

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental

Tesis

**Tratamiento electroquímico de aguas residuales  
procedentes del Camal Municipal de Anta,  
Cusco - 2021**

Juan Carlos Ticona Flores

Para optar el Título Profesional de  
Ingeniero Ambiental

Huancayo, 2021

Repositorio Institucional Continental  
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

## AGRADECIMIENTO

Es oportuno este espacio para manifestar mi sincero agradecimiento a las instituciones que tienen la labor de brindar una educación universitaria de calidad, por ello expreso mi más profundo reconocimiento a la Universidad Continental, que actualmente es líder en la vanguardia de la educación universitaria que comprende diferentes campos como la; tecnológica, científica y cultural, ofreciendo una educación sin límites, y en lo que me respecta me permitió lograr mi tan anhelado sueño el de ser ingeniero y de esta manera pueda contribuir en el desarrollo de mi país.

No quiero dejar de expresar mi agradecimiento a mis maestros dedicados a la docencia universitaria, que dieron su valioso tiempo en mi formación profesional, especialmente a mis maestros de la escuela profesional de Ingeniería Ambiental, quienes enfocaron su esfuerzo en el sendero de mi vida profesional y que siempre estuvieron prestos a responder mis inquietudes, las veces que fueran necesarias, dando solución asertiva a mis preguntas que surgieron en el desarrollo de mi formación profesional.

También me es importante mencionar a las personas más cercanas y queridas como son mis familiares, amigos y compañeros de estudio, quiénes siempre estuvieron presente para darme palabras de ánimo, las cuales me motivaron a seguir adelante permitiéndome a no claudicar en el desarrollo de esta tesis.

Agradezco especialmente a mis padres, hermanos y hermanas por el apoyo incondicional que me dieron desde que empecé con mi formación profesional hasta el desarrollo de esta tesis.

## DEDICATORIA

A la comunidad científica y a todas las personas que se enmarcan en este camino de ser investigadores y así poder resolver los problemas ambientales, económicos y sociales que enfrentan los países en vías de desarrollo.

A mis padres: Tomas Ticona Coaquira, y Florentina Flores Ticona, a mi hermano el Mg. Tony Godofredo Ticona Flores, a mis hermanas; Irma, Nora y a mi hermano, el último, Marco Antonio.

Desde luego no puedo dejar de mencionar a la madre de mi hijo, Rut Cruz Quispe que me dio un hermoso hijo Enoc Elías.

## Contenido

AGRADECIMIENTO .....	II
DEDICATORIA .....	III
INTRODUCCIÓN .....	XIII
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO .....	1
1.1. Planteamiento y formulación del problema .....	1
1.1.1. Problema general. ....	3
1.1.2. Problemas específicos. ....	3
1.2. Objetivos .....	3
1.2.1. Objetivo general. ....	3
1.2.2. Objetivos específicos. ....	3
1.3. Justificación e importancia .....	4
1.3.1. Justificación económica. ....	4
1.3.2. Justificación social. ....	4
1.3.3. Justificación ambiental. ....	4
1.3.4. Justificación práctica. ....	5
1.3.5. Justificación metodológica. ....	5
1.3.6. Justificación teórica. ....	5
1.3.7. Importancia. ....	6
1.4. Hipótesis y descripción de variables .....	7
1.4.1. Hipótesis general. ....	7
1.4.2. Hipótesis específicas. ....	7
1.5. Identificación de las variables .....	7
1.5.1. Variable independiente .....	7
1.5.2. Variable dependiente. ....	7
1.5.3. Operacionalización de las variables .....	7
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO .....	9
2.1. Antecedentes del problema .....	9
2.1.1. Antecedentes a nivel internacional .....	9
2.1.2. Antecedentes a nivel nacional. ....	11
2.2. Bases teóricas .....	13
2.2.1. Aspectos eléctricos. ....	13
2.2.2. Procesos electroquímicos. ....	19
2.2.3. La electroquímica empleada en el tratamiento de aguas residuales. ....	27
2.2.4. Aguas residuales .....	29

2.2.5.	Procesos de tratamiento de aguas residuales.....	32
2.2.6.	Parámetros fisicoquímicos relevantes del agua residual.....	36
2.3.	Definición de términos básicos.....	40
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA.....		42
3.1.	Método y alcance de la investigación.....	42
3.1.1.	Tipo de investigación.....	42
3.1.2.	Nivel de investigación.....	43
3.2.	Diseño de la investigación.....	43
3.3.	Población y muestra.....	43
3.3.1	Población.....	43
3.3.2.	Muestra.....	43
3.4.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	44
3.4.1.	Construcción del sistema de electrólisis.....	44
3.4.2.	Toma de muestras de agua residual.....	48
3.4.3.	Tratamiento del agua residual por electrólisis.....	49
3.4.4.	Determinación de los parámetros fisicoquímicos del agua residual, posterior al tratamiento.....	60
3.4.5.	Técnicas estadísticas de análisis de datos.....	61
4.1.	Análisis de resultados.....	62
4.1.1.	Análisis de resultados para el efecto de la tensión eléctrica en la temperatura, conductividad, turbidez y pH (objetivo específico 1).....	62
4.1.2.	Análisis de resultados para los niveles de temperatura, conductividad, turbidez y pH del agua residual en la línea del tiempo (Objetivo específico 2).....	65
4.1.3.	Evaluación de resultados para la verificación de los parámetros fisicoquímicos antes y después del tratamiento.....	70
4.2.	Prueba de hipótesis.....	73
4.2.1.	Prueba de hipótesis para el efecto de la tensión eléctrica en la temperatura, conductividad eléctrica, turbidez y pH (Objetivo específico 1).....	73
4.2.2.	Prueba de hipótesis para los niveles de temperatura, conductividad eléctrica, turbidez y pH, en la línea del tiempo (Objetivo específico 2).....	80
4.3.	Discusión de resultados.....	84
CONCLUSIONES.....		87
RECOMENDACIONES.....		89
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		90
ANEXOS.....		95

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Operacionalización de variables .....	8
Tabla 2. Características físicas, químicas y biológicas del agua residual y su procedencia .....	31
Tabla 3. Materiales y herramientas empleados en la construcción de las celdas electrolíticas .....	45
Tabla 4. Materiales y herramientas empleados en la construcción de la fuente de energía.....	46
Tabla 5. Tensión y corriente de salida en la fuente de energía sin carga.....	47
Tabla 6. Materiales y herramientas empleados en la construcción de los electrodos y el soporte de electrodos.....	48
Tabla 7. p>value de normalidad para los parámetros fisicoquímicos objetivo específico 1 .....	62
Tabla 8. p>value de normalidad para los parámetros fisicoquímicos objetivo específico 2 .....	66
Tabla 9. Muestra los datos típicos de un experimento con un factor.....	73
Tabla 10. Varianza de los de modelos de efectos físicos para el análisis de un factor. ....	74
Tabla 11. Promedio de las medidas de la temperatura en (°C), tomadas a los 30 minutos por tratamiento y muestra. ....	74
Tabla 12. Resumen de la varianza de los modelos de efectos físicos para el análisis de un factor para la temperatura.....	75
Tabla 13. Promedio de las medidas de la conductividad eléctrica en (uS/cm), tomadas a los 60 minutos después de los 30 minutos de tratamiento. ....	76
Tabla 14. Resumen de la varianza de los modelos de efectos físicos para el análisis de un factor, para la conductividad eléctrica .....	76
Tabla 15. Promedio de las medidas de la turbidez en UNT del agua residual del Camal, tomadas a los 60 minutos después de los 30 minutos de tratamiento. ....	77
Tabla 16. Resumen de la varianza de los modelos de efectos físicos para el análisis de un factor, para la turbidez.....	78
Tabla 17. Promedio de las medidas del pH del agua residual del Camal, tomadas a los 60 minutos después de los 30 minutos de sometimiento al proceso electrolítico. ....	79

Tabla 18. Resumen de la varianza de los modelos de efectos físicos para el análisis de un factor. ....	79
Tabla 19. Resumen de la varianza de los modelos de efectos físicos para el análisis de la temperatura como un factor.....	80
Tabla 20. Resumen de la varianza de los modelos de efectos físicos para el análisis de la conductividad eléctrica como un factor. ....	81
Tabla 21. Resumen de la varianza de los modelos de efectos físicos para el análisis de la turbidez como un factor.....	82
Tabla 22. Resumen de la varianza de los modelos de efectos físicos para el análisis del pH como un factor.....	83
Tabla 23. Potencia de transformador y su porcentaje de incrementos para el secundario .....	99
Tabla 24. Potencia del transformador y su densidad de corriente .....	100
Tabla 25. Valores de hilos de cobre para bobinado .....	102

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Circuito eléctrico básico. Adaptado de (18). ....	13
Figura 2. a) Rampa con pendiente M b) Corriente senoidal c) Corriente exponencial Tomado de (18). ....	14
Figura 3. Gráfica de corriente continua (cd) en el tiempo. Tomado de (18). ....	15
Figura 4. Señal de tensión alterna. Tomado de (20). ....	17
Figura 5. Gráfica de tensión continua, constante en el tiempo. Tomado de (18). ..	18
Figura 6. Circuito simple, a) flujo de la corriente convencional, b) flujo de electrones. Adaptado de (18). ....	19
Figura 7. Símbolo fuente a) Fuente de tensión b) Fuente de corriente. Tomado de (18). ....	20
Figura 8. Circuito de conversión de corriente alterna a corriente continua. Adaptado de (24). ....	21
Figura 9. a) Sistema de electrólisis b) Flujo de electrones y protones. Adaptado de (23). ....	24
Figura 10. Celda voltaica que emplea un puente salino para completar el circuito eléctrico. Tomado de (23). ....	25
Figura 11. Representación de la reacción de óxido reducción en una celda voltaica. Tomada de (28). ....	26

Figura 12. Esquema propuesto para el tratamiento de aguas residuales procedentes de la industria alimentaria. Tomada de (34). .....	32
Figura 13. Doble capa de una partícula coloidal.....	35
Figura 14. Dimensiones de las celdas electrolíticas.....	45
Figura 15. Celda electrolítica de 3 litros.....	46
Figura 16. Diagrama eléctrico de la fuente de energía, realizada en el software Proteus, versión 8.....	47
Figura 17. Dimensiones de los electrodos fabricados con acero inoxidable. ....	48
Figura 18. Estructura para los parámetros fisicoquímicos.....	50
Figura 19. Temperatura por Voltio. Tomado del procesamiento de datos a través del Software Minitab versión 18.....	63
Figura 20. Conductividad eléctrica por Voltios. Tomado del procesamiento de datos a través del software Minitab versión 18. ....	64
Figura 21. Turbidez por Voltios. Tomado del procesamiento de datos a través del software Minitab versión 18. ....	65
Figura 22. pH por Voltios. Tomado del procesamiento de datos a través del software Minitab versión 18. ....	65
Figura 23. Temperatura por Voltios. Tomado del procesamiento de datos a través del software Minitab versión 18. ....	67
Figura 24. Temperatura por Voltios en 60 minutos. Tomado del procesamiento de datos a través del software Minitab versión 18.....	67
Figura 25. Conductividad eléctrica por Voltios en 60 minutos. Tomado del procesamiento de datos a través del software Minitab versión 18.....	68
Figura 26. Turbidez por Voltio en 60 minutos. Tomado del procesamiento de datos a través del software Minitab versión 18. ....	69
Figura 27. pH por Voltio en 60 minutos. Tomado del procesamiento de datos a través del software Minitab versión 18. ....	70
Figura 28. Diagrama de barras para los parámetros fisicoquímicos antes y después del tratamiento. ....	72
Figura 29. Diagrama de barras para los parámetros fisicoquímicos antes y después del tratamiento en %. ....	72
Figura 30. Representación de ubicación del Fisher crítico y el Fisher calculado para la temperatura, no representa una distribución normal.....	75
Figura 31. Dimensiones del recipiente empleado para el aforo.....	97

Figura 32. Conjunto de hierro en forma de E empleado para el transformador. ....	98
Figura 33. Dimensiones del hierro del transformador en forma de E.....	101
Figura 34. Diagrama del circuito eléctrico del sistema de la electrólisis.....	104
Figura 35. Fuente de alimentación de 18,5V; 35,1V; 52,7V y 70,8V en continua con cables y sus respectivos cocodrilos conectados al polo positivo y negativo. ....	115
Figura 36. Tratamiento dos (T2) de la muestra uno (M1), para el objetivo específico 1, con submuestras en los recipientes pequeños, identificado con colores y letras del alfabeto.....	115
Figura 37. Recipientes con sus respectivos electrodos preparados, identificados con colores y letras del alfabeto, para el objetivo específico 2. ....	116
Figura 38. Muestra tratada durante 60 minutos para el objetivo específico 2, que ha sido sometido al nivel de tensión de 18,5V. ....	116
Figura 39. Muestra en proceso de tratamiento para el objetivo 2, durante 60 minutos, sometido a 70,8V. ....	117
Figura 40. Agua residual de 3 litros tratada con 58 V, durante 90 minutos, para el cumplimiento del objetivo específico 3. ....	117
Figura 41. Muestra tomada para la verificación de los sólidos totales, a la izquierda se tiene las muestras antes de ingresar a la estufa y a la derecha dentro de la estufa, para el cumplimiento del objetivo específico 3. ....	118
Figura 42. Muestra salida de la estufa, para el cumplimiento del objetivo específico 3.....	118
Figura 43. Proceso de fijación del oxígeno (método Winkler) en muestra de agua tratada con 58V, durante 90 minutos, para el cumplimiento del objetivo específico 3.....	119
Figura 44. Incubación de la muestra por un periodo de 5 días. ....	119
Figura 45. Determinación de la demanda química de oxígeno de la muestra tratada con 58 V, durante 90 minutos, para el cumplimiento del objetivo específico 3...	120
Figura 46. Determinación de fosfatos (método del colorímetro) de la muestra tratada con 58 V, durante 90 minutos, para el cumplimiento del objetivo específico 3...	120
Figura 47. Determinación del nitrógeno total (método Kjeldahl) de la muestra tratada con 58 V, durante 90 minutos para, el cumplimiento del objetivo específico 3...	121
Figura 48. Determinación de materia orgánica (método dicromatometría fosfatos) de la muestra tratada con 58 V, durante 90 minutos, para el cumplimiento del objetivo específico 3. ....	121

Figura 49. Grupos de muestras de agua residual en recipientes de un litro sometidas a un nivel de tratamiento.....	123
Figura 50. Muestras tratadas a diferentes tensiones, vistas a través de la luz para un tiempo de 30 minutos.....	123
Figura 51. Variación de voltaje de la fuente, caída de voltaje y consumo de corriente de las muestras sometidas al sistema de electrólisis. ....	124
Figura 52. Variación en el tiempo de la relación de la temperatura, pH, caída de voltaje y el consumo de corriente que produce una muestra al ser sometida a 58V. ....	125
Figura 53. Comportamiento de la turbidez en el tiempo, para un litro de muestra a 58V.....	126

## RESUMEN

El presente estudio de aplicación de la electrólisis en el tratamiento de las aguas residuales del Camal municipal de Anta, lleva por título “TRATAMIENTO ELECTROQUÍMICO DE AGUAS RESIDUALES PROCEDENTES DEL CAMAL MUNICIPAL DE ANTA, CUSCO - 2021”, y tiene por objeto determinar la posibilidad de tratar el agua residual procedente del Camal municipal de Anta, mediante la electrólisis, Cusco-21, para lo cual se empleó el método hipotético deductivo, donde el tipo de investigación estuvo enmarcada en la aplicada, correlacional y experimental. Sin embargo, el nivel de investigación fue explicativo, así como el diseño de la investigación fue experimental.

Los métodos que se emplearon para la medición de los parámetros fisicoquímicos fueron; para la temperatura, la termometría; para la conductividad eléctrica, la conductimetría; para la turbidez, la espectrofotometría; para el potencial de hidrogeniones, el pH-metro; para los Sólidos suspendidos totales (SST), el Gravimétrico; para las Grasas y aceites, la Partición gravimétrica; para la Demanda biológica de oxígeno ( $DBO_5$ ), el Colorimétrico de dicromato; para el Nitrógeno total (NT), el Kjeldahl; para el Fósforo total (PT), el Colorimétrico por observancia de la luz.

Los diferentes niveles de tensión aplicados a las aguas residuales del Camal municipal de Anta, produjeron efectos significativos ya sea en la línea del tiempo o en la comparación de los valores antes y después del tratamiento electroquímico, produciendo niveles distintos por cada parámetro de estudio.

Sin embargo, la conductividad eléctrica (CE), descendió su valor en 6,98%, la turbidez en (UNT) descendió su valor en 99,90%, el pH incrementó su valor en 10,12%, los sólidos suspendidos totales (SST) descendieron su valor en 98,06%, la demanda biológica de oxígeno ( $DBO_5$ ) descendió su valor en 91,60%, la demanda bioquímica de oxígeno (DQO) descendió su valor en 80,15%, las grasas y aceites descendieron su valor en 95,50%, el fósforo total (PT) descendió su valor en 52,38%, el nitrógeno total (NT) descendió su valor en 50,00% su valor, luego del sometimiento a la electrólisis.

## ABSTRACT

The present study on the application of electrolysis in the treatment of wastewater from the municipal Camal de Anta, is entitled "ELECTROCHEMICAL TREATMENT OF WASTEWATER FROM THE MUNICIPAL CAMAL DE ANTA, CUSCO - 2021", and aims to determine the possibility of treat the wastewater from the municipal Camal de Anta, by electrolysis, Cusco-21, for which the hypothetical deductive method was used, where the type of research was framed in the applied, correlational and experimental. However, the research level was explanatory, as well as the research design was experimental.

The methods used to measure the physicochemical parameters were; for temperature, thermometry; for electrical conductivity, conductimetry; for turbidity, spectrophotometry; for the potential of hydrogen ions, the pH meter; for Total Suspended Solids (SST), the Gravimetric; for Fats and oils, the Gravimetric Partition; for the biological oxygen demand (BOD<sub>5</sub>), the colorimetric of dichromate; for Total Nitrogen (NT), the Kjeldahl; for Total Phosphorus (PT), the Colorimetric by observance of light.

The different voltage levels applied to the wastewater of the Anta municipal Camal, produced significant effects either in the time line or in the comparison of the values before and after the electrochemical treatment, producing different levels for each parameter of study.

However, the electrical conductivity (EC) decreased its value by 6.98%, the turbidity in (UNT) decreased its value by 99.90%, the pH increased its value by 10.12%, the total suspended solids (SST ) decreased their value by 98.06%, biological oxygen demand (BOD<sub>5</sub>) decreased their value by 91.60%, biochemical oxygen demand (COD) decreased their value by 80.15%, fats and oils decreased their value by 95.50%, total phosphorus (PT) decreased its value by 52.38%, total nitrogen (NT) decreased its value by 50.00% its value, after being subjected to electrolysis.

## INTRODUCCIÓN

El Camal municipal de Anta, ubicado en el Distrito de Anta, Provincia de Anta, Departamento del Cusco, con dirección en la Urbanización Santa Rosa, calle Inmaculada s/n, lote R1-20, inicia sus actividades de faenado de bovino el año 2013, con la autorización de la municipalidad de Anta, con el certificado N° 0011, donde se registra la autorización municipal para el funcionamiento de manera indeterminada prestando los servicios de Camal municipal. Posteriormente en el año 2014, logra su autorización temporal de funcionamiento de matadero, centro de proceso de carne y cámara frigorífica por parte del Ministerio de Agricultura y Riego (MINAGRI), del Servicio de Sanidad Agraria (SENASA), y de la dirección de insumos agropecuarios e inocuidad agroalimentaria de la subdirección de inocuidad agroalimentaria sede Cusco, por el periodo de un año, para la producción de carne fresca y menudencias de bovino, para tal fin se emplea recursos como: agua y energía eléctrica, que facilitan la labor de faenado, este proceso genera residuos sólidos y líquidos. Los residuos líquidos son vertidos al río Hatunmayo, sin ningún tipo de tratamiento, provocando impactos negativos en los ecosistemas del río, así como en la población aledaña al Camal, por tal motivo urge la intervención inmediata a las aguas residuales del Camal para evitar la contaminación del río, así como el deterioro de la salud de la población.

Por tal fin, se empleó la técnica de la electrólisis para el tratamiento de las aguas residuales del Camal, con el objetivo de lograr el cumplimiento de la norma para vertidos de aguas residuales de origen agroindustrial - Límites Máximos Permisibles (LMP) para plantas de beneficio o Camales dados por la RM N° 01-2009-MINAM.

Para el desarrollo de esta tesis se utilizó la electrolisis como una técnica para el tratamiento de las aguas residuales difíciles de tratar por métodos convencionales, es así que en el Capítulo I, se plantea el problema y el objetivo de estudio en el cual se ha de enmarcar la investigación, así mismo se justifica el por qué y el para qué de la investigación, describiendo su importancia y el planteamiento de la hipótesis que en adelante se ha de probar, también se identifican las variables de estudio, donde las variables independientes son la tensión eléctrica y el tiempo, la variable dependiente es el agua residual tratada del Camal municipal de Anta.

En el Capítulo II, se presentan los lineamientos de apoyo científico como son los antecedentes referentes al tema de estudio y la teoría correspondiente a los temas inmersos en dicho estudio, en este caso la electrólisis y las aguas residuales. Respecto a la electrólisis se identificó sus elementos individuales como parte de un sistema, considerándose los aspectos eléctricos, electrónicos y las reacciones que se producen cuando se pone en actividad la electrólisis en la celda electrolítica. En lo que respecta a las aguas residuales se describió su origen, composición, características, métodos y procesos de tratamiento.

En el Capítulo III, se presenta el desarrollo de la metodología, el nivel, diseño, la población, muestra y las técnicas e instrumentos de recolección de datos, en este capítulo se describe el desarrollo del sistema de electrólisis con cada uno de sus componentes, lográndose obtener diferentes niveles de tensión: 15V, 30V, 45V y 60 Voltios en alterna con corriente máxima de 16.7 amperios.

En el Capítulo IV, se realiza el análisis de los resultados, la prueba de hipótesis y la discusión de resultados. Los análisis de los resultados del objetivo específico uno y dos, fueron realizados mediante el software Minitab versión 18, eligiéndose como primer paso la prueba de normalidad, con Ryan-Joiner como comparador que es similar a Shapiro-Wilk que corresponde su uso para datos menores a 50, sin embargo, para el análisis de la varianza se utilizó la técnica de Anova, empleando el software Minitab versión 18, con las siguientes consideraciones: grado de confianza del 95% con una significancia de 5%, la comparación de datos se realizó por nivel de tensión según Tukey, el cual asume varianzas iguales para los diferentes parámetros. Por consiguiente, la prueba de hipótesis solo se realizó para los objetivos específicos uno y dos, de acuerdo con Montgomery y Runger. Referente a la discusión de resultados se hizo una comparación con los estudios realizados similares a esta investigación, considerándose como oportuno el objetivo específico tres, donde se consideró los resultados del análisis de los parámetros fisicoquímicos previo y posterior al tratamiento electroquímico, estos son: temperatura, turbidez, conductividad eléctrica, el

potencial de hidrogeniones, Demanda Biológica de Oxígeno ( $DBO_5$ ), Oxígeno Disuelto (OD), Sólidos Suspendidos Totales (SST), Nitrógeno Total (NT), Fósforo Total (PT).

## CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

### 1.1. Planteamiento y formulación del problema

Según la Fundación, El Club de los Diez Millones, la población del mundo ascenderá en las próximas décadas de 8 a 10 mil millones de habitantes, y sumado a este fenómeno, el cambio climático, que pone en manifiesto los problemas ambientales que ha de enfrentar la humanidad (1), quiénes, al satisfacer sus necesidades generan residuos que deterioran los ríos de América Latina, Asia y África, así también el uso indiscriminado de los recursos naturales, el cual data sus orígenes con mayor auge desde la década de 1990 (2) provoca el desabastecimiento de alimentos así como la materia prima para las industrias. Sin embargo, los países industrializados para el año 2001 llegaron a tratar sus aguas residuales en un 90 % y los países en vías de desarrollo solo trataron en un 33% (3), no obstante, en América Latina el 70% de las aguas residuales no cuentan con ningún tipo de tratamiento, pero a nivel de Perú, solo se invirtió en tratamiento de aguas residuales el 30%, esto según el plan nacional de saneamiento rural y urbano (4).

Por otro lado, en el Perú solo se logró autorizar a 82 establecimientos de beneficio de Camales desde el año 2010 al 2019, otorgándoles la licencia de funcionamiento de Camales por SENASA (5), ya que así lo establece el Decreto Supremo N° 015-2012-AG, por otra parte los establecimientos que no se ajustaron a dicho decreto, generan problemas ambientales al verter sus aguas residuales sin ningún tipo de tratamiento a las fuentes naturales, provocando impactos negativos en los ecosistemas acuáticos y los sectores aledaños.

Referente al Camal municipal de Anta, para el año 2013 se reportó 7639 animales faenados y para el año 2014, un total de 6031 animales faenados, lo cual generó 2 camiones de 18  $m^3$  de residuos sólidos al mes y 0,795 L/s de agua residual a la semana, teniendo como punto de vertimiento la siguiente coordenada; UTM: 18 L; 0808295 m E; 8509880 m S, a 3356 msnm. En la actualidad se aprecia el deterioro y la degradación de los ecosistemas del río Hatunmayo, ello originado por la falta de implantación de sistemas que puedan mitigar tales efectos negativos.

El Camal municipal de Anta al encontrarse en una zona urbana genera efectos negativos en la salud pública, la calidad de vida, en el normal funcionamiento de los comercios y en centros educativos, donde afecta la capacidad de concentración de los estudiantes del colegio que está a 100m del camal, impide el normal tránsito de las personas que corren el riesgo de contraer enfermedades o de ser atacados por los animales como aves, canes, roedores e insectos que se concentran en la periferia del camal y en el punto de vertimiento de las aguas residuales, ya que estos animales son atraídos por los olores de los restos de vísceras, rumen, bosta y por agua residual propiamente dicha.

La falta de un sistema de gestión ambiental y un sistema de gestión de riesgos intrínsecos y extrínsecos al Camal municipal ha provocado conflictos sociales entre la población y los directivos del Camal municipal por los efectos mencionados anteriormente, ello implica su inmediata intervención en el manejo de los residuos sólidos y líquidos, además se ha observado que las aguas contaminadas del río Hatunmayo, son empleadas para el riego y bebida de animales mayores, con ello se afirma que el Camal municipal, llega a ser un foco de contaminación y proliferación de enfermedades generando perjuicios al ecosistema, degradando el medio ambiente y disminuyendo la calidad de vida de la población afectada.

### 1.1.1. Problema general.

¿En qué medida es posible tratar el agua residual procedente de Camal municipal de Anta, mediante electrólisis, Cusco - 2021?

### 1.1.2. Problemas específicos.

- ¿Cuál es el efecto de la tensión eléctrica en la temperatura, conductividad eléctrica, turbidez y pH del agua residual procedente del Camal municipal de Anta?
- ¿Cómo varían los niveles de la temperatura, conductividad eléctrica, turbidez y pH del agua residual en la línea de tiempo al ser sometida a la electrólisis?
- ¿Cuál es el nivel de los parámetros fisicoquímicos del agua residual antes y después del tratamiento por electrólisis?

## 1.2. Objetivos

### 1.2.1. Objetivo general.

Determinar la posibilidad de tratar el agua residual procedente del Camal municipal de Anta, mediante electrólisis, Cusco - 2021.

### 1.2.2. Objetivos específicos.

- Determinar el efecto de la tensión eléctrica en la temperatura, conductividad eléctrica, turbidez y pH del agua residual procedente del Camal municipal de Anta.
- Determinar los niveles de la temperatura, conductividad eléctrica, turbidez y pH del agua residual en la línea de tiempo al ser sometida a la electrólisis.
- Determinar el nivel de los parámetros fisicoquímicos del agua residual antes y después del tratamiento por electrólisis.

### 1.3. Justificación e importancia

#### 1.3.1. Justificación económica.

El desarrollo de esta tesis, de la aplicación de la electrolisis en el tratamiento de las aguas residuales del Camal municipal de Anta fue necesario y oportuno ya que ninguna acción que se realice en un futuro cercano devolverá lo perdido, al ambiente natural del río Hatunmayo, de tal manera, esta tesis promete recuperar y buscar nuevas alternativas para el tratamiento de las aguas residuales del Camal. Sin embargo, económicamente ninguna acción que se pretenda realizar en la recuperación de la degradación de medios naturales debe ser medida monetariamente, ya que los costos en el futuro serían mucho mayores y tal vez innecesarios, porque se correría el riesgo de no poder volver a su estado natural o actual las aguas del río Hatunmayo, ya que el impacto sería mucho mayor que el del presente, perdiendo de esta manera los beneficios ambientales que provee el río.

#### 1.3.2. Justificación social.

Los grupos sociales inmersos dentro del área de influencia del Camal municipal de Anta, que hoy en día son afectados directa o indirectamente por los impactos negativos que hoy genera el vertimiento de las aguas residuales sin tratar, tendrán la posibilidad de gozar una mejor calidad de vida ya sea física o psicológica, una vez que se implemente la técnica de la electrolisis como parte de un sistema de tratamiento de las aguas residuales del Camal, el cual favorecerá en la salud pública de la población afectada.

#### 1.3.3. Justificación ambiental.

La implementación de la electrólisis como uno de los factores del sistema de tratamiento de las aguas residuales del Camal municipal de Anta, contribuirá a la descontaminación del río Hatunmayo, logrando de esta manera aplacar los impactos negativos que hoy en día afectan a los ecosistemas naturales del afluente en mención y a la población que depende de sus beneficios ambientales.

#### 1.3.4. Justificación práctica.

Las bondades que tiene la electrólisis en el tratamiento de las aguas residuales como: la electrodeposición, electrocoagulación, electroflotación, electrooxidación y la electrodesinfección, así como la simplicidad de entender el sistema de la electrólisis, permitieron desarrollar esta tesis, que, de seguro al ser incorporado en los procesos de tratamiento de aguas residuales del camal, tendrá buenos resultados en la práctica en favor del medio ambiente.

#### 1.3.5. Justificación metodológica.

El fácil acceso a los componentes del sistema de electrólisis, permitieron diseñar el sistema de tratamiento de acuerdo con el tipo de agua a tratar, con la ventaja de ser automatizados, con controles de caudal, tiempo, temperatura, pH, y conductividad eléctrica, así como la elección del tipo de electrodo a emplear, el nivel de tensión que se ha de aplicar y el nivel de corriente que se ha de suministrar para el tratamiento de aguas residuales, ello permite que se abra un campo de investigación según sea el tipo de agua a tratar y los materiales que se han de emplear en la construcción del sistema de electrólisis.

#### 1.3.6. Justificación teórica.

La presente investigación al estar enmarcada en el método científico, logra fortalecer las teorías científicas, que al conocerlas y aplicarlas permitieron adquirir dominio y destreza en el tratamiento del agua residual del Camal municipal de Anta, con el único objeto de dar solución al problema ambiental. La electrolisis se presenta como una tecnología innovadora, trayendo consigo ventajas como; en su manejo, aplicación e implementación, dentro de los procesos unitarios de tratamiento de aguas residuales. Su implementación en el Camal municipal de Anta, permitirá tener una nueva perspectiva de tratamiento de las aguas residuales, generando así confianza en las entidades dedicadas a este rubro y en las instituciones académicas que imparten capacitación en estas áreas, así como generará confianza en la población al ver los resultados obtenidos del proceso de tratamiento de las aguas residuales del Camal municipal de Anta.

### 1.3.7. Importancia.

La presente investigación tiene como importancia, buscar nuevas tecnologías, que sean innovadoras y eficientes, en el tratamiento de aguas residuales, que presenten cierta dificultad de tratamiento por los métodos convencionales y que, al ser implementadas, tenga trascendencia en la sociedad, buscando la sostenibilidad de los ecosistemas naturales para mejorar la calidad de vida de la población aledaña a la zona de estudio. Su importancia reside más en tratar la fuente de contaminación que genera el Camal municipal de Anta y así evitar conflictos sociales entre los directivos del camal y la población.

#### 1.4. Hipótesis y descripción de variables

##### 1.4.1. Hipótesis general.

Es posible tratar el agua residual procedente del Camal municipal de Anta, mediante electrólisis, Cusco-2021.

##### 1.4.2. Hipótesis específicas.

- El efecto de la tensión eléctrica en la temperatura, conductividad eléctrica, turbidez y pH del agua residual procedente del Camal municipal de Anta, es significativo.
- Los niveles de la temperatura, conductividad eléctrica, turbidez y pH del agua residual varían significativamente en la línea del tiempo al ser sometida a la electrólisis.
- El nivel de los parámetros fisicoquímicos del agua residual antes y después del tratamiento varían significativamente.

#### 1.5. Identificación de las variables

##### 1.5.1. Variable independiente

Electrólisis.

##### 1.5.2. Variable dependiente

Agua residual tratadas del Camal municipal de Anta.

##### 1.5.3. Operacionalización de las variables

A continuación, se presenta la operacionalización de las variables ver Tabla 1.

Tabla 1. Operacionalización de variables

Variables	Definición conceptual	Dimensiones	Indicadores	Método	Unidad
<b>V. independiente</b> Electrólisis	Procesos donde existen reacciones de oxidación y reducción gracias a la corriente continua.	Electrólisis	Tensión eléctrica	Voltimetría	V
			Tiempo	Cronometría	s
<b>V. dependiente</b>  Agua residual tratada del Camal municipal de Anta.	Aguas residuales que fueron sometidos a diversos procesos para su mejoramiento.	Parámetros Físicos	Temperatura	Termometría	°C
			Conductividad	Conductimetría	$\mu S/cm$
			Turbiedad	Espectrofotometría	UNT
			Sólidos suspendidos totales (SST)	Gravimétrico	mg/L
			Grasas y aceites	Partición gravimétrica	mg/L
			Potencial de hidrogeniones ( <i>pH</i> )	pH- metro	mol/L
			Demanda biológica de oxígeno (DBO <sub>5</sub> ).	Winkler	mg/L
			Demanda química de oxígeno (DQO).	Colorimétrico de dicromato	mg/L
			Nitrógeno total (NT)	Kjeldahl	mg/L
			Fósforo total (PT)	Colorimétrico	mg/L

## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes del problema

#### 2.1.1. Antecedentes a nivel internacional

Arango y Garcés, estudiaron el Efectos del pH y la conductividad eléctrica, en la electrocoagulación de aguas residuales de la industria láctea, con el objeto de estudiar los efectos del pH y la conductividad eléctrica, sobre el proceso de electrocoagulación de aguas residuales de la industria láctea, empleando el método factorial de  $3 \times 2 \times 3$ , cuyos factores fueron el pH, la conductividad eléctrica y el tiempo observado, su efecto en la DQO, llegando a los siguientes resultados de remoción de 93,99 % de la DQO a pH de 5, densidad de corriente de  $43,23 \text{ A/m}^3$  y 15 minutos de tratamiento (6).

