

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA



**“TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN UNA
LAVANDERÍA INDUSTRIAL MEDIANTE
ELECTROFLOCULACIÓN EN LA CIUDAD DE LIMA”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO QUÍMICO**

**BRENNER ELÍAS CAMPOS MUÑOZ
CARLOS HERNÁNDEZ HERNÁNDEZ
PEDRO BERNARDO TRUJILLO ACUÑA**

**Callao, Setiembre, 2017
PERÚ**

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Brenner Elías Campos Muñoz".

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Pedro Bernardo Trujillo Acuña".

PRÓLOGO DEL JURADO

La presente Tesis fue Expuesto por las Bachilleres **CAMPOS MUÑOZ BRENNER ELIAS, TRUJILLO ACUÑA PEDRO BERNARDO** y **HERNANDEZ HERNANDEZ CARLOS** ante el **JURADO DE SUSTENTACIÓN DE TESIS** conformado por los siguientes Profesores Ordinarios:

Ing. Dr. ANCIETA DEXTRE CARLOS ALEJANDRO	PRESIDENTE
Ing. Dr. CALDERÓN CRUZ JULIO CÉSAR	SECRETARIO
Lic. Mg. REYNA SEGURA ANA MARÍA	VOCAL
Ing. LAZO CAMPOSANO ROBERTO	ASESOR

Tal como está asentado en el Libro N° 1 Folio N° 23 y Acta N° 022 de Sustentación por la Modalidad de Tesis con Ciclo de Tesis, de fecha **10 DE SETIEMBRE 2017**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Químico en la Modalidad de Tesis con Ciclo de Tesis, de conformidad establecido por el Reglamento de Grados y Títulos aprobado por Resolución N° 082-2011-CU de fecha 29 de abril de 2011 y Resolución N° 221-2012-CU de fecha 19 de setiembre de 2012.

HOJA DE REFERENCIA DEL JURADO Y APROBACIÓN (ver anexo N° 6)

DEDICATORIA

Esta tesis se la dedicamos a nuestro Dios Todopoderoso como fuente de inspiración, quien supo guiarnos por el buen camino, por darnos fuerzas para seguir adelante y no desmayar en los que se presentaban, enseñándonos a encarar las adversidades sin perder nunca la dignidad ni desfallecer en el intento.

A nuestras familias quienes por ellos somos los que somos. A nuestros padres y abuelos por su apoyo, consejos, comprensión, amor, ayuda en los momentos difíciles, y por ayudarnos con los recursos necesarios para estudiar. Nos han dado todo lo que somos como personas, valores, principios, carácter, empeño, perseverancia, coraje para conseguir nuestros objetivos.

Gracias también a nuestros queridos profesores, por los años de formación académica con el objetivo de ser grandes profesionales.

Atte.

**BRENNER ELÍAS CAMPOS MUÑOZ
CARLOS HERNÁNDEZ HERNÁNDEZ
PEDRO BERNARDO TRUJILLO ACUÑA**

AGRADECIMIENTO

Gracias a nuestra universidad, gracias por habernos permitido formarnos y en ella, gracias a todas las personas que fueron partícipes de este proceso, ya sea de manera directa e indirecta, gracias a todos ustedes, fueron ustedes los responsables de realizar su pequeño aporte.

Este es un momento muy especial que esperamos, perdure en el tiempo, no sólo en la mente de las personas que agradecemos, sino también a quienes invirtieron su tiempo para echarle una mirada a nuestra tesis; a ellos asimismo les agradezco con todo nuestro ser.

LOS AUTORES.

ÍNDICE

I. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACION.....	8
1.1 Identificación del problema.....	8
1.2 Formulación del problema.....	9
1.3 Objetivos de la investigación.....	10
1.4 Justificación.....	10
1.5 Importancia.....	11
II. MARCO TEORICO.....	12
2.1 Antecedentes Del Estudio	12
2.2 Bases Teóricas.....	13
2.2.1 Aguas Residuales.....	13
2.2.2 Industria Textil.....	16
2.3 Lavandería Industrial.....	20
2.4 La Electroflocculación.....	27
2.5 Química del hierro en disolución acuosa.....	47
2.6 Química del aluminio en disolución acuosa.....	49
2.7 Índigo.....	51
2.8 Normativa vigente que regula los efluentes no domésticos En Perú.....	53
2.9 Términos y definiciones relacionadas con el tema.....	55
III. VARIABLES E HIPÓTESIS.....	60
3.1 Variables de la investigación.....	60
3.2 Operacionalización de variables.....	61
3.3 Hipótesis general e hipótesis específicas.....	63
IV. METODOLOGIA.....	63
4.1 Tipo de investigación.....	63
4.2 Diseño de la Investigación	63
4.3 Población y muestra	73
4.4 Técnicas e Instrumentos de recolección de datos.....	73
4.5 Procedimientos de recolección de datos.....	77
4.6 Procesamiento estadístico y análisis de datos.....	93
V. RESULTADOS.....	97
VI. DISCUSION DE RESULTADOS.....	106
6.1 Contrastación de hipótesis con los resultados.....	106
6.2 Contrastación de resultados con otros estudios similares.....	107
VII. CONCLUSIONES.....	108
VIII. RECOMENDACIONES.....	109
IX. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	110

ANEXOS.....112

- Matriz de Consistencia
- Otros anexos necesarios para respaldo de la investigación.
-

ÍNDICE DE GRÁFICOS:

Gráfico 5.1: Intensidad de corriente vs tiempo.....100

ÍNDICE DE FIGURAS:

Figura 2.1: Empresa lavandería industrial NEVADOS SAC	21
Figura 2.2: Procesos realizados en la industria textil en el área de lavandería.....	23
Figura 2.3: Esquema de una celda de electrofloculación.....	30
Figura 2.4: Celda electrolítica.....	38
Figura 3.1: Relación De las variables de investigación.....	60
Figura 4.1: Diseño De la investigación.....	64
Figura 4.2: Diagrama de diseño de un tanque de electrofloculación	69
Figura 4.3: Pruebas experimentales para determinar la fuente poder.....	72
Figura 4.4: Diagrama de flujo del sistema de electrofloculación.....	79
Figura 4.5: Toma de muestra de una lavandería industrial de lima.....	80
Figura 4.6: Equipo de Electrofloculación.....	81
Figura 4.7: Microscopio de laboratorio de microbiología de investigación UNAC.....	82
Figura 4.8: Equipo de Adsorción atómica.....	83
Figura 4.9: Equipo DQO.....	84
Figura 4.10: Equipo DBO.....	85
Figura 4.11: Equipo Ph-metro.....	85
Figura 4.12: Equipo Conductímetro.....	86
Figura 4.13: Equipo Amperímetro.....	87
Figura 4.14: Turbidímetro.....	88
Figura 4.15: Microscopio	88
Figura 5.1: Caracterización del floc y formación de cristales	101
Figura 5.2: Caracterización del floc y formación de cristales	102
Figura 5.3: Caracterización del floc y formación de cristales	102
Figura 5.4: Caracterización del floc y formación de cristales	103

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1: clasificacion de colorantes según su forma de aplicación...	19
Tabla 2.2: características De los lodos.....	47
Tabla 2.3: Indigo.....	52
Tabla 2.4: Anexo 1.....	53
Tabla 2.5: Anexo 2.....	54
Tabla 3.1: Operacionalizacion de variables.....	61
Tabla 4.1: diseño factorial de variables.....	66
Tabla 4.2: corridas experimentales (determinacion de la fuente poder).....	71
Tabla 4.3: diseño factorial de variables-distancia de electrodos.....	77
Tabla 4.4: diseño factorial de variables-tiempo de residencia.....	76
Tabla 4.5: diseño factorial de variables-intensidad de corriente.....	77
Tabla 4.6: parámetros optimos en la evaluacion economica.....	90
Tabla 4.7: calculo de costos de reposicion de electrodos.....	93
Tabla 4.8: Analisis estadístico ANOVA de los datos experimentales....	95
Tabla 5.1: resultados de analisis fisicoquimicos del efluente.....	97
Tabla 5.2: resultados de analisis fisicoquimicos del efluente.....	98
Tabla 5.3: resultados de metales totales del efluente al inicio.....	99
Tabla 5.4: variables que influyen en el tratamineto de aguas textiles mediante electrofloculacion.....	100
Tabla 5.5: variables que influyen en la caracteristica del floc y la formacion de cristales que influyen en la caracteristica del floc y la formacion de cristales.....	101
Tabla 5.6: resultados de analisis fisicoquimicos del efluente tratado..	104
Tabla 5.7: resultados de metales totales del efluente tratado.....	105
Tabla 6.1: resultados comparativos de la muestra problema y la muestra final.....	106

RESUMEN

La presente Tesis tiene como finalidad el tratamiento de aguas residuales de una lavandería industrial en la ciudad de Lima mediante la Electrofloculación.

La Tecnología de Electrofloculación se lleva a cabo sometiendo el efluente problema por la corriente eléctrica empleando electrodos de Aluminio y Hierro y se evaluó las siguientes variables: la intensidad de corriente, tiempo de residencia y distancia de electrodos.

Los resultados demostraron que la Tecnología de Electrofloculación en el tratamiento de aguas residuales de una Lavandería industrial en la ciudad de Lima a una intensidad de corriente de 10 A, la distancia de electrodos de 15 cm. y un tiempo de residencia de 10 min. el tamaño del floc se vuelve constante (60 μ m).

Según el proceso realizado mediante la tecnología de electrofloculación se obtuvo una eficiencia del 100 % al comparar los análisis de sus características fisicoquímicas después del proceso lo que establecen los Valores máximos admisibles para descargar efluentes no domésticos de acuerdo al CIU (Clasificación Industrial Internacional Uniforme)

PALABRAS CLAVE: / AGUAS RESIDUALES / LAVANDERÍA INDUSTRIAL / INDUSTRIA TEXTIL/ ELECTROFLOCULACIÓN / CORRIENTE ELÉCTRICA/

ABSTRACT

The purpose of this thesis is the treatment of wastewater from an industrial laundry in the city of Lima through Electroflocculation.

Electroflocculation Technology is carried out by subjecting the problem effluent to the electric current using aluminum and iron electrodes and the following variables were evaluated: current, residence time and electrode spacing.

The results showed that Electroflocculation Technology in the wastewater treatment of an industrial laundry in the city of Lima at a current intensity of 10A, the distance of electrodes of 15 cm. And a residence time of 10 min. The floc size becomes constant (60um).

According to the process carried out using electrocculation technology, A 100% efficiency was obtained by comparing the analyzes of their physic Cochemical characteristics after the process, which establishes the maximum admissible values for discharging non-domestic effluents according to ISIC (International Standard Industrial Classification).

KEY WORDS: / WASTE WATER / INDUSTRIAL LAUNDRY / TEXTIL INDUSTRY/ ELECTROFLOCCULATION / ELECTRICAL CURRENT/

PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Identificación del Problema:

En el mundo en la actualidad el 80 % de las aguas residuales mundiales no reciben el tratamiento adecuado para evitar la contaminación y propagación de enfermedades, una situación que perjudica a los países menos desarrollados que refleja el informe "Gestión de aguas residuales" elaborado por el programa de las Naciones Unidas para el medio ambiente. La industria textil se realiza el proceso de fabricación de telas, hilos, tintorería y demás, se utilizan una gran cantidad de químicos durante estos procesos. La mala gestión de los residuos generados en la industria textil causa un impacto negativo al medio ambiente. En el Perú las empresas desechan sus efluentes no domésticos tratados o no tratados por el alcantarillado, éste llega a un cuerpo receptor que puede ser un río, lago y océano, la entidad que fiscaliza el control de sus efluentes no domésticos SEDAPAL por medio del D.S N°021-2009-VIVIENDA y su reglamento D.S N°003-2011-VIVIENDA, que estos establecen los Valores máximos admisibles para descargar efluentes no domésticos de acuerdo al CIU (Clasificación Industrial Internacional Uniforme) que de acuerdo para nuestro estudio le corresponde el **CIU: 9601** Lavado y limpieza, incluso en seco de productos textiles. El tratamiento inadecuado de los efluentes no domésticos trae consigo impactos ambientales significativos y daños a la propiedad pública como el alcantarillado; en el presente trabajo se propone implementar en las

empresas textiles el tratamiento por electrofloculación una alternativa económica y con resultados óptimos en el tratamiento de aguas residuales del sector textil.

Por lo tanto, surge la necesidad de establecer las condiciones favorables para el tratamiento de aguas residuales de una lavandería industrial mediante tecnología de electrofloculación con el fin del cumplimiento de los valores máximos admisibles.

1.2. Formulación del Problema:

Problema General:

¿Cómo debe ser el proceso para el tratamiento de aguas residuales en una lavandería industrial en la ciudad de Lima mediante electrofloculación para el cumplimiento de los VMA?

Problemas Específicos:

a. ¿Cuáles son las características físico-químicas de aguas residuales en una lavandería industrial en la ciudad de Lima?

b. ¿Cuál es la influencia del pH, densidad de corriente y la conductividad eléctrica en el proceso de electrofloculación para el tratamiento de aguas residuales de una lavandería industrial en la ciudad de Lima?

c. ¿Cuáles son las características físico-químicas de las aguas residuales en una lavandería industrial en la ciudad de Lima después del tratamiento?

1.3. Objetivos de la Investigación

1.3.1 Objetivo General

Evaluar el proceso para el tratamiento de aguas residuales en una lavandería industrial en la ciudad de Lima mediante electrofloculación para el cumplimiento de los VMA.

1.3.2 Objetivos Específicos:

- a. Determinar las características físico-químicas de las aguas residuales en una lavandería industrial en la ciudad de Lima
- b. Determinar la influencia del pH, densidad de corriente y la conductividad eléctrica en el proceso de electrofloculación para el tratamiento de aguas residuales en una lavandería industrial en la ciudad de Lima.
- c. Determinar los VMA de las aguas residuales de una lavandería industrial en la ciudad de Lima.

1.4. Justificación de la Investigación:

Las razones que justifican la presente investigación son las siguientes:

Legal: Se espera que el presente trabajo sea utilizado en las empresas del rubro textil del ámbito nacional, para poder cumplir con los lineamientos establecidos de acuerdo al D.S N°021-2009-VIVIENDA y su reglamento D.S N°003-2011-VIVIENDA de Perú que establece los valores máximos admisibles para descarga de efluentes no domésticos, la cual está vigente desde el 05 de Setiembre del 2013.

Con esta norma SEDAPAL y las empresas prestadoras de saneamiento fiscalizan los parámetros con que deben descargarse los efluentes, y de no cumplirse están inmersos a una sanción económica o cierre definitivo.

Teórica: Se desea ampliar la tecnología de electrofloculación para el sector textil con el fin de reducir la contaminación producto de la descarga de sus efluentes mal tratados.

Tecnológica: Desarrollar un método de investigación que permitirá que las Empresas de sector Textil pueda resolver el problema de tratamiento de aguas residuales.

Económica: Por el costo de la tecnología de electrofloculación es recomendable su aplicación, esto permite que las empresas puedan implementarlo y no estar expuestas a multas por no cumplir con la normativa de los valores máximos admisibles en el tratamiento de aguas residuales.

1.5. Importancia de la Investigación:

La presente Investigación pueda aplicarse para casi todo tipo de agua residuales, pero es especialmente útil para casos muy concretos que requiere una inversión mucho menor que los sistemas de tratamiento tradicionales.

I. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del Estudio

Según (Pérez Gabriela – 2015), Tratamiento de Aguas residuales de la Industria Textil mediante Procesos Electroquímicos. En este trabajo se estudió los procesos electroquímicos: electrocoagulación y electrofenton, como alternativas para el tratamiento de aguas residuales de una industria textil mediante el control de los parámetros: DQO, sólidos suspendidos, turbidez, color, pH y hierro, para el cumplimiento de la norma vigente. Se sometió el efluente a electrocoagulación en un reactor electroquímico de laboratorio, definiendo como variables operacionales el Ph, potencial, densidad de corriente (ρ) y tiempo. Se obtuvo el mejor porcentaje de Remoción de DQO.

Según (Vidal Jorge – 2013), Eliminación del colorante negro ácido 194 desde aguas residuales textiles mediante electrocoagulación. En este trabajo se estudió la eliminación del colorante Negro Ácido 194 mediante la electrocoagulación. Las electrólisis se realizaron en celdas Estáticas con un volumen de 1.0 L, utilizando electrodos de hierro y aluminio por separado. Se siguieron además, las variaciones del Ph de la solución durante las electrólisis, los cambios en la conductividad y la pérdida de masa del ánodo de sacrificio. Además se aplicó el método para distintas concentraciones del colorante.

Según (Condorchem envitech), Tratamiento para la eliminación del color en aguas residuales de la Industria Textil. <http://blog.condorchem.com>

En esta página web explica según los requerimientos normativos, así como la necesidad de ahorrar energía y reutilizar el agua en la industria, de desarrollar nuevos procesos que permitan eliminar la contaminación del agua a la vez que posibiliten la reincorporación del efluente en el proceso productivo.

Según (Morante, Gonzalo - 2002), Electrocoagulación de aguas residuales. Determinó que la electrocoagulación es un proceso que aplica los principios de la coagulación–floculación en un reactor electrolítico. Este es un recipiente dotado de una fuente de corriente y varios electrodos encargados de aportar los iones desestabilizadores de partículas coloidales que reemplazan las funciones de los compuestos químicos que se utilizan en el tratamiento convencional.

2.2. Bases Teóricas:

2.2.1 Aguas Residuales

Llamamos Aguas Residuales a las aguas que resultan después de haber sido utilizadas en nuestros domicilios, en las fábricas, en actividades ganaderas, etc. Las aguas residuales aparecen sucias y contaminadas: llevan grasas, detergentes, materia orgánica, residuos de la industria y de los ganados, herbicidas y plaguicidas y en ocasiones algunas sustancias muy tóxicas. Estas aguas residuales, antes de volver

a la naturaleza, deben ser depuradas. Para ello se conducen a las plantas o estaciones depuradoras, donde se realiza el tratamiento más adecuado para devolver el agua a la naturaleza en las mejores condiciones posibles.

Características importantes de las aguas residuales:

De la misma manera que en las aguas naturales se miden las características físicas, químicas y biológicas de aguas residuales para establecer principalmente, las cargas orgánicas y de sólidos que transportan, determinan efectos del vertimiento a cuerpos de agua y seleccionar las operaciones y procesos de tratamiento que resultaran más eficaces y económicos.

Parámetros para medir la calidad de agua.

Los parámetros medibles para clasificar la calidad de agua generalmente son características químicas, físicas, biológicas y radiológicas. Estas permiten medir el grado en que se encuentra determinado cuerpo de agua, para una determinada actividad y uso que el hombre le pueda dar.

Parámetros Físicos:

Temperatura: La temperatura es uno de los parámetros más importantes ya que determina de manera directa el crecimiento de microorganismos, alterando el metabolismo como productividad, respiración y descomposición de la materia orgánica.

Turbidez: Es el parámetro que mide la transparencia del agua y mide la dificultad de la luz de pasar a través de la misma. También es un indicador de la cantidad de materia insoluble en suspensión, como arcillas, coloides generalmente se presenta en unidades de turbidez.

Color: El color es la capacidad del agua de absorber ciertas radiaciones del espectro visible. El color es indicativo de la presencia de ciertos materiales ya sea químicos y orgánicos.

Conductividad eléctrica: Es la capacidad del agua de conducir la electricidad, es indicativo de la presencia de iones disueltos, generalmente sales. También indicativo del grado de contaminación que esta presenta.

Parámetros Químicos

Los diferentes compuestos disueltos en el agua pueden ser de orígenes naturales o industriales, benéficos o dañinos, todo esto va a depender de sus características y su concentración. Los parámetros para determinar estas características son las siguientes:

pH: Es la forma de expresar la concentración de iones Hidrógeno que están presente. Es un parámetro importante ya que el valor del mismo determina qué tipo de microorganismos pueden sobrevivir en esas condiciones de pH.

Oxígeno Disuelto: Este parámetro nos indica la cantidad de oxígeno atmosférico disuelto en el agua. Es un indicativo de la contaminación de

las aguas naturales, las cuales deben tener condiciones favorables para el desarrollo de organismos acuáticos.

Demanda Química de Oxígeno (DQO): Es la cantidad de oxígeno necesaria para que organismos aerobias puedan metabolizar oxidando la materia orgánica presente. Se obtiene con la diferencia del oxígeno disuelto en la muestra inicial y el medido en función del periodo de incubación de la muestra.

2.2.2 Industria Textil

La Industria textil es el sector industrial que está dedicado a la producción de fibras: naturales y sintéticas, hilados, telas, y productos relacionados con la confección y tinturado de prendas de vestir; convirtiendo las fibras naturales o artificiales en hilos aprovechables y de fácil manipulación. Los distintos procesos de producción de textiles utilizan una gran variedad de productos químicos que han sido responsables de la generación de carga contaminante en el agua. En la actualidad se han implementado tecnologías innovadoras para controlar procesos de producción y tratar los efluentes contaminados, con el fin de alcanzar niveles altos de eficiencia, competitividad, rentabilidad y reducir riesgos al ser humano y medio ambiente. Dentro del proceso de tinturado se presentan cuatro variables principales: **(CUÁSQUER, 2015)**

- **Sustrato:** es el material que se va a teñir, su presentación puede ser como fibras, cintas de hilandería, hilos, tejidos o incluso prendas.

- **Insumos:** son los agentes que efectúan el cambio de color (colorantes y blanqueadores ópticos) o ayudan durante el proceso de tintorería a obtener resultados óptimos (productos químicos, productos auxiliares y enzimas).
- **Maquinaria:** dependiendo del sistema de trabajo, pueden ser por sistema discontinuo o sistema semicontinuo.
- **Mano de obra:** es el más importante, pues es quien decide a los anteriores, comprende a los niveles operativos, medios y directivos.

