiamente dichos tienen propiedades muy características que los distinguen en una forma muy precisa, y que es necesario estudiarla para poder entender que es la coagulación. Los químicos suelen referirse a la sustancia dispersa como fase dispersa y a la sustancia como fase dispersante (véase figura N° 2.5).

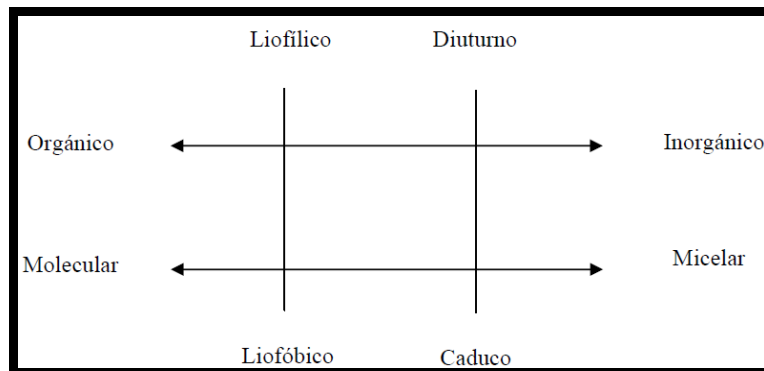
Figura 2. 4
DISOLUCIONES COLOIDALES

	Fase dispersa	Fase dispersante	Nombre	Ejemplo
1.	Líquido	Líquido	Emulsión	Aceite en agua
2.	Sólido	Líquido	Sol	Turbiedad en agua
3.	Gas	Líquido	Espuma	Crema batida
4.	Líquido	Gas	Aerosol	Niebla, neblina
5.	Sólido	Gas	Aerosol	Humo, polvo
6.	Líquido	Sólido	Gel	Jalea
7.	Sólido	Sólido		Vidrio coloreado
8.	Gas	Sólido		Piedra pómez

Fuente: Barboza Palomino, 2011

- **Los coloides, clasificación y propiedades.** - Sin pretender dar una clasificación completa de los sistemas coloidales podríamos dividirlos (véase figura N° 2.6) en moleculares y no moleculares (micelares); liofílicos y liofóbicos, diuturnos y caducos, orgánicos e inorgánicos.

Figura 2. 5
CLASIFICACIÓN DE LOS COLOIDES



Fuente: Barboza Palomino, 2011

- **Los coloides moleculares**, están constituidos por sustancias poliméricas, formadas por largas cadenas orgánicas, con pesos moleculares muy grandes (15 000 – 100 000) y tamaños entre 10^2 y 5×10^2 $m\mu$ de longitud por 0,2 y 1 $m\mu$ de grosor. Estos polímeros, como la gelatina, las proteínas, el

almidón, no obstante estar dispersados molecularmente, no constituyen verdaderos solutos, sino coloides.

- **Los coloides de asociación o micelares**, pueden formarse por asociación de moléculas más pequeñas de minerales (ejemplo: oro) o compuestos orgánicos (ejemplo: jabones, detergentes), que espontáneamente se aglutinan en presencia de un dispersante en partículas de tamaño coloidal.

- **Los coloides liofílicos** (hidrofílicos cuando se refiere al agua) están constituidos por las dispersiones moleculares de sustancias poliméricas o sustancias aglutinadas en tamaño coloidal, que tienen una fuerte atracción por el solvente, y reaccionan químicamente con el agua, en el cual están dispersados (ejemplo: jabones, materia orgánica encontrada en el agua negra).

- **Los coloides liofóbicos** están en cambio, formados por sustancias insolubles en el dispersante (ejemplo: arcillas, metales) y por lo mismo son mucho más inestable que los liofílicos. Son el tipo de dispersiones que más interesa en el tratamiento de agua potable.

- **Los coloides diuturnos** (termino propuesto por Mysels (1959) que significa de larga duración) son aquellos que no se modifican o se aglutinan durante mucho tiempo comparado con el período de observación.

- **Los coloides caducos** son, al contrario, los transitorios que se aglutinan o cambian rápidamente.

Los coloides, además, pueden ser orgánicos como las proteínas o las grasas, o inorgánicos como el oro o las arcillas, minerales.

- **Forma de los coloides:** la forma de los coloides tiene relación directa con sus propiedades. Algunos los clasifican en isométricas y anisométricas. Las primeras son las que tienen una dimensión igual en todas direcciones (esferas, poliedros);

las segundas son las que se extienden preferentemente en una o dos dimensiones tales como cilindros, láminas, cintas, etc., incluye las formas más comunes de coloides (véase figura N°2.7).

Figura 2. 6
LAS FORMAS MÁS COMUNES DE PARTÍCULAS COLOIDALES



Fuente: Barboza Palomino, 2011

En un líquido turbulento, las formas filamentosas o cilíndricas tienen más oportunidad de contacto que las formas esféricas o poliédricas, lo cual influye en la posibilidad de aglutinación de las partículas.

Tabla 2. 1
PROPIEDADES DE LOS COLOIDES MÁS IMPORTANTES

Propiedades cinéticas	Movimiento browniano
	Difusión
	Presión osmótica
Propiedades ópticas	Efecto Tyndall- Faraday
	Coloración
Propiedades de superficie (adsorción)	
Electrocinetismo	

Fuente: Barboza Palomino, 2011

a) Propiedades Cinéticas.-

- **Movimiento Browniano.-** Una de las propiedades que más distingue a las dispersiones coloidales, es el que no pueden sedimentarse. Si una suspensión de dichas partículas es observada en un ultramicroscopio, se puede notar entre ellas un movimiento constante y desordenado debido al bombardeo de las partículas por las moléculas del líquido en el cual están dispersas.

- **Difusión.** - El movimiento incesante de las partículas coloidales hace que estas se difundan, esto es, que se distribuyen uniformemente en el solvente.

- **Presión Osmótica.** - Debido al movimiento browniano, si la concentración de partículas en un líquido no es uniforme, se produce el flujo de material desde las zonas de alta concentración hacia las de baja concentración hasta alcanzar un equilibrio.

b) Propiedades Ópticas. - Las propiedades ópticas son: la dispersión de la luz y la opalescencia.

- **Diseminación de la luz.** - Un rayo de luz es diseminado al pasar a través de una suspensión coloidal. La diseminación es proporcional al tamaño de las partículas. La diseminación hace aparecer las soluciones turbias. La turbiedad es por tanto una forma de medir la concentración de partículas en un líquido.

- **Opalescencia.** - Los coloides son primeramente incoloros. Sin embargo, las suspensiones coloidales aparecen con una cierta coloración. Por ejemplo, la suspensión de hidróxido férrico es roja. Esto puede deberse:

1. A la diseminación de la luz.
2. A la absorción selectiva por el coloide de una cierta longitud de onda.

c) Propiedades de Superficie. - Cuando la materia se subdivide hasta llegar al tamaño coloidal se produce un gran incremento del área.

Esta enorme superficie tiene la tendencia de adsorber, en la interfase solido-liquido, moléculas, iones o coloides. La capacidad de absorción de las superficies es una de sus principales propiedades.

Para que la adsorción se produzca se necesita que:

- I. El absorbido tenga una baja solubilidad en el agua y
- II. Exista una afinidad especial del soluto por el sólido (coloide) en el cual queda adsorbido.

Una vez que el soluto se transporta hasta la superficie queda adherido a ella debido a:

- a. Fuerzas físicas (fisiosorción)
- b. Fuerzas químicas (quimiosorción)

En el primer caso, la unión puede deberse a las fuerzas de Van de Waals, atracciones electrostáticas o a interacción dipolo a dipolo, y es un fenómeno irreversible.

En el segundo caso, en cambio, la unión es de tipo químico muy estable e irreversible y se forma por la reacción de uno o más átomos o iones del soluto, sin que aquellos pierdan su identidad en la estructura reticular del sólido.

d) Propiedades electrocinéticas (electrocinetismo).- Se ha observado que las partículas de una dispersión coloidal, se mueven de un polo de determinado signo a otro, al estar sometidas a un campo eléctrico, lo que demuestra que poseen una carga electrostática.

2.2.5 Coagulación Química. - En una suspensión coloidal, no se puede conseguir, de forma efectiva, la separación de las partículas directamente por técnicas de separación solido-liquido (decantación, flotación), como consecuencia del pequeño

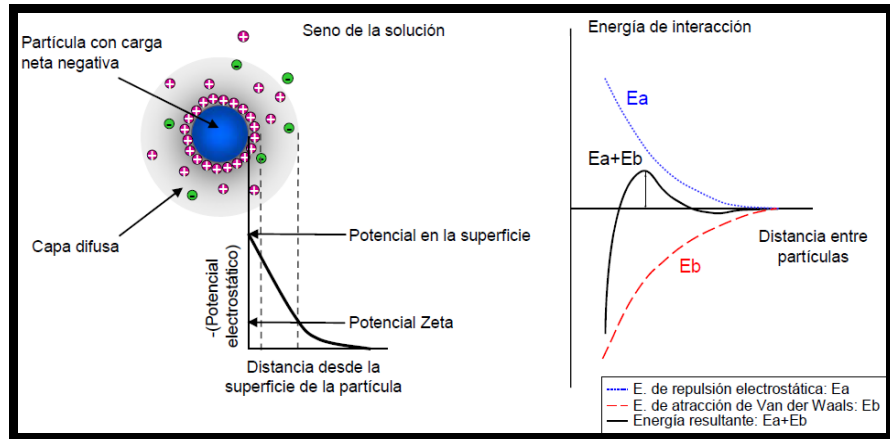
tamaño de las mismas, que se traduce en una muy pequeña velocidad de sedimentación. Tampoco se produce la agregación de las partículas, debido a la existencia de cargas eléctricas en la superficie de las partículas coloidales. Estas cargas son normalmente negativas, y están asociadas a la existencia de grupos carboxilo o hidroxilo en la superficie de las partículas orgánicas, y al intercambio de aluminio y silicio por cationes monovalentes (tales como el K^+ , Na^+ o H^+) en el caso de los minerales. (Martines Navarro, 2007)

Esta carga superficial origina la atracción de iones de signo contrario presentes en el seno de la disolución, que se concentra alrededor de las partículas, dando lugar a la formación de una capa difusa de iones, que provoca que las fuerzas de repulsión entre las partículas predominen sobre las fuerzas de atracción másica que existen entre las mismas. Por este motivo, una suspensión coloidal es un sistema estable (véase figura N° 2.8), es decir, sin tendencia a cambios que posibiliten la agregación de partículas.

La coagulación puede ser definida, en principio, como la desestabilización de las partículas para conseguir que las fuerzas de atracción tipo Van der Waals que existen entre dos partículas predominen sobre las de repulsión electrostática, de manera que las partículas se unan y den lugar a la formación de sólidos de mayor tamaño. Como consecuencia del mayor tamaño, la velocidad de sedimentación de las partículas se incrementa, posibilitando el uso de la decantación como tecnología de tratamiento.

Figura 2. 7

ESQUEMA DE LAS FUERZAS DE INTERACCIÓN QUE ACTÚAN SOBRE UNA PARTÍCULA EN SUSPENSIÓN

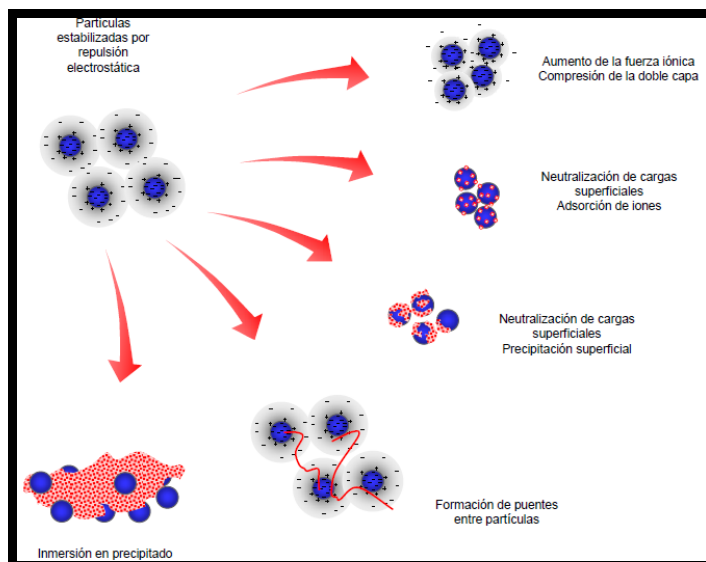


Fuente: Martines Navarro, 2007

La coagulación es un proceso químico complejo que implica la combinación de numerosos procesos sencillos. (Figura N° 2.9)

Figura 2. 8

MECANISMOS DE COAGULACIÓN DE PARTÍCULAS COLOIDALES



Fuente: Martines Navarro, 2007

Comienza con la adición a una dispersión coloidal de un reactivo químico (normalmente una sal de catión polivalente) que activa simultáneamente varios mecanismos de desestabilización coloidal, siendo los más importantes la compresión de la doble capa eléctrica (como consecuencia del aumento en la fuerza iónica del medio que provoca este nuevo reactivo) y la neutralización de la carga superficial de las partículas coloidales (que está asociada a la adsorción de iones sobre la superficie de las partículas coloidales). (Martines Navarro, 2007)

Además de estos procesos, la adicción de sales de aluminio o hierro puede dar lugar también a la formación de precipitados a partir de sus hidróxidos, que atrapan en su interior a las partículas coloidales. La inmersión de los coloides dentro de un precipitado es un mecanismo muy efectivo de eliminación de la materia coloidal conocido como coagulación o floculación de barrido.

Asimismo, la adsorción de grupos activos de un mismo agente coagulante sobre diferentes partículas coloidales permite la formación de enlaces tipo puente partículas. Este mecanismo puede ser conseguido por polímeros formados de forma natural tras la hidrólisis de sales aluminio o hierro, pero su eficacia aumenta notablemente si se añaden polímeros orgánicos especiales (iónicos o no) con una cadena de gran tamaño.

Como consecuencia del proceso de coagulación por aumento de la fuerza iónica o por neutralización, las fuerzas de repulsión electrostáticas se hacen menores que las correspondientes fuerzas de atracción de Van der Waals, y cuando las partículas coloidales chocan se unen para formar partículas de mayor tamaño. Al proceso físico mediante el que se favorece que estas partículas choquen se le denomina floculación.

Normalmente, en el tratamiento de un agua el proceso de floculación se consigue agitando suavemente el agua residual para favorecer el movimiento interno de las partículas coloidales. En este sentido, la coagulación o floculación de barrido, y la resultante de la formación de enlaces interpartículas, son mecanismos que nos están claramente englobados en el concepto de coagulación y/o floculación, sino en ambos simultáneamente, y como tal aparecen mezclados en la bibliografía (a veces, incluso, de forma incorrecta). (Martines Navarro, 2007)

El mayor tamaño de los sólidos generados tras el proceso conjunto de coagulación-floculación hace que sean susceptibles de ser separados mediante técnicas convencionales de separación sólido-líquido. De esta forma, el mayor peso hace que su velocidad de sedimentación sea la adecuada para ser eliminados en decantadores convencionales, y su tamaño los hace adecuados para que las microburbujas de aire generadas en un proceso de flotación por aire disuelto (DAF) se adhieran a su superficie y se posibilite su eliminación. Por tanto, los procesos de coagulación-floculación permiten tratar, combinadamente con la sedimentación o flotación, efluentes con materia coloidal. Ejemplos de agua residuales contaminadas con materia coloidal, y que pueden ser sometidas a este tratamiento, son las aguas residuales urbanas y los efluentes residuales procedentes de industrias del sector textil y agroalimentario. (Gregor, Nokes, & Fenton, 1997) (Lin & Chen, 1997) (Rossini, Garrido, & Galluzo, 1999) (Chu, 2001) (Duan & Gregory, 2003) (Liu & Lien, 2001) (Franceschi, Girou, Carro-Diaz, Maurette, & Puech-Costes, 2002) (Ozbelge, Ozbelge, & Baskaya, 2002; Ros99) (Gregory & Duan, 2001) (Martines Navarro, 2007).

El proceso de coagulación es muy similar al de ruptura de emulsiones de aceite en agua (emulsiones O/W). Una emulsión O/W es un sistema líquido disperso conformado a nivel microscópico por dos fases inmiscibles, por lo que la apariencia macroscópica (a simple vista) es la de un líquido homogéneo. El líquido que se presenta en mayor proporción dentro de este sistema se denomina fase externa y el que se presenta en menor proporción fase interna. El sistema emulsionado es estable por la existencia de una diferencia de potencial entre fases, dado que la superficie de las microgotas de la fase interna se carga eléctricamente. Esta carga impide, por repulsión electrostática, que las microgotas se unan.

La ruptura de la emulsión consiste en separar las dos fases de las que consta el líquido, mediante la coalescencia irreversible de las gotas. Para romper la emulsión es necesario desestabilizar las cargas de las microgotas de la fase interna, y esto se puede conseguir mediante la adición de reactivos. Posteriormente a la adición de reactivos, hay que posibilitar el reagrupamiento de las fases. Este proceso, similar a la floculación explicada en el tratamiento de efluentes coloidales, se favorece por una agitación suave que posibilite el choque entre las microgotas ya desestabilizadas. La separación de las dos fases de las que consta la emulsión se puede realizar posteriormente por decantación o flotación (véase a figura N° 2.10).

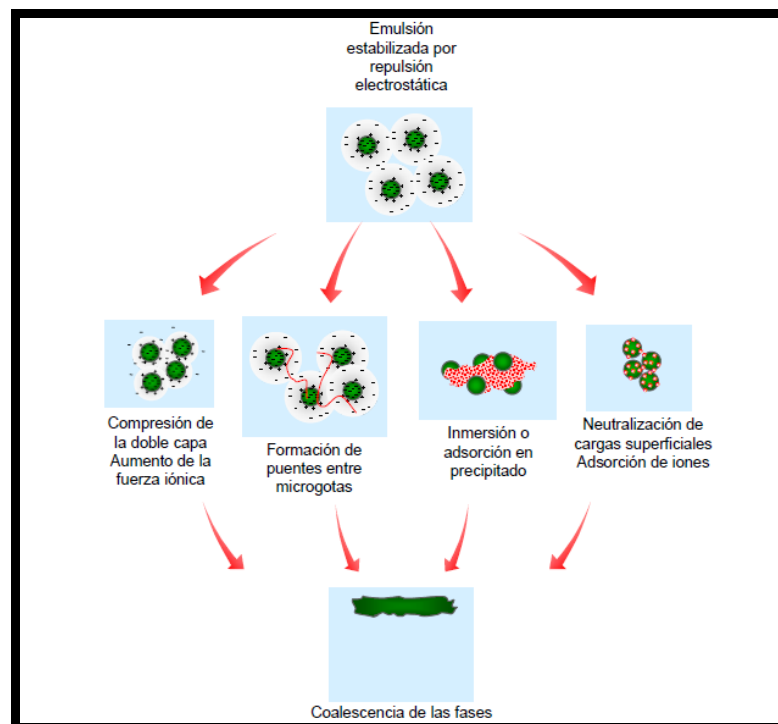
Ejemplos de aguas residuales consistentes en emulsiones O/W, y que han sido tratadas con éxito mediante esta tecnología, son los efluentes de la industria de mecanizado de metales y los procedentes del lavado de cisternas utilizadas para el transporte de hidrocarburos (Rios, Pazos, & Coca, 1998) (Al-Malack, Abuzaid, & El- Mubarak, 1999) (Pinotti &

Zaritzky, 2001) (Shin & Kim, 2001) (Al-Shamrani, James, & Xiao, 2002) (Sanchez Calvo, y otros, 2004). (Martines Navarro, 2007).

El proceso de coagulación de las partículas coloidales y el de desestabilización de emulsiones están también muy relacionados con el de eliminación de contaminantes orgánicos solubles por formación de especies de solubilidad reducida, o por inmersión de estas especies en precipitados de hidróxidos metálicos, ya que este último proceso tan solo se diferencia en las etapas iniciales, o de formación de las partículas insolubles (véase figura N° 2.11). Este proceso ha sido ampliamente aplicado al tratamiento de colorantes industriales, pero también existen aplicaciones a moléculas muchos más simples, tales como el fenol (Cañizares, Martinez, Diaz, Garcia-Gomez, & Rodrigo, 2002)

Figura 2. 9

MECANISMOS DE DESESTABILIZACIÓN DE EMULSIONES

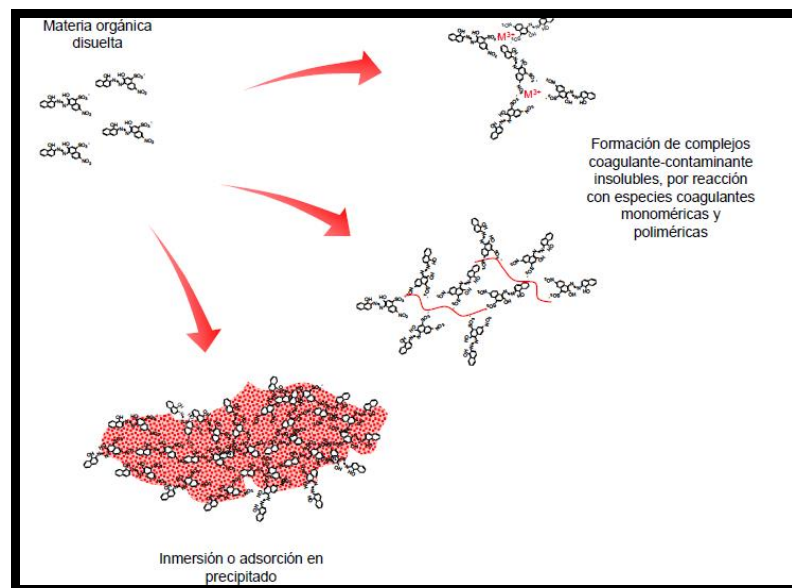


Fuente: Martinez Navarro, 2007

En todos los casos, sales de Fe (III) y de Al (III), tales como los cloruros o los sulfatos, suelen ser los reactivos más utilizados, dada la elevada carga de estos cationes, que favorecen los procesos de desestabilización coloidal (y de desestabilización de las microgotas de las emulsiones) mediante la disminución de las fuerzas electrostáticas de repulsión entre partículas. A nivel industrial las operaciones de coagulación- floculación se llevan a cabo en depósitos agitados en los que se adicionan reactivos mediante bombas dosificadoras (véase figura N° 2.12). (Martines Navarro, 2007)

Figura 2. 10

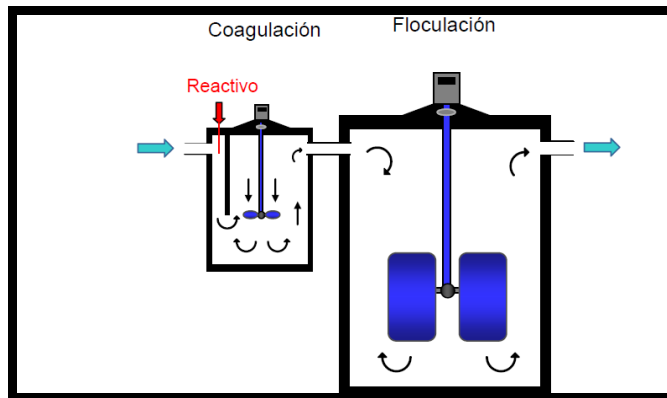
FORMACIÓN DE COMPUESTOS INSOLUBLES A PARTIR DE MATERIA ORGÁNICA SOLUBLE.



Fuente: Martínez Navarro, 2007

Figura 2. 11

INSTALACIÓN DE COAGULACIÓN-FLOCULACIÓN EMPLEADA A ESCALA INDUSTRIAL



Fuente: Martínez Navarro, 2007

2.2.6 Eficiencia de remoción de la carga contaminante. La eficiencia de remoción de carga contaminante en un sistema de tratamiento de aguas residuales viene dada por:

$$E = \frac{S_o - S}{S_o} * 100$$

E: Eficiencia de remoción de la carga contaminante (%)

S: Carga contaminante de salida (DBO₅, DQO, Aceites y grasas Turbidez, STD) del sistema

S_o: Carga contaminante de entrada (DBO₅, DQO, Aceites y grasas Turbidez, STD) del sistema.

2.2.7 Bases teóricas de electrocoagulación. -

2.2.7.1 Electroquímica. Es la rama de la química que estudia la transformación entre la energía eléctrica y la energía química. Los procesos electroquímicos son reacciones redox (oxidación-reducción) en donde la energía liberada por una reacción espontánea se convierte en electricidad o donde la energía eléctrica se aprovecha para inducir una reacción química no espontánea. (Chang, 2007). Las principales técnicas electroquímicas son la electrodiálisis, la electrocoagulación, la

electroflotación y la oxidación directa o indirecta; éstas son usadas en industrias como la metalurgia, fabricación de pilas, tratamiento de aguas residuales y efluentes gaseosos debido a los bajos costos y las ventajas técnicas que presentan estos métodos. (Zumdahl & Zumdahl, 2000) (Gillpavas, aplicación de la electroquímica en el tratamiento de aguas residuales, 2008)

2.2.7.2 Electrolisis. - A diferencia de las reacciones redox espontáneas, que convierten la energía química en energía eléctrica, en la electrolisis se utiliza la energía eléctrica para inducir una reacción química que es no espontánea. Este Proceso se lleva a cabo en un dispositivo que se conoce como celda electrolítica. La electrolisis se basa en los mismos principios en que se fundamentan los procesos que se realizan en las celdas electroquímicas. (Chang, 2007).

2.2.7.3 Electrocoagulación. Es una técnica utilizada para el tratamiento de las aguas residuales. Los contaminantes de muy diversos efluentes son removidos aplicando el principio de coagulación, pero en este caso no se hace uso de un coagulante químico (cuya función es llevada a cabo por corriente eléctrica que es aplicada al medio líquido contaminado). Podemos entonces definir la electrocoagulación como un proceso en el cual son desestabilizadas las partículas de contaminantes que se encuentran suspendidas, emulsionadas o disueltas en un medio acuoso, induciendo corriente eléctrica en el agua a través de placa metálicas paralelas de diversos materiales, siendo el hierro y el aluminio los más utilizados. (Holt, Barton, & Mitchell, 2005) (Rajeshwar & Ibanez, 1997) (Chen, 2004).

La corriente eléctrica proporciona la fuerza electromotriz que provoca una serie de reacciones químicas, cuyo resultado final es estabilidad de las moléculas contaminantes. Por lo general este estado estable produce partículas sólidas menos coloidales

y menos emulsionadas o solubles. Cuando esto ocurre, los contaminantes forman componentes hidrofóbicos que se precipitan o flotan, facilitando su remoción por algún método de separación secundario. Los iones metálicos se liberan y dispersan en el medio líquido y tienden a formar óxidos metálicos que atraen eléctricamente a los contaminantes que han sido desestabilizados. (Holt, Barton, & Mitchell, 2005) (Chen, 2004) (Stephenson & Tennant, 2006)

2.2.8 Bases del funcionamiento de la electrocoagulación. -

2.2.8.1 Reacciones Redox.- Las reacciones redox o también llamadas reacciones de óxido reducción son aquellas en las que se transfieren uno o más electrones.

Las reacciones redox están formadas por dos semireacciones, de manera que un proceso de oxidación se da simultáneamente con otro de reducción.

Oxidación: se refiere a la media reacción donde un átomo o un grupo de átomos pierden electrones (e⁻). En este caso, el número de oxidación de la especie que se oxida tiende a aumentar.

Reducción: Se refiere a la media reacción donde un átomo o un grupo de átomos ganan electrones (e⁻). En este caso el número de oxidación de la especie que reduce disminuye.

El número de oxidación también llamado estado de oxidación es el número de electrones que ha ganado, perdido o compartido un elemento. El número de oxidación se asigna a cada tipo de átomo de un compuesto o ion, o a un elemento, empleando un conjunto de reglas.

En una reacción redox siempre habrá una sustancia que se oxida (pierde e⁻) para que otra pueda reducirse (ganar e⁻), es decir, habrá un agente reductor y un agente oxidante.

Agente Oxidante: es la especie química que en un proceso redox acepta electrones y, por tanto, se reduce en dicho proceso (disminuye su número de oxidación).

Agente Reductor: es la especie química que en un proceso redox pierde electrones y, por tanto, se oxida en dicho proceso (aumenta su número de oxidación).

Las reacciones de oxidación y de reducción son semireacciones, que al combinarlas se obtiene la reacción redox, donde el número de electrones que pierde un agente reductor debe ser igual al número de electrones ganados por un agente oxidante.

2.2.8.2 Celdas Electroquímicas. - Una celda electroquímica es un dispositivo que permite generar electricidad mediante una reacción redox espontánea en donde la sustancia oxidante está separada de la reductora.

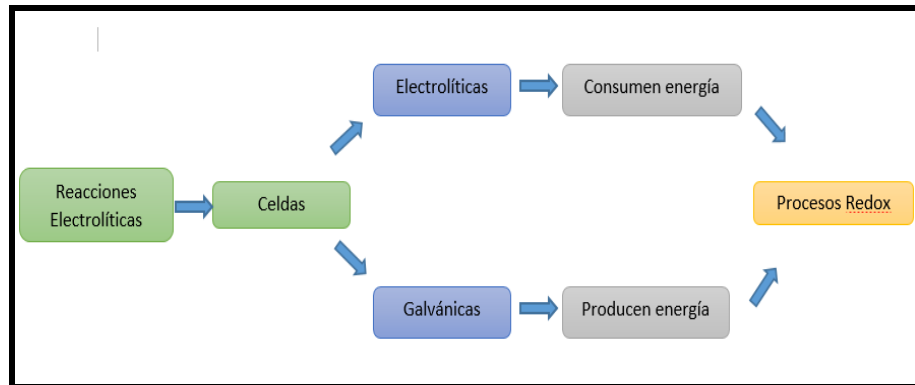
En una celda el agente reductor pierde electrones por tanto se oxida. El electrodo en donde se verifica la oxidación se llama ánodo. En el otro electrodo, la sustancia oxidante gana electrones y por tanto se reduce. El electrodo en el que se verifique se llama cátodo.