Calderón y Aramburú, estudiaron la electrocoagulación para controlar la turbidez y el pH en el tratamiento de efluentes minero-metalúrgicos polimetálico, con el siguiente objetivo, estudiar la electrocoagulación para controlar la turbidez y el pH en el tratamiento de efluentes minero-metalúrgicos polimetálico, empleando el siguiente método: para la determinación de la turbidez, usó la espectrofotometría visible y para el pH, empleó la eficiencia de pH-metro y pruebas experimentales, obteniendo los siguientes resultados. El resultado antes del tratamiento fue: absorbancia 2,223 y 2769,175 mg/L de sólidos totales suspendidos, pH =10, eficiencia del pH metro 95%. Después del tratamiento fue: absorbancia, 0,045 y 46,68 mg/L de sólidos suspendidos totales, pH = 8: eficiencia del pH metro 98%, área del electrodo de  $0,0925 \text{ m}^2$ ; para el ánodo y  $0,3041 \text{ m}^2$ ; para el cátodo, intensidad de corriente de  $86,47 \text{ A/ m}^2$ , 2 V y 5 A (7).

Oña y Falconi, desarrollaron el estudio referido al tratamiento avanzado de aguas residuales del proceso de lavado y tinturado de jeans en la empresa “MUNDO COLOR”. El objetivo de la investigación fue realizar el tratamiento de aguas residuales del proceso de lavado y tinturado de jeans en la empresa “MUNDO COLOR” mediante electrocoagulación. Para tal fin estudiaron los diferentes métodos existentes, logrando tener buenos resultados con el de electrocoagulación, para luego diseñar el prototipo y

tratar las aguas contaminadas, obteniendo los siguientes resultados: el pH varió en un rango de 5 a 9, en todas las pruebas, la  $DBO_5$  varió en un 30,77%, para 4lt/min aplicado a 30 V, la DQO varió en un 29,1% aplicado para 4lt/min aplicado a 30 V (8).

Martínez, estudió el tratamiento de aguas residuales industriales mediante electrocoagulación y coagulación convencional, con el objetivo de analizar los procesos de tratamiento de coagulación y electrocoagulación química de aguas residuales, empleando los siguientes métodos analíticos; para la turbidez se empleó el método Nefelométrico, para el pH el método de titulación, para la demanda biológica de oxígeno se empleó el HACH, para las reacción de aluminio con ferrón, se empleó el método de óxido reducción. Llegando a los siguientes resultados: para el estudio de aguas residuales sintética con caolinita asistida, con electrocoagulación; para el flujo continuo, se observó que la turbidez desciende bruscamente y el pH se mantiene casi constante y el voltaje igual o constante, el electrodo de aluminio hace su incremento lentamente para luego permanecer casi constante, además observó que el pH tiene influencia en la reducción de la turbidez, si se incrementa el pH se reduce la turbidez a valores mínimos, el pH ácido favorece la reducción de la turbidez, mientras el pH neutro y básicos reducen la eficacia del tratamiento (9).

Cotillas Soriano, estudió la regeneración de aguas residuales depuradas mediante procesos electroquímicos integrados, con el objetivo de integrar las diferentes tecnologías electroquímicas para dar lugar a operaciones de tratamiento multipropósito que permitan la regeneración eficiente de las aguas residuales, para procesos electroquímicos, empleó la metodología del cálculo de variables de operación y para su obtención empleó experimentos, llegando a los siguientes resultados: la turbidez, tiene un descenso por cada densidad de corriente aplicada en el lapso del tiempo aplicado; por densidad de corriente al descender, comienza a permanecer constante disminuyendo luego al incremento de la densidad de corriente. El pH tiene una ligera variación para incrementos de corriente que tiene un rango de 0,02 a 0,12 (10).

El Grupo de Investigación en Procesos Ambientales y Biotecnológicos (GIPAB), desarrollaron la investigación de la aplicación de la electroquímica en el tratamiento de aguas residuales, con el objeto de evaluar el método de electrocoagulación como una alternativa en el tratamiento de aguas residuales procedentes de la industria de curtiembres y floricultivo, para la degradación del contaminante, DQO, DBO<sub>5</sub> y COT, midiendo las concentraciones de los contaminantes (cromo y colorante) antes y después del tratamiento, empleando el siguiente método: revisión de la bibliografía, recolección de la muestra, construcción de la técnica analítica, construcción del reactor, pruebas de ensayo, evaluación y análisis de los resultados. Los resultados fueron: remoción del cromo en un 99,99% a 15V, con una concentración de 3280,3 ppm con electrodos de aluminio, hubo incremento de la temperatura en 50°C, también se incrementó el pH en un 79,5% (11).

#### 2.1.2. Antecedentes a nivel nacional.

Barboza, estudió la “Reducción de la Carga de Contaminantes de las Aguas Residuales de la Planta de Tratamiento de Totorá –Ayacucho Empleando la Técnica de Electrocoagulación”, con el siguiente objetivo: Reducir la carga contaminante de las aguas residuales de la planta de tratamiento de Totorá – Ayacucho, empleando el método de electrocoagulación con electrodos de sacrificio de aluminio, donde utilizó la siguiente metodología: para la eliminación de la carga contaminante, empleó electrodos de aluminio que varía de consumo de 0,1 a 1,0 kWh/m<sup>3</sup>, esto puede variar dependiendo al tipo de agua a tratar; para la obtención de los datos, sometió a procesos de coagulación convencional y electrocoagulación, al comparar los resultados obtenidos donde los parámetros fisicoquímicos se desarrollaron en el laboratorio, obteniendo en el porcentaje de remoción de turbidez los siguientes resultados: para la prueba uno, obtuvo 3,44 de turbidez el cual se redujo a 81,43 % de su valor inicial; para la prueba dos, obtuvo 2,43 de turbidez con una reducción de 86,88%; para la prueba tres, obtuvo 0,99 de turbidez con una reducción de 94,65%, para la prueba cuatro, obtuvo 1,5 de turbidez con una reducción de 91,9% y para la prueba cinco, con 2,27 de turbidez con una reducción de 87,74% respecto al valor inicial (12).

Apaza, estudió el sistema combinado electrocoagulación-filtro biológico para la remoción de carga orgánica de los efluentes lácteos, con el objetivo de diseñar, construir y evaluar un sistema combinado de electrocoagulación - filtro biológico, para la remoción de carga orgánica del efluente de la planta piloto de leche de la Universidad Nacional Agraria la Molina. Para la determinación de los parámetros, empleó el método de análisis de Standard Methods for the examination of water and wastewater, obteniendo los siguientes resultados, para la turbidez del efluente se logró una remoción del 99,30% (13).

Arce, H y Cruz, C, estudiaron el Tratamiento del efluente industrial de una planta de beneficio de reses, mediante el método de electrocoagulación de flujo a escala piloto, con el objetivo de tratar las aguas residuales de una planta de beneficios de reses, por el método de electrocoagulación de flujo y así obtener calidad de agua para el riego de vegetales, para ello emplearon la metodología de la experimentación, llegando a los siguientes resultados: para la turbiedad, se logró el 94% de remoción; para los sólidos suspendidos, el 21% de remoción; para la conductividad eléctrica, el 22% de remoción; para la demanda bioquímica de oxígeno, el 51% de remoción; para las grasas y aceites, el 94% de remoción; para la demanda química de oxígeno, el 63% de remoción, todo ello a 40 Amperios, con un caudal de 26 litros/hora con electrodos de aluminio (14).

## 2.2. Bases teóricas

### 2.2.1. Aspectos eléctricos

#### Carga eléctrica

Definida como la cantidad de electrones que gana o pierde dos cuerpos al ser sometidos a la fricción o rozamiento entre sí, como el vidrio y la tela de seda (15), formando cargas positivas y negativas que darán origen a la carga eléctrica la cual se presenta en todos los fenómenos eléctricos (16). La carga positiva y negativa solo se observa cuando el cuerpo no está en equilibrio o es lo mismo que eléctricamente neutro (17). Las cargas de distinto polo se atraen y las de igual polo se repelen y ambas están dadas por una fuerza definida por la Ley de Coulomb, donde Robert Millikan, demostró que las cargas se pueden cuantificar según la ecuación 1, donde N representa a algún entero y (e) a la carga del electrón (-e) o protón (+e) (15).

$$q=N(e), \quad (\text{ecuación 1})$$

#### Circuito eléctrico.

Según, Dorf y Svoboda, un circuito eléctrico está compuesto por una fuente de tensión, alambres conductores y resistencia eléctrica, de tal manera que estén interconectadas entre sí, posibilitando el flujo o movimiento de electrones desde la fuente, hacia la resistencia eléctrica pasando por los alambres conductores (cables) y para luego volver a la fuente generadora.

Figura 1, los dispositivos están unidos mediante nodos a través de cables, donde existe implícito dos variables eléctricas, como son la corriente eléctrica y el voltaje (18).

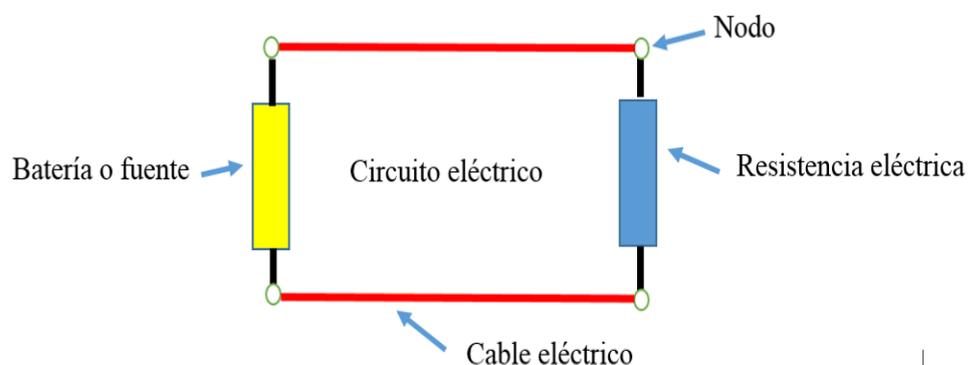


Figura 1. Circuito eléctrico básico. Adaptado de (18).

### Corriente eléctrica.

Es el desplazamiento de electrones que fluye a través de un circuito eléctrico y que la vez estos electrones constituyen una carga eléctrica ( $q$ ), en un determinado nodo o punto (18). Este flujo transporta energía de un lado a otro y se mide en amperios, siendo un amperio (A) igual al flujo de  $6,25 \times 10^{18}$  electrones que fluyen por un conducto por segundo (16), que tiene como unidad al Coulomb (C) por cada segundo. Por consiguiente, la corriente eléctrica ( $i$ ) al fluir a través de un circuito, se representa como muestra la ecuación 2 (18).

$$i = \frac{dq}{dt}, \quad (\text{ecuación 2})$$

### Corriente alterna (ca).

Según, Dorf y Svoboda, la corriente eléctrica cambia de dirección en el transcurso del tiempo representándose de diversas formas como: senoidal, pendiente (rampa) y exponencial, ver Figura 2. Gracias a la ecuación 2, la corriente eléctrica alterna se puede determinar la corriente, así como la carga eléctrica en un instante del tiempo ( $i(t)$ ;  $q(t)$ ) (18).

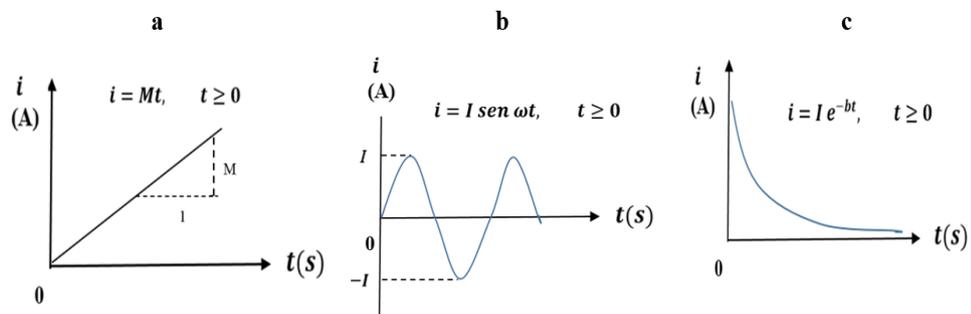


Figura 2. a) Rampa con pendiente M b) Corriente senoidal c) Corriente exponencial Tomado de (18).

### Corriente continua (cd).

Llamada también corriente directa, es aquella corriente, que al pasar el tiempo toma un valor constante, ver Figura 3. La fórmula de la corriente continua se deduce a partir de la ecuación 3, obteniéndose la ecuación 6.

$$idt = dq, \quad (\text{ecuación 3})$$

$$\int_0^t idt = \int_0^Q dq, \quad (\text{ecuación 4})$$

$$i(t) = Q, \quad (\text{ecuación 5})$$

$$i = \frac{Q}{t}, \quad \text{corriente constante en el tiempo} \\ (\text{ecuación 6})$$

Sin embargo, la ecuación 6, está dada por la carga eléctrica que se representa por (Q), el tiempo por (t) y la corriente eléctrica por (i), que tiene como unidad al amperio (A) y donde un amperio es igual a un Coulomb (C) por segundo, tal como se expresa en la ecuación 7 (18).

$$1A = \frac{1C}{s}, \quad (\text{ecuación 7})$$

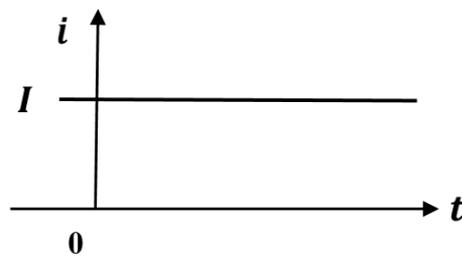


Figura 3. Gráfica de corriente continua (cd) en el tiempo. Tomado de (18).

### Energía potencial eléctrica.

De acuerdo con, Hugh y Freedman, es aquella energía que permite realizar un trabajo de desplazamiento de la carga eléctrica de un punto “a”, a otro punto “b”, dentro de un campo eléctrico, el trabajo que efectúa el campo eléctrico está dado por la ecuación 8, donde se tiene que;  $w_{a \rightarrow b}$ , es el trabajo realizado del punto “a” al punto “b” y  $U_a, U_b$ , es la energía de la partícula o carga eléctrica que se desplaza de “a” al punto “b” (19).

$$w_{a \rightarrow b} = U_a - U_b, \quad (\text{ecuación 8})$$

### Potencial eléctrico.

Para, Hugh y Freedman, el potencial eléctrico (V) está en función a la energía eléctrica (U) y a la carga eléctrica (q), como se expresa en la ecuación 9, donde  $V$ , representa al potencial eléctrico en cualquier punto del campo eléctrico y  $U$ , la energía eléctrica del campo que asocia a una carga de prueba (19).

$$V = \frac{U}{q}, \quad (\text{ecuación 9})$$

La unidad para el potencial eléctrico en el sistema internacional (SI), está dada por el Volt (V), que es igual a un Joule (J) por Coulomb (C), tal como representa la ecuación 10 (19).

$$1V = 1\text{volt} = \frac{1J}{1C}, \quad (\text{ecuación 10})$$

Los acumuladores como las pilas, las baterías y los generadores eléctricos, generan una fuerza electromotriz (f.e.m), que tiene la capacidad de realizar trabajo eléctrico, impulsando electrones de un nivel de concentración mayor a otro menor, logrando separar las cargas negativas de las positivas (18; 16).

### Tensión alterna.

Según, Vlakerbunrch et al, existen fuentes de energía eléctrica que producen tensión eléctrica variable, que fluctúa en un instante de tiempo en un sentido y en otro instante en sentido contrario, como los alternadores que son empleados en las centrales hidroeléctricas, que al ser accionadas por turbinas y éstas por la presión de agua, producen energía como la tensión alterna que tiene forma senoidal, ver Figura 4. Esta tensión alterna al tener la forma de una onda senoidal sigue una trayectoria entre el voltaje cero, el voltaje máximo ( $v_{m\acute{a}x}$ ) y el voltaje mínimo ( $v_{m\acute{i}n}$ ), formado un ciclo por unidad de tiempo. Esta señal de tensión alterna presenta ciertas características como: la amplitud ( $A_{mp}$ ) que representa la distancia entre el voltaje cero al voltaje del pico positivo ( $+v_p$ ), el periodo (T) que representa el trayecto de,  $0v; +v_p; 0v; -v; 0v$ , y de esta manera se completa un ciclo de la tensión



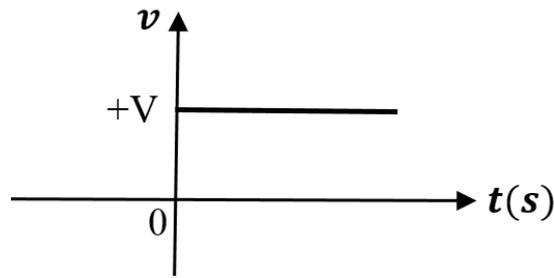


Figura 5. Gráfica de tensión continua, constante en el tiempo. Tomado de (18).

### Resistencia eléctrica.

Para, Europe y Lehrmittel, todos los materiales ofrecen cierta resistencia a la corriente eléctrica, la resistencia tiene como símbolo a ( $R$ ) y esta es igual a la diferencia de potencial ( $\Delta V$ ), dividida por la corriente que soporta un dispositivo eléctrico, ver ecuación 14, y tiene como unidad al Ohm de símbolo ( $\Omega$ ), ver ecuación 15. Sin embargo, el inverso de la resistencia se llama conductancia ( $G$ ), ver ecuación 16, cuya unidad es el Siemens de símbolo ( $S$ ), ver ecuación 17 (21).

$R = \frac{\Delta V}{i}$ ,	ecuación de la resistencia	(ecuación 14)
$1\Omega = \frac{1V}{1A} = ohm$ ,	unidad de la resistencia	(ecuación 15)
$G = \frac{1}{R}$ ,	ecuación de la conductancia	(ecuación 16)
$1S = \frac{1}{1\Omega} = mho = \text{Ü}$ ,	unidad de la conductancia	(ecuación 17)

Mientras la resistencia eléctrica en un conductor está representada por la resistividad ( $\rho$ ), la longitud ( $L$ ) y su sección ( $A_r$ ), ver ecuación 18, por ejemplo, para el cobre tiene una resistividad de  $\rho_{Cu} = 1,72 \times 10^{-8} \Omega m$ , a una temperatura de  $20^\circ C$ , lo contrario a la resistividad es conductividad ( $\sigma$ ), como muestra la ecuación 19 (18).

$R = \rho \frac{L}{A_r}$ ,	resistencia de un conductor	(ecuación 18)
$\sigma = \frac{1}{\rho}$ ,	inversa de la conductividad	(ecuación 19)

### Potencia eléctrica.

Es la capacidad que tiene una fuente de energía de un circuito eléctrico, para realizar un trabajo en un determinado tiempo, representado por el símbolo (P), ver ecuación 20, y como unidad al Watt (W), según la ecuación 21, estas ecuaciones son empleadas para los circuitos eléctricos con componentes pasivos (22).

$$P = VxI = I^2xR = \frac{V^2}{R}, \quad (\text{ecuación 20})$$

$$1W = \frac{Ij}{s} = \frac{\text{joule}}{\text{segundo}}, \quad (\text{ecuación 21})$$

### Flujo de corriente en un circuito.

Según, Wolfgang y Westall, existen dos tipos de flujo de corriente continua, el flujo de electrones y el flujo de protones, como muestra la Figura 6, donde por convención se ha adoptado el flujo de protones como el flujo de la corriente convencional, tiene su origen en el polo positivo de la fuente o fuerza electromotriz  $v_{fem}$ , haciendo su recorrido por los conductores hacia el polo negativo de la fuente (22).

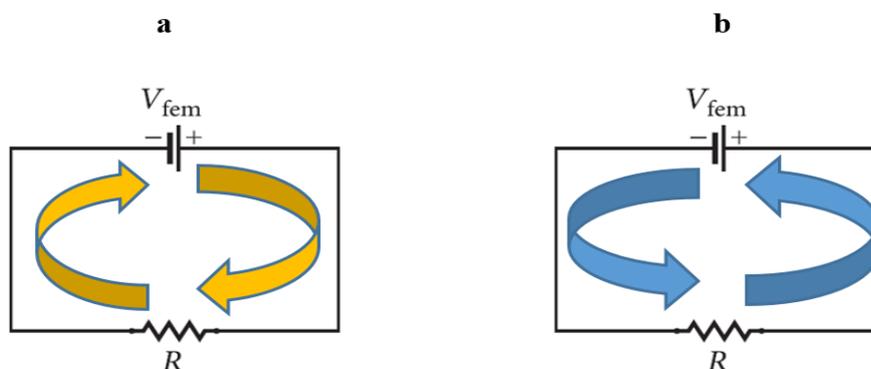


Figura 6. Circuito simple, a) flujo de la corriente convencional, b) flujo de electrones. Adaptado de (18).

#### 2.2.2. Procesos electroquímicos.

De acuerdo con, Raymond Chang, los procesos electroquímicos son reacciones químicas de óxido reducción (redox), que se dan en distintas fases dentro de las operaciones de un sistema como la celda electrolítica, estas reacciones se pueden dar con o sin la influencia de algún tipo de energía externa. Las reacciones espontáneas presentes en una celda electrolítica se

caracterizan por que transforman o convierten la energía química en energía eléctrica y lo contrario a este, es que la energía eléctrica se emplea para producir reacciones químicas, teniendo un nombre particular, a esta última la cual se le denomina electrólisis (23).

**a. Elementos de la electrólisis.**

**Fuente de energía eléctrica.**

La fuente de energía que emplea la electrólisis es continua, donde la corriente y la tensión eléctrica es constante en el tiempo, este tipo de fuente de energía ha tenido mejor efecto en la disociación de sustancias básicas, ácidas de las sales presentes en el medio electrolítico. Una fuente continua de tensión y corriente tiene el siguiente símbolo mostrado en la Figura 7.



Figura 7. Símbolo fuente a) Fuente de tensión b) Fuente de corriente. Tomado de (18).

Para, Malvino, una fuente de tensión básica es una pila o una batería, donde esta se da por reacciones internas espontáneas, como las pilas galvánicas, sin embargo, una fuente de tensión continua puede ser compleja como las fuentes de artefactos eléctricos, que tienen dispositivos eléctricos y electrónicos gracias a los componentes pasivos y activos como la resistencia, bobina, condensador, transistor, diodo y mosfet. Por lo tanto, un circuito sencillo de esta última se muestra en la Figura 8, donde la corriente alterna es reducida a valores menores mediante el transformador (T), para luego ser convertida a corriente continua pulsante mediante el puente de diodos (D) y del filtro que realiza el condensador (C), se obtiene una señal de corriente y tensión continua que es semejante a la energía que proporciona una batería, útil para alimentar a un circuito externo (24).

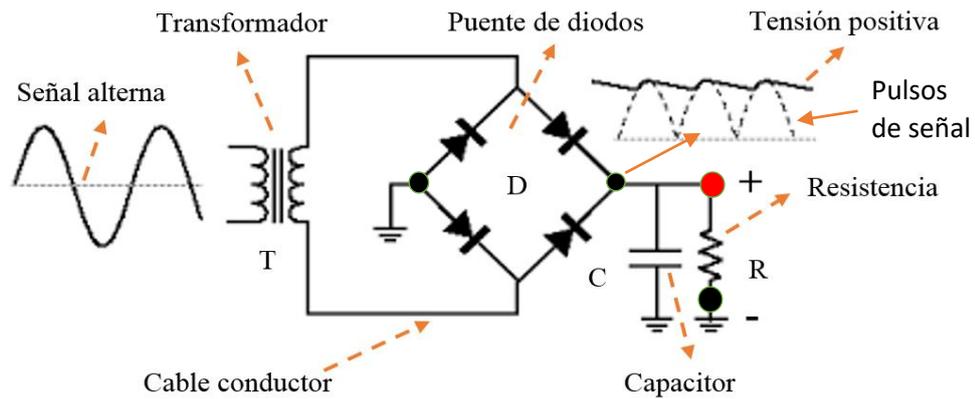


Figura 8. Circuito de conversión de corriente alterna a corriente continua. Adaptado de (24).

### Electrolito.

De acuerdo con, Raymond Chang, son soluciones constituidas por un soluto y un solvente, donde el soluto se encuentra en menor proporción respecto al solvente, y esta última permite la disolución, parcial o total del soluto, el cual añade iones con cargas eléctricas positiva y negativa a la disolución. Los iones con carga positiva y negativa forman el electrolito que, de acuerdo con su concentración, pasan a ser débiles y fuertes según sea la cantidad disuelta. Una de las características que presentan los electrolitos es que permiten la conducción de la corriente eléctrica, donde la facilidad de la conducción de los electrones de la corriente eléctrica dependerá de la temperatura y del grado de disociación.

Los electrolitos se pueden dividir en dos grupos: electrolitos fuertes y electrolitos débiles. Los electrolitos fuertes comprenden en su mayoría a las sales, ácidos inorgánicos e hidróxidos citados a continuación: cloruro de potasio (KCl), ácido clorhídrico (HCl), ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ), hidróxido de sodio (NaOH), cloruro de sodio (NaCl), que, al disolverse por completo presenta una conductividad eléctrica elevada, sin embargo, los electrolitos débiles están comprendidos por bases y los ácidos débiles, como los ácidos carboxílicos, que al estar en disolución presentan una conductividad eléctrica baja, tales como el ácido etanoico ( $CH_3COOH$ ), hidróxido de amonio ( $NH_4OH$ ) (23).

## **Electrodos.**

Según, Pons Musso y Lagoma, son materiales metálicos que tienen la capacidad de conducir la corriente eléctrica, donde su resistividad es menor al paso de los electrones. El cobre es un buen conductor de la electricidad, sin embargo, el poliestireno es un mal conductor de la electricidad, entre los buenos conductores y malos conductores de la electricidad se tiene a los semiconductores como el silicio (Si) y el germanio (Ge). La denominación de electrodo fue insertada por el científico Faraday en 1834, cuando observó la disociación de sustancias al ser sometidas a la energía eléctrica. Existen electrodos que al estar inmersos en el sistema de la electrólisis sufren cambios químicos en su estructura como el hierro (Fe), cobre (Cu), plata (Ag), así también existen electrodos que no sufren cambios químicos en el proceso de electrólisis como el paladio (Pd), platino (Pt), grafito (25) ; (26).

## **Ánodo.**

Ponz Muzzo, describe al ánodo como una pieza metálica presente en la celda electrolítica, que al ser conectada al polo positivo de la fuente de tensión ocurren reacciones de oxidación, originado por la pérdida de iones con carga negativa (anión). En la Figura 9, se observa la celda electrolítica que contiene a los electrodos y al electrolito, en este caso el de NaCl, antes y después de su conexión a la fuente de tensión, la pérdida de electrones del ánodo, origina un flujo de corriente de protones del polo positivo hacia polo negativo (cátodo), pasando por el electrolito, llamado flujo convencional (25).

## **Cátodo**

Ponz Muzzo, describe al cátodo como pieza metálica que, conectada al polo negativo de una fuente de tensión continua de un sistema de electrólisis, tiene la particularidad de ceder electrones a los iones positivos (catión) del electrolito, donde ocurre la reacción química de reducción. La pérdida de electrones del cátodo en favor del catión, origina un flujo de electrones que va en sentido contrario al flujo de protones, así como muestra la Figura 9b (25).

## b. Tipos de celda electroquímica.

De acuerdo con, Raymond Chang y Cristóbal Inocente, existen básicamente dos tipos de celdas electroquímicas: la celda galvánica y la celda electrolítica. La celda galvánica, llamada también celda voltaica, es básicamente una pila o batería, que tienen la peculiaridad de producir electricidad gracias a la reacción espontánea que se presenta entre sus electrolitos, mientras la celda electrolítica es aquella que se alimenta a partir de una fuente externa, la cual permite convertir la energía eléctrica en reacciones químicas (23) ; (27).

## c. Celda electrolítica.

Según, Cristóbal, la celda electrolítica es un recipiente que alberga al solvente y al disolvente de una solución, donde ocurren las reacciones químicas de óxido reducción, gracias a la inducción de la corriente eléctrica de una fuente externa continua (27).

### Reacción en el ánodo.

Ya disuelto el NaCl en el agua se representa así,  $\text{NaCl} \rightarrow \text{Na}^+ + \text{Cl}^-$ , obteniéndose iones de cloro y sodio que están dispersos por todo el electrolito. Al cerrar el interruptor en la Figura 9a, el ánodo es cargado con cargas positivas, permitiendo la atracción de los iones con carga negativa como el cloro, para luego ceder su electrón y generar la siguiente reacción de oxidación representado de la siguiente forma,  $2\text{Cl}^- - 2e^- \rightarrow \text{Cl}_{2(g)}$ , formándose el cloro gaseoso para ser liberado a la atmósfera (23).

### Reacción en el cátodo.

Inmediatamente después de cerrar el interruptor de la Figura 9a, el cátodo es cargado con carga negativa, el cual permite la atracción de los iones positivos como el sodio, además se presenta una ruptura o disociación de las moléculas de agua de la siguiente forma:  $\text{H}_2\text{O} + e^- \rightarrow \text{H}^+ + \text{OH}^-$ , que, al ganar electrones del cátodo se convierte en  $2\text{H}_2\text{O} + 2e^- \rightarrow \text{H}_{2(g)} + 2\text{OH}^-$ , produciéndose la reducción, porque el ion hidróxido está cerca al cátodo y del ion sodio, los cuales son atraídos entre sí para formar el hidróxido de sodio (NaOH), de la siguiente forma  $2\text{OH}^- + 2\text{Na}^+ \rightarrow 2\text{NaOH}$ , el cual se adhiere a la superficie del cátodo.

Las reacciones en el cátodo y ánodo suceden simultáneamente, por ello que la reacción siguiente expresa la reacción electrolítica de NaCl.

$2\text{H}_2\text{O}_{(l)} + 2\text{NaCl}_{(ac)} \rightarrow \text{Cl}_{2(g)} + \text{H}_{2(g)} + 2\text{NaOH}_{(ac)}$ , donde los subíndices como: (l), representa al estado líquido; (ac) representa al estado acuoso y (g) al estado gaseoso (23).

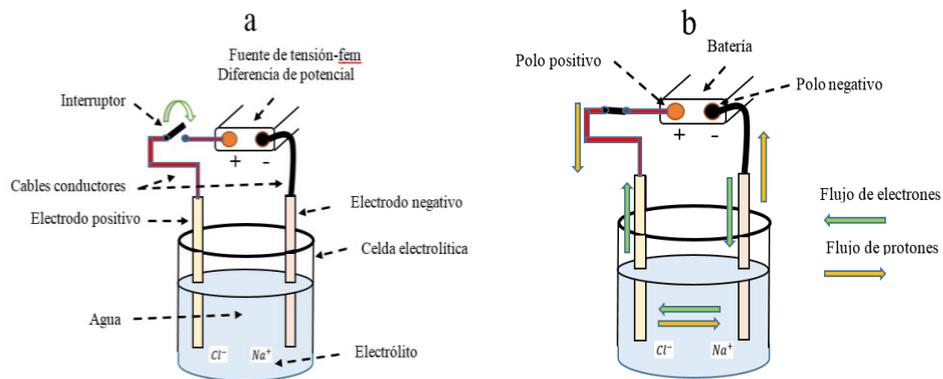


Figura 9. a) Sistema de electrólisis b) Flujo de electrones y protones. Adaptado de (23).

### Celda galvánica.

Según, Brown et al, la celda galvánica está constituida por dos celdas, donde cada una de ellas contiene disueltas sustancias distintas que, al reaccionar con los electrodos, siendo unido por un puente salino que no tendrá participación con las reacciones químicas de las soluciones, permite el transporte de electrones sin que tenga participación en la reacción química. La Figura 10, muestra una celda voltaica con la dirección del movimiento de los aniones y cationes (28).

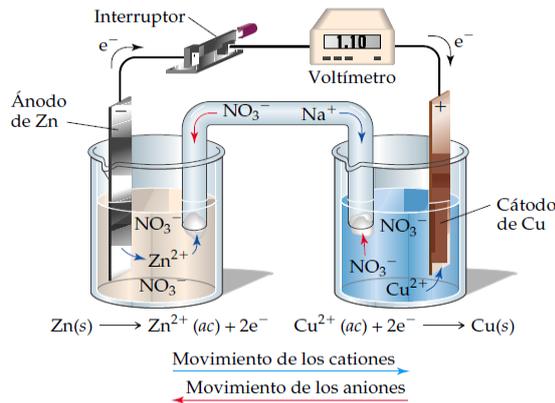


Figura 10. Celda voltaica que emplea un puente salino para completar el circuito eléctrico. Tomado de (23).

Las reacciones que se dan en la celda galvánica es la siguiente: la celda de la izquierda, contiene disuelta el nitrato de zinc ( $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$ ), que al ser disuelta en el agua se presenta de la siguiente forma  $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \rightarrow \text{Zn}^{2+} + \text{NO}_3^-$ , presentando electrolitos como el ion zinc ( $\text{Zn}^{2+}$ ) y el ion nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), que, al estar presente un electrodo de zinc sólido, reacciona desprendiendo iones de zinc metálico, produciéndose la oxidación del electrodo de zinc,  $\text{Zn}_{(s)} \rightarrow \text{Zn}_{(ac)}^{2+} + 2\text{e}^{-}$ , de esta manera genera electrones libres en la celda del lado izquierdo (28); la celda de la derecha, contiene disuelto nitrato de cobre ( $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ ), que al ser disuelta en el agua se presenta así,  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \rightarrow \text{Cu}^{2+} + \text{NO}_3^-$  obteniéndose electrolitos como el ion cobre ( $\text{Cu}^{2+}$ ) y el ion nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), donde se introduce un electrodo sólido de cobre, sucede que al conectar un cable externo entre los electrodos y teniendo puesto el puente salino que hace contacto con los electrolitos, fluye una corriente de electrones del ánodo hacia el cátodo, que al llegar estos electrones al ánodo atraen al ion cobre para cederles electrones, produciéndose la reducción del ion cobre así,  $\text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^{-} \rightarrow \text{Cu}_{(s)}$  que se adhiere al electrodo de cobre sólido (cátodo), pero esto no ocurriría sin la presencia del puente salido que básicamente cierra el circuito de flujo de electrones y es donde los iones de nitrato llevan los electrones hacia la celda de la izquierda para formar el zinc sólido particularizado, lo mismo ocurre con el flujo de protones, como esta reacción de óxido reducción sucede simultáneamente da la siguiente reacción en el sistema galvánico.  $\text{Zn}_{(s)} + \text{Cu}_{(ac)}^2 \rightarrow \text{Zn}_{(ac)}^2 + \text{Cu}_{(s)}$ . Esta reacción se puede

escribir de la siguiente forma:  $\text{Zn}_{(s)} | \text{Zn}^{2+}_{(ac)} || \text{Cu}^{2+}_{(ac)} | \text{Cu}_{(s)}$ , para una mejor comprensión observar la Figura 11 (28).