Dentro del sustrato e insumos encontramos los siguientes:

a) Fibras textiles: En el ámbito de la industria textil, se denomina fibra textil al conjunto de filamentos o hebras susceptibles de ser usados para formar hilos (y de estos los tejidos), bien sea mediante hilado, o mediante otros procesos físicos o químicos. Así, la fibra es la estructura básica de los materiales textiles. Tradicionalmente se han clasificado en: artificiales, sintéticas y de origen animal.

b) Colorantes: Los colorantes son sustancias orgánicas fluorescentes o de color intenso que imparten color a una sustancia incolora o bien a un sustrato por medio de una adsorción selectiva de luz dentro de las longitudes de onda de 400nm-700nm del espectro electromagnético. El compuesto está constituido por tres grupos funcionales, el cromóforo, que es el grupo responsable de la adsorción de la luz, dándole la propiedad de

color al compuesto; los auxocromos, que le dan afinidad por la fibra e intensifican el color y por último el solubilizador, que le da afinidad a solventes diversos y está dado por la presencia de iones como $-\text{SO}_3\text{Na}^+$, $-\text{NH}_3\text{Cl}^-$, $-\text{SO}_2\text{NH}_2^+$, $-\text{ONa}^+$. (CUÁSQUER., 2015)

- **Colorante Índigo o de tina:** El Índigo y un cierto número de sus derivados constituyen una familia de colorantes llamados indigoides. La mayor parte del índigo se obtiene hoy sintéticamente y es mucho más puro que el producto natural obtenido a partir de la materia colorante azul de las hojas de la planta del índigo. Es un colorante insoluble en el agua y en los álcalis fuertes y, por tanto, no puede aplicarse directamente a los tejidos. Debe convertirse en un leuco-compuesto, que es soluble. En el proceso de teñido el tejido se sumerge en una disolución alcalina de blanco índigo, cuando se saca de la cuba y se deja al aire, el compuesto incoloro que impregna las fibras es oxidado a azul de índigo. (CUÁSQUER., 2015)
- **Colorantes reactivos:** Se caracterizan por formar una unión éter con la fibra, lo que garantiza una mayor duración del color en el tejido. Sus estructuras frecuentemente contienen grupos azo, antraquinona o ftalocianina.

La siguiente tabla n°2.1 de la página 20, especifica los tipos de colorantes, formas de aplicación a la fibra y la descripción de cada uno de ellos:

TABLA N° 2.1

CLASIFICACIÓN DE COLORANTES SEGÚN SU FORMA DE APLICACIÓN

Tipo de colorante	Forma de interacción con la fibra	Descripción del colorante
Ácidos	Intercambio iónico	Tipo aniónicos y poseen grupos sulfónicos
Mordiente		Requieren de metales mordientes para ser a fin la fibra no posee capacidad de teñir por sí solo
Pre-metalizado		Requieren complejos metálicos para su aplicación.
Directos	Fuerzas de Van der Waals	Poseen más de un grupo de azo.
Reactivos	Enlaces covalentes	Poseen grupos electrofílicos.
De tina	Interacciones iónicas	Insolubles y derivados del indol, se reducen y se oxidan para depositarse en la fibra, como el índigo.
Dispersos		Insolubles, deben ser hidrolizados y posteriormente precipitados sobre la fibra.

Fuente: NASTASI, Antonella; PRIGIONE, Valeria y VERESE, Giovana.

Industrial dye degradation and detoxification by basidiomycetes belonging to different eco-physiological groups. *Journal of Hazardous Materials*, 177(3): 260-267, Mayo 2010.

2.2.2.1 Aguas residuales de la industria textil (ARI textil). La industria textil tiene un alto consumo de agua en sus procesos de teñido y

procesos de lavado en general, considerando el volumen y la composición de sus efluentes, las aguas residuales de la industria textil son una de las más contaminantes de todos los sectores industriales, dependiendo del proceso tiene las siguientes características:

- **Tinturado:** alcalinas, coloreadas, DBO, DQO, temperaturas altas, sólidos en suspensión altos.
- **Lavandería.** Alta turbidez, alcalinidad, sólidos orgánicos.

La naturaleza de los desechos tiene relación directa con el tipo de la industria textil, proceso empleado, tecnología aplicada, tipo de fibra procesada, químicos usados, generación de vapor, aire comprimido, climatización de los procesos auxiliares. (CUÁSQUER., 2015)

2.3. Lavandería Industrial:

Es una empresa textil que se dedica a los acabados textiles principalmente de Jeans y prendas de algodón como casacas y pantalones de corduroy y drill. Se entiende por acabados textiles a las operaciones y procesos que se realizan después del teñido para facilitar la aceptación de las prendas. Las Lavanderías industriales, hoy en día están extendiendo sus servicios a prendas de tejido de punto (polos y pantalones tipo buzo), lo que hace necesario incluir dentro de sus procesos. En el Perú existe un gran número de lavanderías industriales de pequeño y mediano tamaño que da servicio a las empresas textiles del rubro de tintorerías. Por el nivel de sus operaciones, equipos, tamaño,

capacidad de respuesta, entre otras características; las lavanderías industriales presenta particularidad que hacen necesario que cada una de ellas establezca sus propios indicadores de gestión. En la Empresa Lavandería industrial NEVADOS SAC, es de gran importancia la excelencia de la calidad en todos los productos, procedimientos y servicios.

FIGURA N° 2.1

LAVANDERÍA INDUSTRIAL NEVADOS SAC



Fuente: Elaboración Propia

Por lo que es necesario que se entiendan la diferentes operaciones de cada proceso textil y como se utilizan de manera adecuada los productos indicados en las diversas etapas del proceso.

Procesos productivos

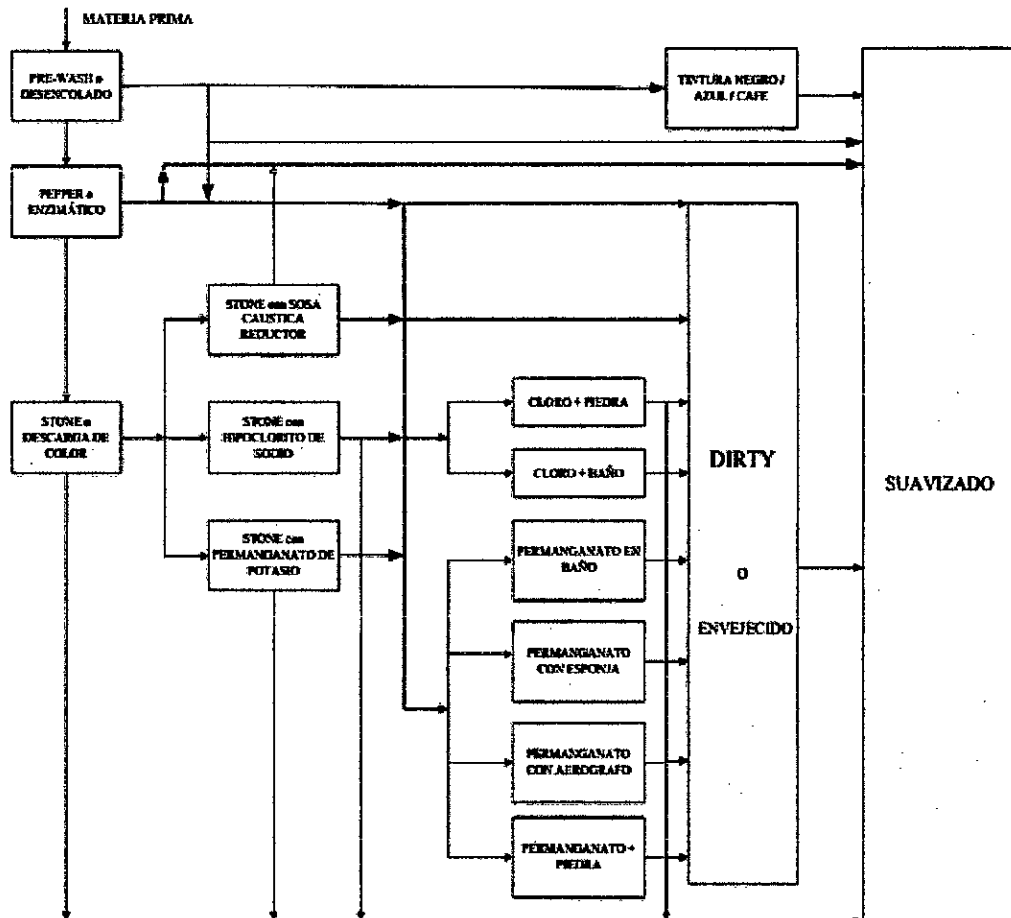
En una lavandería Industrial generalmente se realizan operaciones y procesos tales como:

- a) Preparación
- b) Desengomado
- c) Lavado
- d) Suavizado
- e) Secado
- f) Planchado
- g) Efectos con reacciones químicas y físicas controladas.

Procesos Textiles. La siguiente figura nº2.2 de la página 24, fue proporcionada por la empresa NEVADOS SAC, especifica los procesos comunes que se realizan en una industria textil en el área de Lavandería.

FIGURA N° 2.2

PROCESOS REALIZADOS EN LA INDUSTRIA TEXTIL EN EL ÁREA DE LAVANDERÍA.



Fuente: Elaboración propia

2.3.1. Tratamientos Convencionales de Aguas Residuales.

El tratamiento de las aguas residuales es una práctica que, si bien se lleva realizando desde la antigüedad, actualmente resulta algo fundamental para mantener nuestra calidad de vida. Son muchas las técnicas de tratamiento con larga tradición y, evidentemente, se ha mejorado mucho en el conocimiento y diseño de las mismas a lo largo de los años, pero no por eso han dejado de ser técnicas imprescindibles a la

hora de tratar aguas industriales y no resulta fácil establecer una clasificación universal, una de las formas más utilizadas es en función de los contaminantes presentes en el agua residual, o también en función del fundamento del tratamiento (químico, físico o biológico) mencionadas a continuación: **(CUÁSQUER., 2015)**

2.3.2. Tratamientos primarios: Entre ellos encontramos los fisicoquímicos como sedimentación, coagulación, la floculación y la filtración, que son útiles para eliminar sólidos suspendidos, coloides y algunos sólidos inorgánicos disueltos.

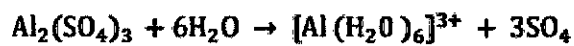
2.3.2.1. Sedimentación: La sedimentación se utiliza en los tratamientos de aguas residuales para separar sólidos en suspensión de las mismas. La eliminación de las materias por sedimentación se basa en la diferencia de peso específico entre las partículas sólidas y el líquido donde se encuentran, que acaba en el depósito de las materias en suspensión.

2.3.2.2. Coagulación: El agua en su forma molecular pura no existe en la naturaleza, contiene una gran cantidad de impurezas solubles e insolubles; en las últimas se destacan las partículas coloidales, sustancias húmicas y los microorganismos en general. Las impurezas coloidales tienen una carga superficial negativa, que impiden que las partículas se aproximen unas a otras lo que origina un medio que favorece su estabilidad, para remover estas impurezas se requiere modificar algunas características del agua.

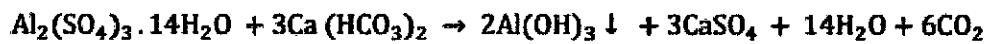
La coagulación es el proceso químico por el cual se adiciona una sustancia química (coagulante) al agua con la finalidad de destruir la estabilización de los coloides. La coagulación inicia en el instante en el que se agregan los coagulantes al agua y dura solamente fracciones de segundo, esto se lleva a cabo en una unidad denominada mezcla rápida. Como coagulantes se utilizan sales metálicas que reaccionan con la alcalinidad del agua, para producir un floculo de hidróxido del metal, insoluble en agua, que incorpore a las partículas coloidales. Los principales coagulantes que se utilizan son: Policloruro de aluminio, sulfato de aluminio, cloruro férrico, sulfato ferroso, sulfato férrico.

- **Policloruro de aluminio:** Llamado PAC, es un derivado polimérico del aluminio que existe desde hace varios años en Europa y Japón y que ahora se ha introducido en el mercado norteamericano. Las ventajas de este coagulante son: permite una mejor formación del floc, más amplio rango de pH, menor generación de lodos y poca necesidad de utilizar polielectrolitos. El costo de este coagulante es una desventaja pero puede equilibrarse ya que se trabaja con menos dosis de dicho coagulante.
- **Sulfato de aluminio:** Es el coagulante estándar empleado en tratamiento de aguas. El producto comercial tiene usualmente la fórmula $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$. Cuando se añaden soluciones de sulfato de aluminio al agua, las moléculas se disocian en Al^{3+} y SO_4^{2-} . El

Al³⁺ puede combinarse con coloides cargados negativamente para neutralizar parte de la carga de la partícula coloidal, reduciendo así el potencial zeta a un valor en que la unión de las partículas pueda ocurrir.



El Al³⁺ puede combinarse también con los OH⁻ del agua para formar hidróxido de aluminio.



- Sales de hierro. Tienen una ventaja sobre las sales de aluminio en algunos casos, porque forman un floc más pesado y de mayor velocidad de asentamiento y porque pueden trabajar en un rango de pH mucho más amplio. Por tanto, se utilizan cuando el sulfato de aluminio no produce una coagulación adecuada o cuando los sedimentadores están demasiados recargados y resulta económico aumentar el peso del floc para incrementar la eficiencia de ellos.

(CUÁSQUER., 2015)

2.3.2.3. Floculación. Es el fenómeno por el cual las partículas ya desestabilizadas chocan entre ellas para promover el crecimiento del flóculo hasta alcanzar el tamaño y peso necesario para posterior remoción mediante sedimentación. Los flóculos formados por la aglomeración de varios coloides no son lo suficientemente grandes como para sedimentar con la rapidez deseada, para este caso el empleo de un floculante es necesario para unir en forma de

red, formando puentes de una superficie a otra enlazando las partículas individuales en aglomerados. La floculación es favorecida por el mezclado lento que permite juntar poco a poco los flóculos; un mezclado demasiado intenso los rompe y raramente vuelven a tomar su tamaño y fuerza óptimos. (CUÁSQUER., 2015)

2.4. La Electrofloculación

El proceso electroquímico de desestabilización de una disolución coloidal o de una emulsión es muy similar a un tratamiento químico típico de coagulación (o de ruptura de emulsión). Ambos procesos tienen por objetivo la desestabilización de los coloides, o de las micro-gotas de aceite contenidas en un agua, y se diferencian en el modo de adición del reactivo: en coagulación. Convencional el reactivo se añade como sal, monómero o polímero y en electrofloculación se genera a partir de la oxidación electroquímica de un metal. Por tanto, se puede definir a la electrofloculación como un proceso electroquímico en el que, a partir de compuestos procedentes de la disolución de un ánodo, se agrupa la materia coloidal existente en un agua residual (o se rompe una emulsión), posibilitando su separación del agua mediante técnicas convencionales de separación sólido – líquido (decantación, flotación). Normalmente, el material anódico empleado consiste en placas de aluminio o de hierro.

Al establecerse una diferencia de potencial entre los electrodos de la celda, comienzan los procesos de reducción en el cátodo, y los de oxidación en el ánodo generándose el ión Al^{+3} si el ánodo es de aluminio, o el Fe^{+3} si el ánodo es de Aluminio o Hierro se hidratan rápidamente. A continuación, ocurren una serie de etapas interrelacionadas en las que se forman tantos hidróxidos insolubles del metal, sobre los que quedan retenidos los contaminantes, como hidroxocomplejos cargados, positiva o negativamente, que permiten la coagulación por neutralización de cargas. Además, en las proximidades del ánodo, la generación de oxígeno por oxidación del agua da lugar a la formación de iones H^+ , que dada su carga son atraídos hacia el cátodo. En el cátodo, la reducción del agua para formar hidrógeno da lugar a la formación de iones hidróxido (OH^-) que, al contrario de los anteriores, son atraídos hacia el ánodo. Como consecuencia, se genera un perfil de pH entre cada ánodo y cátodo, que favorece que aparezcan diferentes especies químicas en la celda electroquímica a partir de las especies electro generados en el ánodo, y que por tanto ocurran diferentes procesos simultáneos en el interior de la celda electroquímica. Asimismo, en la electrofloculación se evitan los problemas derivados de la neutralización de excesos de reactivos debido a que no se adicionan agentes químicos a la solución contaminada, evitando así, la

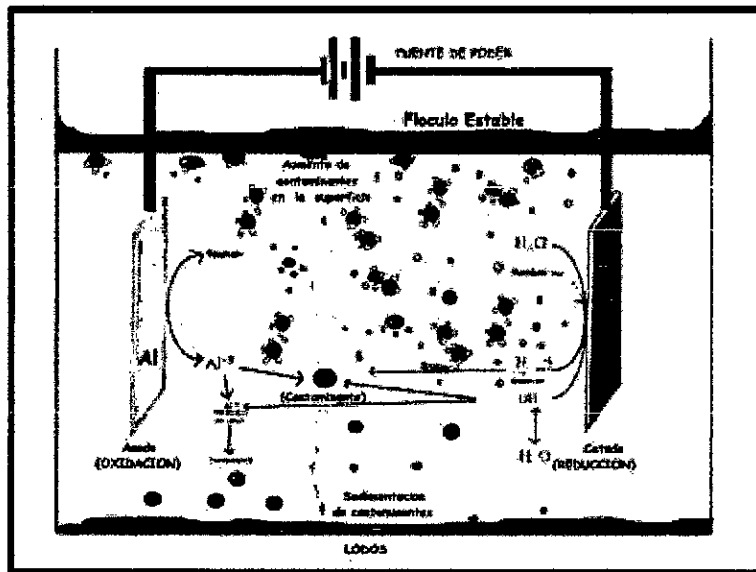
posibilidad de contaminación secundaria causada por la adición de sustancias químicas a altas concentraciones.

En bibliografía se afirma que los costes operativos de los procesos de electrofloculación son más bajos que los correspondientes a los tratamientos físico-químicos convencionales. Asimismo, se afirma que los procesos electroquímicos son procesos adecuados para plantas de pequeño y gran tamaño por su sencillez de operación. Algunos ejemplos de aplicación de esta tecnología a casos reales incluyen:

- Aguas de abastecimiento, centrados en la eliminación de materia coloidal.
- Aguas residuales urbanas.
- Aguas residuales procedentes de la industria textil, con un elevado contenido en tintes, colorantes y sólidos en suspensión.
- Aguas residuales agro – industriales.
- Emulsiones de aceite en agua procedentes de restaurantes, de la industria de mecanizado de metales, y procedentes del pulido en la fabricación de piezas de metales semiconductores empleados en la integración de circuitos. El esquema se presenta en la figura nº2.3 de la página 31.

FIGURA N°2.3

ESQUEMA DE UNA CELDA DE ELECTROFLOCULACIÓN



Fuente: (Mollah et al., 2004).

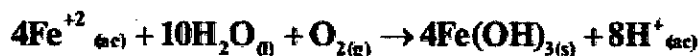
2.4.1 Reacciones presente en el proceso de electrofloculación

Los materiales más comúnmente utilizados como electrodos en la electrocoagulación son hierro y aluminio. Por esta razón se tratarán de manera especial las reacciones que se desarrollan manteniendo electrodos de estos dos metales en la celda. La bibliografía referenciada trata ampliamente estas reacciones, no sólo para hierro y aluminio, si no también aquellas reacciones que ocurren cuando los electrodos son de otros metales o materiales. El proceso de electrocoagulación es afectado por diferentes factores. Entre los más importantes se encuentran la naturaleza y concentración de los contaminantes, el pH del agua residual y la conductividad. Estos factores determinan y controlan las reacciones ocurridas en el sistema

y la formación del coagulante. Para el caso en el cual el hierro actúa como ánodo, se han propuesto dos mecanismos que explican la formación in situ de dos posibles coagulantes. Estos pueden ser hidróxido ferroso $\text{Fe}(\text{OH})_2$ o hidróxido férrico $\text{Fe}(\text{OH})_3$. (Restrepo, 2006)

Mecanismo 1: Formación del hidróxido férrico

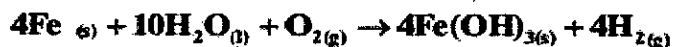
En el ánodo se presentan las siguientes reacciones de oxidación



En el cátodo ocurre la reacción:



Reacción global:

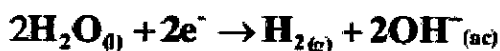


Mecanismo 2: Formación del hidróxido ferroso

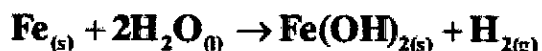
En el ánodo se dan las reacciones:



En el cátodo:



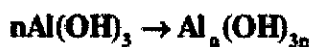
Reacción global:



Luego de la formación de los hidróxidos de hierro los coloides se aglomeran, especialmente aquellos con carga negativa, y posteriormente otras partículas de contaminantes interactúan con estos aglomerados, siendo removidos por formación de complejos o atracciones electrostáticas. (Restrepo, 2006)

Cuando el aluminio actúa como ánodo las reacciones son las siguientes:

En el ánodo:



En el cátodo:



Los iones Al^{+3} en combinación con los OH^{-} reaccionan para formar alguna especie monomérica como $\text{Al}(\text{OH})_2^{+}$, $\text{Al}_2(\text{OH})_2^{+}$, $\text{Al}(\text{OH})_2^{+}$, y otras poliméricas, tales como $\text{Al}_6(\text{OH})_{15}^{3+}$, $\text{Al}_7(\text{OH})_{17}^{4+}$, $\text{Al}_8(\text{OH})_{20}^{4+}$, $\text{Al}_{13}\text{O}_4(\text{OH})_{24}^{7+}$ y $\text{Al}_{13}(\text{OH})_{34}^{5+}$ que por procesos de precipitación forman el $\text{Al}(\text{OH})_{3(\text{s})}$, como se muestra en la reacción de ánodo. El $\text{Al}(\text{OH})_{3(\text{s})}$ 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, 2006).

2.4.2. Variables experimentales que influyen en la eficiencia del proceso de Electrofloculación.

➤ **pH.**

El pH influye sobre la eficiencia de la corriente en el proceso de solubilidad del metal para formar hidróxido. Se ha observado en diferentes investigaciones que el pH varía durante el proceso de electro floculación y esta variación es dependiente del material de los electrodos y del pH inicial del agua a tratar. Se ha determinado en algunos casos que la mayor eficiencia en la remoción de un contaminante se da dentro de un rango específico de pH, debido a la concentración de especies monoméricas de Fe o Al que se van formando a medida que este aumenta. En términos generales las mejores remociones se han obtenido para valores de pH cercanos a 7.0. Las reacciones que se originan en el ánodo y en el cátodo durante el proceso de electrocoagulación le dan al medio acuoso capacidad buffer.

➤ **Densidad de corriente.**

Las variables eléctricas en el proceso de electrofloculación son los parámetros que más influyen en la remoción del contaminante de un agua residual y están ligados a factores económicos. El suministro de corriente al sistema de electrocoagulación determina la cantidad de iones de Al^{3+} o Fe^{2+} , liberados por los respectivos electrodos. En general un aumento de la densidad de corriente

genera un incremento del pH de la solución por la formación de iones hidróxidos en el cátodo, lo que a su vez determina la concentración de especies monoméricas que se forman con la variación de este, lo que genera un aumento en la remoción del contaminante. Una densidad de corriente demasiado grande produciría una disminución significativa en la eficacia.

La selección de la densidad de corriente podría realizarse teniendo en cuenta otros parámetros de operación, como el pH.

➤ **Conductividad.**

Cuando la conductividad del agua a tratar no es elevada, es frecuente la adición de un electrolito soporte para aumentar su valor, consiguiéndose así una disminución en el potencial de la celda y, por tanto, un ahorro energético. La adición de un electrolito soporte disminuye la resistencia dentro de la solución, facilitando la transferencia de carga y dando paso a la generación de las reacciones electroquímicas. Una de las sales más empleadas para este fin es el cloruro sódico, los iones Cl^- migran hacia el ánodo donde son oxidados a Cl_2 el cual se disuelve en agua para formar HClO y ClO^- , que son fuertes agentes oxidantes los cuales puede ser utilizados para oxidar contaminantes y despasivar los electrodos.