La corriente eléctrica fluye del ánodo al cátodo porque hay una diferencia de energía potencial entre los electrodos. La diferencia de potencial eléctrico entre el ánodo y el cátodo se mide en forma experimental con un voltímetro, donde la lectura es el voltaje de la celda.

Las celdas electroquímicas se clasifican en celdas electrolíticas y celdas galvánicas (Cerón & Bubern, 2004) (véase figura N° 2.13).

Figura 2. 12

CLASIFICACIÓN DE LAS CELDAS ELECTROQUÍMICAS



Fuente: Cerón, María, 2004

a. Celdas electrolíticas. - Las celdas electrolíticas son celdas electroquímicas donde ocurren reacciones no espontaneas, es decir las reacciones ocurren en presencia de una agente externo, por ejemplo, si se aplica voltajes eléctricos. Este proceso se denomina electrolisis.

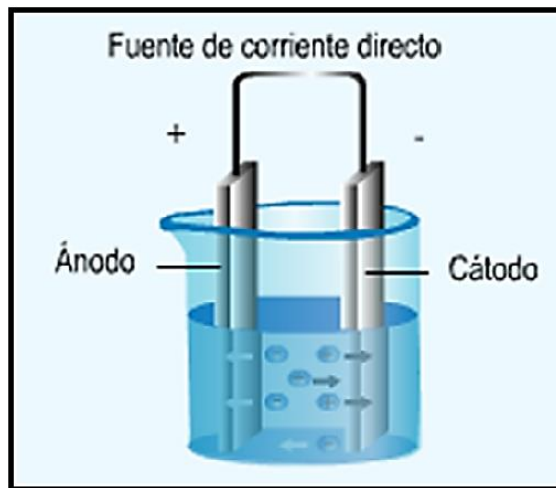
b. Las celdas electroquímicas constan de un recipiente para el material de reacción, dos electrodos sumergidos dentro de dicho material y conectados a una fuente de corriente continua.

El recipiente en el que se realiza el proceso recibe el nombre de celda electroquímica.

Una celda electroquímica está compuesta por dos electrodos de un material conductor sólido, generalmente un metal; uno se llama cátodo y en él tiene lugar la reducción, el otro se llama ánodo y en el tiene lugar la oxidación. El cátodo se conecta al polo negativo de una fuente de corriente continua y el ánodo al polo positivo. Los dos electrodos se sumergen en el electrolito que es un conductor iónico, generalmente una disolución acuosa de iones o una sal fundida (véase figura N°2.14).

Las partes de una celda electrolítica se exponen en el siguiente gráfico:

Figura 2. 13
PARTES DE LA CELDA ELECTROLÍTICA



Fuente: Cañizares, P., 2004

A continuación, se describe el proceso de electrolisis que se lleva a cabo en una celda electrolítica:

- La energía eléctrica se traslada desde la fuente externa de corriente directa hacia los respectivos electrodos.
- La corriente eléctrica que pasa a través de la solución electrolítica ocasiona que los cationes disueltos se dirijan hacia el cátodo (polo negativo) y los aniones se dirijan hacia el ánodo (polo positivo).
- La reducción en el cátodo, con la ganancia de electrones y la oxidación ocurre en el ánodo con la pérdida de electrones; dando como resultado la reacción global redox.

Dado que la reacción redox es el resultado de las reacciones en las celdas electrolíticas, ocurre solamente una de las tres reacciones que se presentan a continuación:

- La del electrodo

Si el electrodo es inerte (Pt (s), grafito), la reacción no ocurre

- La del ion que rodea el electrodo

Si el ion es NO_3^- o SO_4^{2-} , no se genera la reacción, dado que estos iones son inertes.

- La del electrolito.

Si el agua es acidificada, la reacción de oxidación y reducción se produce.

Existen diversas aplicaciones de la celda electrolítica, a continuación, se detallan algunas.

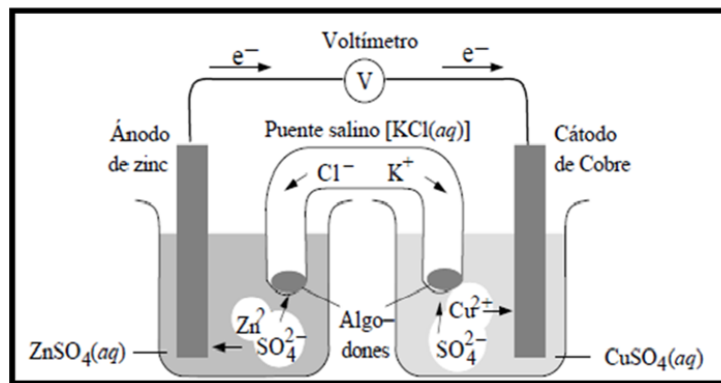
- El cloro y el álcali son producidos por la electrolisis a gran escala de salmuera.
- Otros productos químicos producidos incluyen hidrogeno y oxigeno (por la electrolisis de agua), cloratos, proxisulfato, y permanganato.
- Las superficies de metal también pueden electrolíticamente ser oxidadas (anodizado) para formar estratos protectores de óxido. Esta técnica de acabado de superficie es más ampliamente usada para aluminio, pero sirve también para titanio, cobre y acero.
- Los metales pueden ser purificados por electrorefinación. Así, el metal impuro es utilizado como el ánodo, el cual se disuelve durante la electrolisis. El metal es depositado, en forma más pura, en el cátodo. El cobre, el níquel, el cobalto, el plomo y el estaño son todos purificados por esta técnica.
- Las celdas electroquímicas también pueden usarse para purificar corrientes residuales, por ejemplo, por la deposición y recuperación catódica de metales y la oxidación de contaminantes orgánicos.

c. Celdas Galvánicas. - Las celdas galvánicas se las conoce también con el nombre de pila galvánica, batería, fuente de corriente eléctrica o acumuladores. Son celdas electroquímicas en las cuales las reacciones espontaneas de oxi-reducción producen energía eléctrica. Las dos soluciones que intervienen en la reacción de oxi-reducción, se encuentra separadas, por lo

que transferencia de electrones debe efectuarse a través de una circuito externo o puente.

Una celda galvánica se diferencia de una celda electrolítica en que los procesos de reducción y de oxidación deben separarse para evitar la reacción directa. Las disoluciones se unen mediante un puente salino que contiene una disolución eléctrica. Además, en las celdas galvánicas, el cátodo es positivo y el ánodo es negativo (Cerón & Bubert, 2004) (véase figura N° 2.15).

Figura 2. 14
PARTES DE LA CELDA GALVÁNICA



Fuente: Cerón, María, 2004

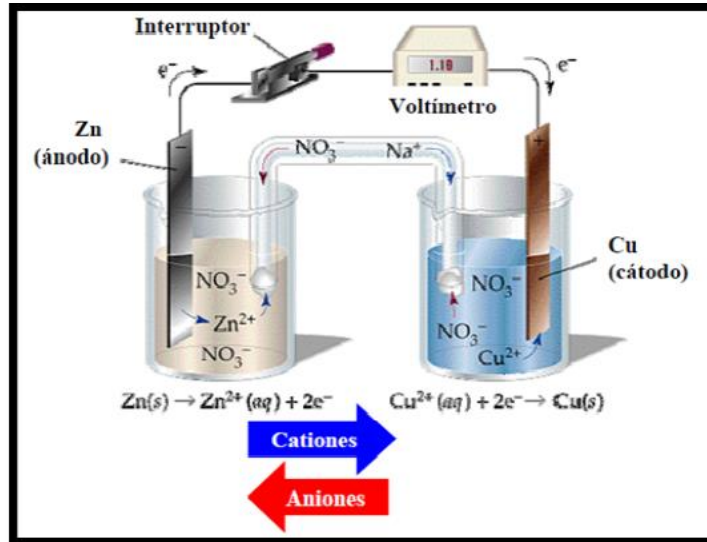
La celda galvánica está formada por:

- Recipiente que contiene la solución
- Ánodo (-): oxidación
- Cátodo (+): Reducción
- Puente salino o tapón poroso: flujo de iones

Partes de una Celda Galvánica

En la solución se sumerge un vaso poroso que contiene una solución de sulfato de zinc, dentro de la cual contiene una lámina limpia de zinc.

Figura 2. 15
REACCIONES EN LAS CELDAS GALVÁNICAS



Fuente: Cerón, María, 2004

Cuando el círculo se cierra usando conductores metálicos se observa un flujo de corriente desde la lámina de zinc hacia la de cobre. En la superficie de la lámina de zinc (ánodo) y en la lámina de cobre se realiza la reducción (cátodo) (Cerón & Bubert, 2004) (véase Figura N° 2.16).

2.2.8.3 Leyes de Faraday.- La electrocoagulación es generada a través del fenómeno llamado “electrolisis”, a continuación se explica con mayor detalle dicho fenómeno.

El fenómeno Electrolisis fue descubierto en 1820 por el físico y químicos inglés Michael Faraday, quien realizó estudios cuantitativos referentes a la cantidad de electricidad que pasa por una solución. El resultado de sus investigaciones los enunció en las leyes que llevan su nombre.

La electrolisis consiste en la descomposición producida por medio de la corriente eléctrica dando como productos sustancias ionizadas denominadas electrolitos.

Para que tenga lugar la electrolisis de un compuesto es preciso que este sea un ácido, una base o una sal disociable en ion, y que se halle en estado líquido o en disolución.

Las leyes que describen la electrolisis son:

a. Primera Ley de Faraday.- La masa de un elemento liberada en la electrolisis es independiente de la composición química del electrolito, siempre que el estado de oxidación del elemento sea el mismo.

b. Segunda Ley de Faraday.- La masa de una sustancia liberada en un electrodo, durante un proceso electrolítico, es directamente proporcional a la cantidad de electricidad que circula a través de la celda, de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$m = E * Q = \left(\frac{P_{eq}}{F} \right) * It$$

Donde:

m: masa depositada o liberada

E: equivalente electroquímico que resulta al dividir el equivalente químico o peso equivalente (P_{eq}) para el valor de la constante de Faraday (F).

Q: carga que resulta de multiplicar la intensidad de corriente I (amperios) por el tiempo t (segundos), transcurrido en el proceso electrolítico (Q=I *t, expresado en coulomb).

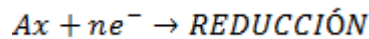
F: constante de Faraday, representa la cantidad de electricidad necesaria para depositar o desprender un equivalente químico de cualquier sustancia. De tal forma, 1 mol de electrones se denomina 1 Faraday, que también es expresado en coulomb.

$$1F: 96500 \text{ Coulomb}$$

Equivalente químico (equivalente gramo, E_g): Valor expresado en gramos que resulta de dividir la masa molar para el número de electrones involucrados en la semireacción.

Intensidad de Corriente (I): carga que atraviesa la sección de un conductor en la unidad de tiempo. La unidad es el amperio, A.

c. Tercera Ley de Faraday.- La masa de los elementos depositados o liberados (ax) en una celda electroquímica es directamente proporcional a los pesos equivalentes. Como se presenta a continuación:



$$n_{Ax} (\text{moles}) = \frac{Q}{nF}$$

$$m_{Ax} = \frac{Q \times P m_{Ax}}{nF}$$

Donde:

Q: Carga eléctrica total que pasa a través de la solución, expresada en coulomb

N: Número de electrones

Pmax: peso molecular

Nax: número de moles del elemento químico

max: masa del compuesto químico depositado o liberado

Cuando la intensidad de corriente es constante se tiene:

$$I = \frac{dQ}{dt} = \frac{nFdn_{Ax}}{dt} = \frac{nFAdm_{Ax}}{Adt} = nFA\mu$$

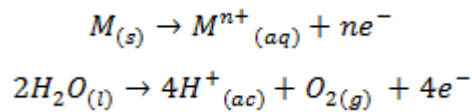
$$\mu = \frac{dn_{Ax}}{Adt} (\text{moles} \times \text{cm}^{-2} \times \text{s}^{-1})$$

De lo anteriormente expuesto, se concluye que la intensidad de corriente es proporcional al área del electrodo y la cantidad de elemento depositado o liberado por 1 Faraday, que se conoce como equivalente electroquímico. (Gomez Polanco & Martinez Valeriano, 2013)

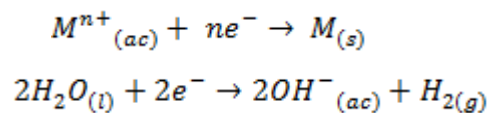
2.2.9 Mecanismo y reacciones. –

2.2.9.1 Reacciones en la electrocoagulación. - Según (Comninellis, 2009) Las reacciones generalmente tienen el siguiente principio, se muestra las expresiones con el metal M tanto para el ánodo como para el cátodo:

Reacciones de oxidación producidas en el ánodo,



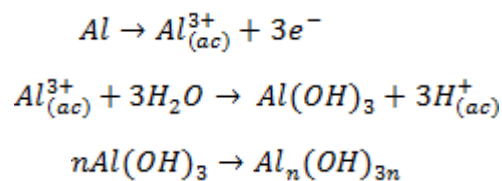
Reacciones de reducción producidas por el cátodo,



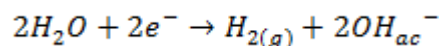
En el caso de que los electrodos sean de aluminio la disolución del ánodo produce especies como Al^{3+} , $Al(OH)^{+}_2$ los cuales producen espontáneamente los respectivos hidróxidos o polihidróxidos; estos dependen del pH de la solución iónica. Los hidróxidos y polihidróxidos formados en estas reacciones electroquímicas tienen una gran afinidad por partículas dispersas e iones, lo que permite la coagulación. Y los gases formados son los que realizan la flotación del material coagulado.

A continuación, se muestra el mecanismo general:

En el ánodo:



En el cátodo:



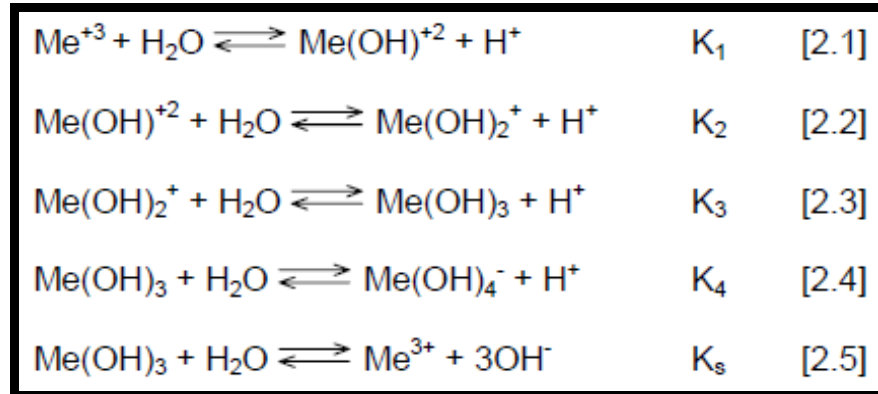
Los iones Al^{+3} en combinación con los OH^{-} reaccionan para formar alguna especie monoméricas como $Al(OH)_2^{+}$, y otras poliméricas, tales como $Al_6(OH)_{15}^{3+}$, $Al_7(OH)_{17}^{4+}$, $Al_8(OH)_{20}^{4+}$, $Al_{13}O_4(OH)_{24}^{7+}$ y $Al_{13}(OH)_{34}^{5+}$ que por procesos de precipitación forman el $Al(OH)_{3(s)}$ como se muestra en la reacción de ánodo. El $Al(OH)_{3(s)}$ es una sustancia amorfa de carácter gelatinoso, que expone una gran área superficial con propiedades absorbentes y que es propicia para los procesos de

adsorción y atracción de las partículas contaminantes (Restrepo, Arango, & Garces, 2012).

También se menciona que, en la disolución acuosa, todos los metales se encuentran hidratados hasta cierto punto y, por tanto, es razonable pensar en la existencia de una capa de hidratación primaria alrededor del ion metálico, donde las moléculas de agua están en contacto con el ion metálico central, y una segunda capa de hidratación alrededor de la primera. Debido a la carga del ion metálico, las moléculas de agua de la primera capa de hidratación pueden estar polarizadas, y esto puede originar la pérdida de uno o más protones de algunas de las moléculas de agua presentes en la capa de hidratación primaria (en función del pH de la disolución), lo que se traduce en que las moléculas de agua en la capa de hidratación son progresivamente reemplazadas por iones hidroxilo, dando lugar a una carga positiva más baja de la especie hidratada. De forma genérica, esto se observa en la secuencia de reacciones de un ion metálico trivalente que se muestra a continuación (ecuación 2.1 a 2.4), en las que se han omitido, intencionadamente, las moléculas de hidratación (véase Figura N° 2.17).

Figura 2. 16

DISOLUCIÓN ACUOSA EN LOS METALES HIDRATADOS



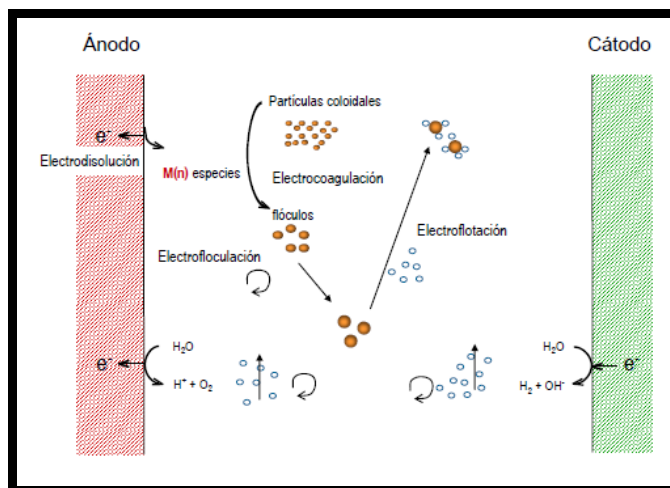
Fuente: Richens, 1997

En el caso del ion aluminio, es conocido que la de hidratación primaria consiste en seis moléculas de agua en coordinación octaédrica (Richens, 1997), y que la química acuosa del ion aluminio es muy compleja, y sobrepasa con creces el nivel de complejidad de las especies monoméricas, ya que estas se pueden combinar para dar especies de mayor peso molecular. Así, es conocido que, como productos de la hidrólisis del aluminio (III), pueden formarse especies de peso molecular intermedio (oligómeros), tales como los dímeros y trímeros, y también especies de elevado peso molecular (polímeros), entre las que la más conocida es el tridecámero. Sin embargo, para bajas concentraciones de metal puede ignorarse la formación de estas especies, y considerar solamente la formación de especies monoméricas. En el esquema de reacciones mostrado (ecuaciones 2.1 a 2.4) se enumeran consecutivamente las especies que se forman con el aumento del pH. En el caso del aluminio, hidróxido que se forma tiene una solubilidad muy baja (ecuación 2.5) y, por tanto, se forma un precipitado amorfo para pHs cercanos a la neutralidad, siendo de una gran importancia en la utilización de este metal en los procesos de coagulación. Debido a la formación de hidróxidos insolubles y de especies

poliméricas, la determinación de las constantes de hidrolisis es complicada, y existen diferencias importantes entre los valores publicados por distintos autores. (Martines Navarro, 2007)

Figura 2. 17

PROCESO DE ELECTROCOAGULACIÓN



Fuente: Martínez Navarro, 2008

2.2.9.2 Proceso de electrocoagulación.- Durante la electrolisis ocurren una serie de procesos físicos y químicos que permiten la remoción de los contaminantes. Estos procesos se pueden describir de la siguiente manera:

En los electrodos ocurren una serie de reacciones que proporcionan iones tanto positivos como negativos. El ánodo provee iones metálicos. A este electrodo se le conoce como electrodo de sacrificio, ya que la placa metálica que lo conforma se disuelve, mientras la placa que forma el cátodo permanece sin disolverse.

Los iones producidos cumplen la función de desestabilizar las cargas que poseen las partículas contaminantes presentes en el agua. Cuando estas cargas se han neutralizado los sistemas que mantienen las partículas en suspensión desaparecen,

permitiendo la formación de agregados de los contaminantes e iniciando así el proceso de coagulación.

Los iones que proveen los electrodos desencadenan un proceso de eliminación de contaminantes que se puede dar por dos vías: las primeras por reacciones químicas y precipitación y la segunda procesos físicos de agregación de coloides, que dependiendo de su densidad pueden flotar o precipitar.

Las reacciones más importantes que pueden sufrir las partículas de contaminantes son: hidrólisis, electrolisis, reacciones de ionización y formación de radicales libres. Estas reacciones cambian las propiedades del sistema agua-contaminantes, que conlleva a la eliminación de la carga contaminante del agua. (Arango Ruiz & Garcés Giraldo, 2007)

Así también, los gases generados en uno de los electrodos dentro del proceso de electrocoagulación al ascender a la superficie provocan los siguientes fenómenos. (Gómez Polanco & Martínez Valeriano, 2013)

- Ocurre un proceso de autolimpieza, debido a la velocidad del flujo, lo que provoca una fuerza de arrastre considerable capaz de remover las películas de coloides depositadas en los electrodos.
- Al interior de la celda se favorece la mezcla, ya que, por la presencia de los gases generados en la electrolisis, se producen corrientes ascendentes y descendentes de la solución, ocasionando una mayor probabilidad de contacto entre los coágulos formados. Esta agitación espontánea permite que en el proceso de electrocoagulación no sea necesaria la agitación mecánica.
- Existe una separación de fases (clarificado-lodo), es decir, no solo permite la extracción por sedimentación clásica, sino también, por flotación (electroflotación), debido a que los flocúlos

se saturan de gases provenientes del proceso de electrolisis (véase figura N°2.18).

2.2.9.3 Componentes del sistema. - Este sistema se encuentra conformado por 3 elementos importantes y estos son:

a) Celda o reactor de electrocoagulación: el tipo de reactor escogido para el tratamiento depende principalmente de la cantidad de agua a tratar y de la carga contaminante que posea. (Comninellis, 2009)

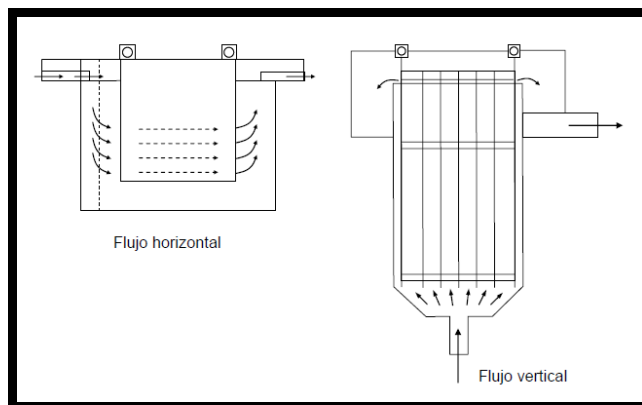
Existen muchos tipos de celdas electroquímicas empleadas en el proceso de electrocoagulación y pueden clasificarse atendiendo a diferentes criterios:

- Dirección del flujo de agua residual
- Modo de circulación
- Tipo de conexión electródica
- Finalidad de la celda

De esta forma, en función de la dirección del flujo en la celda, los reactores se pueden clasificar en unidades de flujo horizontal y vertical (véase figura N°2.19).

Figura 2. 18

TIPOS DE CELDAS O REACTORES ELECTROQUÍMICAS

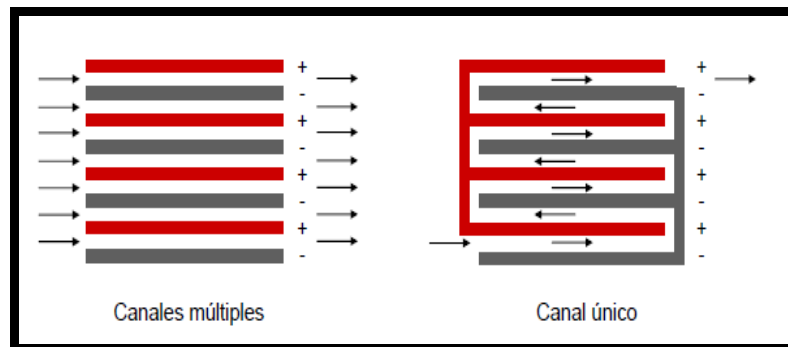


Fuente: Martínez Navarro, 2008

Esta disposición puede tener importancia cuando se pretenda aprovechar el movimiento provocado por el oxígeno y el hidrógeno generados en los procesos anódicos y catódicos de oxidación y reducción del agua, respectivamente. Además, en función del modo de circulación del agua a tratar entre los electrodos, se pueden encontrar celdas de canales múltiples o bien de un solo canal (véase figura N°2.20).

Figura 2. 19

MODOS DE CIRCULACIÓN DEL AGUA EN EL REACTOR



Fuente: Martínez Navarro, 2008

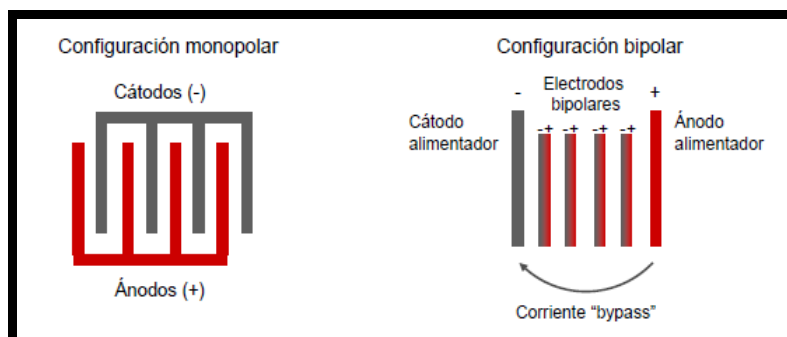
La ventaja de las celdas de canales múltiples se encuentra en la sencillez de su disposición. Sin embargo debido al pequeño caudal de electrolito en cada uno de los canales, esta disposición puede favorecer el fenómeno de pasivación de electrodos. (Martínez Navarro, 2008)

b) Electrodo: los metales más utilizados para este proceso son el aluminio y hierro, por su bajo costo, la disponibilidad en el mercado y la cantidad de información bibliográfica existente. (López Escobar, 2014)

De acuerdo con el tipo de conexión eléctrica, los reactores pueden ser clasificados en monopolares y bipolares.

