



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

“Aplicación de la técnica de electrodiálisis bipolar para la producción de ácido clorhídrico a partir de agua residual de regeneración de resinas de intercambio iónico Enace - Carabayllo 2015”

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
AMBIENTAL

AUTOR:

Xavier Córdova García

ASESOR:

Dr. Ing. Jhonny Wilfredo Valverde Flores

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Sistemas de gestión ambiental

LIMA – PERÚ

2015-II

PÁGINA DEL JURADO

Señores miembros del Jurado:

En cumplimiento del Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad César Vallejo presento ante ustedes la Tesis titulada "APLICACIÓN DE LA TÉCNICA DE ELECTRODIÁLISIS BIPOLAR PARA LA PRODUCCIÓN DE ÁCIDO CLORHÍDRICO A PARTIR DE AGUA RESIDUAL DE REGENERACIÓN DE RESINAS DE INTERCAMBIO IÓNICO ENACE - CARABAYLLO 2015" espero que cumpla con los requisitos de aprobación para obtener el título Profesional de Ingeniero Ambiental.

AUTOR:

Xavier Córdova García

Dr.Ing. Jhonny Valverde flores

Mg. Haydee Suarez Alvites

Ing. karin Villanuevo Nuevo

DEDICATORIA

A Dios por darme la oportunidad de realizar este trabajo y por toda la fortaleza para llevarlo a cabo. A mi familia, mis Padres francisco y Telcida porque gracias a ellos he alcanzado todos mis logros, a mi novia Carmen Marleny Cruz fundamental en mi vida.

A mis hermanos Frank y Enderts y hermanas, Liesbet y Yaceny que me acompañaron en todo este proceso y me brindaron incondicionalmente su apoyo.

A todas aquellas personas que aún siguen a mi lado o que partieron por otros caminos, porque me dieron lecciones de vida de alguna u otra manera.

A mi familia en general por ser lo más importante, y ser mí respaldo en todo sentido y circunstancia.

Xavier Córdova García

AGRADECIMIENTO

Agradezco en primer lugar a Dios por darme la oportunidad, la fortaleza, el entusiasmo y la capacidad para llegar a concluir esta meta.

Al amor de mi vida Carmen Marleny Cruz, ya que para grandes amores hay grandes sacrificios

A mis padres Fransisco y Telcida por su dedicación, por su esfuerzo apoyo incondicional, por los sabios consejos, por las enseñanzas, regañadas, paciencia y confianza que tuvieron hacia mí en toda la realización de este proyecto.

A los profesores de la Universidad privada Cesar Vallejo, que me brindaron todas enseñanzas y las bases académicas, culturales y de pensamiento, por toda su dedicación y por todo su apoyo, en especial al Dr. Ing. Jhonny Wilfredo Valverde Flores.

A mi asesor externo Juan Taumaturgo Medina Collana el cuál con su experiencia científica, teórica y sus aportes, ya que ha sido imprescindible para la realización de este trabajo. También agradecerle, por brindarme los espacios físicos, materiales y herramientas, por el apoyo brindado en la construcción del módulo de Electrodiálisis bipolar y en la experimentación del proceso.

Finalmente a mis compañeros de la Universidad por su preocupación y apoyo en la elaboración del presente trabajo de investigación.

DECLARACION DE AUTENTICIDAD

Yo Xavier Córdova García con DNI N° 42543759 a efecto de cumplir con las disposiciones vigentes consideradas en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad César Vallejo, Facultad de ingeniería ambiental, Escuela de ingeniería ambiental, declaro bajo juramento que toda la documentación que acompaño es veraz y auténtica.

Así mismo, declaro también bajo juramento que todos los datos e información que se presenta en la presente tesis son auténticos y veraces.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas de la Universidad César Vallejo.

Lima, diciembre del 2015

Autor: Xavier Córdova García

PRESENTACIÓN

Señores Miembros del Jurado:

La presente tesis titulada “Aplicación de la técnica de electrodiálisis bipolar para la producción de ácido clorhídrico a partir de agua residual de regeneración de resinas de intercambio iónico Enace _ Carabayllo 2015”, tiene como finalidad determinar la producción de ácido clorhídrico a partir de aguas residuales de regeneración de resina de intercambio iónico mediante la aplicación de la técnica de electrodiálisis bipolar, mediante la determinación adecuada de los valores de los parámetros de operación del proceso de electrodiálisis bipolar planta piloto, en el distrito de carabayllo-enace; por ello, pongo en consideración de los señores Miembros del Jurado Evaluador los resultados obtenidos en la investigación.

El documento está estructurado por: La introducción, donde se tiene en cuenta los Antecedentes, la Fundamentación Científica, Técnica o Humanística, la Justificación, así como el problema, la hipótesis y los objetivos.