Electrólisis.

La electrólisis del agua es la descomposición del agua (H_2O) en los gases oxígeno (O_2) e hidrógeno (H_2) por medio de una corriente eléctrica continua, suministrada por una fuente de alimentación, una batería o una pila, que se conecta mediante electrodos al agua. Para disminuir la resistencia al paso de corriente a través del agua esta se suele ácido añadiendo pequeñas alícuotas de ácido sulfúrico o bien añadiendo un electrolito fuerte como el hidróxido de sodio, $NaOH$.

Una fuente de energía eléctrica se conecta a dos electrodos, o dos platos (típicamente hechos de algún metal inerte como el platino o el acero inoxidable), como dos chinchetas, las cuales son puestas en el agua. En una celda propiamente diseñada, el hidrógeno aparecerá en el cátodo (el electrodo negativamente cargado, donde los electrones son bombeados al agua), y el oxígeno aparecerá en el ánodo (el electrodo positivamente cargado).

La electrolisis de agua pura requiere una gran cantidad de energía extra en forma de sobrepotencial, con respecto al teóricamente necesario para llevarla a cabo (+1,229 V) puesto que se han de sobrepasar varias barreras de activación. Esto se debe en parte a la escasa disociación del agua pura. Téngase en cuenta que la conductividad del agua pura es de una millonésima de la del

agua de mar siendo la conductividad típica del agua pura del orden de $0.055 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$

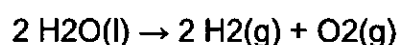
Sin esa energía extra, o sobrevoltaje, la electrólisis de agua pura ocurre muy lentamente si es que logra suceder. Varias celdas electrolíticas pueden no tener los electrocatalizadores requeridos. Como se ha comentado anteriormente la eficacia de la electrólisis aumenta con la adición de un electrolito (como la sal, un ácido o una base) y el uso de electrocatalizadores.

Las reacciones que tienen lugar en los electrodos son:

Reducción en el cátodo: $2 \text{H}^+(\text{aq}) + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2(\text{g})$

Oxidación en el ánodo: $2 \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightarrow \text{O}_2(\text{g}) + 4 \text{H}^+(\text{aq}) + 4\text{e}^-$

Sumando las semireacciones anteriores se obtiene la reacción global:



Como se puede apreciar el número de moléculas de hidrógeno producidas duplica el número de moléculas de oxígeno. Además el número de electrones transportados a través de los electrodos es el doble del número de moléculas de hidrógeno producidas y el cuádruple del número de moléculas de oxígeno obtenidas.

Para expresar las relaciones cuantitativas que se dan en la electrólisis se tiene las leyes de Faraday:

- **Primera ley de Faraday:** La masa de un elemento depositada en un electrodo es proporcional a la cantidad de electricidad que pasa a través de la solución del electrolito. (CUÁSQUER., 2015)

$$m = \text{Meq} * Q \quad (1)$$

$$\text{Meq} = \frac{M}{n * F} \quad (2)$$

$$Q = I * t \quad (3)$$

Donde:

m: masa del elemento depositada.

Meq: Equivalente electroquímico.

Q: Carga.

M: Peso molecular del ión.

n: Valencia del ion.

F: Constante de Faraday equivale a 96500 c.

I: Intensidad de corriente en amperios.

T: tiempo en segundos.

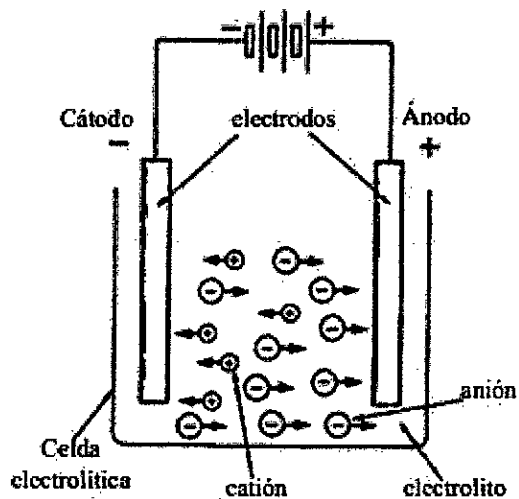
- **Segunda ley de Faraday:** Las masas de dos o más elementos que se depositan en dos o más celdas conectadas en serie, son proporcionales a sus equivalentes electroquímicos.

La figura 2.4 muestra el fenómeno, al aplicar entre los electrodos una diferencia de potencial se origina un campo eléctrico, los cationes se orientan hacia el polo negativo o cátodo en el mismo

sentido que el campo; los aniones se orientan en sentido contrario, es decir, hacia el ánodo. (CUÁSQUER., 2015).

FIGURA N° 2.4

CELDA ELECTROLÍTICA



Fuente: Cuásquer, 2015

Celda Electroquímica.

Una celda electroquímica es un dispositivo capaz de obtener energía eléctrica a partir de reacciones químicas (o bien, de producir reacciones químicas a través de la introducción de energía eléctrica, cuando se esté cargando la celda). Un ejemplo común de celda electroquímica es la pila (por ejemplo, la estándar de 1,5 voltios o la recargable de 1,2, que es una celda galvánica simple, mientras una batería eléctrica consta de varias celdas conectadas en serie o paralelo.

Johann Wilhelm Ritter, un físico y filósofo alemán, construyó en 1802 la primera celda electroquímica, con 50 discos de cobre separados por discos de cartón humedecidos por una solución salina.

Tipos de Celda Electroquímica:

Hay dos tipos fundamentales de celdas y en ambas tiene lugar una reacción redox, y la conversión o transformación de un tipo de energía en otra: La celda galvánica o celda voltaica transforma una reacción química espontánea en una corriente eléctrica, como las pilas y baterías. Son muy empleadas por lo que la mayoría de los ejemplos e imágenes de este artículo están referidos a ellas. La celda electrolítica transforma una corriente eléctrica en una reacción química de oxidación-reducción que no tiene lugar de modo espontáneo. En muchas de estas reacciones se descompone una sustancia química por lo que dicho proceso recibe el nombre de electrolisis. También se la conoce como celda electrolítica. A diferencia de la celda voltaica, en la celda electrolítica, los dos electrodos no necesitan estar separados, por lo que hay un sólo recipiente en el que tienen lugar las dos semirreacciones.

Electroquímica

Es una parte de la química que trata de la relación entre las corrientes eléctricas y las reacciones químicas, y de la conversión de la energía química en eléctrica y viceversa. En un sentido más amplio, la electroquímica es el estudio de las reacciones químicas que producen

efectos eléctricos y de los fenómenos químicos causados por la acción de las corrientes o voltajes. Una de las aplicaciones más importantes de la electroquímica es el aprovechamiento de la energía producida en las reacciones químicas mediante su utilización como energía eléctrica, proceso que se lleva a cabo en las baterías. Dentro de éstas se encuentran las pilas primarias y los acumuladores o pilas secundarias.

Esto nos lleva al proceso de electrólisis que tiene lugar cuando se aplica una diferencia de potencial entre 2 electrodos produciéndose una reacción óxido-reducción, esta última consiste en reacciones de transferencia de electrones, en donde una sustancia se oxida cuando los pierde y se reduce cuando los gana, ambos procesos son dependientes.

Todo lo anterior ha permitido la aplicación de estos conocimientos en diferentes áreas como la medicina, lo que ha generado una mejor calidad de vida (Fernández,2007).

2.4.3 Reactores para procesos de electrofloculación:

Los reactores para la electrocoagulación pueden clasificarse atendiendo a diferentes criterios:

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

En función de la dirección del flujo en la celda, los reactores se pueden catalogar en unidades de flujo horizontal y vertical.

En función del modo de circulación del agua a tratar entre los electrodos, se pueden encontrar celdas de canales múltiples o bien de un sólo canal. En función del aumento del área superficial de los electrodos, lo cual se logra aumentando el número de placas, estas se pueden conectar en serie, en forma paralela monopolar o bipolar. Otro tipo de reactor para la electrocoagulación es el tipo filtro prensa, constituido por un par de marcos. Uno de ellos soporta el ánodo y el otro el cátodo en forma de placas, de manera que su acople forma una cámara. (Ascon, 2015).

2.4.4 Ventajas de la electrofloculación:

Son muchas las ventajas y desventajas de la electrofloculación entre las más importantes tenemos:

Ventajas:

Son muchas las ventajas de la electrofloculación.

Entre las más relevantes están:

- Los costos de operación son menores comparativamente con los de procesos convencionales usando polímeros.
- Requiere de equipos simples y de fácil operación.
- Elimina requerimientos de almacenamiento y uso de productos químicos
- Genera lodos más compactos y en menor cantidad, lo que representa un problema de disposición final de lodos.
- Produce flóculos más grandes que aquellos formados en la coagulación química y contienen menos agua ligada.
- Alta efectividad de remoción en un amplio rango de contaminantes.

- Purifica el agua y permite su reciclaje.
- El paso de la corriente eléctrica favorece el movimiento de las partículas de contaminante más pequeñas, incrementando la coagulación.
- Reduce la contaminación en los cuerpos de agua.
- El agua tratada por electrocoagulación contiene menor cantidad de sólidos disueltos que aquellas tratadas con productos químicos, situación que disminuye los costos de tratamiento de estos efluentes en el caso de ser reusados.
- Puede generar aguas potables, incoloras e inodoras.
- Los contaminantes son arrastrados por las burbujas a la superficie del agua tratada, donde pueden ser removidos con mayor facilidad. **(Ascon, 2015).**

Desventajas:

- Es necesario reponer los electrodos de sacrificio.
- Los lodos contienen altas concentraciones de hierro y aluminio, dependiendo del material del electrodo de sacrificio utilizado.
- Puede ser un tratamiento costoso en regiones en las cuales el costo de la energía eléctrica sea alto.
- No es efectivo en la remoción de DBO soluble, proveniente de solventes y anticongelantes.

- El óxido formado en el ánodo puede, en muchos casos, formar una capa que impide el paso de la corriente eléctrica, disminuyendo de esta forma la eficiencia del proceso. **(Restrepo, 2006)**

2.4.5 Aplicaciones de la Electroflotación:

Se ha aplicado la electrocoagulación para la remoción de diversas aguas residuales. En muchos casos se hace una combinación de esta técnica con flotación promovida también por electrólisis (electroflotación), cuya finalidad es aumentar la eficiencia de remoción del contaminante. Esto se realiza en un proceso en la misma celda, o en celdas consecutivas. Una de las aplicaciones más conocidas ha sido el tratamiento de aguas residuales de la industria de galvanoplastia y electroplateado metálico, proceso que busca remover la carga de metales solubles en las descargas de una industria por demás contaminante. **(Restrepo, 2006)**. La industria metalúrgica, la de producción de cromo, las curtiembres y la industria de fertilizantes, utilizan en sus procesos cromo, elemento de una alta toxicidad. Las descargas de cromo son muy reguladas a nivel mundial y para su remoción se utilizan métodos convencionales que incluyen adsorción, precipitación química y degradación biológica, entre otros. La electrocoagulación combinada con electroflotación ha sido probada como alternativa para la remoción del cromo. Este tratamiento ha permitido obtener aguas tratadas con concentraciones de cromo por debajo de 0.5 ppm. **(Restrepo, 2006)**. La industria mecánica, las refinerías, los talleres de reparación automotriz, el

transporte y la distribución y almacenamiento de aceites, producen aguas residuales con altos contenidos de elementos propiamente aceitosos y grasos, que se caracterizan por presentar una gran estabilidad química de sus emulsiones aceite-agua. Esto representa una problemática ambiental importante. La electrocoagulación ha mostrado alta efectividad en desestabilizar dichas emulsiones y la consecuente remoción de los aceites y grasas. **(Restrepo, 2006)**. La electrocoagulación también ha sido utilizada en el tratamiento de las aguas residuales de la industria alimentaria, estas aguas se caracterizan por altos contenidos de DBO y DQO (demanda química de oxígeno), además de altos porcentajes de grasas. Una investigación realizada con las aguas residuales de los restaurantes de la ciudad de Hong Kong, las cuales fueron tratadas por electrocoagulación y electroflotación, mostró remociones de 99 y 88 % en grasas y DQO respectivamente. **(Restrepo, 2006)**. Una de las áreas de aplicación en las cuales se han desarrollado algunos avances importantes de esta tecnología y que incluso ha tenido mayor implementación de la misma, es el tratamiento de las aguas residuales de lavanderías, tintorerías e industria textil, obteniendo eficiencias importantes en la remoción de materia orgánica, turbiedad y color. **(Restrepo, 2006)**. La electrocoagulación también ha sido probada en la potabilización de aguas. Es importante resaltar que el paso de la corriente eléctrica a través del agua a tratar tiene efecto desinfectante en cuanto que destruye, en porcentajes por encima del 99%, los microorganismos

presentes en el agua, en esta misma aplicación se ha venido estudiando la electrocoagulación con buenos resultados en el tratamiento de aguas para consumo humano contaminadas con arsénico, contaminación ésta que puede afectar la salud de la población mundial ya que puede ocurrir en cualquier región o país. **(Restrepo, 2006)**. Otras posibles aplicaciones de la electrocoagulación están dadas en la remoción de nitratos en aguas superficiales y subterráneas contaminadas por nitratos lixiviados, procedentes de los fertilizantes artificiales usados en los cultivos. Finalmente, la electrocoagulación también ha sido probada en el tratamiento de aguas cuyos contaminantes son materia orgánica, como DBO en aguas residuales domésticas y efluentes de la industria de los colorantes. **(Restrepo, 2006)**. **2.4.6 Lodo del proceso de electrocoagulación.**

El lodo residual extraído de los procesos de tratamiento de las aguas residuales, ya sean biológicos o fisicoquímicos, generalmente suele ser un líquido o líquido semisólido con gran contenido en agua en sólidos. La producción de lodo residual en los tratamientos de aguas residuales es muy alta, por lo cual se convierte en un problema muy complejo ya que son costosos y difíciles de tratar. Este lodo proveniente del tratamiento de aguas es un muy difícil de manejar por su alto contenido de agua, por lo cual requiere un tratamiento adicional para secarlo y estabilizarlo, con diversos tipos de tratamiento, luego de esto al reducir el volumen se

procede a su disposición final, que generalmente es un vertedero de residuos peligrosos. Los lodos pueden ser de dos tipos:

Lodo residual domestico: este lodo tiene mayor contenido de materia orgánica y por provenir de un tratamiento biológico contiene mayor cantidad de agua.

Lodo residual industrial: este lodo se obtiene al tratar los efluentes de todos los procesos industriales, generalmente proviene de un tratamiento físico químico, conteniendo una menor cantidad materia orgánica y un alto de porcentaje de agua en su composición. En el caso de esta investigación, trabajaremos con este tipo de lodo ya que es un efluente de una industria de pintura. Una de las ventajas de la electrofloculación ofrece es que sus lodos residuales son muchos más secos y estabilizados que los lodos residuales obtenidos en otros procesos convencionales como el físico químico y lodos activados, esto es de gran beneficio para ahorrar costos en su tratamiento, para luego realizar su disposición final. Otro aspecto muy importante es que el volumen de los lodos producidos en la electrocoagulación es mucho menor de lo que se obtiene por coagulación química que es el tratamiento convencional, debido a que los primeros están menos hidratados. En la siguiente tabla nº2.2 de la página 49, apreciaremos las Características más importantes de los lodos producidos por Efluentes domésticos e industriales, esto nos sirven de referencia del lodo obtenido en diversos tipos de tratamiento. (Ascon, 2015).

TABLA N°2.2

CARACTERÍSTICAS DE LOS LODOS

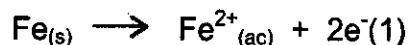
Unidad	% humedad del lodo		Densidad relativa	
	Intervalo	Típico	Sólidos	Lodo
Sedimentación primaria	88-96	95	1,4	1,02
Filtro percolador	91-95	93	1,5	1,025
Precipitación Química	-	93	1,7	1,03
Lodos activados	90-93	92	1,3	1,005
Tanques sépticos	-	93	1,7	1,03
Tanque imhoff	90-95	90	1,6	1,04
Aireación prolongada	88-92	90	1,3	1,015
Lodo primario digerido anaerobiamente	90-95	93	1,4	1,02
Laguna aireada	88-92	90	1,3	1,01
Lodo primario digerido aerobiamente	93-97	96	1,4	1,012

Fuente: (Romero Jairo, 2005)

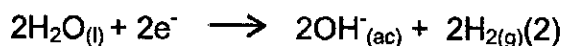
2.5. Química del hierro en disolución acuosa:

Para el caso en el cual el hierro actúa como ánodo, se han propuesto dos mecanismos que explican la formación in situ de dos posibles coagulantes. Estos pueden ser hidróxido ferroso $Fe(OH)_2$ o hidróxido férrico $Fe(OH)_3$.

En primer lugar, el ánodo de hierro o acero, se oxida a ión Fe^{2+} el cual se disuelve en las aguas residuales (potencial estándar $E^0 = 0,44$ V vs SHE) de la siguiente manera:



Mientras que en el cátodo se generan iones hidróxidos y gas H_2 ($E^0 = 0,83$ V vs SHE):

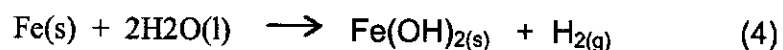


La producción de iones OH^{-} generados en la reacción (2) provoca un aumento en el pH durante la electrólisis. La especie $Fe(OH)_2$ es

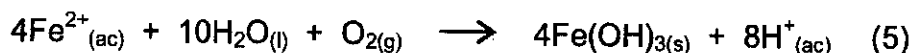
insoluble y forma un precipitado a $\text{pH} > 5.5$ y se mantiene en equilibrio con Fe^{2+} hasta un pH de 9.5 o con especies monómeras tales como $\text{Fe}(\text{OH})^+$, $\text{Fe}(\text{OH})_2$ y $\text{Fe}(\text{OH})_3^-$ a valores altos de pH . La formación de la especie insoluble $\text{Fe}(\text{OH})_2$ se puede escribir como:



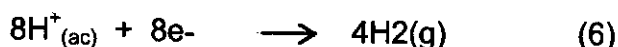
Y la reacción global para el proceso electrolítico de la secuencia de reacciones (1) – (3) es:



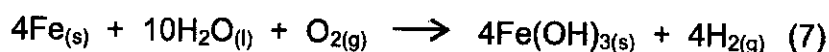
En presencia de O_2 , los iones de Fe^{2+} disueltos se oxidan a insoluble $\text{Fe}(\text{OH})_3$.



Y los protones producidos en la ecuación (5) pueden ser directamente reducidos a gas H_2 en el cátodo:



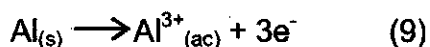
La reacción global correspondiente obtenida mediante la combinación de las reacciones (1), (5) y (6) es:



Los flocúlos de $\text{Fe}(\text{OH})_3$ con superficie compleja contiene áreas de carga aparente positiva o negativo que atraen a las regiones opuestas de la materia colorante. La coagulación de estos flocúlos forma partículas que están separadas de las aguas residuales por sedimentación o electroflotación.

2.6. Química del aluminio en disolución acuosa

En el caso de la electrofloculación con Al, la reacción anódica produce ión Al^{3+} ($E^0 = 1.66 \text{ V vs. SHE}$)



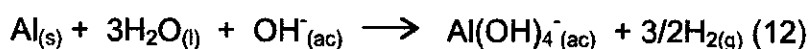
Y la reacción catódica produce iones hidróxido y gas H_2 :



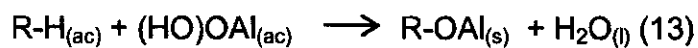
El Al^{3+} se transforma en especies de monómeros solubles como $\text{Al}(\text{OH})^{2+}$, $\text{Al}(\text{OH})_2^+$, $\text{Al}_2(\text{OH})_2^+$ y $\text{Al}(\text{OH})_4^-$ dependiendo del intervalo de pH. Cationes monoméricos predominan en medio ácido y $\text{Al}(\text{OH})_4^-$ en medio alcalino. Las especies monoméricas antes mencionadas puede evolucionar a especies poliméricas tales como $\text{Al}_2(\text{OH})_2^{4+}$, $\text{Al}_6(\text{OH})_{15}^{3+}$, $\text{Al}_7(\text{OH})_{17}^{4+}$, $\text{Al}_8(\text{OH})_{20}^{4+}$, $\text{Al}_{13}\text{O}_4(\text{OH})_{24}^{7+}$ y $\text{Al}_{13}(\text{OH})_{34}^{5+}$. La reacción global para dar el producto insoluble último es:



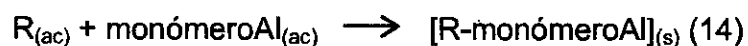
Sin embargo, cuando se utiliza un cátodo de Al, puede ser químicamente atacado por iones hidróxidos generados durante la evolución de H_2 a valores de pH altos como se muestra en la reacción 12 formando el ión aluminato $\text{Al}(\text{OH})_4^-$ especie insoluble, que de acuerdo a bibliografía a pH muy básico la concentración de $\text{Al}(\text{OH})_3$ disminuye y aumenta la del ion aluminato lo que implica una disminución del proceso de electrocoagulación



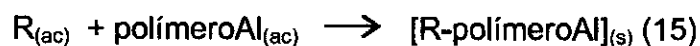
Nótese que el ánodo de Fe o acero no es atacado por iones hidróxido en medio alcalino, evitando así la formación de un exceso de especies de $\text{Fe}(\text{OH})_4$. De manera similar a la electrocoagulación con ánodos de aluminio, la eliminación de los colorantes de las aguas residuales puede ser explicada por complejación superficial y atracción electrostática. Los complejos de la superficie entre los tintes y los restos de aluminio hidratado se forman de la siguiente manera:



La interacción entre las moléculas de contaminantes y cationes monoméricos y poliméricos de aluminio, a través de precipitación y/o adsorción se presentan en los siguientes mecanismos: Precipitación por neutralización de cargas opuestas en medio ácido, teniendo lugar la reacción de los contaminantes con especies monoméricas a $\text{pH} < 5.0$



Y con especies poliméricas a $\text{pH} 5.0 - 6.0$



La adsorción sobre $\text{Al}(\text{OH})_3$ forma flóculos, se produce principalmente a $\text{pH} > 6.5$:



Las grandes superficies de flóculos amorfos recién formados de Al(OH)_3 también pueden adsorber compuestos orgánicos solubles y/o partículas coloidales, que son por lo tanto separados de la solución acuosa, formando compuestos insolubles. La mayor eficiencia de decoloración a un pH de alrededor de 6.0 se explica por la unión de los grupos aniónicos de los colorantes a cationes poliméricos de aluminio (15) o en los sitios cargados positivamente de los flóculos de Al(OH)_3 a través de quimisorción. A $\text{pH} > 6.5$, la formación de Al(OH)_4^- y la precipitación de esta carga negativa son favorecidas, inhibiendo los mecanismos de adsorción de los grupos aniónicos de las moléculas de colorante a través de reacciones (16) y (17) debido a las fuerzas de repulsión y reduciendo la eficiencia de decoloración.

