



EUPG

ESCUELA UNIVERSITARIA DE POSGRADO

INFLUENCIA DE PARÁMETROS OPERACIONALES EN LA CONCENTRACIÓN DE ÁCIDO Y BASE PRODUCIDO A PARTIR DE SALMUERA PROCEDENTE DE OSMOSIS INVERSA VIA ELECTRODIALISIS BIPOLAR

Tesis para optar el Grado Académico de Doctor en
Ingeniería Ambiental

AUTOR (A)

Medina Collana, Juan Taumaturgo

ASESOR (A)

Galarza Zapata, Edwin Jaime

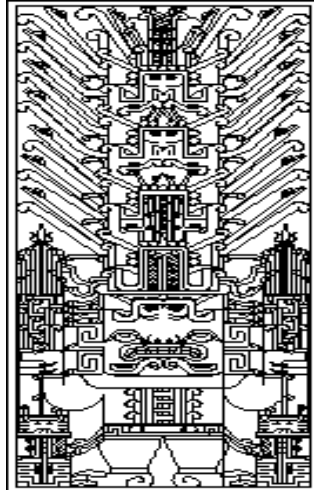
JURADO

Gómez Lora, Jhon Walter
Zamora Talaverano, Noé S.
Naupay Vega, Marlitt F.

Lima - Perú
2017

**UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL
ESCUELA UNIVERSITARIA DE POSTGRADO**

FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL



**“INFLUENCIA DE PARÁMETROS OPERACIONALES EN LA CONCENTRACIÓN DE
ÁCIDO Y BASE PRODUCIDO A PARTIR DE SALMUERA PROCEDENTE DE
OSMOSIS INVERSA VIA ELECTRODIALISIS BIPOLAR “**

TESIS PRESENTADO POR EL MAESTRO

ING. MG. JUAN TAUMATURGO MEDINA COLLANA

PARA OPTAR EL GRADO ACADEMICO DE

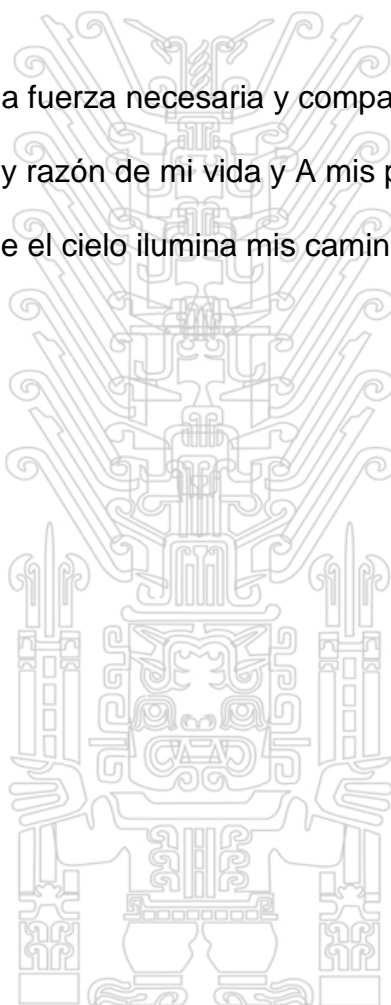
DOCTOR EN INGENIERIA AMBIENTAL

LIMA - PERU

2017

DEDICATORIA

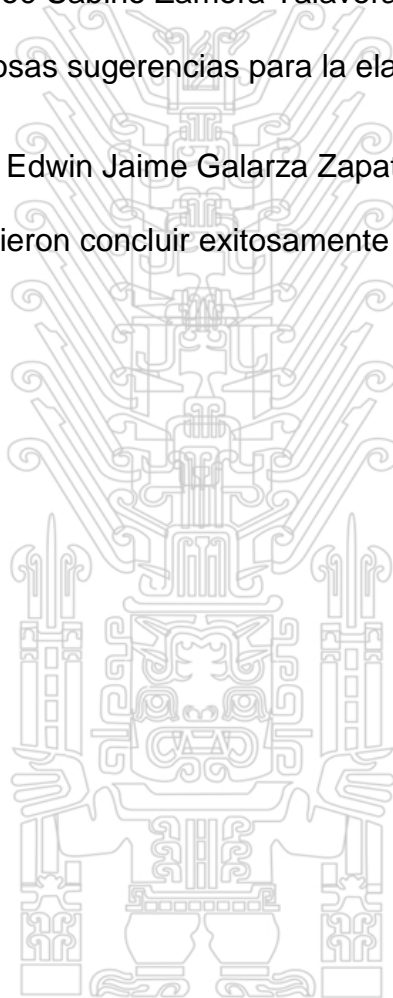
A mi esposa, por darme la fuerza necesaria y compañía, a mis hijos Jhoel y Melissa por ser la alegría y razón de mi vida y A mis padres y hermanos, que desde el cielo ilumina mis caminos.



AGRADECIMIENTO

Hago presente mi agradecimiento al Dr. Jhon Walter Gómez Lora por su recomendaciones y sugerencias en la realización de este trabajo. Y a los señores miembros del jurado, Dr. Noé Sabino Zamora Talaverano y Dra. Merlitt Florinda Naupay Vega, por sus valiosas sugerencias para la elaboración de la tesis

Al mi asesor de tesis Dr. Edwin Jaime Galarza Zapata, por su gran apoyo y aporte que me permitieron concluir exitosamente el presente trabajo.



ÍNDICE

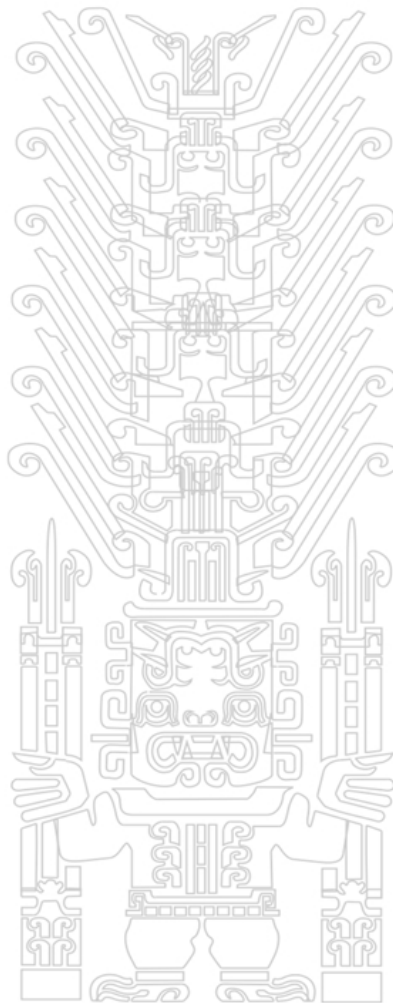
	Pág.
RESUMEN	xi
ABSTRACT	xii
INTRODUCCION	01
CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	03
1.1 ANTECEDENTES	03
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	06
1.3 OBJETIVOS	06
1.4 JUSTIFICACIÓN	06
1.5 ALCANCES Y LIMITACIONES	07
1.6 DEFINICIÓN DE VARIABLES	08
1.7 ANTECEDENTES BIBLIOGRÁFICOS	09
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO	12
2.1. TECNOLOGÍA DE LA DESALACIÓN	12
2.1.1. Procesos térmicos	13
2.1.1.1. Destilación múltiple efecto	13
2.1.1.2. Desalinización por Congelación	14
2.1.1.3. Desalinización por destilación con membrana	15
2.1.2. Procesos por membranas con gradiente de presión	16
2.1.2.1. Osmosis inversa	16
2.1.3. Procesos de electro membrana con gradiente de potencial eléctrico	17
2.1.3.1. Electrodialisis estándar	17
2.1.3.2. Electrodialisis con membranas bipolar	18
2.2. TRATAMIENTO DE CONCENTRADO PROVENIENTES DE PROCESOS DE DESALINIZACIÓN	19
2.2.1. Nano filtración	21
2.2.2. Resinas de intercambio iónico	22
2.2.3. Precipitación química	22
2.3. ALTERNATIVAS DE APROVECHAMIENTO DE SALMUERA	24
2.3.1. Producción de cloro soda mediante celdas de membrana	24