Del mismo modo, el marco metodológico comprende las variables, su operacionalización, la metodología usada en la investigación, el tipo de estudio, el diseño, la población, muestra y muestreo, técnicas e instrumentos de recolección de datos y los métodos de análisis de datos.

Posteriormente se presenta los resultados de la presente investigación; y para finalizar la discusión, las conclusiones y las recomendaciones como aporte para futuras investigaciones científicas.

Autor: Xavier Córdova García

ÍNDICE

PÁGINA DEL JURADO.....	ii
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	iv
DECLARACION DE AUTENTICIDAD	v
PRESENTACIÓN.....	vi
RESUMEN	xii
ABSTRACT.....	xiii
I.INTRODUCCIÓN	1
1.1 Realidad Problemática	1
1.2 Trabajos Previos	2
1.3 Teorías relacionadas al tema	4
1.3.1 La electrodiálisis (ED)	4
1.3.2 La electrodiálisis (ED) electrodiálisis con membranas bipolares (EDMB).....	5
1.3.3 Proceso de electrodiálisis de membranas bipolares (EDMB)	6
1.3.4 Transporte de iones a través de una membrana de intercambio iónico .	7
1.3.5 Disposición de las membranas	8
1.3.6 Propiedades de membranas de intercambio iónico.....	9
1.3.7 Requisitos técnicos de la EDMB	11
1.3.8 Componentes de una celda de electrodiálisis bipolar.....	11
1.3.9 Polarizacion en la electrodiálisis bipolar	15
1.3.10 Densidad de corriente límite	15
1.3.10.1 Procedimiento experimental para la determinación de corriente límite.....	15
1.3.10.2 Procedimiento experimental para la determinación de corriente límite	16
1.3.11 Diseño de la Celda de Electrodiálisis bipolar.....	16
1.3.11.1Transporte de Masa en Stack de Electrodiálisis	17
1.3.11.2 Densidad de corriente límite en un proceso de electrodiálisis bipolar	24
1.3.12 Relaciones prácticas usadas para el diseño de una celda de electrodiálisis bipolar	25
1.3.13Aplicaciones de la EDMB.....	28
1.3.14Ácido clorhídrico	29
1.3.14.1 Propiedades química – física	30
1.4 Formulación del problema.....	31
1.4.1 General.....	31

1.4.2	Específicos	31
1.5	Justificación del estudio	31
1.6	Objetivos	32
1.6.1	Generales	32
1.6.2	Específicos	32
1.7	Hipótesis	33
1.7.1	Hipótesis General	33
1.7.2	Hipótesis Específicas	33
II.	MÉTODO	34
2.1	Diseño de la investigación	34
2.2	Variables, operacionalización	36
2.2.1	Operacionalización de variables	36
2.3	Población y muestra	37
2.3.1	Población	37
2.3.2	Muestra	37
2.3.3	Muestreo	37
2.4	Técnicas e instrumentos de recolección de datos	37
2.4.1	Técnicas	37
2.4.2	Instrumentos	38
2.4.3	Fuentes de Información:	38
2.5	Métodos de análisis de datos	39
2.5.1	Test de Shapiro–Wilk	39
2.5.2	U de Mann Whitney	40
2.5.3	Kruskal Wallis	40
2.5.4	Test de Levene	41
2.5.5	Test de Tamhane	43
III	Resultados	44
3.1	Selección de agua de la muestra de agua de regeneración de resina de intercambio iónico	44
3.2	Construcción del Equipo de pretratamiento y Electrodiálisis Bipolar a nivel piloto. 45	
3.2.1	Pretratamiento	45
3.2.1.1	Construcción de planta piloto del pretratamiento	45
3.2.1.2	Descripción de la planta piloto de tratamientos de aguas	46
3.3	Análisis de Laboratorio Inicial	53
3.4	Aplicación del pretratamiento	53
3.4.1	Precipitación Química	53

3.5	Resultados del análisis de laboratorio post pretratamiento.....	55
3.6	Manipulación de variables en el proceso de electrodiálisis bipolar	57
3.1.-	RESULTADOS OBTENIDOS.....	61
3.1	Estadística descriptiva	64
3.1.1.	Estadística descriptiva para la concentración de HCl.....	64
3.1.2	Estadística descriptiva para las concentraciones de HCl según el voltaje aplicado.....	67
3.1.3	Estadística descriptiva de las concentraciones de HCl según el flujo...71	
3.2	Estadística inferencial	78
3.2.1	Hipótesis general	78
3.2.2	Hipótesis específicas	83
IV.-	Discusión.....	87
V.-	Conclusión.....	88
VI.-	Recomendaciones.....	89
VII.-	Referencias	90
Anexos	.....	93
Anexo I:	.....	94
Anexo II	.....	94
Anexo III	.....	94
Anexo IV	.....	94
Anexo V	.....	94
Anexo VI:	.....	94
Anexo VII:	.....	94