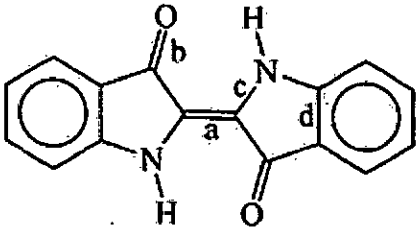
2.7. Índigo

El presente trabajo de tesis tiene como objetivo estudiar la eliminación del colorante índigo por el proceso de Electroflocculación. La estructura química de este colorante y algunas de las características que se le atribuyen son presentadas en la Tabla nº2.3 de la página 55, El índigo es uno de los colorantes más usados en las industrias textiles, se aplica en el teñido de las fibras sintéticas, cuero, lana, poliamidas y seda. Este colorante tiene la característica que se adhiere a las fibras fuertemente mediante una interacción llamada tinte – sustrato que utiliza las interacciones hidrofóbicas entre el colorante y la fibra textil y también las interacciones de tipo

ión – ión entre los grupos aniónicos del colorante y los grupos amino protonados de la fibra. El colorante forma un complejo tinte metálico constituido por una mezcla de tres isómeros geométricos, posee un átomo central de cromo (III) que está coordinado con dos moléculas de un ligando orgánico tridentado, con una geometría octaédrica meridional – distorsionada. Los ligandos orgánicos son múltiples colorantes azoicos pertenecientes a la familia llamada Mordiente Negro, que se caracteriza por la presencia de un grupo azo (-N=N-).

TABLA N°2.3

ÍNDIGO

Nombre comercial	INDIGO
Estructura química	
Nombre del compuesto	Complejo Cr (III) Trisodio, bi[(E)-7-nitro-3-oxido-4-[(2-oxidonaftalen-1-il) diazenil] naftaleno-1-sulfonato] cromato (3-)
Formula molecular	C ₁₆ H ₁₀ N ₂ O ₂
Masa molecular	262,27 g/mol

Fuente: Ficha técnica del Índigo (2015)

2.8. Normativa vigente que regula los efluentes no domésticos en Perú.

El Ministerio de Vivienda es aquel que regula la descarga de los efluentes no domésticos a la red de alcantarillado usando como herramienta el D.S 021-2009-vivienda y su reglamento D.S 003-2011-vivienda donde establece los valores máximos admisibles para los efluentes no domésticos (Tabla nº2.4 y tabla nº2.5 de la página 56).

**TABLA Nº2.4
ANEXO 1**

PARÁMETRO	UNIDAD	EXPRESIÓN	VMA PARA DESCARGAS AL SISTEMA DE ALCANTARILLADO
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	mg/L	DBO ₅	500
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	DQO	1000
Sólidos Suspendidos Totales (S.ST)	mg/L	S.ST.	500
Aceites y Grasas (A y G)	mg/L	AyG	100

Fuente: DS-021-2009-vivienda

TABLA N°2.5

ANEXO 2

PARÁMETRO	UNIDAD	EXPRESIÓN	VMA PARA DESCARGAS AL SISTEMA DE ALCANTARILLAD
Aluminio	mg/L	Al	10
Arsénico	mg/L	As	0.5
Boro	mg/L	B	4
Cadmio	mg/L	Cd	0.2
Cianuro	mg/L	CN	1
Cobre	mg/L	Cu	3
Crome hexavalente	mg/L	Cr ⁺⁶	0.5
Cromo total	mg/L	Cr	10
Manganeso	mg/L	Mn	4
Mercurio	mg/L	Hg	0.02
Níquel	mg/L	Ni	4
Plomo	mg/L	Pb	0.5
Sulfatos	mg/L	SO ₄ ⁻²	500
Sulfuras	mg/L	S ⁻²	5
Zinc	mg/L	Zn	10
Nitrógeno amoniacal	mg/L	NH ⁺⁴	80
pH		Ph	6-9
Sólidos Sedimentables	mL/Lh	S.S.	8.5
Temperatura	°c	T	<35

Fuente: DS-021-2009-vivienda.

2.9. Términos y definiciones relacionadas con el tema:

Aguas residuales.- Se consideran aguas residuales a los líquidos que han sido utilizados en las actividades diarias de una ciudad, incluyéndose a estas actividades domésticas e industriales.

Anión.- Un anión es un ion con carga eléctrica negativa, es decir, que ha ganado electrones.

Calidad.- Conjunto de propiedades inherentes a un objeto que le confieren capacidad para satisfacer necesidades implícitas o explícitas.

Color.- Según el estándar método 2120 D; el color del agua se mide en la escala platino cobalto.

Catión.- Un catión es un ion con carga eléctrica positiva, es decir, que ha perdido electrones.

Clasificación Industrial Internacional Uniforme (CIIU).- Elaborada y divulgada por la Oficina de Estadística de la Organización de las Naciones Unidas (ONU); se utiliza para estandarizar las diferentes actividades económicas y productivas del país, ofreciendo un conjunto de categorías que sirven para la agrupación y presentación de fenómenos económicos.

Coagulación.- Este es un proceso que permite incrementar la tendencia las partículas de agregarse unas con otras para formar partículas mayores y así precipitar rápidamente.

Coloide.- Un coloide es un sistema formado por dos o más fases,

principalmente: una continua, normalmente fluida, y otra dispersa en forma de partículas; por lo general sólidas.

Demanda biológica de oxígeno (DBO).- Es un parámetro que mide la cantidad de materia susceptible de ser consumida u oxidada por medios biológicos que contiene una muestra líquida, disuelta o en suspensión.

Demanda química de oxígeno (DQO).- Es un parámetro que mide la cantidad de sustancias susceptibles de ser oxidadas por medios químicos que hay disueltas o en suspensión en una muestra líquida.

Detergente.- Es una sustancia tensoactiva que tiene la propiedad química de disolver la suciedad o las impurezas de un objeto sin corroerlo.

Efluentes industriales.- Residuos provenientes de la industria; pueden ser clasificados ampliamente de acuerdo con sus propiedades físicas y químicas, por su comportamiento en las aguas receptoras y en la forma como estos afectan el medio ambiente acuático, generalmente contienen sustancias orgánicas disueltas incluyendo tóxicos, materiales biodegradables y persistentes, sustancias inorgánicas disueltas incluyendo nutrientes, sustancias orgánicas insolubles y solubles.

Electrodo.- Un electrodo es un conductor eléctrico utilizado para hacer contacto con una parte no metálica de un circuito, por ejemplo un semiconductor, un electrolito, el vacío, un gas, etc.

Electrólisis.- La electrólisis es el proceso que separa los elementos de un compuesto por medio de la electricidad. En ella ocurre la captura de electrones por los cationes en el cátodo (una reducción) y la liberación de electrones por los aniones en el ánodo (una oxidación).

Electrolito.- Un electrolito es cualquier sustancia que contiene iones libres, los que se comportan como un medio conductor eléctrico.

Electrocoagulación.- El proceso de electrocoagulación implica la generación del coagulante disolviendo electrolíticamente ánodos de aluminio o hierro para formar los respectivos cationes Al^{+3} , Fe^{+2} .

Electrofloculación.- Es una técnica que se produce por el exceso de electrones, generado por la diferencia de potencial eléctrico aplicado entre electrodos

Floculación.- La floculación es un proceso químico mediante el cual, con la adición de sustancias denominadas floculantes, se aglutinan las sustancias coloidales presentes en el agua, facilitando de esta forma su decantación y posterior filtrado.

Flóculo.- Es la masa que se forma por la acumulación de partículas suspendidas.

Gestión de aguas residuales.- Conjunto de actividades que una organización toma para controlar los contaminantes presentes en sus aguas residuales.

Gestión ambiental.- Es el conjunto de diligencias conducentes al

manejo integral del sistema ambiental.

Impacto ambiental.- El impacto ambiental es el efecto que produce la actividad humana sobre el medio ambiente.

Impureza.- Es una sustancia dentro de un limitado volumen de líquido, gas o sólido, que difieren de la composición química de los materiales o compuestos.

Ión.- Es una partícula cargada eléctricamente constituida por un átomo o molécula que no es eléctricamente neutra.

Oxidación.- La oxidación es una reacción química donde un metal o un no metal ceden electrones, y por tanto aumenta su estado de oxidación.

pH.- El pH es una medida de acidez o alcalinidad de una disolución, este indica la concentración de iones hidronio $[H_3O^+]$ presentes en determinadas sustancias.

Proceso de tinturado.- Es el proceso mediante el cual se procede a un cambio de coloración de la fibra textil utilizando colorantes para reproducir el color solicitado.

Riesgos químicos.- Es aquel riesgo susceptible de ser producido por una exposición no controlada a agentes químicos la cual puede producir efectos agudos o crónicos y la aparición de enfermedades.

Es el proceso por el cual el sedimento en movimiento a través de un fluido se deposita en el fondo.

Sedimentador.- Es un recipiente diseñado para acelerar la

precipitación de los flóculos que se encuentran en un fluido.

Sólidos totales disueltos (TDS).- Es una medida de las sustancias orgánicas e inorgánicas, en forma molecular, ionizada o microgranular, que contienen los líquidos.

Turbidez.- Es una medida del grado en el cual el agua pierde su transparencia debido a la presencia de partículas en suspensión; mide la claridad del agua.

Valores máximos admisibles (VMA).- Es aquel valor de la concentración de elementos, sustancias o parámetros físicos y/o químicos, que caracterizan a un efluente no doméstico que va a ser descargado a la red de alcantarilla sanitaria.

III. VARIABLES E HIPÓTESIS

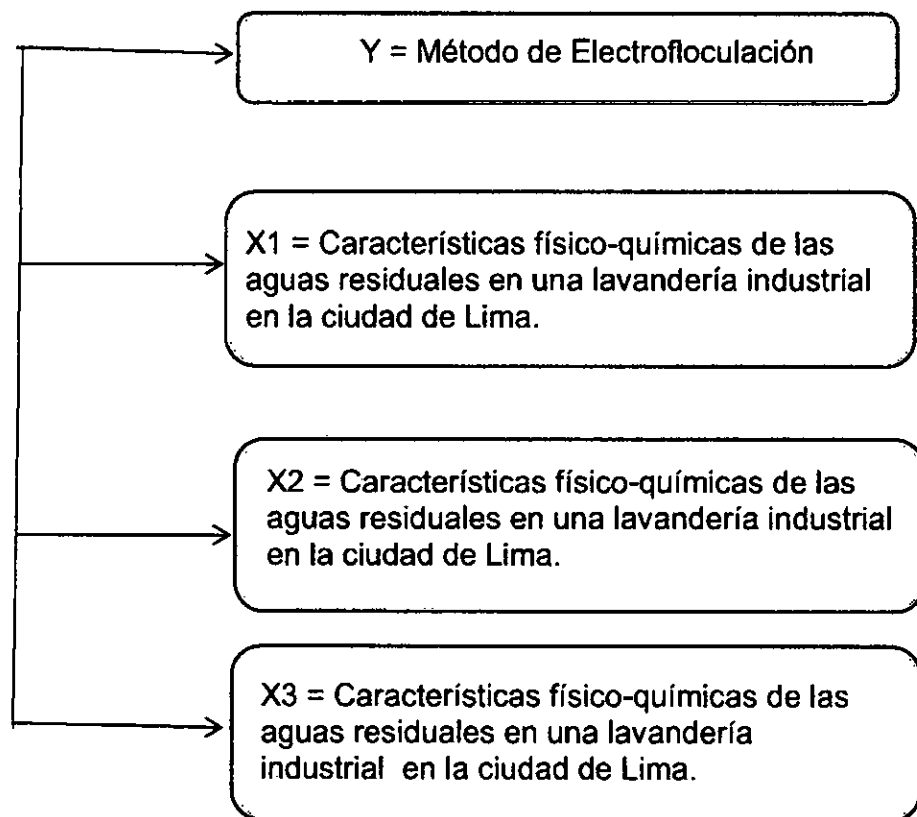
3.1. Variables de la Investigación:

Por su naturaleza, todas las variables identificadas son del tipo cuantitativas. Por su dependencia Y es dependiente, y las variables X1, X2, X3 son independientes.

Es decir: $Y=f(X1, X2, X3)$. La figura n° 3.1 muestra la relación entre las variables.

FIGURA N°3.1

RELACIÓN DE LAS VARIABLES DE LA INVESTIGACIÓN



Fuente: Elaboración propia

3.2. Operacionalización de Variables

TABLA N°3.1

OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

VARIABLE INDEPENDIENTE	DIMENSIONES	INDICADORES	MÉTODO
Y = Método de Electrofloculación	Parámetros de Operación	Densidad de corriente V= Voltaje t = Tiempo de residencia c= Conductividad eléctrica pH= Potencial de Hidrógeno.	Amperímetro Medición del Voltímetro Cronómetro Conductímetro pHmetro
Características físico-químicas de las aguas residuales en una lavandería industrial en la ciudad de Lima.	Parámetros de Operación	1. DBO ₅ . 2. DQO. 3. SST. 4. AyG.	M. de análisis DBO ₅ Espectrofotómetro UV Vis. M. de análisis SST Análisis de laboratorio
X2 = Características físico-químicas de las aguas residuales en una lavandería industrial en la ciudad de Lima	Parámetros de Operación	Densidad de corriente Conductividad eléctrica Potencial de Hidrógeno	Amperímetro Conductímetro Potenciómetro
X3 = Características físico-químicas de las aguas residuales en una lavandería industrial en la ciudad de Lima.	Parámetros de Operación	DQO DBO ₅ SST	Espectrofotómetro UV Vis M. de Análisis DBO ₅ M. de Análisis SST

Fuente: Elaboración propia

3.3. Hipótesis General é Hipótesis Específicas

3.3.1 Hipótesis General

El tratamiento de aguas residuales en una lavandería industrial en la ciudad de Lima por electrofloculación nos permite cumplir los VMA.

3.3.2 Hipótesis Específicas

- Las características físico-químicas de las aguas residuales en una lavandería industrial en la ciudad de Lima supera los VMA.
- El pH, densidad de corriente y la conductividad eléctrica en el proceso de electrofloculación para el tratamiento de aguas residuales en una lavandería industrial en la ciudad de Lima influye significativamente.
- Los VMA de las aguas residuales en una lavandería industrial en la ciudad de Lima reducen significativamente por el método de electrofloculación.

IV. METODOLOGÍA

4.1 Tipo de Investigación

Los tipos de investigación que se realizaron en el trabajo de tesis son:

Por su finalidad:

La investigación que se realizó en el informe de tesis es de tipo aplicada, ya que los resultados permitieron disminuir los valores máximos admisibles y por ello la calidad de agua tratada.

Por su diseño interpretativo:

La investigación que se realizó en el informe de tesis es de tipo experimental, ya que se realizó mediante el equipo de electrofloculación el tratamiento de aguas residuales de una lavandería industrial.

Por el énfasis en la naturaleza:

La investigación que se ha realizó en el informe de tesis es del tipo cuantitativa por los resultados de las características fisicoquímicas del efluente.

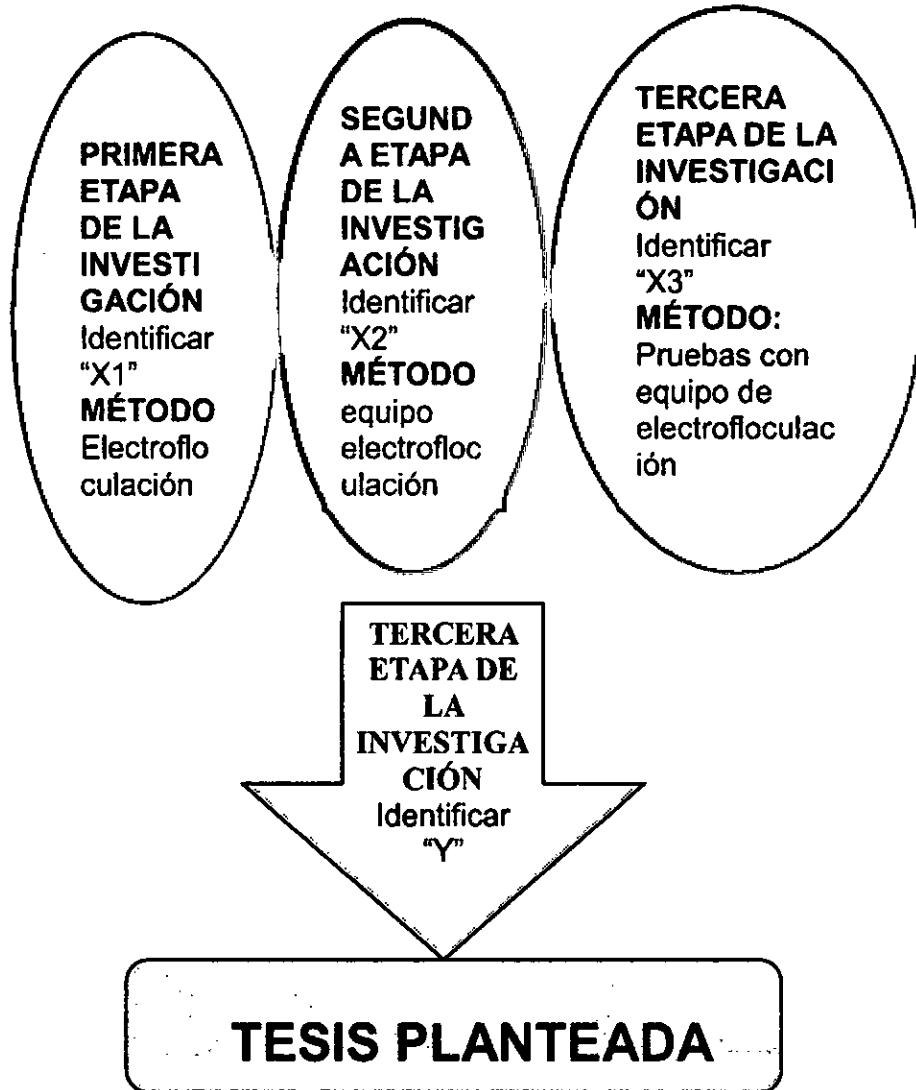
4.2 Diseño de la Investigación

El diseño de la investigación empezó con la primera etapa las características físicas químicas del efluente textil, la segunda etapa determinó las condiciones óptimas del equipo electrofloculación, La tercera etapa determinó la eficiencia del efluente tratado. Finalmente la cuarta etapa fue relacionar las

variables y plantear la tesis. El esquema de las etapas de investigación se muestra en la Figura.

FIGURA N°4.1

DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN



Fuente: Elaboración propia

4.2.1 Bases de Diseño

Se estudió experimentalmente el Método de Electroflotación para el tratamiento de aguas residuales de una Lavandería Industrial en la ciudad de Lima. Las variables cuantitativas de importancia que se controlaron son: intensidad de corriente, tiempo de residencia, distancia de electrodos. Los experimentos se realizaron a nivel de laboratorio para determinar la condición de operación óptima. La performance de los equipos e instrumentos de medición, para este caso se usó el diseño factorial 2^n (donde $n = \#$ de variables) $2^3 = 8$ corridas experimentales

4.2.2 Balance de Materia:

a) Cantidad de muestra:

Se usó como materia prima, el agua residual de la industria textil de una lavandería industrial en la ciudad de Lima.

Se usó el densímetro para medir la densidad del agua textil de nuestra materia prima.

$$V = 24\text{litro} * 8 \text{ corridas} = 192 \text{ litros}$$

Vector de respuesta tiene que ver el tamaño de floc para obtener condiciones óptimas.

Material	Cantidad(lt)	Densidad volumétrica	Volumen(lt)
Efluente textil	192	1.18kg/lt	192

Se usó un amperímetro para medir el amperaje para cada tiempo determinado. Con los datos obtenidos se diseñó una curva entre intensidad de corriente(A) y tiempo de trabajo (minutos). Se realizó las pruebas con una fuente de tensión constante de 220v y una intensidad de corriente regulable de (0-15 A).

La distancia entre electrodos se va realizar entre(0-20) cm.

De acuerdo al número de corridas experimentales son:

TABLA N°4.1

DISEÑO FACTORIAL DE VARIABLES

	A	B	C	Vector de respuesta
N° EXPERIENCIAS	I(A)	Distancia de electrodos(cm)	t(min)	Característica floc
1	15	15	8	consistente
2	12	15	10	consistente
3	10	15	15	Inconsistente
4	8	15	20	Inconsistente
5	6	15	30	Inconsistente
6	4	15	35	Inconsistente
7	3	15	40	Inconsistente
8	1	15	60	Inconsistente

Fuente: Elaboración propia

4.2.3 Desarrollo Experimental:

4.2.3.1 Equipo: Sistema de Electroflotación puesta en marcha.

Características del bioreactor electroquímico cilíndrico.

El sistema de trabajo contará con 03 bioreactores tipo batch de forma cilíndrica con base cóncavo. Al interior del cilindro en la boca de entrada de agua están enlazados 04 placas de electrodos (Fe^{+2}), con distribución radial, con esta forma se logra una distribución uniforme y se logra una densidad de carga pareja en todo el electrodo.

La forma del electrodo es alargada y rectangular, las medidas del sistema de Electroflotación son las siguientes:

- Capacidad 24 L
- Forma de operación Batch.
- Material del reactor Acrílico.
- Número de electrodos 6
- Area de electrodos 0.08m²

El material de los electrodos a utilizarse es el hierro y el aluminio, porque son económicos, tienen alta conductividad y su disponibilidad en el mercado. Estos electrodos permiten la agitación pasiva generada por el mismo caudal y que la circulación del agua sea ascendente para favorecer la formación de los flóculos y por un tema de operación en el cambio de placas.

Parámetros de diseño:

❖ Celda de electrofloculación.

La celda de electrofloculación se diseñó considerando una distribución volumétrica que contempla 3 regiones una región superior para el depósito de los lodos de flotación o lodos menos densos y las espumas, llamada zona de flotación, una región media de reacciones electroquímicas llamada zona de reacción donde se encuentran los electrodos y una inferior, llamada zona de sedimentación donde se depositan los lodos de precipitación o lodos más densos.

Capacidad del bioreactor.

El tamaño del reactor y la capacidad se ha tomado para trabajar con 8 litro de muestra problema y sirva como patrón de cálculo para los resultados finales.