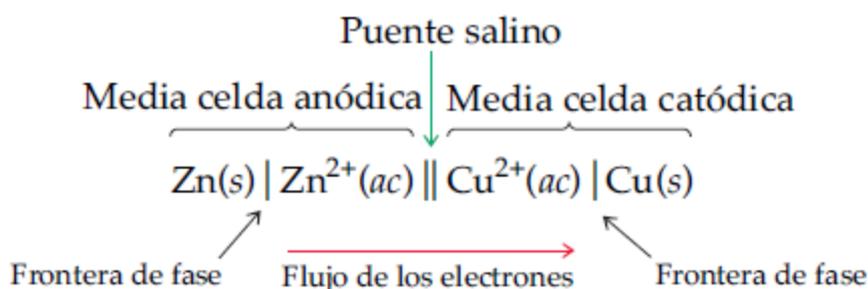


Figura 11. Representación de la reacción de óxido reducción en una celda voltaica. Tomada de (28).

Teniendo ciertas consideraciones como: la línea vertical (|) que representa la frontera de fase entre el electrodo sólido y la solución, así como las dos líneas verticales (||), que representan al puente salino, donde la celda anódica va siempre al lado izquierdo (28).

#### d. Leyes de Faraday

Faraday, define que al pasar un mol de electrones (1 mol de  $e^-$ ) por un medio electrolito, este mol de electrones es capaz de producir un equivalente gramo (1Eq-g) de la sustancia presente en el electrolito, en la ecuación 22, se resume sus equivalencias de un Faraday (27).

$$F = 1 \text{ mol de } e^- = 96500C = 1 \text{ Eq} - \text{g}, \quad (\text{ecuación 22})$$

#### Primera ley de Faraday.

La cantidad de sustancias descompuestas o producidas en cualquiera de los electrodos ya sea el ánodo o el cátodo están en relación directa a la cantidad de carga eléctrica que fluye por el electrolito, representado por la ecuación 23 y 24.

$$m_a = \frac{PE_{(a)} \cdot Q}{F} \quad (\text{ecuación 23})$$

$$m_a = \frac{PE_{(a)} \cdot i \cdot t}{96\ 500} \quad (\text{ecuación 24})$$

De tal manera que la ecuación 23, se puede representar como muestra la ecuación 24, donde  $m_a$ , representa la masa descompuesta o producida, así mismo  $PE_{(a)}$  expresa el peso equivalente de la sustancia iónica (27).

### Segunda ley de Faraday.

Las cantidades de diferentes sustancias depositadas o disueltas por una misma cantidad de electricidad son directamente proporcionales a sus respectivos pesos equivalentes, ver ecuación 25 (27).

$$\frac{m_a}{PE_{(a)}} = \frac{m_b}{PE_{(b)}} \quad (\text{ecuación 25})$$

#### 2.2.3. La electroquímica empleada en el tratamiento de aguas residuales.

La técnica de la electrólisis en el tratamiento de aguas residuales obtuvo buenos resultados en la eliminación de metales pesados, en la eliminación de compuestos orgánicos (fenoles), en la desalinización de las aguas del mar, y en la eliminación de aguas contaminadas con colores provenientes de la industria textil, donde permitió la precipitación de sustancias tenso activos, presentes en los detergentes. Los procesos de la electrólisis en el tratamiento de aguas residuales (29).

##### a. Electrodeposición.

Usado para electrolitos de composición metálica en el proceso de reacción química, los iones metálicos son atraídos por el cátodo para depositarse y formar redes cristalinas por la acción de la oxidación del metal iónico, como muestra la siguiente reacción,  $M^{n+} + ne^- \rightarrow M^0$ , para el ion metálico ( $M^{n+}$ ) que gana electrones ( $ne^-$ ) de parte del cátodo, formando el metal sólido ( $M^0$ ) y de esta manera se puede extraer el contaminante del agua residual (29).

##### b. Electrocoagulación.

Emplean electrodos de aluminio (Al) y hierro (Fe), de tal manera que al ser parte del ánodo presentan una oxidación, formando iones de hierro o

iones de aluminio que facilitan a la coagulación de sustancias suspendidas en el agua residual, además producen cationes que desestabilizan los contaminantes presentes en el agua como (metales pesados, coloides, compuestos orgánicos, colores, etc), estos cationes formados tienen la capacidad de absorción que permite la formación de flóculos (30).

**c. Electroflotación.**

Proceso en la cual al realizarse la descomposición del agua de una solución generan gases como el oxígeno y el hidrógeno en los electrodos y que estos al ascender llevan consigo sustancias como la materia orgánica permitiendo su flotación para luego ser retiradas con algún otro proceso (30).

**d. Electrooxidación.**

Se genera en el ánodo, provocando la oxidación de los compuestos orgánicos que están en la solución del agua residual, provocando la cristalización u oxidación parcial de la materia orgánica, convirtiéndose en compuestos más simples y sencillos a la degradación, generando dos formas de oxidación, la oxidación directa e indirecta. La oxidación directa, se da al generarse oxígeno en el ánodo, permitiendo la oxidación total o parcial de los compuestos orgánicos; en la oxidación indirecta, sucede que se da lejos de la superficie del ánodo gracias a la presencia de peróxidos de hidrógeno, ozono, y cloro que son originados por los cloruros presente en el agua, oxidando a la materia orgánica presente (29).

**e. Electrodesinfección.**

Las sustancias como los cloruros, que al oxidarse en el ánodo liberan cloro gaseoso que permiten la desinfección del medio acuoso, el ácido hipocloroso (HClO), al estar en un medio electrolítico se presenta como hipoclorito de cloro ( $\text{ClO}^-$ ), y en un proceso de electrólisis libera cloro, permitiendo la desinfección del medio contaminado con microorganismos patógenos (29).

#### 2.2.4. Aguas residuales

Metcalf y Eddy, definen a las aguas residuales, como aguas mezcladas con residuos sólidos y líquidos, generadas por establecimientos públicos, industrias y por centros comerciales los cuales emiten olores y gases malolientes, provocados por la descomposición de la materia orgánica, además, estas contienen diversos microorganismos patógenos y compuestos tóxicos que pueden causar enfermedades, así como nutrientes que causan el crecimiento de plantas acuáticas (31).

Fair Maslew, afirma que, las aguas residuales son causantes y transmisoras de enfermedades entéricas como el cólera, la fiebre tifoidea, fiebre paratifoidea, disentería bacilar, disentería amebiana, hepatitis infecciosa, así también es la causante de generar venenos como sustancias tóxicas disueltas (fluorapatitos), fitotoxinas, metales pesados, sustancias radiactivas, insecticidas, contaminantes minerales como el flúor, selenio y boro. La metahemoglobina, es causada por el exceso de nitratos en las aguas contaminadas, la cianosis (coloración azul de la piel) es causado por exceso de nitratos, su presencia en los pozos causa la muerte súbita del ganado después de beber el agua (32).

##### **a. Composición de las aguas residuales.**

Según, Michelcic et al, los principales constituyentes de las aguas residuales son: la materia orgánica, sólidos suspendidos, microorganismos patógenos, nutrientes como el nitrógeno y fósforo, químicos tóxicos como metales pesados (mercurio, cadmio), químicos orgánicos como los pesticidas, solventes, productos derivados de combustibles, productos farmacéuticos, cafeína, fragancias, tensoactivos y químicos disruptores endocrinos (3). Para, Metcalf y Eddy, los componentes del agua residual son todos aquellos que están inmersos dentro de lo físico, químico y biológico (31).

Según, Metcalf y Eddy, las aguas residuales domésticas están compuestas por: sólidos totales, los cuales están constituidos por sólidos disueltos (fijos y volátiles), sólidos suspendidos (fijos y volátiles), sólidos

sedimentables, demanda bioquímica de oxígeno, carbono orgánico total, demanda química de oxígeno, nitrógeno total y entre ellos se encuentra al nitrógeno orgánico, nitrógeno amoniacal libre, nitritos, nitratos, también se encuentra al fósforo total que comprende al orgánico y al inorgánico, cloruros, alcalinidad como el carbonato de calcio y las grasas (31).

Fair Maskew et al, anuncian que los detergentes sintéticos y jabones están presentes en las aguas residuales de los hogares y la industria moderna, además tienen la peculiaridad de disminuir la tensión superficial, emulsificar las grasas y ácidos, peptizar o deflocular los coloides, humedecer a las sustancias, formar espumas, destruir bacterias y contribuyen a la formación de flóculos sólidos (32).

#### **b. Características de las aguas residuales.**

Para, Fair Maskew et al, las aguas domésticas se caracterizan como seguras e inseguras, puras o impuras, agradables o desagradables al paladar, duras o blandas, corrosivas o estables, dulces o saladas, putrescibles o no putrescibles, concentradas o débiles, frescas o sépticas (32). Sin embargo, para, Metcall y Eddy, las aguas residuales se caracterizan según su procedencia física, química y biológica tal como muestra la Tabla 2, donde se considera el origen de estas (31).

Tabla 2. *Características físicas, químicas y biológicas del agua residual y su procedencia*

Características	Procedencia
<b>Propiedades Físicas:</b>	
Color	Residuos industriales y domésticos, degradación natural de materia orgánica.
Olor	Agua residual en descomposición, residuos industriales.
Temperatura	Aguas industriales y doméstico
Sólidos	Suministro de agua, agua residual doméstica, residuos industriales y domésticos, erosión de suelos, infiltración y conexiones incontroladas.
<b>Constituyentes Químicas:</b>	
<b>Orgánico:</b>	
Carbohidratos	Aguas comerciales, domésticas e industriales.
Grasas animales, aceites y grasas minerales	Aguas industriales, comerciales y domésticos
Pesticidas	Residuos agrícolas
Fenoles	Residuos industriales
Proteínas	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales
Contaminantes prioritarios	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales
Agentes tensoactivos	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales
Compuestos orgánicos volátiles otros	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales Degradación natural de materia orgánica.
<b>Inorgánicos:</b>	
Alcalinidad	Aguas industriales doméstica, aguas de suministro, infiltración de agua subterráneas.
Cloruros.	Aguas industriales doméstica, aguas de suministro, infiltración de agua subterráneas.
Metales pesados.	Vertido de aguas industriales.
Nitrógeno.	Residuos agrícolas y aguas residuales domésticas,
pH.	Aguas residuales domésticas, industria y comerciales
Fósforo	Aguas residuales domésticos, industriales y comerciales; aguas de escorrentía.
Contaminantes prioritarios	Aguas residuales domésticos, industriales y comerciales.
Azufre.	Aguas de suministro; aguas residuales domésticas, comerciales e industriales
<b>Gases:</b>	
Sulfuro de hidrógeno	Descomposición de aguas domésticas
Metano	Descomposición de aguas domésticas
Oxígeno	Suministro de agua doméstica, infiltración de agua superficie.
<b>Constituyentes biológicos:</b>	
Animales	Corrientes de agua al descubierto y plantas de tratamiento
Plantas	Corrientes de agua al descubierto y plantas de tratamiento
<b>Protista;</b>	Aguas residuales domésticos, infiltración de agua superficial, plantas de tratamiento.
Eúbacterias	Aguas residuales comerciales, infiltración de agua superficial, plantas de tratamiento.
Arqueobacterias	de tratamiento.
Virus	Residuos domésticos

*Nota:* Tomado de (31).

### c. Clasificación de las aguas residuales.

Según, Metcalf y Eddy, el agua residual se clasifica en: agua residual débil, agua residual media y agua residual fuerte, esto según su concentración de sustancias extrañas en el agua (31).

#### 2.2.5. Procesos de tratamiento de aguas residuales.

El tratamiento de aguas residuales es el conjunto de operaciones unitarias que se emplean para la remoción de agentes o cuerpos extraños que han ingresado al agua, gracias al uso que se le da en alguna actividad antrópica. Estas operaciones unitarias empleadas en el tratamiento son cuidadosamente propuestas y ejecutadas, y tienen la finalidad de eliminar las sustancias disueltas, cuerpos flotantes, orgánicos e inorgánicos que alteran la naturaleza del agua, en la Figura 12, se observa los procesos por el cual pasa el agua residual a la eliminación de residuos de una industria alimentaria.

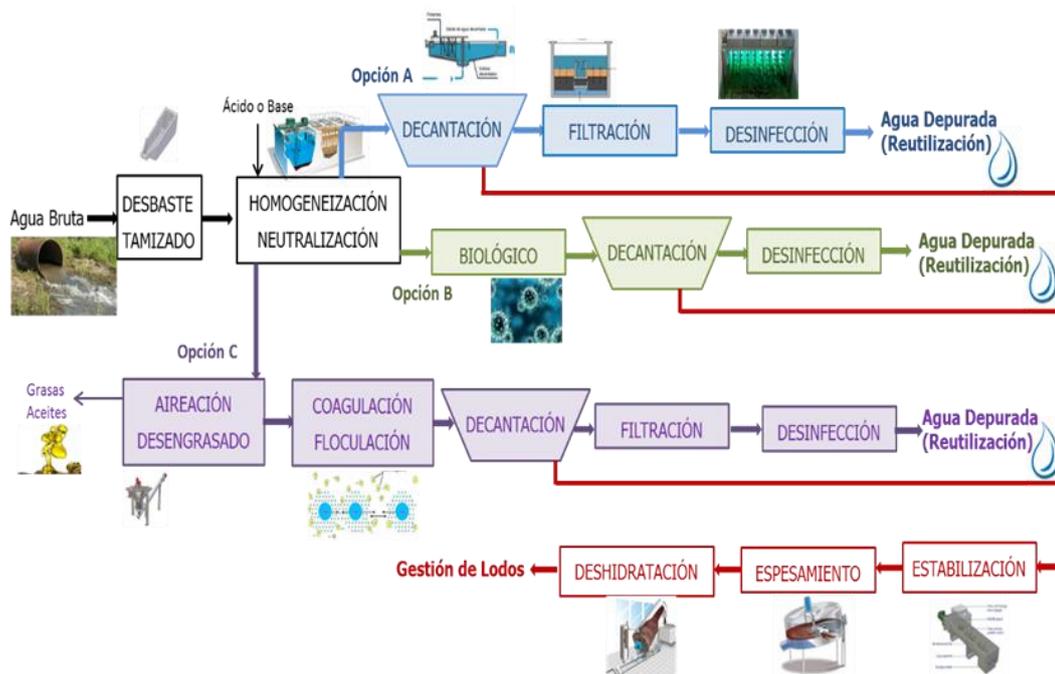


Figura 12. Esquema propuesto para el tratamiento de aguas residuales procedentes de la industria alimentaria. Tomada de (34).

### **Cribado o desbrozo.**

Según, Fair Maskew, los sólidos suspendidos y flotantes de gran tamaño son separados del agua residual mediante cribas y los sólidos suspendidos y flotantes de menor tamaño son separados del agua residual mediante rejillas, estos sólidos separados son evacuados para someterlos a la incineración, sepultura o digestión, según sea el caso (32).

### **Sedimentación.**

Según, Metcalf y Eddy, las partículas presentes en el agua residual que tienen mayor densidad que el agua, se precipitan al fondo de un sistema gracias a la acción de la gravedad (31). Para que se logre tal objetivo, se debe disminuir la potencia de arrastre y deslave del agua fluyente en el tanque de retención o desarenador, logrando así su retención en el fondo del tanque sedimentador (32).

### **Flotación.**

Para, Metcalf Eddy, la flotación se define como una operación unitaria, empleada en el tratamiento de las aguas residuales para separar las partículas sólidas o líquidas de una fase líquida (31). Y según, Fair Maskew, la flotación se efectuará cuando la velocidad del agua residual que fluye se reduzca a cero, para las partículas que se encuentra en el agua venzan el poder de suspensión, en algunos casos es necesario adicionar al agua residual, agentes de flotación como burbujas de aire comprimido, agentes humectantes y espumas hidrofóbicos, las cuales permitirán la remoción de grasas y aceites en forma de nata, también los detergentes neutros, aniónicos o catiónicos, aceites, grasas, resinas y las gomas actúan como agentes flotantes (32).

### **Filtración.**

La filtración, conocida como proceso de pulido, que en ocasiones emplea gránulos de arena de diferentes diámetros para la filtración de las aguas residuales, también emplea el carbón mineral o en conjunto en forma de estratos, atrapando impurezas en los filtros, además estos estratos permiten la aireación y reposo de las impurezas, que posteriormente serán removidos mediante el lavado con agua (33); (32).

### **Aireación.**

Según, Romero y Drinan, es el proceso empleado en el tratamiento del agua residual para cambiar las concentraciones de las sustancias volátiles gracias al contacto con el aire (34) ; (33), la aireación es una mezcla del aire con el agua residual que facilita la eliminación de los gases disueltos y sustancias olorosas altamente volátiles.

Según Romero, al inyectar oxígeno a las aguas residuales, a proporciones requeridas para el metabolismo de los microorganismos aeróbicos, contribuye a las siguientes funciones (34).

Las funciones más importantes de la aireación son:

- Transferir el oxígeno al agua para aumentar el oxígeno disuelto (OD).
- Disminuir la concentración del dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ).
- Disminuir la concentración del ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{S}$ ).
- Remover gases como cloro ( $\text{Cl}_2$ ), metano ( $\text{CH}_4$ ) y amoníaco ( $\text{NH}_3$ ).
- Oxidar hierro (Fe) y manganeso (Mg).
- Remover compuestos orgánicos volátiles (COV).
- Remover sustancias volátiles productoras de olores y sabores.

### **Mezcla rápida.**

Según, Romero, el propósito de la mezcla es la distribución uniforme del coagulante a través de todo el volumen o flujo del agua. Para determinar los requerimientos energéticos que serán aplicados al proceso de la mezcla se debe conocer el gradiente de velocidad del flujo, dicha mezcla se efectúa mediante medios mecánicos e hidráulicos (34).

### **Coagulación y floculación.**

La presencia de partículas en fase coloidal provoca la turbiedad y el color de las aguas residuales, estas partículas presentan una carga eléctrica negativa en su superficie, que atraen fuertemente a las cargas positivas aparente de las moléculas del agua, provocando una especie de capa de carga negativa en su parte externa de la partícula, con algunas cargas positivas ver Figura 13 (35).

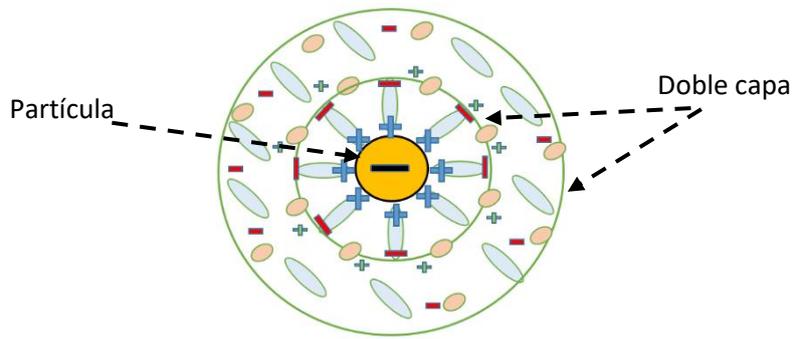


Figura 13. Doble capa de una partícula coloidal.

La coagulación se caracteriza por la acción que tienen ciertas sustancias coagulantes que, al ser introducidas en un agua residual, comprimen y minimizan a las fuerzas que mantienen a la doble capa de una partícula coloidal, al mismo tiempo, la desestabilización de capas eléctricas que rodean a todas las partículas coloides. Mientras que la floculación se refiere a la adsorción de las partículas, por las sustancias coagulantes o polímeros que forman puentes entre partículas-polímero-partícula (36). Además, Fair y Romero, afirman que la floculación se presenta cuando las partículas floculentas o floculadas se unen entre sí, mientras el fluido suspendido se mueve lentamente, mezclados de una manera suave, incrementando las colisiones y encuentros sin romper o disgregar los agregados preformados (32) ; (34).

Sucede que a cambios de temperatura algunos coloides cambian y otras no, a los que cambian se les conoce como estables termodinámicamente y los que no cambian se les conoce como inestables o irreversible termodinámicamente. Las micelas de jabón, las proteínas, el almidón y detergentes son estables, por lo contrario, las arcillas, los óxidos metálicos y microorganismos son inestables. Algunos sistemas coloidales inestables termodinámicamente se agregan lentamente, éstos se llaman diuturnales. Otros sistemas coloidales se agregan rápidamente; éstos se llaman caducos (36).

## 2.2.6. Parámetros fisicoquímicos relevantes del agua residual.

### a. Parámetros físicos.

#### a.1. Turbidez.

Según, Sierra Ramírez, la turbidez es el impedimento que presenta la luz al pasar por un medio acuático, por las siguientes causas; la aportación de sedimentos a las fuentes naturales de las cuencas originadas por la erosión que contienen arena y arcilla, también la contaminación por fábricas y desechos orgánicos originado por el factor antrópico, alterando la estética del agua, el conocer el nivel de turbidez de las fuentes de agua, permitirá seleccionar el proceso de tratamiento como la sedimentación, filtración y coagulación. La turbidez se mide en unidades nefelométricas (UNT) (37).

#### a.2. Color.

Según, Sierra Ramírez, se genera por sustancias disueltas como el magnesio y hierro y los humos provenientes de la materia orgánica en descomposición, la industria es un factor importante en la contribución de la alteración de las aguas naturales, si existe materia orgánica suspendida en el agua se considera como color aparente, si al remover la turbiedad queda sustancias que den cierta coloración al agua se considera color verdadero. El color de adoptan las aguas no es problema para la salubridad de la población, para la medición del color se emplea el Cloroplatinato de potasio empleando 1mg de este en un litro de agua destilada para luego utilizar el colorímetro obteniéndose en unidades de color (UC) (37).

#### a.3. Olor y sabor.

El olor y el sabor de las aguas naturales y residuales se deben a la presencia de sustancias como algas y plancton y compuestos orgánicos, que al descomponerse por la presencia de bacterias produce  $H_2S$ , provocando en la población efectos como náuseas, vómitos (37).

#### **a.4. Temperatura.**

Según, Sierra Ramírez, la temperatura es generada por las calderas de los enfriadores de las industrias, y que estas influyen en la velocidad de las reacciones modificando su viscosidad, es por ello su importancia para el tratamiento de los procesos de sedimentación y coagulación (37).

#### **b. Parámetros químicos.**

##### **b.1. Potencial de hidrogeniones (pH).**

Definida como el logaritmo negativo de la concentración del ion hidrogeno a 25 ° C de una disolución por cada mol/L (23).

##### **b.2. Sólidos suspendidos.**

Para, Michelcic y Zimmerman, los sólidos presentes en aguas residuales o naturales se determinan como sólidos totales (ST) y este se divide en dos componentes: sólidos disueltos totales (SDT) y sólidos suspendidos totales (SST), ambos se subdividen de la siguiente forma: para los SDT, se tiene a los sólidos disueltos volátiles (SDV) y a los sólidos disueltos fundidos (SDF); para los SST, se tiene a los sólidos suspendidos volátiles (SSV) y a los sólidos suspendidos fundidos (SSF). Para dividir una muestra general, se utiliza un filtro de 0,4u de apertura, un recipiente de crisol, un equipo de autoclave y una balanza digital (3). Sin embargo, Méndez y Pérez, afirman que, para determinar los sólidos suspendidos en aguas residuales que están en forma coloidal, suspendida y disuelta, se requiere de una temperatura de 600°C y para la determinación de sólidos en agua residuales una temperatura de 103°C (38).

##### **b.3. Oxígeno disuelto (OD).**

Según, Metcalf y Eddy, la presencia de oxígeno disuelto en aguas naturales es esencial para la respiración de los microorganismos y seres aeróbicos que habitan dicho medio. La incorporación de oxígeno al medio acuático se da por la facilidad de disolución del oxígeno en el agua, como la presión parcial que ejerce la atmósfera sobre la superficie del medio acuático, así como la temperatura y el grado de contaminación del agua con materia

orgánica, sin embargo, las reacciones interinas en un medio acuático pueden reducir el oxígeno disponible más aún a aumentos de temperatura (31).

#### **b.4. Demanda biológica de oxígeno (DBO).**

Según, Metcalf y Eddy, es un parámetro fundamental indicador del grado de contaminación de las aguas residuales con materia orgánica, el valor de la DBO es empleado para la incorporación de oxígeno en los procesos aeróbicos a una velocidad de consumo obtenida de la  $DBO_5$ , también es usado para el diseño de las plantas de tratamiento, así como también para medir la eficiencia de los procesos empleados. La demanda biológica de oxígeno se calcula en cinco días ( $DBO_5$ ), a una temperatura de  $20^\circ\text{C}$ , para ello las muestras serán inoculadas con bacterias saprofitas que permitan la oxidación de la materia orgánica. Para la obtención del valor de la DBO se emplea las siguientes ecuaciones: la ecuación 26, representa a la DBO cuando el agua de dilución no ha sido inoculada con las bacterias saprofitas y la ecuación 27, cuando el agua de dilución ha sido inoculada con bacterias saprofitas (31).

$$DBO = \frac{D_1 - D_2}{P}, \text{ (mg/l),} \quad \text{(ecuación 26)}$$
$$DBO = \frac{D_1 - D_2 - (B_1 - B_2)f}{P}, \text{ (mg/l),} \quad \text{(ecuación 27)}$$

Considerando que:

$D_1$ : Representa al oxígeno disuelto antes de la inoculación con bacterias saprofitas, dado en mg/l.

$D_2$ : Representa al oxígeno disuelto inoculado con bacterias saprofitas, durante 5 días de incubación a una temperatura de  $20^\circ\text{C}$ , en mg/l.

$B_1$ : Representa al oxígeno disuelto sin la inoculación de bacterias saprofitas, siendo esta como testigo, dado en mg/l.

$B_2$ : Representa al oxígeno disuelto con la inoculación de bacterias saprofitas, luego de ser sometida a la incubación, dado en mg/l.

P: Fracción volumétrica de muestra empleada en mg/l.

F: Relación de  $D_1/B_1$ .

### **b.5. Demanda química de oxígeno (DQO).**

Empleado para medir la materia orgánica en las aguas residuales y naturales, para ello se utiliza dicromato de potasio en altas temperaturas en presencia de un catalizador (sulfato de plata) en un medio ácido, donde la materia orgánica pasará a oxidarse y de esta manera poder determinar la cantidad de oxígeno equivalente que requiera la materia para su oxidación, si se emplea el dicromato de potasio como agente oxidante se tiene la siguiente reacción química.  $C_aH_bO_c + Cr_2O_7^{-2} + H^+ \rightarrow Cr^{+3} + CO_2 + H_2O$

Donde,  $C_aH_bO_c$ , representa a la materia orgánica que ha ser oxidada por el dicromato  $Cr_2O_7^{-2}$ , obteniendo dióxido de carbono más agua y el ion dicromato (31).

### **b.6. Nitrógeno total.**

Los principales contribuyentes de nitrógeno al agua residual es la urea ( $CH_4N_2O$ ) y la materia orgánica con contenido proteico, estas pueden ser oxidadas por bacterias aeróbicas especialmente por el amoníaco ( $NH_3$ ) y el amonio ( $NH_4^+$ ) de nitritos ( $NO_2^-$ ) a nitratos ( $NO_3^-$ ), disminuyendo el oxígeno del medio y posibilita el crecimiento de algas y plantas acuáticas que al morir pasarán a formar amoníaco por la descomposición bacteriana, repitiendo el ciclo, es por ello que es indispensable su eliminación de las aguas residuales, en ocasiones se incorpora nitrógeno a las aguas que no lo tienen para la activación de las bacterias, el pH del agua juega un papel importante en la formación del nitrógeno ya sea en su forma de amoníaco o amonio, representada en la reacción siguiente,  $NH_3 + H_2O \rightleftharpoons NH_4^+ + OH^-$  (31).

Una forma para determinar el amoníaco presente en las aguas residuales es elevando el pH de la muestra, así como la temperatura hasta su punto de ebullición, de tal manera que el vapor de agua llevará consigo al amoníaco, para luego condensarlo y poder medirlo colorimétricamente, de la misma manera el nitrógeno orgánico se determina mediante el método de Kjeldahl (31).

### **b.7. Fósforo total.**

El fósforo en las aguas residuales se halla en forma de ortofosfato, polifosfato y fosfato orgánico, los ortofosfatos son indispensables para la digestión de los microorganismos y son:  $\text{PO}_4^{-3}$ ,  $\text{HPO}_4^{-}$ ,  $\text{H}_2\text{PO}_2^{-}$ ,  $\text{H}_3\text{PO}_4$ , sin embargo, los polifosfatos, son moléculas que presentan en su composición átomos de fósforo y átomos de hidrógeno los cuales generan formaciones complejas, que al presentarse en aguas residuales generan un crecimiento acelerado de las plantas acuáticas y de los microorganismos (31).

### **b.8. Grasas y aceites.**

Para, Sierra y Ramírez, las grasas, al tener una composición de sólidos y los aceites una composición líquida, dificultan las operaciones técnicas en una planta de tratamiento, así también impiden la disolución del oxígeno en el agua, formando una capa aisladora, a ello se suma la dificultad de la incidencia de la luz natural al interior del líquido, siendo la razón del porqué se adhieren a las branquias de los peces. En las grasas con mayor peso molecular como son: los ésteres, ceras, grasas, aceites, ácidos grasos se usa el hexano como disolvente para determinar su cantidad presente en aguas residuales que serán analizadas en laboratorio (37).

## 2.3. Definición de términos básicos

- **Coagulación y floculación:** “son métodos que se emplean para remover la materia coloidal y la suspendida (tamaño de 1,0 nm a 0,1 nm)” de las aguas residuales (39).
- **Demanda biológica de oxígeno (DBO):** “es la medida de la “materia orgánica biodegradable como proteínas, carbohidratos, grasas animales, la materia orgánica biodegradable se mide, en la mayoría de las ocasiones, en función de la DBO” (31).
- **Demanda química de oxígeno (DQO):** “corresponde al volumen de oxígeno requerido para oxidar la fracción orgánica de una muestra susceptible de oxidación al dicromato o permanganato, en medio ácido” (40).

- **Fósforo total (FT):** “es un nutriente esencial para el crecimiento de las bacterias, aumenta la eficiencia de los procesos en el tratamiento con digestores anaeróbicos” (41).
- **Grasas y aceites:** “su separación en el tratamiento de las aguas residuales se da “aprovechando la diferencia de su densidad” un ejemplo son los separadores API” (42).
- **Nitrógeno total (NT):** “los nutrientes (nitrógeno y fósforo), también llamados bioestimulantes, son esenciales para el crecimiento biológico. El contenido total de nitrógeno está compuesto por nitrógeno amoniacal, nitritos, nitratos y nitrógeno orgánico” (43).
- **Oxígeno disuelto (OD):** “parámetro que gracias a su determinación está relacionado con la medición del oxígeno disuelto que consumen los microorganismos en el proceso de oxidación bioquímica de la materia orgánica” (31).
- **Olor y sabor:** “uno de los mayores problemas asociado con la tecnología anaeróbica es la liberación de malos olores atribuida a la liberación de compuestos azufrados como el ácido sulfhídrico en el biogás” (41).
- **Potencial de hidrogeniones (pH):** “en relación con el tratamiento de aguas residuales con microorganismos el potencial de hidrógeno (pH) es óptimo para el proceso anaeróbico y se encuentra alrededor de 7, un valor de pH que está fuera del intervalo de 6,5 – 7,5 el cual puede ocasionar la muerte de la mayoría de las bacterias metanogénicas dicho pH debe estar entre 6,8 y 7,4, para la producción de gas metano” (43).
- **Sólidos suspendidos:** “parte de los sólidos que están presentes en el agua residual, clasificándose en sólidos suspendidos volátiles (SSV) y sólidos suspendidos totales (SST) (41).
- **Turbidez:** “es uno de los factores que influye en la acción de los desinfectantes, porque reduce su efectividad debido a la adsorción y a la protección de las bacterias atrapadas” (31).
- **Temperatura:** “es un factor que influye en el arranque de los reactores anaeróbicos juntamente con el pH y los nutrientes (41).

## CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

### 3.1. Método y alcance de la investigación

Según, Bernal Torres, al plantearse una hipótesis y buscar su demostración a través de procedimientos lógicos, obtiene resultados que están a favor o en contra de dicha hipótesis, además estas permiten deducir y llegar a conclusiones para formular teorías, se está hablando del método hipotético-deductivo (44), según lo expresado, esta investigación tiene como método de investigación, al hipotético deductivo, porque a partir de los resultados obtenidos del tratamiento del agua residual en el proceso electrolítico, se deduce que el efecto que tuvo la electrólisis en los parámetros de las aguas residuales, así como su variación de dichos parámetros en la línea del tiempo, y su variación de los valores de los resultados antes y después del tratamiento permitieron afirmar la hipótesis planteada.

#### 3.1.1. Tipo de investigación

Según, Ñaupas et al, cuando la investigación está enfocada en resolver los problemas que se presentan por las actividades que el ser humano realiza, y que estas se presentan más en los procesos industriales especialmente en la fase de producción, distribución, circulación de bienes y servicios, se refiere a una investigación de tipo aplicada (45). Sin embargo, para Bernal Torres, el tipo de investigación es correlacional y experimental ya que también se mide el grado de relación de las variables de una misma población y el efecto que produce la variable independiente en la variable dependiente al ser esta manipulada intencionalmente (44). Gracias a la aplicación de la electrólisis se buscó resolver el problema ambiental que causa las aguas residuales del Camal en el río Hatunmayo, y para tal cumplimiento se manipuló el nivel de tensión de la variable independiente, específicamente la tensión eléctrica, donde se observó el grado de relación que tuvo directamente en los parámetros fisicoquímicos del agua residual.

### 3.1.2. Nivel de investigación

Según, Ñaupas et al, cuando clasificó la investigación científica, afirma que la investigación explicativa busca determinar las hipótesis planteadas en una investigación, buscando la relación de causa y efecto entre variables de estudio, realizando para ello experimentos (45). Por lo tanto, la presente investigación está enmarcada en el nivel de investigación explicativo ya que explica los efectos producidos por los parámetros fisicoquímicos del agua residual del Camal de Anta, por cada nivel de tensión de la fuente de energía en el sistema de electrólisis.

### 3.2. Diseño de la investigación

Para, Bernal Torres, cuando en una investigación se manipula la variable independiente intencionalmente, y además existen grupos asignados que han de ser medidos en las mismas condiciones, se refiere al diseño experimental (44). Por lo tanto, el diseño de investigación es el experimental, debido a que las muestras tomadas del efluente del Camal del Anta se someten al proceso de tratamiento mediante la electrólisis, buscando el efecto y su variación en la línea del tiempo de los parámetros fisicoquímicos, antes, durante y posterior al tratamiento electroquímico.