Figura 2. 20

TIPO DE CONEXIÓN ELECTRÓDICA



Fuente: Martínez Navarro, 2008

La configuración bipolar trabaja a menor intensidad y mayor voltaje que la monopolar. Estas celdas 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 de la disolución causando un bypass de corriente a los electrodos bipolares y produciendo por tanto pérdidas de corriente, lo que debe ser tenido en cuenta a la hora de prever el efecto sobre la producción y el tiempo de vida de electrodos. (Kelsall & Jiang, 2002)

Un último elemento discriminatorio en el diseño de procesos de electrocoagulación (y tal vez sea el más característico dentro de esta aplicación, ya que los demás son comunes al resto de tecnologías electroquímicas) es la finalidad del reactor. Ésta puede ser simplemente la dosificación 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). (Martínez Navarro, 2008)

c) Fuente de poder: permite transformar la corriente alterna a corriente continua con reguladores de amperaje y voltaje. (Cazco Sanchez & Jarrin Flores, 2011)

2.2.9.4 Factores que afectan al proceso de electrocoagulación

Son muchos los factores que intervienen en el proceso de electrocoagulación, siendo algunos de éstos más influyentes sobre el proceso. Así mismo, para poder determinar la eficiencia del proceso de electrocoagulación se deben controlar varios parámetros de operación, entre estos: la densidad de corriente, voltaje, presencia de NaCl, pH de la solución, temperatura, conductividad de la solución, tiempo de electrólisis, tipo de fuente de la alimentación y distancia entre electrodos.

a. Densidad de corriente eléctrica: La densidad de la corriente determina la dosificación del metal a la solución y la densidad de producción de burbujas, y además es directamente proporcional a la remoción de contaminantes, debido a que la corriente depende de la concentración inicial de la muestra y de su conductividad. (Gilpavas, Aplicación de la electroquímica en el tratamiento de aguas residuales, 2008, pág. 21), es decir, con un aumento en la densidad de corriente, el ánodo aumenta la velocidad de disolución. Esto conduce a un aumento en el número de flocúlos de hidróxido de metal y como resultado se incrementa la eficiencia de eliminación de los contaminantes. (Yaguana & Almeida, 2015). Así mismo, Barrera (2014) indica que para que el sistema de electrocoagulación opere por un largo periodo de tiempo sin mantenimiento se sugiere que la densidad de corriente se mantenga entre 20-25 A/m². Para asegurar una alta eficiencia de corriente, la selección de la densidad de corriente se debe realizarse en conjunto con otros parámetros de operación tales como el pH, la temperatura y el flujo.

b. Voltaje: El voltaje es directamente proporcional al costo energético y puede variar por factores como la conductividad de la solución, la distancia entre los electrodos, el material y la geometría de los mismos. (Gilpavas, Aplicación de la electroquímica en el tratamiento de aguas residuales, 2008, pág. 20)

c. Presencia de NaCl; La sal se utiliza para aumentar la conductividad del agua residual que será tratada. Además, se halló que los iones cloruro pueden reducir los efectos complicados de otros iones como HCO_3^- , SO_4^{2-} , ya que la presencia de los iones carbonato o sulfatos llevarían a la precipitación de los iones Ca^{2+} o Mg^{2+} que crean una capa aislante sobre la superficie de los electrodos, esta capa aislante aumentaría el potencial entre electrodos y su resultado es una importante disminución en la eficiencia de la corriente. Se recomienda que las cantidades de aniones Cl^- presentes sean del 20% para asegurar una operación normal de electrocoagulación. En conclusión, la adición de NaCl disminuye el consumo de corriente y a su vez incrementa la conductividad. (Barrera Díaz, 2014)

d. pH de la solución: El pH interviene sobre la eficiencia de la corriente en el proceso de solubilidad del metal para formar hidróxido. El pH varía durante el proceso de electrocoagulación y esta variación depende del material de los electrodos y del pH inicial del agua residual a tratar. (Yaguana & Almeida, 2015) El pH durante el proceso de electrocoagulación puede aumentarse para aguas residuales ácidas, debido a la generación de hidrógeno molecular que se origina en el cátodo. En las aguas residuales alcalinas, el pH puede disminuir y dependiendo de la naturaleza del contaminante. Se ha determinado en algunos casos que la mayor eficiencia en la remoción de una

contaminante se da dentro de un rango específico de pH e incluso este rango puede variar. En forma general las mejores remociones se han obtenido para valores de pH cercanos a 7. (Arango, 2012)

e. Temperatura: A medida que la temperatura aumenta también lo hace la velocidad de reacción, lo cual se pensaría podría ser beneficioso para el proceso, sin embargo, para las reacciones de electrocoagulación un incremento en la temperatura lleva a la dispersión de los agregados formados durante el proceso. (Gilpavas, Aplicación de la electroquímica en el tratamiento de aguas residuales, 2008). Además, de acuerdo a Samaniego (2015) se ha identificado que la eficiencia en la corriente aumenta inicialmente hasta llegar a 60°C, luego de llegar a esta temperatura comienza a disminuir.

f. Conductividad de la solución: La solución a tratarse por medio de electrocoagulación debe presentar una mínima conductividad para que exista flujo eléctrico. Un incremento en la conductividad eléctrica genera a su vez un incremento en la densidad de corriente. La conductividad en aguas residuales que presenten una baja conductividad se le aumenta una cantidad suficiente de sales como cloruro de sodio (NaCl) y sulfato de sodio (Na₂SO₄), de esta manera se aumentara la conductividad de la solución. (Merzounk, 2010)

g. Tiempo de electrólisis: Una función del tiempo de electrólisis es la eficiencia de eliminación de contaminantes, ya que con un aumento en el tiempo se aumenta la eficiencia de la remoción de contaminantes. El hidróxido de metal está formado por la disolución del ánodo. Para una densidad de corriente fija, el número de hidróxido de metal generado aumenta con el aumento del tiempo de electrólisis. A mayor tiempo, ocurre un aumento, originando un aumento en la eficiencia de eliminación

de contaminantes. Para un tiempo de electrolisis más allá del tiempo óptimo, la eficiencia de eliminación de contaminantes no aumenta. (Yaguana & Almeida, 2015, pág. 17)

h. Tipo de fuente de alimentación: La mayoría de estudios informaron haber usado la corriente directa (DC) en el proceso de electrocoagulación. El uso de la corriente directa conduce a la formación de corrosión en el ánodo debido a la oxidación. El uso de la corriente directa conduce a la formación de corrosión en el ánodo debido a la oxidación. Una capa de oxidación formada también en el cátodo, reduce el flujo de corriente entre el cátodo y el ánodo, esto con lleva a la reducción de la eficiencia de eliminación de contaminantes. (Khandegar, 2013).

i. Distancia entre los electrodos: La distancia entre electrodos juega un papel significativo en el proceso de electrocoagulación. La máxima eficiencia de eliminación de contaminantes se obtiene a una determinada distancia entre electrodos. En la distancia mínima entre los electrodos que es de 8 mm, la eficiencia de remoción de contaminantes es baja. Esto es debido al hecho de que los flóculos de hidróxidos de metal se generan en menor cantidad y en consecuencia la remoción de contaminante por sedimentación será menor. (Daneshvar, 2004) El aumento de la reducción del contaminante se debe a que al aumentar la distancia entre los electrodos, hay una disminución de los efectos electrostáticos resultando en un movimiento más lento de los iones generados, lo que proporciona más tiempo para aglomerarse y formar más flóculos. Esto a su vez causa un aumento en la eficiencia de eliminación del contaminante desde la fase acuosa. Al aumentar la distancia de los electrodos sobre la distancia óptima, hay una reducción en la eficiencia de eliminación de contaminantes. (Khandegar, 2013).

(López Escobar, 2014) realizaron un experimento previo para la verificación entre distancias de electrodos con placas de aluminio y hierro. Las distancias fueron 29.5 cm, 14.5 cm, 7.00 cm, 3.00 cm en la cual la distancia optima a utilizar fue 2.5 cm. Para el presentará proyecto de investigación se realizará a una distancia de 3 cm de separación entre placas de aluminio de ánodo y cátodo.

j. Tipo de material de electrodos: Según estudios de (Nizam & Rozaynhi, 2016), en su trabajo de investigación con el método de electrocoagulación se utilizaron electrodos de aluminio y acero inoxidable debido a su bajo costo y comercialización para plantas a gran escala, donde concluye que la remoción de turbidez con el acero es del 99.41%. En este proyecto de investigación, se utilizará únicamente el aluminio como electrodos de ánodo y cátodo.

2.2.10 Descripción del proceso en una planta de beneficio de reses. – En los mataderos, los animales antes de ser beneficiados son recepcionados en el establecimiento para luego ser trasladados al área de Lavado en donde se le retira el polvo y la suciedad; éstas aguas son canalizadas para finalizar en los pozos de agua residual. Luego a los animales se les aturdece, donde pierden sensibilidad, para luego beneficiarlos o sacrificarlos. Una vez que el animal es beneficiado se deja desangrar por un tiempo estimado; esta sangre es canalizado, para finalizar en los pozos de agua residual. En el proceso de degüello, se genera sangre, restos de grasa, piel y otras partes del animal; estos residuos son clasificados y dispuesto en contenedores con la finalidad de venta. En el desuello, se genera restos menores como patas, colas, etc. los que también son dispuestos en contenedores para después venderlos. En el Eviscerado, se realiza las actividades de extracción de vísceras

del animal; estos residuos son dispuestos en contenedores para su venta. En la división de la Carcaza, se realiza la extracción de la piel del animal; las pieles son llevados a contenedores para someterlos a otros procesos o para su venta. En el desgrase, se realiza la extracción de tejidos adiposos propios, situados en distintas áreas o partes del animal; estos restos también son dispuestos en contenedores y su posible venta. En la inspección y lavado final, se realiza la limpieza y el lavado del animal beneficiado; el agua residual que se genera se canaliza y llega a los pozos de agua residual. Una vez que el animal beneficiado es limpiado en su totalidad se clasifica y se pesa para al final generar un registro de las condiciones del animal beneficiado. Después de ser clasificado y pesado, es llevado a un área para que pueda ser oreado y se eliminen los malos olores. Ya una vez que no cuente con los malos olores, es llevado al despacho y este se entrega a su cliente respectivo para su posible venta. En esta sección se presenta el flujograma del proceso de la planta beneficio donde se realizó la investigación, aquí se muestra desde la recepción de los animales hasta su despacho.

Figura 2. 21

FLUJOGRAMA DEL PROCESO PRODUCTIVO DE LA PLANTA DE BENEFICIO



Elaboración Propia

2.3 Términos básicos. –

Se tomarán algunas definiciones básicas para su fácil comprensión en esta investigación.

2.3.1 Electrocoagulación: La coagulación asistida electroquímicamente, o electrocoagulación (EC), un proceso electroquímico en el que a partir de compuestos procedentes de la disolución de un ánodo (Cañizares, Carmona, Lobato, Martínez, & A., 2005), se agrupa la materia coloidal existente en un agua residual, posibilitando su conversión en sólidos suspendidos, y su separación del agua mediante técnicas convencionales de separación sólido/líquido tales como la decantación, flotación y filtración (Pouet & Grasmick, 1995) (Cañizares, Martínez, Lobato, & Rodrigo, 2007). Como consecuencia de su disolución, los ánodos van desapareciendo conforme transcurre el tratamiento, llegando un momento en el que es necesaria su reposición (ánodos de sacrificio). (Consolider Tragua, 2010)

2.3.2 Electrofloculación: en el interior de la celda electroquímica, la carga de los coloides facilita su movimiento por el campo eléctrico generado por los electrodos, y la evolución electródica de gases (oxígeno en el ánodo e hidrogeno en el cátodo) genera una mezcla suave. Esto favorece el choque entre coloides y por tanto la floculación en el interior de la celda electroquímica sin necesidad de agitación mecánica. (Consolider Tragua, 2010)

2.3.3 Electroflotación: los gases que se generan a partir de los electrodos (ánodo y cátodo) pueden adherirse a la superficie de los flóculos disminuyendo la densidad de los mismos y posibilitando su separación por flotación. (Consolider Tragua, 2010)

- 2.3.4 Reacciones redox:** son aquellas en las que se transfieren uno o más electrones. Las reacciones redox están formadas por dos semireacciones de manera que un proceso de oxidación se da simultáneamente con otro de reducción. (Gómez Polanco & Martínez Valeriano, 2013)
- 2.3.5 Celda electroquímica:** es un dispositivo experimental para generar electricidad mediante una reacción redox espontánea. (Chang, 2007)
- 2.3.6 Agua residual no domestica:** son las descargas de líquidos producidos por actividades económicas, comerciales e industriales distintas a las generadas como producto de la preparación de alimentos, del aseo personal y de desechos fisiológicos. (Calderón de la Barca, 2013)
- 2.3.7 Estándar de Calidad Ambiental:** se define como la medida que establece el nivel de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire, agua o suelo en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente.

CAPITULO III VARIABLES E HIPÓTESIS

3.1 Variables de la investigación. - Las variables que intervienen en este proyecto son del tipo cuantitativa.

- **Variable Independiente:**
Método de electrocoagulación a flujo.
- **Variable dependiente:**
Calidad de agua.

3.2 Operacionalización de variables. - El trabajo de investigación que se realizará será de carácter experimental y correlacional. A continuación, se mencionarán las variables en el siguiente cuadro:

Variable Independiente “X” \longrightarrow Variable Dependiente “Y”
 $y = f(x)$

Tabla 3. 1

MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Variable	Definición conceptual	Dimensiones	Indicadores	Unidad de medida	Instrumento
Independiente (X): Método de electrocoagulación a flujo.	Un proceso en el cual son desestabilizadas las partículas de contaminantes que se encuentra suspendidas, emulsionadas o disueltas en un medio acuoso, induciendo corriente eléctrica en el agua a través de placas metálicas paralelas de diversos materiales.	Físicas	Caudal	l/s	Método Volumétrico
		Eléctricas	Amperaje	A	Amperímetro
			Voltaje	V	Voltímetro
Dependiente (Y): Calidad de agua	Calidad del agua se refiere a las características químicas, físicas, biológicas y radiológicas del agua.	Fisicoquímicos	Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)	mg/l	Medidor de DBO, método respirometrico
			Demanda química de Oxígeno	mg/l	Reactor para análisis de la DQO
			% de variación de Aceites y Grasas	mg/l	Equipo para determinar aceites y grasas
			Turbiedad	NTU	Turbidímetro
			Sólidos totales disueltos	mg/L	Multiparametro
			Conductividad eléctrica	uS/cm	Multiparametro
			Potencial de hidrogeno	und.pH	Ph metro

Elaboración Propia

3.3 Hipótesis:

3.3.1 Hipótesis general. - La calidad del agua proveniente del tratamiento de las aguas residuales de la planta de beneficio de reses por el método de electrocoagulación a flujo cumplirán con los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua.

3.3.2 Hipótesis específicas. –

3.3.2.1 Los niveles de remoción de los contaminantes del agua residual provenientes de la planta de beneficio de reses cumplirán con los Estandares de Calidad Ambiental para Agua.

3.3.2.2 El sistema de electrocoagulación presentara óptimas condiciones de operación.

CAPITULO IV METODOLOGÍA

4.1 Tipo de investigación. - El presente trabajo se basa en una investigación de tipo experimental, ya que pone en práctica la explicación y control de hechos que permiten descubrir relaciones causales que existen entre fenómenos o hechos de un determinado campo; y también es de tipo correlacional ya que un cambio en la variable independiente (X) incide en la variable dependiente (Y). Es así que se desarrollará un adecuado control del método de electrocoagulación de flujo continuo con el objetivo de determinar su efecto sobre el tratamiento de las aguas residuales de la planta de beneficio de reses.

4.2 Diseño de la investigación.- Para el diseño de la investigación se han considerado varios aspectos como la selección del electrodo, el diseño de la celda de electrocoagulación, distancia entre electrodos, tiempo de residencia, tipo de conexión, dimensiones y número de electrodos y la toma de muestra para los parámetros insitu (Turbidez, Solidos Totales Disueltos, pH, Conductividad Eléctrica) y tomas de muestras para parámetros en laboratorio (DBO₅, DQO, Aceites y Grasas) que fueron evaluados de acuerdo a las mejores condiciones óptimas de remoción de turbidez. A continuación, se detallará cada aspecto:

4.2.1 Diseño y montaje del reactor o celda de electrocoagulación. - En el presente trabajo de investigación se seleccionó el sistema de flujo continuo a escala Piloto, un tanque de almacenamiento de agua residual, un reactor de acrílico electrolítico de capacidad 50 litros de agua y un cilindro de almacenamiento del agua tratada, para luego determinar la remoción de los parámetros a evaluar tanto a la entrada de la celda de electrocoagulación, como en la salida de la celda de electrocoagulación.

Figura 4. 1

MONTAJE DE CELDA DE ELECTROCOGULACIÓN



Elaboración Propia

Las medidas de la celda de electrocoagulación fueron: Altura: 33cm, Ancho: 30cm, Largo: 60cm. Las medidas y las zonas de la celda electrolítica fueron tomados como referencia del estudio “Diseño de una celda de electrocoagulación para el tratamiento de aguas residuales de la industria láctea” (Arango Ruiz & Garcés Giraldo, 2007)

a. Fuente de Poder: Para el diseño de la fuente de poder, se mandó a elaborar a un profesional técnico eléctrico-electrónico a quien se le brindó la información necesaria para que este equipo se ajustara a nuestras necesidades de operación.

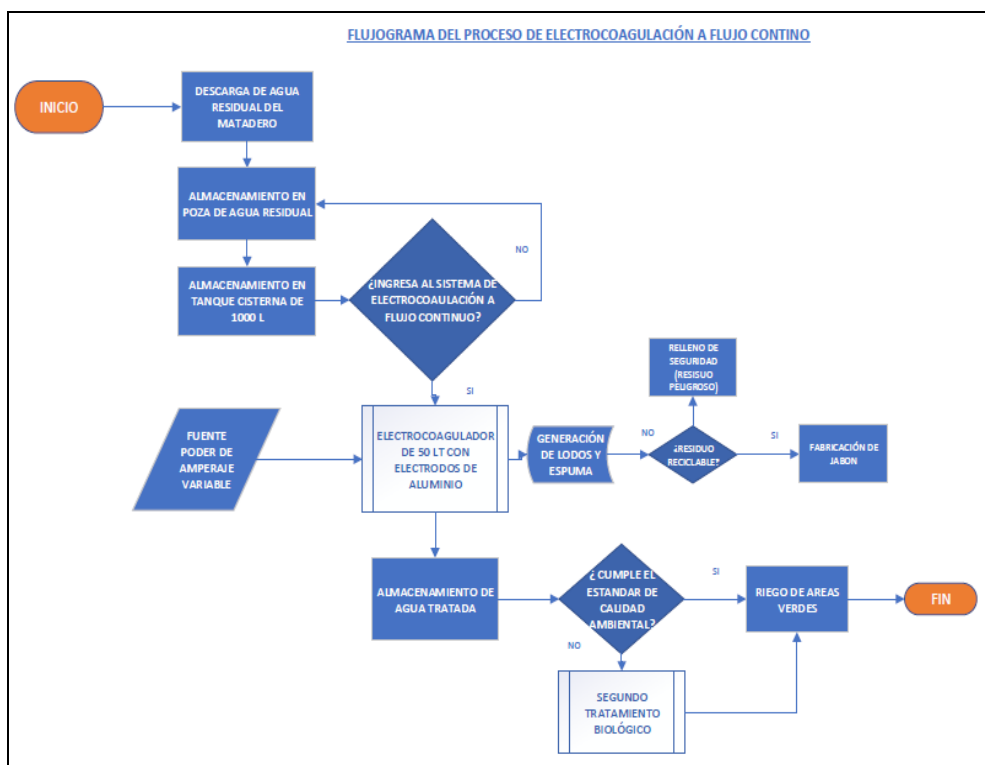
Figura 4. 2

FUENTE PODER



Figura 4. 3

FLUJOGRAMA DEL PROCESO DE ELECTROCOAGULACIÓN A FLUJO CONTINUO



Elaboración Propia

4.2.2 Materiales y Equipos. - En los siguientes cuadros se indicarán los Equipos y Materiales que se utilizarán en este estudio.

**Tabla 4. 1
EQUIPOS DE MEDICIÓN**

ITEM	MARCA
Turbidímetro	Tubidity Meter
Medidor Multiparámetro pH, Conductividad, Temperatura, solidos disueltos totales	PTH-026 multi-parameter 5 in 1 Water Quality Monitor
Cronómetro	sd

Elaboración Propia
Sd: sin datos

Tabla 4. 2
MATERIALES DE LABORATORIO

MATERIAL	DETALLE	MARCA
Electrodos de Aluminio	25cm x 15cm	sd
Vaso precipitado	1000ml	Gardino
Botella de Plástico (oscuro)	1000ml	sd
Botella de Vidrio (boca ancha , color ambar)	1000ml	sd
Botella de plástico o de vidrio	1000ml	sd

Elaboración Propia
Sd: Sin datos

4.2.3 Ensayo con Agua Residual de la planta de beneficio de reses. - Los ensayos se realizaron en un período de 5 semanas, en cada semana se realizó 5 visitas a la empresa para realizar los ensayos. Se tomaron las pruebas y mediciones a diferentes rangos de Amperaje, Voltaje y Caudales de tratamiento. En cada ensayo se tomó las muestras respectivas de los parámetros elegidos. Para las muestras de los parámetros como Turbiedad, pH, Sólidos totales disueltos y Conductividad, se realizó el análisis Insitu. De acuerdo a los mejores resultados de remoción de turbidez en las mejores condiciones óptimas de amperaje, voltaje y caudal de tratamiento, se realizó 4 tomas de muestras de la Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), Demanda química de oxígeno (DQO) y Aceites y Grasas, tanto en la entrada al sistema como en la salida del sistema continuo (tanque de sedimentación) durante el tiempo de operación del sistema y se llevaron a un laboratorio acreditado siguiendo el protocolo establecido para la toma de muestras.

4.3 Población y muestra. –

4.3.1. Población: La población para esta investigación son los efluentes generados de las líneas de drenaje de la planta de

beneficio de reses ubicada en la zona de amortiguamiento de los pantanos de villa.

4.3.2. Muestra: La muestra es el caudal tratado por la unidad de tratamiento. Los caudales son: Caudal Bajo (16 L/h-24 L/h), Caudal Medio (25 L/h-44 L/h), Caudal Alto (45 L/h-128 L/h), los cuales fueron obtenidos de un tanque de almacenamiento proveniente de la poza del efluente residual; siendo la muestra de tipo compuesto por conveniencia, ya que la muestra seleccionada resulta ser accesible para el investigador. La muestra fue medida tanto en la entrada del sistema como en la salida del sistema. En base a los resultados de los valores obtenidos de los equipos de medición (sólidos totales disueltos, Turbidez, pH, Conductividad); se realizó 4 tomas de muestras de DBO₅, DQO y Aceites y grasas, durante las 5 semanas de pruebas en las instalaciones de la planta de beneficios de reses.

4.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos. - La toma de muestra del agua residual de la planta de beneficio de reses, a la entrada y salida del sistema de electrocoagulación, se realizaron con los instrumentos de medición insitu y según el protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales-ANA RJ 010-2016 ANA, para la toma de muestras de los parámetros (DBO₅, DQO, Aceites y Grasas). La recopilación de datos (parámetros a analizar) se hizo con instrumentos de medición tal como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 4. 3

REQUISITOS DE TOMA DE MUESTRA Y PRESERVACIÓN

PARAMETRO	RECIPIENTE	VOLUMEN	CONSERVAR /PRESERVAR	TIEMPO DE ALMACENAMIENTO	INSTRUMENTO DE MEDICIÓN
Turbidez	Plástico (P)	100 ml	4°C , guardar en la oscuridad	Máximo 24 horas	Turbidímetro
Sólidos Totales Disueltos	Plástico (P)	500 ml	4°C	Máximo 7 días	Multiparámetro
pH	Plástico (P)	100 ml	---	Análisis Inmediato	pH-metro /multiparámetro
Conductividad eléctrica	Plástico (P)	500 ml	Refrigerar a 4°C	Análisis Inmediato	Multiparámetro
Aceites y Grasas	Vidrio Ámbar de boca ancha	1000 ml	Refrigerar a 4°C, agregar H ₂ SO ₄ Ph<2	28 días	Equipo para determinación de aceites y grasas
Demanda Química de Oxígeno	Plástico	200ml	Refrigerar a 4°C, agregar H ₂ SO ₄ Ph<2	28 días	Reactor para análisis DQO
Demanda Bioquímica de Oxígeno	Plástico	1000ml	Refrigerar a 4°C	24 horas	Medidor de DBO, método Respirometrico

Fuente: Anexo N°1 Requisitos para toma de muestras de agua y preservación RJ 010- 2016 ANA.

Tabla 4. 4

MÉTODOS NORMALIZADOS Y EQUIPOS PARA MONITOREO DE AGUAS RESIDUALES

PARÁMETRO	ESTANDAR METHODS APHA	MÉTODO	EQUIPOS	UNIDADES
Temperatura	2550-B	Termométrico	Multiparámetro	°C
Turbidez	2130-B	Nephelometric	Turbidímetro	NTU
Sólidos Totales Disueltos	2540-C	Gravimétrico	Multiparámetro	mg/L
pH	4500-H	Sensor-insitu	Phmetro	---
Conductividad eléctrica	2510-B	Celda o electrodo de conductividad	Conductímetro/ Multiparámetro	µmhos/cm
Aceites y Grasas	5520-B	Extracción liquido-liquido	Pera de decantación y destilador	mg/L
Demanda Química de Oxígeno	5220-B	Reflujo cerrado	colorímetro	mg/L
Demanda Bioquímica de Oxígeno	5210-B	DBO ₅ (5 días, 20°C)	Incubadora	mg/L

Fuente: Elaborado a partir de Standard Methods for the examination of water and water wader 24 edition 2005-APHA-AWWA-WPCF

4.5 Caracterización de los efluentes generados en la planta de beneficios. - Se realizó la caracterización de las aguas de la planta de beneficios, por lo que se hizo el monitoreo en las áreas existentes.

Tabla 4. 5

PUNTOS DE MONITOREO DE LA PLANTA DE BENEFICIO

PUNTOS DE MONITOREO	DESCRIPCIÓN
ZD-01	ZONA DE DUCHA
ZS-01	ZONA SUCIA
ZO-01	ZONA DE OREO
ZM-01	ZONA DE MENUDENCIA
ZM	ZONA DE SANGRADO
CR	CONFLUENCIA DE LOS EFLUENTES

Fuente: Informe de caracterización de efluentes- Mundo Esperanza, 2017

Tabla 4. 6
PUNTOS DE MONITOREO DE LA PLANTA DE BENEFICIO

Parámetro	Unidades	Estación de Muestreo ZD-01	Estación de Muestreo ZS-01	Estación de Muestreo ZO-01	Estación de Muestreo ZM-01	Estación de Muestreo ZM	Estación de Muestreo CR	Categoría 3	Categoría 4
DBO	mg/L O ₂	105	3560	2010	3816.5	3817	3463	15	5
Aceites y Grasas	mg/L	36.8	93.2	65.3	515.8	172.5.	1797.2	5	5
Sólidos Totales Suspendidos	mg/L	545	6800	982	5080	3260	1730	----	≤25
Nitrógeno Total	mg/L	19.08	0.29	0.44	0.62	0.38	2.96	---	0.315
Fosforo total	mg/L	4.53	70.19	5.59	30.07	37.24	30.14	---	0.035
Coliformes Fecales	NMP/100 ml	>16x 10 ⁴	>16x 10 ⁴	>16x 10 ⁴	>16x 10 ⁴	>16x 10 ⁴	>16x 10 ⁴	1000	---
DQO	mg/L O ₂	654.9	3961.9	2130.1	6270.3	5777.5	3961.10	40	---
pH	Unidad de pH	7.5	7.13	7.93	7.07	6.70	7.11	6.5-8-5	6.5- 9
Temperatura	°C	25.9	26.9	23.7	25.4	25.9	26.5	Δ3	Δ3

Fuente: Informe de caracterización de efluentes-Mundo Esperanza, 2017

4.6 Procedimientos de recolección de datos. - Para la recolección de datos, se estableció los días de monitoreo del tratamiento del agua residual. En cada día del monitoreo se tomó muestras antes del tratamiento y después del tratamiento, cuya duración era de 1 hora.

Los parámetros insitu del agua residual que se determinó fueron:

pH, Turbiedad, Conductividad, Temperatura, Caudal, Amperaje y Voltaje. Otros parámetros adicionales que se agregaron fueron DBO, DQO, Aceites y Grasas.

Después de la obtención de los datos después del tratamiento, se llevó esta información a un programa llamado MINITAB, el cual realiza el procesamiento de la información para obtener la idea del comportamiento del tratamiento del agua residual.

En las condiciones de operación se consideró el caudal en rangos:

- Caudal Alto: 45 l/h- 128 l/h
- Caudal Medio: 25 l/h- 44 l/h
- Caudal Bajo: 16 l/h- 24 l/h

En el cual se mostrará los datos obtenidos al final de tratamiento del agua residual con respecto a los días programados:

Tabla 4. 7
CONDICIONES DE OPERACIÓN DEL DIA 1

DIA 1	ENTRADA	SALIDA
Caudal (alto) (l/h)	47.63	
Amperaje (A)	40	
Voltaje (V)	4	
Turbidez (NTU)	132.5	7.2
Solidos disueltos totales (ppm)	4380	4070
Conductividad eléctrica (uS/cm)	6.28	5.9
Temperatura (°C)	27.1	26.4
pH	6.8	7.3

Elaboración propia

Tabla 4. 8
CONDICIONES DE OPERACIÓN DEL DIA 2

DIA 2	ENTRADA	SALIDA
Caudal (alto) (l/h)	75	
Amperaje (A)	32	
Voltaje (V)	4	
Turbidez (NTU)	136.2	8.5
Solidos disueltos totales (ppm)	3960	3520
Conductividad eléctrica (uS/cm)	5.64	5.05
Temperatura (°C)	21.6	23.7
pH	6.7	7

Elaboración propia

Tabla 4. 9
CONDICIONES DE OPERACIÓN DEL DÍA 3

DIA 3	ENTRADA	SALIDA
Caudal (alto) (l/h)	69.23	
Amperaje (A)	50	
Voltaje (V)	6	
Turbidez (NTU)	128	13.8
Solidos disueltos totales (ppm)	3620	3120
Conductividad eléctrica (uS/cm)	5.27	4.52
Temperatura (°C)	22.7	28.8
pH	6.2	6.6

Elaboración Propia

Tabla 4. 10
CONDICIONES DE OPERACIÓN DEL DÍA 4

DIA 4	ENTRADA	SALIDA
Caudal (alto) (l/h)	45	
Amperaje (A)	20	
Voltaje (V)	5	
Turbidez (NTU)	273.4	53.5
Solidos disueltos totales (ppm)	3170	2840
Conductividad eléctrica (uS/cm)	4.57	4.04
Temperatura (°C)	22.1	22.8
pH	6.2	6.6

Elaboración propia

Tabla 4. 11
CONDICIONES DE OPERACIÓN DEL DÍA 5

DIA 5	ENTRADA	SALIDA
Caudal (medio) (l/h)	36	
Amperaje (A)	20	
Voltaje (V)	3	
Turbidez (NTU)	275.8	45.1
Solidos disueltos totales (ppm)	3640	3330
Conductividad eléctrica (uS/cm)	5.17	4.76
Temperatura (°C)	22.6	20.1
pH	6.2	6.6

Elaboración Propia

Tabla 4. 12
CONDICIONES DE OPERACIÓN DEL DÍA 6

DIA 6	ENTRADA	SALIDA
Caudal (medio) (l/h)	26	
Amperaje (A)	40	
Voltaje (V)	4	
Turbidez (NTU)	150	8.4
Solidos disueltos totales (ppm)	4280	3370
Conductividad eléctrica (uS/cm)	6.24	4.84
Temperatura (°C)	23.5	24.8
pH	6.7	7

Elaboración Propia

Tabla 4. 13
CONDICIONES DE OPERACIÓN DEL DÍA 7

DIA 7	ENTRADA	SALIDA
Caudal (medio) (l/h)	30	
Amperaje (A)	50	
Voltaje (V)	6	
Turbidez (NTU)	113	15.5
Solidos disueltos totales (ppm)	3340	3040
Conductividad eléctrica (uS/cm)	4.76	4.35
Temperatura (°C)	25.6	29.8
pH	6.1	6.5

Elaboración Propia

Tabla 4. 14
CONDICIONES DE OPERACIÓN DEL DÍA 8

DIA 8	ENTRADA	SALIDA
Caudal (medio) (l/h)	25	
Amperaje (A)	30	
Voltaje (V)	6	
Turbidez (NTU)	169	12.6
Solidos disueltos totales (ppm)	3190	2710
Conductividad eléctrica (uS/cm)	4.58	3.89
Temperatura (°C)	26.4	31.3
pH	6.4	6.9

Elaboración Propia

Tabla 4. 15
CONDICIONES DE OPERACIÓN DEL DÍA 9

DIA 9	ENTRADA	SALIDA
Caudal (bajo) (l/h)	16	
Amperaje (A)	30	
Voltaje (V)	4	
Turbidez (NTU)	300	12.8
Solidos disueltos totales (ppm)	3640	3320
Conductividad eléctrica (uS/cm)	5.21	4.75
Temperatura (°C)	19.5	20.1
pH	6.4	6.6

Elaboración Propia

Tabla 4. 16

CONDICIONES DE OPERACIÓN DEL DÍA 10

DIA 10	ENTRADA	SALIDA
Caudal (bajo) (l/h)	21	
Amperaje (A)	40	
Voltaje (V)	5	
Turbidez (NTU)	168	9.7
Solidos disueltos totales (ppm)	3600	3110
Conductividad eléctrica(uS/cm)	5.23	4.46
Temperatura (°C)	27.6	26.6
pH	6.2	6.8

Elaboración Propia

Tabla 4. 17

CONDICIONES DE OPERACIÓN DEL DÍA 11

DIA 11	ENTRADA	SALIDA
Caudal (bajo) (l/h)	20	
Amperaje (A)	50	
Voltaje (V)	6	
Turbidez (NTU)	213	8.5
Solidos disueltos totales (ppm)	3350	2550
Conductividad eléctrica (uS/cm)	4.8	3.63
Temperatura (°C)	21.6	31.3
pH	6.4	6.6

Elaboración Propia

Tabla 4. 18

CONDICIONES DE OPERACIÓN DEL DÍA 12

DIA 12	ENTRADA	SALIDA
Caudal (bajo) (l/h)	21	
Amperaje (A)	20	
Voltaje (V)	5	
Turbidez (NTU)	158.3	10.4
Solidos disueltos totales (ppm)	3380	2990
Conductividad eléctrica (uS/cm)	4.92	4.3
Temperatura (°C)	23.7	25
pH	6.3	6.8

Elaboración Propia

Se adicionan datos de los parámetros de la DBO, DQO y Aceites y Grasas.