2.3.2.	Producción de ácido base mediante electrodiálisis bipolar	25
2.3.3.	Producción de sales mediante electrodiálisis metátesis (EDM)	26
2.4.	MEMBRANAS DE INTERCAMBIO IÓNICO	26
2.4.1.	Membrana de intercambio catiónico	26
2.4.2.	Membrana de intercambio aniónica (MA)	27
2.4.3.	Membranas Bipolares (MB)	28
2.4.4.	Propiedades de Membranas de intercambio iónico	29
2.5.	TRANSPORTE DE MASA	30
2.6.	POLARIZACIÓN POR CONCENTRACIÓN Y DENSIDAD DE CORRIENTE LÍMITE	31
2.6.1.	Polarización por concentración	31
2.6.2.	Corriente limite	31
2.6.3.	Determinación de densidad de corriente limite	32
2.7.	PRODUCCIÓN DE ÁCIDO BASE MEDIANTE MEMBRANA BIPOLAR	34
2.7.1.	Principio de electrodiálisis con membrana bipolar	34
2.7.2.	Configuración de electrodiálisis bipolar	34
2.7.2.1.	Electrodiálisis con membrana bipolar a dos compartimientos	35
2.7.2.2.	Electrodiálisis con membrana bipolar a dos compartimientos	36
2.7.2.3.	Electrodiálisis con membrana bipolar con tres compartimientos	37
2.8.	INDICADORES DEL PROCESO DE ELECTRODIÁLISIS BIPOLAR	38
2.8.1.	Porcentaje de separación de cloruro de sodio	38
2.8.2.	Concentración de ácido base	38
2.8.3.	Eficiencia de corriente	38
2.8.4.	Consumo de Energía	39
2.8.5.	Relación entre Concentración(STD) y Conductividad(C)	39
2.9.	FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS	40
2.9.1.	Hipótesis general	40
2.9.2.	Hipótesis específicas	40
CAPITULO III: MÉTODOS		41
3.1.	TIPO DE INVESTIGACIÓN	41
3.2.	DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	41
3.2.1.	Reactivos	41
3.2.2.	Equipo	42

3.2.3.	Membranas	42
3.2.4.	Configuración de la celda de electrodiálisis con membrana bipolar	43
3.2.5.	Descripción de la celda	43
3.2.6.	Descripción del equipo experimental	45
3.3.	ESTRATEGIA DE PRUEBA DE HIPÓTESIS	47
3.4.	DISEÑO EXPERIMENTAL	47
3.5.	MUESTRA	48
3.6.	TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS PROCESAMIENTOS Y ANÁLISIS DE DATOS	49
3.6.1.	Técnica	49
3.6.2.	Instrumentos	49
	CAPITULO IV: PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	50
4.1.	Tabla de resultados de conductividad, Ph y concentración normal del ácido y la base	50
4.2.	Graficas de conductividad y Ph en función del tiempo	50
4.3.	Grafica de Concentración normal del ácido y base en función del tiempo	
4.4.	Tabla de resultados experimentales del diseño ortogonal (taguchi)	
	CAPITULO V: DISCUSIÓN DE RESULTADOS	73
5.1.	DISCUSIÓN	73
5.1.1.	Efecto de parámetros de operación del proceso	74
5.1.2.	Efecto de concentración inicial de ácido y base	74
5.1.3.	Efecto de voltaje	75
5.1.4.	Efecto de flujo de alimentación	76
5.1.5.	Efecto de la concentración de alimentación de la sal.	77
5.2.	CONCLUSIONES	78
5.3.	RECOMENDACIONES	80
5.4.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	81

Anexos

Anexo A. Matriz de consistencia	86
Anexo B. Ficha técnica de los instrumentos utilizados	87
Anexo C . Definición de términos	87



INDICE DE TABLA

	Descripción	Pág.
N° 1.1	Indicadores para las Variables Elegidas.	09
N° 2.1	Clasificación de los procesos de desalación	13
N° 2.2	Configuración de membranas en celdas de electrodiálisis bipolar	34
N° 3.1	Características de las membranas de intercambio iónico.	42
N°3.2	Variables Independientes y niveles de experimentación	47
N°3.3	Matriz de diseño Experimental Taguchi L_9 (3^4)	48
N°3.4	Concentración de salmuera	49
N° 4.1	Conductividad,pH,Concentración de ácido y base vs Tiempo : NaCl 5 g/L,400 mL/min, 5V y HCl , NaOH 0,0N	50
N°4.2	Conductividad,pH, Concentración de acido y base vs Tiempo: NaCl 5 g/L , 600 mL/min , 10 V y HCl , NaOH 0,025	53
N° 4.3	Conductividad,pH,Concentración de acido y base vs Tiempo: NaCl 5 g/L ,800 mL/min , 15 V y HCl , NaOH 0,05	55
N° 4.4	Conductividad, Ph, Concentración de HCl y NaOH vs Tiempo a las condiciones de operación. NaCl 20 g/L , flujo 400 mL/min , voltaje 10 V y concentración inicial de HCl , NaOH 0,05	57
N°4.5	Conductividad, Ph, Concentración de HCl y NaOH vs Tiempo a las condiciones de operación. NaCl 20 g/L , flujo 600 mL/min , voltaje 15 V y concentración inicial de HCl , NaOH 0,0	60
N°4.6	Conductividad, Ph, Concentración de HCl y NaOH vs Tiempo a las condiciones de operación. NaCl 20 g/L , flujo 800 mL/min , voltaje 5 V y concentración inicial de HCl , NaOH 0,025	62
N°4.7	Conductividad, Ph, Concentración de HCl y NaOH vs Tiempo a las condiciones de operación. NaCl 50 g/L , flujo 400 mL/min , voltaje 15 V y concentración inicial de HCl , NaOH 0,025	64
N°4.8	Conductividad, Ph, Concentración de HCl y NaOH vs Tiempo a las condiciones de operación. NaCl 50 g/L , flujo 600 mL/min , voltaje 5 V y concentración inicial de HCl , NaOH 0,05	66
N°4.9	Conductividad, Ph, Concentración de HCl y NaOH vs Tiempo a las condiciones de operación. NaCl 50 g/L , flujo 800 mL/min , voltaje 10 V y concentración inicial de HCl , NaOH 0,0	68
N° 4.10	Resultados experimentales del diseño ortogonal (taguchi)	70
N° 4.11	Tabla de respuesta para medias	71