- Volumen del cono de la unidad experimental:

$$V_{\text{cono}} = 10\% \times V_{\text{total}}$$

$$\text{Volumen total} = 8 \text{ lt}$$

$$V_{\text{cono}} = 0.1 * 8\text{lt} = 0.8 \text{ lt} = 800 \text{ ml.}$$

- Volumen del cuerpo del cilindro:

$$V_{\text{cilindro}} = V_{\text{total}} - V_{\text{cono}}$$

$$V_{\text{cilindro}} = 8 - 0.8$$

$$V_{\text{cilindro}} = 7.2\text{lt} = 720 \text{ ml}$$

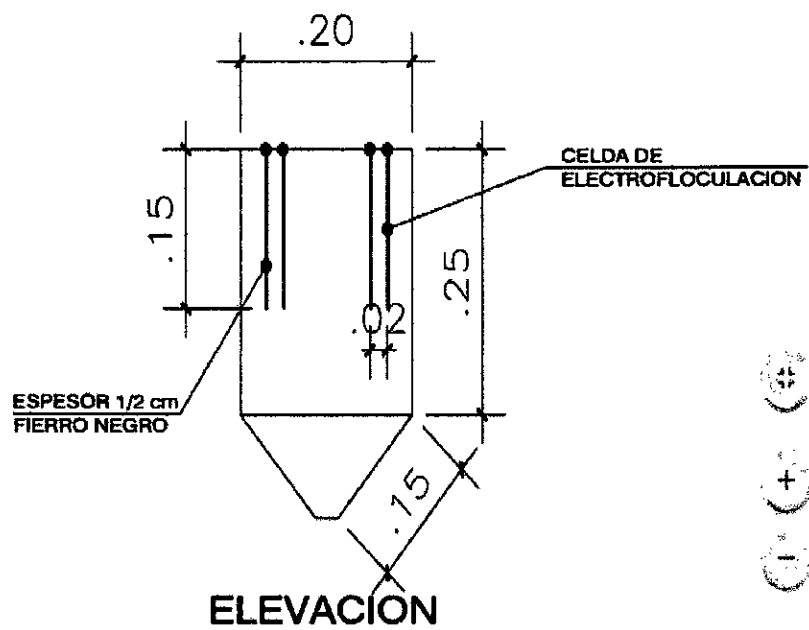


FIGURA N°4.2

Diagrama de Diseño de un Tanque de Electrofloculación

Fuente: Elaboración propia

4.2.3.2 Procedimiento Experimental:

Toma de agua residual cruda, salida del efluente de una lavandería industrial Nevados SAC en la ciudad de Lima. Se recolecta una muestra aleatoria manual de una lavandería industrial de agua residual, se inserta un recipiente corriente abajo de la salida.

El recipiente muestreador, atado con una cuerda y sostenido con la mano, se introduce en el agua residual completamente y se extrae la muestra esta se trasfiere a un recipiente de 35 litros de capacidad, homogenizamos el agua recolectada en el recipiente trasvasamos a los frascos etiquetados y preservamos cuando el analito a ser analizado así lo requiera ver. La muestra problema a trabajar (agua de lavandería de industria textil), El contaminante principal es el colorante índigo. Estará almacenada en un recipiente de 35 lts. a una distancia de elevación de 1m de la superficie de trabajo. Lo cual se empezara a tratar con un caudal inicial de 30ml /minuto El reactor tendrá como volúmen de trabajo 1lt de muestra y que sirva como patrón de cálculo para los resultados finales. Para el cálculo de corriente aplicada hemos calculado la Fuente de poder mediante corridas experimentales

TABLA N° 4.2:

CORRIDAS EXPERIMENTALES (DETERMINACIÓN DE LA FUENTE DE PODER)

PESO MO- LECULAR	VOLU- MEN	TIEM PO	TAMAÑO DE ELECTRODO	INTENSIDAD DE CORRIENTE	VOLTA- JE
300 gr/mol	1 lt	5 min	6' x 8'	14 amp	220 v
400 gr/mol	1 lt	7 min	6' x 8'	19 amp	220 v
500 gr/mol	1 lt	9 min	6' x 8'	24 amp	220 v
600 gr/mol	1 lt	11 min	6' x 8'	28,5 amp	220 v
1000 gr/mol	1 lt	20 min	6' x 8'	72 amp	220 v

Fuente: Elaboración propia

Teniendo como patrón de trabajo 100 gr/mol de lodo, se necesita 05 amperios. Con estos resultados se logró una solución clarificada con menor DQO, DBO5, SST y Turbidez.

FIGURA N°4.3

PRUEBAS EXPERIMENTALES PARA DETERMINAR LA FUENTE DE PODER



Fuente: Elaboración Propia

4.3 Población y muestra

La población: Toma de agua residual cruda, salida del efluente de una lavandería industrial Nevados SAC en la ciudad de Lima de una poza de 120m³

La muestra: El tamaño de la muestra extraída es 192 litros de capacidad de efluente textil, homogenizamos el agua recolectada en el recipiente, trasvasamos a los frascos etiquetados y preservamos cuando el analito a ser analizado a laboratorio. La muestra problema a trabajar (agua de lavandería de industria textil), El contaminante principal es el colorante índigo. Estará almacenada en un recipiente de 35 lts a una distancia de elevación de 1m de la superficie de trabajo. Después del tratamiento mediante el equipo de electrofloculación se tomó 10 muestras representativas para cada uno de los ensayos a analizar en laboratorio.

4.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Para la recolección de datos se usaron los siguientes instrumentos de medición:

- Medición del pH del efluente mediante el equipo pH-metro
- Medición de la conductividad del efluente mediante el equipo Conductímetro
- Medición de la intensidad de corriente y el voltaje de la fuente.

La técnica utilizada fue mediante un diseño factorial 2^3 que nos permita obtener el máximo de información con el mínimo de corridas experimentales, este diseño factorial se utilizó en cada una las etapas para:

- Distancia de electrodos
- Tiempo de residencia
- Intensidad de corriente.

a) Distancia de Electrodos:

De acuerdo al diseño factorial de dos niveles 2^3 que nos permita obtener el máximo de información con el mínimo de corridas experimentales, se realizó 8 variando la distancia de electrodos, tiempo constante y ver la formación del floc consistente en el microscopio. En cada ensayo se utilizó 24 lt de muestra. (Véase tabla nº 4.3 en la página 76)

TABLA N°4.3

DISEÑO FACTORIAL DE VARIABLES - DISTANCIA DE ELECTRODOS

Número de experiencia	Variables			Niveles		Vector respuesta
	A: distancia de electrodos(cm)	B: tiempo(m)	C: intensidad de corriente	-	+	Tamaño de floc(60 um)
1	5	10	10	-	-	
2	10	10	10	-	*	
3	15	10	10	-	+	
4	20	10	10	-	-	
5	5	10	12	-	*	
6	10	10	12	-	+	
7	15	10	12	-	-	
8	20	10	12	-	*	

Fuente: Elaboración Propia

b) Tiempo de Residencia:

De acuerdo al diseño factorial de dos niveles 2^3 que nos permita obtener el máximo de información con el mínimo de corridas experimentales, se realizó 8 pruebas variando el tiempo de residencia, distancia de electrodos para una intensidad de corriente constante y ver la formación del floc consistente en el microscopio. En cada ensayo se utilizó 24 lt de muestra. (Véase tabla n° 4.4 en la página 77)

TABLA N° 4.4

DISEÑO FACTORIAL DE VARIABLES - TIEMPO DE RESIDENCIA

Número de experiencia	Variables			niveles		Vector respuesta
	A: Intensidad de corriente	B: tiempo	C: distancia de electrodos	-	+	Tamaño de floc(60 um)
1	12	6	15	-	-	
2	12	8	15	-	*	
3	12	10	15	-	+	
4	12	12	15	-	-	
5	12	6	20	-	*	
6	12	8	20	-	+	
7	12	10	20	-	-	
8	12	12	20	-	*	

Fuente: Elaboración propia

c) Intensidad de Corriente:

De acuerdo al diseño factorial de dos niveles 2^3 que nos permita obtener el máximo de información con el mínimo de corridas experimentales, se realizó 8 pruebas variando la intensidad de corriente y tiempo de residencia y la distancia constante según realizado en las anteriores corridas la formación de floc consistente mediante el microscopio. En cada ensayo se utilizó 6 lt de muestra. (Véase tabla n° 4.5 en la página 78)

TABLA N°4.5

DISEÑO FACTORIAL DE VARIABLES-INTENSIDAD DE CORRIENTE

Número de experiencia	Variables			niveles		Vector respuesta
	A: Intensidad de corriente(A)	B: tiempo(m)	C: distancia de electrodos(cm)	-	+	Tamaño de floc(60 um)
1	15	8	15	-	-	
2	12	10	15	-	*	
3	10	15	15	-	+	
4	8	20	15	-	-	
5	6	30	15	-	*	
6	4	35	15	-	+	
7	3	40	15	-	-	
8	1	60	15	-	*	

Fuente: Elaboración propia

4.5.. Procedimiento de recolección de datos

4.4.1. Materiales, reactivos, instrumentos y equipos

a) Materia prima e insumos

- Agua residual textil de una lavandería industrial

b) Materiales

- Tubos de ensayo
- Vasos precipitado 50 mL y 100 mL
- Probeta de 100 mL
- Varillas de vidrio

c) Instrumentos

- 10 frascos de plástico de 1l.
- Balde de 20 l.
- Jarra de 250, 500, 1000 ml.
- Wincha
- Soga
- Cooler
- Cadena de custodia
- Cinta aislante
- Pegamento para tubo

d) Equipos

Conductímetro marca: orión 3 Star, modelo thermo científica.

Balanza digital marca: Metler Toledo, modelo: PB303-S precisión 0.1 mg

Potenciómetro marca: Seven Easy, modelo: Metler Toledo

Microscopio marca: Greetmed.

Amperímetro digital : modelo HT7016

4.5.2 Proceso de tratamiento de aguas del colorante índigo.

Para el proceso de tratamiento de aguas residuales del colorante índigo será mediante la medición de floc consistente en el microscopio a nivel de laboratorio de microbiología y finalmente la determinación de las condiciones adecuadas del sistema de electrofloculación.

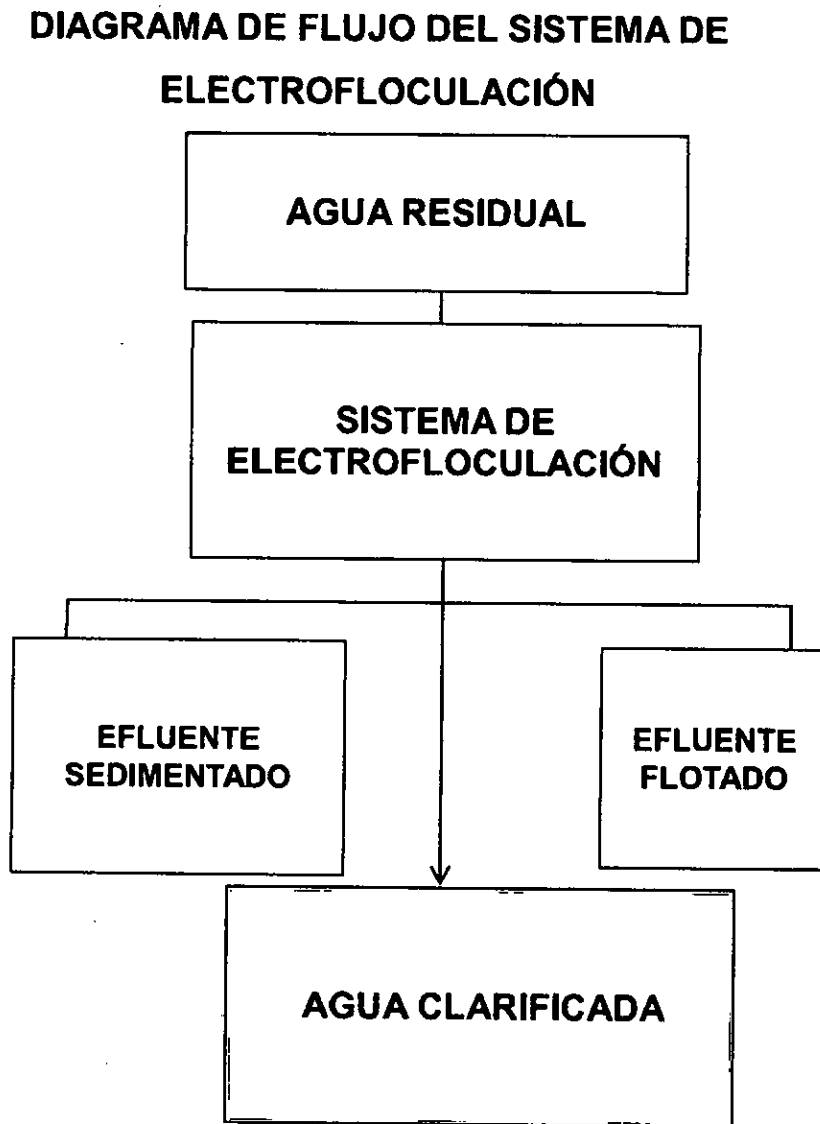
Infraestructura:

Laboratorios de Minlab SRL. Jr. España N°931 -La Perla- Callao.

Laboratorio envirolab.Laboratorios de la facultad de Ingeniería química.- UNAC.Laboratorio de Microbiología de la FIQ-UNAC.

FIGURA N° 4.4

DIAGRAMA DE FLUJO DEL SISTEMA DE ELECTROFLOCULACIÓN



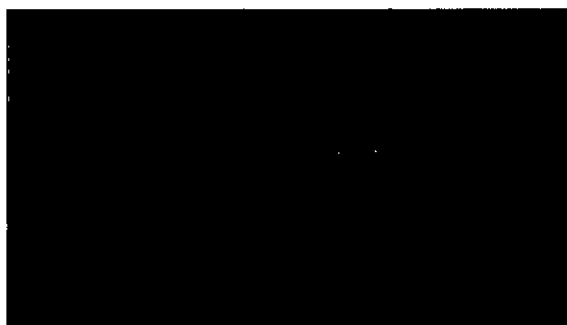
Fuente: Elaboración Propia

Selección y almacenamiento del efluente textil

Se realizó la Toma de agua residual de la lavandería industrial NEVADOS S.A.C, se introduce en el agua residual completamente y se extrae la muestra, ésta se trasfiere a 4 recipiente de 40 litros de capacidad (véase figura nº 4.5).

FIGURA N°4.5

TOMA DE MUESTRA DE UNA LAVANDERÍA INDUSTRIAL DE LIMA.



Fuente: Elaboración propia

Puesta a punto del equilibrio experimental mediante el equipo de electrofloculación.

Se procedió a instalar el equipo de electrofloculación en el Laboratorio de Investigación de la Facultad de Ingeniería Química, verificando su intensidad de corriente y el voltaje de la fuente. (Véase figura nº 4.4 de la página 82)

FIGURA N° 4.6
Equipo de Electroflotación



Fuente: Elaboración propia

4.5.3 Operación y control de prueba

- **Condiciones de la muestra problema**

Para determinar las condiciones adecuadas de la muestra problema a tratar, se trabajó bajo un diseño factorial de 2^3 , las variables a controlar son las siguientes:

- A: intensidad de corriente
- B: tiempo de residencia
- C: distancia de electrodos

Se utilizaron muestras de agua residual textil variando la intensidad de corriente, variando el tiempo de residencia y la distancia de electrodos.

Se utilizó el equipo de electroflotación las muestras bajo una distancia de electrodos de 15 cm.

- **Variación del tamaño de floc de la muestra problema.**

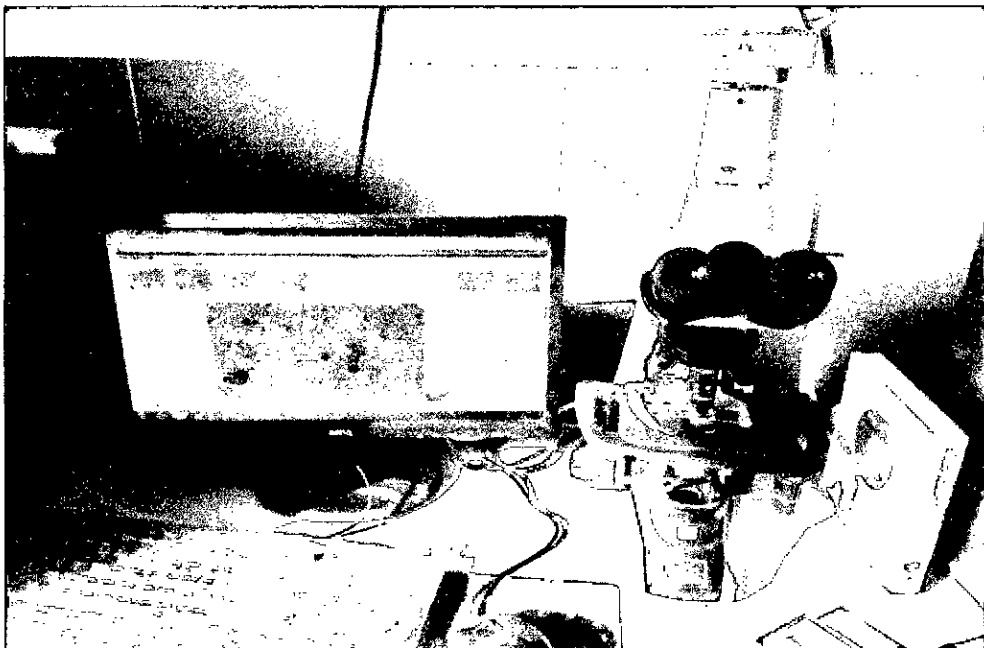
Para determinar las condiciones adecuadas de intensidad de corriente, se trabajó bajo un diseño factorial de 2^3 , las variables a controlar son las siguientes:

- A: distancia de electrodos
- B: tiempo de residencia
- C: intensidad de corriente

Se utilizaron pruebas de la muestra problema mediante el microscopio para ver la consistencia y el tamaño de floc, variando la distancia de electrodos para un determinado tiempo, intensidad de corriente constante (véase figura n° 4.7)

FIGURA N° 4.7

MICROSCOPIO DE LABORATORIO DE MICROBIOLOGÍA UNAC



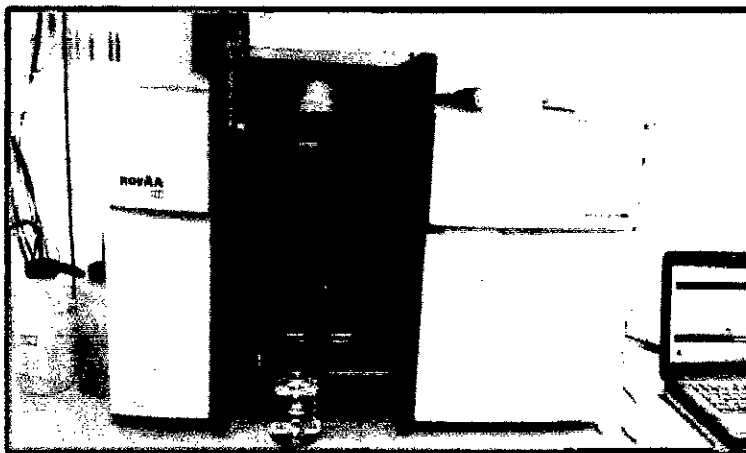
Fuente: Elaboración propia

4.5.4 Procedimiento de análisis

- **Análisis de metales totales**

El análisis del contenido de metales totales de las muestras de agua textil antes y después del tratamiento se llevó a cabo en un laboratorio externo mediante el método *EPA 200.7 Trace elements in water by absorption atomic emission*, utilizando un equipo de absorción atómica.

FIGURA N°4.8
EQUIPO DE ADSORCIÓN ATÓMICA



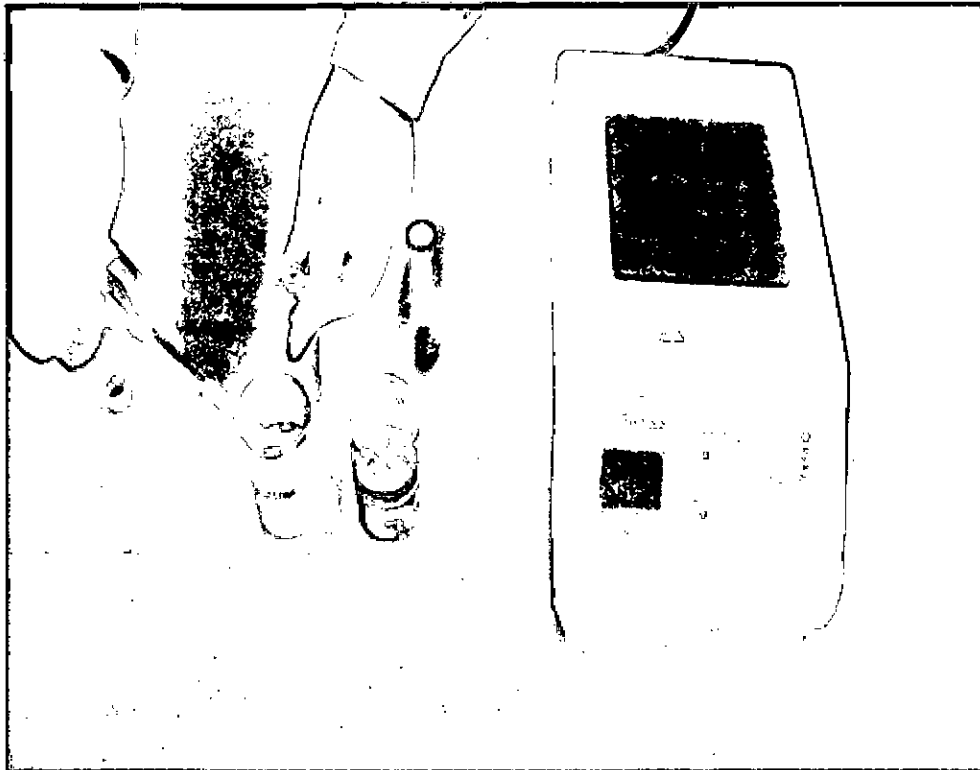
Fuente: Elaboración Propia

- **Análisis Demanda Química de Oxígeno**

El análisis del contenido de oxígeno disuelto de las muestras de agua textil antes y después del tratamiento se llevó a cabo en un laboratorio externo mediante SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 C. 2012. Closed Reflux, Titrimetric Method utilizando un equipo de DQO. (Véase figura n°4.9 de la página 85)

FIGURA N°4.9

EQUIPO PARA MEDIR LA DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO



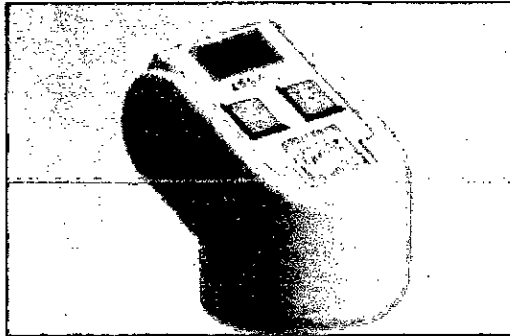
Fuente: Elaboración Propia

- **Análisis Demanda Bioquímica de Oxígeno**

El análisis del contenido de oxígeno disuelto de las muestras de agua textil antes y después del tratamiento se llevó a cabo en un laboratorio externo mediante SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 C. 2012. Closed Reflux, Titrimetric Method utilizando un equipo de DBO. (Véase figura n° 4.10)

FIGURA N°4.10

EQUIPO PARA MEDIR LA DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO



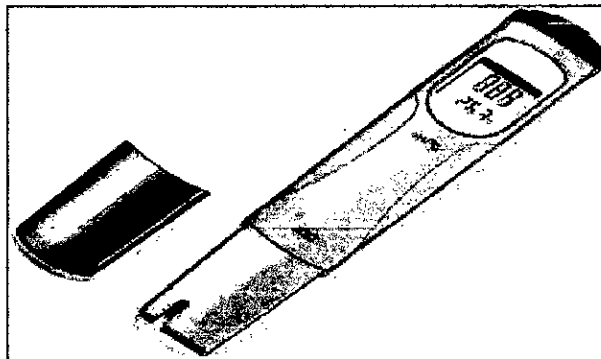
Fuente: Elaboración Propia

- **Análisis pH**

El análisis del contenido de pH de las muestras de agua textil antes y después del tratamiento se llevó a cabo en un laboratorio investigación de la facultad de ingeniería química mediante SMEWW. 21ST Edition. 2005. Part 4500-H-B. Electrometric Method. Utilizando un equipo de Ph-metro. (Véase figura n° 4.11)

FIGURA N°4.11

EQUIPO Ph-metro

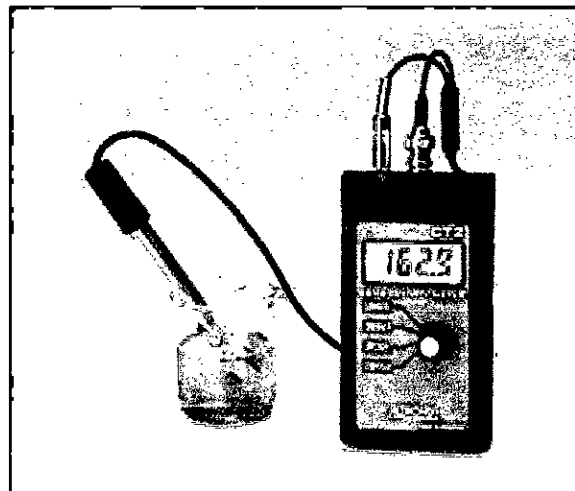


Fuente: Elaboración Propia

- **Análisis Conductividad Eléctrica**

El análisis del contenido de la conductividad de las muestras de agua textil antes y después del tratamiento se llevó a cabo en un laboratorio investigación de la facultad de ingeniería química mediante APHA-AWWA-WEF 2510-B 21st Edition, 2005, Conductivity, Laboratory method.