Tabla 4. 19

CONDICIONES DE OPERACIÓN PARA DBO, DQO, ACEITES Y GRASA A CAUDAL MEDIO

Parámetros	ENTRADA	SALIDA
Caudal (medio) (l/h)	26	
Amperaje (A)	40	
Voltaje (V)	4	
DBO (mg/l)	1252.9	609.5
DQO (mg/l)	2429.2	906.9
Aceites y Grasas (mg/l)	45.3	2.8

Elaboración Propia

Tabla 4. 20

CONDICIONES DE OPERACIÓN PARA DBO, DQO, ACEITES Y GRASAS A CAUDAL MEDIO

Parámetros	ENTRADA	SALIDA
Caudal (medio) (l/h)	36	
Amperaje (A)	20	
Voltaje (V)	3	
DBO (mg/l)	1440.8	1018.5
DQO (mg/l)	1668	1012.6
Aceites y Grasas (mg/l)	41.9	22.5

Elaboración Propia

Tabla 4. 21

CONDICIONES DE OPERACIÓN PARA DBO, DQO, ACEITES Y GRASAS A CAUDAL MEDIO

Parámetros	ENTRADA	SALIDA
Caudal (medio) (l/h)	30	
Amperaje (A)	50	
Voltaje (V)	6	
DBO (mg/l)	644	415
DQO (mg/l)	1283.5	686.6
Aceites y Grasas (mg/l)	27.7	5.2

Elaboración Propia

Tabla 4. 22

CONDICIONES DE OPERACIÓN PARA DBO, DQO, ACEITES Y GRASAS A CAUDAL MEDIO

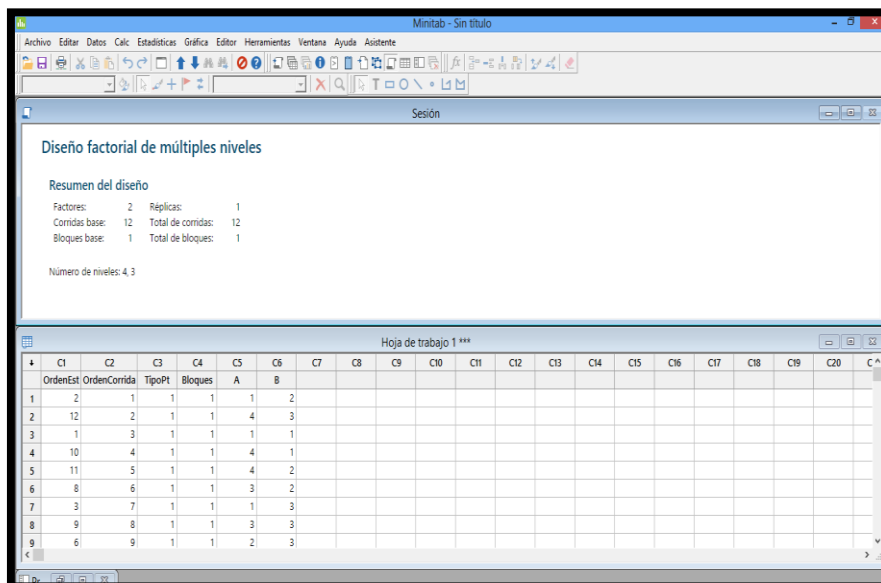
Parámetros	ENTRADA	SALIDA
Caudal (medio) (l/h)	25	
Amperaje (A)	30	
Voltaje (V)	6	
DBO (mg/l)	997.5	598.5
DQO (mg/l)	1528.5	721.5
Aceites y Grasas (mg/l)	52.5	12.8

Elaboración Propia

4.7 Procesamiento estadístico y análisis de datos. - En este apartado, se utilizó el programa MINITAB para el procesamiento de los datos obtenidos al final del tratamiento del agua residual. Se realizó la configuración de los factores y niveles a trabajar, en este caso se tomó el caudal y el amperaje con 3 y 4 niveles respectivamente.

Figura 4. 4

PROGRAMA MINITAB



Elaboración propia

Una vez que se realizó las combinaciones de los niveles y factores, se colocaron los resultados obtenidos en el tratamiento del agua residual de los parámetros de turbidez, sólidos totales disueltos, conductividad eléctrica, temperatura, pH.

Figura 4. 5
LLENADO DE INFORMACIÓN EN MINITAB

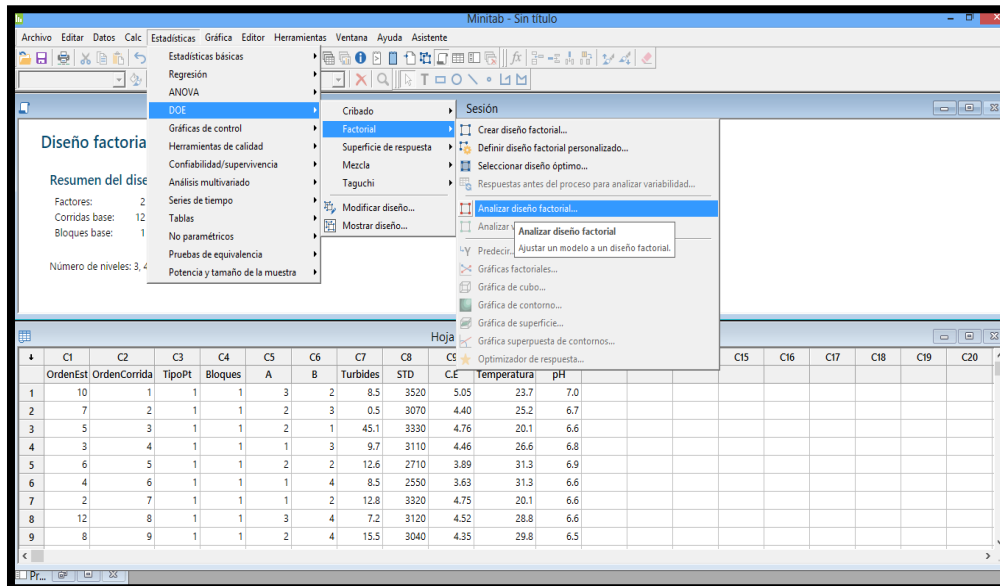
The screenshot shows the Minitab interface with a 'Diseño factorial de múltiples niveles' (Multi-level factorial design) window. The summary indicates 2 factors, 12 base runs, and 12 total runs. Below the summary is a data table with 20 columns (C1-C20) and 9 rows of data. The first 10 columns correspond to the design factors, and the last 10 columns contain the measured response variables: STD, C.E., Temperatura, and pH.

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19	C20
	OrdenEst	OrdenCorrida	TipoPt	Bloques	A	B	Turbidez	STD	C.E	Temperatura	pH									
1	10	1	1	1	3	2	8.5	3520	5.05	23.7	7.0									
2	7	2	1	1	2	3	0.5	3070	4.40	25.2	6.7									
3	5	3	1	1	2	1	45.1	3330	4.76	20.1	6.6									
4	3	4	1	1	1	3	9.7	3110	4.46	26.6	6.8									
5	6	5	1	1	2	2	12.6	2710	3.89	31.3	6.9									
6	4	6	1	1	1	4	8.5	2550	3.63	31.3	6.6									
7	2	7	1	1	1	2	12.8	3320	4.75	20.1	6.6									
8	12	8	1	1	3	4	7.2	3120	4.52	28.8	6.6									
9	8	9	1	1	2	4	15.5	3040	4.35	29.8	6.5									

Elaboración Propia

Luego se realizó el análisis del diseño factorial, donde en cada factor se analizó su relación con las variables de pH, turbidez, conductividad, sólidos totales suspendidos.

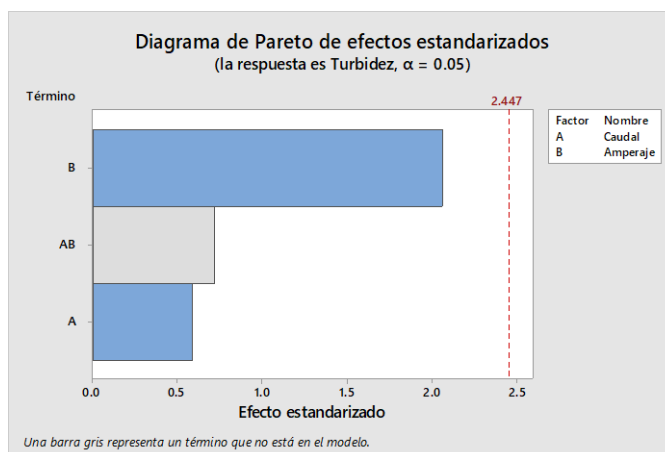
Figura 4. 6
ANÁLISIS DE DISEÑO FACTORIAL



Elaboración Propia

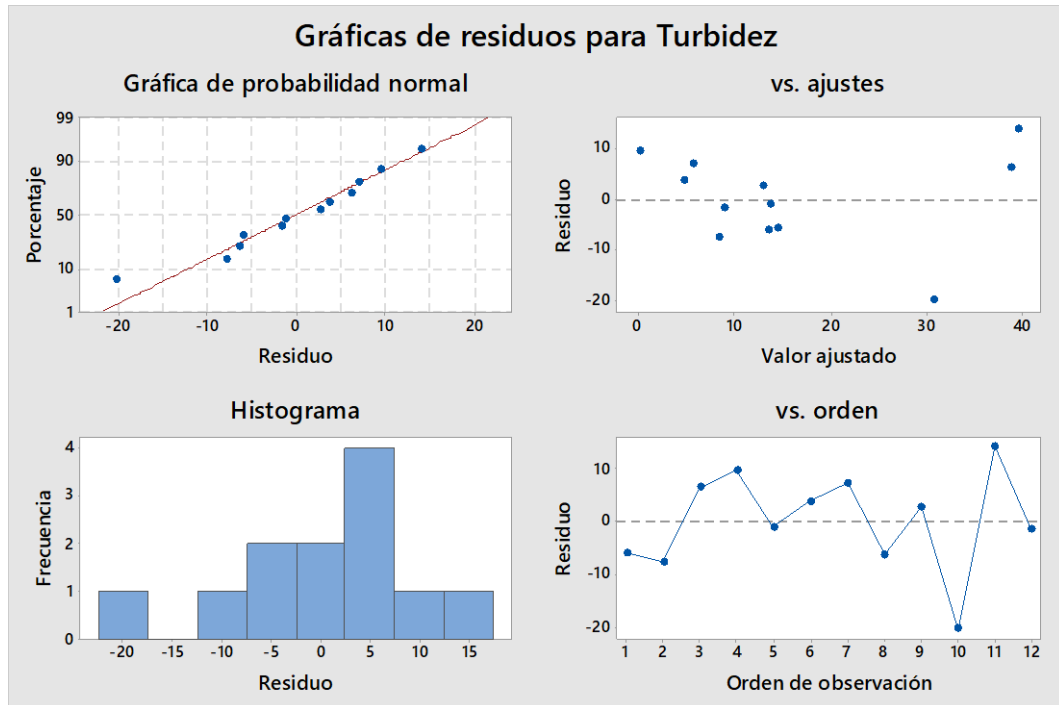
Una vez seleccionado el parámetro a analizar, se obtuvo los siguientes gráficos correspondientes Diagrama de Pareto y la gráfica de residuos; en este caso se toma de ejemplo el parámetro turbidez y esto se replica para los siguientes parámetros mencionados.

Figura 4. 7
DIAGRAMA DE PARETO



Elaboración Propia

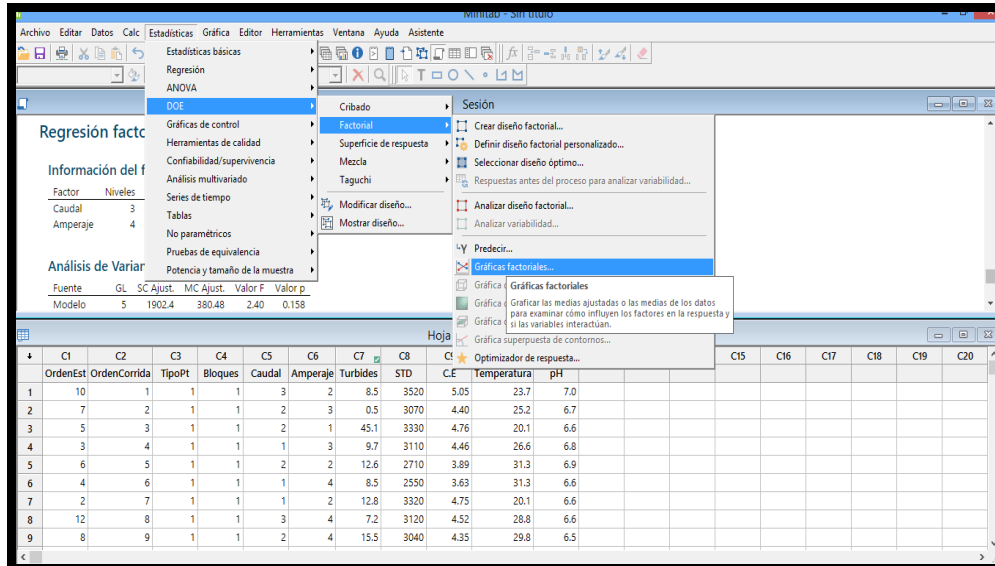
Figura 4. 8
GRÁFICA DE RESIDUOS



Elaboración Propia

Después de la selección y análisis de los diferentes parámetros, se realizó los gráficos factoriales donde se analizó la relación de los factores selección con respecto a los parámetros a analizar. En este caso tomó como ejemplo: Turbidez

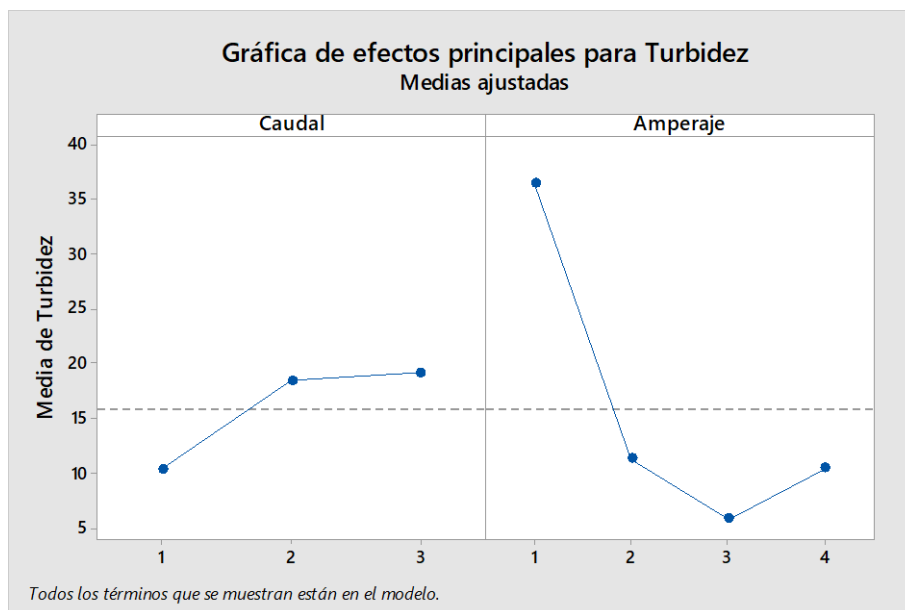
Figura 4. 9
GRAFICAS FACTORIALES



Elaboración Propia

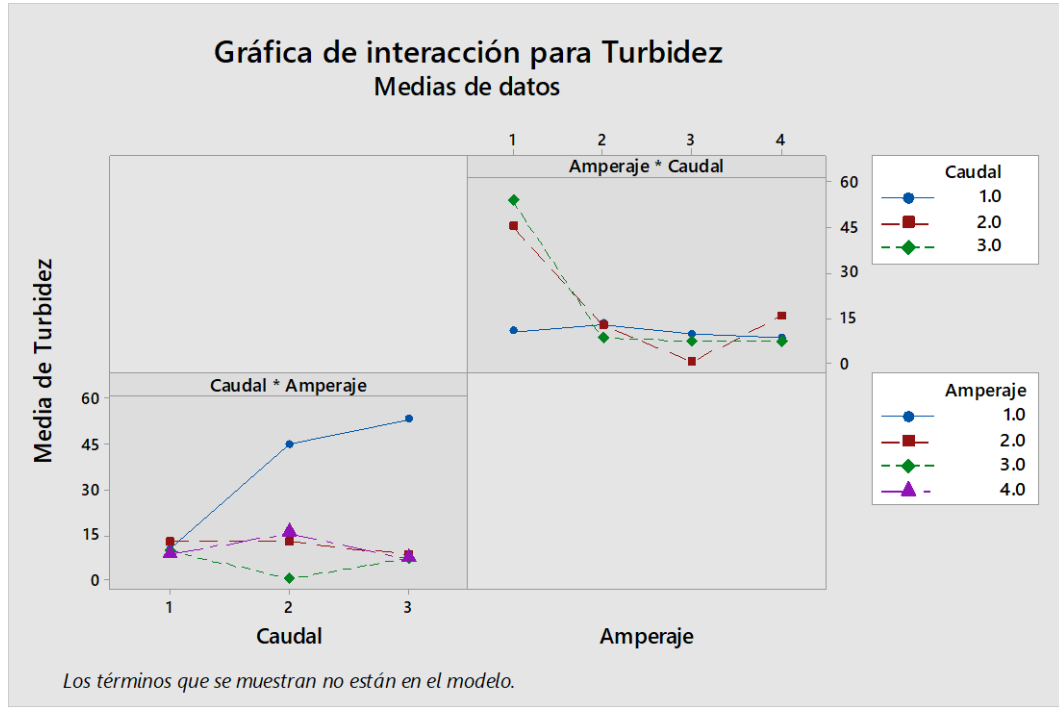
Se procedió al análisis de la turbidez con los gráficos de efectos principales de la turbidez y la gráfica de interacción de la turbidez.

Figura 4. 10
GRAFICA DE EFECTOS PRINCIPALES



Elaboración Propia

Figura 4. 11
GRÁFICA DE INTERACCIÓN



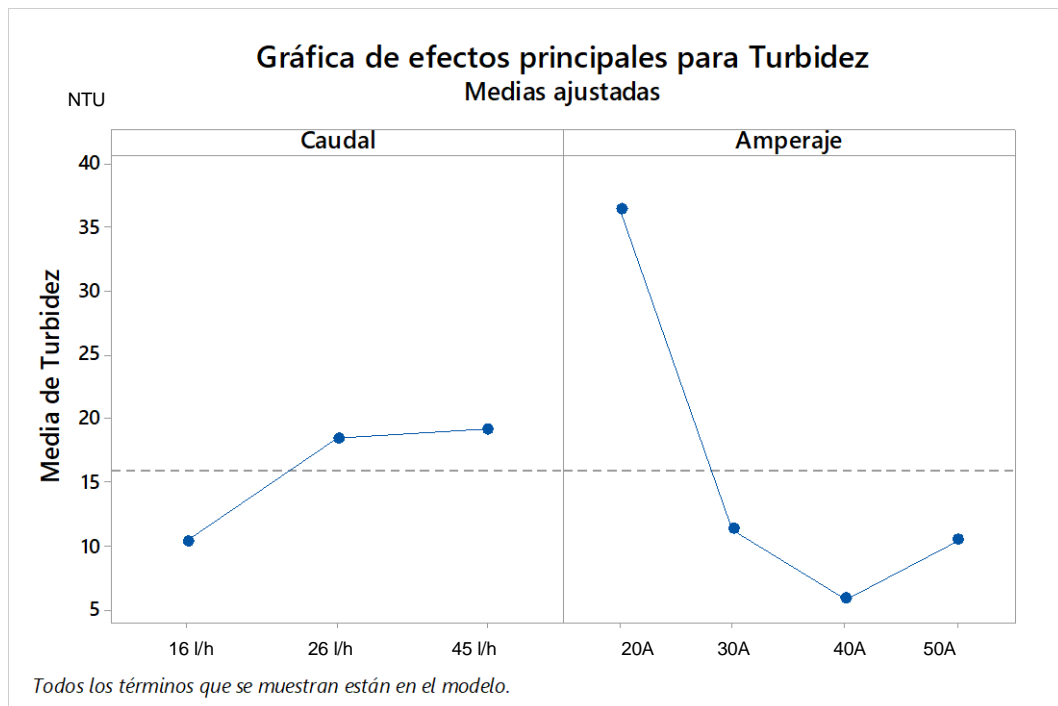
Elaboración Propia

CAPITULO V RESULTADOS

En esta sección se presentan los gráficos correspondientes a los parámetros mencionados:

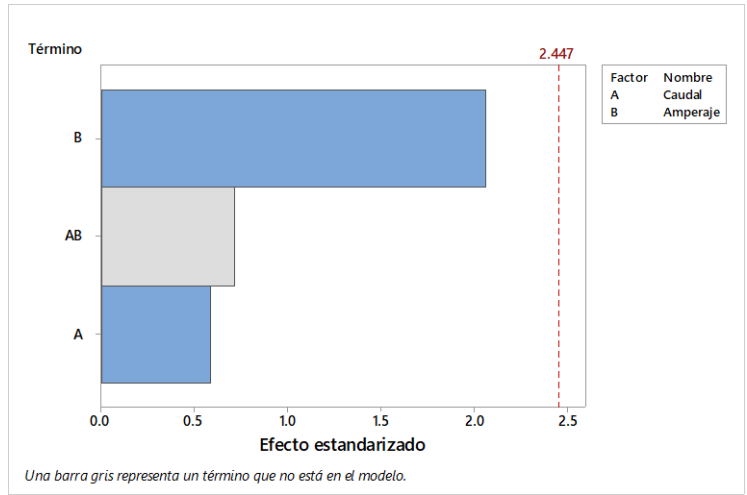
5.1 Turbidez.-

Figura 5. 1
EFFECTOS PRINCIPALES PARA TURBIDEZ



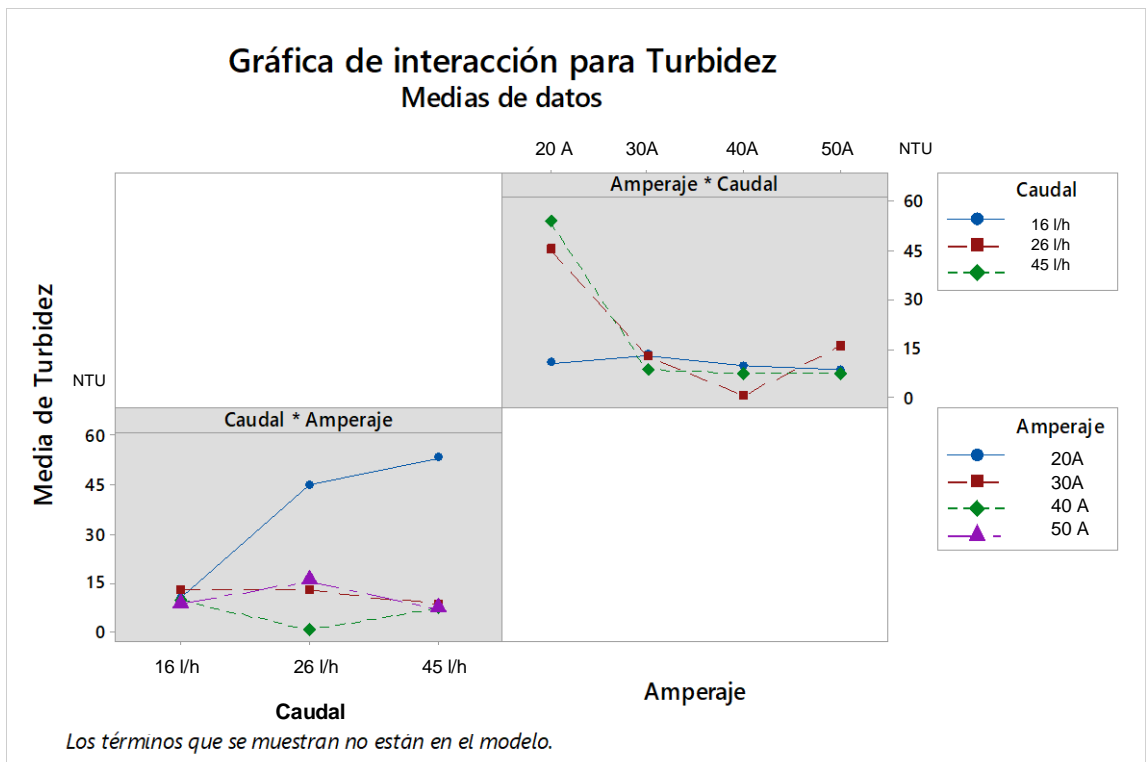
Elaboración Propia

Figura 5. 2
HISTOGRAMAS DE PARETO PARA TURBIDEZ



Elaboración Propia

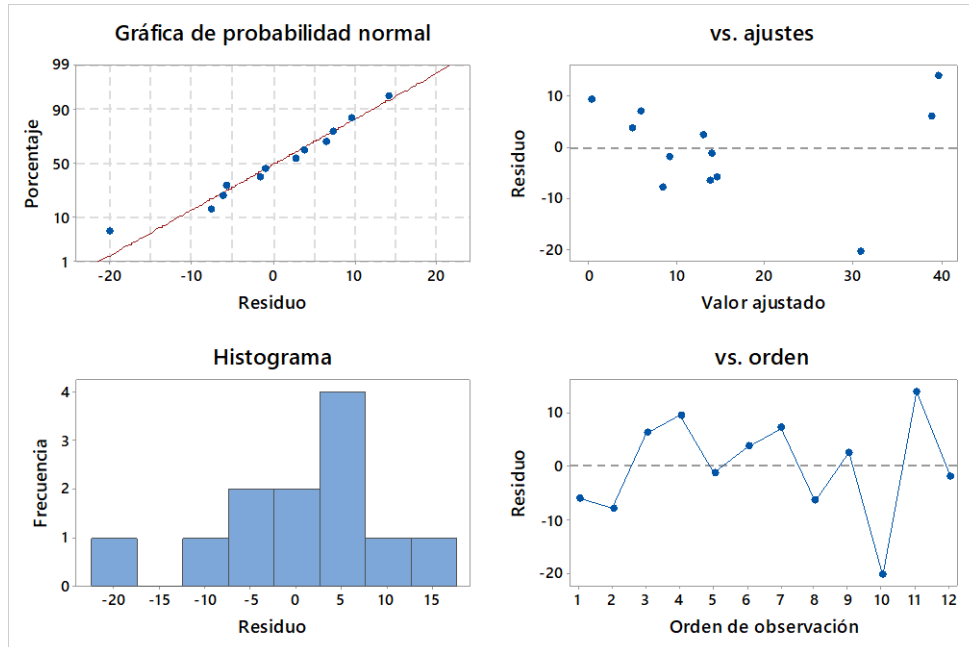
Figura 5. 3
INTERACCIÓN PARA TURBIDEZ



Elaboración Propia

Figura 5. 4

GRÁFICO DE RESIDUOS PARA TURBIDEZ



Elaboración Propia

Interpretación de gráficos referente a la Remoción de Turbidez. -

En el diagrama de Pareto, el factor más influyente en la remoción de turbiedad es el AMPERAJE.