TABLA DE FIGURAS

	Descripción	Pág.
N° 2.1	Esquema general del proceso de desalinización	12
N° 2.2	Destilación de múltiple efecto	14
N° 2.3	Proceso de congelación	15
N° 2.4	Esquema de destilación con membranas	16
N° 2.5	Esquema de un sistema de desalinización por osmosis inversa	17
N° 2.6	Principio de Electrodialisis	18
N° 2.7	Principio de Electrodialisis bipolar	19
N° 2.8	Esquema de un proceso de Nano filtración	21
N° 2.9	Principio de desalinización por resinas de intercambio iónico	22
N° 2.10	Sistema de pretratamiento químico de la salmuera	23
N° 2.11	Diagrama de bloques de la producción de cloro soda	24
N° 2.12	Diagrama de bloques del proceso de electrodialisis bipolar	25
N° 2.13	Diagrama de bloques del proceso de electrodialisis bipolar	26
N° 2.14	Diagrama de membrana de intercambio catiónico y anionica	27
N° 2.15.	Principio de membrana bipolar	28
N° 2.16	Esquema de una curva de polarización experimental.	32
N° 2.17	Principio de membrana bipolar con dos compartimientos	35
N° 2.18	Principio de membrana bipolar con dos compartimientos	36
N° 2.19	Principio de membrana bipolar con tres compartimientos	37
N° 3.1	Configuración de las membranas	43
N° 3.2	Diagrama de la celda electrodialisis bipolar	44
N° 3.3	Diagrama del equipo Experimental	45
N° 3.4	Fotografía del Equipo experimental	46
N° 5.1	Concentración Normal del ácido Vs voltaje	74
N° 5.2	Concentración Normal del ácido Vs voltaje	75
N° 5.3	Concentración Normal del ácido Vs voltaje	76
N° 5.4	Concentración Normal del ácido Vs voltaje	77
N° 5.6	Concentración Normal del ácido Vs voltaje	78
N° 5.7	Concentración Normal del ácido Vs voltaje	80

INDICE DE GRAFICOS

	Descripción	Pág.
Nº4.1	Conductividad del ácido y base – Tiempo	51
Nº 4.2	Variación de pH del ácido y base – Tiempo	51
Nº 4.3	Concentración del ácido y base – Tiempo	52
Nº4.4.	Conductividad del ácido y base – Tiempo	53
Nº 4.5	pH del ácido y base – Tiempo	54
Nº 4.6	Concentración del ácido y base – Tiempo	54
Nº4.7	Conductividad del ácido y base – tiempo	55
Nº 4.8	pH del ácido y base – Tiempo	56
Nº 4.9	Concentración del ácido y base – Tiempo	56
Nº 4.10	Conductividad del ácido y base – tiempo	58
Nº 4.11	Concentración del ácido y base – Tiempo y pH	58
Nº 4.12	Conductividad del ácido y base – Tiempo	60
Nº 4.13	pH del ácido y base – Tiempo	61
Nº 4.14	Concentración del ácido y base – Tiempo	61
Nº 4.15	Conductividad del ácido y base – Tiempo	62
Nº4.16	pH del ácido y base – Tiempo	63
Nº 4.17	Concentración del ácido y base – Tiempo	63
Nº4.18	Conductividad del ácido y base – Tiempo	64
Nº 4.19	pH del ácido y base – Tiempo	65
Nº4.20	Concentración del ácido y base – Tiempo	65
Nº4.21	Conductividad del ácido y base – Tiempo	66
Nº 4.22	pH del ácido y base – Tiempo	67
Nº 4.23	Concentración del ácido y base – Tiempo	67
Nº4.24	Evolución de la Conductividad del ácido y base – tiempo	68
Nº 4.25	pH del ácido y base – Tiempo	69
Nº 4.26	Concentración del ácido y base –Tiempo	69
Nº 4.27	Grafica de efectos principales	71

RESUMEN

La presente investigación se enfoca en la influencia de parámetros operacionales en la concentración de ácido y base que es producido a partir de salmuera vía electrodiálisis bipolar, el estudio tiene el objetivo de aprovechar la salmuera procedente de desalinización para la producción de ácido y base a partir de sus sales correspondientes, mediante una tecnología amigable con el medio ambiente. La electrodiálisis bipolar es un proceso que utiliza una combinación de membranas intercambiadoras catiónicas, aniónicas y membranas bipolares y un campo eléctrico para desionizar el agua y producir NaOH y HCl a partir de NaCl.

En esta tesis se ha construido un módulo de electrodiálisis a nivel piloto cuya configuración de la celda es (B +A +C + B), se ha evaluado los parámetros operacionales del equipo, utilizando soluciones modelo de cloruro de sodio , mediante un diseño experimental de Taguchi , se ha demostrado que la concentración normal del ácido y base aumenta fuertemente con la concentración de la sal, voltaje y concentración inicial del ácido y base.

Los resultados muestran, cuando el voltaje es 15V, flujo de 400mL / min, concentración inicial del ácido base de 0,05N y concentración de salmuera de 50g/L de NaCl en 240 min. se alcanza la contracción del ácido de 0,16N y 0,132 N de la base y eficiencias de corriente de 90% . Se determinó un modelo matemático de la concentración del acido $y = 6x10^{-4}t + 206x10^{-4}$ y base $y = 5x10^{-4}t + 174x10^{-4}$ en función del tiempo, si efectuamos una extrapolación al cabo de 30h de operación del módulo se obtendrá una concentración de 1,1 N de ácido 0,9174N de la base.

ABSTRACT

The present study focuses on the influence of operational parameters on the concentration of acid and base that is produced from brine via bipolar electro dialysis, the study aims to take advantage of brine from desalination for the production of acid and base from its corresponding salts, by means of technology friendly to the environment.

Bipolar electro dialysis (EDMB) is a process that uses a combination of cationic, anionic and bipolar membrane interchange membranes and an electric field to deionize water and produce NaOH and HCl from NaCl.

In this thesis an electro dialysis module was constructed whose cell configuration is (B + A + C + B) and the operational parameters of the equipment were evaluated, using sodium chloride model solutions, using an experimental design by Taguchi, It has been shown that the normal concentration of the acid and base increases strongly with the concentration of the salt, voltage and initial concentration of the acid and base.