### 3.3. Población y muestra

#### 3.3.1 Población

La población de estudio esta referida a las aguas residuales procedentes del efluente del Camal municipal de Anta.

#### 3.3.2. Muestra

- **Unidad de análisis:** Es el agua residual no tratada del Camal municipal de Anta.
- **Tipo de muestra:** El tipo de muestra es no probabilística o dirigida, debido a que la selección de la muestra no depende la aplicación de algún

método de probabilidad, sino solo de las características inherentes de la investigación (46).

- **Tamaño de la muestra:** La muestra total en todo el estudio fue de 66 litros, las cuales fueron tomadas según el cronograma para el cumplimiento de los objetivos específicos, donde para el objetivo específico uno, fue de 48 litros, para el objetivo específico dos, fue de 12 litros y para el objetivo específico tres, fue de 3 litros.
- **Selección de la muestra:** Las muestras fueron seleccionadas en los horarios de mayor labor de faenado, el cual implica mayor cantidad de caudal de agua residual.

### 3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

A continuación, se describen los instrumentos que se emplearon para la recolección de datos, así como la técnica que se empleó para el tratamiento de las aguas residuales del Camal municipal de Anta.

#### 3.4.1. Construcción del sistema de electrólisis

Se describe la construcción del sistema de electrólisis, que comprende a la celda electrolítica, a la fuente de energía, los electrodos, el soporte de los electrodos y los cables de conexión.

##### a. Construcción de la celda electrolítica

La celda electrolítica, es el recipiente donde se ha de introducir las muestras de agua residual del Camal municipal de Anta, es ahí donde se realizará el proceso de la electrólisis, el cual nos permitirá verificar las reacciones de óxido reducción de las aguas del efluente del Camal de Anta, para ello se emplearon materiales y herramientas descritas en la Tabla 3, por consiguiente, las características de la celda electrolítica se muestran en la Figura 14.

Tabla 3. *Materiales y herramientas empleados en la construcción de las celdas electrolíticas*

MATERIALES	HERRAMIENTAS
Botellas de vidrio	Corta vidrio
Vidrio transparente	Pistola para aplicar silicona
Silicona arquitectónica, blanca	Cúter
Cinta de embalaje	Taladro
Plumón indeleble	Huincha métrica
Manguera automotriz transparente	Perforadora de vidrio tubular

**Descripción.** El recipiente de la Figura 14a, será empleado como parte del sistema de la electrólisis para la verificación del efecto que genera la tensión eléctrica en la temperatura, conductividad eléctrica, turbidez y pH, así como la determinación de estas, en la línea del tiempo, de la misma manera el recipiente de la Figura 14b, se emplea en el tratamiento de las aguas residuales que cae en el objetivo 3 y su posterior análisis en el laboratorio.

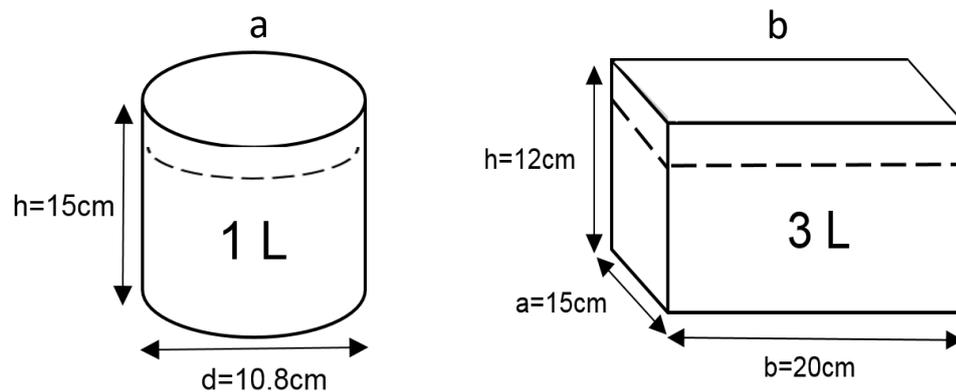


Figura 14. Dimensiones de las celdas electrolíticas.

La Figura 15, muestra la celda electrolítica de 3 litros para el tratamiento del agua residual por medio de electrólisis.



Figura 15. Celda electrolítica de 3 litros.

### b. Construcción de la Fuente de energía

La fuente de energía es el equipo que nos provee energía eléctrica continua (tensión continua; corriente continua), las características de su diseño se encuentran en el Anexo 3, los materiales que se emplearon para su construcción están descritos en la Tabla 4.

Tabla 4. *Materiales y herramientas empleados en la construcción de la fuente de energía*

MATERIALES	HERRAMIENTAS
Alambre de cobre #19 AWG, #14 AWG	Alicate de corte
Láminas de hierro tipo E y I	Alicate de presión
Papel aislante (papel pescado)	Bobinador
Cinta masking	Tijera
Cinta aislante	Regla
Trozo de madera	Calculadora
4 diodos 1N5403	Taladro de 1mm
Un Condensador 2500uf/ 150V	Cautín
Una resistencia shunt de,6 $\Omega$ /10W	Voltímetro
Soldadura, pasta, ácido férrico	Amperímetro
Cable de conexión con cocodrilos	Destornillador, lija
Placa de cobre de 10cmx7cm	

**Descripción.** Una vez obtenido los datos del Anexo 3, se prosiguió a rebobinar el transformador, para luego pasar al armado de la placa donde se asientan los componentes pasivos como, los diodos y la resistencia Shunt según el diagrama eléctrico de la Figura 16, finalmente se prosiguió a medir los valores reales de la tensión alterna y continua sin carga (sin conexión a los electrodos) con un multímetro, obteniendo los resultados de la Tabla 5.

La resistencia Shunt fue empleada para limitar la corriente y evitar sobrecalentamientos de la fuente cuando esté conectado al sistema de electrólisis con las muestras respectivas.

Tabla 5. *Tensión y corriente de salida en la fuente de energía sin carga*

VOLTAJE Y CORRIENTE		VALOR			
Tensión alterna (V) sin carga	15	30	45	60	
Tensión continua (V) sin carga	18,5	35,1	52,7	70,8	
Corriente máxima continua (A) sin carga	16,5	16,5	16,5	16,5	

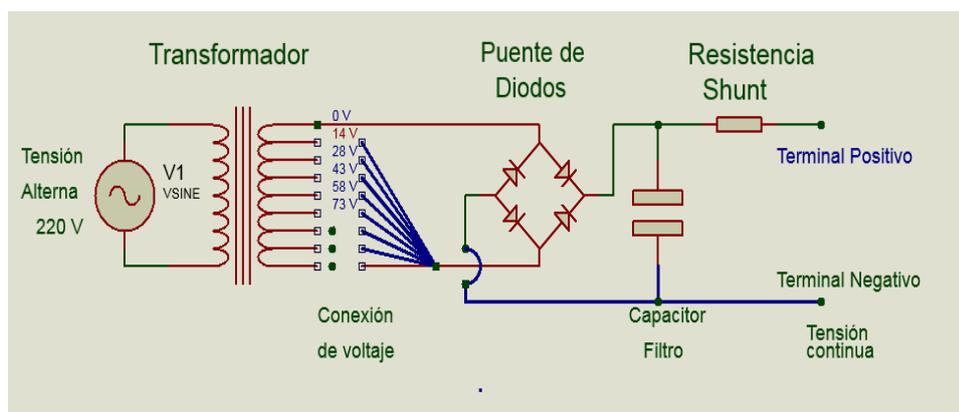


Figura 16. Diagrama eléctrico de la fuente de energía, realizada en el software Proteus, versión 8.

### c. Preparación de los electrodos y soporte de electrodos

Dispositivos indispensables del sistema de la electrólisis, el cual entra en contacto con las aguas residuales. Los materiales empleados en la fabricación de los electrodos y soporte de este se observan en la Tabla 6. El material que se empleó para la fabricación de los electrodos fue el acero inoxidable, por su alta capacidad de soportar a la corrosión y su fácil acceso en el mercado local, los electrodos elaborados son de dos dimensiones tal como muestra la Figura 17.

Para el soporte de los electrodos se preparó 3 pares de piezas de madera distanciadas a un centímetro cada una y diferenciadas con colores, donde la función que cumplen es evitar que los electrodos entren en corto circuito y asegurar la distancia entre electrodos, cuando estén sometidos a la celda electrolítica contenidas con agua residual.

Tabla 6. *Materiales y herramientas empleados en la construcción de los electrodos y el soporte de electrodos*

MATERIALES	HERRAMIENTAS
Plancha de acero inoxidable	Hoja de sierra, con su arco de sierra
Plumón indeleble	Huincha
Dos trozos de madera	Vernier
Ligas para generar presión	Cinta métrica
Lápiz	

**Descripción.** Los electrodos tienen un espesor de 1,2mm, la cantidad de electrodo es de 4 pares para la Figura 17a, y 3 pares de electrodos para la Figura 17b, los electrodos de la Figura 17a, tres pares fueron empleadas en las pruebas del efecto de la tensión eléctrica en los parámetros del agua residual y un par para el tratamiento del objetivo específico 3, los electrodos de la Figura 17b, se emplearon para la verificación de los parámetros en la línea del tiempo.

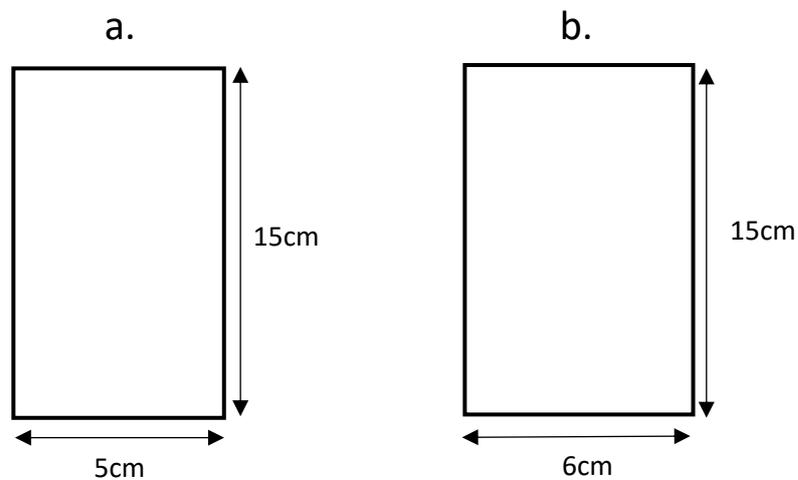


Figura 17. Dimensiones de los electrodos fabricados con acero inoxidable.

### 3.4.2. Toma de muestras de agua residual

Las cantidades de muestras se tomaron de acuerdo con los objetivos específicos planteados es así que para el cumplimiento del objetivo 1 y 2 se empleó un recipiente de plástico no transparente a la luz solar de 16 litros prosiguiéndose de la siguiente manera: el recipiente de plástico fue lavado con abundante agua, para evitar que se contaminen las muestras con algún

residuo del recipiente, la toma o recogida de la muestra, fue en el punto de vertimiento, teniendo las siguientes consideraciones: se recogió en horarios de mayor caudal, de tal manera que se obtuvo una mayor representatividad, una vez llenado la cantidad establecida, se prosiguió a cerrar el recipiente herméticamente, para luego ser transportado inmediatamente al laboratorio y proseguir con lo planeado según los objetivos específicos. Todo lo anterior fue según las recomendaciones del laboratorio.

### 3.4.3. Tratamiento del agua residual por electrólisis

Las muestras contenidas en el recipiente de plástico fueron sometidas a los tratamientos mostrados según la ficha de laboratorio para cada objetivo específico, el cual nos permitió verificar el efecto que tiene la variable independiente sobre las variables dependientes, así como el comportamiento de las variables dependientes en la línea del tiempo y la verificación de los parámetros en el laboratorio, para ello se realizaron los siguientes pasos según los objetivos específicos descritos a continuación.

#### **a. Determinación del efecto que produce la tensión eléctrica en la variabilidad de los valores de los parámetros fisicoquímicos.**

##### **a.1. Estructura para la prueba de variabilidad de los parámetros fisicoquímicos para diferentes tensiones**

Para la determinación de la variabilidad de los valores de los parámetros fisicoquímicos como la temperatura, conductividad, turbidez, y pH, al ser sometidos a diferentes tensiones, se prosiguió de la siguiente manera: las tensiones a las cuales fueron sometidas las muestras se clasificaron según el nivel de tratamiento tal como se muestra en la Figura 18; los tratamientos, están descritos de la siguiente manera, el tratamiento uno (T1) fue sometido a 18,5 voltios, el tratamiento dos (T2) fue sometido a 35,1 voltios, el tratamiento tres (T3) fue sometido a 52,7 voltios y el tratamiento cuatro (T4) fue sometido a 70,8 voltios, cada tratamiento está comprendido por cuatro muestras diferentes y cada muestra tiene 4 resultados

por cada nivel de tensión, representada por (Mn; Tn), para ello se agrupó en grupos según el nivel de voltaje.

Medida de los promedios de los parámetros fisicoquímicos por tratamiento, tomadas a los 30 minutos para la temperatura y a los 60 minutos para la conductividad, turbidez y pH luego del sometimiento a la electrólisis durante los 30 minutos.				
Tratamiento	Observaciones			
	M1	M2	M3	M4
T1	M1; T1	M2; T1	M3; T1	M4; T1
T2	M1; T2	M2; T2	M3; T2	M4; T2
T3	M1; T3	M2; T3	M3; T3	M4; T3
T4	M1; T4	M2; T4	M3; T4	M4; T4

Grupo I; sometido a 18,5 voltios

Grupo I; sometido a 35,1 voltios

Grupo I; sometido a 52,7 voltios

Grupo I; sometido a 70,8 voltios

Figura 18. Estructura para los parámetros fisicoquímicos.

### a.2. Prueba electrolítica a diferentes tensiones para verificación del efecto o variabilidad de la temperatura, conductividad eléctrica, turbidez y pH.

Para este objetivo específico 1, se empleó lo siguiente:

- Instrumentos: termómetro, conductímetro, turbidímetro, pH-metro, cronómetro.
- Muestra: 3 litros por tratamiento y muestra.
- Otros: Sistema electroquímico, ficha de laboratorio N°1 al N°4

**Procedimiento:** Para la determinación de la existencia de la variabilidad de los parámetros fisicoquímicos (temperatura, conductividad, turbidez, pH) del agua residual del Camal de Anta, se preparó 3 recipientes de vidrio de 1 litro, donde cada recipiente contenía un par de electrodos, separados por una distancia de 5cm una de otra, los cuales fueron sujetados con soportes de madera, uno de los electrodos fue identificado con el signo positivo (+) y el otro con el signo negativo (-), el área sumergida de electrodos en la muestra por cada recipiente de un litro, fue de 60cm<sup>2</sup>. Para luego ser conectados mediante cables a la fuente de tensión según su polaridad de la siguiente manera, el polo positivo de la fuente con el electrodo positivo y el polo negativo de la fuente con el electrodo negativo, ver Figura 35-36, en el Anexo 6.

En lo que respecta a las muestras, se tomaron cuatro muestras distintas etiquetadas como; M1, M2, M3 y M4, donde cada muestra fue tomada en distintos días, con un total de 12 litros por muestra.

La M1 de 12 litros se dividió en 4 grupos el cual corresponde a cada nivel de tensión y cada grupo se dividió en 3 subgrupos, estos subgrupos que corresponden a 3 litros de muestra se separaron en tres recipientes de un litro cada uno, esta separación de la muestra en un litro por recipiente se realizó con la finalidad de tomar las medidas de temperatura, conductividad, turbidez, pH, para su posterior análisis estadístico por parámetro. Por consiguiente, la muestra etiquetada como M1 fue sometida a 18.5 voltios.

La muestra M1, que fue separada en tres recipientes fue sometida al sistema de la electrólisis durante 30 minutos, luego se separó una porción de la muestra tratada de cada recipiente de un litro, mediante un conducto ubicado en la parte inferior de los recipientes de un litro, obteniéndose 3 muestras tratadas para su enfriamiento durante 30 minutos adicionales a los 30 minutos del tratamiento, posterior a ello se pasó a medir los parámetros de conductividad, turbidez y pH, registrando sus valores en la ficha de laboratorio N°1, ver Anexo 5. Sin embargo, en lo que respecta a la temperatura, las mediciones se realizaron inmediatamente después de los 30 minutos de sometimiento a la electrólisis. Para la medición de la turbidez se tuvo la siguiente consideración: una vez pasado los 60 minutos del tratamiento y enfriamiento se agitó para su medición para así evitar alteraciones de la turbidez.

Por otro lado, las muestras M2, fueron sometidas al nivel de tensión de 35.1 voltios, la muestra M3 al nivel de tensión de 52.7 voltios y la M4, 70.8 voltios. Donde cada una de ellas fueron desarrolladas similar a la muestra M1.

**b. Determinación de los niveles de la temperatura, conductividad, turbidez y pH en la línea del tiempo al ser sometida a la electrólisis.**

Para el cumplimiento del objetivo específico 2, se empleó lo siguiente:

- ✓ Instrumentos: termómetro, conductímetro, turbidímetro, pH-metro, cronómetro.
- ✓ Muestra: 12 litros
- ✓ Otros: sistema electroquímico, ficha de laboratorio N°5 al N°8.

**Procedimiento:** Para el nivel de tensión de 18,5 voltios se prepararon, tres celdas electrolíticas con las siguientes características, el área de los electrodos sumergidos fue de  $50 \text{ cm}^2$ , por electrodo, la distancia entre los electrodos fue de 5cm, los electrodos fueron identificados con signos positivos y negativos, la muestra de agua residual para el nivel de tensión de 18,5V, fue de 3 litros, separándose un litro por cada celda electrolítica, una vez llenado los recipientes se pasó a conectar el polo positivo de la fuente con el electrodo positivo de las celdas, así como el polo negativo de la fuente con el electrodo negativo de las celdas. Las muestras de 3 litros fueron sometidas durante 60 minutos al sistema de la electrólisis, luego por cada 10 minutos desde el minuto cero se separan submuestras mediante el agujero ubicado en la parte inferior de cada recipiente y luego se miden sus parámetros fisicoquímicos, a excepción de la temperatura, que su medición fue directamente en la celda electrolítica, registrando los valores en la ficha de laboratorio N° 5, ver Anexo 5.

Para la determinación de los parámetros fisicoquímicos de las muestras que fueron sometidas a los niveles de tensión 35,1 voltios, 52,7 voltios y 70,8 voltios, se prosigió de la misma manera que para la muestra que fue sometida al nivel de tensión de 18,5 voltios, estos datos fueron registrados en la ficha de laboratorio N°6 al N°8, ver Anexo 5.

**c. Determinación de los parámetros fisicoquímicos del agua residual previa al tratamiento y posterior al tratamiento.**

Los parámetros fisicoquímicos como la turbidez, temperatura, potencial de hidrogeniones y conductividad eléctrica se midieron en campo y los parámetros como:  $\text{DBO}_5$ , DQO, SST, NT, PT, MO y Fe, se analizaron en laboratorio de acuerdo con el protocolo del laboratorio descrito a continuación.

c.1. Medidas en campo

c.1.1. Determinación de la temperatura

Basado en los efectos que puede causar el incremento de la temperatura en un medio acuático natural como la aceleración de reacciones químicas, la modificación del hábitat de las especies, la disminución de la cantidad de oxígeno disuelto, la alteración de la tensión superficial, la generación de desbalances tróficos, la migración masiva de especies y liberación de toxinas (47), ello implica conocer el nivel de la temperatura que presentan las aguas vertidas del Camal municipal de Anta en el río Hatunmayo. Para ello se empleó un termómetro digital de un polímero marca Milenio - modelo MY64, un recipiente de vidrio y la ficha de campo N° 2, con el siguiente procedimiento: se tomó una muestra de 3 litros en un recipiente de vidrio, donde se introdujo el sensor de temperatura tres veces repetidas en intervalos de 30 segundos, registrándose los valores de medición en la ficha de campo N° 2, ver Anexo 4.

c.1.2. Determinación de la conductividad eléctrica

Su importancia está en el peligro que puede ocasionar una solución que contenga sales e iones disueltos en un medio acuoso y que al llegar a una fuente natural, esta tenga la capacidad de conducir la corriente eléctrica, para ello las fuentes naturales de agua, deben estar en un rango de 0,6 a 1,7 dS/m y así no tener efecto alguno (48), sin embargo, el fundamento está en conocer el nivel de conductividad que tienen las aguas residuales del Camal ya que al ser vertido modifican el nivel de

conductividad del río Hatunmayo, por ende puede provocar alteraciones al medio acuático y a las áreas de cultivo que son regadas con dichas aguas, por ello que se planteó el objetivo de medir la conductividad eléctrica del agua residual del Camal municipal de Anta. Para tal objetivo, se empleó un conductímetro tipo lapicero marca y modelo - AZ8361, un recipiente de vidrio y la ficha de campo. La medición de la conductividad eléctrica se realizó en la misma muestra del parámetro anterior donde se introdujo el sensor del instrumento tres veces tal como indica la ficha de campo N° 2, ver Anexo 4.

#### c.1.3. Determinación de la turbidez

Los efluentes del Camal contienen partículas como sólidos suspendidos, materias orgánicas, sólidos disueltos, microorganismos, orina y estiércol en el efluente de origen ganadero o agrícola (49). Al conocer estas partículas nos permitirá identificar los impactos negativos de las aguas residuales al ser vertidas al río Hatunmayo como son: la obstaculización del ingreso de la luz solar hacia las aguas profundas del río, la disminución de la calidad de las aguas del río, la baja estética del agua, la alteración en el normal desarrollo de la vida acuática, el menor desarrollo de la fotosíntesis acuática, la proliferación de microorganismos anaeróbicos y la disminución del oxígeno del medio acuático, para tal fin se empleó un turbidímetro digital marca - HI98703, un recipiente de vidrio y la ficha de campo, con tal procedimiento se calibró el instrumento según su manual. Las mediciones fueron realizadas en la misma muestra del parámetro anterior con tres repeticiones, registrándose la turbidez en la ficha de campo N° 2, ver Anexo 4.

#### c.1.4. Determinación del pH

La mayoría de las especies acuáticas se desarrollan con total normalidad entre los valores de pH de 6,8 a 7,2 por debajo y por encima de estos valores, se impide el normal desarrollo de la vida acuática, alterando su ciclo de reproductividad y provocando reacciones químicas en el medio

acuático por la acidez o basicidad (50), para ello se debe conocer el nivel del pH que presenta el efluente del Camal municipal de Anta y su influencia en el cambio de la calidad del agua del río Hatunmayo. Por lo tanto, para tal objetivo se empleó un pH-metro digital marca - PH-009(I), un recipiente de vidrio y una ficha de campo, con el siguiente procedimiento: para la medición del pH, se calibró el instrumento con muestras estándares de una solución de pH 4,01 a 25 °C en agua destilada de 250ml, luego se tomó la misma muestra para los parámetros anteriores la que se midió tres veces obteniendo los resultados registrados en la ficha de laboratorio N°2, ver Anexo 4.

## c.2. Medidas en laboratorio

### c.2.1. Determinación de los sólidos suspendidos totales (SST)

Las aguas residuales del Camal municipal de Anta, presentan gran cantidad de sólidos: orgánicos, disueltos, suspendidos, volátiles y fijos, así como plaquetas, iones, proteínas, gases, células (glóbulos rojos, glóbulos blancos) que al ser vertidas al río Hatunmayo, alteran la composición natural del río. Para determinar la cantidad de sólidos suspendidos totales en el agua residual del efluente del Canal municipal de Anta, se empleó el siguiente procedimiento según el protocolo del laboratorio.

- **Para sólidos Totales:**
  - ✓ Pesar una cápsula.
  - ✓ Tomar 100 ml de muestra y viértalos en la cápsula.
  - ✓ Colocar la cápsula que contiene la muestra en una estufa mantenida entre 103°C a 105°C y se evapora la muestra a sequedad.
  - ✓ Dejar enfriar la cápsula en el desecador aproximadamente 15 min y haciendo uso de la balanza analítica, pese la cápsula con el residuo seco.
- **Para sólidos suspendidos totales:**
  - ✓ Pesar un crisol Gooch (previamente preparado con la capa de asbesto y secado hasta peso constante).

- ✓ Tomar 100 ml de la muestra y filtrar utilizando el crisol Gooch.
- ✓ Llevar el crisol a un horno con una temperatura que oscile entre 103°C a 105°C y déjelo por una hora.
- ✓ Enfriar en el desecador durante 15 min.
- ✓ Pesar el crisol Gooch con el residuo.

#### c.2.2. Determinación de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>)

El oxígeno es indispensable para el sustento de la vida acuática aeróbica, pero la presencia de materia orgánica excesiva, provoca la aparición de microorganismos anaeróbicos, que al alimentarse de la materia orgánica usan el oxígeno existente en el agua natural para su combustión biológica, causando el agotamiento del oxígeno disponible, además impide el normal desarrollo de los seres aeróbicos modificando su hábitat (51), para tal fin se utilizó el método Winkler, donde la prueba consistió en la determinación del Oxígeno Disuelto, antes y después de un periodo de incubación a 20°C, durante 5 días, empleando el siguiente procedimiento.

- **Fijación de Oxígeno:**
  - ✓ Llenar con la muestra la botella Winkler, hasta que rebose.
  - ✓ Agregar 20 gotas de MnSO<sub>4</sub>
  - ✓ Agregar 20 gotas de Yoduro de álcali (NaOH + KI).
  - ✓ Tapar la botella y agitar por 30 segundos.
  - ✓ Agregar 20 gotas de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> para que el yodo se desprenda, siendo este equivalente al oxígeno fijado.
- **Incubación de la muestra por un periodo de 5 días.**
  - ✓ Tapar y agitar vigorosamente la muestra por lo menos 10 segundos para permitir que la reacción se complete para distribuir el yodo uniformemente.
  - ✓ Finalmente, la muestra está lista para titular el I<sub>2</sub> desprendiendo con tiosulfato de sodio 0,025 N, utilizando un indicador de almidón.

### c.2.3. Determinación de la demanda química de oxígeno (DQO)

La DQO es empleada, para medir el oxígeno equivalente o la materia orgánica químicamente oxidable (52), la presencia de materia orgánica en las aguas del efluente del Camal hace que esta sufra procesos de oxidación, y que gracias a este proceso se den reacciones de oxido-reducción que consumen oxígeno del entorno acuático, disminuyendo así el oxígeno disponible y alterando la calidad del agua del río. Para determinar la cantidad de la demanda bioquímica de oxígeno en el efluente del Camal municipal de Anta, se prosiguió de la siguiente manera según el protocolo del laboratorio.

- ✓ Medir 1ml de muestra
- ✓ Agregar 5ml de  $K_2Cr_2O_7$
- ✓ Agregar 1,5ml de  $H_2SO_4$
- ✓ Digestar a  $150^\circ C$  durante 2 horas en reflujo.
- ✓ Enfriar y agregar indicador 3 gotas de ferroína.
- ✓ Titular con  $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2$

### c.2.4. Determinación de grasas y aceites

Las grasas y aceites químicamente están compuestos por oxígeno, hidrógeno y carbono que cuando llegan a las fuentes de aguas naturales cubren las superficies de las aguas (52), estas grasas al adherirse en la superficie de las plantas y en las plumas de las aves, crean un impacto negativo, por lo tanto, para su determinación se prosiguió de la siguiente manera según el protocolo del laboratorio.

- ✓ Pesar un crisol
- ✓ Agregar 100 ml de muestra a una pera de decantación.
- ✓ Agregar 10 ml de benceno en dos tiempos de 5 ml y agitar por 5 minutos aproximadamente hasta que aparezca una mezcla homogénea, cada cierto tiempo liberar el gas.
- ✓ Luego dejar por 10 min hasta que se separe el benceno.

- ✓ Separar en el crisol, el benceno y dejar la muestra en una estufa mantenida a 103 o 105°C y se evapore la muestra a sequedad, quedando la grasa.

#### c.2.5. Determinación del fósforo total (PT)

Así como el fósforo es un elemento esencial del ADN, su uso indiscriminado en la agricultura como fertilizante y su presencia en los residuos de la actividad ganadera, ha provocado el deterioro de las fuentes de agua, mediante la eutrofización de los lagos y ríos (53). Para determinar la cantidad del fósforo total de las aguas residuales del Camal municipal de Anta, se empleó el método colorimétrico, descrito a continuación.

- ✓ Medir 10 ml de la muestra.
- ✓ Agregar 10 gotas de solución ácida (  $H_2SO_4$  solución concentrada)
- ✓ Agregar 10 gotas de solución ácida de molibdato de amonio.
- ✓ Agregar 2 gotas de cloruro de estaño.
- ✓ Esperar 15 min para la formación del color y colocar al espectrofotómetro.
- ✓ Leer inmediatamente en transmitancia a una longitud de onda de 770 nm.

#### c.2.6. Determinación de nitrógeno total (NT)

La presencia de nitrógeno en las aguas naturales contribuye a la disminución de la alcalinidad y al aumento de la acidificación de los ríos y lagos, generando sobrepoblación de algas que traen consigo a la eutrofización, donde se reduce el oxígeno disuelto del medio acuático, generando toxicidad en el agua, afectando directamente a las especies acuáticas y produciendo cambios de hábitat de los animales acuáticos (54). Por lo tanto, para determinar el nitrógeno total se siguió los siguientes pasos según el protocolo del laboratorio.

- ✓ Agregar en un recipiente 10 ml de ácido bórico para capturar el nitrógeno.

- ✓ Agregar 3 gotas de indicador Kjeldahl.
- ✓ Medir 5ml de muestra y aforar a 100 ml con agua destilada en un matraz de reflujo de 500 ml.
- ✓ Agregar un catalizador (Devarda) y una piedra porosa muy despacio.
- ✓ Agregar 10 ml de NaOH saturado.
- ✓ Llevar a cabo el proceso de destilación y esperar que el recipiente receptor llegue hasta el doble de su volumen inicial.
- ✓ Titular con HCl 0,1 N tomando como punto final de la titulación el primer cambio de color manifiesto desde el azul verdoso al azul violeta.

#### c.2.7. Determinación de la materia orgánica (MO)

La actividad ganadera genera materia orgánica a través de los excrementos de los animales que son ricos en nutrientes como el nitrógeno que, al llegar a las fuentes de agua natural, generan la proliferación de algas en la superficie de los lagos, contribuyen a la reducción del oxígeno disuelto, a la eutrofización de los lagos, así también al cambio de hábitat de los animales acuáticos (55). Para determinar la cantidad de nitrógeno se empleó el método dicromatometría, descritos a continuación.

- ✓ Medir 50 ml de muestra en un matraz de reflujo de 500 ml.
- ✓ Añadir 1g de  $\text{HgSO}_4$ , varias cuentas de cristal y muy despacio.
- ✓ Añadir 5 ml de reactivo de ácido sulfúrico, mezclando para disolver  $\text{HgSO}_4$ .
- ✓ Enfriar mientras se mezcla para evitar la posible pérdida de materiales volátiles.
- ✓ Añadir 25 ml de solución de  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  0,0417 M y mezclar.
- ✓ Sujetar el matraz al refrigerante y hágase girar en agua fría.
- ✓ Añadir 70 ml de ácido sulfúrico a través del extremo abierto del refrigerante, agitar mientras se mezcla el ácido sulfúrico.

- ✓ Cúbrase el extremo abierto del refrigerante con una pequeña cubeta para evitar la entrada de material extraño a la mezcla de reflujo y sométase a reflujo durante 2 horas.
- ✓ Diluir la mezcla hasta aproximadamente el doble de su volumen con agua destilada.
- ✓ Enfriar a temperatura ambiente y determinar el exceso de  $K_2Cr_2O_7$  con SAF, utilizando 0,1 a 0,15 ml (2 a 3 gotas) de indicador ferroína.
- ✓ Tómese como punto final de la titulación el primer cambio de color manifiesto desde el azul verdoso al marrón rojizo.

#### c.2.8. Determinación del hierro total

La presencia de hierro en aguas naturales ocasiona sabores, olores y cambios de color, que son desagradables a los sentidos, ya que las altas concentraciones de hierro en las aguas, hacen que se produzcan bacterias que se alimentan de hierro (56). Para determinar la cantidad de hierro se empleó el método fenantrolina descrita a continuación.

- ✓ Mezcle cuidadosamente la muestra y mida 50 ml en un erlenmeyer de 125 ml.
- ✓ Añadir 2 ml de HCl concentrado.
- ✓ Añadir 1 ml de solución de  $NH_2OH.HCl$ .
- ✓ Añadir unas bolas de vidrio y calentar la solución a ebullición.
- ✓ Para asegurar la dilución del hierro, continuar la ebullición hasta que el volumen se reduzca a 15-20 ml.
- ✓ Enfríe hasta temperatura ambiente y pese a un matraz volumétrico de 50 ml.
- ✓ Añadir 10 ml de solución tampón de  $NH_4C_2H_3O_2$
- ✓ Añadir 4 ml de solución de fenantrolina y diluir con agua hasta la señal.
- ✓ Mezcle cuidadosamente y deje al menos de 10 a 15 minutos para que se desarrolle el color al máximo.

#### 3.4.4. Determinación de los parámetros fisicoquímicos del agua residual, posterior al tratamiento.

La muestra que se tomó, para el análisis en el laboratorio previo al tratamiento en el sistema de electrólisis, fue empleada para el tratamiento electrolítico con las siguientes características: el volumen de la celda electrolítica fue de 3 litros; la distancia entre electrodos fue de 5 cm; el área de los electrodos sumergidos fue de 50 cm<sup>2</sup>, la tensión a la cual fue sometida la muestra, fue de 58 Voltios, el tiempo que duró el tratamiento, fue de 90 minutos. Transcurrido los 90 minutos se extrajo un litro de la muestra para su posterior análisis en el laboratorio, donde se empleó los mismos métodos y procedimientos descritos previos al tratamiento, teniendo la siguiente consideración: la muestra que se llevó al laboratorio se dejó enfriar, ver Figura 40, en Anexo 6.

#### 3.4.5. Técnicas estadísticas de análisis de datos

Para la demostración de la hipótesis del objetivo específico 1, se empleó el análisis de varianza (ANOVA), con un test de comparación de medias de Tukey, dado para datos menores a 30, con un nivel de significancia de un 5%, para ello se empleó el Software Minitab V-18.

Del mismo modo para la prueba de hipótesis del objetivo específico 2, se empleó el Software Minitab V-18, con un nivel de significancia de un 5%.

## CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Análisis de resultados

#### 4.1.1. Análisis de resultados para el efecto de la tensión eléctrica en la temperatura, conductividad, turbidez y pH (objetivo específico 1).

##### 4.1.1.1. Análisis de supuesto de normalidad

Uno de los criterios del desarrollo de los datos paramétricos, es que estas presenten normalidad, es así que, para realizar este hecho se empleó el método de Shapiro-Wilks, para datos menores a 50, cuya hipótesis fue:

Hipótesis nula  $H_0$ : Los datos siguen una distribución normal.