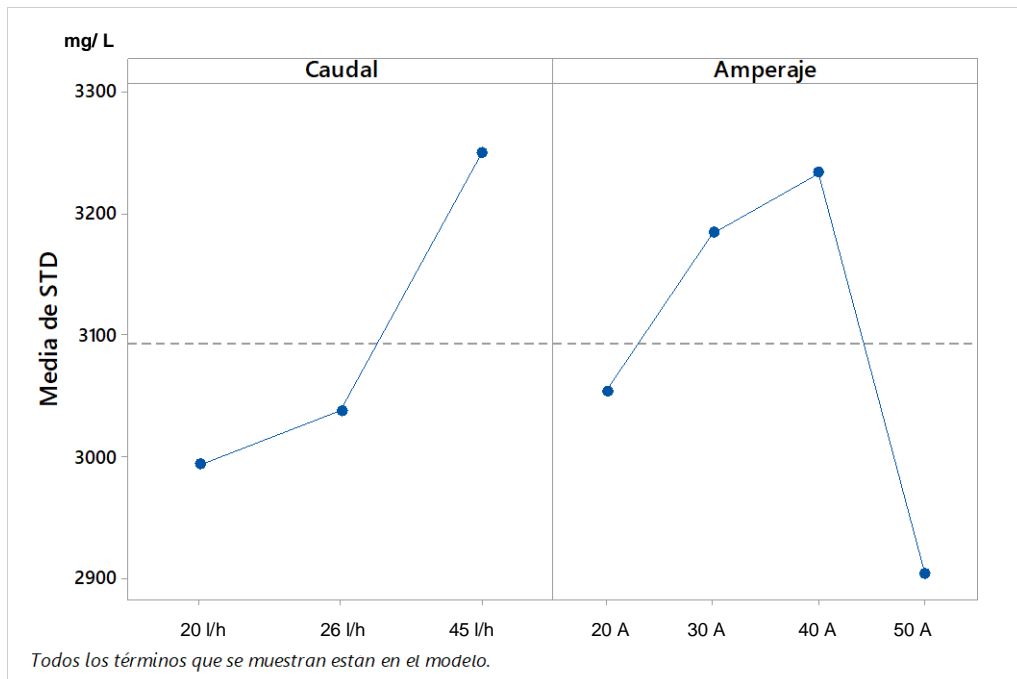
- En el Grafico de Efectos Principales, la remoción de turbidez disminuye a medida que aumenta el caudal. Sin embargo, la remoción de turbidez es directamente proporcional al amperaje hasta llegar a 40 Amperios.
- En el gráfico de interacción para turbidez, en ambos gráficos muestran que una máxima eficiencia de remoción es a un caudal medio de 26 l/h y a un amperaje de 40.
- En la gráfica de probabilidad normal de residuos, nos indica que los residuos se encuentran distribuidos cerca o sobre la línea recta. En la otra grafica de los residuos versus los valores ajustados, la distribución de los residuos se presenta de forma aleatoria a los dos lados del cero, esto nos indica que se cumple con el supuesto

de varianza constante. El histograma permite examinar las características generales de los residuos, acá muestra que existe una mayor columna sobre el número 5 indicando que hay mayor frecuencia de residuos, indicando una distribución regular de los residuos. La ultima grafica es residuos versus el orden de datos, nos muestra todos los residuos en el orden en el que fueron tomados los datos. Los datos están distribuidos aleatoriamente en la grafica. Se concluye que el error se encuentra bien distribuido, ya que a menor error mayor confiabilidad.

5.2 Sólidos Totales Disueltos. –

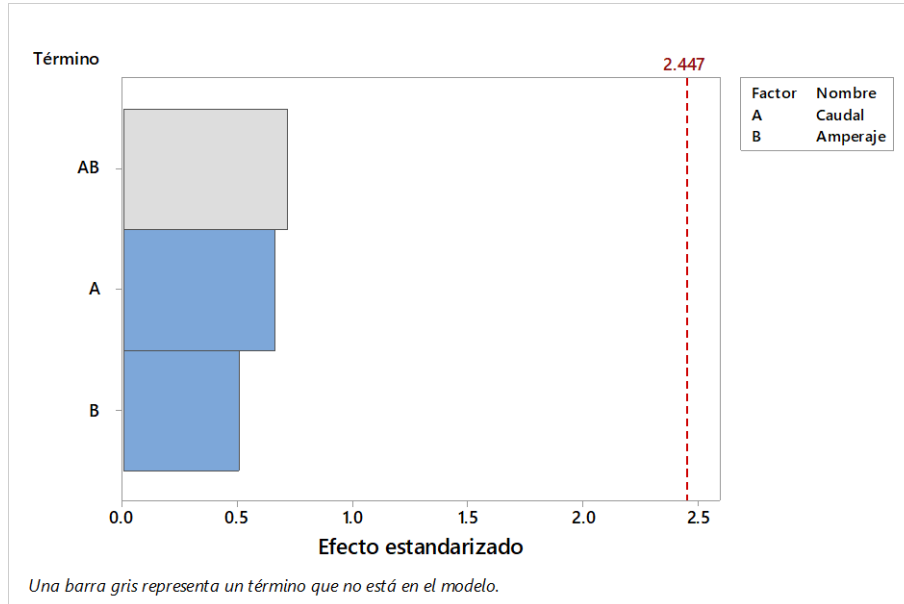
Figura 5. 5

EFFECTOS PRINCIPALES PARA SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS



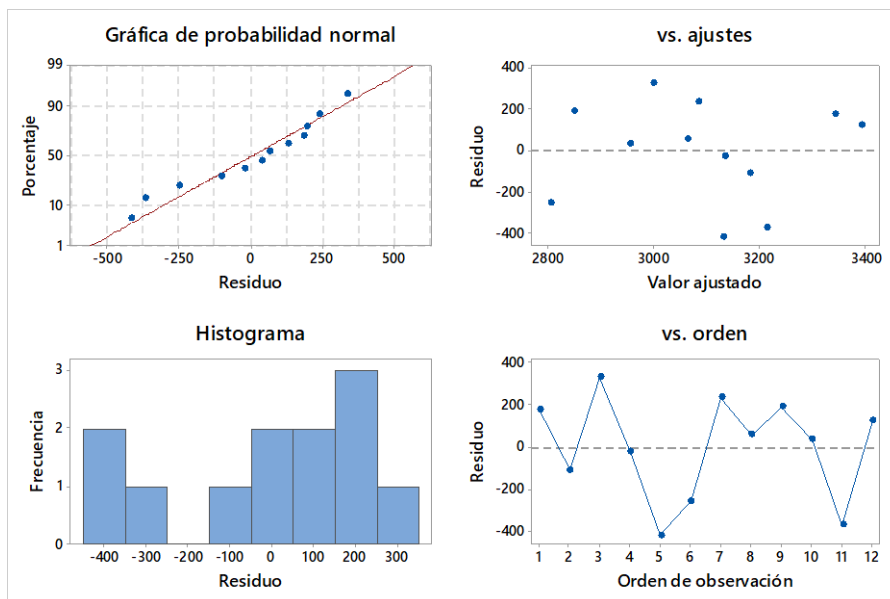
Elaboración Propia

Figura 5. 6
DIAGRAMA DE PARETO PARA SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS



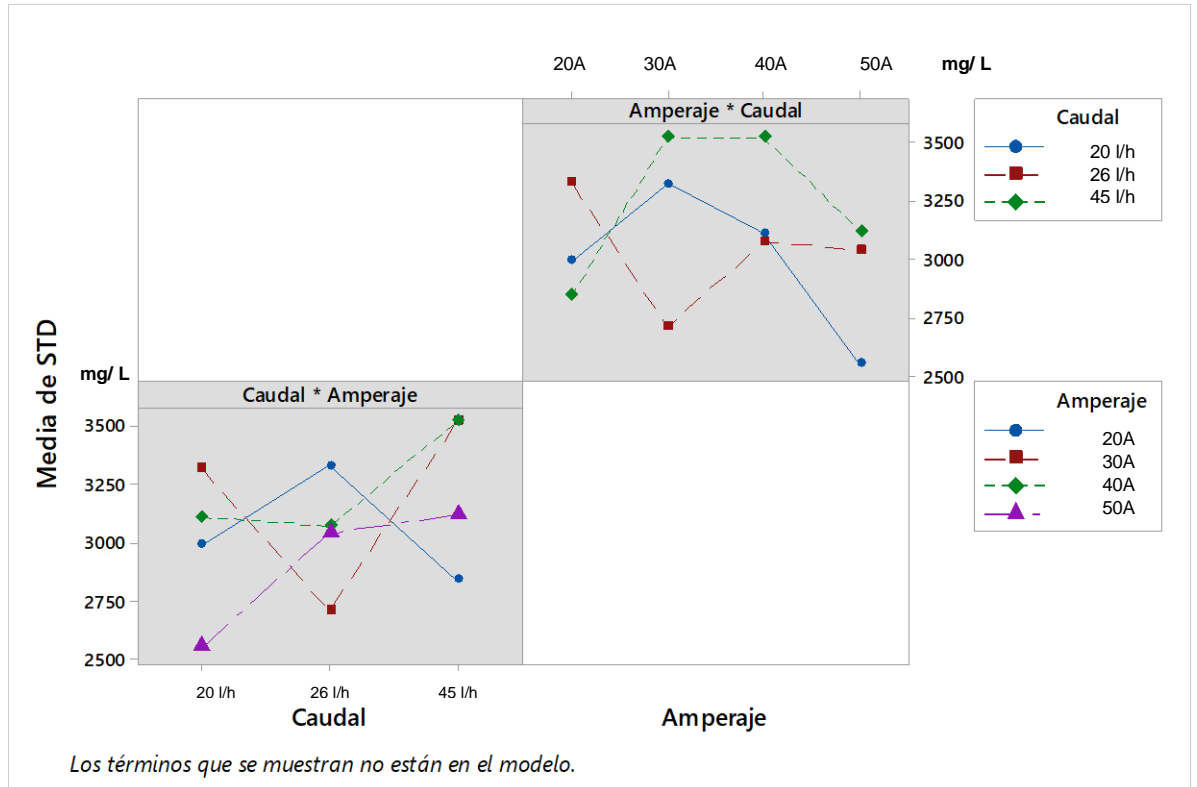
Elaboración Propia

Figura 5. 7
GRAFICA DE RESIDUOS PARA SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS



Elaboración Propia

Figura 5. 8
INTERACCIÓN PARA SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS



Elaboración Propia

Interpretación de gráficos referente a la remoción de los Sólidos Totales Disueltos. -

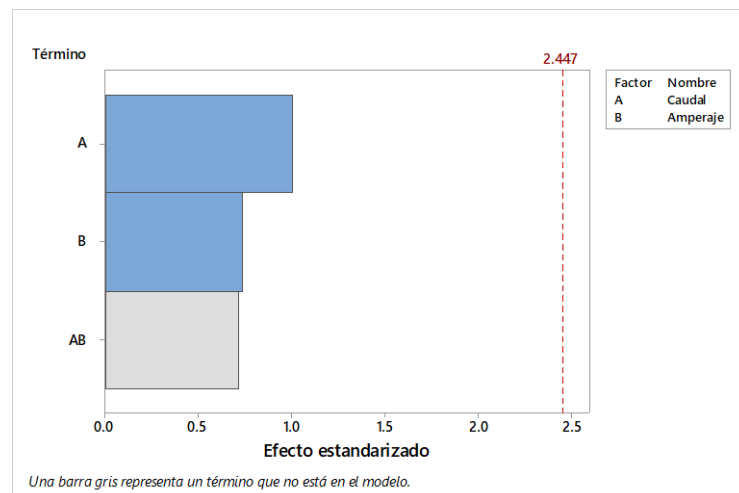
- En el diagrama de Pareto, se mostró que ninguno de los factores es de influencia en la remoción de STD.
- En el gráfico de efectos principales, el incremento de caudal afectó a la disminución de la remoción de STD. El incremento del amperaje disminuyó el efecto de remoción de STD pero al llegar a los 40 Amperios aumenta la remoción de STD.
- En el gráfico de interacciones para sólidos totales disueltos el punto de máxima eficiencia es a un caudal bajo de 20 l/h y a un amperaje de 50 A.

- En el gráfico de residuos para sólidos totales disueltos, se muestra que se mantienen las mismas condiciones de distribución de los residuos que el parámetro de turbidez, pero a excepción del gráfico de histogramas que muestra una irregularidad pero nos es tan relevante.

5.3 Conductividad Eléctrica

Figura 5. 9

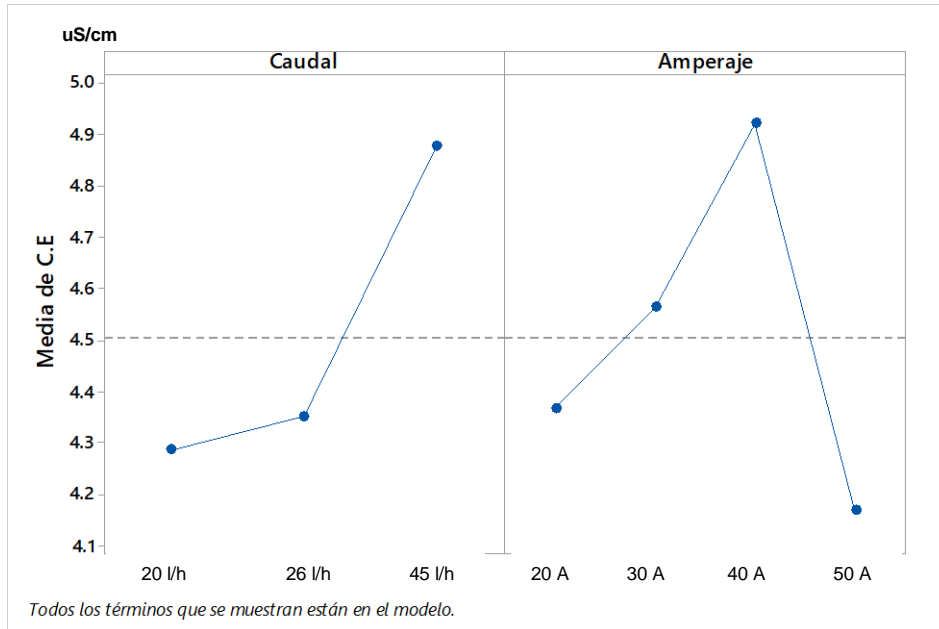
DIAGRAMA DE PARETO PARA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA



Elaboración Propia

Figura 5. 10

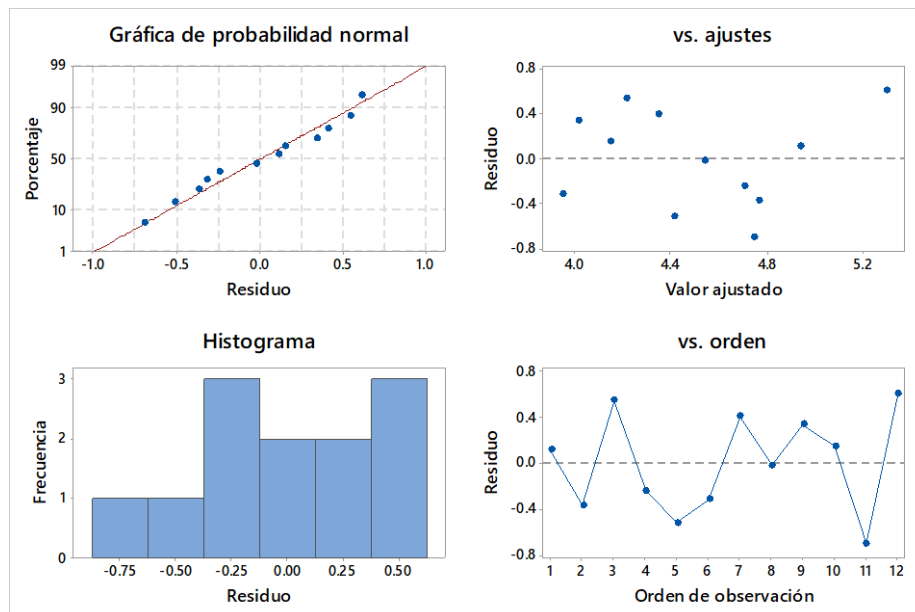
GRAFICA DE EFECTOS PRINCIPALES PARA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA



Elaboración Propia

Figura 5. 11

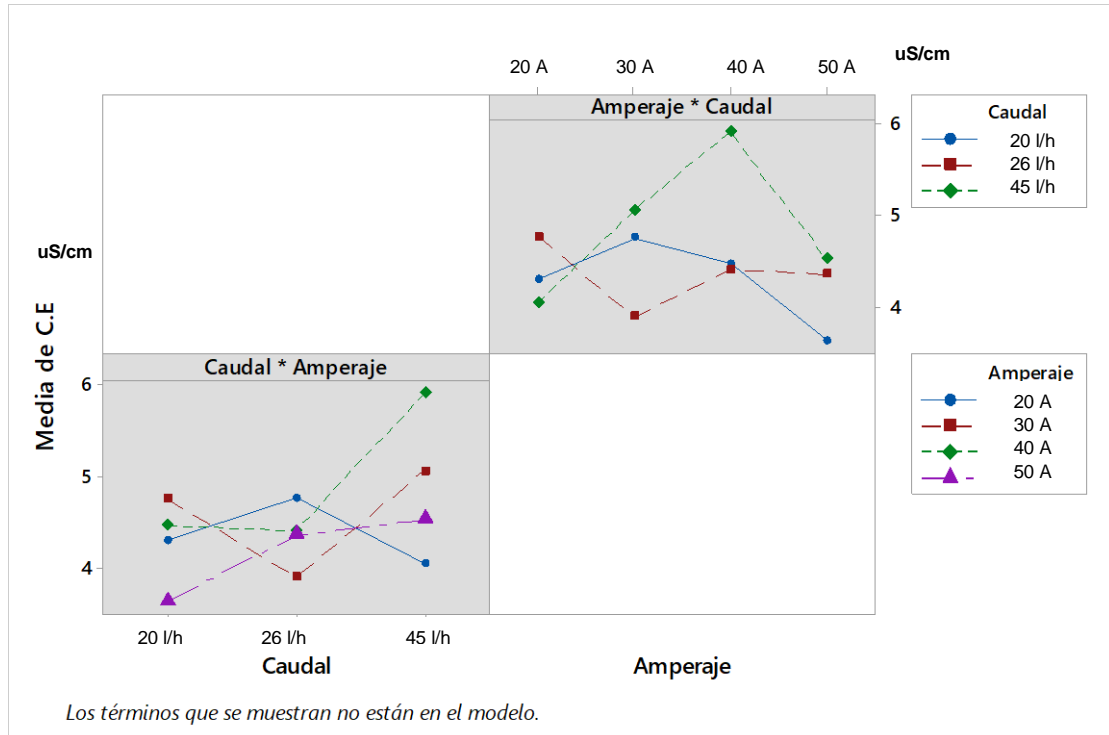
GRAFICA DE RESIDUOS PARA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA



Elaboración Propia

Figura 5. 12

GRAFICA DE INTERACCIÓN PARA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA



Elaboración Propia

Interpretación de gráficos referente a la remoción de la Conductividad Eléctrica. -

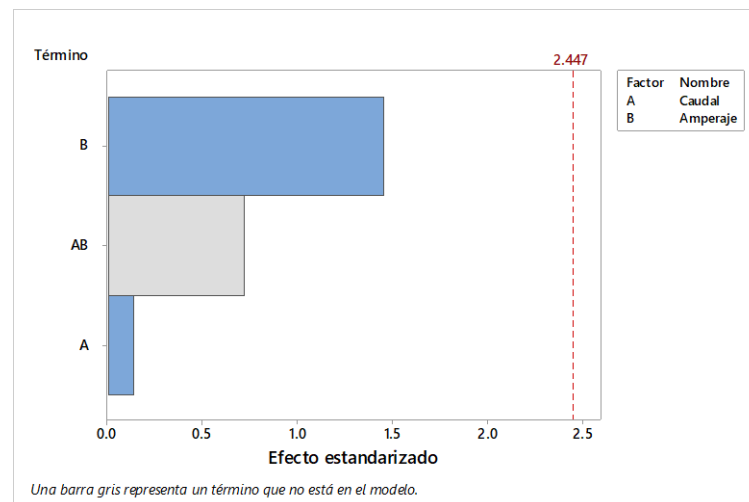
- En el diagrama de Pareto, ninguno de los factores influyó en la conductividad eléctrica.
- En el gráfico de efectos principales, el incremento del caudal disminuyó la Variación de conductividad eléctrica (incremento de iones); en cambio, el incremento de amperaje disminuyó la Variación de conductividad eléctrica hasta los 40 Amperios, después los iones empiezan a disminuir.
- En el gráfico de interacción para la conductividad eléctrica, se muestra que la variación se da a caudal bajo de 20 l/h y a un amperaje de 50.

- En el gráfico de residuos para la conductividad, se muestra que se mantienen las mismas condiciones de distribución de residuos que el parámetro de solidos totales disueltos pero a excepción del gráfico de histogramas que muestra una irregularidad pero nos es tan relevante.

5.4 Temperatura

Figura 5. 13

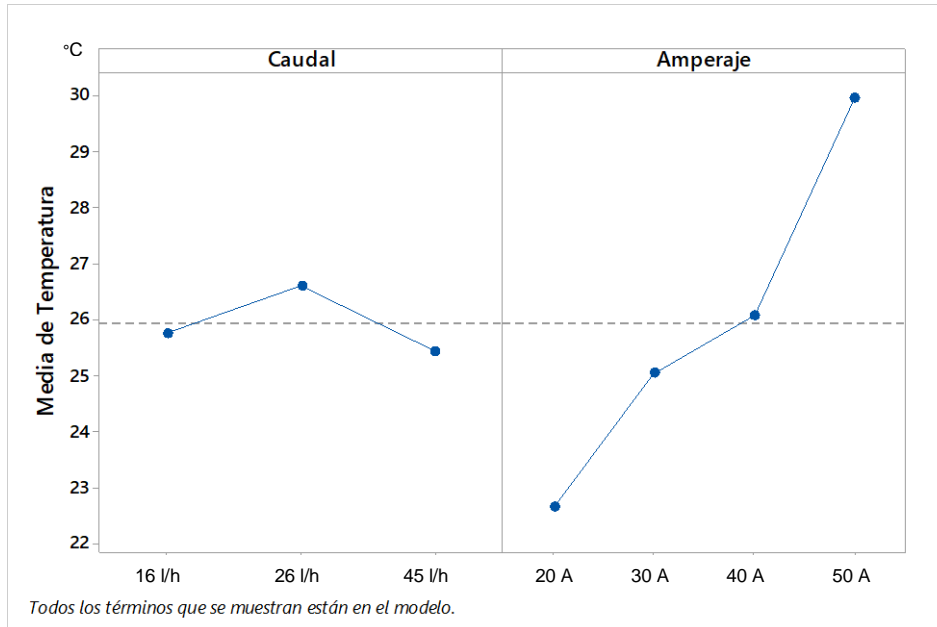
DIAGRAMA DE PARETO PARA TEMPERATURA



Elaboración Propia

Figura 5. 14

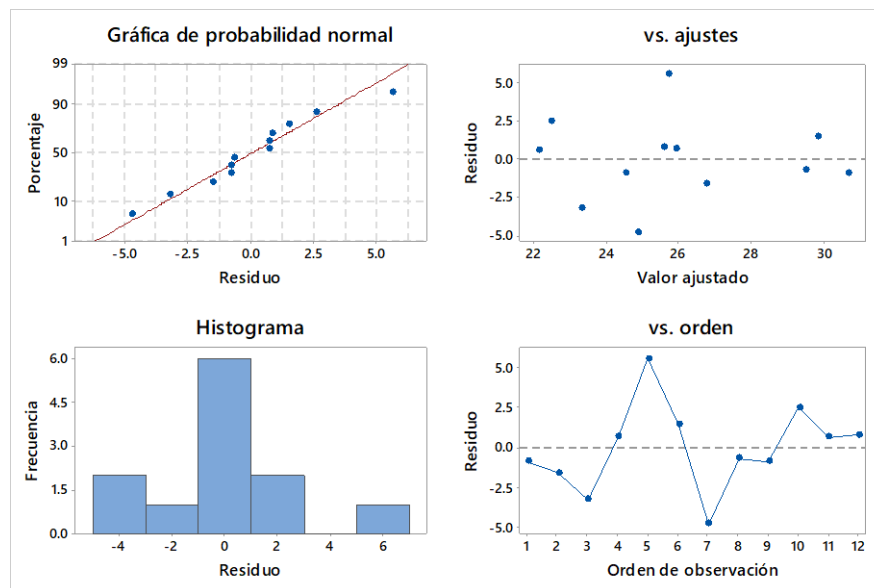
GRÁFICO DE EFECTOS PRINCIPALES PARA TEMPERATURA



Elaboración Propia

Figura 5. 15

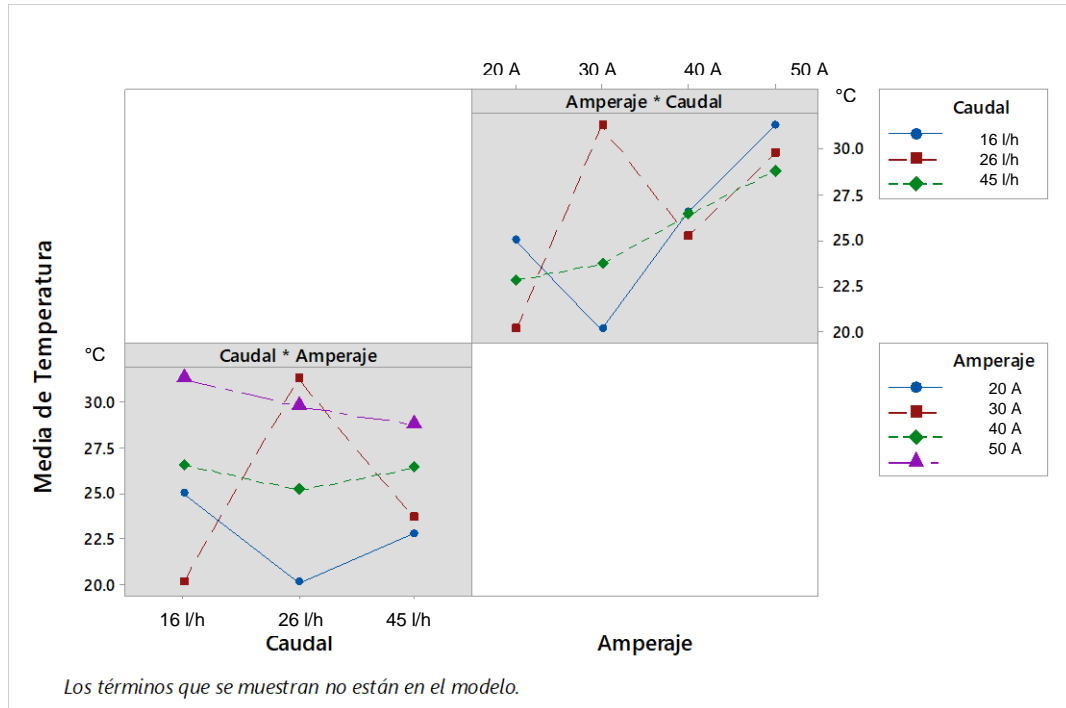
GRAFICA DE RESIDUOS PARA TEMPERATURA



Elaboración Propia

Figura 5. 16

GRÁFICA DE INTERACCIÓN PARA TEMPERATURA



Elaboración Propia

Interpretación de gráficos referente a la Variación de Temperatura

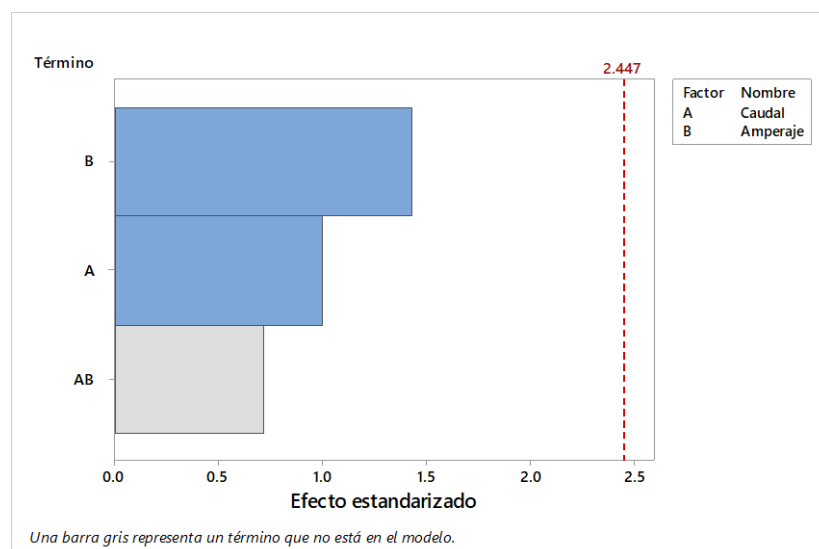
- En el diagrama de Pareto, se puede apreciar el factor que influyó en la variación de la temperatura es el AMPERAJE.
- En el gráfico de efectos principales, el caudal no ejerció ningún efecto significativo en la variación de la temperatura, la variación es mínima. Sin embargo, el amperaje es directamente proporcional a la temperatura.
- En el gráfico de interacción de temperatura, se encontró que las mínimas temperaturas de 20.1 °C es a caudal bajo de 16/h y amperaje de 30; en el otro punto es a caudal medio de 26 l/h y amperaje 20.

- En el gráfico de residuos para Temperatura, se muestra que se mantienen las mismas condiciones de distribución que el parámetro de conductividad eléctrica pero a excepción del gráfico de histogramas que muestra una irregularidad; pero no es tan relevante.