The results show, when the voltage is 15V, flow of 400mL / min, initial concentration of the base acid of 0,05N and concentration of brine of 50g / L of NaCl in 240 min. The acid contraction of 0.16 N and 0.132 N of the base is achieved and current efficiencies of 90%. A mathematical model of the concentration of the acid $y = 6x10^{-4}t + 206x10^{-4}$ y base $y = 5x10^{-4}t + 174x10^{-4}$ as a function of time, if we extrapolate after 30 hours of module operation, a concentration of 1.1 N of 0.9174N acid will be obtained from the base.

KEYWORDS: Bipolar electro dialysis, desalination, brine

INTRODUCCION

El desarrollo de procesos de desalinización de agua salobre es un tema cada vez más frecuente en las industrias de la ciudad de Lima, debido a que existe un gran número de estas, que utilizan en sus procesos aguas cuya fuente es pozo profundo.

Por su naturaleza los pozos de esta ciudad presentan salobridad fluctuando los valores dependiendo de los distritos y de la capa freática.

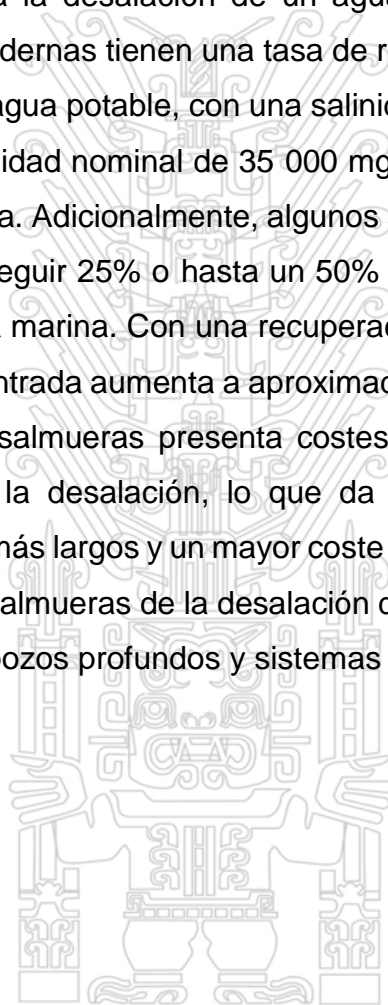
Existen básicamente tres tipos de procesos de desalinización: destilación, electrodiálisis y osmosis inversa. Las dos últimas técnicas son similares por el hecho de que ambas usan membranas que permiten el paso de moléculas de agua pero excluyen las sales y otros contaminantes, las cuales son descargadas como residuo concentrado o salmuera, mientras que la primera emplea la energía para evaporar el agua y condensarla originando generalmente un coste de energía significativamente mayor a los dos siguientes procesos.

En nuestro país en los últimos 10 años el empleo de la tecnología de osmosis inversa ha crecido en un ritmo constante debido a los múltiples campos al que se la aplica.

A medida que crecen las poblaciones, aumenta la demanda sobre los suministros de agua dulce del mundo. Para 2025, aproximadamente 2,7 billones de personas, casi un tercio de la población estimada, vivirán en regiones enfrentadas a grave escasez de agua. Muchas regiones prósperas y en rápido crecimiento, tienen suministros de agua dulce inadecuados. Pero otros factores tales como un clima agradable y recursos minerales, crecimiento del trabajo y aumento de los ingresos provocan el crecimiento de la población no obstante. Deben satisfacerse las necesidades de agua de los municipios, la industria y los ciudadanos, incluso aunque la dificultad y coste de desarrollar nuevas fuentes de agua aumente.

La desalación se ha convertido en la opción más popular en regiones donde hay abundante agua que es inadecuada para su uso debido a su alta

salinidad y hay oportunidades para plantas de desalación que utilizan energía térmica, Eléctrica o mecánica para separar el agua de las sales. La elección del procedimiento de desalación depende de muchos factores incluyendo los niveles de salinidad en el agua bruta, las cantidades de agua necesarias y la forma De energía disponible. La ósmosis inversa (OI) generalmente se acepta como el procedimiento más económico y eficaz energéticamente para la desalación de un agua altamente salina. Las membranas de OI modernas tienen una tasa de rechazo de sal tal que son capaces de producir agua potable, con una salinidad de 500 mg/L , a partir de agua marina (salinidad nominal de 35 000 mg/L en una sola pasada a través de la membrana. Adicionalmente, algunos sistemas de OI modernos son capaces de conseguir 25% o hasta un 50% de recuperación de agua dulce a partir de agua marina. Con una recuperación del 50%.La salinidad de la salmuera concentrada aumenta a aproximadamente 70 000, mg/L La evacuación de tales salmueras presenta costes significativos y desafíos para la industria de la desalación, lo que da como resultado tiempos de puesta en marcha más largos y un mayor coste del agua. Hay tres formas básicas de tratar las salmueras de la desalación de agua marina: descarga al mar, inyección en pozos profundos y sistemas de descarga líquida cero.



CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 SELECCIÓN DEL PROBLEMA

1.1.1. Antecedentes de las plantas desalinizadoras en el Perú

- En abril del 2007 la minera Milpo puso en marcha una planta de desalinizadora en el yacimiento Cerro Lindo, en las alturas de Chincha, que usa en la extracción de minerales.
- En 2010 la empresa brasileña Vale inauguró una planta desalinizadora, para su mina de fosfatos en Bayóvar, Piura.
- El proyecto Provisur sera la primera experiencia de desalación de agua de mar como fuente de abastecimiento en el Perú, a 4 distritos del sur de Lima, *punta hermosa, punta negra, san Bartolo y santa maría. Por la empresa concesionaria desoladora del sur s.a. que está programado inicio de operaciones marzo del 2018.*
- *En el mes de diciembre 2014 la central Térmica de Fénix Power inaugura sus operaciones en el distrito de chilca, convirtiendo agua de mar en agua potable, entregando 2000m³ de agua potable diaria gratuitamente a la municipalidad distrital de chilca.*

1.1.2. Legislación ambiental

Con fecha 3 de febrero de 2014 Aprueban los límites máximos Permisibles para efluentes de plantas desalinizadoras Resolución Ministerial N°031-2014 MINAN

Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos Ley N° 29338 Ministerio de agricultura Artículo 170° Vertimiento de salmueras y cumplimiento de normas de calidad de aguas

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La desalinización se ha planteado como una solución a los problemas de escasez de agua que se están viviendo en estas últimas décadas. El principal inconveniente en la aplicación de esta tecnología es la producción de un rechazo fuertemente salino, llamado salmuera. Actualmente, las salmueras de estos procesos son vertidas al mar, debiéndose descargar a través de mecanismos que permitan su rápida dispersión para evitar posibles daños en el ecosistema marino (la salinidad de estas salmueras suele ser de 60 g/L aproximadamente.)