FIGURA N°4.12
Equipo Conductimetro

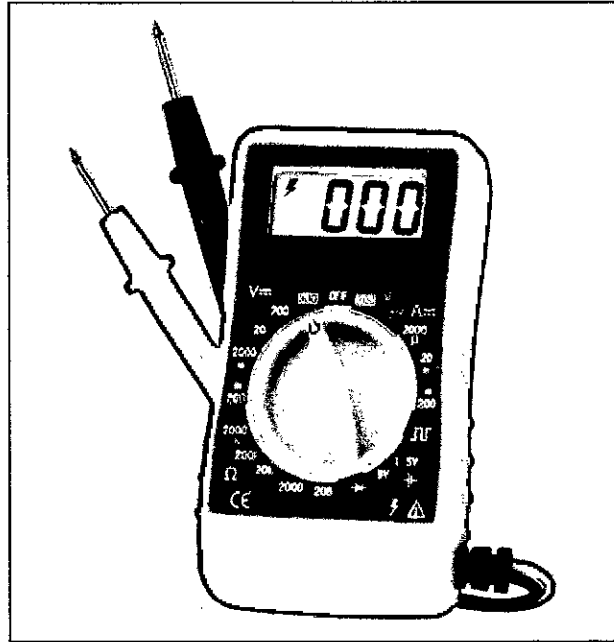


Fuente: Elaboración Propia

- **Análisis intensidad de corriente**

El análisis del amperaje de las celdas a la entra y salida del proceso se llevó a cabo en un laboratorio investigación de la Facultad de Ingeniería Química se. Utilizó un equipo Conductimetro. (Véase figura n° 4.13)

FIGURA N°4.13
Equipo Amperímetro

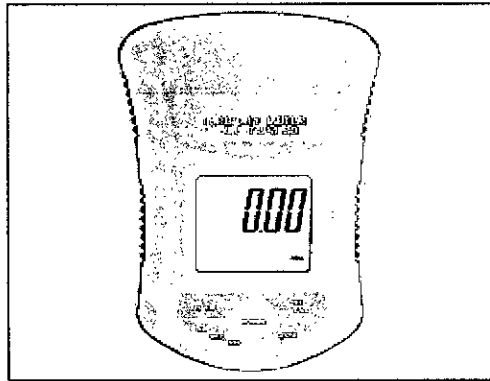


Fuente: Elaboración Propia

- **Análisis Turbiedad:**

El análisis del grado de transparencia de las muestras de agua textil antes y después del tratamiento se llevó a cabo en un laboratorio externo mediante SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 C. 2012. ISO 7027:1999 "Water Quality. Determination of Turbidity". utilizando un equipo turbidímetro. (Véase figura n°4.14).

FIGURA N°4.14
TURBIDÍMETRO



Fuente: Elaboración Propia

- **Análisis de los floc:**

El análisis de los cristales de los floc se forma mediante el proceso de electrofloculación para el tratamiento del efluente textil se llevó a cabo en un laboratorio externo utilizando un equipo microscopio. (Véase figura n° 4.15 de la página 89.

FIGURA N°4.15
MICROSCOPIO



Fuente: Elaboración Propia

- **Evaluación económica del tratamiento:**

El costo de tratamiento en el proceso de electrofloculación está asociado a dos factores básicos que son el consumo de corriente eléctrica y la reposición de los electrodos después de su deterioro. Los costos para implementar el tratamiento con la electrofloculación es viable económicamente, el consumo de energía es menor que el tratamiento físico-químico y los electrodos de sacrificio son de bajo costo. Para lo cual se realizó mediciones de amperaje y se tomaron valores de costo por Kwh suministrado por la empresa de energía vigente en el país. Otro aspecto a considerar es la reposición de los electrodos de fierro y aluminio, el cual se cambian generalmente después de 7 meses y son costo bajo en el mercado. El costo de tratamiento por electrofloculación es menor que el convencional ya sea por el consumo de energía, si no también que no necesita adición de coagulantes y polímeros sintéticos, estos en un tratamiento convencional que incrementan los costos de tratamiento. El costo total está dado por la siguiente formula:

COSTO TOTAL= ENERGIA*PRECIO

El consumo de energía consumida por la celda de electrofloculación se halló utilizando la relación formulada por Ramesh que se da a continuación:

$$E = \frac{V \cdot I}{Q \cdot 1000}$$

Dónde: E: Energía consumida por volumen de efluente tratado en
Kwh/m³

V: Voltaje aplicado, en V.

I: Corriente aplicada, en A.

t: Tiempo de tratamiento, en h.

Q: Volumen del efluente tratado, en m³ .

1000: Coeficiente para conversión de W a KW.

Los parametros optimos de la evaluacion economica se presenta
en la tabla n°4.6 , en la pagina 91.

TABLA N°4.6

PARÁMETROS ÓPTIMOS EN LA EVALUACIÓN ECONÓMICA

Parámetros	Valores
Voltaje (V)	220
Amperios (A)	10
Tiempo (min)	10
Volumen (L)	24

Fuente: Elaboración Propia

Haciendo la conversión para reemplazar en la fórmula del tiempo y volumen se tuvo en $t = 0.17$ horas y $V = 0.024 \text{ m}^3$, y se obtuvo el siguiente valor:

Energía consumida = 15.7 Kwh/m^3

Si asumimos la tarifa cobrada por la empresa eléctrica ENEL según el Anexo ($\text{S}/0.2123/\text{Kwh}$ en energía activa en hora fuera de punta) y ($\text{S}/0.2554/\text{Kwh}$ en energía activa en hora punta).

Considerando $\text{S}/0.2123/\text{Kwh}$ nos da un costo de $\text{S}/3.33/\text{m}^3$

Asumiendo que se trabaja sólo de día.

Si asumimos tarifa industrial trifásica según el anexo considerando $\text{S}/0.239/\text{Kwh}$ nos da un costo de $\text{S}/3.75/\text{m}^3$.

Consumo de electrodos:

Cálculo Teórico del consumo del electrodo:

Un mol de cualquier elemento químico consta de 6.02×10^{23} moléculas (o átomos). Así, 1 mol de Aluminio (con un peso de 24 gr/mol) contendrá 6.02×10^{23} átomos de Aluminio.

Si además se tiene en cuenta que la carga negativa de un electrón es 1.6×10^{-19} culombios.

En el caso del aluminio se ha visto que un átomo cede 3 electrones por lo que cada átomo cede $3 \times 1.6 \times 10^{-19}$ culombios o sea 4.8×10^{-19} culombios.

Al circular por la celda electroquímica una intensidad de 10 amperios durante un segundo tendremos que durante éste tiempo habrá pasado:

$$10A \times 1 \text{ seg} = 10 \text{ culombios}$$

Los cuales ionizarán la siguiente cantidad de Al:

$$\frac{10 \text{ cul. } 1 \text{ átomo Al.}}{4.8 \times 10^{-19} \text{ cul}} \quad \frac{1 \text{ mol Al}}{6.02 \times 10^{23} \text{ átomos Al}} \quad \frac{24 \text{ gr. Al}}{1 \text{ mol Al}} = \text{Al} = 0.83 \text{ mg Al/s}$$

Se ha supuesto que toda la electricidad sirve únicamente para ionizar el aluminio

Si hacemos pasar por el aparato litros de agua residual por hora, tendremos:

$$\frac{1 \text{ h}}{120 \text{ lt}} \cdot \frac{3600 \text{ seg}}{1 \text{ h}} \cdot \frac{0.83 \text{ mg Al}}{1 \text{ seg}} = 24.9 \text{ mg Al/ lt}$$

Los cuales actuarán como floculantes de la materia orgánica.

Los electrodos utilizados como el aluminio y el fierro sufren un desgaste por disolución de los mismos en el proceso de electrocoagulación, el electrodo de sacrificio que en este caso fue el aluminio sufre una mayor pérdida de peso. Teniendo en consideración estos aspectos se midió el peso de los electrodos antes y después del tratamiento para calcular el costo (ver Tabla nº 4.7) en base a la reposición de los mismos.

TABLA N°4.7

CÁLCULO DE COSTOS DE REPOSICIÓN DE ELECTRODOS

Electrodos	Aluminio	Fierro
Peso inicial (gr)	83.562	224.791
Peso final (gr)	83.342	224.765
Consumo (gr)	0.22	0.026
N° electrodos	3	3
Total consumo (gr)	0.66	0.078
Costo (gr)	0.02	0.007
Costo (S/.)	0.0132	0.000546
Costo Total (S/.)	0.014	

Fuente: Elaboración Propia

4.6. Procesamiento estadístico y análisis de datos

4.6.1. Tratamiento estadístico

Se realizó una experimentación con un diseño factorial completo con niveles múltiples de dos factores que permitió evaluar simultáneamente las variables consideradas, así como evaluar la interacción entre las variables.

La evaluación e interacción se realizó en base al modelo factorial empleando el software MINITAB 17, teniendo en cuenta que se tiene 3 variables variables continuas y una categórica

Condiciones de la muestra problema

Continua: intensidad de corriente, tiempo, distancia de electrodos.

Catórica: tamaño de floc

Variación del tamaño de floc de la muestra problema

Continua: intensidad de corriente, tiempo, distancia de electrodos

Catórica: tamaño de floc.

Las variables que se utilizaron como factores para el diseño experimental fueron: intensidad de corriente eléctrica, distancia de electrodos y tiempo de residencia, lo que permitió investigar el efecto individual y la interacción entre los factores sobre la variable respuesta, al eleborar un análisis de varianza, ANOVA con de la información obtenida:

$$Y_{ijkl} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + (\alpha\beta)_{ij} + (\alpha\gamma)_{ik} + (\beta\gamma)_{jk} + (\alpha\beta\gamma)_{ijk} + \epsilon_{ijkl}$$

Donde:

μ : es el porcentaje medio de remoción de DQO del modelo.

α_i : es el efecto del i-ésimo nivel del factor tiempo k=8, 10 y 15 min.

β_j : es el efecto del j-ésimo nivel del factor intensidad de corriente= 6, 10 y 15A.

γ_k : es el efecto del k-ésimo nivel del factor distancia de electrodos d= 10,15 y 20.

$\alpha\beta_{ij}$: es el efecto de interacción entre los niveles i y j de los factores tiempo y intensidad de corriente. $V_{i,j}$

$\alpha\gamma_{ik}$: es el efecto de interacción entre los niveles i y k de los factores distancia de electrodos y tiempo. $V_{i,k}$

β_{jk} : es el efecto de interacción entre los niveles j y k de los factores intensidad de corriente y distancia de electrodos . $\forall j,k$.

$\alpha\beta_{ijk}$: es el efecto de interacción entre los niveles i,j,k de los factores distancia de electrodos, intensidad de corriente y tiempo. $\forall i,j,k$

Y_{ijkl} : es la i-ésima observación del porcentaje de remoción de DQO observado en los niveles i,j y k de los factores distancia de electrodos, intensidad de corriente y tiempo.

ϵ_{ijkl} : es el i-ésimo término de error aleatorio.

TABLA N° 4.8

ANÁLISIS ESTADÍSTICO ANOVA DE LOS DATOS EXPERIMENTALES

FV	SC	GL	CM	F	P
Tiempo	0,34334218	2	0,17649213	165,53	<0,0001
Intensidad	0,07253946	2	0,04562343	33,34	0,0001
Distancia de electrodos	0,00031505	2	0,00167943	1,55	0,2563
Tiempo x intensidad	0,01496522	4	0,00642356	3,64	0,0578
Tiempo x dist de electrodos	0,00495326	4	0,00109987	1,15	0,4352
Intensidad x distancia de electrodos	0,00973258	4	0,00246702	2,45	0,132
Error	0,00816795	8	0,00100864		
Total	0,45116652	26	0,01696701		

Fuente: Elaboración Propia

Se realizó el análisis de los datos que se observan en la tabla 13, en donde se encontró un coeficiente de correlación r^2 de 0.97, lo que significa que el modelo estadístico propuesto explica el 97.27% de la variabilidad

de la proporción de remoción de Demanda Química de Oxígeno, lo cual indica un buen ajuste del modelo a los datos recolectados.

Para $p < 0.05$ con el factor tiempo y factor intensidad de corriente fueron significativos en la remoción de DQO y con el factor distancia de electrodos y todas las iteraciones resultaron no significativos en la remoción del DQO.

V. RESULTADOS:

5.1. Caracterización de la muestra problema

Con el objetivo de obtener las condiciones de operación favorables del proceso de tratamiento de aguas residuales de efluente textil al variar las variables independientes tales como:

Intensidad de corriente, tiempo de residencia y la distancia de electrodos y flujo de alimentación de agua textil mediante el equipo de electrofloculación. El agua residual extraída de lavandería industrial, tuvieron las siguientes características fisicoquímicas.

Para conocer sus características de la muestra problema se llevó a un mando analizar a un laboratorio terceros, cuyos resultados fueron los siguientes: (véase tabla N° 5.1, N° 5.2 de la página 98)

TABLA N°5.1

RESULTADOS DE ANÁLISIS FISICOQUÍMICOS DEL EFLUENTE.

DETERMINACION	Unidades	Límite de Cuantificación	RESULTADOS
			Muestra problema inicio
Determinación de Ph	Standar	*****	6.70
Determinación de	°C	*****	20.0
Determinación de Conductividad Eléctrica	µS/cm	*****	2310

Fuente: CERTINTEX SAC (2017)

TABLA N°5.2

RESULTADOS DE ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS DEL EFLUENTE

DETERMINACION	Unidades	Límite de Cuantificación	RESULTADOS
			Muestra problema inicio
Determinación de Oxígeno Disuelto	mg/L	0.5	5
Determinación de Sólidos Totales en Suspensión (TSS)	mg/L	5.0	374
Determinación de Cianuro Total	mg/L	0.002	0.055
Determinación de Turbiedad	NTU	0.10	22.91
Determinación de DBO	mg/L	2.0	983
Determinación de DQO	mg/L	2.0	2096
Determinación de Aceites y Grasas	mg/L	0.4	53
Determinación de Cromo Hexavalente	mg/L	0.01	ND
Determinación de Sulfuros	mg/L S ₂ ⁻	0.018	*****
Determinación de Sulfatos	mg/L	1	*****

Fuente: CERTINTEX SAC (2017)

TABLA N° 5.3

RESULTADOS DE METALES TOTALES DEL EFLUENTE AL INICIO

Elemento	Unidad	Límite Detección	RESULTADOS
			Muestra problema inicio
Al	mg/L	0.037	0.420
As	mg/L	0.004	0.186
B	mg/L	0.005	0.063
Cd	mg/L	0.005	0.042
Co	mg/L	0.008	<0.008
Cr	mg/L	0.007	ND
Cu	mg/L	0.006	0.096
Hg	mg/L	0.068	ND
Mn	mg/L	0.009	19.2
Ni	mg/L	0.043	ND
Zn	mg/L	0.010	0.019

Fuente: CERTINTEX SAC (2017)

Se ha realizado el programa experimental diseñado en la tabla N°4. En base al diseño factorial 2^3 , se hicieron 8 corridas en las tablas N°5.4 de la página 100.

TABLA N° 5.4

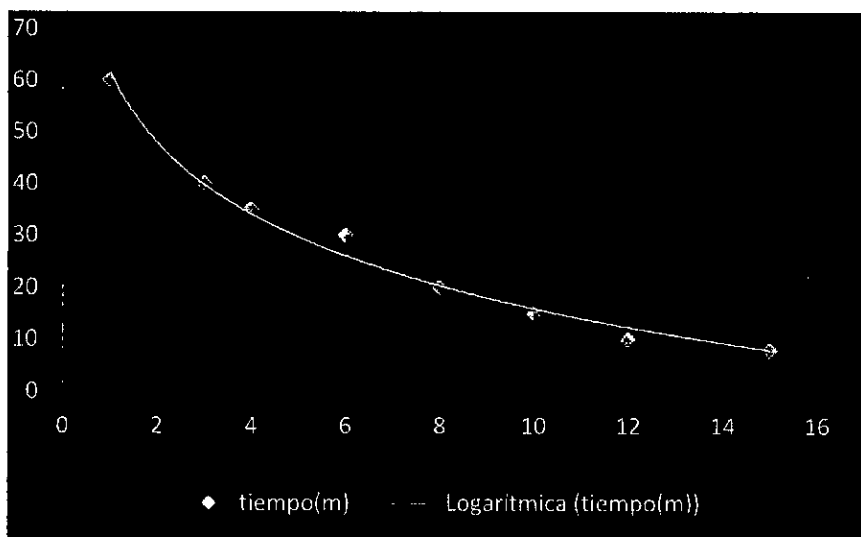
VARIABLES QUE INFLUYEN EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS TEXTILES MEDIANTE ELECTROFLOCULACIÓN

Número de experiencia	Variables			niveles		Vector respuesta
	A: Intensidad de corriente	B: tiempo(m)	C: distancia de electrodos(cm)	-	+	Tamaño de floc(60 um)
1	15	8	15	-	-	consiste
2	12	10	15	-	*	consiste
3	10	15	15	-	+	inconsist
4	8	20	15	-	-	inconsist
5	6	30	15	-	*	inconsist
6	4	35	15	-	+	inconsist
7	3	40	15	-	-	inconsist
8	1	60	15	-	*	inconsist

Fuente: Elaboración propia

GRAFICO N°5.1

INTENSIDAD DE CORRIENTE VS TIEMPO, VARIABLES QUE INFLUYEN EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS TEXTILES MEDIANTE ELECTROFLOCULACIÓN.



Fuente: Elaboración propia

TABLA N° 5.5

VARIABLES QUE INFLUYEN EN LA CARACTERÍSTICA DEL FLOC Y LA FORMACIÓN DE CRISTALES. VARIABLES QUE INFLUYEN EN LA CARACTERÍSTICA DEL FLOC Y LA FORMACIÓN DE CRISTALES

Número de experiencia	Variables			Vector respuesta	Característica De floc
	A: Intensidad de corriente	B: tiempo(m)	C: distancia de electrodos(cm)	Tamaño de floc(60 μ m)	
1	12	10	5	20	inconsistente
2	12	10	10	40	inconsistente
3	12	10	15	50	consistent
4	12	10	20	60	consistent

Fuente: Elaboración propia

FIGURA N°5.1

CARACTERÍSTICA DEL FLOC Y FORMACIÓN DE CRISTALES DE FLOC (VISTO EN MICROSCOPIO DIGITAL RESOLUCIÓN 100X).

(Intensidad = 3A, distancia de electrodos = 15cm, tiempo = 10 min)
FLOC INCONSISTENTE

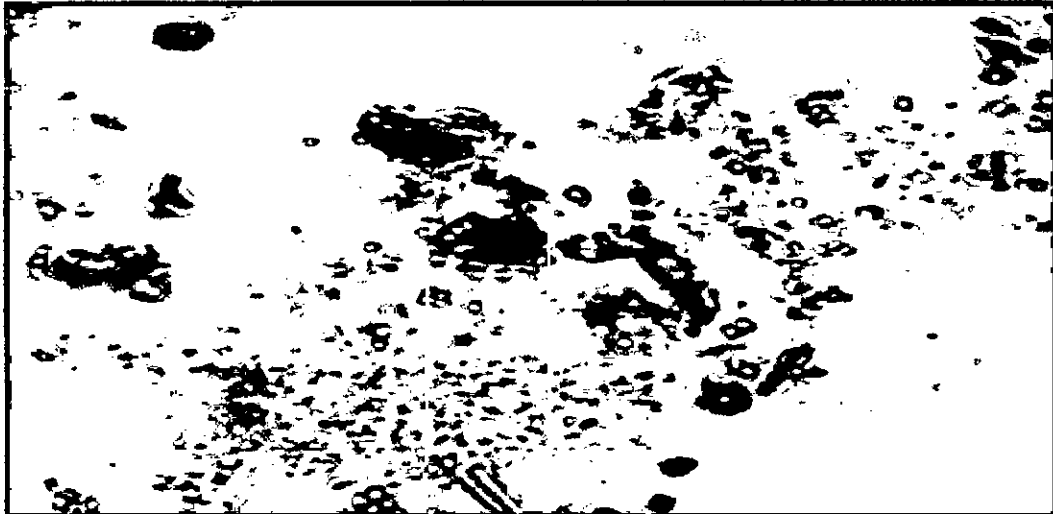


Fuente: Elaboración propia

FIGURA N°5.2

CARACTERÍSTICA DEL FLOC Y FORMACIÓN DE CRISTALES DE FLOC (VISTO EN MICROSCOPIO DIGITAL RESOLUCIÓN 100X).