5.5 Potencial Hidrogeno (pH). -

Figura 5. 17

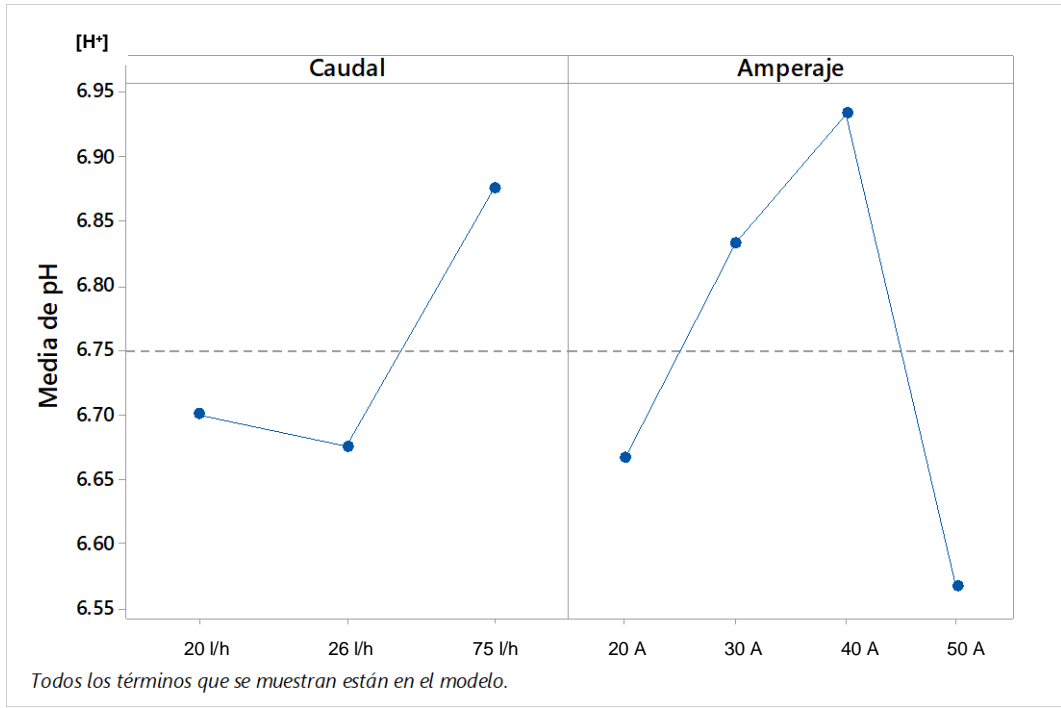
DIAGRAMA DE PARETO PARA EL PH



Elaboración Propia

Figura 5. 18

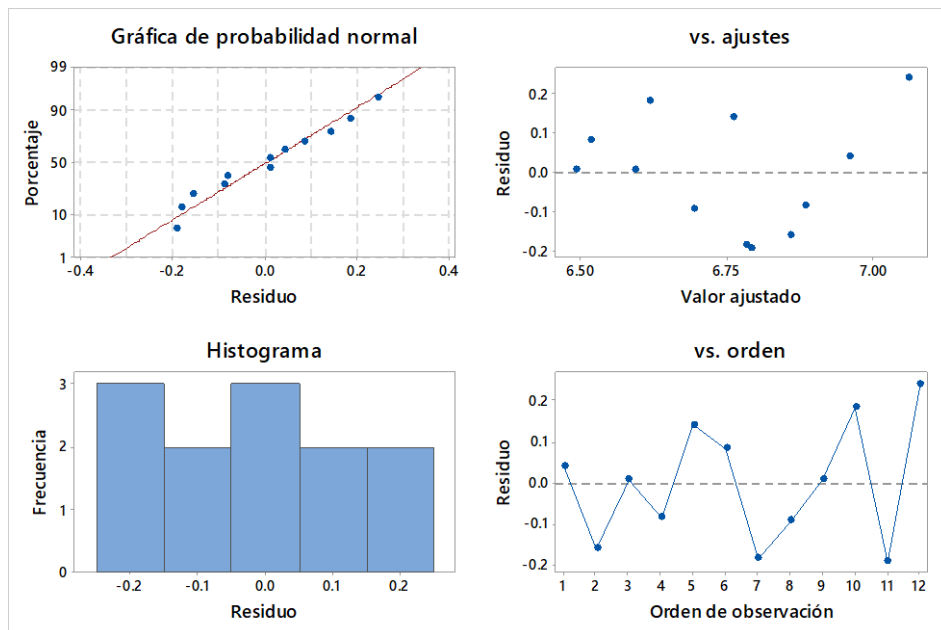
GRAFICA DE EFECTOS PRINCIPALES PARA PH



Elaboración Propia

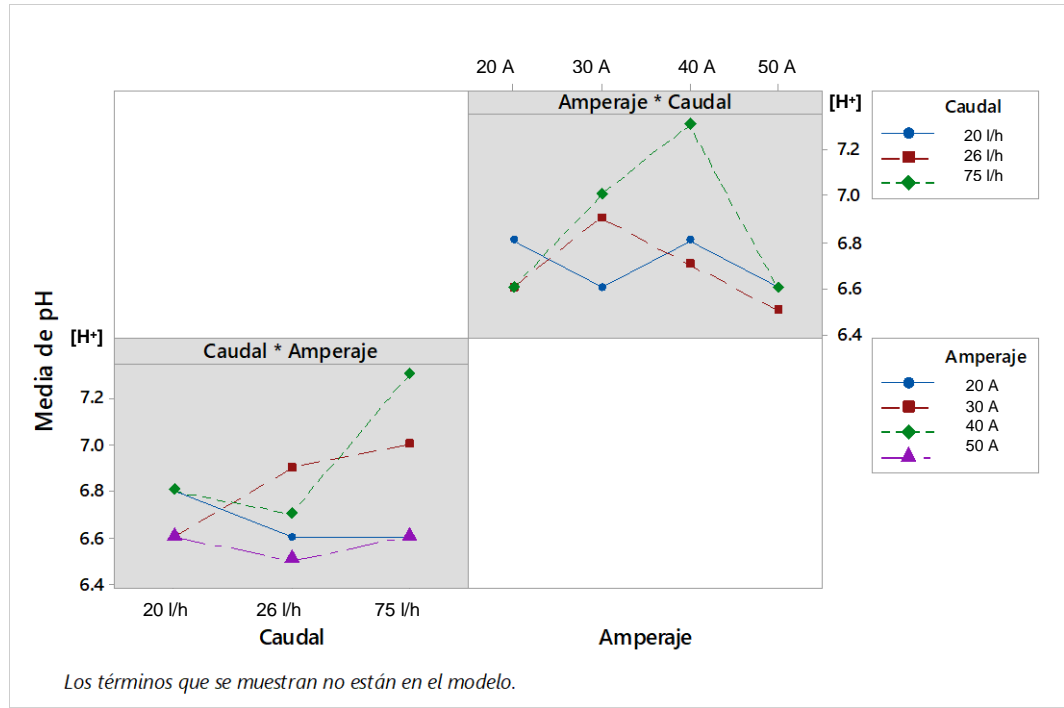
Figura 5. 19

GRAFICA DE RESIDUOS PARA PH



Elaboración Propia

Figura 5. 20
GRÁFICA DE INTERACCIÓN PARA PH



Elaboración propia

Interpretación de gráficos referente a la Variación del Potencial Hidrogeno. -

- En el diagrama de Pareto se puede apreciar el factor que tuvo mayor influencia fue el amperaje.
- En el gráfico de efectos principales, el incremento del caudal es directamente proporcional al pH. el incremento del amperaje es directamente proporcional al pH hasta llegar a los 40 Amperios, después empieza a disminuir drásticamente.
- En el gráfico de interacción para pH, se mostró que a un caudal alto de 75 l/h y un amperaje de 30 y el pH es neutro.
- En el gráfico de residuos para potencial de hidrogeno, se mostró que se mantienen las mismas condiciones de distribución que el parámetro de Temperatura, pero a excepción del gráfico de

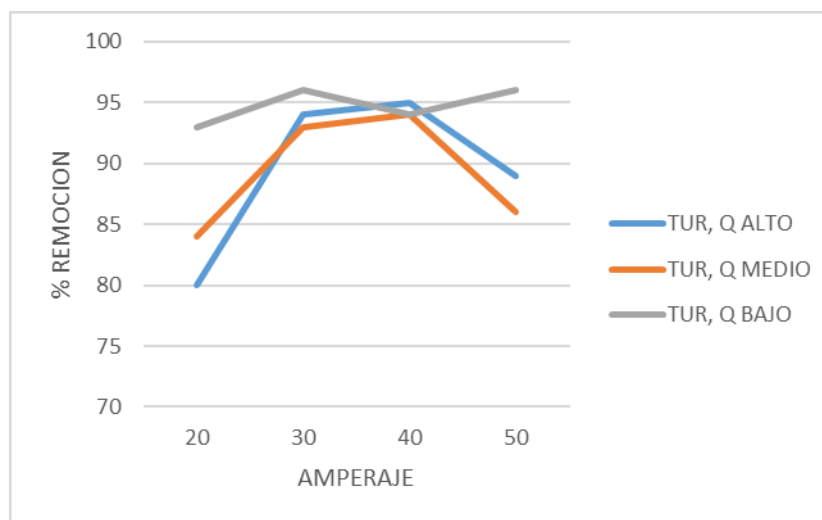
histogramas que muestra una irregularidad pero no es tan relevante.

Otros Gráficos. -

Interpretación de gráficos referente a la remoción de Turbiedad

Vs. Amperaje.- En el gráfico de remoción de turbiedad vs amperaje, se mostró una eficiencia del 94% de remoción de turbiedad a las condiciones de 40 amperios y caudal medio de 26 l/h. También se mostró una eficiencia del 96% de remoción de turbiedad a condiciones de 50 amperios y caudal bajo de 16 l/h.

Gráfico 5. 1
REMOCIÓN DE TURBIEDAD



Elaboración Propia

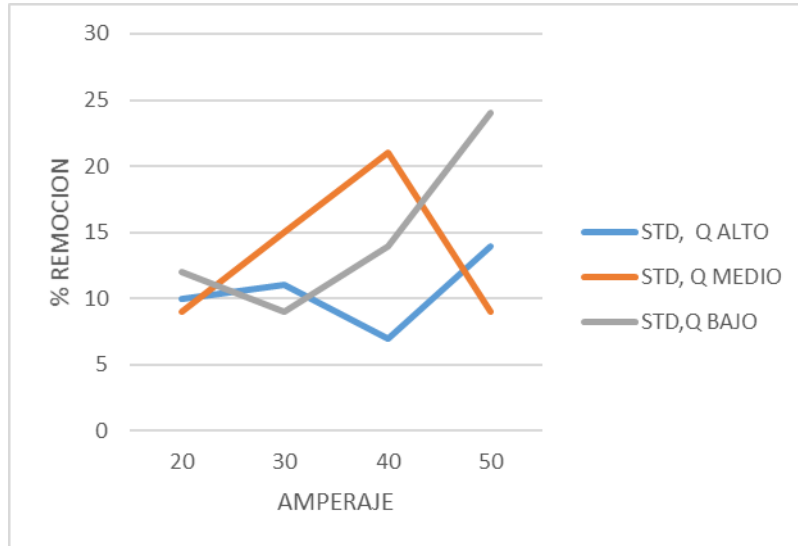
Interpretación de gráficos referente a la remoción de los Sólidos

Totales Disueltos Vs. Amperaje. - se observó una eficiencia del 24

% de remoción de sólidos totales disueltos a las condiciones de 50 Amperios y caudal bajo de 16 l/h.

Gráfico 5. 2

REMOCIÓN DE SOLIDOS TOTALES DISUELTOS

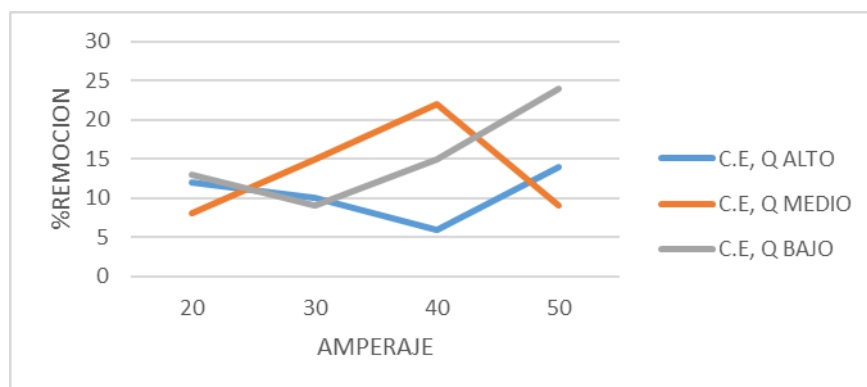


Elaboración Propia

Interpretación de gráficos referente a la Variación de la Conductividad Eléctrica Vs. Amperaje. - se observó una variación del 24 % a condiciones de 50 Amperios y caudal bajo de 16 l/h.

Gráfico 5. 3

VARIACIÓN DE CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA

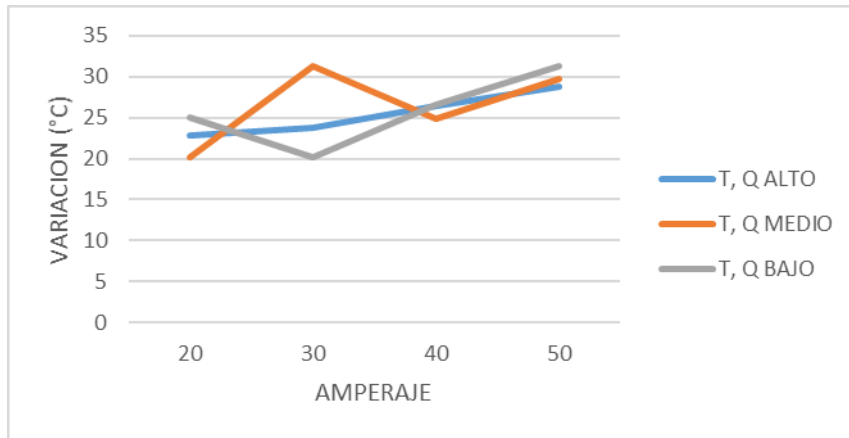


Elaboración Propia

Interpretación de gráficos referente a la variación de Temperatura Vs. Amperaje. - En el gráfico de variación de temperatura, se obtuvo

una temperatura de 20.1 °C a un caudal bajo 16 l/h y a un amperaje de 30. La misma temperatura, a un caudal medio de 26 l/h y a un amperaje de 20.

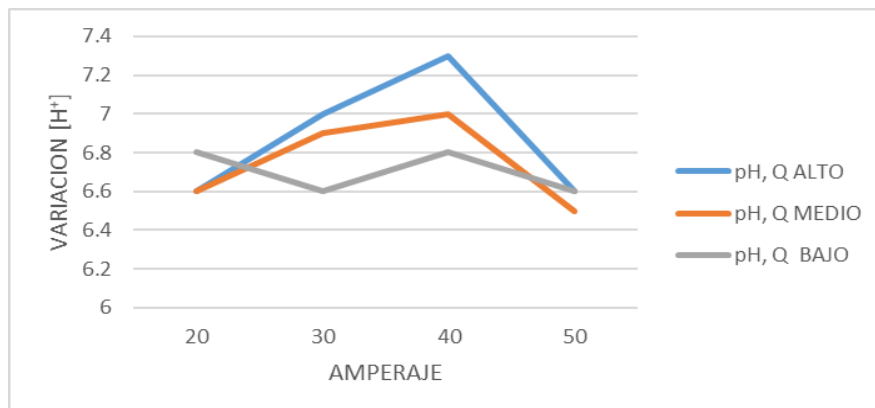
Gráfico 5. 4
VARIACIÓN DE TEMPERATURA



Elaboración Propia

Interpretación de gráficos referente a la variación de pH Vs Amperaje. - En el gráfico de variación de pH, se obtuvo un pH igual a 7 a condiciones de 30 amperios y caudal alto de 75 l/h. Otro resultado es de un pH igual a 6.9 a condiciones de 30 amperios y caudal medio de 26 l/h.

Gráfico 5. 5
VARIACIÓN DE PH



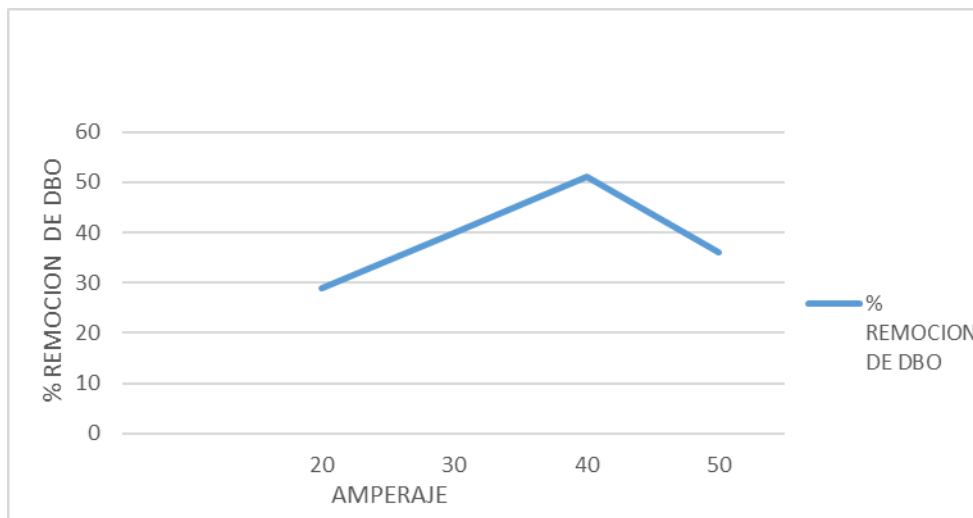
Elaboración Propia

Interpretación de gráficos referente a la variación de la DBO, DQO y Aceites y Grasas a caudal medio de 26 l/h . -

- En el gráfico de remoción de la demanda bioquímica de oxígeno se removió 51% de DBO a condiciones de 40 amperios y caudal medio de 26 l/h.
- En el gráfico de remoción de la demanda química de oxígeno se removió 63% de DQO a condiciones de 40 amperios y caudal medio de 26 l/h.
- En el gráfico de remoción de aceites y grasas se removió 94% de Aceites y Grasas a condiciones de 40 amperios y caudal medio de 26 l/h.

Gráfico 5. 6

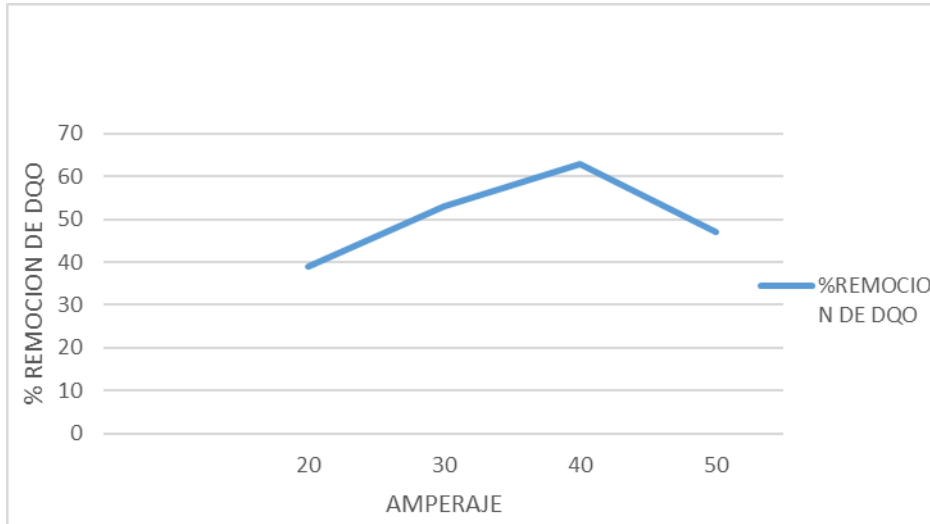
REMOCIÓN DE LA DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGENO



Elaboración Propia

Gráfico 5. 7

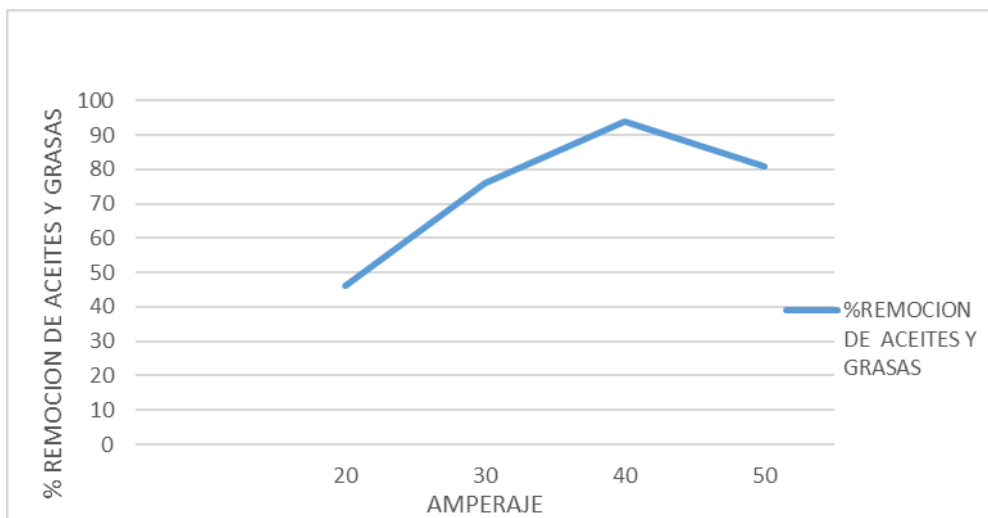
REMOCIÓN DE LA DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENO



Elaboración Propia

Gráfico 5. 8

REMOCIÓN DE ACEITES Y GRASAS



Elaboración Propia

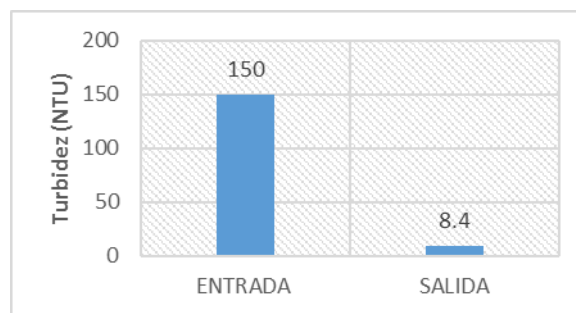
CAPITULO VI

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1 Contrastación de hipótesis

Gráfico 6. 1

REMOCIÓN DE TURBIDEZ Y ESTÁNDARES DE CALIDAD AMBIENTAL PARA AGUA

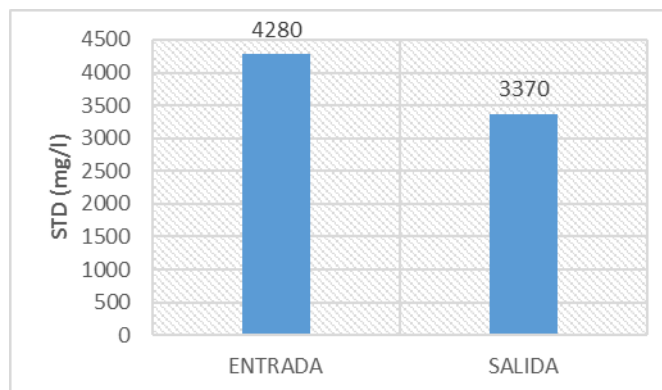


Elaboración Propia

- En el gráfico de máxima remoción de turbidez, los estándares de calidad ambiental para agua no establecen límites para la turbidez en su categoría 3- Riego de Vegetales.

Gráfico 6. 2

REMOCIÓN DE SOLIDOS TOTALES DISUELTOS Y ESTÁNDARES DE CALIDAD AMBIENTAL PARA AGUA

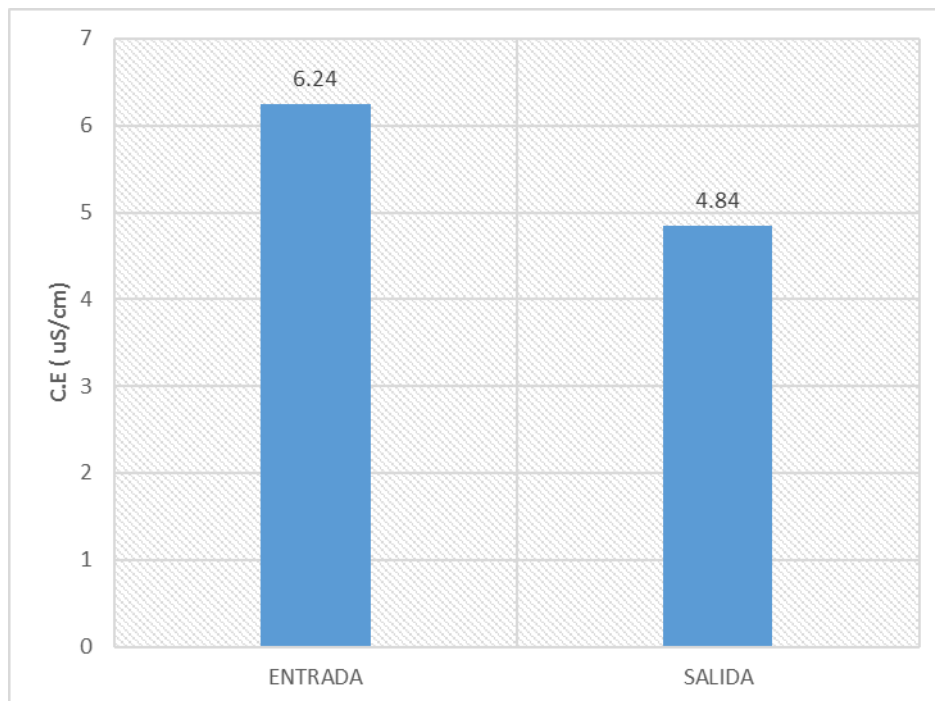


Elaboración Propia

- En el gráfico de máxima remoción de los sólidos totales disueltos, los estándares de calidad ambiental para agua no establecen límites para los sólidos totales disueltos en su categoría 3- Riego de Vegetales.

Gráfico 6. 3

VARIACIÓN DE CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA Y ESTÁNDARES DE CALIDAD AMBIENTAL PARA AGUA

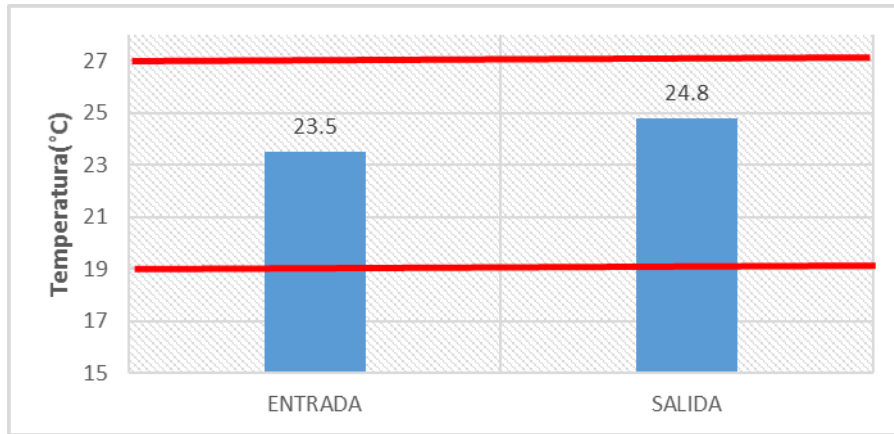


Elaboración Propia

- En el gráfico de variación de Conductividad Eléctrica, los estándares de calidad ambiental para agua no establecen límites para la conductividad eléctrica en su categoría 3- Riego de Vegetales.

Gráfico 6. 4

VARIACIÓN DE TEMPERATURA Y ESTÁNDARES DE CALIDAD AMBIENTAL PARA AGUA.

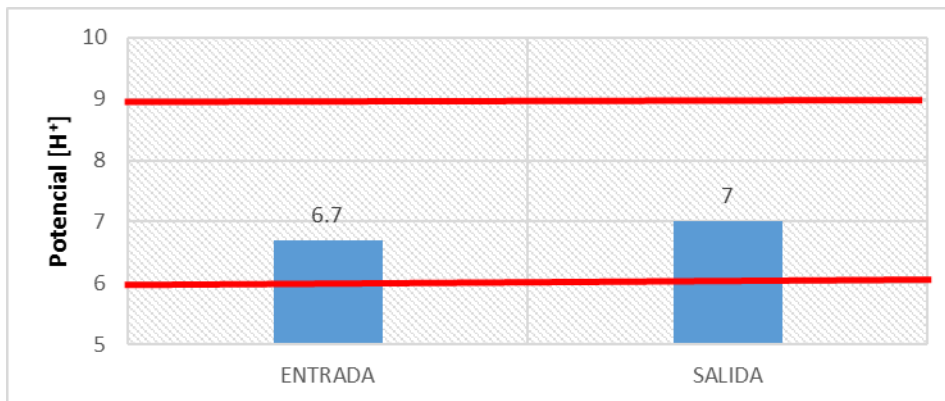


Elaboración Propia

- En el gráfico de Variación de Temperatura, los estándares de calidad ambiental para agua establecen rangos de variación de temperatura en su categoría 3- Riego de Vegetales. En el cual la temperatura de salida se encuentra dentro del rango establecido por la normativa legal.

Gráfico 6. 5

VARIACIÓN DE PH Y LOS ESTÁNDARES DE CALIDAD AMBIENTAL PARA AGUA- CATEGORÍA 3

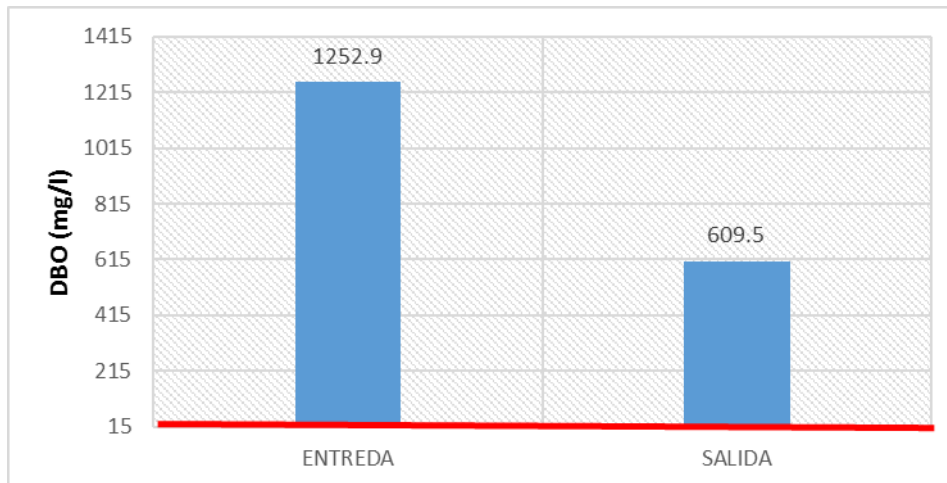


Elaboración Propia

- En el gráfico de Variación de pH, los estándares de calidad ambiental para agua establecen rangos de variación de pH en su categoría 3- Riego de Vegetales. En el cual el pH de salida se encuentra dentro del rango establecido por la normativa legal.