La desalación por ósmosis inversa (OI) es el método más empleado, debido a su menor consumo de energía y espacio (Morton 1996; Valero , 2001; Purnama , 2003). Durante el funcionamiento de una planta desaladora por OI se produce un importante volumen de agua de rechazo, producto secundario compuesto por una salmuera de elevada salinidad y por otros aditivos que se emplean en el proceso de desalación . En las desaladoras próximas al litoral este agua de rechazo es vertida principalmente al medio marino, donde debido a su mayor densidad forma una capa hipersalina que se dispersa sobre el fondo, pudiendo afectar a los organismos allí presentes. La magnitud de este impacto dependerá de las características de la planta desaladora.

La electrodiálisis es un proceso de separación electroquímico basado en el transporte de iones, a través de membranas selectivas bajo la influencia de un potencial eléctrico. En una celda de electrodiálisis bipolar, membranas de intercambio de cationes, membranas bipolares y aniones, son colocados alternativamente entre el cátodo y ánodo. Cuando una diferencia de potencial es aplicada en ambos electrodos, los cationes se mueven hacia el cátodo y los aniones hacia el ánodo. Los cationes migran a través de las membranas de intercambio de cationes y son retenidos por las membranas de intercambio de aniones. De otro lado, los

aniones migran a través de las membranas de intercambio de aniones, son retenidos por las membranas de intercambio catiónico. Este movimiento produce una elevación de la concentración de iones en un compartimiento (concentrado) y la disminución en los adyacentes compartimiento (diluido). En esta investigación se ha construido un equipo de electrodiálisis con membrana bipolar a escala piloto .Se utilizaron soluciones sintéticas semejantes a agua salobre y salmuera provenientes de plantas de desalinización.

Para optimizar los valores de los parámetros de operacionales como el potencial eléctrico, flujo, concentración de alimentación y concentración inicial de alimentación de ácido y base se ha utilizado un diseño de experimentos a tres niveles



1.2. FORMULACION DEL PROBLEMA

1.2.1. Problema general

¿En qué medida influyen los parámetros de operación sobre la concentración del ácido y base producido a partir residuos salinos procedente de osmosis inversa vía electrodiálisis con membrana bipolar?

1.2.2. Problemas específicos

1. ¿Cuáles serán los parámetros de operación más importantes del módulo de electrodiálisis con membrana bipolar?
2. ¿Cuál será la concentración inicial de cloruro de sodio en la salmuera provenientes de osmosis inversa para la producción de ácido base?
- 2.. ¿Cuál será la concentración de ácido y base al finalizar el proceso?

1.3. FORMULACION DE OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo General

Evaluar los parámetros operacionales que influyen sobre la concentración de ácido y base producido a partir de a partir de salmuera procedente de osmosis inversa vía electrodiálisis con membrana bipolar

1.3.2. Objetivos Específicos

1. Identificar los parámetros y niveles de operación del módulo de electrodiálisis con membrana bipolar.
2. Seleccionar la concentración de cloruro de sodio inicial semejante a la salmuera proveniente de osmosis inversa.
3. Analizar la concentración de ácido y base obtenido, al finalizar el proceso de electrodiálisis con membrana bipolar

1.4. JUSTIFICACION E IMPORTANCIA

El estudio sobre salmuera residuales no sería importante, si no fueran fuente de aprovechamiento para obtener sales como cloruro de sodio(

NaCl), KCl ,CaCl₂ , Na₂SO₄ etc y a partir de cloruro de sodio se obtendrían cloro, hidróxido de sodio, hidrogeno e hipoclorito de sodio, y si la

composición de las salmueras residuales no fuera toxica para las especies marinas con quienes se ponga en contacto.

La desalación de aguas salobres usando la ósmosis reversa (RO) está a menudo limitado por las opciones disponibles para la disposición del concentrado.

La reutilización beneficiosa del concentrado representa una alternativa sostenible a opciones más tradicionales de la disposición y del tratamiento del concentrado porque el concentrado se convierte en un recurso algo que un agente contaminador, como la producción de bases y ácidos.

Se justifica el presente trabajo de investigación, toda vez que se trata de diseñar, construir y evaluar los parámetros de operación de un equipo de tecnología limpia que nos permita tratar y recuperar sustancias químicas a partir de aguas residuales de plantas de desalinización, textiles, curtiembres y otras industriales.

La tecnología de electrodiálisis con membrana bipolares se presenta como gran alternativa en la formación de sustancias químicas (ácido y base) a través de aguas residuales.

Al determinar experimentalmente los parámetros de operación para la producción de ácido – base se contribuirá a tomar criterios tecnológicos a considerar en el diseño del equipo a nivel de planta piloto.

1.5. ALCANCES Y LIMITACIONES

1.5.1. Alcances

La investigación experimental tiene como alcance identificar la influencia de parámetros operacionales en la concentración de ácido y base producido a partir de solución de salmuera preparada en forma sintética vía electrodiálisis bipolar.

Los aspectos puntuales respecto a los parámetros son voltaje aplicado a la celda, flujo de los compartimentos del ácido y base, concentración de salmuera y

concentración inicial del ácido y base con respecto a la concentración del ácido y base, conductividad, pH , eficiencia de corriente eléctrica y porcentaje de separación de salmuera .Además presentar un modelo matemático que relaciones los parámetros de operación y la concentración del ácido producido

1.5.2 Limitaciones

En el desarrollo de las pruebas experimentales se presentaron cierta limitación en la medición de flujo volumétrico de los compartimientos del equipo experimental, para una mayor precisión de lectura de flujo se requiere de instrumentos automatizados, esto hace que las mediciones efectuadas fueron aproximadas.

1.6. DEFINICION DE VARIABLES

Los factores o variables en estudio son los siguientes:

1.6.1. Variables Independientes (X)

1. Concentración de alimentación de cloruro de sodio (X_1)
2. Potencial eléctrico (X_2)
3. Flujo volumétrico (X_3)
4. Concentración inicial del ácido y base (X_4).

1.6.2. Variables Dependientes (Y)

Concentración normal del ácido y base

1.6.3. Indicadores

Y= Valores de la concentración de ácido y base

X= parámetros de operación del módulo de electrodiálisis bipolar

Tabla 1.1:

Indicadores para las Variables

N°	Variables Independientes	Notación	Nivel bajo	Nivel medio	Nivel alto
1	Concentración de cloruro de sodio(g/L)	X_1	5	20	50
2	Flujo (mL/min.)	X_2	400	600	800
3	Voltaje(V)	X_3	5	10	15
4	Concentración inicial de NaOH y HCl	X_4	0	0,025	0,050

1.7. ANTECEDENTES BIBLIOGRÁFICOS DE LA INVESTIGACIÓN

1. **FUMA – TECH** Es una de las principales productoras de membranas de intercambio iónico. .Haciendo uso de membranas de fabricación FUMA- TECH se ha desarrollado trabajos de investigación como.