Hipótesis alterna  $H_A$ : Los datos no siguen una distribución normal.

Criterio: Se acepta la  $H_0$  si  $p\text{-value} > \alpha$ , ( $\alpha$  es el nivel de significancia del 5% o 0,05).

En la Tabla 7, se presenta el análisis de normalidad para los parámetros fisicoquímicos, de ella se desprende que el valor de  $p\text{-value}$ , para las observaciones de los parámetros en el tratamiento son mayores a 0,05, es decir se acepta la  $H_0$ , por lo que los datos siguen una distribución normal, del 5% de significancia.

Tabla 7.  $p > \text{value}$  de normalidad para los parámetros fisicoquímicos objetivo específico 1

Parámetros	Nivel de voltaje			
	18,5 V	35,1 V	52,7 V	70,8 V
Temperatura	0,1	0,1	0,1	0,1
Conductividad	0,1	0,1	0,1	0,1
Turbidez	0,1	0,1	0,1	0,1
pH	0,1	0,1	0,1	0,1

#### a. Análisis de la temperatura

Para comparar la diferencia significativa de la temperatura en las muestras por voltios se aplicó un análisis de varianza (ANOVA). Al evaluar

la temperatura por voltios, estas presentan diferencias significativas (valor  $p < 0,05$  se rechaza la hipótesis nula), es así que la temperatura para: 18,5V; 35,1V; 52,7V y 70,8 Voltios son diferentes, por otra parte, los intervalos de confianza de la temperatura medidos en los tratamientos no se traslapan entre sí, y que a través del test Tukey la temperatura en el minuto de muestreo por el nivel de tensión, difieren entre ellos (letras diferentes) y del mismo modo la temperatura expresa valores bajos para 18,5 V y valores altos para 70,8V tal como se aprecia en la Figura 19, es así que la temperatura denuncia aumentos en las muestras a medida que aumente la tensión eléctrica.

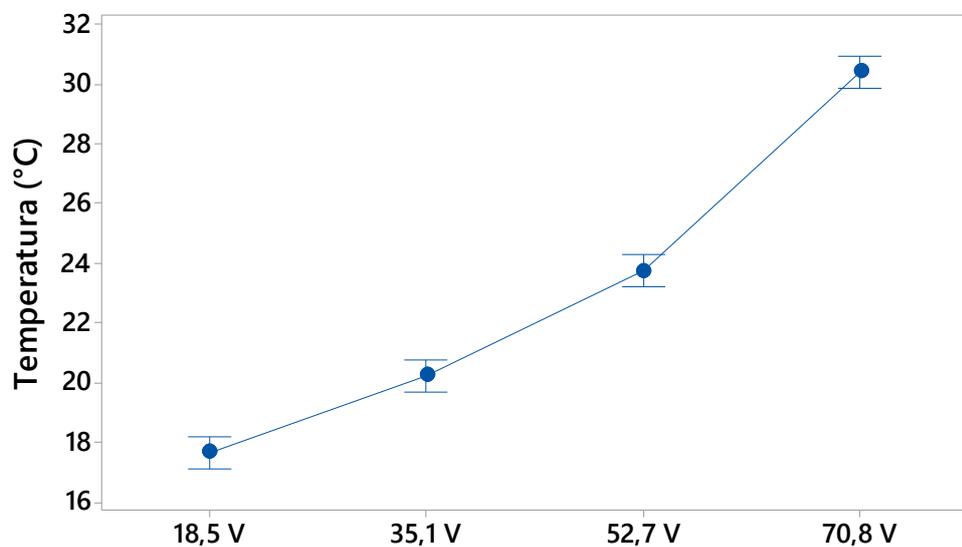


Figura 19. Temperatura por Voltio. Tomado del procesamiento de datos a través del Software Minitab versión 18.

b. Análisis de la conductividad eléctrica.

Por otra parte, al evaluar la conductividad eléctrica por voltio, esta presenta diferencias significativas (valor  $p < 0,05$ ), es así que el rango de variabilidad de la conductividad eléctrica se traslapan unas con otras pero no todas, de ahí que la conductividad eléctrica puede tomar valores similares para 35,1V y 70,8V y que a través de Tukey la conductividad eléctrica es diferente para tres tensiones e igual para dos, además existe un descenso de la conductividad eléctrica a medida que aumente la tensión eléctrica, obteniéndose valores bajos para 35,1V y 70,8V y como valores máximos para

18,5V tal como se aprecia en la Figura 20, por lo expuesto se deduce que la conductividad eléctrica desciende a medida que se incrementa el voltaje.

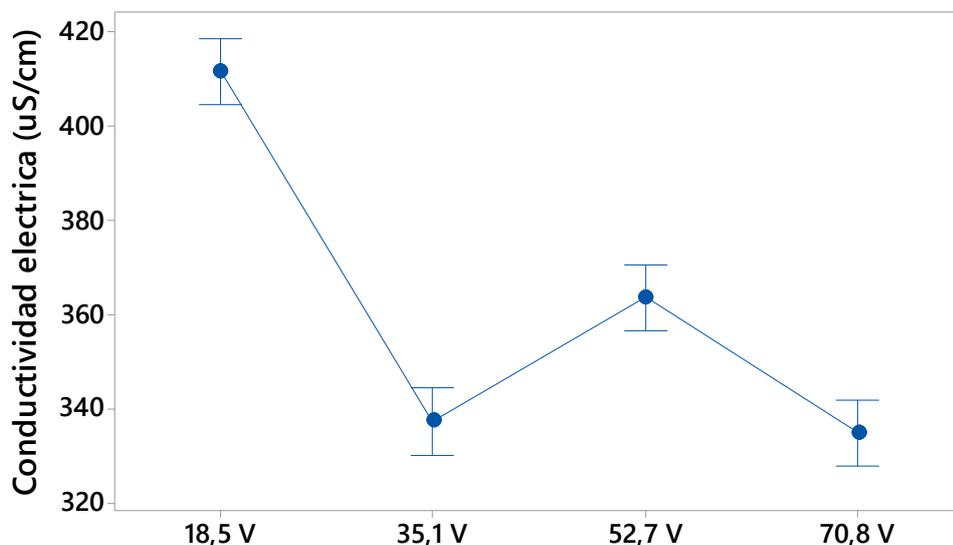


Figura 20. Conductividad eléctrica por Voltios. Tomado del procesamiento de datos a través del software Minitab versión 18.

c. Análisis de la turbidez

Mientras al evaluar la turbidez por voltios, esta presenta diferencias significativas (valor  $p < 0,05$ ), es así que la turbidez se incrementa desde los 18,5V hasta 52,7V tal como se aprecia en la Figura 21, y que a través del test de Tukey esta presenta (letras diferentes), se observó que la turbidez tiende a incrementarse a medida que se aumenta la tensión eléctrica independientemente de la muestra tomada.

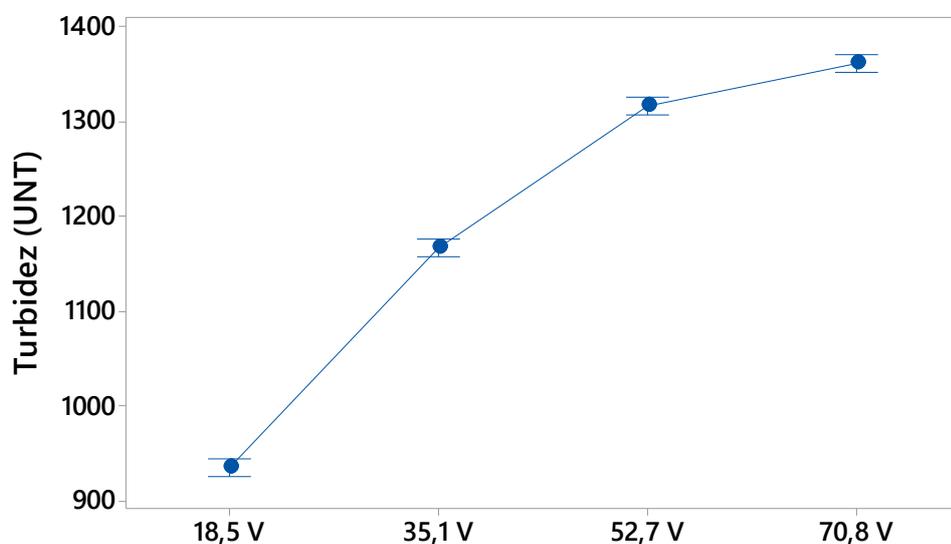


Figura 21. Turbidez por Voltios. Tomado del procesamiento de datos a través del software Minitab versión 18.

d. Análisis del potencial de hidrogeniones (pH)

Sin embargo, al evaluar el pH por voltios, se observó que presenta diferencias significativas (valor  $p < 0,05$ ), es así que el pH, es diferente para diferentes niveles de tensión con un valor mínimo para 18,5V y un valor alto para 70,8V y que a través del test de Tukey se observó (letras diferentes), que a medida que aumenta la tensión eléctrica, el pH también se incrementa, ver Figura 22.

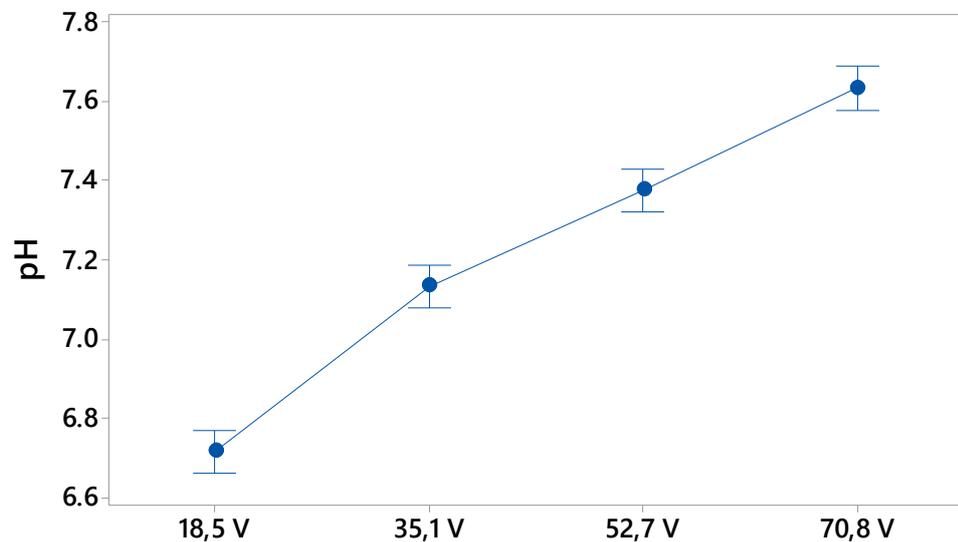


Figura 22. pH por Voltios. Tomado del procesamiento de datos a través del software Minitab versión 18.

4.1.2. Análisis de resultados para los niveles de temperatura, conductividad, turbidez y pH del agua residual en la línea del tiempo (Objetivo específico 2).

4.1.2.1. Análisis de supuesto de normalidad y no normalidad

Uno de los criterios al desarrollar los datos paramétricos es que estas presenten normalidad, es así, que para realizar este hecho se empleó el método de Shapiro-Wilks para datos menores a 50, cuya hipótesis fue:

Hipótesis nula  $H_0$ : Los datos siguen una distribución normal

Hipótesis alterna  $H_A$ : Los datos no siguen una distribución normal

Criterio: Se acepta la  $H_0$  si  $p\text{-value} > \alpha$ , ( $\alpha$  es el nivel de significancia del 5% o 0,05).

Al realizar el análisis de normalidad y no normalidad para los parámetros fisicoquímicos, se observó que el valor de  $p\text{-value}$ , para las observaciones mayores a 0,05, es decir se acepta la  $H_0$ , por lo que los datos siguen una distribución normal, del 5% de significancia y para las observaciones menores a 0,05, es decir no se acepta la  $H_0$ , por lo tanto, los datos no siguen una distribución normal, del 5% de significancia, ver Tabla 8.

Tabla 8.  $p\text{-value}$  de normalidad para los parámetros fisicoquímicos objetivo específico 2

Parámetros	Nivel de voltaje			
	18,5 V	35,1 V	52,7 V	70,8 V
Temperatura	0,1	0,1	0,1	0,1
Conductividad	0,042	0,061	0,01	0,05
Turbidez	0,048	0,016	0,01	0,01
pH	0,1	0,041	0,035	0,026

#### 4.1.2.2. Análisis de los parámetros fisicoquímicos del agua residual del Camal de Anta tratada por electrólisis.

##### a. Análisis de la temperatura

Al evaluar la temperatura por voltios, estas presentan diferencias significativas, afirmando que (valor  $p < 0,05$ ), en la Figura 23, la temperatura tiende a oscilar por cada nivel de tensión, entre un intervalo con valores máximo y mínimo respecto a su media, por lo cual se afirma que la temperatura es distinta por cada nivel tensión, incrementándose a medida que transcurre el tiempo y superior a las demás a medida que el nivel de tensión lo amerite, la temperatura es superior, cuando el nivel de tensión es mayor y temperatura es mínima, cuando el nivel de tensión es inferior.

Sin embargo, al observar el comportamiento de la temperatura en el tiempo, se observa que, por cada nivel de voltaje, la temperatura es distinta a

las demás, además para 18,5 voltios la temperatura es mínima y para 70,8 voltios la temperatura es máxima, ver Figura 24.

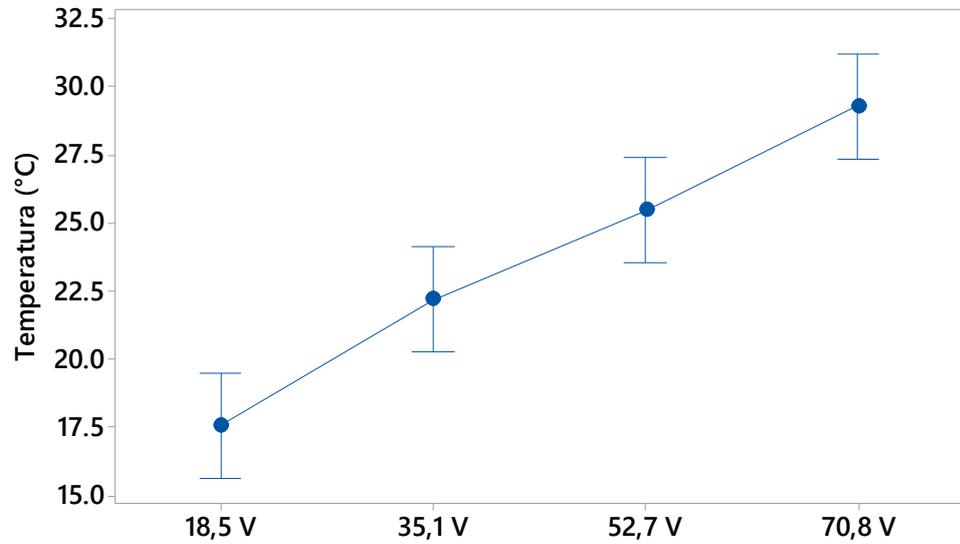


Figura 23. Temperatura por Voltios. Tomado del procesamiento de datos a través del software Minitab versión 18.

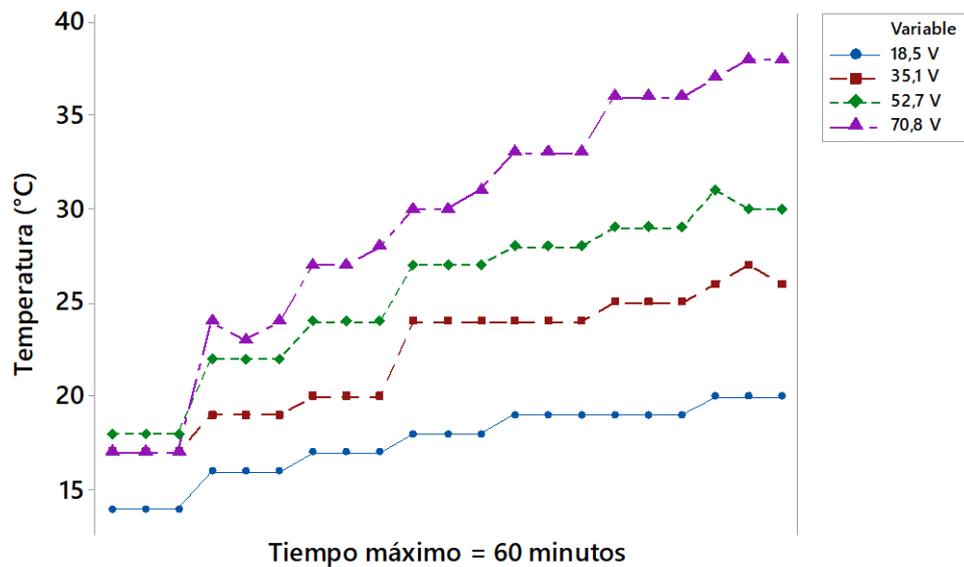


Figura 24. Temperatura por Voltios en 60 minutos. Tomado del procesamiento de datos a través del software Minitab versión 18.

b. Análisis de la conductividad eléctrica

Por otra parte, al comparar la conductividad eléctrica por voltios en el tiempo, estas presentaron distintos valores por cada nivel de tensión a la cual fueron sometidas las muestras, donde se observó que los valores de la conductividad eléctrica descenden independientemente por cada nivel de

tensión a medida que el tiempo transcurre, además los valores de la conductividad eléctrica en las distintas muestras son menores cuando el nivel de tensión crece, lo cual entre el intervalo de tiempo, del minuto 00 al minuto 60, la conductividad eléctrica desciende por cada nivel de tensión, tal como muestra la Figura 25, de lo expuesto se afirma que, para las distintas muestras de agua residual del Camal de Anta, la conductividad eléctrica disminuye independientemente del nivel de tensión a la cual fueron sometidas durante los 60 minutos.

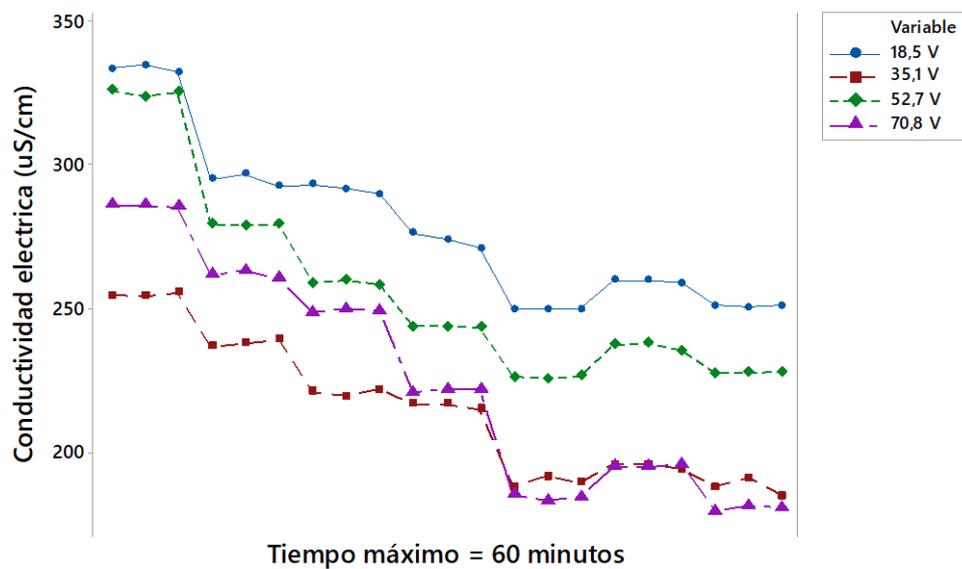


Figura 25. Conductividad eléctrica por Voltios en 60 minutos. Tomado del procesamiento de datos a través del software Minitab versión 18.

c. Análisis de la turbidez

Referente a la turbidez, al comparar la turbidez de las distintas muestras por voltios en el tiempo, estas presentaron un incremento por cada nivel de tensión, desde el minuto 00 hasta el minuto 60, donde se observó que, para el nivel de tensión de 70,8 voltios, los valores de la turbidez alcanzaron valores superiores a los demás, además el valor máximo que alcanzó la turbidez se dio en menos tiempo para luego descender rápidamente a medida que el tiempo transcurre, ver Figura 26.

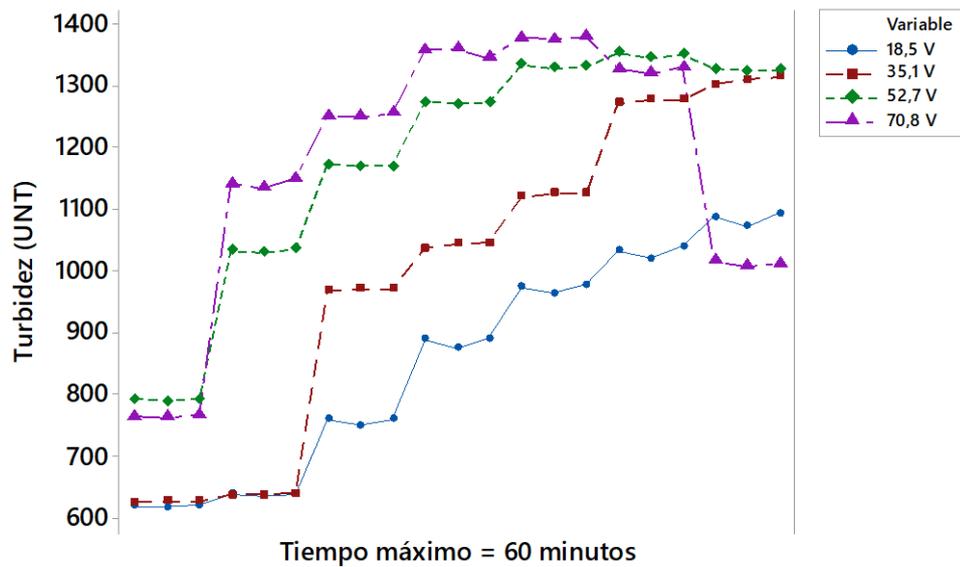


Figura 26. Turbidez por Voltio en 60 minutos. Tomado del procesamiento de datos a través del software Minitab versión 18.

d. Análisis del potencial de hidrogeniones (pH)

En cambio, al comparar el pH de las distintas muestras por voltios en el tiempo, estos presentaron un incremento por cada nivel de tensión, además los valores de pH para el nivel de tensión de 70,8V es superior a las demás y los valores del pH para el nivel de tensión de 18,5 V es inferior a las demás. Por lo tanto, se observó que, por cada nivel de tensión, el pH se incrementa independientemente al nivel de tensión a la cual la muestra es sometida, en el intervalo de tiempo del minuto 00 al minuto 60, ver la Figura 27.

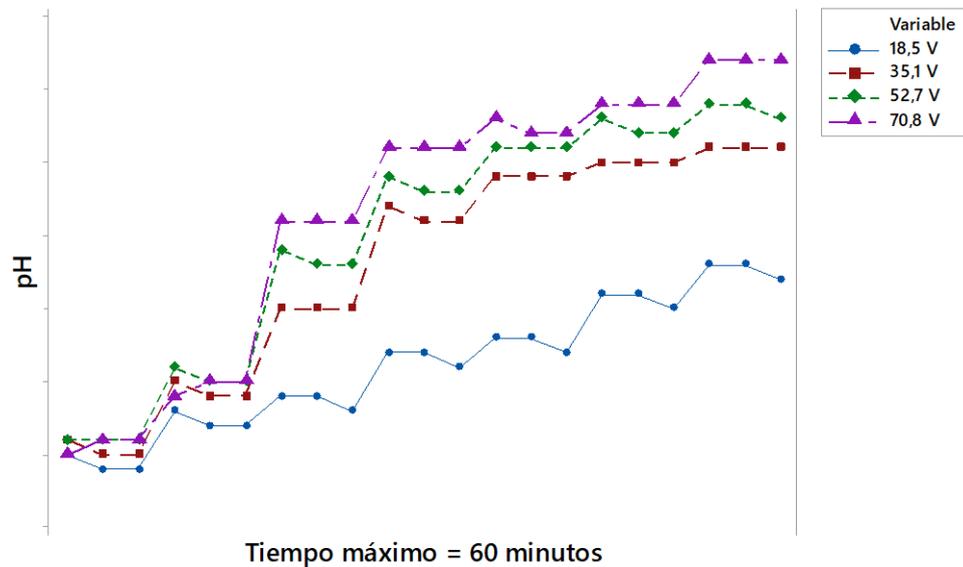


Figura 27. pH por Voltio en 60 minutos. Tomado del procesamiento de datos a través del software Minitab versión 18.

#### 4.1.3. Evaluación de resultados para la verificación de los parámetros fisicoquímicos antes y después del tratamiento.

Para la verificación de los parámetros fisicoquímicos, se eligieron los parámetros según el D.S N° 269-2009 MINAN y estos son: la conductividad eléctrica (CE), la turbidez en (UNT), el potencial de hidrogeniones (pH), los sólidos suspendidos totales (SST), la demanda biológica de oxígeno (DBO), la demanda bioquímica de oxígeno (DQO), las grasas y aceites, el fósforo total (PT) y nitrógeno total (NT).

Por consiguiente, para los parámetros fisicoquímicos descritos anteriormente se obtuvo los siguientes resultados: la CE, antes del tratamiento denunció un valor de 315 uS/cm y luego del tratamiento electrolítico fue de 293 uS/cm como muestra la Figura 28, donde se verificó un descenso del 6,98% para la CE, ver Figura 29.

Por otro lado, para la turbidez se obtuvo un valor de 641 UNT antes del tratamiento y 0,61 UNT luego del tratamiento, ver Figura 28, el cual corresponde a un descenso del 99,90%, ver Figura 29.

Referente al pH, se midió un valor de 6,72 de pH antes del tratamiento y 6,4 de pH luego del tratamiento, ver Figura 28, donde se denunció un

incremento de 10,12 % de pH respecto a su valor inicial luego de ser sometido al tratamiento, ver Figura 29.

Para los SST se obtuvo un valor de 1600 mg/L antes de ser sometido al tratamiento y un valor de 31 mg/L luego de ser sometido al tratamiento, ver Figura 28, en consecuencia, se verificó un descenso de 98.06%, posterior al tratamiento, ver Figura 29.

Para la DBO<sub>5</sub> se tuvo el siguiente valor de 2500 mg/L antes del tratamiento y de 210 mg/L luego del tratamiento, ver Figura 28, descendiendo su valor de la DBO<sub>5</sub> en un 91,60% , ver la Figura 29.

No obstante, para la DQO se reportó un valor de 2620 mg/L antes del tratamiento y después del tratamiento se reportó un valor de 520 mg/l, observado en la Figura 28, con un decremento del 80,15% luego del tratamiento electrolítico tal como muestra la Figura 29, de modo similar se observó para las grasas y aceites donde se obtuvo un valor de 200 mg/l antes del tratamiento y un valor de 90 mg/L después del tratamiento como muestra la Figura 27, teniendo un decremento de 95,50% luego del tratamiento tal como ilustra la Figura 28.

Sin embargo, para PT el valor obtenido previo al tratamiento fue de 3,15 mg/L y posterior al tratamiento fue de 1,5 mg/L tal como ilustra la Figura 27, en efecto tuvo un declive del 52,38% posterior al tratamiento del fósforo total como muestra la Figura 28, desde luego para el NT se obtuvo un valor de 168 mg/L antes del ingreso al sistema de electrólisis, para su tratamiento y 84 mg/L a la salida del tratamiento electrolítico como muestra la Figura 27, en tal sentido el NT se redujo en 50,00% como muestra la Figura 27.

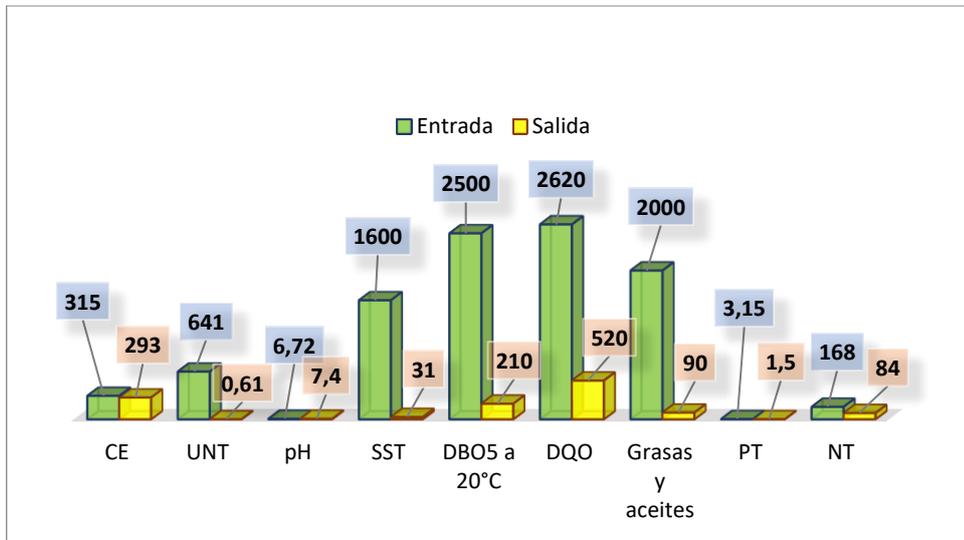


Figura 28. Diagrama de barras para los parámetros fisicoquímicos antes y después del tratamiento.

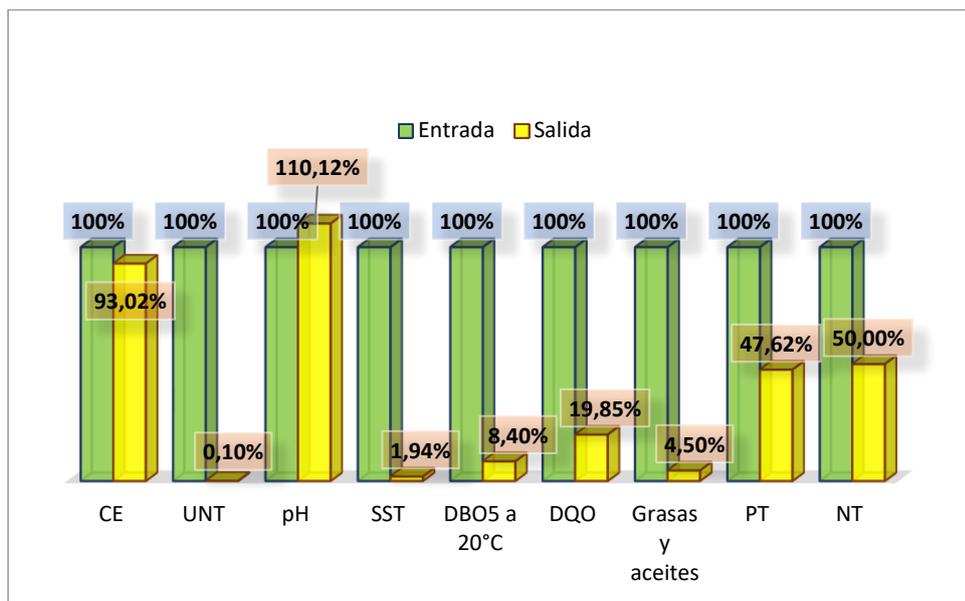


Figura 29. Diagrama de barras para los parámetros fisicoquímicos antes y después del tratamiento en %.

## 4.2. Prueba de hipótesis

### 4.2.1. Prueba de hipótesis para el efecto de la tensión eléctrica en la temperatura, conductividad eléctrica, turbidez y pH (Objetivo específico 1).

Sea que  $y_{1^*}$  represente el total de las observaciones bajo el tratamiento  $i$ -ésimo y que  $\bar{y}_{1^*}$  represente el promedio de las observaciones bajo el tratamiento  $i$ -ésimo. De manera similar, sea que  $\bar{y}_{**}$  represente el gran total de todas las observaciones y además  $y_{**}$  representa la gran media de todas las observaciones (57). La Tabla 9, representa la forma de uso para experimentos de un solo factor.

Tabla 9. Muestra los datos típicos de un experimento con un factor.

Tratamiento	Observaciones			Total	Promedio	
1	$y_{11}$	$y_{12}$	***	$y_{1n}$	$y_{1^*}$	$\bar{y}_{1^*}$
2	$y_{21}$	$y_{22}$	***	$y_{2n}$	$y_{2^*}$	$\bar{y}_{2^*}$
*	*	*	***	*	*	*
*	*	*	***	*	*	*
*	*	*	***	*	*	*
a	$y_{a1}$	$y_{a2}$	***	$y_{an}$	$y_{a^*}$	$\bar{y}_{a^*}$
					$y_{**}$	$\bar{y}_{**}$

Nota: tomado de (57).

Donde matemáticamente se expresa:

$$y_{i^*} = \sum_{j=1}^n (y_{ij}) \quad \bar{y}_{i^*} = \frac{y_{i^*}}{n} \quad i = 1, 2, 3, \dots, a$$

$$y_{**} = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^n y_{ij} \quad \bar{y}_{**} = y_{**}/n$$

Ecuaciones empleadas para el cálculo:

$$SS_T = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^n (y_{ij} - \bar{y}_{**})^2 = \text{suma total de cuadrados}$$

$$SS_E = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^n (y_{ij} - \bar{y}_{i^*})^2 = \text{suma de cuadrados de error}$$

$$SS_{\text{Tratamiento}} = SS_T - SS_E = \text{suma de cuadrados de los tratamientos}$$

$$MS_{\text{Tratamiento}} = \frac{SS_{\text{Tratamiento}}}{a-1} = \text{cuadrado medio del tratamiento}$$

$$MS_E = \frac{SS_E}{a(n-1)} = \text{cuadrado medio del error}$$

$$F_0 = \frac{MS_{Tratamientos}}{MS_E} = \text{Distribución } F$$

La Tabla 10, representa los modelos de los efectos físicos para el análisis de un factor y su resumen de las fórmulas.

Tabla 10. *Varianza de los de modelos de efectos físicos para el análisis de un factor.*

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	$F_0$
Tratamiento	$SS_{Tratamiento}$	a-1	$MS_{Tratamiento}$	$\frac{MS_{Tratamiento}}{MS_E}$
Error	$SS_E$	a(n-1)	$MS_E$	
total	$SS_T$	an-1		

Fuente: (57).

a. Prueba de hipótesis para la temperatura:

A continuación, se presenta la Tabla 11, donde consigna los promedios de la temperatura por tratamiento (T) y muestra (M), observadas a los 30 minutos por tratamiento en el proceso de electrólisis del agua residual del Camal de Anta.