Gráfico 6. 6

REDUCCIÓN DE LA DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGENO Y ESTÁNDARES DE CALIDAD AMBIENTAL PARA AGUA- CATEGORÍA 3.

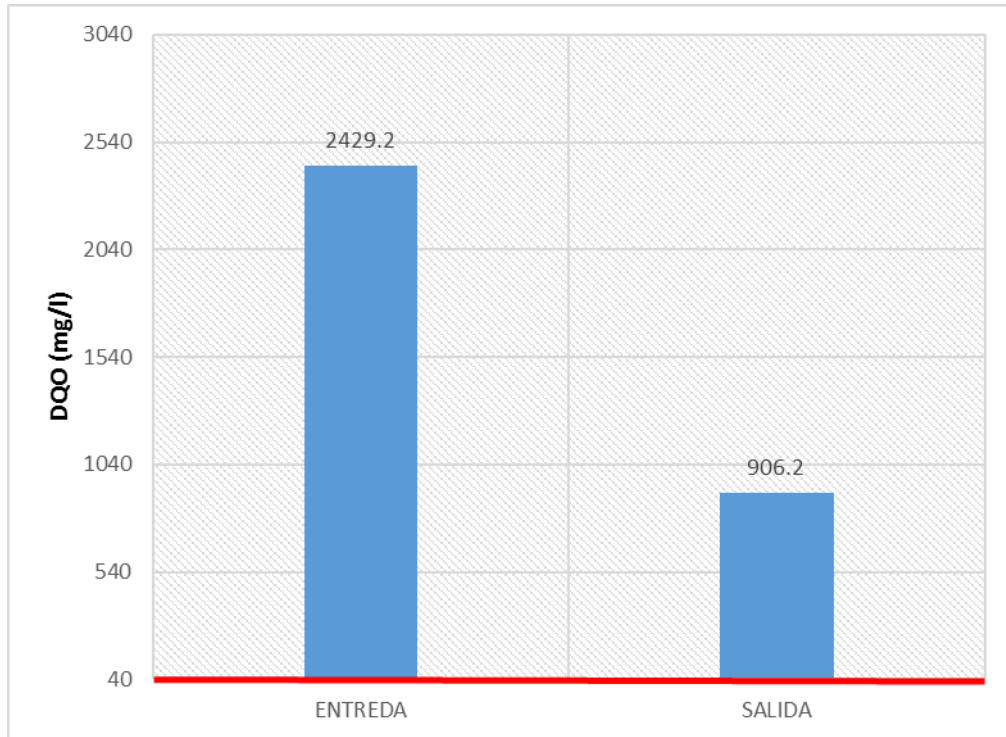


Elaboración Propia

- En el gráfico de DBO, los estándares de calidad ambiental para agua establecen los límites del DBO en su categoría 3- Riego de Vegetales. En el cual el DBO de salida sobrepaso el límite establecido por la normativa legal.

Gráfico 6. 7

REDUCCIÓN DE LA DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENO Y ESTÁNDARES DE CALIDAD AMBIENTAL PARA AGUA-CATEGORÍA 3.

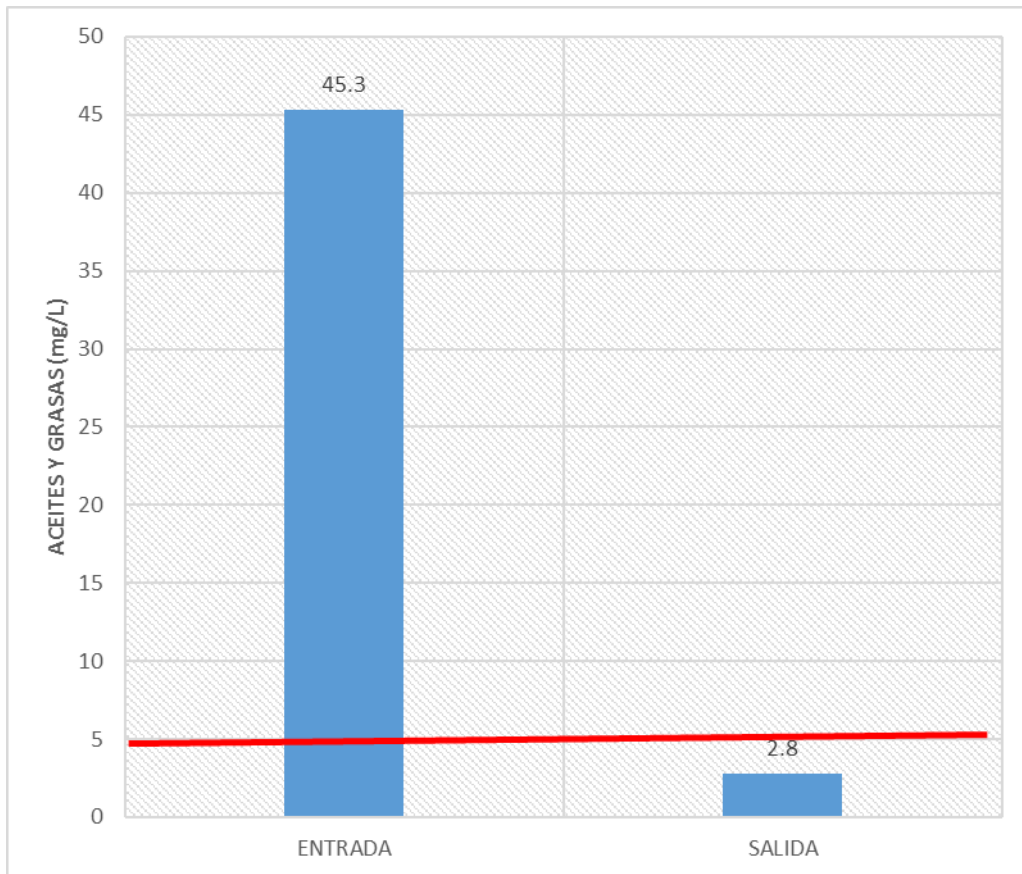


Elaboración Propia

- En el gráfico de DQO, los estándares de calidad ambiental para agua establecen los límites del DQO en su categoría 3- Riego de Vegetales. En el cual el DQO de salida sobrepaso el límite establecido por la normativa legal.

Gráfico 6. 8

REDUCCIÓN DE ACEITES Y GRASAS Y ESTÁNDARES DE CALIDAD AMBIENTAL PARA AGUA.



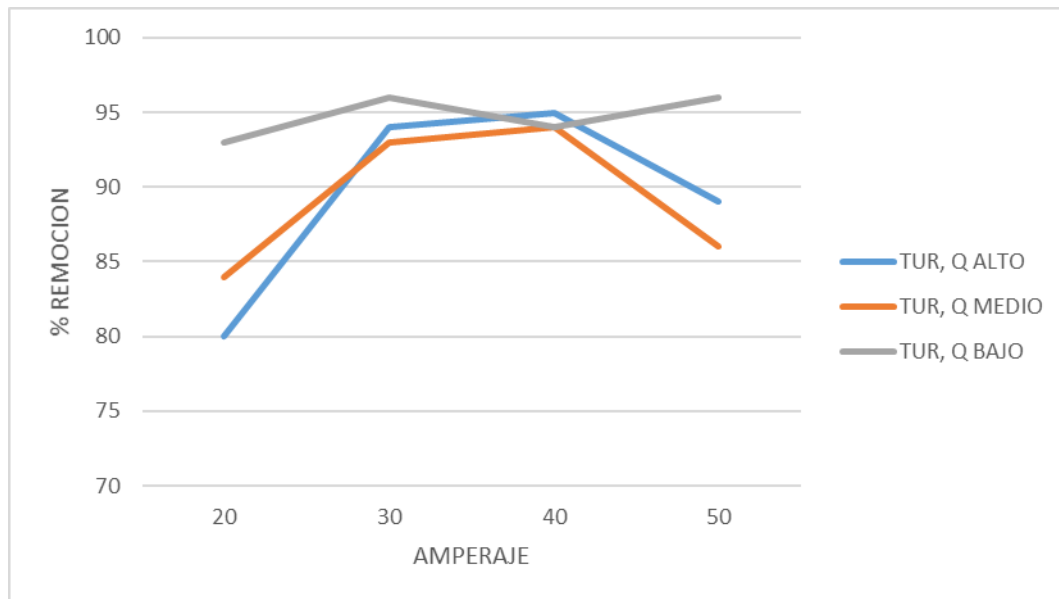
Elaboración Propia.

- En el gráfico de ACEITES Y GRASAS, los estándares de calidad ambiental para agua establecen los límites de Aceites y Grasas en su categoría 3- Riego de Vegetales. En el cual Aceites y Grasas de salida se encuentra por debajo del límite establecido por la normativa legal.

6.2 Contrastación de resultados con otros estudios similares

Gráfico 6. 9

DISCUSIÓN DE RESULTADOS DE REMOCIÓN DE TURBIEDAD



Elaboración Propia

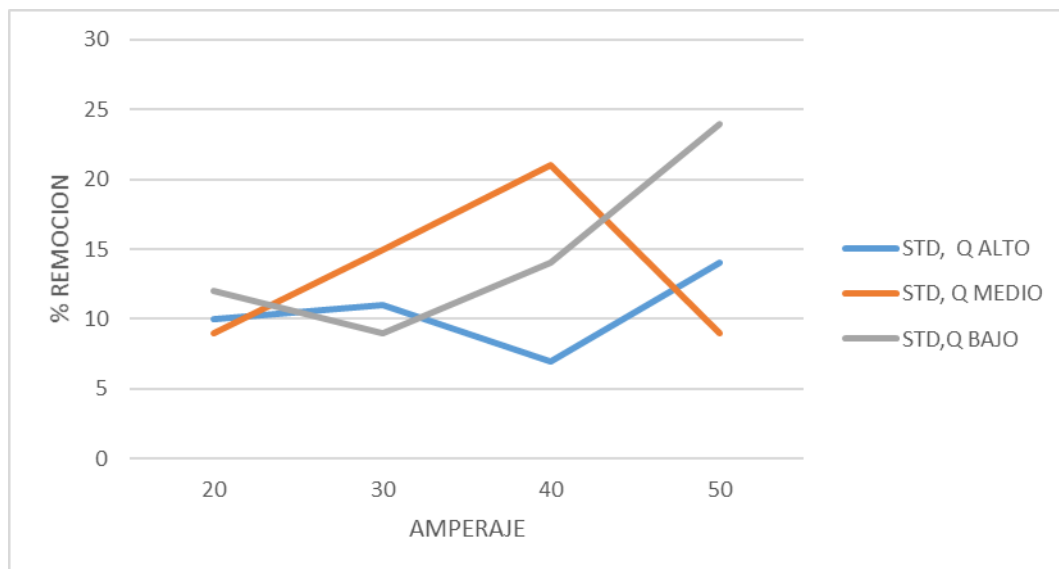
Según (Hernandez Lehmann, 2011) obtuvo una eficiencia de 94,3% de remoción de turbiedad a 7 amperios y 144 l/h de caudal. En nuestras pruebas se obtuvo una remoción de turbiedad al 94% a condiciones de 40 amperios y caudal medio de 26 l/h, esto es debido a que las características del agua a tratar son distintas, ya que una es agua residual de planta de beneficio y otra es un agua natural de canal de rio. Pero en el trabajo de investigación de Pablo Santiago Hernández muestra que la variación del caudal no es tan significativa en la eficiencia de remoción de turbiedad y en nuestro trabajo de investigación tiende al mismo comportamiento.

Según (Makwana & Mansoor Ahammed, 2016), en el gráfico de remoción de turbiedad vs tiempo se muestran diferentes caudales en la remoción de turbiedad de un efluente de reactor UASB, mostrando que a un caudal de 4.32 l/h y densidad eléctrica 5mA /cm² se genera una remoción de

turbidez al 90% con placas de aluminio. Comparando con nuestros resultados, esto es debido a que el efluente del reactor UASB ya es un agua residual tratada (poca carga orgánica e inorgánica) y se necesitó bajo amperaje y bajo caudal para la remoción de los mismo, a diferencia de la variación del caudal esto no afecta de manera significativa a la remoción de los contaminantes.

Gráfico 6. 10

DISCUSIÓN DE RESULTADOS DE REMOCIÓN DE SOLIDOS TOTALES DISUELTOS

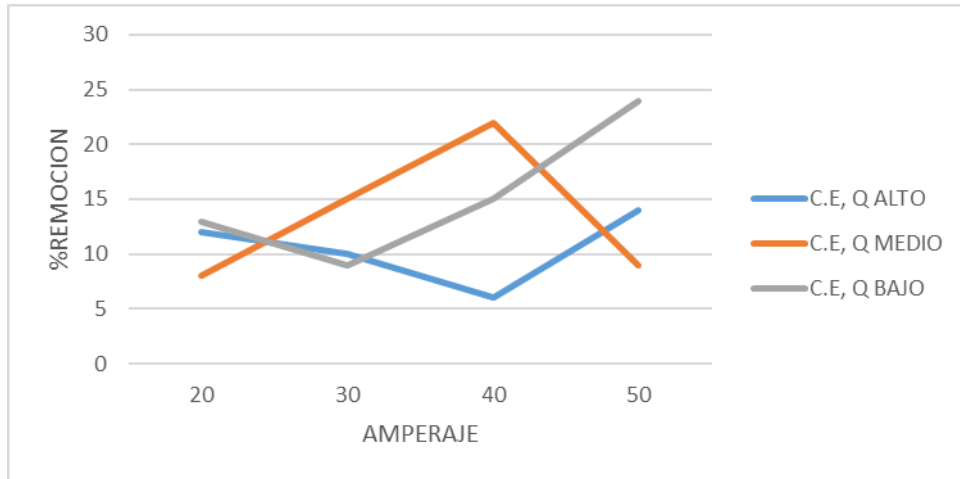


Elaboración Propia

Según (estudio de optimización de variables de funcionamiento de un sistema de electrocoagulación para tratar aguas de la industria textil) (Gomez Polanco & Martinez Valeriano, 2013), muestran una remoción de 78,4 % de solidos disueltos a condiciones 4 Amperios y 7,2 l/h. el comportamiento del tratamiento es similar ya que a un caudal bajo o mínimo se puede apreciar una mayor remoción de los solidos totales disueltos, sin embargo , en el amperaje no ocurre lo mismo, ya que el agua residual tiene diferentes características y las condiciones de operación son distintas.

Gráfico 6. 11

DISCUSIÓN DE RESULTADOS DE REMOCIÓN DE CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA

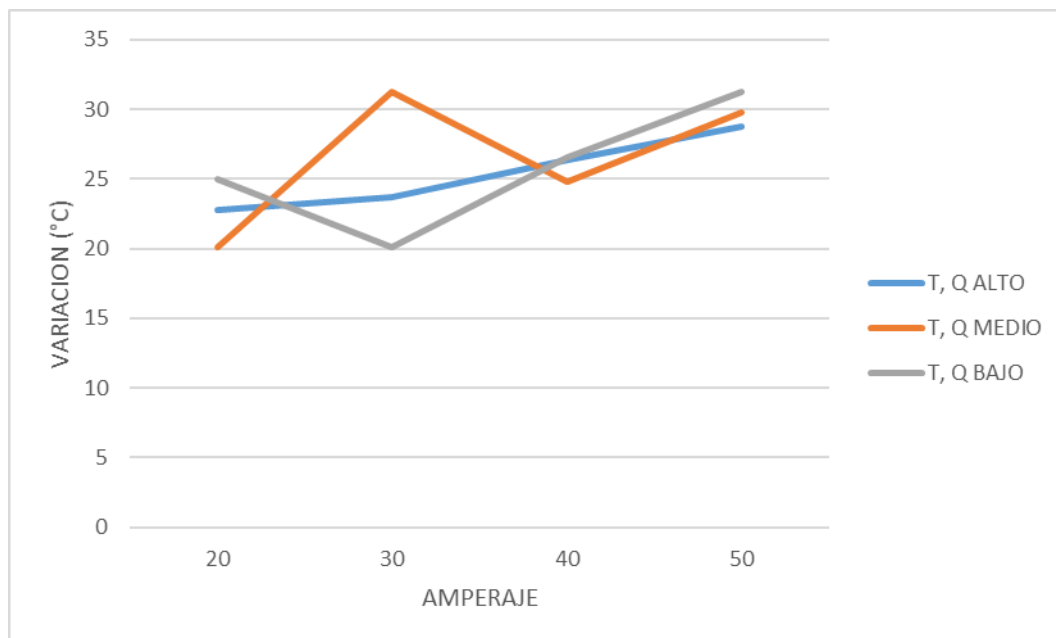


Elaboración Propia

Según (Hernandez Lehmann, 2011), se obtuvieron un incremento de un 2 % a 3% de conductividad, en cambio, en nuestro trabajo se puede evidenciar una disminución del 24% de conductividad. Esto es debido que nuestro tipo de agua posee gran cantidad de iones provenientes de los fluidos (sangre, orina, etc) de las reses, parte de iones forman parte del agua para una óptima conductividad del agua, otros iones como el aluminio formaran parte para la formación del coagulante para la neutralización de partículas suspendidas, coloides, iones, etc.

Gráfico 6. 12

DISCUSIÓN DE RESULTADOS DE LA VARIACIÓN DE TEMPERATURA

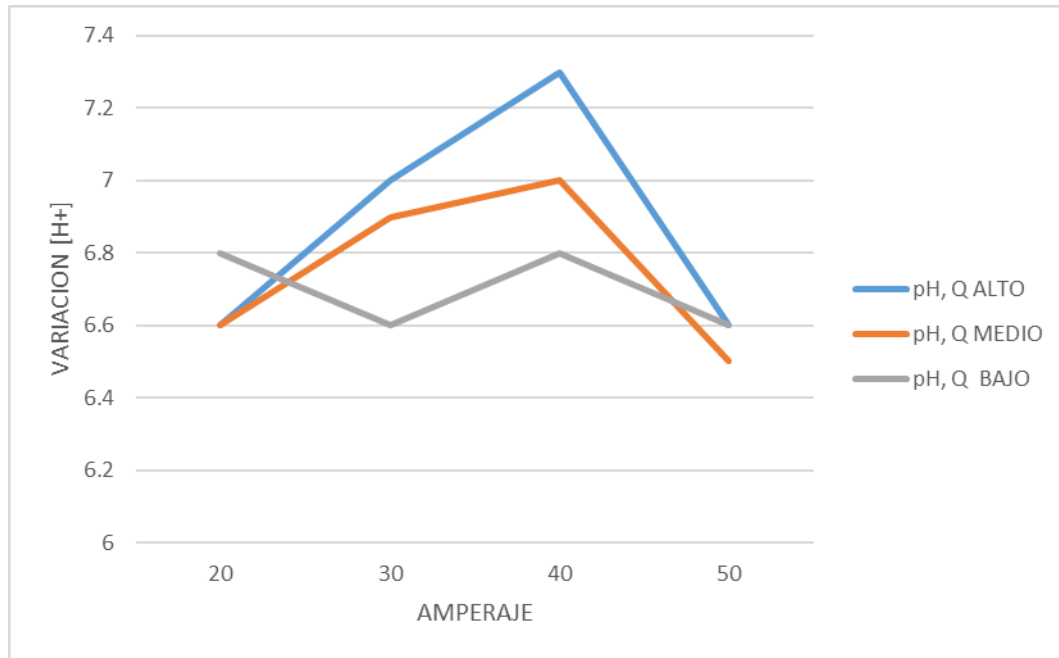


Elaboración Propia

Según (Hernandez Lehmann, 2011) muestra variación de temperatura de 1,3°C hasta 5,3°C a 5 Amperios y caudal variable (137 l/h, 143 l/h, 131 l/h). En nuestro trabajo se pudo encontrar un punto medio de temperatura de 25,2 °C a 26,6°C a condiciones de 40 Amperios y caudal variable (16 l/h, 26l/h, 45 l/h). Esto es debido a las múltiples reacciones que ocurre internamente en el proceso de electrocoagulación, se presume que una cierta cantidad de iones facilita la transferencia de electrones y menos pérdida de calor, también se suma a las reacciones exógenas y endógenas propias del proceso. En ambos trabajos se puede evidenciar que las variaciones de temperatura son diferentes y es dependiendo del tipo de medio acuoso que se realiza el proceso de electrocoagulación. En el punto de 30 amperios a un caudal medio, es probable que no hubo suficiente cantidad de iones para la transferencia de electrones por lo que la temperatura aumento rápidamente.

Gráfico 6. 13

DISCUSIÓN DE RESULTADOS DE VARIACIÓN DE PH



Elaboración Propia

Según (Makwana & Mansoor Ahammed, 2016), la variación del pH es afectada por la variación de caudales (4,32 l/h; 6,48 l/h; 12,96 l/h) mostrando así que a 4,32 l/h y 5mA/cm² se incrementa el pH con respecto al tiempo para aguas residuales municipales. Realizando las comparaciones se encuentra la relación a caudal menor y amperaje menor se visualiza el incremento de pH, sin embargo, no se encuentra el grafico pH vs amperaje para realizar una mejor comparación y entender mejor el comportamiento de estos procesos.

Según (Hernandez Lehmann, 2011) a caudales variables de 137 l/h, 143 l/h, 131 l/h y 5 amperios se muestra que el pH no varía tan significativamente mostrando variaciones de 0.39 , 1.19, 0.69. En nuestro trabajo se muestra variaciones con respecto al caudal y amperaje como 0.2, 0.4, 0.6, 0.1. Esto es debido al amperaje expuesto y la influencia de la variación del caudal ya que al incrementarse el amperaje y el caudal se

genera de manera proporcional los iones H^+ , a diferencia de otros caudales el comportamiento es distinto.

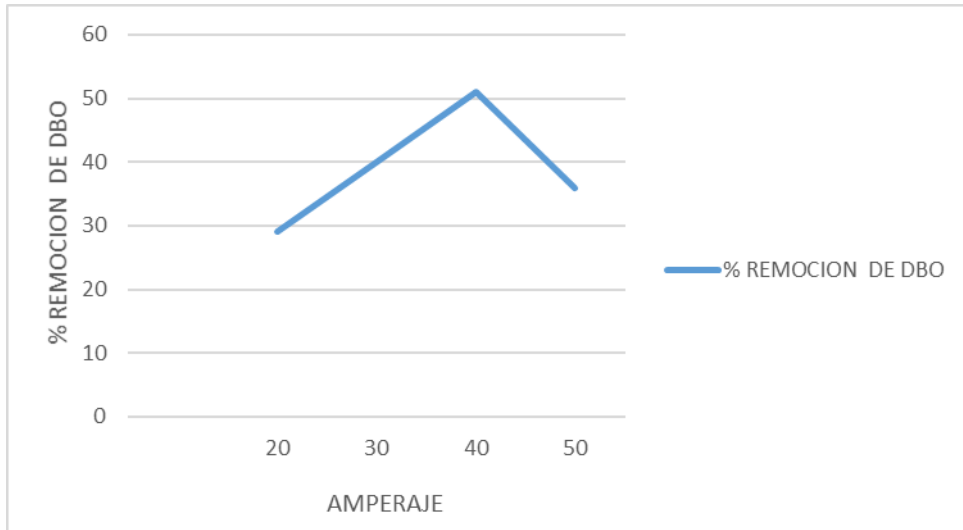
En el caudal alto, la tendencia de crecimiento del pH es rápido a medida que incrementa el amperaje. Esto es debido al gran flujo de carga de agua residual que ingresa al sistema continuo generando rápidamente precipitados de hidróxido de aluminio al llegar a los 30 A. luego al aumentar el pH los precipitados de hidróxido de aluminio se diluyen al llegar a 40 A. pero la tendencia del pH disminuye a 50 A formando cationes monoméricos de hidróxido de aluminio producido por el incremento del amperaje.

En el caudal medio, la tendencia del crecimiento es menor del pH debido al mediano flujo de carga de agua residual. Se realiza la formación de especies monoméricas de hidróxido de aluminio hasta formación de precipitados de hidróxido de aluminio cuando está a los 30 A. Los precipitados de hidróxido de aluminio disminuye conforme se incrementa el amperaje formando aniones monoméricos de hidróxido de aluminio a sobrepasar los 40 A y 50 A.

En el caudal bajo, la tendencia del crecimiento es mucho menor del pH debido al poco ingreso del agua residual y se mantiene en un intervalo de 0.2. En los amperajes de 20 A y 40 A se notan presencias de precipitados de hidróxido de aluminio, en los amperajes de 30 A y 50 A presencias de cationes monoméricos de hidróxido de aluminio.

Gráfico 6. 14

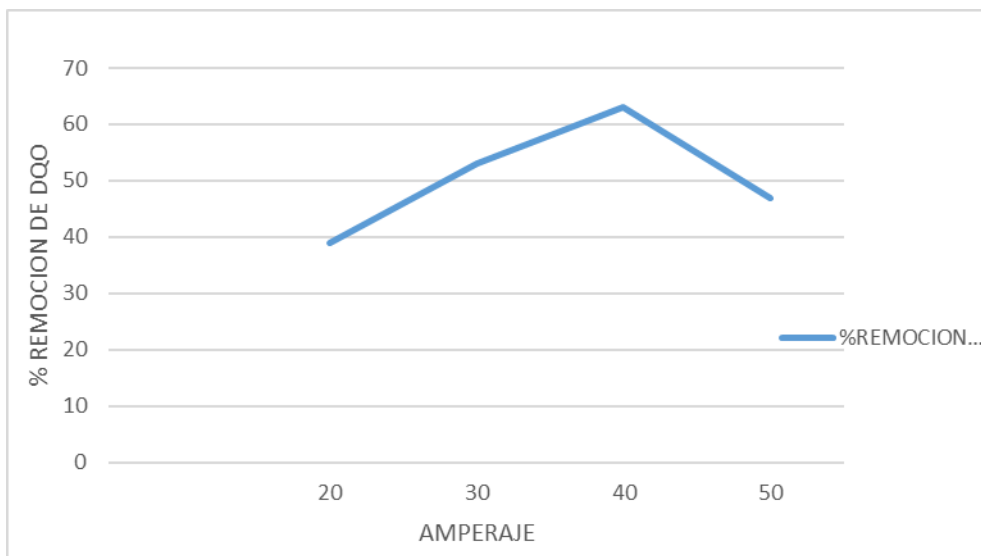
DISCUSIÓN DE RESULTADOS DE REMOCIÓN DE LA DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGENO



Elaboración Propia

Gráfico 6. 15

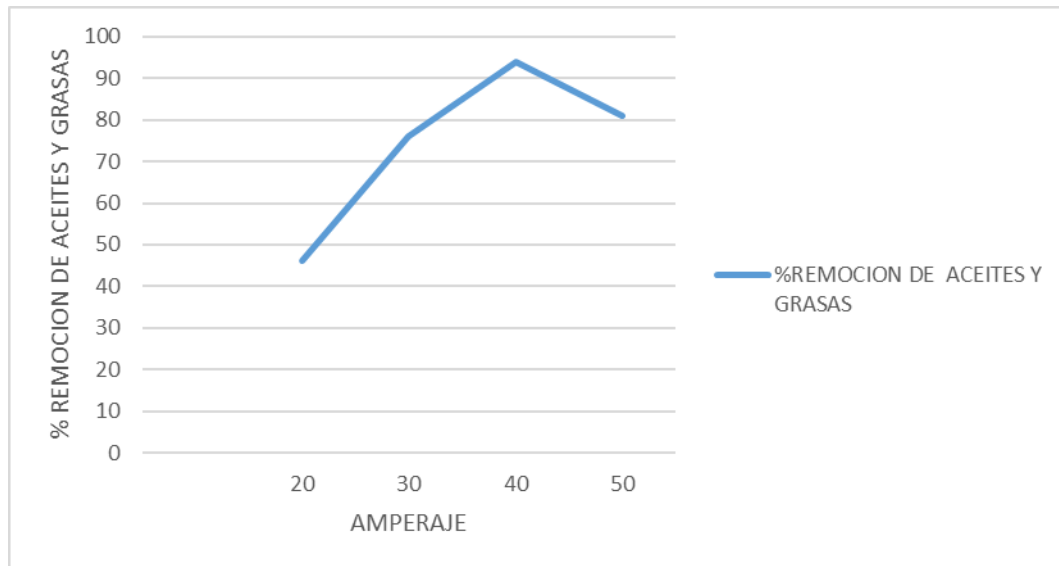
DISCUSIÓN DE RESULTADOS DE REMOCIÓN DE LA DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENO



Elaboración Propia

Gráfico 6. 16

DISCUSIÓN DE RESULTADOS DE REMOCIÓN DE LA ACEITES Y GRASAS



Elaboración Propia

Según (Asselin, Drogui, Benmoussa, & Blais, 2008) en su estudio de electrocoagulación (Batch) de aguas residuales de matadero, muestran una relación de amperaje y remoción de DBO y DQO. En el cual se trabajan con electrodos de acero y aluminio, a medida que aumenta la intensidad de corriente eléctrica (A) disminuye la remoción de DBO y DQO. En este estudio se mostró que la máxima remoción de DQO se dio a 2 Amperios. La reducción de DQO es debido a los agentes coagulantes $Al(OH)_3$ producido por las placas metálicas, mostrando que a los primeros 20 minutos se genera una gran remoción de DQO y pasado este tiempo no se generó mayor remoción. Se presume que en ese lapso de tiempo se generó cantidad de coagulantes suficientes para la neutralización de los compuestos orgánicos; a su vez, una cantidad de gas hidrógeno que favoreció en la deposición de los compuestos orgánicos en los electrodos de cátodos. Así como también el autor menciona que para un cierto nivel

de gas hidrógeno perturbó en la deposición de la materia orgánica, en los electrodos de cátodo, a medida que aumenta el amperaje.