- A new model for characterization of bipolar membrane electrodialysis of brine cuyos autores Stanisław Kotera, Andrzej Warszawskib en el año 2006
- Utilization of electrodialysis for galacturonic acid recovery, cuyos autores Eszter Moln, Matild Eszterle, Kornelia Kiss y Nandor Nemestothy en el año 2009
- Removal of total dissolved solid with simultaneous recdoverly of acid and alkali using bipolar membrane electrodialysis application

2. Samer Adham, Joan Oppenheimer, Manish Kumar MWH Larry Webb City of Rio Rancho cuyo titulo Innovative Approaches to RO Concentrate Management: Beneficial Reuse and Concentrate Minimization

La desalación de aguas salobres usando la ósmosis reversa (RO) está a menudo limitado por las opciones disponibles para la disposición del concentrado, particularmente en áreas interiores. La desecación del concentrado es acercamiento alternativo a la disposición pero las tecnologías disponibles la termal y de la membrana todavía se cuestan prohibitivo para la mayoría de los usos. La reutilización beneficiosa del concentrado del RO representa una alternativa sostenible a opciones más tradicionales de la disposición y del tratamiento del concentrado porque el concentrado se convierte en un recurso algo que un agente contaminador. Este papel presenta resultados de una serie de pruebas innovadoras que utilizan el intercambio de iones (ix), la electrodiálisis bipolar de la membrana (BMED) y las tecnologías de Electrochlorination (EC) para recuperar productos útiles del RO concentran que se puede utilizar en la facilidad del tratamiento. Dos de estas tecnologías incluyendo el BMED y la EC están actualmente en el proceso de la patente para esto y otros usos. Los experimentos fueron conducidos en el concentrado del RO obtenido de un sistema integrado pilot-scale de la membrana (IMS) que trataba las aguas residuales. BMED fue utilizado para generar los ácidos mezclados y las bases del RO concentran la solución después del tratamiento previo conveniente. Concentraciones razonablemente altas de los ácidos y de las bases (0.2 - 0.5 M) fueron producidos y demostrados para ser dependientes en la concentración y el volumen de la solución de sal usada. Trabajo

3. Chuanhui Huang, Tongwen Xu*, Yaping Zhang, Yanhong Xue, Guangwen Chen Laboratory of Functional Membranes, School of Chemistry and Material Science, University of Science and Technology of China.

Production of organic acids by bipolar electro dialysis :realizations and perspectives Actualmente, la producción de ácidos orgánicos continúa aumentando perceptiblemente para los usos tradicionales (añadidos para el alimento y las industrias farmacéuticas) así como para los nuevos (industria de plásticos biodegradable). Esto da lugar a una demanda creciente para las soluciones del proceso alternativo tales como electrodiálisis con las membranas bipolares (EDBM). Éstos deben ser simultáneamente económicamente atractivos y tener un impacto bajo en el ambiente. En este contexto, este artículo detalla el funcionamiento y las figuras económicas relacionadas con una planta industrial de EDBM funcionada para la producción de ácidos orgánicos. Además, (de la fermentación) un proceso rio abajo completo basado en electrodiálisis combinada camina para la purificación/la concentración y la conversión se propone en el caso del ácido láctico.



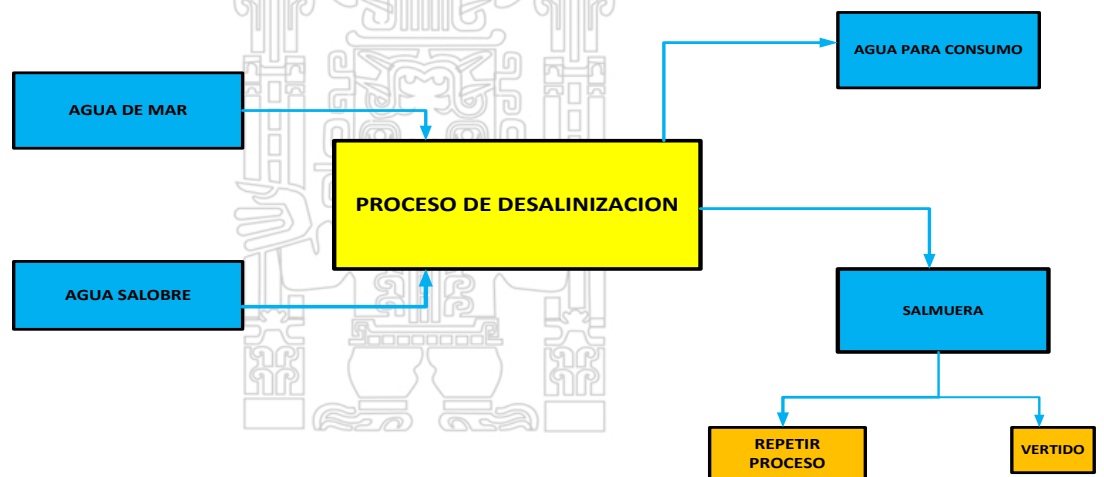
CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1. TECNOLOGÍA DE LA DESALACIÓN

La desalación es el proceso por medio del cual se separan las sales disueltas en el agua de mar o aguas salobres, a fin de obtener agua dulce apta para el consumo de los seres vivos, agrícolas y procesos industriales. La desalinización de agua ha surgido como respuesta a los problemas de abastecimiento de agua que afecta actualmente al mundo. La desalación representa en la actualidad la alternativa, en algunos casos única, para el suministro esencial de agua en determinadas zonas del planeta. Es necesario desalar el agua porque el ser humano no puede consumir agua que tenga más de 0,5 gramos por litro de sales disueltas. En la figura N°2.1 se muestra un esquema general del proceso de desalación.

Figura N° 2.1: Esquema general del proceso de desalinización



Fuente : Elaboracion propia

Los procesos de desalinización a escala industrial se muestra en la tabla N° 2.1

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

UNFV

Tabla Nº 2.1: Clasificación de los procesos de desalación

Procesos Térmicos	Evaporación	Destilación Multi efecto (MED)
	Cristalización	Congelación
	Filtración y evaporación	Destilación con membranas
Procesos Mecánicos	Filtración	Osmosis inversa
Procesos eléctricos	Filtración Selectiva	Electrodialisis

Fuente : Elaboracion propia

2.1.1 Procesos Térmicos

Dentro de este grupo de mecanismos de desalinización diferenciamos, los que en el proceso el agua cambia su estado (vaporación) y los que el agua cambia de estado a fase sólida (cristalización).