LISTA DE FIGURAS

Fig. N°. 1:	Transporte de iones cloro en la electrodiálisis.....	5
Fig. N° 2:	Diagrama de Electrodiálisis bipolar.....	7
Fig. N° 3:	Transporte de iones microscópicamente.....	9
Fig. N° 4	Diagrama de flujo de la corriente diluida y concentrado en un par de celda.....	18
Fig. N° 5	Diagrama esquemático que ilustra las resistencias eléctricas en el proceso de electrodiálisis.....	20
Fig. N° 6	Diagrama de flujo del diseño de investigación.....	35
Fig. N° 7:	Tanques de resina de intercambio iónico a la derecha tanques recientes adquiridos y el de la izquierda, actualmente se encuentra en funcionamiento.....	44

Fig. N° 8: Diagrama del equipo de pretratamiento para agua de regeneración de resina para la producción de ácido clorhídrico a partir de electrodiálisis bipolar.....	46
Fig. N° 9: Elaboración del equipo de pretratamiento para agua de regeneración de resina para la producción de ácido clorhídrico.	49
Fig. N° 10: Diagrama y construcción del equipo de electrodiálisis bipolar	50
Fig. N° 11: Planta piloto de electrodiálisis bipolar la producción de ácido clorhídrico a través de aguas residuales de regeneración de resinas de intercambio iónico.	52
Fig. N° 12: Aplicación del pretratamiento al agua de regeneración de resina de intercambio iónico (Precipitación química)	55
Fig. N° 13: Histograma de sedimentación de Magnesio, calcio y sulfatos	56
FIG N° 14: Histograma de recuperación del cloro y sodio, para la producción de ácido clorhídrico y su sub producto hidróxido de sodio	58
Fig. N° 15: Monitoreo de la planta piloto de electrodiálisis bipolar	59
Fig. N° 16: Vasos precipitados usados en la adquisición de datos durante el monitoreo de la planta piloto de electrodiálisis bipolar.....	60
Fig. N° 17: Recuperación de Cl ⁻ y sub producto Na ⁺ para la producción de ácido clorhídrico y el subproducto hidróxido de sodio a 600ml/min y 6 voltios	63
Fig. N° 18: Caja-bigotes de las variaciones de concentración de HCl	65
Fig. N° 19: Histograma de las variaciones de concentración de HCl	66
Fig. N° 20: Caja-bigotes de las variaciones de concentración de HCl, según voltajes.....	69
Fig. N° 21: Histograma de las variaciones de HCl, según los diversos voltajes....	70
Fig. N° 22: Caja-bigotes de las variaciones de concentración de HCl a diferentes flujos	72
Fig. N° 23: Histograma de las variaciones de concentración de HCl, según los diversos flujos	73
Fig. N° 24: Caja-bigotes de las variaciones de concentración de HCl a diferentes combinaciones de flujo-voltaje	77
Fig. N° 25: Efectos principales para Medias.- Se puede evidenciar el comportamiento de las medias con respecto a la concentración de HCl.	79
Fig. N° 26: Efectos principales para Relaciones SN	79

LISTA DE TABLAS

Tabla N° 1: Comparación según sus propiedades de las Membrana Catiónica y Aniónica, según sus propiedades.....	10
Tabla N° 2 Operacionalización de Variables	36
Tabla N° 3: resultados de laboratorio sedimentación de Magnesio, calcio y magnesio	56
Tabla. N° 4: Porcentaje de recuperación del ion cloro y sodio para la producción de ácido clorhídrico y su sub producto hidróxido de sodio	58
Tabla N° 5: Resultados de valores de los parámetros operacionales del flujo de 600 ml/min Y 300ml/min y 06,12 y 18 Voltios de potencial eléctrico.....	61
Tabla N° 6: Resultados de valores de los parámetros operacionales: 600 ml/min de flujo y 06Voltios a un potencial eléctrico.....	62
Tabla N° 7: Estadísticos del total de variaciones de la concentración de HCl	64
Tabla N° 8: Prueba de normalidad de Shapiro-Wilk	65
Tabla N° 9: Variación de las concentraciones de HCl según el voltaje aplicado...	67
Tabla N° 10: Prueba de normalidad de Shapiro-Wilk, según voltajes aplicados...	69
Tabla N° 11: Estadísticos de las variaciones de HCl según el flujo.	71
Tabla N° 12: Prueba de normalidad de Shapiro-Wilk, según flujos aplicados.....	73
Tabla N° 13: Estadísticos de las variaciones de HCl según el flujo (ml/min)-voltaje (voltios)	74
Tabla N° 14: Respuesta para relaciones a las diferentes concentraciones de HCl /Más grande es mejor	78
Tabla N° 15: Respuesta para relaciones a las diferentes concentraciones de HCl /respuesta para medias.....	78
Tabla N° 16: Test de Levene de homogeneidad de varianzas entre los grupos diferenciados por flujo-voltaje.....	80
Tabla N° 17: Resultados de la prueba de Kruskal-Wallis de comparación entre los grupos de combinaciones de flujo-voltaje.....	81
Tabla N° 18: Resultados de la prueba pos-hoc de Tamhane de comparaciones múltiples.....	82
Tabla N° 19: Resultados de la prueba de Kruskal-Wallis recuperación de HCl (ppm) para flujo de 600ml/min.....	84
Tabla N° 20: Resultados de la prueba U de Mann-Whitney de comparación de voltajes.....	84
Tabla N° 21: Resultados de la prueba U de Mann-Whitney de comparación de flujo	86