Tabla 11. *Promedio de las medidas de la temperatura en (°C), tomadas a los 30 minutos por tratamiento y muestra.*

Tratamiento	Observaciones				TOTAL	Promedios
	M1	M2	M3	M4		
T1	17,67	17,00	17,67	18,33	70,67	17,67
T2	20,67	19,33	19,33	21,67	81,00	20,25
T3	23,33	25,00	22,33	24,33	95,00	23,75
T4	30,33	30,33	30,33	30,67	121,67	30,42
				Total	368,33	92,08

Asumiendo que los resultados de los tratamientos sean iguales para la hipótesis nula y por lo menos una sea diferente para la hipótesis alterna.

$$H_0: t_1 = t_2 = \dots = t_a = 0$$

$$H_A: t_1 \neq 0 \text{ para al menos una } i$$

Se considera el nivel de significancia ( $\alpha$ ) de 5% con una confiabilidad de 95%;  $\alpha=5\%$ .

En la Tabla 12, se presenta los resultados del cálculo para la verificación de la hipótesis para la temperatura.

Tabla 12. *Resumen de la varianza de los modelos de efectos físicos para el análisis de un factor para la temperatura.*

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F <sub>0</sub>
Tratamiento	76680,36111	3	25560,12037	3,85233269
Error	79619,67	12	6634,972222	
Total	76689,28	15		

La Figura 30, parecida al de una distribución normal solo es empleada para la ubicación de la distribución F y la de Fisher crítico  $f_c$ :  $\alpha$ ,  $a-1$ ,  $a(n-1)$  el fisher crítico obtenido de la tabla Fisher es:  $f_c = 3,49$ , observando sus ubicaciones se llega a la decisión y conclusión siguiente.

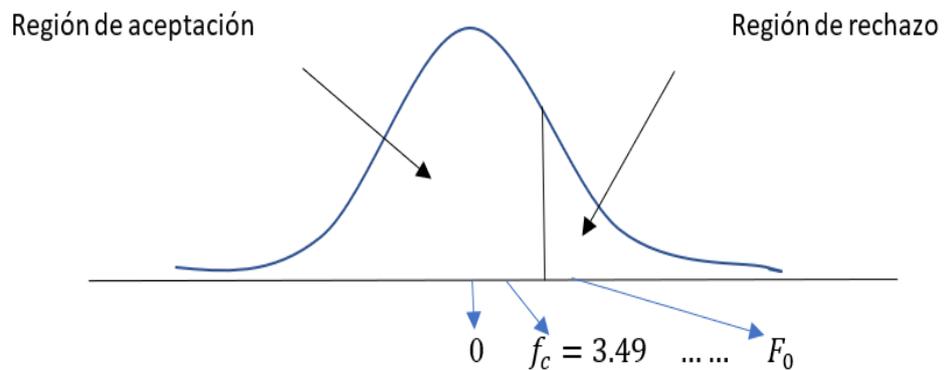


Figura 30. Representación de ubicación del Fisher crítico y el Fisher calculado para la temperatura, no representa una distribución normal.

**Decisión:** Se rechaza la hipótesis nula, porque el estadístico Fisher (F) es mayor que el Fisher crítico ( $f_c$ ).

**Conclusión:** Se concluye que la variación de la tensión eléctrica afecta significativamente a la temperatura del agua residual de Camal municipal de Anta.

b. Prueba de hipótesis para la conductividad eléctrica:

Por consiguiente, en la Tabla 13, se presentan los promedios de los resultados de las observaciones para la conductividad eléctrica en  $\mu S/cm$  por tratamiento (T) y muestra (M), observadas a los 60 minutos por tratamiento, luego de los 30 minutos de inactividad del proceso de electrólisis del agua residual del Camal de Anta.

Tabla 13. Promedio de las medidas de la conductividad eléctrica en ( $\mu S/cm$ ), tomadas a los 60 minutos después de los 30 minutos de tratamiento.

Tratamiento	Observaciones				TOTAL	Promedios
	M1	M2	M3	M4		
T1	427,93	403,30	398,42	417,43	1647,08	411,77
T2	352,21	334,54	331,15	331,42	1349,31	337,33
T3	362,99	363,23	363,78	364,81	1454,80	363,70
T4	335,77	335,32	335,71	332,90	1339,71	334,93
				Total	5790,89	1447,72

Asumiendo que los resultados de los tratamientos sean iguales para la hipótesis nula y por lo menos una sea diferente para la hipótesis alterna.

$$H_0: t_1 = t_2 = \dots = t_a = 0$$

$$H_A: t_1 \neq 0 \text{ para al menos una } i$$

Se considera el nivel de significancia ( $\alpha$ ) de 5% con una confiabilidad de 95%;  $\alpha=5\%$ .

En la Tabla 14, se presentan los resultados del cálculo para la verificación de la hipótesis para la conductividad eléctrica.

Tabla 14. Resumen de la varianza de los modelos de efectos físicos para el análisis de un factor, para la conductividad eléctrica

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F0
Tratamiento	18878396,38	3	6292798,794	3,97407726
Error	19001539,38	12	1583461,615	
Total	18879249,60	15		

La distribución F y la de Fisher crítico  $f_c: \alpha, a-1, a(n-1) = 3,49$  y al ser comparada nos lleva a la siguiente decisión y conclusión.

**Decisión:** Se rechaza la hipótesis nula, porque el estadístico Fisher (F) es mayor que el Fisher crítico ( $f_c$ ).

**Conclusión:** Se concluye que la variación de la tensión eléctrica afecta significativamente a la conductividad eléctrica del agua residual del Camal municipal de Anta.

c. Prueba de hipótesis para la turbidez:

Por lo tanto, en la Tabla 15, se presenta los promedios de los resultados de las observaciones para la turbidez del agua residual del Camal de Anta, por tratamiento (T) y muestra (M), observadas a los 60 minutos por tratamiento, luego de los 30 minutos de inactividad del proceso de electrólisis del agua residual del Camal de Anta.

Tabla 15. *Promedio de las medidas de la turbidez en UNT del agua residual del Camal, tomadas a los 60 minutos después de los 30 minutos de tratamiento.*

Tratamiento	Observaciones				TOTAL	Promedios
	M1	M2	M3	M4		
T1	933,77	943,36	923,06	943,33	3743,52	935,88
T2	1162,37	1166,03	1168,84	1171,62	4668,85	1167,21
T3	1319,01	1314,18	1314,86	1318,08	5266,14	1316,53
T4	1358,81	1364,09	1368,33	1353,83	5445,07	1361,27
				Total	19123,57	4780,89

Asumiendo que los resultados de los tratamientos sean iguales para la hipótesis nula y por lo menos una sea diferente para la hipótesis alterna.

$$H_0: t_1 = t_2 = \dots = t_a = 0$$

$$H_A: t_1 \neq 0 \text{ para al menos una } i$$

Se considera el nivel de significancia ( $\alpha$ ) de 5% con una confiabilidad de 95%;  $\alpha=5\%$ .

En la Tabla 16, se presentan los resultados del cálculo para la verificación de la hipótesis para la turbidez.

Tabla 16. *Resumen de la varianza de los modelos de efectos físicos para el análisis de un factor, para la turbidez.*

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F <sub>0</sub>
Tratamiento	206153720,7	3	68717906,9	3,93264087
Error	209684766,62	12	17473730,55	
Total	206154183,89	15		

La distribución F y la de Fisher crítico  $f_c: \alpha, a-1, a(n-1) = 3,49$  al ser comparada nos lleva a la siguiente decisión y conclusión:

**Decisión:** Se rechaza la hipótesis nula, porque el estadístico Fisher (F) es mayor que el Fisher crítico ( $f_c$ ).

**Conclusión:** Se concluye que la variación de la tensión eléctrica afecta significativamente a la turbidez del agua residual de Camal municipal de Anta.

d. Prueba de hipótesis para el pH:

No obstante, en la Tabla 17, se presentan los promedios de los resultados de las observaciones para el potencial de hidrogeniones, por tratamiento (T) y muestra (M), observados a los 60 minutos por tratamiento, luego de los 30 minutos de inactividad del proceso de electrólisis del agua residual del Camal de Anta.

Tabla 17. Promedio de las medidas del pH del agua residual del Camal, tomadas a los 60 minutos después de los 30 minutos de sometimiento al proceso electrolítico.

Tratamiento	Observaciones				TOTAL	Promedio
	M1	M2	M3	M4		
T1	6,67	6,67	6,77	6,77	26,87	6,72
T2	7,17	7,17	7,17	7,03	28,53	7,13
T3	7,33	7,47	7,47	7,23	29,50	7,38
T4	7,57	7,63	7,60	7,73	30,53	7,63
				Total	115,43	28,86

Asumiendo que los resultados de los tratamientos sean iguales para la hipótesis nula y por lo menos una sea diferente para la hipótesis alterna.

$$H_0: t_1 = t_2 = \dots = t_a = 0$$

$$H_A: t_1 \neq 0 \text{ para al menos una } i$$

Se considera el nivel de significancia ( $\alpha$ ) de 5% con una confiabilidad de 95%;  $\alpha=5\%$

En la Tabla 18, se presentan los resultados del cálculo para la verificación de la hipótesis para el pH.

Tabla 18. Resumen de la varianza de los modelos de efectos físicos para el análisis de un factor.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F0
Tratamiento	7497,053056	3	2499,017685	3,99219515
Error	7511,71	12	625,9758333	
Total	7497,13	15		

Nota: obtenido a través del programa Minitab V-8

La distribución F y la de Fisher crítico  $f_c: \alpha, a-1, a(n-1) = 3,49$  que al ser comparada nos lleva a la siguiente decisión y conclusión.

**Decisión:** Se rechaza la hipótesis nula, porque el estadístico Fisher (F) es mayor que el Fisher crítico ( $f_c$ ).

**Conclusión:** Se concluye que la variación de la tensión eléctrica afecta significativamente al pH del agua residual del Camal municipal de Anta.

4.2.2. Prueba de hipótesis para los niveles de temperatura, conductividad eléctrica, turbidez y pH, en la línea del tiempo (Objetivo específico 2).

**a. Prueba de hipótesis para la temperatura:**

Asumiendo que los resultados de los tratamientos sean iguales para la hipótesis nula y por lo menos una sea diferente para la hipótesis alterna.

$$H_0: t_1 = t_2 = \dots = t_a = 0$$

$$H_A: t_1 \neq 0 \text{ para al menos una } i$$

Se considera el nivel de significancia ( $\alpha$ ) de 5% con una confiabilidad de 95%;  $\alpha=5\%$ .

Para ello se utiliza el siguiente criterio, si el Fisher es mayor que el Fisher crítico ( $F > F_0$ ), se rechaza la hipótesis nula o por lo contrario si el Fisher es menor que el Fisher crítico ( $F < F_0$ ), se acepta la hipótesis nula.

La Tabla 19, muestra el resultado del Fisher para la temperatura obtenida a través de Software Minitab versión-18.

Tabla 19. *Resumen de la varianza de los modelos de efectos físicos para el análisis de la temperatura como un factor.*

Fuente	GL	SC	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	3	1558	519,22	26,03	0
Error	80	1596	19,95		
Total	83	3154			

*Nota:* obtenido a través del programa Minitab V-8

La distribución F y la de Fisher crítico  $f_{c: \alpha, a-1, a(n-1)} = 3,01$  y al ser comparada nos lleva a la siguiente decisión y conclusión.

**Decisión:** Se rechaza la hipótesis nula, porque el estadístico Fisher (F) es mayor que el Fisher crítico ( $f_c$ ).

**Conclusión:** Se concluye que la variación de la tensión eléctrica, sí afecta significativamente a la temperatura del agua residual del Camal de Anta, o es lo mismo decir que el comportamiento de la temperatura en la línea del tiempo es diferente para diferentes tensiones o que la temperatura varía a medida que el tiempo transcurre.

**b. Prueba de hipótesis para la conductividad eléctrica:**

Asumiendo que los resultados de los tratamientos sean iguales para la hipótesis nula y por lo menos una sea diferente para la hipótesis alterna.

$$H_0: t_1 = t_2 = \dots = t_a = 0$$

$$H_A: t_1 \neq 0 \text{ para al menos una } i$$

Se considera el nivel de significancia ( $\alpha$ ) de 5% con una confiabilidad de 95%;  $\alpha=5\%$ .

Para ello se utiliza el siguiente criterio si el Fisher es mayor que el Fisher crítico ( $F > F_0$ ), se rechaza la hipótesis nula o por lo contrario si el Fisher es menor que el Fisher crítico ( $F < F_0$ ), se acepta la hipótesis nula.

La Tabla 20, muestra el resultado del Fisher para la conductividad eléctrica obtenida a través de Software Minitab versión-18.

Tabla 20. *Resumen de la varianza de los modelos de efectos físicos para el análisis de la conductividad eléctrica como un factor.*

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	3	54271	18090	17,95	0
Error	80	80639	1008		
Total	83	134910			

*Nota:* obtenido a través del software Minitab versión-18

La distribución F y la de Fisher crítico  $f_c: \alpha, a-1, a(n-1) = 3,01$  y al ser comparada nos lleva a la siguiente decisión y conclusión.

**Decisión:** Se rechaza la hipótesis nula, porque el estadístico Fisher (F) es mayor que el Fisher crítico ( $f_c$ ).

**Conclusión:** Se concluye que la variación de la tensión eléctrica, sí afecta significativamente a la conductividad del agua residual de Camal de Anta, o es lo mismo decir que el comportamiento de la conductividad eléctrica en la línea del tiempo es distinto para diferentes tensiones o que la conductividad varía a medida que el tiempo transcurre.

**c. Prueba de hipótesis para la turbidez:**

Asumiendo que los resultados de los tratamientos sean iguales para la hipótesis nula y por lo menos una sea diferente para la hipótesis alterna.

$$H_0: t_1 = t_2 = \dots = t_a = 0$$

$$H_A: t_1 \neq 0 \text{ para al menos una } i$$

Se considera el nivel de significancia ( $\alpha$ ) de 5% con una confiabilidad de 95%;  $\alpha=5\%$ .

Para ello se utiliza el siguiente criterio si el Fisher es mayor que el Fisher crítico ( $F > F_0$ ), se rechaza la hipótesis nula o por lo contrario si el Fisher es menor que el Fisher crítico ( $F < F_0$ ), se acepta la hipótesis nula.

La Tabla 21, muestra el resultado del Fisher para la turbidez obtenido a través de Software Minitab versión 18.

Tabla 21. *Resumen de la varianza de los modelos de efectos físicos para el análisis de la turbidez como un factor.*

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	3	1539386	513129	11,26	0
Error	80	3644812	45560		
Total	83	5184197			

*Nota:* obtenido a través del software Minitab versión-18

La distribución F y la de Fisher crítico  $f_c: \alpha, a-1, a(n-1) = 3,01$  que al ser comparada nos lleva a la siguiente decisión y conclusión.

**Decisión:** Se rechaza la hipótesis nula, porque el estadístico Fisher (F) es mayor que el Fisher crítico ( $f_c$ ).

**Conclusión:** Se concluye que la variación de la tensión eléctrica, sí afecta significativamente a la turbidez del agua residual del Camal de Anta, o es lo mismo decir que el comportamiento de la turbidez en la línea del tiempo es distinto para diferentes tensiones o que la turbidez varía a medida que el tiempo transcurre.

**d. Prueba de hipótesis para el pH:**

Asumiendo que los resultados de los tratamientos sean iguales para la hipótesis nula y por lo menos una sea diferente para la hipótesis alterna.

$$H_0: t_1 = t_2 = \dots = t_a = 0$$

$$H_A: t_1 \neq 0 \text{ para al menos una } i$$

Se considera el nivel de significancia ( $\alpha$ ) de 5% con una confiabilidad de 95%;  $\alpha=5\%$ .

Para ello se utiliza el siguiente criterio, si el Fisher es mayor que el Fisher crítico ( $F > F_0$ ), se rechaza la hipótesis nula o por lo contrario, si el Fisher es menor que el Fisher crítico ( $F < F_0$ ), se acepta la hipótesis nula.

La Tabla 22, muestra el resultado del Fisher para el pH obtenido a través de Software Minitab versión 18.

Tabla 22. *Resumen de la varianza de los modelos de efectos físicos para el análisis del pH como un factor*

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	3	13,23	4,4095	7,25	0
Error	80	48,64	0,608		
Total	83	61,87			

*Nota:* obtenido a través del software Minitab versión-18

La distribución F y la de Fisher crítico  $f_c: \alpha, a-1, a(n-1) = 3,01$  al ser comparada nos lleva a la siguiente decisión y conclusión.

**Decisión:** Se rechaza la hipótesis nula, porque el estadístico Fisher (F) es mayor que el Fisher crítico ( $f_c$ ).

**Conclusión:** Se concluye que la variación de la tensión eléctrica, sí afecta significativamente al pH del agua residual del Camal de Anta, también es lo mismo decir que el comportamiento del pH en la línea del tiempo es diferente para diferentes tensiones o que el pH, varía a medida que el tiempo transcurre.

#### 4.3. Discusión de resultados

A partir de los hallazgos obtenidos se acepta la hipótesis alterna general, que establece que, sí es posible tratar el agua residual procedente del Camal municipal de Anta, mediante electrólisis, Cusco-2021.

Estos resultados obtenidos, guardan relación de alguna manera con lo que sostienen los autores: Oña y Falconi (2014), cuando emplearon la electrólisis en el tratamiento avanzado de aguas residuales del proceso de lavado y tinturado de jeans en la empresa “MUNDO COLOR”, también tiene relación con los estudios realizados por Barboza (2011), quien empleó la electrocoagulación en la “Reducción de la Carga de Contaminantes de las Aguas Residuales de la Planta de Tratamiento de Totorá-Ayacucho”, donde dicho trabajo, está acorde con la presente investigación.

Pero referente al efecto que tiene la tensión eléctrica en los parámetros fisicoquímicos como la temperatura, turbidez, conductividad eléctrica y pH, por el momento, no se encontraron estudios referidos a este tema.

De la misma manera en lo que se refiere a la variación de los valores de los parámetros fisicoquímicos como la temperatura, turbidez, conductividad eléctrica y pH en la línea del tiempo al ser sometido a la electrólisis, por el momento no se encontraron estudios referidos a este tema.

En lo que respecta a los niveles de los parámetros fisicoquímicos del agua residual antes y después del tratamiento se verificó lo siguiente:

La temperatura tiende a incrementar según el nivel de tensión al cual fue sometida la muestra, lo mismo observó el Grupo de Investigación en Procesos Ambientales y Biotecnológicos (GIPAB), al estudiar la aplicación de la electroquímica en el tratamiento de aguas residuales, obteniendo una temperatura de 50°C al emplear electrodos de aluminio.

Pero, referente a la conductividad eléctrica, independiente del método o materiales utilizados en el tratamiento electroquímico de las aguas residuales, se logró una disminución del 6,98%. Arce y Cruz, lograron disminuir la conductividad eléctrica en un 22%, por lo tanto, existe una disminución independientemente del método utilizado y de los materiales empleados para tal fin.

Respecto a la turbidez se obtuvo una reducción del 99,90%, siendo estos valores similares a los que obtuvieron Arce y Cruz. También se obtuvo un 94%, al aplicar la electrocoagulación en el tratamiento del efluente industrial de una planta de beneficio de reses, este valor obtenido de la turbidez también es comparable con el estudio que realizó Apaza, que obtuvo un valor de remoción de 99,30% al aplicar la electrocoagulación para la remoción de carga orgánica de los efluentes lácteos.

Sin embargo, para el pH se obtuvo un incremento del 10,12%, este valor de incremento del pH también lo obtuvo Cotillas Soriano, cuando estudió la regeneración de aguas residuales depuradas mediante procesos electroquímicos integrados, afirmando que el pH asciende cuando incrementa la corriente.

Por otro lado, para la  $DBO_5$  se obtuvo una remoción del 91,60%, similares valores obtuvieron Oña y Falconi al presentar sus resultados de variación de la  $DBO_5$  en un 30,77%, dando alusión que hubo una remoción del 69,22% al desarrollar el estudio referido al tratamiento avanzado de aguas residuales del proceso de lavado y tinturado de jeans en la empresa “MUNDO COLOR”.

No obstante, para la DQO se reportó una reducción de 80,15%, similares resultados se obtuvieron por Arango y Garcés, al estudiar el efecto

del pH y la conductividad en la electrocoagulación de aguas residuales de la industria láctea, el valor que obtuvieron fue de 93,99 % de remoción de la DQO.

Para las grasas y aceites se obtuvo una reducción de 95,50%, ello se puede comparar con el estudio de Arce y Cruz, quienes obtuvieron una reducción del 94% de grasas y aceites al estudiar el tratamiento del efluente industrial de una planta de beneficio de reses, mediante el método de electrocoagulación de flujo a escala piloto.

Por otro lado para los SST se obtuvo una remoción de 98,06%, así como para el PT se obtuvo un valor de remoción de 52,38% y para el NT se obtuvo un 50,00% de remoción, estos parámetros no fueron estudiados por el momento para su comparación y discusión.

## CONCLUSIONES

En esta tesis, se comprobó que, sí es posible tratar el agua residual procedente del Camal municipal de Anta, mediante electrólisis.

Así mismo, se determinó que, el efecto de la tensión eléctrica en la temperatura, conductividad eléctrica, turbidez y pH, del agua residual procedente del Camal municipal de Anta, fue significativo, ya que, al ser sometidas las muestras del agua residual a la electrólisis, durante 30 minutos, hubo cambios en sus valores iniciales.

Se determinó los niveles de la temperatura, conductividad eléctrica, turbidez y pH del agua residual en la línea del tiempo, ya que, al ser sometidas las muestras a la electrólisis, se observó que estas variaron significativamente durante los 60 minutos que duró el tratamiento de electrólisis, así también se observó un incremento del valor de la temperatura, turbidez y pH. Por lo contrario, se mostró un descenso del valor de la conductividad eléctrica, independientemente del nivel de tensión a la cual fueron sometidas en el sistema de electrólisis, a excepción de la turbidez que llegó a un máximo para luego disminuir según transcurra el tiempo.

Así mismo en esta tesis, se determinó los niveles de los parámetros fisicoquímicos del agua residual antes y después del tratamiento por electrólisis, donde estos, variaron significativamente.

- La conductividad eléctrica (CE), descendió su valor en 6,98%, luego del sometimiento a la electrólisis.
- La turbidez en (UNT), descendió su valor en 99,90%, luego del sometimiento a la electrólisis.
- El pH, incrementó su valor en 10,12%, luego del sometimiento a la electrólisis.
- Los sólidos suspendidos totales (SST), descendieron su valor en 98,06%, luego del sometimiento a la electrólisis.
- La demanda biológica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>), descendió su valor en 91,60%, luego del sometimiento a la electrólisis.
- La demanda bioquímica de oxígeno (DQO), descendió su valor en 80,15%, luego del sometimiento a la electrólisis.

- Las grasas y aceites descendieron su valor en 95,50%, luego del sometimiento a la electrólisis.
- El fósforo total (PT) descendió su valor en 52,38%, luego del sometimiento a la electrólisis.
- El nitrógeno total (NT) descendió en 50,00% su valor, luego del sometimiento a la electrólisis.

## RECOMENDACIONES

Referente al sistema de electrólisis, se recomienda.

- Emplear electrodos neutros como el Carbón y el Titanio, para atenuar las reacciones de óxido reducción y evitar el cambio de los valores de la conductividad eléctrica y el potencial de hidrogeniones.
- Incluir sistemas de refrigeración para disminuir la temperatura del agua tratada antes de ser vertida a las fuentes naturales.
- Cambiar los electrodos de positivo a negativo y viceversa para evitar su desgaste e incrementar el tiempo de durabilidad.
- Mantener una distancia prudente entre electrodos para evitar excesos de corrientes de la fuente de tensión y evitar sobrecalentamientos.
- Considerar y evaluar la fuente de tensión sobre todo para altos niveles de tensión que generan altas corrientes.

Referente a las muestras y su tratamiento, se recomienda.

- Que luego de tomar las muestras del punto de vertimiento, sean sometidos en el menor tiempo al sistema de electrólisis, para evitar su modificación en los resultados ya que se ha observado que los niveles de los parámetros cambian al transcurrir el tiempo.
- Emplear instrumentos que permitan medir los parámetros fisicoquímicos al instante y así poder evaluar el fenómeno.
- Separar los residuos como espumas, materia orgánica flotante generados del proceso de electrólisis, para evitar que se mezclen con el agua residual en proceso de tratamiento.
- Separar los sólidos floculados mediante técnicas de decantación, para evitar la turbidez posterior al tratamiento.

Referente a los parámetros fisicoquímicos, se recomienda.

- Considerar el nivel de temperatura por el efecto directo que presenta sobre los valores de los parámetros estudiados.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. **Fundación El Club de los Diez Millones.** Overpopulation Awareness. [En línea] 2015. [Citado el: 2021 de Febrero de 03.] Disponible en: [https://www.overpopulationawareness.org/en/?gclid=CjwKCAjwwqaGBhBKEiwAMk-FtGwFOPAU2\\_7f8Y8FxgRfRXtJE5vD-1gZFeChVG7cQfqdyJAVQWQ2hBoCGy4QAvD\\_BwE](https://www.overpopulationawareness.org/en/?gclid=CjwKCAjwwqaGBhBKEiwAMk-FtGwFOPAU2_7f8Y8FxgRfRXtJE5vD-1gZFeChVG7cQfqdyJAVQWQ2hBoCGy4QAvD_BwE).
2. **(Programa Mundial de las Naciones Unidas de Evaluación de los Recursos Hídricos)/ONU-Agua. 2018. WWAP.** Soluciones Basadas en la Naturaleza para la Gestión del Agua. [En línea] 23 de Setiembre de 2018. [Citado el: 2020 de Diciembre de 20.] Disponible en: [https://geoinnova.org/blog-territorio/soluciones-basadas-en-la-naturaleza-para-la-gestion-del-agua/?gclid=CjwKCAjwwqaGBhBKEiwAMk-FtFGBeRto7wMYgNiXbuyP3GTnYvh3gVV8g6djYODxxRnE8EpRfWToMRoCftkQAvD\\_BwE](https://geoinnova.org/blog-territorio/soluciones-basadas-en-la-naturaleza-para-la-gestion-del-agua/?gclid=CjwKCAjwwqaGBhBKEiwAMk-FtFGBeRto7wMYgNiXbuyP3GTnYvh3gVV8g6djYODxxRnE8EpRfWToMRoCftkQAvD_BwE).
3. **MIHELICIC, James R y ZIMMERMAN, Julie Beth.** *INGENIERÍA AMBIENTAL, Fundamentos, Sustentabilidad, Diseño.* Primera Edición. México : Alfaomega Editor, S.A, 2011. pág. P. 720.
4. **LARIOS MEOÑO, J. Fernando, GONZALEZ TARANCO, Carlos y MORALES OLIVARES, Yennyfer.** Las aguas residuales y sus consecuencias en el Perú. [En línea] 07 de Octubre de 2015. [Citado el: 12 de Febrero de 2021.] Disponible en: <https://www.usil.edu.pe/sites/default/files/revista-saber-y-hacer-v2n2.2-1-19set16-aguas-residuales.pdf>.
5. **SENASA.** Estado situacional de los Mataderos con respecto a la Autorización sanitaria. [En línea] 2014. [Citado el: 2021 de Febrero de 21.] Disponible en: [https://servicios.senasa.gob.pe/SIGIAWeb/ino\\_consultasmatadero.html](https://servicios.senasa.gob.pe/SIGIAWeb/ino_consultasmatadero.html).
6. **ARANGO RUIZ, Alvaro y GARCÉS GIRALDO, Luis Fernando.** Diseño de una Celda Electrocoagulación para el tratamiento de Aguas Residuales de la Industria Láctea. [En línea] 15 de Setiembre de 2007. [Citado el: 20 de Diciembre de 2020.] Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/215/21514706.pdf>. n. 147.
7. **CALDERÓN, Marilú y VIDAL, Aramburú,.** *Estudio de la electrocoagulación para controlar la turbidez y el pH en el tratamiento de efluentes minero metalúrgicos polimetálicos.* Lima, Perú : UNMSM, 15 de Julio de 2017. Vol. 20.
8. **OÑA PAZMIÑO, Byron Geovanny y FALCONI CEDILLO, David Ruperto.** Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. [En línea] 28 de enero de 2014. [Citado

el: 02 de Diciembre de 2019.] Disponible en:  
<http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/3015>.

9. **MARTINEZ NAVARRO, Fabiola.** Tratamiento de aguas residuales industriales mediante electrocoagulación y coagulación convencional. [En línea] 19 de Setiembre de 2016. [Citado el: 14 de Diciembre de 2020.] Disponible en:  
<https://www.aguasresiduales.info/idi/tesis-doctorales/tratamiento-de-aguas-residuales-industriales-mediante-electrocoagulacion-y-coagulacion-convencional>.

10. **COTILLAS SORIANO, Salvador.** [En línea] 2015. [Citado el: 25 de Diciembre de 2020.] Disponible en:  
<https://ruidera.uclm.es/xmlui/bitstream/handle/10578/7433/TESIS%20Cotillas%20Soriano.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

11. **Grupo de Investigación en Procesos Ambientales y Biotecnológicos.** [En línea] Julio de 2008. [Citado el: 15 de Octubre de 2020.] Disponible en:  
<file:///C:/Users/juan/Downloads/1279-Texto%20del%20art%C3%ADculo-4164-1-10-20120727.pdf>.

12. **BARBOZA PALOMINO, Gloria Inés.** Repositorio Institucional Universidad Nacional de Ingeniería. [En línea] 2011. [Citado el: 25 de Diciembre de 2020.] Disponible en: <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/338>.

13. **APAZA AQUINO, Hugo.** Repositorio Institucional Universidad Nacional Agraria la Molina. [En línea] 2018. [Citado el: 12 de Octubre de 2020.] Disponible en: <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/3395>.

14. **ARCE HUAMANI, Franklin; y CRUZ CHIROQUE, Iván Anthon.** Universidad Nacional del Callao. [En línea] 2019. [Citado el: 22 de Diciembre de 2020.] Disponible en: <http://repositorio.unac.edu.pe/handle/UNAC/4493>.

15. **RAYMOND A, Serway y JOHN W, Jewett Jr.** *Física para ciencias e ingeniería.* [trad.] Ana Elizabeth García Hernández. Ed. 9. California : Cengage Learning Editores, S.A, 2015. pág. 786. Vol. 1.

16. **HEWITT, Paul G.** *Física conceptual.* México : Pearson, 2007.

17. **BAUER, Wojfsgang y WESTFALL, Grdy D.** *Física para Ingeniería y Ciencias con Física Moderna.* México : McGraw-Hill, 2011. Vol. 2.

18. **DORF, Richard C y SVOBODA, James A.** *Circuitos Eléctricos.* México : Alfaomega Grupo Editores, S.A de C.V, 2003.

19. **HUGH, Younc y FREEDMAN, Róger A.** *Física Universitaria con Física Moderna.* Ed. 12. México : Pearson Educación, 2009. Vol. 2.

20. **VLAKEBUNRCH, Van, NOOGER y Neville, Inc.** *Electricidad Bàsica*. Nueva York : Copyright, 1955.
21. **EUROPE, Variag, y otros.** *Electrónica*. España : Reverté, S.A., 1979. Vol. 1.
22. **WOLFGANG, Bauer y WESTALL, Gaty D.** *Física para Ingeniería y Ciencias con Física Moderna*. s.l. : McGraw-Hill Companies, Inc, 2011. Vol. 2.
23. **RAYMOND CHANG, Williams College.** *Química*. s.l. : McGraw-Hill, 2010.
24. **MALVINO, Albert Paul.** *Principios de Electrónica*. Aravaca (Madrid) : Esmeralda Mora, 2000.
25. **PONS MUZZO, Gastón.** *Fisicoquímica*. Lima : Universidad Mayor de San Marcos, 1975.
26. **LAGOMA, Alfonso.** *Electricidad del automóvil moderno*. [ed.] J.Bruguer. Londres : EMEGE. Industrias Gráficas.C, 1978.
27. **CRISTOBAL INOCENTE, Aldrin.** *Electrólisis Teoría y Práctica*. Lima-Perù : Lumbreras, 2012.
28. **BROWN, Theodore L, y otros.** *Química la Ciencia Central*. [trad.] Laura Fernández Enríquez. s.l. : Pearson Educación, 2009. Vol. Decimoprimer.
29. **Departamento de Química Analítica e Ingeniería Química. Universidad de Alcalá.** Madrid Blog El agua. [En línea] 17 de Setiembre de 2010. [Citado el: 25 de Enero de 2021.] Disponible en: <http://www.madrimasd.org/blogs/remtavares/2010/09/17/131491>.
30. **Condorchem envitech.** Condorchem envitech. [En línea] s.a. [Citado el: 08 de Enero de 2021.] Disponible en: <https://condorchem.com/es/blog/electrocoagulacion-aguas-residuales/>.
31. **METCALF y EDDY, Inc.** *Ingeniería de Aguas Residuales, Tratamiento, Vertido y Reutilización*. 3. Barcelona : McGraw-Hill, Inc, 1995. Vol. 1.
32. **FAIR MASKEW, Gordon, GEYER CHARLES, Jhon y OKUN ALEXANDER, Daniel.** *Purificación de Aguas y Tratamiento y Remoción de Aguas Residuales*. México : Limusa/Noriega Editores, 2001. pág. 764. Vol. 2.
33. **SPELLMAN, Frank R y DRINAN, Joanne.** *Manual del Agua Potable*. [trad.] Ana Berga Celma. Zaragoza : Acribia.S.A, 2000.
34. **ROMERO ROJAS, Jairo Alberto.** *Potabilización del agua*. [ed.] Alfaomega. México : Escuela Colombiana de Ingeniería, 1999.
35. **SEDAPAL.** [En línea] Abril de 2000. [Citado el: Lunes de Marzo de 2014.] Disponible en: <http://www.sedapal.com.pe>.

36. **WEBER, Walter J.** *Control de la calidad del agua: procesos fisicoquímicos.* s.l. : Reverté, S.A., 2003.
37. **SIERRA RAMÍREZ, Carlos Alberto.** *Calidad del Agua Evaluación y Diagnóstico.* Bogotá Colombia : Ediciones de la U, 2011.
38. **MENDEZ GUTIERREZ, Carlos y PEREZ OLMO, Jesús M.** *Procesos para el Tratamiento Biológico de Aguas Residuales Industriales.* s.l. : Universitaria, 2007.
39. **MARTÍNEZ DELGADILLO, Sergio A.** *Parámetros de diseño de sistemas de tratamiento de aguas residuales.* México : Universidad Autónoma Metropolitana, 1999.
40. **RAMALHO, Ruben S.** *Tratamiento de Aguas Residuales.* Quebec : Reverté S.A., 1983.
41. **DÍAZ BÁEZ, María Consuelo, ESPITIA VARGAS, Sandra Eliana y MOLINA PERÉZ, Francisco.** *Digestión Anaerobia una aproximación a la Tecnología.* [ed.] Biotecnología. Bogotá : Universidad Nacional de Colombia, 2002.
42. **RIGOLA LAPEÑA, Miguel.** *Tratamiento de Aguas Industriales: Aguas de Proceso y Residuales.* s.l. : Marcombo S.A., 1990.
43. **Comisión Nacional del Agua (CONAGUA).** Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales: Reactores Anaerobios de Flujo Ascendente. [En línea] 2015. [Citado el: 03 de Marzo de 2021.] Disponible en: <https://files.conagua.gob.mx/conagua/mapas/SGAPDS-1-15-Libro25.pdf>.
44. **BERNAL TORRES, César Augusto.** *Metodología de la Investigación, Administración, economía, humanidades y ciencias sociales.* Cuarta edición. s.l. : Pearsón, 2016.
45. **ÑAUPAS PAITÁN, Humberto, y otros.** *Metodología de la Investigación Cuantitativa- Cualitativa y Redacción de la Tesis.* 4 Edición. Bogotá : Ediciones de la U, 2014.
46. **HERNANDÈZ SAMPIERI, Roberto, FERNÁNDEZ COLLADO, Carlos y BAPTISTA LUCIO, Pilar.** *Metodología de la Investigación.* 4 edición. s.l. : McGraw-Hill Interamericana, 2006.
47. **CARACTERÍSTICAS.** Definición y Características, Contaminación Térmica. [En línea] [Citado el: 15 de Marzo de 2021.] Disponible en: <https://www.caracteristicas.co/contaminacion-termica/>.