2.1.1.1 Destilación múltiple Efecto

El agua salina pasa a través de una serie de evaporadores, el vapor que se utiliza en una celda se utiliza para calentar y evaporar el agua de la siguiente celda. Una planta MED (Destilación Multi Efecto) tiene varias etapas conectadas a diferentes presiones de operación, dichos efectos sucesivos tienen cada vez un punto de ebullición más bajo por el efectos de dicha presión. Esto permite que el agua de alimentación experimente

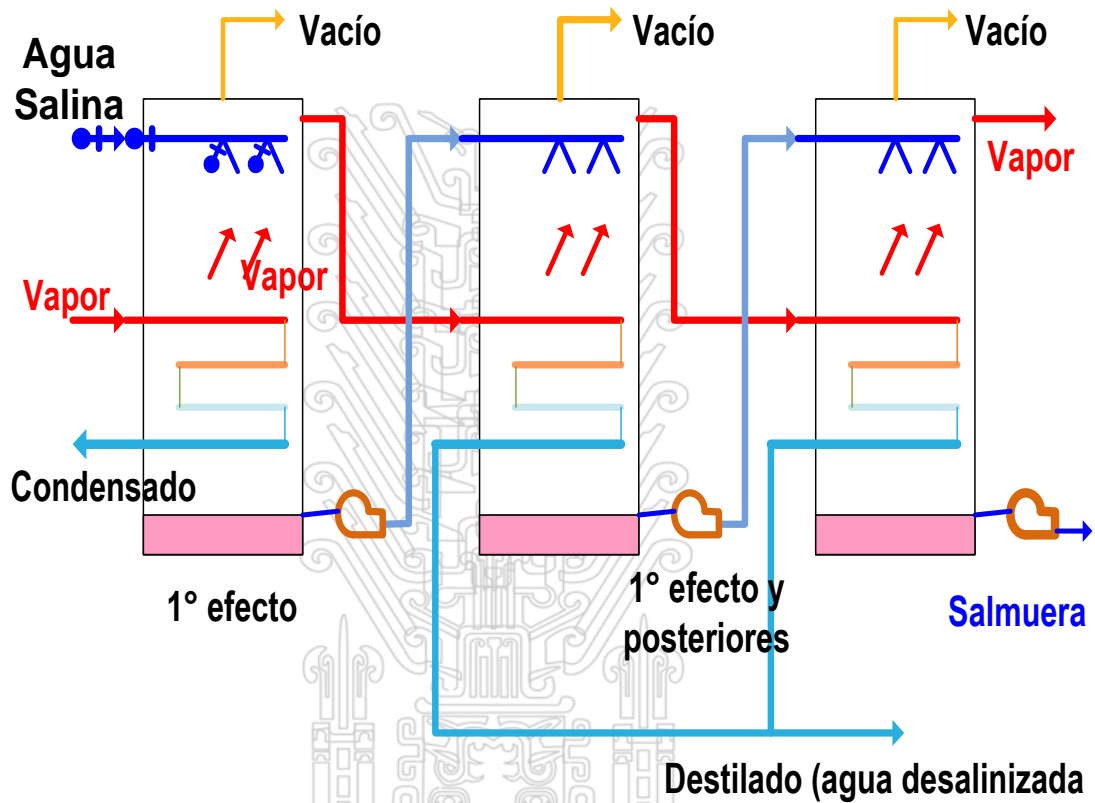
múltiples ebulliciones; en los sucesivos efectos, sin necesidad de recurrir a

Tesis publicada por el autor en el portal de la UNFV
No olvide citar esta tesis

UNFV

calor adicional a partir del primer efecto. El agua salada se transfiere luego al efecto siguiente para sufrir una evaporación y el ciclo se repite, utilizando el vapor generado en cada efecto como se muestra en la Figura N° 2.2

Figura N° 2.2: Destilación de Múltiple Efecto



Fuente : Elaboracion propia

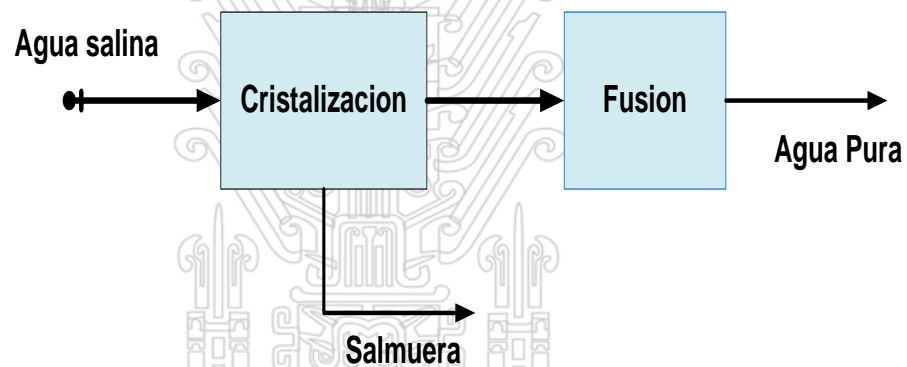
2.1.1.2 Desalinización por Congelación

El proceso de congelación consiste en enfriar una disolución salina hasta su punto de fusión, los cristales de hielo (libres de sales) obtenidos son separados de la solución concentrada en sales mediante un lavado y posteriormente son fundidos para así obtener agua dulce. La principal ventaja de la congelación, comparada con la destilación, es el bajo consumo de energía. El calor de

evaporación del agua es 40,79 kJ/mol, mientras que el calor de fusión es de sólo 6,01 kJ/mol.

La desalinización por congelación no es actualmente una tecnología madura, por lo que su uso se limita aún a plantas experimentales y de baja capacidad. Esta tecnología tiene la gran ventaja de las bajas temperaturas de operación en comparación de la desalinización térmica. La tecnología de congelación consta de dos fases principales, una primera fase donde ocurre la cristalización del hielo y una segunda fase donde ocurre la separación y fusión de los cristales de hielo. (Maheri Contreras Fernandez 2012) ver Fig. N°2.3