**(intensidad = 6A,distancia de electrodos = 15cm, tiempo = 10 min)
FLOC INCONSISTENTE**



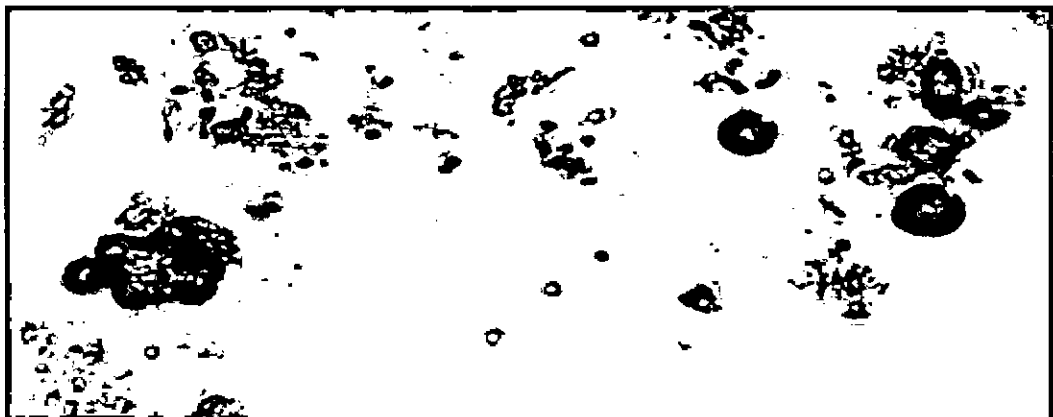
40 μm

Fuente: Elaboración propia

FIGURA N°5.3

CARACTERÍSTICA DEL FLOC Y FORMACIÓN DE CRISTALES DE FLOC (VISTO EN MICROSCOPIO DIGITAL RESOLUCIÓN 100X).

**(intensidad = 10A,distancia de electrodos = 15cm, tiempo = 10 min)
FLOC CONSISTENTE**



60 μm

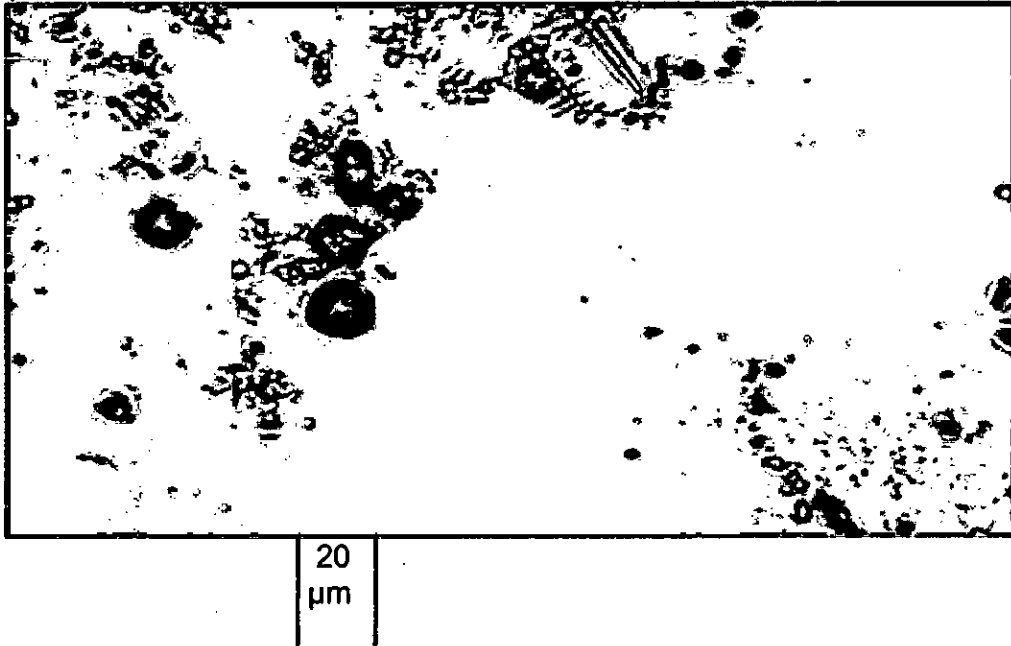
Fuente: Elaboración propia

FIGURA N°5.4

CARACTERÍSTICA DEL FLOC Y FORMACIÓN DE CRISTALES DE FLOC (VISTO EN MICROSCOPIO DIGITAL RESOLUCIÓN 100X).

FLOC INCONSISTENTE

(intensidad = 15A, distancia de electrodos = 15cm, tiempo = 10 min)



Fuente: Elaboración propia

Los resultados de la identificación y las propiedades físico químicas del producto se muestran en la tabla N°5.6 de la página 104.

TABLA N° 5.6

RESULTADOS DE ANÁLISIS FISCOQUÍMICOS DEL EFLUENTE TRATADO

DETERMINACION	Unidades	Límite de Cuantificación	RESULTADOS
			Muestra tratada
Determinación de Ph	Standard	*****	6.80
Determinación de Temperatura	°C	*****	26.0
Determinación de Conductividad Eléctrica	µS/cm	*****	2643
Determinación de Oxígeno Disuelto	mg/L	0.5	2
Determinación de Cianuro Total	mg/L	0.002	0.010
Determinación de Turbiedad	NTU	0.10	2.67
Determinación de DBO	mg/L	2.0	40
Determinación de DQO	mg/L	2.0	90
Determinación de Aceites y Grasas	mg/L	0.4	2
Determinación de Cromo Hexavalente	mg/L	0.01	ND
Determinación de Sulfuros	mg/L	10	*****
Determinación de Sulfatos	mg/L	1	*****

Fuente: CERTINTEX SAC (2017)

TABLA N° 5.7**RESULTADOS DE METALES TOTALES DEL EFLUENTE TRATADO**

Elemento	Unidad	Límite Detección	RESULTADOS
			Muestra problema inicio
Al	mg/L	0.037	0.212
As	mg/L	0.004	0.042
B	mg/L	0.005	0.02
Cd	mg/L	0.005	0.013
Co	mg/L	0.008	ND
Cr	mg/L	0.007	ND
Cu	mg/L	0.006	0.047
Hg	mg/L	0.068	ND
Mn	mg/L	0.009	3.4
Ni	mg/L	0.043	ND
Zn	mg/L	0.010	0.01

Fuente: CERTINTEX SAC (2017)

VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS:

6.1 **Contrastación de Hipótesis con los resultados:** Los resultados obtenidos del tratamiento de aguas residuales en una lavandería industrial en la ciudad de Lima por el método de Electrofloculación se da en la siguiente tabla:

TABLA N°6.1
RESULTADOS COMPARATIVOS DE LA MUESTRA PROBLEMA Y LA MUESTRA FINAL

DETERMINACION	RESULTADOS	RESULTADOS	EFICIENCIA
	Muestra problema inicio	Muestra tratada final	%
Determinación de DBO	843	40	95.25
Determinación de DQO	1446	90	93.78
Determinación de Sólidos Totales en Suspensión (TSS)	80	6.8	91.5
Mn (metales totales)	22.36	8.48	62

Fuente: Elaboracion Propia

Según estos resultados podemos concluir que el método por electrofloculación nos permite cumplir los Valores Máximos Admisibles.

Además se determinó que la densidad de corriente influye significativamente en el proceso de electrofloculación.

6.2 . Contrastación de resultados con otros estudios similares

El método de electrofloculación es más eficiente que los resultados obtenidos del Trabajo de Gabriela Pérez (Ecuador-2015) ya que su trabajo obtuvo una remoción de 86% de Demanda Química de Oxígeno a lo que obtuvimos que fue un porcentaje de 93.78%.

A su vez el Trabajo de Ecuador obtuvo una remoción de 59% de Sólidos Suspendidos Totales y el de Electrofloculación alcanzó una eficiencia de 91.5%.

Cabe indicar que el Trabajo de Ecuador tuvo como parámetro de trabajo 15 voltios, en nuestro trabajo el voltaje a trabajar va a ser el de 220 voltios, que es la más usada.

VII CONCLUSIONES:

1. Evaluamos el proceso de tratamiento de aguas residuales en una lavandería industrial y se ha encontrado que las condiciones óptimas para el proceso son las siguientes: La intensidad de corriente de 10 Amperios, distancia de electrodos de 15 centímetros y un tiempo de residencia de 10 minutos. Verificando el cumplimiento de los VMA.
2. Determinamos que en las aguas residuales en una lavandería industrial en la ciudad de Lima tiene las siguientes características físico-químicas: DBO (983 mg/l), DQO (2096 mg/l), etc.
3. Determinamos que la influencia de pH, densidad de corriente y la conductividad eléctrica en el proceso de electrofloculación para el tratamiento de aguas residuales en una lavandería industrial en la ciudad de Lima, no varía, no influye.
4. Determinamos los WMA de las aguas residuales en una lavandería industrial en la ciudad de Lima, dándonos un resultado de : DBO (40 mg/l) y DQO (90 mg/l).

VIII. RECOMENDACIONES:

- a) Se requiere profundizar el sistema de electrofloculación con controladores de flujo volumétrico, tiempo.
- b) Los lodos obtenidos en este proceso, se recomienda ahondar en análisis su composición biológica y química que permita planear nuevas investigaciones referidas a este tema y su posterior tratamiento o manejo de residuos sólidos.
- c) En las pruebas que se realizaron se utilizaron como material para los electrodos el aluminio y el fierro, por lo cual se recomienda realizar pruebas con otros materiales como acero inoxidable, cobre, etc.
- d) Se recomienda realizar pruebas con fuentes de poder con transformadores de 220 a 110v con el fin de reducir el costo de energía eléctrica.

IX. REFERENCIALES BIBLIOGRÁFICAS

1. **Aguilar, E. (2015)** *Evaluación de la Eficiencia de una Celda de – Electrocoagulación a escala Laboratorio para el Tratamiento de Agua* (Tesis para optar el Grado de Magister en Ciencias Ambientales). Lima. Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
2. **Barboza, G. (2011).** *Reducción de la carga de Contaminantes de las Aguas Residuales de la Planta de Tratamiento de Totorá – Ayacucho empleando la Técnica de Electrocoagulación.* (Tesis para obtener el título de Maestría). Lima Universidad Nacional de Ingeniería
3. **Falconí, D. (2013)** *Tratamiento Avanzado de Aguas Residuales en el Proceso de Lavado y Tinturado de Jeans en la Empresa “Mundocolor” mediante Electrocoagulación.* (Tesis de Grado para la obtención de título de Ingeniero Ambiental).Ecuador. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
4. **Guerrero, J. (2013)** *Tratamiento de Aguas Residuales.* Universidad Central del Ecuador
5. **Grupo de trabajo EURACHEM (2005).** *Guía de Laboratorio para la Validación de Métodos y Temas Relacionados.* Segunda edición.
6. **López V (2015)** *Gestión de los Efluentes de la Industria Textil.* Cuaderno Tecnológico N° 18. Instituto de Investigación Textil y

Cooperación Industrial de la Universidad Politécnica de Cataluña.
España.

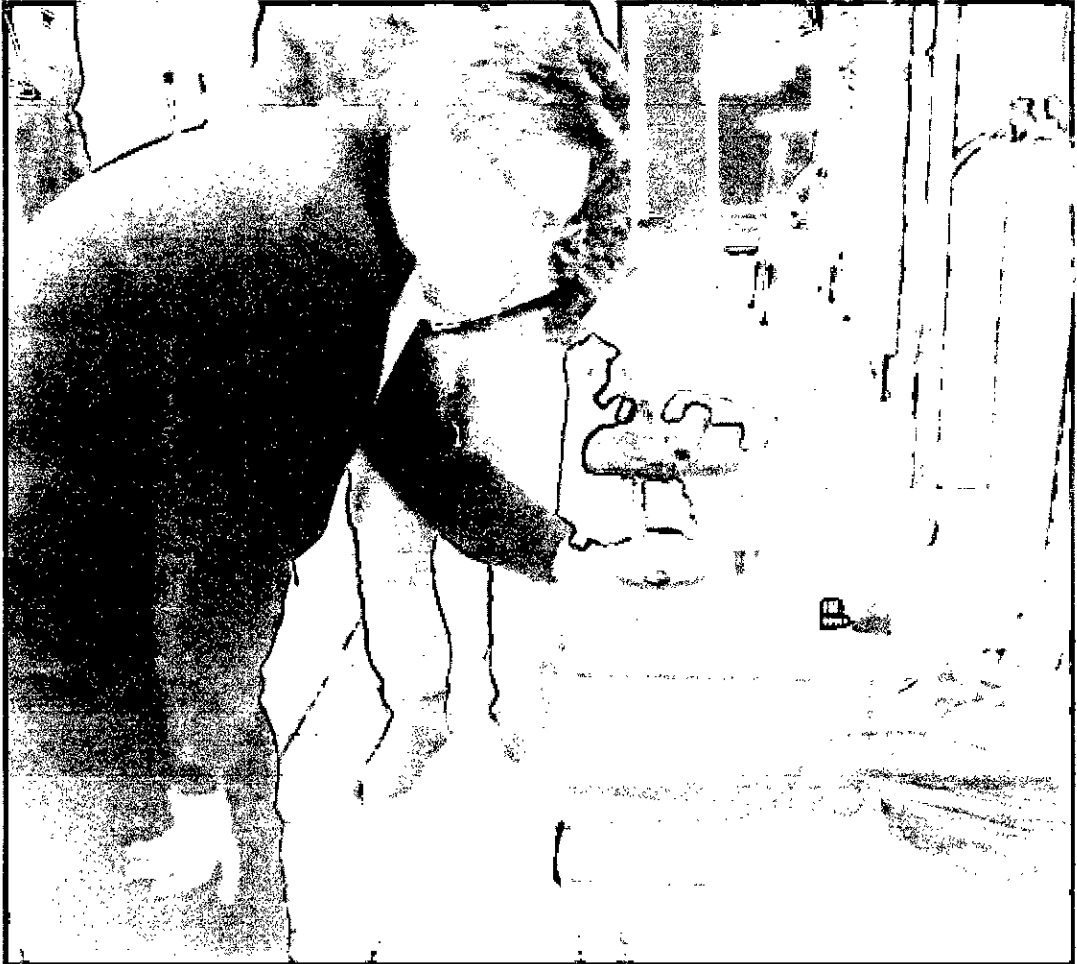
7. **Montesino, J. (2016)** *Análisis del Aprovechamiento del Hidrógeno en la Electrofloculación en un Efluente industrial* (Trabajo de Investigación). UTN. Argentina.
8. **Crespi M.** *Principales parámetros que determinan la contaminación de los efluentes textiles y técnicas para disminuir la contaminación.* (Tesis Maestría). Barcelona. Universidad Politécnica de Catalunya.
9. **NTP-ISO 5725** parte 1, 2, 3, 4, 5, 6; edición 1999.
10. **Pérez, G. (2015)** *Tratamiento de Aguas Residuales de la Industria Textil mediante Procesos Electroquímicos.* (Trabajo de Grado). Facultad de Ingeniería Química. Universidad Central del Ecuador. Quito.
11. **Revista Colombiana de Física (2002)** *Electrocoagulación de Aguas Residuales.* Vol. 34 No. 2
12. **Restrepo, A., Arango, A. & Garcés, gL. (2006).** *La Electrocoagulación: retos y oportunidades en el tratamiento de aguas.* Producción + Limpia, 1 (2), 58-77.
13. **Vidal, J. (2013)** *Eliminación del Colorante Negro Ácido 194 desde Aguas Residuales Textiles mediante Electrocoagulación.* (Trabajo de Investigación. Facultad de Química y Biología). Universidad de Santiago de Chile. Chile.

ANEXOS

TITULO: TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN UNA LAVANDERÍA INDUSTRIAL MEDIANTE ELECTROFLOCULACIÓN EN LA CIUDAD DE LIMA

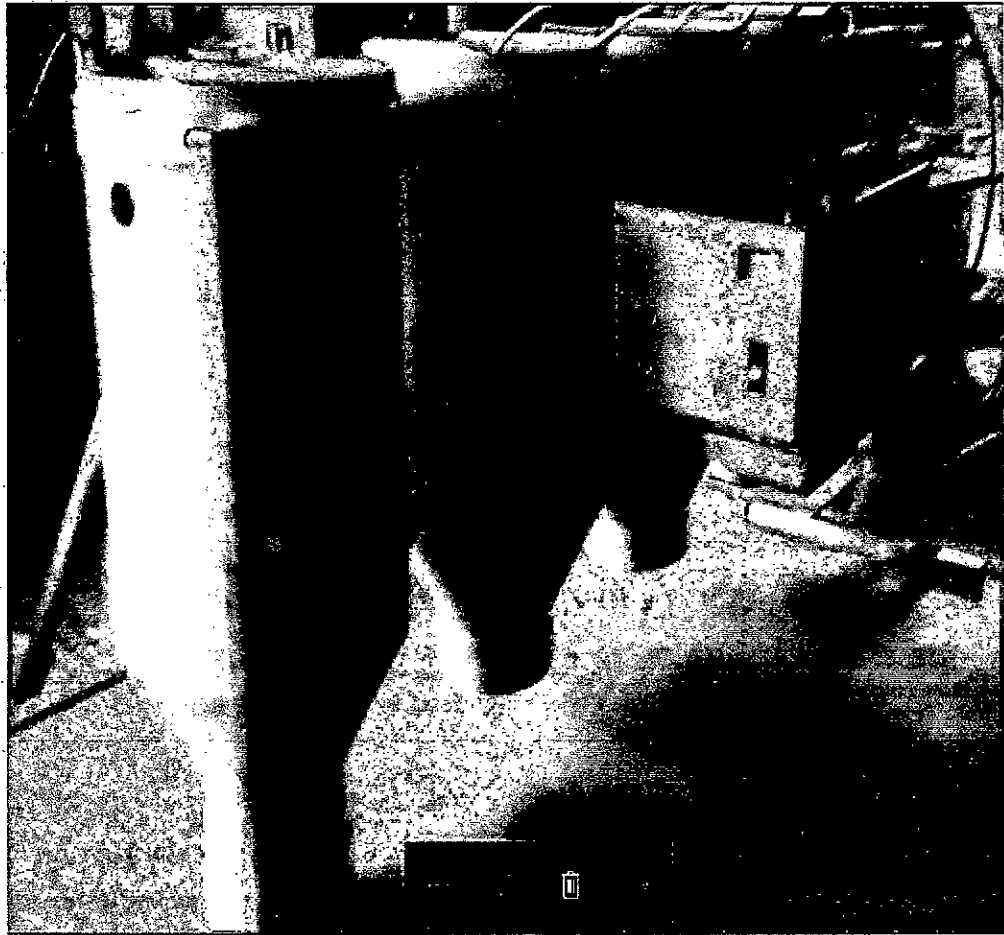
PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	TESIS GENERAL	VARIABLE INDEPENDIENTE	DIMENSIONES	INDICADOR	MODO DE RECOLECCIÓN DATOS
¿Cómo debe ser el proceso de electrofloculación para el tratamiento de aguas residuales en una lavandería industrial en la ciudad de Lima para el cumplimiento de los VMA?	Evaluar el proceso de electrofloculación para el tratamiento de aguas residuales en una lavandería industrial en la ciudad de Lima para el cumplimiento de los VMA.	El tratamiento de aguas residuales en una lavandería industrial en la ciudad de Lima por electrofloculación nos permite cumplir los VMA.	Método de electrofloculación	Parámetros físico-químicas	p= densidad de corriente I= amperaje t= tiempo de residencia c=conductividad pH=potencial de Hidrógeno.	Amperímetro Voltímetro Cronómetro Conductímetro Potenciómetro
PROBLEMAS	OBJETIVOS ESPECIFICOS	HIPOTESIS ESPECIFICAS	VARIABLE DEPENDIENTE	DIMENSIONES	INDICADOR	METODO
a) ¿Cuáles son las características físico-químicas de las aguas residuales en una lavandería industrial en la ciudad de Lima?	a) Determinar las características físico-químicas de las aguas residuales en una lavandería industrial en la ciudad de Lima.	Las características físico-químicas de las aguas residuales en una lavandería industrial en la ciudad de Lima supera los VMA.	X1= Características físico-químicas de las aguas residuales en una lavandería industrial en la ciudad de Lima	Parámetros físico-químicas		Conductímetro M.de Análisis DBO5 Espectrofotométrico UV Vis. Análisis SST
b) ¿Cuál es la influencia del pH, densidad de corriente y la conductividad eléctrica en el proceso de electrofloculación para el tratamiento de aguas residuales en una lavandería industrial en la ciudad de Lima?	b) Determinar la influencia del pH, densidad de corriente y la conductividad eléctrica en el proceso de electrofloculación para el tratamiento de aguas residuales en una lavandería industrial en la ciudad de Lima	b) El pH, densidad de corriente y la conductividad eléctrica en el proceso de electrofloculación para el tratamiento de aguas residuales en una lavandería industrial en la ciudad de Lima influye significativamente.	X2= Características físico-químicas de las aguas residuales en una lavandería industrial en la ciudad de Lima	Parámetros físico-químicas	p=Densidad de corriente c=Conductividad eléctrica pH=Potencial de hidrogeno	Amperímetro Conductímetro Conductímetro
c) ¿Cuáles son las características físico-químicas de las aguas residuales en una lavandería industrial en la ciudad de Lima después del tratamiento?	C) Determinar los VMA de las aguas residuales en una lavandería industrial en la ciudad de Lima.	c) Los VMA de las aguas residuales en una lavandería industrial en la ciudad de Lima reducen significativamente por el método de electrofloculación.	X3= Características físico-químicas de las aguas residuales en una lavandería industrial en la ciudad de Lima	Parámetros físico-químicas	DQO DBO5 SST pH Potencial de Hidrógeno	Espectrofotométrico UV Vis. Análisis DBO5 Análisis SST

ANEXO N° 1
REVISIÓN DEL ASESOR



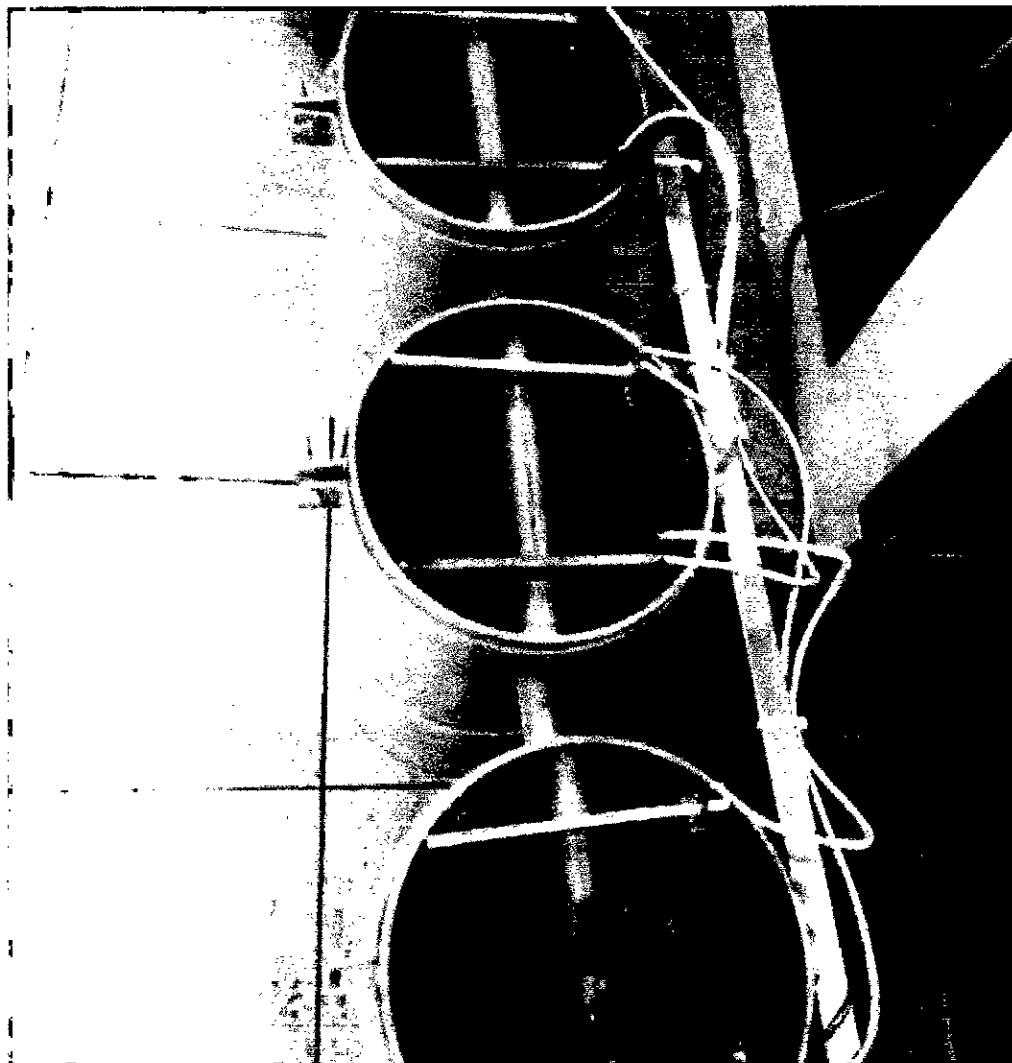
Fuente: Elaboración propia

ANEXO N°3
Equipo de Electroflotación



Fuente: Elaboración propia

ANEXO N°4
Sistema de Electroflotación puesta en marcha.