48. **LENNTECH.** Peligro de salinidad en el agua de irrigación. [En línea] [Citado el: 15 de Marzo de 2021.] Disponible en: <https://www.lenntech.es/aplicaciones/riego/salinidad/riesgo-salinidad-regadio.htm>.
49. **IAGUA.** Iagua Respuestas- Calidad del Agua. [En línea] [Citado el: 15 de Marzo de 2021.] Disponible en: <https://www.iagua.es/respuestas/que-es-contaminacion-agua>.
50. **JAPAC.** JAPAC agua y salud para todos y Gobierno de Culiacán. [En línea] [Citado el: 15 de Marzo de 2021.] Disponible en: <https://japac.gob.mx/2016/06/20/descubre-como-afecta-el-ph-al-agua/>.
51. **GEDAR.** GEDAR Gestión de Aguas y Residuos. [En línea] [Citado el: 16 de Marzo de 2021.] Disponible en : [http://www.ub.edu/fem/docs/divulgacio/NPrat\\_calidad\\_agua.pdf](http://www.ub.edu/fem/docs/divulgacio/NPrat_calidad_agua.pdf).
52. **EPS SEDACUSCO S.A.** *Memoria PETAR.* Cusco : s.n., 2017.
53. **CIENCIAPLUS.** Crece la amenaza de la contaminación por fósforo de los ríos. [En línea] [Citado el: 21 de Marzo de 2021.] Disponible en: <https://www.europapress.es/ciencia/cambio-climatico/noticia-crece-amenaza-contaminacion-fosforo-rios-20181008180151.html>.
54. **Ecosistemas Revista Científica de Ecología y Medio Ambiente.** Contaminación por nitrógeno inorgánico en los ecosistemas acuáticos: problemas medioambientales, criterios de calidad del agua, e implicaciones del cambio climático. [En línea] [Citado el: 20 de Marzo de 2021.] Disponible en: <https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/457>.
55. **FUNDACIÓN AQUAE.** ¿Qué es la eutrofización y cómo contamina el agua? [En línea] [Citado el: 20 de Marzo de 2021.] Disponible en: [https://www.fundacionaquae.org/eutrofizacion/?gclid=CjwKCAjwq7aGBhADEiwA6uGZp4xj39ryPy49vKvQfErtDjgRmLGhiwCfDaWRPTOUj5ZwTb24Cy2g\\_xoC FGYQAvD\\_BwE](https://www.fundacionaquae.org/eutrofizacion/?gclid=CjwKCAjwq7aGBhADEiwA6uGZp4xj39ryPy49vKvQfErtDjgRmLGhiwCfDaWRPTOUj5ZwTb24Cy2g_xoC FGYQAvD_BwE).
56. **Extensión, Cooperativa de Texas.** Problemas del agua: el hierro y el magnesio. [En línea] [Citado el: 20 de Marzo de 2021.]
57. **MONTGOMERY, Douglas C y RUNGER, George C.** *Probabilidad y estadística aplicada a la ingeniería.* 2 da, edición. México : Editorial Limusa, S.A, 2003.
58. **GUEVARA, Efrain.** *Rebobinados de transformadores y autotransformadores.* Lima : La Portada, 1993.

## ANEXOS

ANEXO 1

MATRIZ DE CONSISTENCIA

Problema	Objetivo	Hipótesis	Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Operacionalización			Recolección de datos		Metodología	
						Dimensiones	Indicadores	Unidad	Método	Técnica		Instrumento
<b>General</b> ¿En qué medida es posible tratar el agua residual procedente del Camal municipal de Anta, mediante electrólisis, Cusco - 2021?	<b>General</b> Determinar la posibilidad de tratar el agua residual procedente del Camal municipal de Anta, mediante electrólisis, Cusco - 2021.	<b>General</b> Sí es posible tratar el agua residual procedente del Camal municipal de Anta mediante electrólisis, Cusco-2021.	<b>VI.</b> Electrólisis.	Procesos donde existen reacciones de oxidación y reducción gracias a la corriente continua.	Proceso que permitirá el tratamiento de las aguas residuales	Electrólisis	Tensión	V	Voltimetría	Experimental	Multímetro	<b>Nivel:</b> Aplicado  <b>Enfoque:</b> Cuantitativo  <b>Diseño:</b> Correlacional, Experimental
							Tiempo	s	Cronometría	Observación instantánea	Cronómetro	
<b>Específico</b> ¿Cuál es el efecto de la tensión eléctrica en la temperatura, conductividad eléctrica, turbidez y pH del agua residual procedente del Camal municipal de Anta?  ¿Cómo varía los niveles de la temperatura, conductividad eléctrica, turbidez y pH del agua residual en la línea del tiempo al ser sometida a la electrólisis?  ¿Cuál es el nivel de los parámetros fisicoquímicos del agua residual antes y después del tratamiento por electrólisis?	<b>Específico</b> Determinar el efecto de la tensión eléctrica en la temperatura, conductividad eléctrica, turbidez y pH, del agua residual procedente del Camal municipal de Anta.  Determinar los niveles de la temperatura, conductividad eléctrica, turbidez y pH del agua residual en la línea del tiempo al ser sometida a la electrólisis.  Determinar el nivel de los parámetros fisicoquímicos del agua residual antes y después del tratamiento por electrólisis.	<b>Específico</b> El efecto de la tensión eléctrica en la temperatura, conductividad eléctrica, turbidez y pH del agua residual procedente del Camal municipal de Anta, es significativo.  Los niveles de la temperatura, conductividad eléctrica, turbidez y pH del agua residual varían significativamente en la línea del tiempo al ser sometida a la electrólisis.  El nivel de los parámetros fisicoquímicos del agua residual antes y después del tratamiento varían significativamente.	<b>VD.</b> Agua residual al tratada del Camal municipal de Anta.	Aguas residuales que fueron sometidas a diversos procesos para su mejoramiento.	Aguas residuales que serán sometidas a la celda electrolítica para observar algún cambio en sus características.	Parámetros físicos	Temperatura	°C	Termometría	Observación instantánea	Termómetro	
							Conductividad	uS/cm	Conductimetría	Observación instantánea	Conductímetro	
							Turbiedad	UNT	Espectrofotometría	Medida en laboratorio	Turbidímetro	
							Sólidos suspendidos totales	mg/L	Gravimétrico	Observación	Balanza electrónica	
							Grasas y aceites	mg/L	Partición gravimétrica	Cálculo	Balanza electrónica	
							Potencial de hidrogeniones	mol/L	pH.- Metría	Medida en laboratorio	pH. Metro	
							Demanda biológica de oxígeno (DBO <sub>5</sub> ).	mg/L	Winkler	Medida de gastos de reactivos	Bureta	
							Demanda química de oxígeno (DQO).	mg/L	Colorimétrico de dicromato	Medida de gastos de reactivos	Bureta	
							Nitrógeno total (NT)	mg/L	Kjeldahl	Medida de gastos de reactivos	Bureta	
							Fósforo total (PT)	mg/L	Colorimétrico (observancia de la luz)	Observación	Colorímetro	

## ANEXO 2

### CÁLCULO DEL VOLUMEN DEL RECIPIENTE PARA EL AFORO Y RECOJO DE MUESTRA

Recipiente de plástico: El recipiente presenta las siguientes características, mostradas en la Figura 31.

- Diámetro mayor ( $D_{mayor}$ ).
- Diámetro menor ( $D_{menor}$ ).
- Diámetro promedio ( $D_{prom}$ ).

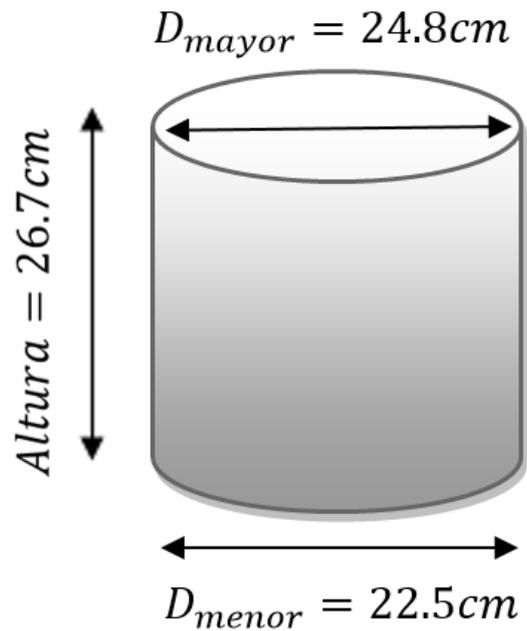


Figura 31. Dimensiones del recipiente empleado para el aforo.

Cálculo del volumen del recipiente:

$$D_{prom} = \frac{D_{mayor} + D_{menor}}{2} = \frac{(24.8 + 22.5) cm}{2}$$

$$D_{prom} = 23,65 cm$$

$$\text{Volumen} = \pi \left( \frac{D_{prom}}{2} \right)^2 \cdot \text{Altura} = \pi \left( \frac{23,65 cm}{2} \right)^2 (26,7 cm)$$

$$\text{Volumen} = 11729,066 cm^3 = 11,729 L \cong 12 L$$

## ANEXO 3

### DISEÑO DE LA FUENTE DE ALIMENTACIÓN

El entrehierro empleado para el rebobinado del transformador tiene la forma de E, tal como muestra la Figura 30.

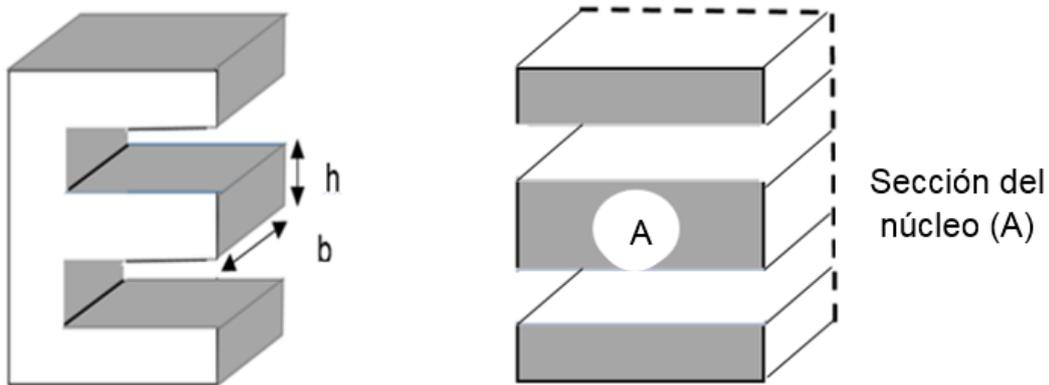


Figura 32. Conjunto de hierro en forma de E empleado para el transformador.

#### a. Cálculo de bobinado del transformador

Datos del núcleo de ferrita acorazonado;  $b=7,42\text{cm}$  y  $h=3,85\text{cm}$

##### **Paso 1. Cálculo de la sección del núcleo (A).**

*Teoría:* Se emplea la siguiente fórmula:  $A = b \cdot h$ , donde:

b: Espesor del transformador en cm.

h: Altura de la columna central de núcleo en cm.

Los datos para nuestro transformador son:  $b=7,42\text{cm}$ ;  $h=3,85\text{cm}$

*Cálculo:*  $A = (7,42 \text{ cm})(3,85 \text{ cm}) = 28,56 \text{ cm}^2$

##### **Paso 2. Potencia del transformador (S).**

*Teoría:* Se empleó la siguiente fórmula:  $S = \left(\frac{A}{0,903}\right)^2$ , donde:

S: Potencia aparente en V.A.

0,903: Constante para frecuencias de 60 Hz

*Cálculo:*  $S = \left(\frac{28,56 \text{ cm}^2}{0,903}\right)^2 = 1000 \text{ V. A.}$

### Paso 3. Número de espiras de la bobina primaria ( $N_{ebp}$ ).

*Teoría:* Conociendo la tensión eficaz, se empleó la siguiente fórmula:

$$E = K \cdot N \cdot F \cdot A \cdot B_{m\acute{a}x} \cdot 10^{-8}, \text{ donde:}$$

E: Tensión eficaz en voltios

$$K: \text{Factor de forma} = 2 \pi / \sqrt{2} = 4,44$$

N: Número de espiras o vueltas.

F: Frecuencia en ciclos/seg o Hz.

A: Área de la sección del núcleo en  $cm^2$

B: Densidad del flujo magnético en gauss.  $10^4$

$$\text{Cálculo: } N_{ebp} = \frac{E \cdot 10^8}{K \cdot F \cdot B_{max} \cdot A} = \frac{(220) \cdot 10^8}{(4,44) \cdot (60) \cdot 10^4 \cdot (28,56)} = 289 \text{ vueltas}$$

### Paso 4. Número de espiras de la bobina secundaria ( $N_{ebs}$ ).

*Teoría:* Se utilizó la siguiente fórmula:  $\frac{E_p}{E_s} = \frac{N_{ebp}}{N_{ebs}}$ , despejando,  $N_{ebs} = \frac{N_{ebp} \cdot E_s}{E_p}$ , en el

bobinado secundario existirá una pérdida, por lo tanto, se le agrega un porcentaje así,

$$N_{ebs} = \frac{N_{ebp} \cdot E_s}{E_p} + \%(espiras), \text{ observando la Tabla 23.}$$

Tabla 23. Potencia de transformador y su porcentaje de incrementos para el secundario

Potencia (V.A)	%	Potencia (V.A)	%	Potencia (V.A)	%
1 – 5	8,0	30 – 40	6,4	100 – 150	5,2
5 – 10	7,8	40 – 50	6,2	150 – 200	5,2
10 – 15	7,5	50 – 60	6,0	200 – 300	5,0
15 – 20	7,0	60 – 70	5,8	300 – 500	4,9
20 – 25	6,8	70 – 80	5,6	500 – 700	4,8
25 – 30	6,6	80 – 90	5,4	700 – 1000	4,7

Nota: tomado de (58).

$$\text{Cálculo: } N_{ebs} = \frac{N_{ebp} \cdot E_s}{E_p} = \frac{(289)(60)}{220} = 78,8 \text{ vueltas}$$

Se adicionará un valor por la pérdida de potencia.

$$N_{ebs} = 78,8 \text{ vueltas} + \frac{5}{100} (78,8 \text{ vueltas}) = 83 \text{ vueltas}$$

### Paso 5. Cálculo de las intensidades máximas.

*Teoría:* Si la potencia está definida por S, donde la  $S = I_{eficaz} \cdot E_{eficaz}$ , por lo cual:

$I_{eficaz}$ : Intensidad de corriente eficaz en A.

$E_{eficaz}$ : Tensión de entrada o salida en V.

Por lo cual se entiende que:

$$I_{máx.p} = \frac{S}{E_p} \text{ y } I_{máx.s} = \frac{S}{E_s}, \text{ donde:}$$

$I_{máx.p}$ : Intensidad máxima admisible en la bobina primaria.

$I_{máx.s}$ : Intensidad máxima admisible en la bobina secundaria.

$E_p$ : Tensión de la bobina primaria.

$E_s$ : Tensión de la bobina secundaria.

$$\text{Cálculo: } I_{máx.p} = \frac{1000}{220} = 4,5\text{A}; \quad I_{máx.s} = \frac{1000}{60} = 16,7\text{A}$$

### Paso 6. Cálculo de la sección del alambre.

*Teoría:* Se empleó la siguiente fórmula,  $J = \frac{I}{S_{cu}}$ , donde:

J: Densidad de la corriente en  $\text{A}/\text{mm}^2$ .

I: Intensidad en A.

$S_{cu}$ : Sección del cobre en  $\text{mm}^2$

El valor de la densidad de corriente se obtiene de la Tabla 24.

Tabla 24. *Potencia del transformador y su densidad de corriente*

Potencia Aparente (S) (V.A)	Densidad de corriente (J) (A/mm <sup>2</sup> )	Potencia Aparente (S) (V.A)	Densidad de corriente (J) (A/mm <sup>2</sup> )
0,8 – 1	1,6	40 – 50	5,5
1,0 – 3	1,8	50 – 60	6,0
3,0 – 5	2,0	60 – 100	6,2
5,0 – 8	2,5	200 – 300	6,6
8,0 – 10	3,0	300 – 400	6,8
10 – 25	3,5	400 – 600	7,0
15 – 20	4,0	600 – 800	7,2
20 – 30	4,5	800 – 1000	7,4
30 – 40	5,0		

Nota: tomado de (58).

$$\text{Cálculo: } S_{cu.p} = \frac{I_{m\acute{a}x.p}}{J} = \frac{4,5A}{7,4} = 0,6 \text{ A/mm}^2 \approx \text{Cable \# 19 AWG}$$

$$S_{cu.s} = \frac{16,7A}{7,4} = 2,26 \text{ A/mm}^2 \approx \text{Cable \# 14 AWG}$$

### Paso 7. Cálculo de la longitud del alambre (L)

*Teoría:* Dimensiones de hierro en forma de E para el cálculo del perímetro, ver la Figura 31.

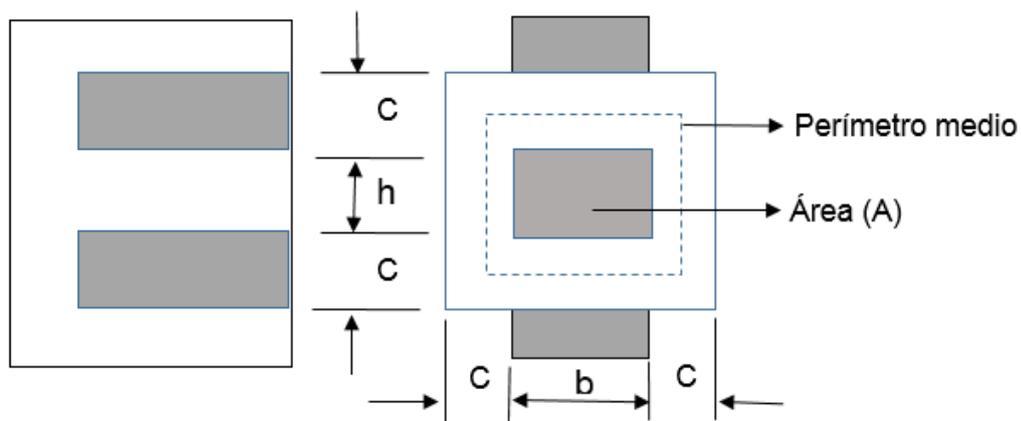


Figura 33. Dimensiones del hierro del transformador en forma de E.

$$Pm = 2\left(b + \frac{c}{2} + \frac{c}{2} + h + \frac{c}{2} + \frac{c}{2}\right),$$

$$Pm = 2(b + h + 2c)$$

Entonces:  $L_{bp} = P_m \cdot N_{ebp}$ ;  $L_{bs} = P_m \cdot N_{ebs} \times 1,2$

$P_m$ : Perímetro medio en centímetros

$L_{bp}$ : Longitud del alambre de la bobina primaria en cm.

$L_{bs}$ : Longitud del alambre de la bobina secundaria en cm.

$N_{ebs}$ : Número de espiras de la bobina secundaria

$N_{ebp}$ : Número de espiras de la bobina primaria

b: Espesor del núcleo en cm.

c: Ancho de la ventana del núcleo en cm.

h: Altura de la columna central en cm.

Nota. Las longitudes de las bobinas deben ser convertidas a metros (m)

*Cálculo:*

$$Pm = 2(b + h + 2c) = 2(7,42 + 3,85 + 2 \times 1,9) = 30,14 \text{ cm}$$

$$L_{bp} = P_m \cdot N_{ebp} = (30,14) (289) = 8710\text{cm} = 87,10 \text{ m}$$

$$L_{bs} = P_m \cdot N_{ebs} \times 1,2 = (30,14) (83) (1,2) = 30,00\text{cm} \approx 30\text{m}$$

### Peso del alambre

*Teoría:* El peso del alambre nos permitirá comprar el alambre de cobre en la tienda.

Peso del alambre de la bobina primaria =  $L_{bp} \cdot \text{gr/m}$

Peso del alambre de la bobina secundaria =  $L_{bs} \cdot \text{gr/m}$

En la Tabla 25, se muestra los valores de hilos de cobre para bobinado.

Tabla 25. *Valores de hilos de cobre para bobinado*

Número Galga AWG	Diámetro		Sección		Peso gr por m	Resistencia $\Omega$ Por km
	Mils	mm	Mils <sup>2</sup>	mm <sup>2</sup>		
44	1,978	0,050	3,072	0,002	0,017	8701,2
43	2,221	0,056	3,873	0,0025	0,022	6899,5
42	2,494	0,063	4,884	0,003	0,028	5472,7
41	2,800	0,071	7,842	0,004	0,035	4340,7
40	3,145	0,080	7,766	0,005	0,045	4341,7
39	3,531	0,090	9,793	0,006	0,056	2729,1
38	3,965	0,101	12,35	0,008	0,071	2161,1
37	4,453	0,113	15,57	0,010	0,089	1716,2
36	5,000	0,127	19,63	0,013	0,112	1360,95
35	5,615	0,143	24,76	0,016	0,142	1079,44
34	6,305	0,160	31,22	0,020	0,180	856,01
33	7,080	0,180	39,37	0,025	0,226	678,83
32	7,950	0,202	49,64	0,032	0,285	538,41
31	8,928	0,227	62,60	0,040	0,359	426,85
30	10,03	0,255	78,94	0,051	0,453	339,59
29	11,26	0,286	99,54	0,064	0,571	268,51
28	12,61	0,321	125,5	0,081	0,720	212,93
27	14,20	0,361	158,3	0,102	0,908	168,87
26	15,94	0,405	199,6	0,129	1,145	133,89

25	17,90	0,455	251,7	0,162	1,443	106,20
24	20,10	0,511	317,3	0,205	1,820	84,22
23	22,57	0,573	400,1	0,258	2,295	66,80
22	25,35	0,644	504,6	0,326	2,894	52,95
21	28,46	0,723	636,3	0,411	3,649	41,997
20	31,96	0,812	802,3	0,518	4,602	33,302
19	35,89	0,912	1,102	0,653	5,802	26,415
18	40,30	1,024	1,276	0,823	7,317	20,949
17	45,76	1,150	1,609	1,038	9,226	16,615
16	50,82	1,291	2,028	1,319	11,63	13,177
15	57,07	1,450	2,558	1,659	14,67	10,447
14	64,08	1,628	2,325	2,081	18,50	8,285
13	71,96	1,828	4,067	2,624	23,33	6,572
12	80,81	2,053	5,129	3,309	29,42	5,210
11	90,74	2,305	6,467	4,172	37,09	4,134
10	101,9	2,588	8,155	5,262	46,77	3,277
9	114,4	2,906	10,280	6,634	58,98	2,599
8	128,5	3,264	12,979	8,366	74,37	2,061
7	144,3	3,665	16,350	10,55	93,78	1,635
6	162,9	4,115	20,620	13,30	118,3	1,296
5	181,9	4,621	26,000	16,77	149,1	1,028
4	204,3	5,189	32,780	21,15	188,0	0,815
3	229,4	5,827	41,340	26,67	237,1	0,646
2	257,6	6,544	52,130	33,63	299,0	0,513
1	289,3	7,348	65,730	52,41	377,0	0,407
0	324,9	8,252	82,890	53,58	475,4	0,322
00	361,8	9,266	104,500	67,43	599,5	0,256
000	409,6	10,40	131,800	85,03	755,9	0,203
0000	460	11,68	166,200	107,2	953,2	0,161

Nota: tomado de (58).

*Cálculo:*

Peso del alambre de la bobina primaria =  $L_{bp} \cdot \text{gr/m} = (87,10) (5,802) = 502 \text{ gr}$

Peso del alambre de la bobina secundaria =  $L_{bs} \cdot \text{gr/m} = (30) (18,50) = 555 \text{ gr}$

NOTA: los 60 voltios de tensión eficaz del bobinado secundario se dividieron en 4 partes para obtener voltajes de 15 voltios y tener salidas que comprenden de 15V; 30V; 45V; 60V.

b. Selección del rectificador y cálculo del condensador de salida.

b.1 Selección del rectificador: se eligió rectificar el puente de diodos de 18 A o mayores.

b.2 Cálculo del filtro: se usó la siguiente fórmula,  $V_{rpp} = \frac{I_{m\acute{a}x}}{2 \cdot f \cdot C}$ ; donde:

$V_{rpp}$ : Voltaje de rizado de pico a pico

$I_{m\acute{a}x}$ : Intensidad de corriente máxima

$f$ : Frecuencia, en este caso es de 60 hz.

$C$ : Capacitancia

Cálculo: los datos para la  $I_{m\acute{a}x}$ , es de 16,5A según los cálculos obtenidos en el bobinado secundario y el valor de  $V_{rpp}$ , en la práctica se utiliza entre 5% a 10% de voltaje de salida, reemplazando en,  $C = \frac{I_{m\acute{a}x}}{2 \cdot f \cdot V_{rpp}}$ , para voltaje de salida de 60 V

$$C = \frac{16,5}{2 (60)(0,05 \times 60)} = 0,04583333 \text{ f, por lo tanto, se elige de } 45,83\text{mf}/60\text{V}$$

Nota: en la Figura 32, se observa la fuente de tensión, así como los rectificadores, la fuente y la celda electrolítica y demás no considera el condensador por no ser comercial.

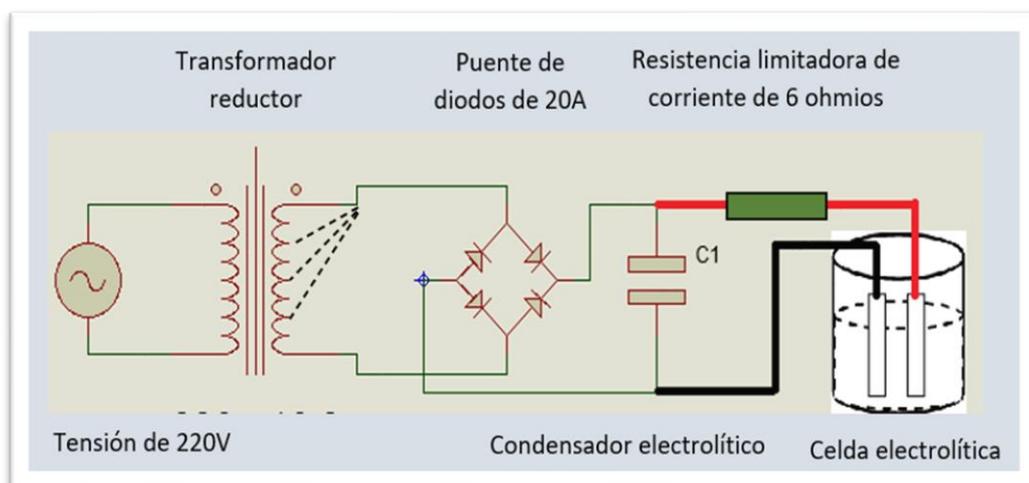


Figura 34. Diagrama del circuito eléctrico del sistema de la electrólisis.

## ANEXO 4

FICHA DE CAMPO N° 01				
MEDIDA DE CAUDAL				
Método: Volumétrico				
DESCRIPCIÓN;				
Para la medida del caudal se empleó un recipiente de 12 litros y un cronómetro del Smartphone, con tres repeticiones cada una.				
Volumen del recipiente: 11,729L $\cong$ 12L				
UBICACIÓN: Aguas residuales del Camal municipal de Anta				
N° DE MUESTRA: ninguna		Fecha de muestreo: 21 al 26 de octubre de 2019		
Código de muestra: VOL-1		Fecha de análisis:		
Fecha	Hora	Tiempo (s)	Tiempo promedio	Caudal "Q" (L/s)
21/10/2019	2:10 pm	21	22,00	0,55
		22		
		23		
22/10/2019	9:56 am	9	8,67	1,38
		9		
		8		
23/10/2019	10:00 am	14	14,67	0,82
		15		
		15		
24/10/2019	11:56 am	32	35,33	0,34
		36		
		38		
25/10/2019	10:27 am	9,64	9,83	1,22
		9,74		
		10,1		
26/10/2019	10:22 am	27	26,33	0,46
		26		
		26		
			<b>Promedio total</b>	<b>0,795</b>

FICHA DE CAMPO N° 04

MEDIDA DE TEMPERATURA, CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA, TURBIDEZ Y pH

Método: Termometría, Conductimetría, Espectrofotometría, pH-metro,

DESCRIPCIÓN;

Conocer los valores previos al tratamiento electrolítico de los parámetros (temperatura, conductividad eléctrica, turbidez y el potencial de hidrogeniones), para comparar con los resultados de las aguas residuales tratadas, dentro del objetivo específico 3.

UBICACIÓN: Aguas residuales del Camal municipal de Anta

N° DE MUESTRA: ninguna

Fecha de muestreo: 21 al 26 de octubre de 2019

Código de muestra: objetivo 3

Fecha de análisis: .....

PARAMETROS FISICOQUÍMICO	Hora	OBSERVACIONES	PROMEDIO
Temperatura (°C)	10:15 am	11	12 °C
		12	
		13	
Conductividad Eléctrica (CE)	10:40 am	315	315 <i>uS/cm</i>
		315	
		315	
Turbidez (UNT)	10:25 am	651	651 UNT
		652	
		651	
pH	10:35 am	6,6	6,7
		6,7	
		6,7	

## ANEXO 5

FICHA DE LABORATORIO N° 01				
MEDIDA DE PARÁMETROS PARA LA VERIFICACIÓN DEL EFECTO DE LA TENSIÓN ELÉCTRICA EN LA TEMPERATURA, CONDUCTIVIDAD, TURBIDEZ Y POTENCIAL DE HIDROGENIONES				
Método: Termometría, Conductimetría, Espectrofotometría, pH-metro.				
DESCRIPCIÓN DE LA PRUEBA:				
La muestra (M4), será sometida a diferentes niveles de tensión de: <b>T1=18,5 V; T2=35,1 V, T3=52,7 V; T4=70,8 V</b> para el logro del objetivo 1, cada tratamiento (T) tendrá una duración de 30 minutos, en cada nivel de tratamiento se tendrá tres recipientes que contienen la muestra 4 y cada uno de estos recipientes tendrá un litro de agua residual haciendo un total de 12 litros. Las mediciones se realizarán a los 60 minutos, excepto la temperatura, en este caso será a los 30 minutos.				
Distancia entre electrodos:		5 cm		
Área del electrodo: sumergido		60 cm <sup>2</sup>		
Tiempo de sometimiento de la muestra a electrólisis: 30 minutos				
PROCEDENCIA: Aguas residuales del Camal municipal de Anta				
CANTIDAD DE MUESTRAS: 12 L		FECHA DE MUESTREO: 24/04/2021		
CÓDIGO DE MUESTRA: P-M1		FECHA DE ANÁLISIS: 24/04/2021		
Medida de parámetros en la muestra uno (M1), tomadas a los 30 minutos por tratamiento				
Tratamiento	(°C)	uS/cm	UNT	(pH)
T1	17	425,53	948,03	6,7
T1	18	409,84	933,93	6,7
T1	18	448,43	919,36	6,6
Tratamiento	(°C)	uS/cm	UNT	(pH)
T2	20	355,87	1143,4	7,2
T2	21	334,45	1170,07	7,2
T2	21	366,30	1173,63	7,1
Tratamiento	(°C)	uS/cm	UNT	(pH)
T3	24	374,53	1317,79	7,3
T3	23	362,32	1323,88	7,3
T3	23	352,11	1315,35	7,4
Tratamiento	(°C)	uS/cm	UNT	(pH)
T4	31	325,73	1342,58	7,6
T4	30	335,57	1368,46	7,5
T4	30	346,02	1365,39	7,6

FICHA DE LABORATORIO N° 02

MEDIDA DE PARÁMETROS PARA LA VERIFICACIÓN DEL EFECTO DE LA TENSIÓN ELÉCTRICA EN LA TEMPERATURA, CONDUCTIVIDAD, TURBIDEZ Y POTENCIAL DE HIDROGENIONES

Método: Termometría, Conductimetría, Espectrofotometría, pH-metro.

DESCRIPCIÓN DE LA PRUEBA:

La muestra (M4), será sometida a diferentes niveles de tensión de: **T1=18,5 V; T2=35,1 V, T3=52,7 V; T4=70,8 V** para el logro del objetivo 1, cada tratamiento (T) tendrá una duración de 30 minutos, en cada nivel de tratamiento se tendrá tres recipientes que contienen la muestra 4 y cada uno de estos recipientes tendrá un litro de agua residual haciendo un total de 12 litros, las mediciones se realizarán a los 60 minutos, excepto la temperatura, en este caso será a los 30 minutos.

Distancia entre electrodos: 5 cm  
 Área del electrodo: 60 cm<sup>2</sup>  
 sumergido  
 Tiempo de sometimiento de la muestra a electrólisis: 30 minutos

PROCEDENCIA: Aguas residuales del Camal municipal de Anta

CANTIDAD DE MUESTRAS: 12 L FECHA DE MUESTREO: 25/04/2021

CÓDIGO DE MUESTRA: P-M2 FECHA DE ANÁLISIS: 25/04/2021

**Medida de parámetros en la muestra dos (M2), tomadas a los 30 minutos por tratamiento**

Tratamiento	(°C)	uS/cm	UNT	(pH)
T1	17	409,84	946,27	6,7
T1	17	403,23	928,3	6,7
T1	17	396,83	955,5	6,6

Tratamiento	(°C)	uS/cm	UNT	(pH)
T2	20	341,30	1135,35	7,2
T2	19	334,45	1188,27	7,2
T2	19	327,87	1174,46	7,1

Tratamiento	(°C)	uS/cm	UNT	(pH)
T3	26	359,71	1315,91	7,5
T3	24	362,32	1315,85	7,5
T3	25	367,65	1310,79	7,4

Tratamiento	(°C)	uS/cm	UNT	(pH)
T4	30	327,87	1371,79	7,7
T4	30	334,45	1361,32	7,6
T4	31	343,64	1359,17	7,6

FICHA DE LABORATORIO N° 03

MEDIDA DE PARÁMETROS PARA LA VERIFICACIÓN DEL EFECTO DE LA TENSIÓN ELÉCTRICA EN LA TEMPERATURA, CONDUCTIVIDAD, TURBIDEZ Y POTENCIAL DE HIDROGENIONES

Método: Termometría, Conductimetría, Espectrofotometría, pH-metro.