Según (Kobyra, Senturk, & Bayramoglu, 2006) nos señala que los “floculos de barrido” de $M(OH)_3$ amorfos recién formados tienen grandes áreas superficiales que son beneficiosas para una rápida adsorción de compuestos orgánicos solubles y atrapamiento de partículas coloidales.

También nos muestra que sin alterar el pH (pH original del agua residual), se obtiene una remoción de la DQO al 70% para el electrodo de aluminio y 60% para el electrodo de hierro. El pH en medio ácido se genera una máxima remoción.

Con respecto a la densidad de corriente, a medida que aumenta la densidad de corriente, la remoción del DQO aumenta con electrodos de Aluminio y Hierro, mostrando así una máxima remoción con electrodos de aluminio en batch. Pero en el trabajo de investigación no presenta las mismas características y condiciones que los otros trabajos de referencia, ya que el caudal influye en la remoción de DQO, DBO, Aceites y Grasas.

Según (Makwana & Mansoor Ahammed, 2016) en el gráfico de efecto del DQO vs tiempo, se puede apreciar que a los 20 primeros minutos de tratamiento se muestra una determinada eficiencia de DQO a diferentes caudales (4,32 l/h; 6,48 l/h; 12,96 l/h) luego el tiempo restante se vuelve estable a los 60 min. Los caudales que fueron significativos en el tratamiento es el de 4.32 l/h y 6.48 l/h. Sin embargo, no se cuenta con mucha información o información limitada sobre tratamientos similares con variaciones de caudales y comparativa de amperaje, por lo general se realiza en base al tiempo de tratamiento. Pero los resultados que menciona el autor difieren de los obtenidos en esta investigación. En este caso se puede considerar que el caudal influye en la remoción de diversos parámetros como Turbiedad, DBO, DQO, Aceites y Grasas.

CAPITULO VII CONCLUSIONES

- Según los resultados obtenidos después del tratamiento del agua residual se logró una remoción de 94% de Turbiedad, 21% de solidos totales disueltos, 22% de conductividad eléctrica, 51% de Demanda Bioquímica Oxígeno, 94% de Aceites y Grasas, 63% de Demanda Química de Oxígeno.
- Según los resultados obtenidos después del tratamiento del agua residual, las condiciones de operación óptima serian a caudal medio 26 l/h y 40 Amperios.
- Según los resultados obtenidos después del tratamiento del agua residual de la planta de beneficio de reses se generó una gran reducción de los contaminantes como aceites y grasas, DBO Y DQO, sin embargo, se requiere de otro tratamiento para el cumplimiento total de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua (categoría 3 – parámetros para riego de vegetales).

CAPITULO VIII RECOMENDACIONES

- Se recomienda un segundo tratamiento aerobio, ya que el DBO y DQO no llegaron a removerse para el cumplimiento de los estándares establecidos por la categoría 3- Parámetros para riego de Vegetales.
- Para las pruebas de operación en campo, las mediciones de caudal se realizaron con una probeta en un determinado tiempo, por lo cual se recomienda la utilización de una bomba de agua que pueda graduar múltiples caudales y obtener resultados más precisos.
- En las pruebas de operación en campo, una de las situaciones más complicadas es la generación de espuma en la electrocoagulación y se recomienda realizar un sistema automatizado de recojo de espuma para que no interfiera en el tratamiento del agua residual.
- La generación de lodo y espuma son los residuos más comunes en la electrocoagulación por lo que se recomienda el análisis de su composición biológica y química para la generación de nuevas investigaciones.
- En el tratamiento del agua residual se realizó un diseño del reactor de electrocoagulación por lo que se puede recomendar mejorar el diseño del mismo para un máximo rendimiento, también mejorar el diseño de las placas metálicas, así como su posición en forma horizontal.

CAPITULO XI REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aguilar Ascon, E. A. (2015). *Evaluacion de la eficiencia de una celda de electrocoagulacion a escala laboratorio para el tratamiento de agua*. Lima.

Akyol, A. (2012). *treatment of paint manufacturing wastewater by electrocoagulation*. gebze, turkey.

Al-Malack, M. H., Abuzaid, N. S., & El- Mubarak, A. H. (February de 1999). *Coagulation of polymeric wastewater discharged by a chemical factory*. ELSEVIER.

Al-Shamrani, A., James, A., & Xiao, H. (March de 2002). *Destabilisation of oil.-water emulsions and separation by dissolved air flotation*. ELSEVIER.

Andina. (25 de 10 de 2015). *RPP Noticias*. Obtenido de <http://rpp.pe/lima/actualidad/descargas-indebidas-a-desagues-cuestan-s-100-millones-a-sedapal-noticia-907976>

APHA, A. W. (1985). *standard methods for the examination of water and wastewater*. Washington D.C: american public health association, american water works association y water pollution control federation.

Arango Ruiz, A., & Garcés Giraldo, L. F. (2007). *diseño de una celda de electrocoagulacion*. Universidad EAFIT.

Arango, A. (2012). *Efectos del pH y la conductividad en la electrocoagulación de aguas residuales de la industria láctea*. Corporación Universitaria Lasallista.

Arias, W. (2013). *Remoción de cromo (III) y DQO a través de electrocoagulación en aguas residuales de la industria Curtiembre haciendo uso racional de la energía*. (Tesis de Maestría).Bogotá D.C.: Universidad Libre.

Asselin, M., Drogui, P., Benmoussa, H., & Blais, J.-f. (23 de abril de 2008). *Eficacia del proceso de electrocoagulacion en la eliminacion de compuestos organicos de las aguas residuales del matadero mediante celulas electroliticas monopolar y bipolar*. quebec, couronne, canada: ELSEVIER.

Barboza Palomino, G. I. (2011). *Reduccion de la carga de contaminantes de las aguas residuales de la planta de tratamiento de totora- ayacucho empleando la tecnica de electrocoagulacion*. Lima, Lima, Peru.

Barboza Palomino, G. I. (2011). *reduccion de la carga de contaminantes de las aguas residuales de la planta de tratamiento de totora- ayacucho empleando la tecnica de electrocoagulación*. lima, peru.

Barrera Díaz, C. E. (2014). *aplicaciones electroquimicas al tratamiento de aguas residuales*. mexico: reverté.

Bravo, A. (2015). *Técnicas de aprendizaje en el tratamiento de aguas residuales para desarrollar la conciencia ambiental de los alumnos de educación superior*. Lima: Universidad de San Martin de Porres. Obtenido de http://www.repositorioacademico.usmp.edu.pe/bitstream/usmp/1206/1/bravo_qap.pdf

Bustillo-Lecompte, C. F., & Mehrvar, M. (2 de julio de 2015). *características , tratamiento y gestion de las aguas residuales de los mataderos en la industria de la elaboracion de la carne: revision de las tendencias y los avances* . toronto, ontario , canada: Elsevier.

Calderón de la Barca, R. (2013). *implementacion de los valores máximos admisibles de las descargas de aguas residuales no domésticas. XII Curso Regional de Regulación para Coordinadores de las EPS*. huancayo.

Cañizares, P., Carmona, M., Lobato, J., Martínez, F., & A., R. (2005). *electrodissolution of aluminium electrodes in electrocoagulation processes*.

Cañizares, P., Martinez, F., Diaz, M., Garcia-Gomez, J., & Rodrigo, M. (2002). *Electrochemical oxidation of aqueous phenol wastes using active and nonactive electrodes*. J. Electrochem. Soc.

Cañizares, P., Martínez, F., Lobato, J., & Rodrigo, M. (2007). *break-up of oil in water emulsions by electrochemical techniques*. journal of hazardous materials.

Cazco Sanchez, A. J., & Jarrin Flores, S. A. (2011). *Diseño, construccion y análisis de los parametros de operacion de un sistema de electrocoagulacion*. Quito: QUITO/EPN/2011.

Cerón, L., & Bubern, A. (Marzo de 2004). *Elementos de Electroquímica*.

Chang, R. (2007). *Química*. Mexico: Mc Graw Hill.

Chen, G. (2004). *electrochemical technologies in wastewater treatment*. in: *separation and purification technology*.

Chu, W. (septiembre de 2001). *Dye Removal from from textile Dye wastewater using recycled alum sludge*. ELSEVIER.

- Comninellis, C. (2009). *Electrochemistry for the environment*. *springer*.
- Consolider Tragua. (2010). *tecnologias de tratamiento de aguas para su reutilizacion*. *programa consolider tragua*.
- Daneshvar, N. S. (2004). *decolorization of dye solution containing acid red 14 by electrocoagulation with a comparative investigation of different electrode connections*. *journal of hazardous materials*.
- Davies, B. E. (1997). *heavy metal contaminated soils in an old industrial area of wales, great britain: source identification through statistical data interpretation*. *england*.
- Duan, J., & Gregory, J. (28 de February de 2003). *coagulation by hydrolysing metal salts*. *ELSEVIER*.
- Flick, E. (1989). *Handbook of Paint Raw Materials 2nd edition*.
- Franceschi, M., Girou, A., Carro-Diaz, A., Maurette, M., & Puech-Costes, E. (August de 2002). *optimisation of the coagulation-flocculation process of raw water by optimal desing method*. *ELSEVIER*.
- Gilpavas, E. (2008). *aplicación de la electroquímica en el tratamiento de aguas residuales*. *medellin*.
- Gilpavas, E. (2008). *Aplicación de la electroquímica en el tratamiento de aguas residuales*. *Medellín: Universidad EAFIT*. doi:1692-0694
- Glynn, H., Heinke, G., & Escalona, H. (1999). *ingenieria ambiental*. *mexico: pearson educacion*.
- Gomez Polanco, E. P., & Martinez Valeriano, V. H. (enero de 2013). *Estudio de Optimizacion de Variables de Funcionamiento de un Sistema de Electrocoagulacion para tratar aguas de la Industria Textil*. *Quito, Quito, Ecuador*.
- Gómez Polanco, E. P., & Martínez Valeriano, V. H. (2013). *Estudio de optimizacion de variables de funcionamiento de una sistema de electrocoagulacion para tratar aguas de la industria textil*. *Quito, Ecuador*.
- Gregor, J., Nokes, C., & Fenton, F. (diciembre de 1997). *optimizacion de la eliminacion de materia organica natural de aguas de baja turbidez mediante el ajuste controlado del pH de la coagulacion de aluminio*. *ELSEVIER*.
- Gregory, J., & Duan, J. (2001). *hidrolyzing metal salts as coagulants*. *Pure Appl. Chem*.

Hernandez Lehmann, P. S. (2011). investigación sobre procesos avanzados de tratamiento y depuración de las aguas mediante electrocoagulación. madrid.

Holt, p. K., Barton, g. W., & Mitchell, C. A. (2005). the future for electrocoagulation as a localised water treatment technology. Chemosphere.

(2017). *Informe de Caracterización de efluentes generados en el frigorífico santiago apostol*. Informe de Monitoreo de aguas, Mundo Esperanza E.I.R.L, Lima. Recuperado el 6 de abril de 2017

ingeniería medioambiental aplicada a la industria y a la empresa. (1995). madrid: coedición ediciones mundi-prensa S.A.

Jarabo, F., Elortigui, E., & Jarabo, U. (2000). fundamentos de tecnología ambiental. españa: publicaciones técnicas S.L.

Kelsall, G., & Jiang, J. (2002). *laboratory study of electrocoagulation-flotation for water treatment*. london: elsevier.

Khandegar, V. S. (2013). *electrocoagulation for the treatment of textile industry effluent- A review*. *journal of environmental management*.

Koby, M., Senturk, E., & Bayramoglu, M. (2006). tratamiento de aguas residuales de mataderos de aves de corral por electrocoagulación.

Körbahti, B. K., Aktas, N., & Tanyolac, A. (5 de february de 2007). *optimization of electrochemical treatment of industrial paint wastewater with response surface methodology*. beytepe, ankara, turkey: ELSEVIER.

Lin, S. H., & Chen, M. L. (Abril de 1997). *tratamiento de aguas residuales textiles por métodos químicos para su reutilización*. ELSEVIER.

Liu, J., & Lien, C. (2001). *Pretreatment of bakery wastewater by coagulation-flocculation and dissolved air flotation*. Taiwan: PubMed.gov.

Llanos, G. (09 de 10 de 2016). Exceso de contaminantes en aguas residuales. *Diario Correo*. Obtenido de <http://diariocorreo.pe/ciudad/exceso-de-contaminantes-en-aguas-residuales-703439/>

López Escobar, G. P. (2014). *Diseño de un proceso de electrocoagulación para el tratamiento de aguas residuales de una industria de yogurt*.

Makwana, A. R., & Mansoor Ahammed, M. (2016). proceso continuo de electrocoagulación para el post-tratamiento de aguas residuales municipales tratadas anaerobiamente. india.

(2007). *manual de curso teorico- practico de control de calidad para agua de bebida*. lima.

Martines Navarro, F. (2007). Tratamiento de aguas residuales industriales mediante electrocoagulacion y coagulacion convencional .

Martínez Navarro, F. (2008). *tratamiento de aguas residuales industriales mediante electrocoagulacion y coagulacion convencional*. ciudad real.

Merzounk, B. M. (2010). *using electrocoagulation-electrocoagulation technology to treat synthetic solution and textile wastewater, two cases studies*.

Mihelcic, J., & Zimmerman, J. (2012). *Ingenieria ambiental: fundamentos, sustentabilidad, diseño*. Mexico: alfaomega grupo editor.

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial . (10 de 09 de 2007). Toma de muestra de aguas residuales . *Instructivo para la toma de muestra de aguas residuales* . República de Colombia .

MINISTERIO DE VIVIENDA CONSTRUCCION Y SANEAMIENTO. (2009). Valores Máximos admisibles de las descargas de aguas residuales No domésticas. *Valores Maximos Admisibles (VMA) de las descargas de aguas residuales no domesticas en el sistema de alcantarillado sanitario D.S N° 021-2009-VIVIENDA*. Lima, Lima, Peru.

Muñoz Muñoz, D. (2005 de febrero de 2005). *sistema de tratamiento de aguas residuales de matadero: para una poblacion menor 2000 habitantes*.

Muñoz Muñoz, D. (10 de febrero de 2005). sistema de tratamiento de aguas residuales de matadero: para una poblacion de 2000 habitantes. facultad de ciencias agropecuarias, universidad del cauca.

Nizam, M., & Rozaynhi, M. (2016). Electrocoagulation Process by Using Aluminium and Stainless Steel Electrodes to Treat Total Chromium, Colour and Turbidity. *El SEVIER*, 6.

OEFA. (2014). Obtenido de http://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=7827

Organizacion Mundial de La Salud. (2008). Guidelines for drinking-Water-Quality. Ginebra, suiza. Obtenido de http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/fulltext.pdf

Ozbelge, T., Ozbelge, O., & Baskaya, S. (2002). *Removal of phenolic compounds from rubber-textile wastewaters by physico-chemical methods*. Cheric.

- Pinotti, A., & Zaritzky, N. (2001). *Effect of aluminum sulfate and cationic polyelectrolytes on the destabilization of emulsified wastes*. ELSEVIER.
- Pouet, M. F., & Grasmick, A. (1995). *urban wastewater treatment by electrocoagulation and flotation*. water science and technology.
- Rajeshwar, k., & Ibanez, j. (1997). *environmental electrochemistry: fundamentals and applications in pollution abatement*. san diego, california : academic pres limited.
- Ramalho, R. S. (1996). *Tratamiento de aguas residuales*. quebec,canada: Reverté S.A.
- Restrepo, A. P., Arango, A., & Garces, L. (Julio de 2012). *La Electrocoagulación: retos y oportunidades en el tratamiento de aguas*.
- Richens, D. (1997). *The Chemistry of Aqua Ions*. UK: Wiley.
- Rios, G., Pazos, C., & Coca, J. (Julio de 1998). *destabilization of cutting oil emulsions using inorganic salts as coagulantes*. ELSEVIER.
- Rodríguez, E. (2016). *Determinación de la eficiencia de remoción de colorantes presentes en el efluente de una industria de textiles de tela de algodón mediante electrocoagulación*. [Tesis de Maestría] Guayaquil, Ecuador: Universidad de Guayaquil.
- Romero Rojas, J. A. (2004). *Tratamiento de aguas residuales. Teoría y principios de diseño*. Bogota,Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Rossini, M., Garrido, J., & Galluzo, M. (1999). *optimization of the coagulation-flocculation tr influence of rapid mix parameters*. . Water Res 33.
- Samaniego. (2015). *aplicacion de tratamiento a efluentes de industria textil mediante electrocoagulacion*.
- Sanchez Calvo, L., Jean-Pierre Leclerc, G., Tanguy, G., Cames, M., Paternotte, G., Valetin, G., . . . Lopicque, F. (April de 2004). *an electrocoagulation unit for the purification of soluble oil wastes of high COD*. Jhon Wiley & Sons.
- Seoanez, A. (2002). *Manual de tratamiento, reciclado, aprovechamiento y gestión de las aguas residuales de las industrias agroalimenticias*. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa.
- Shin, S., & Kim, D. (2001). *studies on the interfacial characterization of O/W emulsion for the optimization of its treatment*. Environ. Sci. Technol.

Stephenson, r., & Tennant, B. (11 de abril de 2006). *new electrocoagulation process treats emulsified oily wastewater at vancouver shipyards*. Obtenido de www.esemag.com/0103/electro.html

Thirugnanasambandham, K., Sivakumar, V., & Prakash Maran, J. (21 de setiembre de 2014). *modelado de superficie de respuesta y optimizacion del tratamiento de aguas residuales cárnica mediante el método de tratamiento electroquímico*. india: ELSEVIER.

Yaguana, N., & Almeida, J. (2015). *Diseño y construcción de un reactor prototipo a nivel del laboratorio utiizado para el tratamiento de aguas residuales mediante eletrocoagulación*. Sangolquí: Universidad de las Fuerzas Armadas.

Zumdahl, s. S., & Zumdahl, S. A. (2000). *Chemistry*. new york: houghton mifflin company.

APENDICE 1: Matriz de Consistencia

“Tratamiento del efluente industrial de una planta de beneficio de reses, mediante el método de electrocoagulación de flujo continuo a escala piloto”

Formulación del Problema	Problemas específicos	Objetivo general	Objetivo específico	Hipótesis	Hipótesis específicas	Variables	Dimensiones	Indicadores	Unidad de medida	Método analítico de laboratorio				
¿El tratamiento de las aguas residuales de una planta de beneficio de reses por el método de electrocoagulación de flujo será el adecuado?	¿Cuál será los niveles de remoción de contaminantes en el agua residual de una planta de beneficio de reses por el método de electrocoagulación de flujo?	Evaluar el tratamiento de las aguas residuales de una planta de beneficios de reses por el método de electrocoagulación de flujo.	Determinar los niveles de remoción de contaminantes en el agua residual de una planta de beneficio de reses por el método de electrocoagulación de flujo.	La calidad de agua proveniente del tratamiento de las aguas residuales de la planta de beneficio de reses por el método de electrocoagulación de flujo cumplirá con los LMP vigentes.	Los contaminantes del agua residual de la planta de beneficio de reses cumplirán con los LMP	X: Método de electrocoagulación a Flujo	Físicas	X ₁ Caudal	l/s	Volumetría				
			Eléctricas				X ₂ Amperaje	A	Amperometría					
							X ₃ Voltaje	V	Voltimetría					
	¿Cuáles serán las condiciones óptimas de operación del sistema de electrocoagulación de flujo?		Determinar las condiciones de operación del sistema de electrocoagulación de flujo.	El sistema presentara óptimas condiciones de operación	El sistema presentara óptimas condiciones de operación	El sistema presentara óptimas condiciones de operación	Y: Calidad de agua	Fisicoquímicos	Y ₁ Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)	mg/l	Digestor			
												Y ₂ Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/l	Digestor
												Y ₃ % de variación Aceites y Grasas	mg/l	Extracción líquido-líquido
												Y ₄ Turbiedad	NTU	Nephelometría
												Y ₅ Sólidos totales disueltos	mg/l	Gravimetría
												Y ₆ Conductividad eléctrica	uS/cm	Celda o electrodo de conductividad
												Y ₇ Potencial de hidrogeno	und.p H	Potenciometría

APENDICE 2: Resultados del Análisis del agua residual tratada mediante electrocoagulación

Pág. 1 / 3

INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL No. 55348L/17-MA

CLIENTE	: CONSULTORIA Y ASESORIA MUNDO ESPERANZA E.I.R.L.
DIRECCIÓN	: Av. Isabel Chimpu Oclo Nro. 508 Urb. Lucyana 1ra. Et. (Cruce con Av. Universitaria) Lima - Lima - Carabaylo Lima
PRODUCTO	: Agua residual
MATRIZ	: Agua residual industrial
NÚMERO DE MUESTRAS	: 9
PRESENTACIÓN DE LAS MUESTRAS	: Frascos de plástico, Frascos de vidrio ámbar
PROCEDENCIA DE LAS MUESTRAS	: Muestras enviadas por el cliente
PROCEDIMIENTO DE MUESTREO	: No Aplica
FECHA DE MUESTREO	: 2017-06-22
LUGAR DE MUESTREO	: Chorrillos - Lima - Lima
REFERENCIA DEL CLIENTE	: Diseño de Planta Frigorífico - Frisana -S.A.
FECHA DE RECEPCIÓN DE LAS MUESTRAS	: 2017-06-22
FECHA DE EJECUCIÓN DE ENSAYO	: 2017-06-22
FECHA DE TÉRMINO DE ENSAYO	: 2017-07-01
ORDEN DE SERVICIO	: 05040-17/LMA

Inspectoría Services Perú
S.A.C.
A Bureau Veritas Group Company

ING. YANI MORALES H.
C.I.P. 135922
JEFE DE LABORATORIO MEDIO AMBIENTE

Callao, 02 de Julio de 2017

INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL No. 55348L/17-MA

RESULTADOS DE ANÁLISIS

				CF-E	SBR-S	EC-S
Estación de Muestreo				2017-06-22	2017-06-22	2017-06-22
Fecha de Muestreo				13:05	12:40	16:00
Hora de Muestreo				04964 00001	04964 00002	04964 00003
Código de Laboratorio				ARI	ARI	ARI
Matriz						
Ensayo	Unidad	L.C.	L.D.			
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L O2	2.0	1.0	644.0	66.0	415
Aceites y Grasas	mg/L	1.0	0.6	27.7	1.4	5.2
Demanda Química de Oxígeno	mg/L O2	2.0	1.0	1 283.5	397.6	686.6

INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL No. 67222L/17-MA

CLIENTE : CONSULTORIA Y ASESORIA MUNDO ESPERANZA E.I.R.L.
DIRECCIÓN : Av. Isabel Chimpú Ocho Nro. 508 Urb. Lucyana 1ra. Et. (Cruce con Av. Universitaria) Lima - Lima - Carabayllo
Lima
PRODUCTO : Agua residual
MATRIZ : Agua residual industrial
NÚMERO DE MUESTRAS : 12
PRESENTACIÓN DE LAS MUESTRAS : Frascos de plástico, Frascos de vidrio ámbar
PROCEDENCIA DE LAS MUESTRAS : Muestras enviadas por el cliente
PROCEDIMIENTO DE MUESTREO : No Aplica
FECHA DE MUESTREO : 2017-06-09
LUGAR DE MUESTREO : Chorrillos - Lima - Lima
REFERENCIA DEL CLIENTE : Frigorífico FRISANA SAC.
FECHA DE RECEPCIÓN DE LAS MUESTRAS : 2017-06-09
FECHA DE EJECUCIÓN DE ENSAYO : 2017-06-09
FECHA DE TÉRMINO DE ENSAYO : 2017-06-17
ORDEN DE SERVICIO : 05040-17/LMA

Inspectorate Services Perú S.A.C.
A Bureau Veritas Group Company

ING. EVELYN P. QUISPE LOROÑA
C.I.P. 98232
LABORATORIO MEDIO AMBIENTE

Callao, 17 de Junio de 2017

INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL No. 67222L/17-MA

Pág. 2 / 3

RESULTADOS DE ANÁLISIS

		SBR-S	PJ-S	EC-S	CF-F		
Estación de Muestreo		2017-06-09	2017-06-09	2017-06-09	2017-06-09		
Fecha de Muestreo		11:52	11:05	09:30	10:50		
Hora de Muestreo		05653	05653	05653	05653		
Código de Laboratorio		00001	00002	00003	00004		
Matriz		ARI	ARI	ARI	ARI		
Ensayo	Unidad	L.C.	L.D.				
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L O2	2.0	1.0	200.3	784.3	609.5	1 252.9
Aceites y Grasas	mg/L	1.0	0.6	2.0	3.6	2.8	45.3
Demanda Química de Oxígeno	mg/L O2	2.0	1.0	680.2	939.3	906.9	2 429.2

INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL No. 67649L/17-MA

CLIENTE : CONSULTORIA Y ASESORIA MUNDO ESPERANZA E.I.R.L.
DIRECCIÓN : Av. Isabel Chimpu Oclo Nro. 508 Urb. Lucyana 1ra. Et. (Cruce con Av. Universitaria) Lima - Lima - Carabaylo
Lima
PRODUCTO : Agua residual
MATRIZ : Agua residual industrial
NÚMERO DE MUESTRAS : 6
PRESENTACIÓN DE LAS MUESTRAS : Frascos de plástico, Frascos de vidrio ámbar
PROCEDENCIA DE LAS MUESTRAS : Muestras enviadas por el cliente
PROCEDIMIENTO DE MUESTREO : No Aplica
FECHA DE MUESTREO : 2017-06-25
LUGAR DE MUESTREO : Chorrillos - Lima - Lima
REFERENCIA DEL CLIENTE : Diseño de Planta de Tratamiento Frigorífico FRISANA
FECHA DE RECEPCIÓN DE LAS MUESTRAS : 2017-06-25
FECHA DE EJECUCIÓN DE ENSAYO : 2017-06-25
FECHA DE TÉRMINO DE ENSAYO : 2017-07-01
ORDEN DE SERVICIO : 05040-17/LMA

Inspectorate Services Perú
S.A.C.
A Bureau Veritas Group Company

ING. YANI MORALES H.
C.I.P. 135923
JEFE DE LABORATORIO MEDIO AMBIENTE

Callao, 02 de Julio de 2017

INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL No. 67649L/17-MA

RESULTADOS DE ANÁLISIS

		CF-E	EC-S
Estación de Muestreo		2017-06-25	2017-06-25
Fecha de Muestreo		11:48	12:08
Hora de Muestreo		05239	05239
Código de Laboratorio		00001	00002
Matriz		ARI	ARI

Ensayo	Unidad	L.C.	L.D.		
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L O ₂	2.0	1.0	997.5	566.5
Aceites y Grasas	mg/L	1.0	0.6	52.5	12.8
Demanda Química de Oxígeno	mg/L O ₂	2.0	1.0	1 528.5	721.5

INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL No. 69523L/17-MA

CLIENTE : CONSULTORIA Y ASESORIA MUNDO ESPERANZA E.I.R.L.
DIRECCIÓN : Av. Isabel Chimpu Oclo Nro. 508 Urb. Lucyana 1ra. Et. (Cruce con Av. Universitaria) Lima - Lima - Carabaylo
Lima
PRODUCTO : Agua residual
MATRIZ : Agua residual industrial
NÚMERO DE MUESTRAS : 12
PRESENTACIÓN DE LAS MUESTRAS : Frascos de plástico, Frascos de vidrio ámbar
PROCEDENCIA DE LAS MUESTRAS : Muestras enviadas por el cliente
PROCEDIMIENTO DE MUESTREO : No Aplica
FECHA DE MUESTREO : 2017-06-16
LUGAR DE MUESTREO : Chorrillos - Lima - Lima
REFERENCIA DEL CLIENTE : Diseño de Planta Frigorífico FRISANA
FECHA DE RECEPCIÓN DE LAS MUESTRAS : 2017-06-16
FECHA DE EJECUCIÓN DE ENSAYO : 2017-06-16
FECHA DE TÉRMINO DE ENSAYO : 2017-06-21
ORDEN DE SERVICIO : 05040-17/LMA

Inspectorate Services Perú
S.A.C.
A Bureau Veritas Group Company

ING. YANIMORALES H.
C.I.P. 135922
JEFE DE LABORATORIO MEDIO AMBIENTE

Callao, 22 de Junio de 2017

INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL No. 69523L/17-MA

RESULTADOS DE ANÁLISIS

				CF-E	SBR-S	EC-S
Estación de Muestreo				2017-06-16	2017-06-16	2017-06-16
Fecha de Muestreo				12:45	12:38	11:59
Hora de Muestreo				05927	05927	05927
Código de Laboratorio				00002	00001	00003
Matriz				ARI	ARI	ARI
Ensayo	Unidad	L.C.	L.D.			
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L O2	2.0	1.0	1440.8	570.8	1018.5
Aceites y Grasas	mg/L	1.0	0.6	41.9	21.5	22.5
Demanda Química de Oxígeno	mg/L O2	2.0	1.0	1668.0	1028.3	1012.6

APENDICE 3: Pruebas de Electrocoagulación

Figura 5. 21 PRUEBAS DE ELECTROCOAGULACIÓN