RESUMEN

El objeto de la presente investigación es determinar cómo la aplicación de la técnica de electrodiálisis bipolar influye en la producción de ácido clorhídrico, a partir de agua residual de regeneración de resinas de intercambio iónico en la urbanización Enace - Carabaylo 2015. La hipótesis con la que se trabajó es: la técnica de electrodiálisis bipolar permitirá generar niveles óptimos de ácido clorhídrico a partir de aguas residuales de regeneración de resinas de intercambio iónico, el método que se utilizó fue el método inductivo - deductivo ya que estudia casos individuales para una generalización, conclusión y después deducción de resultados.

Para este estudio se realizó la construcción de un módulo de electrodiálisis bipolar a escala de laboratorio se estudió experimentalmente la recuperación del ion Cloro (Cl^-) para la producción de ácido clorhídrico y la recuperación del ion sodio (Na^+) para la obtención de un sub producto como es el hidróxido de sodio a partir de agua residual de regeneración de resinas de intercambio iónico. En el módulo se utilizó tres tipos de membranas de intercambio aniónico, catiónico y una membrana bipolar, Para este estudio se consideraron dos factores controlables con tres niveles para el voltaje y dos para flujo, A partir de mediciones de flujo y voltaje se propuso un nuevo método para determinar las corrientes límites, para un área efectiva de las membranas de intercambio iónico de 10 cm x 15 cm, el voltaje aplicado a la celda de electrodiálisis fue de (6, 12, 18 V), flujo de alimentación de (300, 600 mL/min). Siendo monitoreado cada 20 minutos para controlar la conductividad, logrando al cabo de 200 minutos una recuperación con un mayor porcentaje de un 84.91% del ion cloro, para la producción de ácido clorhídrico y un 39.02% del ion sodio, para un subproducto de hidróxido de sodio a través de un potencial eléctrico de 18 voltios a un flujo de 600ml/min confirmando así que esta tecnología es muy apropiada para la producción de ácido clorhídrico y un subproducto de hidróxido de sodio a partir de aguas residuales de regeneración de agua de resina de intercambio iónico.

Palabras clave: ácido clorhídrico, electrodiálisis bipolar, recuperación

ABSTRACT

The purpose of this research is to determine how the application of the technique of bipolar electro dialysis influences the production of hydrochloric acid from wastewater regeneration of ion exchange resins in the ENACE urbanization - Carabayllo 2015. The hypothesis with which he worked is the technique of bipolar electro dialysis to generate optimal levels of hydrochloric acid from wastewater regeneration of ion exchange resins , the method used was the inductive - deductive method and studying individual cases to a generalization , conclusion and after deduction of results.

For this study the construction of a module bipolar electro dialysis was performed at laboratory scale recovery of chloride ion (Cl^-) for the production of hydrochloric acid and recovery of sodium ion (Na^+) to obtain a sub experimentally studied product such as sodium hydroxide waste water from regeneration of ion exchange resins .Three types of anion exchange membranes , cationic and bipolar membrane , For this study two controllable factors with three levels for the voltage and two for flow were considered From measurements of flow and voltage I used in the module proposed a new method for determining the limits current to an effective area of the ion exchange membranes 10 cm x 15 cm , the voltage applied to the electro dialysis cell was (6, 12 , 18 V) , feed stream (300 , 600 mL / min). Being monitored every 20 minutes for controlling the conductivity, achieving after 200 minutes recovery with a higher percentage of a 84.91 % chloride ion, to produce hydrochloric acid and 39.02 % of sodium ion to a byproduct hydroxide sodium THROUGH an electric potential of 18 volts at a rate of 600ml / min confirming that this technology is well suited to the production of hydrochloric acid and a byproduct sodium hydroxide from sewage water reclamation exchange resin ionic.

Keywords : hydrochloric acid , bipolar electro dialysis recovery.