Fuente: Elaboración propia

ANEXO N°5

Muestra resultante después del proceso de Electrofloclación



Fuente: Elaboración propia

ANEXO N°6

CARTA 01 DE SEDAPAL DIRIGIDA A LAVANDERÍA NEVADOS SAC



SERVICIO DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO DE LIMA

"Por un Buen Servicio al Ciudadano"



Carta N° 001-2017-435-01-02

Lima, 17 de julio 2017

Señores
Lavandería Nevados S.A.C.
Calle Santa Mónica N° 481
Urb. Alcantara Norte
San Juan de Lurigancho;

Asunto : Carta de comunicación de las Vertices Múltiples Adversadas del Anexo 2 del D.S. N° 021-2009-VIVIENDA
RIS: 0000790-01-7072
Número de Identificación de Autorización: 001-20090723

Referencia : a) Acta de mesa de trabajo N° 0461 de fecha 23/06/2017 - Informe de Trabajo 2-20090723 del Laboratorio MSP - Anexo 2
b) Carta N° 252-2017-435-01-02

Para dirigidos a ustedes, para hacer de conocimiento que producto de la evaluación de calidad de las acciones de agua residual que realizamos en cumplimiento de lo establecido vigente, se verificó que en las decenas de aguas residuales del punto identificado con N°A 20090723, existen un porcentaje importante del Anexo 2 del D.S. N° 021-2009-VIVIENDA, según describe el Informe de Trabajo y Acta de Mesa de Trabajo referido en la referencia a) por lo que, el espacio correspondiente a una vertiente adversada que coincide con las Vertices Múltiples Adversadas (VMA), siendo que con carta de la referencia b) se comunicó que se ordenó que subsistiera por segunda vez el cumplimiento directivo.

Al respecto, corresponde la suspensión temporal del servicio de alcantarillado someto al N°A 20090723, según lo dispone el artículo 29° numeral 26.3 del D.S. N° 001-2005-VIVIENDA que modifica el Reglamento aprobado con D.S. N° 000-2001-VIVIENDA, y que a la letra dice: "Si en una misma oportunidad el Distrito No Domicilio supera las VMA establecidas en el Anexo N° 2 del Decreto Supremo N° 001-2005-VIVIENDA, la EPS a la entidad que haga sus veces, priorizada a la suspensión temporal del servicio de alcantarillado puntual". Se procederá la suspensión del servicio de alcantarillado puntual cuando presenten un Informe de Trabajo de un Laboratorio acreditado ante INACAL que demuestre haber detectado las decenas de aguas residuales en el porcentaje referido del Anexo 2 del D.S. N° 021-2009-VIVIENDA, de considerarse necesario las acciones de mejoras realizadas al sistema de alcantarillado.

Como mencionar que la zona de estudio, deberá mantenerse en la capa de registro (parte externa), según lo dispone en el acta 0461 (adjunto), de cualquier actividad topográfica que implique que, independientemente de lo realizado la zona de estudio.

Quedará información y/o consulta, deberá dirigirse al Distrito Evaluación de Calidad de Aguas Residuales, al teléfono 3171394 o a través del correo electrónico: evaluacion@sedapal.gob.pe, indistintamente podrá enviar la documentación mediante su correo electrónico: AtencionCiudadano@sedapal.gob.pe

Atentamente,

Juan Carlos López
Jefe Distrito Evaluación de Calidad de Aguas Residuales (J)
RUC: 000000000
C.C. Expediente



OFICINA PRINCIPAL LA ANARJ
Avenida Chorrillo 250 - 8° Legajo - Lima 18100101 33
Atención al Ciudadano y Reportes 113 33

www.sedapal.gob.pe

CENTROS DE SERVICIO
Lima: Av. Viceroy de Alarcón 1000 - 1er. Piso - 18100101
Callao: Av. Simón Bolívar N° 11
Iquitos: Av. República N° 1000 - Calle 1era
Ayacucho: Av. Nicolás de Piérola N° 23
Loreto: Av. República N° 1000
Módulo de Atención al Ciudadano: Av. Viceroy de Alarcón 1000 - 1er. Piso

Fuente: LAVANDERÍA NEVADOS SAC (2017)

ANEXO N°7

CARTA 02 DE SEDAPAL DIRIGIDA A LAVANDERÍA NEVADOS SAC

Equipo de Evaluación de Calidad de Aguas Residuales



Carta N° 491-2017-EBC-AR(D)

Lima, 8 de mayo de 2017

Señores:

Calle Los Girasoles N° D U 1
AAHH Rimac Campoy
SAN JUAN DE LURIGANCHO.-

Asunto : Presentación de Escrito con Trámite Documentario N°59709
NIS: 6651202 – NIA: 21173555

Referencia: Carta N° 2125-2016-EBC-AR/G-RAUND (Registro Usuario No Doméstico).

Es grato dirigirme a usted, para informarle que se procedió a revisar la documentación señalada en el asunto, en respuesta a nuestra carta de la referencia, mediante la cual usted adjuntó los documentos para la Presentación de su Declaración Jurada Anual. En ese sentido le corresponde el CIU: 9601- Lavado y limpieza, donde los parámetros del CIU se muestran en el cuadro, la cual se requiere como mínimo presentar el Informe de Ensayo con dichos parámetros. Asimismo le comunico que todo Usuario debe presentar su actualización después del año de Registro con el CIU correspondiente de acuerdo a la actualizada Resolución Ministerial N° 360-2016-VIVIENDA, que señala: "Que, mediante Decreto Supremo N° 003-2011-VIVIENDA modificado por Decreto Supremo N° 001-2015-VIVIENDA, establece que los Usuarios No Domésticos cuyas actividades estén clasificadas según la Clasificación Industrial Internacional Uniforme – CIIU, deberán declarar reportar y cumplir con las obligaciones que se establecen en el referido Reglamento, en función de los parámetros que para dichas actividades establece el Este Rector". En ese sentido, está pendiente la recepción de los siguientes documentos:

1. Informe de Ensayo de una muestra puntual tomadas por el laboratorio acreditado, de los siguientes parámetros:

	PARAMETRO	RESULTADO
1	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	
2	Demanda Química de Oxígeno (DQO)	
3	Sólidos Suspendedos Totales (SST)	
4	Aceites y Grasas (AG)	
5	pH	
6	Temperatura	T
7	Sólidos Sedimentables (SS)	
8	Arsénico (As)	
9	Cadmio (Cd)	
10	Cromo (Cr)	
11	Cobres (Cu)	
12	Cromo (Cr)	
13	Cromo (Cr)	
14		
15		
16		

OFICINA PRINCIPAL LA ALHAMBRA
Avenida Bolognesi 1007, Lima 15
Teléfono: 476 1000


sedapal.com.pe

CENTROS DE SERVICIOS

Fuente: LAVANDERÍA NEVADOS SAC (2017)

ANEXO N°8

CARTA 03 DE SEDAPAL DIRIGIDA A LAVANDERÍA NEVADOS SAC



sedapal
Equipo de Evaluación de Calidad de Aguas Residuales

SERVICIO DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO DE LIMA
"Decenio de las Personas con Discapacidad en el Perú"
"Viva del Buen Servicio al Ciudadano"

Carta Nº 491-2017-EEC-AR(D)

Lima, 8 de mayo de 2017.

Señores:

Calle Los Girasoles Mz D L1 1
AAHH Rímac Campesino
SAN JUAN DE LURIGANCHO.

Asunto : Presentación de Escrito con Trámite Documentario Nº 99709
NIS: 6651202 – NIA: 21173555

Referencia: Carta Nº 2125-2016-EEC-AR/G-RAUNO (Registro Usuario No Doméstico).

Es grato dirigirme a usted, para informarle que se procedió a revisar la documentación señalada en el asunto, en respuesta a nuestra carta de la referencia, mediante la cual usted adjuntó los documentos para la Presentación de su Declaración Jurada Anual. En ese sentido le corresponde el CIU: 9501- Lavado y Limpieza, donde los parámetros del CIU se muestran en el cuadro, lo cual se requiere como mínimo presentar el Informe de Ensayo con dichos parámetros. Asimismo le comunico que todo Usuario debe presentar su actualización después del año de Registro con el CIU correspondiente de acuerdo a la actualizada Resolución Ministerial Nº 360-2016-VIVIENDA, que señala: Que, mediante Decreto Supremo Nº 003-2011-VIVIENDA modificado por Decreto Supremo Nº 001-2015-VIVIENDA, establece que los Usuarios No Domésticos, cuyas actividades están clasificadas según la Clasificación Industrial Internacional Uniforme - CIU, deberán declarar, reportar y cumplir con las obligaciones que se establecen en el referido Reglamento, en función de los parámetros que para dichas actividades establece el DGR. Rector. En ese sentido, está pendiente la recepción de los siguientes documentos:

1. Informe de Ensayo de una muestra puntual tomada por el laboratorio acreditado, de los siguientes parámetros:

	PARAMETRO	RESULTADO
1	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	
2	Demanda Química de Oxígeno (DQO)	
3	Ecológia Suspendedos Totales (SST)	
4	Acidos y Grasas (ARG)	
5	pH	
6	Temperatura (T)	
7	Sólidos Sedimentables (SS)	
8	Arsénico (As)	
9	Cadmio (Cd)	

Fuente : LAVANDERÍA NEVADOS SAC (2017)

ANEXO N°9

TABLA DE PRECIO DE ENERGÍA ELÉCTRICA

DISTRIBUCIÓN PÚBLICA
TARIFA PARA LA RED DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA
PERÚ DE ENERGÍA S.A. - ENEL

LA TABLA DE LA PRECIO PÚBLICO DE ENERGÍA ELÉCTRICA CON CARACTERÍSTICAS Y UNIDADES DE MEDIDA

PLIEGO SUPLENTE ADICIONAL 007 - 2

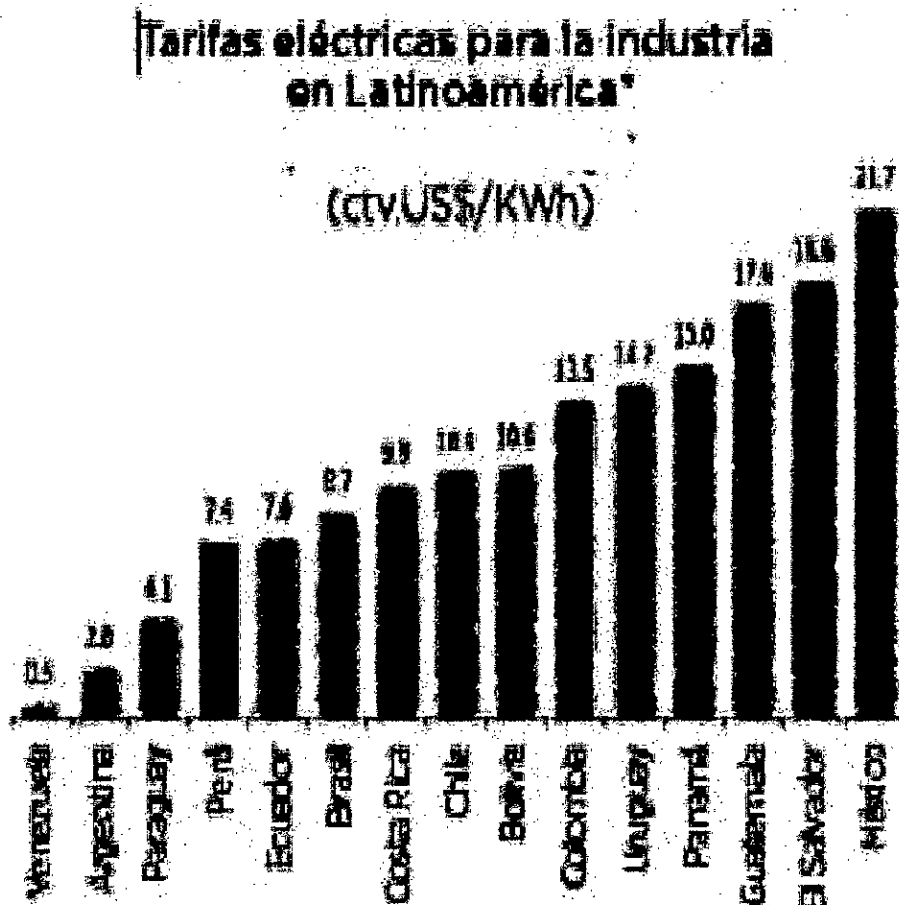
P. 07 - 007

		1000 kWh	1000 kWh	1000 kWh	1000 kWh	1000 kWh	1000 kWh	1000 kWh	1000 kWh	1000 kWh
TARIFA PARA DISTRIBUCIÓN CON ALIMENTACIÓN A TENSIONES NOMINALES DE 132 KV Y 220 KV										
TARIFA NOMINAL CON MEDICIÓN COMPLETA DE ENERGÍA Y CONTINUIDAD O MEDICIÓN DE ENERGÍA POR FASES - 220										
Carga residencial	0.71	9.85	9.85	9.85	9.85	18.50	16.61	16.11	16.31	29.47
Carga por energía activa en punto	25.57	25.81	25.81	25.81	25.81	21.06	21.24	21.50	25.68	25.76
Carga por energía activa en línea de transmisión	21.23	20.80	20.77	21.31	20.77	21.06	21.24	21.50	20.90	21.37
Carga por potencia activa en punto	62.40	62.22	62.22	62.22	62.22	25.22	27.03	25.26	65.25	56.27
Carga por potencia activa en línea de transmisión	61.00	61.78	62.00	62.00	62.00	61.67	63.67	61.67	63.45	62.31
Carga por energía reactiva en punto	13.03	11.91	13.04	13.04	13.04	14.82	13.14	13.25	13.50	13.25
Carga por energía reactiva en línea de transmisión	4.88	4.88	4.88	4.88	4.88	4.84	4.84	4.84	4.88	4.88
TARIFA NOMINAL CON MEDICIÓN COMPLETA DE ENERGÍA Y CONTINUIDAD O MEDICIÓN DE ENERGÍA POR FASES - 132										
Carga residencial	0.74	9.85	9.85	9.85	9.85	16.50	14.86	14.12	15.46	29.47
Carga por energía activa en punto	25.57	25.81	25.81	25.81	25.81	21.06	21.24	21.50	25.68	25.76
Carga por energía activa en línea de transmisión	21.23	20.80	20.77	21.31	20.77	21.06	21.24	21.50	20.90	21.37
Carga por potencia activa en punto	64.82	63.85	63.85	63.85	63.85	25.62	25.31	26.33	61.11	62.59
Potencia en punto	64.82	63.85	63.85	63.85	63.85	25.62	25.31	26.33	61.11	62.59
Potencia en línea	36.82	33.44	33.44	33.44	33.44	17.26	16.33	16.77	30.44	30.75
Carga por potencia reactiva en punto de distribución	12.85	12.47	13.85	13.85	13.85	13.84	13.35	14.85	13.74	14.67
Potencia en punto	12.85	12.47	13.85	13.85	13.85	13.84	13.35	14.85	13.74	14.67
Potencia en línea	12.82	12.27	13.44	13.44	13.44	14.22	12.83	14.46	13.29	14.63
Carga por energía reactiva en línea de transmisión	4.88	4.88	4.88	4.88	4.88	4.84	4.84	4.84	4.88	4.88
TARIFA NOMINAL CON MEDICIÓN COMPLETA DE ENERGÍA Y CONTINUIDAD O MEDICIÓN DE ENERGÍA POR FASES - 110										
Carga residencial	0.74	9.85	9.85	9.85	9.85	16.50	14.86	14.12	15.46	29.47
Carga por energía	22.25	22.81	22.81	22.81	22.81	21.06	21.24	21.50	22.09	22.42
Carga por potencia activa en punto	64.82	63.85	63.85	63.85	63.85	25.62	25.31	26.33	61.11	62.59
Potencia en punto	64.82	63.85	63.85	63.85	63.85	25.62	25.31	26.33	61.11	62.59
Potencia en línea	36.82	33.44	33.44	33.44	33.44	17.26	16.33	16.77	30.44	30.75
Carga por potencia reactiva en punto de distribución	12.85	12.47	13.85	13.85	13.85	13.84	13.35	14.85	13.74	14.67
Potencia en punto	12.85	12.47	13.85	13.85	13.85	13.84	13.35	14.85	13.74	14.67
Potencia en línea	12.82	12.27	13.44	13.44	13.44	14.22	12.83	14.46	13.29	14.63
Carga por energía reactiva en línea de transmisión	4.88	4.88	4.88	4.88	4.88	4.84	4.84	4.84	4.88	4.88
TARIFA PARA SUBSCRIPCIÓN POR ALIMENTACIÓN A TENSIONES NOMINALES DE 132 KV Y 220 KV										

Fuente: ENEL (2017)

ANEXO N°10

PRECIO DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA INDUSTRIAL TRIFÁSICA



Fuente: OSINERGMIN

Fuente: OSINERGMIN (2017)

ANEXO N°11

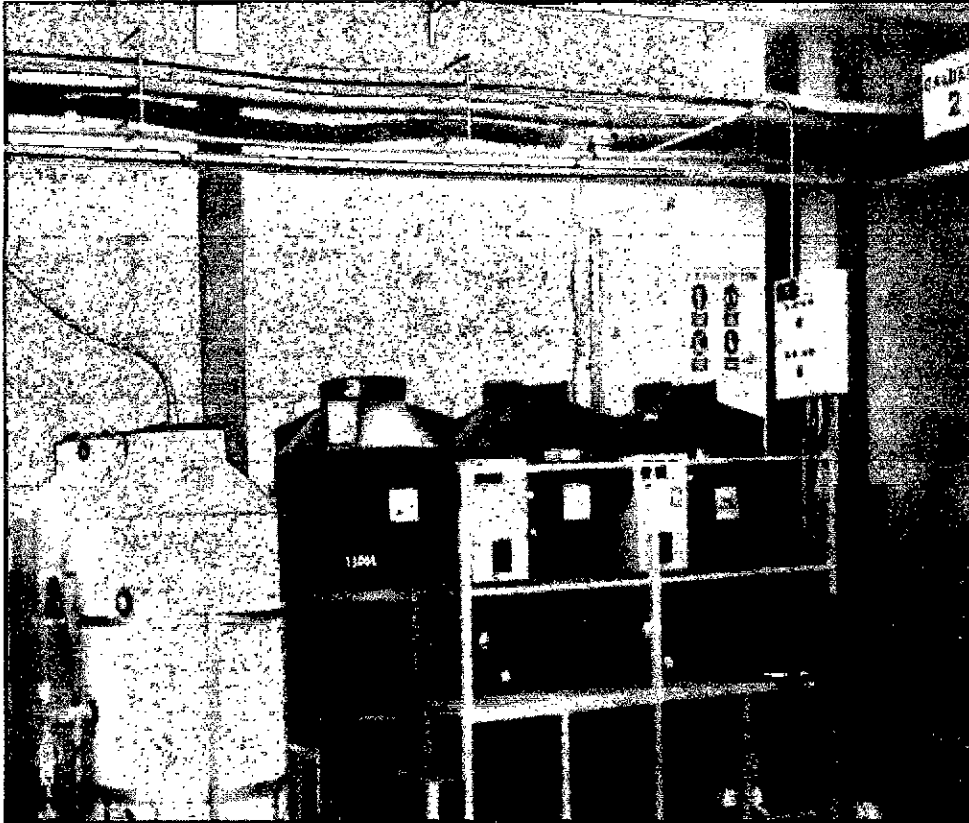
**PROCESO DE CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE
ELECTROFLOCULACIÓN
EN LAVANDERÍA NEVADOS SAC**



Fuente: LAVANDERÍA NEVADOS SAC (2017)

ANEXO N°12

SISTEMA DE ELECTROFLOCULACIÓN EN LAVANDERÍA NEVADOS SAC



Fuente: LAVANDERÍA NEVADOS SAC (2017)