DESCRIPCIÓN DE LA

PRUEBA:

La muestra (M4), será sometida a diferentes niveles de tensión de: **T1=18,5 V; T2=35,1 V, T3=52,7 V; T4=70,8 V** para el logro del objetivo 1, cada tratamiento (T) tendrá una duración de 30 minutos, en cada nivel de tratamiento se tendrá tres recipientes que contienen la muestra 4 y cada uno de estos recipientes tendrá un litro de agua residual haciendo un total de 12 litros, las mediciones se realizarán a los 60 minutos, excepto la temperatura, en este caso será a los 30 minutos.

Distancia entre electrodos: 5 cm  
 Área del electrodo: 60 cm<sup>2</sup>  
 sumergido  
 Tiempo de sometimiento de la muestra a electrólisis: 30 minutos

PROCEDENCIA: Aguas residuales del Camal municipal de Anta

CANTIDAD DE MUESTRAS: 12 L FECHA DE MUESTREO: 27/04/2021

CÓDIGO DE MUESTRA: P-M3 FECHA DE ANÁLISIS: 27/04/2021

**Medida de parámetros en la muestra tres (M3), tomadas a los 30 minutos por tratamiento**

Tratamiento	(°C)	uS/cm	UNT	(pH)
T1	18	396,83	918	6,8
T1	17	396,83	937,58	6,7
T1	18	401,61	913,6	6,8

Tratamiento	(°C)	uS/cm	UNT	(pH)
T2	20	331,13	1154,26	7,2
T2	19	334,45	1177,38	7,1
T2	19	327,87	1174,88	7,2

Tratamiento	(°C)	uS/cm	UNT	(pH)
T3	23	355,87	1321,79	7,5
T3	22	362,32	1303,63	7,3
T3	22	373,13	1319,17	7,6

Tratamiento	(°C)	uS/cm	UNT	(pH)
T4	30	327,87	1356,79	7,6
T4	31	334,45	1361,6	7,5
T4	30	344,83	1386,61	7,7

FICHA DE LABORATORIO N° 04

MEDIDA DE PARÁMETROS, PARA LA VERIFICACIÓN DEL EFECTO DE LA TENSIÓN ELÉCTRICA EN LA TEMPERATURA, CONDUCTIVIDAD, TURBIDEZ Y POTENCIAL DE HIDROGENIONES

Método: Termometría, Conductimetría, Espectrofotometría, pH-metro.

DESCRIPCIÓN DE LA

PRUEBA:

La muestra (M4), será sometida a diferentes niveles de tensión de: **T1=18,5 V; T2=35,1 V, T3=52,7 V; T4=70,8 V** para el logro del objetivo 1, cada tratamiento (T) tendrá una duración de 30 minutos, en cada nivel de tratamiento se tendrá tres recipientes que contienen la muestra 4 y cada uno de estos recipientes tendrá un litro de agua residual haciendo un total de 12 litros, las mediciones se realizarán a los 60 minutos, excepto la temperatura, en este caso será a los 30 minutos.

Distancia entre electrodos: 5 cm

Área del electrodo:  
sumergido 60 cm<sup>2</sup>

Tiempo de sometimiento de la muestra a electrólisis: 30 minutos

PROCEDENCIA: Aguas residuales del Camal municipal de Anta

CANTIDAD DE MUESTRAS: 12 L FECHA DE MUESTREO: 28/04/2021

CÓDIGO DE MUESTRA: P-M4 FECHA DE ANALISIS: 28/04/2021

**Medida de parámetros en la muestra cuatro (M4), tomadas a los 30 minutos por tratamiento**

Tratamiento	(°C)	uS/cm	UNT	(pH)
T1	19	408,16	931,88	6,8
T1	18	429,18	993,89	6,8
T1	18	414,94	904,21	6,7

Tratamiento	(°C)	uS/cm	UNT	(pH)
T2	21	346,02	1150,34	7,1
T2	22	336,70	1190,02	7
T2	22	311,53	1174,49	7

Tratamiento	(°C)	uS/cm	UNT	(pH)
T3	24	352,11	1324,72	7,3
T3	25	364,96	1315,91	7,2
T3	24	377,36	1313,62	7,2

Tratamiento	(°C)	uS/cm	UNT	(pH)
T4	30	346,02	1349,73	7,8
T4	31	331,13	1361,34	7,7
T4	31	321,54	1350,42	7,7

FICHA DE LABORATORIO N° 05							
MEDIDA DE PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS PARA SU VERIFICACIÓN EN LA LÍNEA DEL TIEMPO							
Método: Termometría, Conductimetría, Espectrofotometría y pH - metro							
DESCRIPCIÓN DE LA PRUEBA:							
Medida de la temperatura, conductividad, turbidez, pH, de las aguas residuales del Camal municipal de Anta para el logro del objetivo 2, donde se tomó tres (3) litros de agua residual para someterlo a <b>18,5 V</b> .							
Distancia entre electrodos:		5 cm					
Área del electrodo:		50 cm <sup>2</sup> sumergido					
Tiempo máximo de medición:		60 minutos					
PROCEDENCIA: Aguas residuales del Camal municipal de Anta							
N° DE MUESTRA: 05				Fecha de muestreo: 11/05/2021			
CÓDIGO DE MUESTRA: LÍNEA-05				Fecha de análisis: 11/05/2021			
Voltaje aplicado: Dieciocho con cinco voltios (18,5 V)							
Tiempo (Minutos)	0'	10'	20'	30'	40'	50'	60'
Temperatura (°C)	14,00	16,00	17,00	18,00	19,00	19,00	20,00
Temperatura (°C)	14,00	16,00	17,00	18,00	19,00	19,00	20,00
Temperatura (°C)	14,00	16,00	17,00	18,00	19,00	19,00	20,00
Voltaje aplicado: Dieciocho con cinco voltios (18,5 V)							
Tiempo (Minutos)	0'	10'	20'	30'	40'	50'	60'
Conductividad (uS/cm)	333,33	294,99	293,26	276,24	250,00	259,74	251,26
Conductividad (uS/cm)	334,45	296,74	291,55	273,97	250,00	259,74	250,63
Conductividad (uS/cm)	332,23	292,40	289,86	271,00	250,00	259,07	251,26
Voltaje aplicado: Dieciocho con cinco voltios (18,5 V)							
Tiempo (Minutos)	0'	10'	20'	30'	40'	50'	60'
Turbidez (UNT)	620,18	640,20	760,90	889,57	974,57	1032,21	1087,58
Turbidez (UNT)	618,91	637,88	751,28	875,88	964,67	1020,13	1072,74
Turbidez (UNT)	621,55	640,29	760,64	891,32	977,70	1039,63	1093,59
Voltaje aplicado: Dieciocho con cinco voltios (18,5 V)							
Tiempo (Minutos)	0'	10'	20'	30'	40'	50'	60'
pH	6,50	6,80	6,90	7,20	7,30	7,60	7,80
pH	6,40	6,70	6,90	7,20	7,30	7,60	7,80
pH	6,40	6,70	6,80	7,10	7,20	7,50	7,70

FICHA DE LABORATORIO N° 06							
MEDIDA DE PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS PARA SU VERIFICACIÓN EN LA LÍNEA DEL TIEMPO							
Método: Termometría, Conductimetría, Espectrofotometría y pH - metro							
DESCRIPCIÓN DE LA PRUEBA:							
Medida de la temperatura, conductividad, turbidez, pH, de las aguas residuales del Camal municipal de Anta para el logro del objetivo 2, donde se tomó tres (3) litros de agua residual para someterlo a <b>35,1 V</b> .							
Distancia entre electrodos:		5 cm					
Área del electrodo:		50 cm <sup>2</sup> sumergido					
Tiempo máximo de medición:		60 minutos					
PROCEDENCIA: Aguas residuales del Camal municipal de Anta							
N° DE MUESTRA: 06				Fecha de muestreo: 12/04/2021			
CÓDIGO DE MUESTRA: LÍNEA-06				Fecha de análisis: 12/04/2021			
Voltaje aplicado: Treinta y cinco con uno voltios (35,1 V)							
Tiempo (Minutos)	<b>0'</b>	<b>10'</b>	<b>20'</b>	<b>30'</b>	<b>40'</b>	<b>50'</b>	<b>60'</b>
Temperatura (°C)	17,00	19,00	20,00	24,00	24,00	25,00	26,00
Temperatura (°C)	17,00	19,00	20,00	24,00	24,00	25,00	27,00
Temperatura (°C)	17,00	19,00	20,00	24,00	24,00	25,00	26,00
Voltaje aplicado: Treinta y cinco con uno voltios (35,1 V)							
Tiempo (Minutos)	<b>0'</b>	<b>10'</b>	<b>20'</b>	<b>30'</b>	<b>40'</b>	<b>50'</b>	<b>60'</b>
Conductividad (uS/cm)	254,78	236,97	221,24	217,01	188,32	196,12	188,25
Conductividad (uS/cm)	254,45	238,10	219,78	216,92	191,83	196,08	191,20
Conductividad (uS/cm)	255,75	239,23	222,22	215,05	189,75	194,17	185,19
Voltaje aplicado: Treinta y cinco con uno voltios (35,1 V)							
Tiempo (Minutos)	<b>0'</b>	<b>10'</b>	<b>20'</b>	<b>30'</b>	<b>40'</b>	<b>50'</b>	<b>60'</b>
Turbidez (UNT)	627,51	638,74	968,38	1037,11	1120,34	1271,10	1300,27
Turbidez (UNT)	628,35	639,09	971,48	1043,47	1125,16	1276,58	1309,17
Turbidez (UNT)	628,89	640,74	970,47	1045,38	1125,37	1277,01	1313,87
Voltaje aplicado: Treinta y cinco con uno voltios (35,1 V)							
Tiempo (Minutos)	<b>0'</b>	<b>10'</b>	<b>20'</b>	<b>30'</b>	<b>40'</b>	<b>50'</b>	<b>60'</b>
pH	6,60	7,00	7,50	8,20	8,40	8,50	8,60
pH	6,50	6,90	7,50	8,10	8,40	8,50	8,60
pH	6,50	6,90	7,50	8,10	8,40	8,50	8,60

FICHA DE LABORATORIO N° 07							
MEDIDA DE PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS PARA SU VERIFICACIÓN EN LA LÍNEA DEL TIEMPO							
Método: Termometría, Conductimetría, Espectrofotometría y pH - metro							
DESCRIPCIÓN DE LA PRUEBA:							
Medida de la temperatura, pH, conductividad y turbidez de las aguas residuales del Camal municipal de Anta para el logro del objetivo 2, donde se tomó tres (3) litros de agua residual para someterlo a <b>52,7V</b> .							
Distancia entre electrodos:		5 cm					
Área del electrodo:		50 cm <sup>2</sup> sumergido					
Tiempo máximo de medición:		60 minutos					
PROCEDENCIA: Aguas residuales del Camal municipal de Anta							
N° DE MUESTRA: 07				Fecha de muestreo: 12/05/2021			
CÓDIGO DE MUESTRA: LÍNEA-07				Fecha de análisis: 12/05/2021			
Voltaje aplicado: Cincuenta y dos con siete voltios (52,7 V)							
Tiempo (Minutos)	0'	10'	20'	30'	40'	50'	60'
Temperatura (°C)	18,00	22,00	24,00	27,00	28,00	29,00	31,00
Temperatura (°C)	18,00	22,00	24,00	27,00	28,00	29,00	30,00
Temperatura (°C)	18,00	22,00	24,00	27,00	28,00	29,00	30,00
Voltaje aplicado: Cincuenta y dos con siete voltios (52,7 V)							
Tiempo (Minutos)	0'	10'	20'	30'	40'	50'	60'
Conductividad (uS/cm)	245,70	244,98	265,96	243,90	226,24	237,53	243,90
Conductividad (uS/cm)	244,50	244,86	266,67	243,90	225,73	238,10	245,70
Conductividad (uS/cm)	246,31	245,10	265,25	243,90	226,76	235,29	244,50
Voltaje aplicado: Cincuenta y dos con siete voltios (52,7 V)							
Tiempo (Minutos)	0'	10'	20'	30'	40'	50'	60'
Turbidez (UNT)	793,61	1033,01	1171,69	1273,43	1333,76	1352,71	1325,82
Turbidez (UNT)	790,33	1030,67	1168,98	1270,52	1327,65	1344,48	1322,81
Turbidez (UNT)	792,77	1035,77	1169,64	1271,00	1330,82	1349,77	1324,56
Voltaje aplicado: Cincuenta y dos con siete voltios (52,7 V)							
Tiempo (Minutos)	0'	10'	20'	30'	40'	50'	60'
pH	6,60	7,10	7,90	8,40	8,60	8,80	8,90
pH	6,60	7,00	7,80	8,30	8,60	8,70	8,90
pH	6,60	7,00	7,80	8,30	8,60	8,70	8,80

FICHA DE LABORATORIO N° 08							
MEDIDA DE PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS PARA SU VERIFICACIÓN EN LA LÍNEA DEL TIEMPO							
Método: Termometría, Conductimetría, Espectrofotometría y pH - metro							
DESCRIPCIÓN DE LA PRUEBA:							
Medida de la temperatura, conductividad, turbidez, pH, de las aguas residuales del Camal municipal de Anta para el logro del objetivo 2, donde se tomó tres (3) litros de agua residual para someterlo a <b>70,8 V</b> .							
Distancia entre electrodos:		5 cm					
Área del electrodo:		50 cm <sup>2</sup> sumergido					
Tiempo máximo de medición:		60 minutos					
PROCEDENCIA: Aguas residuales del Camal municipal de Anta							
N° DE MUESTRA: 08				Fecha de muestreo: 13/05/2021			
CÓDIGO DE MUESTRA: LÍNEA-08				Fecha de análisis: 13/05/2021			
Voltaje aplicado: Setenta con ocho voltios (70,8 V)							
Tiempo (Minutos)	0'	10'	20'	30'	40'	50'	60'
Temperatura (°C)	17,00	24,00	27,00	30,00	33,00	36,00	37,00
Temperatura (°C)	17,00	23,00	27,00	30,00	33,00	36,00	38,00
Temperatura (°C)	17,00	24,00	28,00	31,00	33,00	36,00	38,00
Voltaje aplicado: Setenta con ocho voltios (70,8 V)							
Tiempo (Minutos)	0'	10'	20'	30'	40'	50'	60'
Conductividad (uS/cm)	285,71	261,78	248,76	220,99	185,53	195,16	179,86
Conductividad (uS/cm)	285,71	263,16	250,00	222,22	183,49	195,31	181,49
Conductividad (uS/cm)	285,39	260,42	249,38	222,22	184,50	196,08	181,03
Voltaje aplicado: Setenta con ocho voltios (70,8 V)							
Tiempo (Minutos)	0'	10'	20'	30'	40'	50'	60'
Turbidez (UNT)	765,01	1140,39	1250,26	1356,87	1377,07	1325,56	1016,03
Turbidez (UNT)	763,15	1133,28	1249,27	1358,69	1374,29	1319,63	1008,03
Turbidez (UNT)	767,42	1148,69	1254,78	1344,71	1378,09	1328,29	1012,30
Voltaje aplicado: Setenta con ocho voltios (70,8 V)							
Tiempo (Minutos)	0'	10'	20'	30'	40'	50'	60'
pH	6,50	6,90	8,10	8,60	8,80	8,90	9,20
pH	6,60	7,00	8,10	8,60	8,70	8,90	9,20
pH	6,60	7,00	8,10	8,60	8,70	8,90	9,20

## ANEXO 6

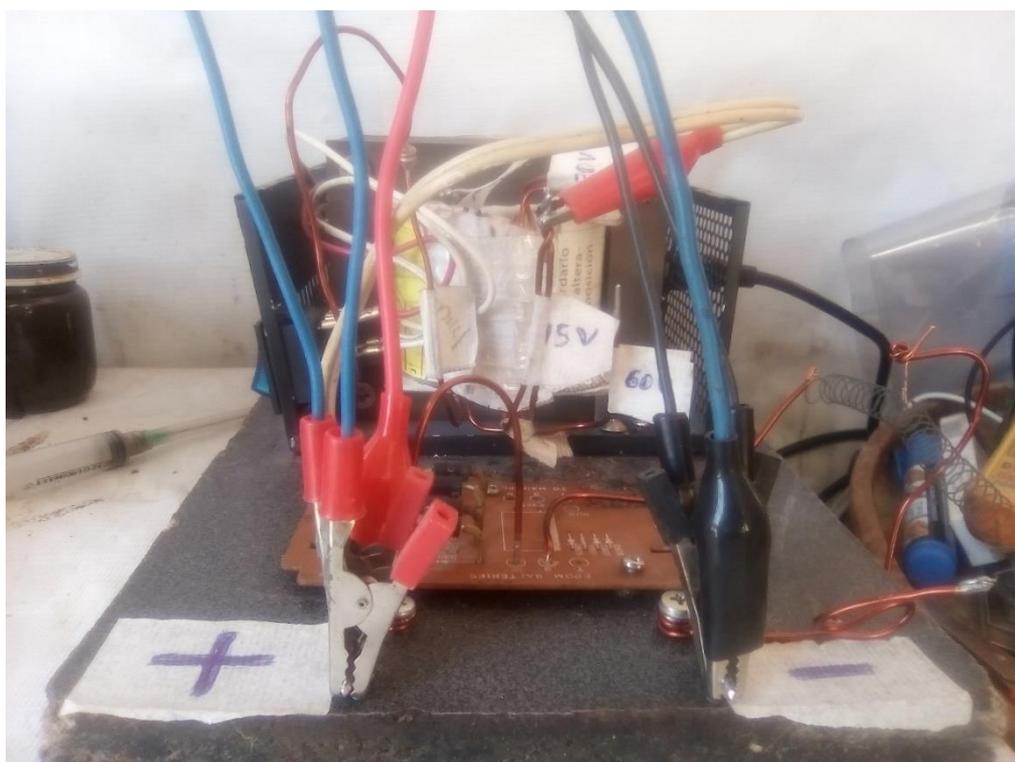


Figura 35. Fuente de alimentación de 18,5V; 35,1V; 52,7V y 70,8V en continua con cables y sus respectivos cocodrilos conectados al polo positivo y negativo.



Figura 36. Tratamiento dos (T2) de la muestra uno (M1), para el objetivo específico 1, con submuestras en los recipientes pequeños, identificado con colores y letras del alfabeto.



Figura 37. Recipientes con sus respectivos electrodos preparados, identificados con colores y letras del alfabeto, para el objetivo específico 2.



Figura 38. Muestra tratada durante 60 minutos para el objetivo específico 2, que ha sido sometido al nivel de tensión de 18,5V.



Figura 39. Muestra en proceso de tratamiento para el objetivo 2, durante 60 minutos, sometido a 70,8V.

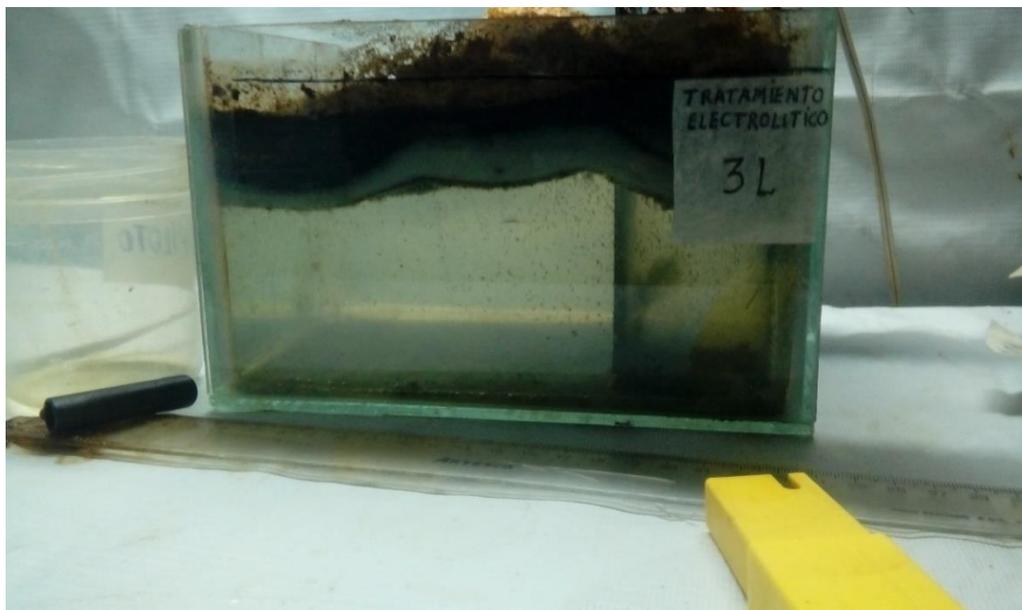


Figura 40. Agua residual de 3 litros tratada con 58 V, durante 90 minutos, para el cumplimiento del objetivo específico 3.



*Figura 41.* Muestra tomada para la verificación de los sólidos totales, a la izquierda se tiene las muestras antes de ingresar a la estufa y a la derecha dentro de la estufa, para el cumplimiento del objetivo específico 3.



*Figura 42.* Muestra salida de la estufa, para el cumplimiento del objetivo específico 3.



*Figura 43.* Proceso de fijación del oxígeno (método Winkler) en muestra de agua tratada con 58V, durante 90 minutos, para el cumplimiento del objetivo específico 3.



*Figura 44.* Incubación de la muestra por un periodo de 5 días.



Figura 45. Determinación de la demanda química de oxígeno de la muestra tratada con 58 V, durante 90 minutos, para el cumplimiento del objetivo específico 3.



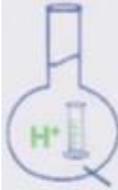
Figura 46. Determinación de fosfatos (método del colorímetro) de la muestra tratada con 58 V, durante 90 minutos, para el cumplimiento del objetivo específico 3.



*Figura 47.* Determinación del nitrógeno total (método Kjeldahl) de la muestra tratada con 58 V, durante 90 minutos para, el cumplimiento del objetivo específico 3.



*Figura 48.* Determinación de materia orgánica (método dicromatometría fosfatos) de la muestra tratada con 58 V, durante 90 minutos, para el cumplimiento del objetivo específico 3.



# MC QUIMICALAB

De: Ing. Gury Manuel Cumpa Gutierrez  
LABORATORIO DE CIENCIAS NATURALES  
AGUAS, SUELOS, MINERALES Y MEDIO AMBIENTE  
RUC N° 10465897711 - COVIDUC A4 - SAN SEBASTIÁN CEL: 974 673993 - 946 688776

INFORME N° LO 0132-20  
ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DE AGUA RESIDUAL

SOLICITA : Juan Carlos Ticona Flores

MUESTRA : Agua del canal municipal de Anta.

M1: Agua no tratada. FECHA DE MUESTREO: 23/01/20

M2: Agua tratada. FECHA DE MUESTREO: 05/01/20

DISTRITO : Anta

PROVINCIA : Anta

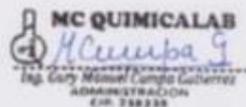
DEPARTAMENTO : Cusco

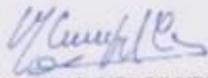
FECHA DE INFORME: 11/08/20

**RESULTADOS:**

DETERMINACIONES	UNIDAD	M1	M2
Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO <sub>5</sub>	mg/L	2500	210
Demanda Química de Oxígeno DQO	mg/L	6200	520
Sólidos Suspendedos Totales SST	mg/L	1600	30
Nitrógeno Total N	mg/L	168	84
Fosfatos HPO <sub>4</sub>	mg/L	3.15	1.5
Grasas	mg/L	2000	90
pH		6.72	7.4
Sólidos Totales	mg/L	2840	1980
Conductividad eléctrica	µS/cm	315	292
Materia Orgánica	mg/l.	1240	44
Hierro Fe	mg/L	0.3	0.3

MÉTODOS DE ANÁLISIS: Métodos Normalizados para el análisis de aguas potables y residuales publicado conjuntamente por AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA), AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (AWWA), WATER POLLUTION CONTROL FEDERATION (WPCF).



  
MARIO CUMPA CAYURI  
INGENIERO QUÍMICO  
REG. COLEGIO DE INGENIEROS N° 18189

## ANEXO 18

DATOS ADICIONALES OBSERVADOS EN UN LITRO DE MUESTRA, DONDE SE TRABAJÓ CON UNA FUENTE DE SALIDA DE 14V-28V-43V-58V

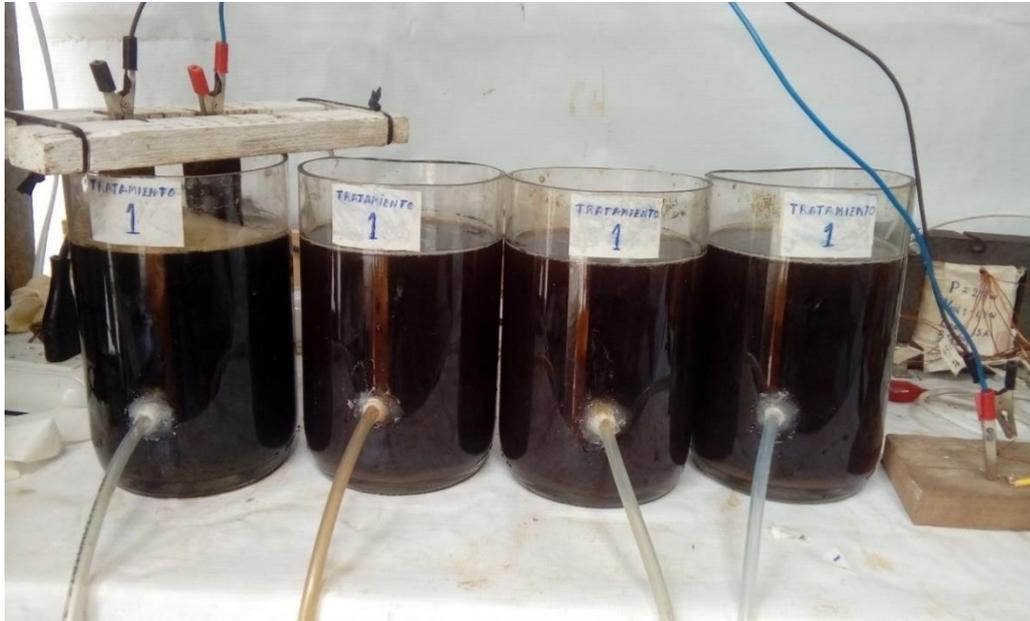


Figura 49. Grupos de muestras de agua residual en recipientes de un litro sometidas a un nivel de tratamiento.



Figura 50. Muestras tratadas a diferentes tensiones, vistas a través de la luz para un tiempo de 30 minutos.

Tabla de voltajes de la fuente, caída de voltaje y consumo de corriente por tratamiento para las diferentes muestras.

OBSERVACIONES DE LAS MUESTRAS							
Tratamiento	Voltaje - Amperaje	Muestra - 1	Muestra - 2	Muestra -3	Muestra - 4	Muestra - 5	Promedio
T-1	Voltaje de la fuente	14	14	14	14	14	14
	Caída de voltaje	11	11	11	10,8	11,2	11
	Amperios	0,4	0,5	0,4	0,4	0,3	0,4
T-2	Voltaje de la fuente	28	28	28	28	28	28
	Caída de voltaje	22,6	22,1	22,5	22,2	23	22,48
	Amperios	1	1,2	1	1,1	0,9	1,04
T-3	Voltaje de la fuente	43	43	43	43	43	43
	Caída de voltaje	32,1	32,5	33,5	33,5	33,9	33,1
	Amperios	2,2	1,8	1,7	2	1,4	1,82
T-4	Voltaje de la fuente	58	58	58	58	58	58
	Caída de voltaje	42,3	44,2	43,33	44,1	43,9	43,57
	Amperios	2,4	2,3	2,4	2,5	2,1	2,34

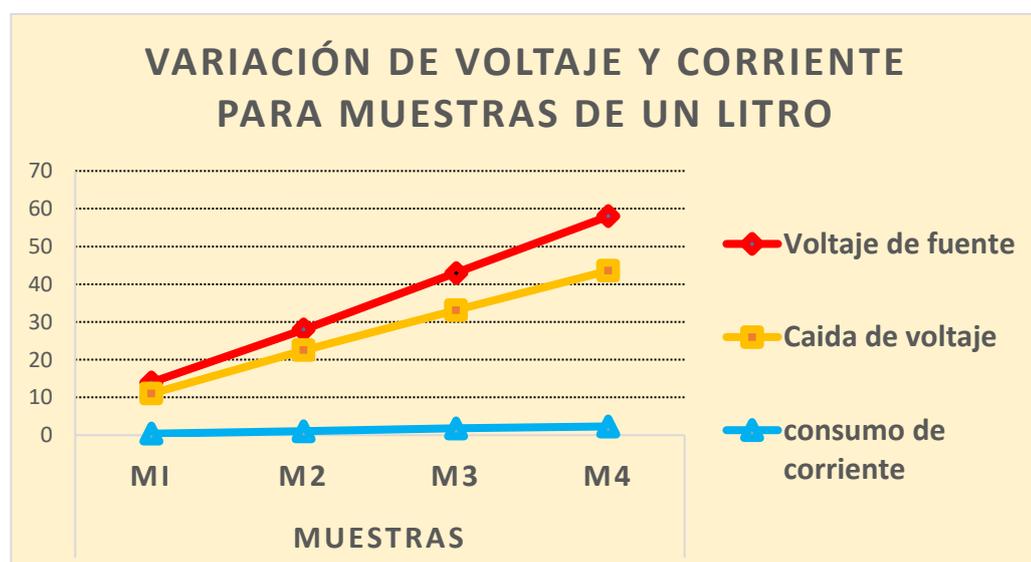


Figura 51. Variación de voltaje de la fuente, caída de voltaje y consumo de corriente de las muestras sometidas al sistema de electrólisis.

Tabla de algunos parámetros observados en muestra de un litro, para 58V.

Tiempo	Temperatura (°C)	pH	Caída de voltaje (V)	Corriente (A)	Turbidez "caliente"	Turbidez "precipitado frio"	Turbidez "agitado frio"
minuto 0	12	7,1	42,7	3,4	651,55	548,79	577,18
minuto 10	17	7,3	40,7	3,7	780,5	833,63	863,83
minuto 20	22	7,9	39,9	3,9	937,88	996,16	1008,21
minuto 30	28	8,2	39	3,9	1116,54	1029,94	1233,87
minuto 40	31	8,4	38,3	4	1130,28	551,54	1229,67
minuto 50	38	8,7	37,4	4	654,48	41,51	678,25
minuto 60	43	8,9	37	4	229,13	0,62	152,01
minuto 70	47	9	37	4,1	196,15	0,63	120,9
minuto 80	49	9,2	37	3,9	99,22	0,61	82,4
minuto 90	51	9,3	37	3,9	92,94	0,61	51,58

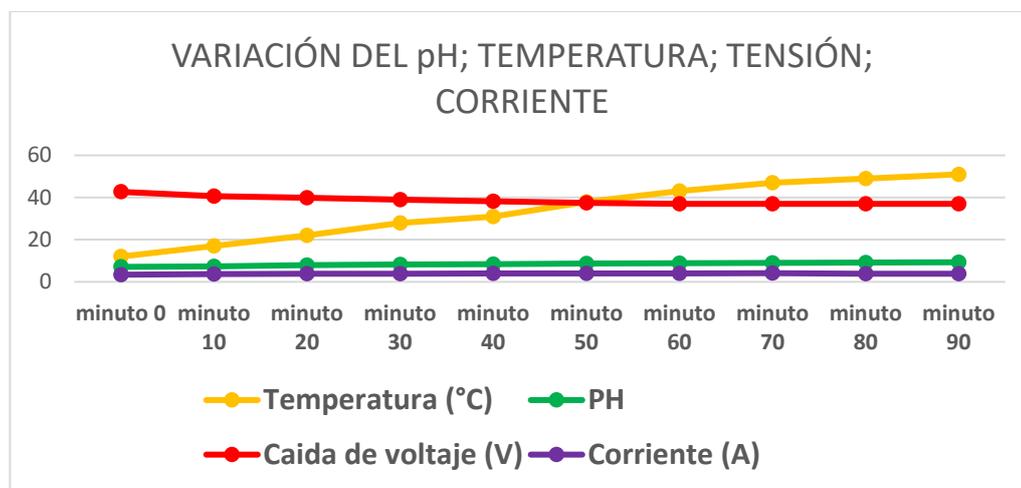


Figura 52. Variación en el tiempo de la relación de la temperatura, pH, caída de voltaje y el consumo de corriente que produce una muestra al ser sometida a 58V.

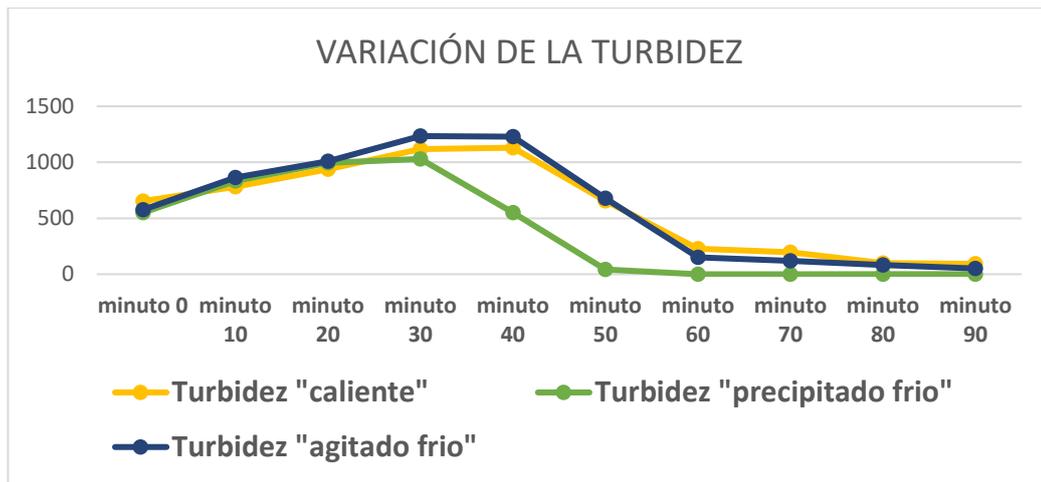


Figura 53. Comportamiento de la turbidez en el tiempo, para un litro de muestra a 58V.