Figura N° 2.3: Proceso de Congelación

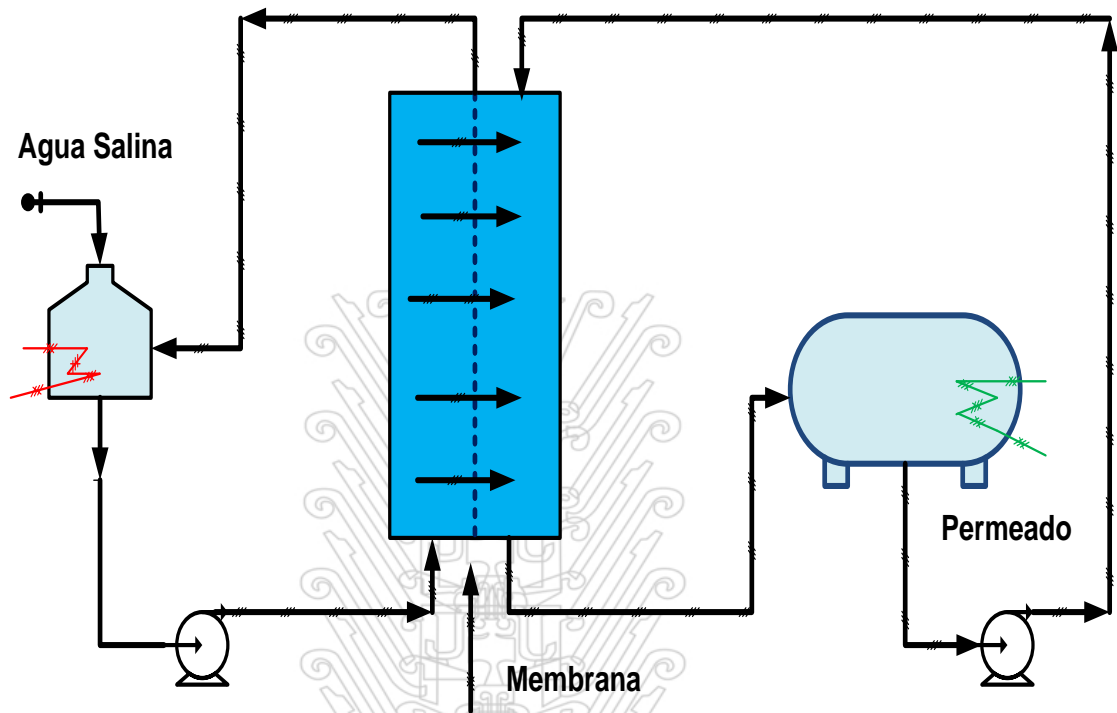


Fuente : Elaboracion propia

2.1.1.3 Desalinización por destilación con membrana

El proceso combina la destilación con la filtración a través de una membrana hidrófoba. Consiste en el calentamiento de agua salada con objeto de la formación de vapor de agua, este vapor a continuación es expuesto en la membrana la cual permite el paso de vapor de agua pero no del agua líquida. Una vez que el vapor ha atravesado la membrana, se condensa al entrar en contacto con una superficie más fría produciendo agua dulce. Ver Fig. N° 2.4

Figura N° 2.4: Esquema de Destilación con Membranas



Fuente : Elaboracion propia

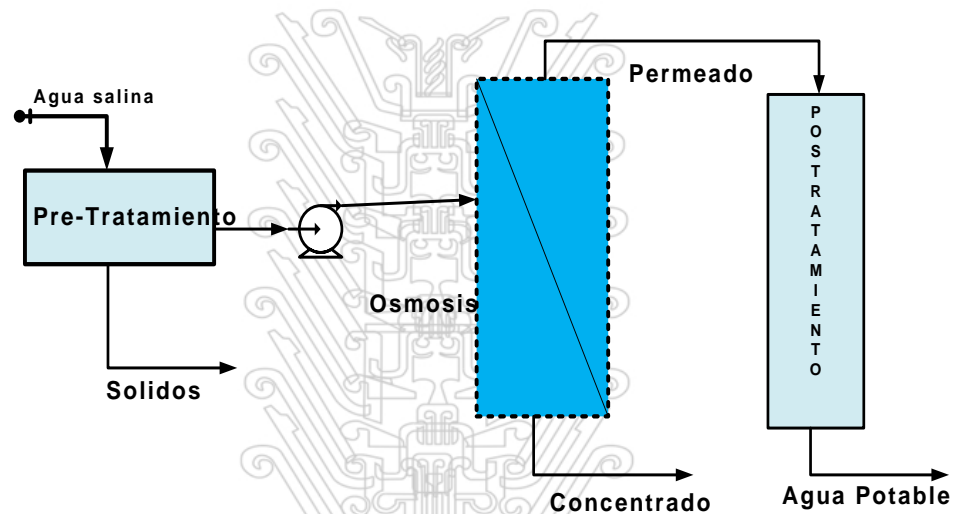
2.1.2 Procesos por membranas con gradiente de presión

2.1.2.1 ósmosis inversa

Proceso de filtrado bajo presión a través de membranas semipermeables, elimina impurezas, sólidos y bacterias, obteniendo agua pura. La fuerza impulsora de presión hidrostática es de 20-100 bar. El agua antes de realizar este proceso debe de pasar por un pretratamiento ya que la calidad de agua de entrada a las membranas influirá en la eficiencia del proceso y aumentar su vida útil de la membrana. En función de la calidad requerida del agua producto será necesario tratar el agua después del proceso de ósmosis inversa. Para el suministro de agua potable, se llevará a cabo la re mineralización, neutralización (ajuste de dureza, alcalinidad y pH) y finalmente su desinfección, en la Fig N° 2.5 se muestra un diagrama de bloques en

donde indica la etapa de pre tratamiento (Cloración, filtración etc.), osmosis inversa y pos tratamiento (Ph , concentración) .

Figura N° 2.5: Esquema de un Sistema de Desalinización por Osmosis Inversa



Fuente : Elaboracion propia

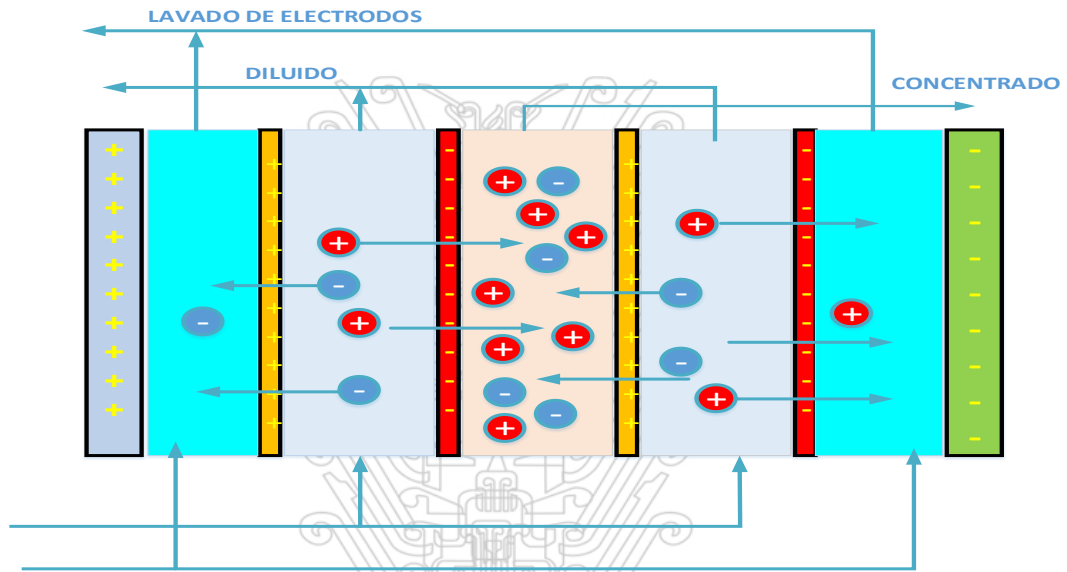
2.1.3 Procesos de electro membrana con gradiente de potencial eléctrico

2.1.3.1 Electrodialisis estándar

La electrodialisis es un proceso de separación electroquímico que consiste en el paso de iones a través de membranas de intercambio iónico, por el efecto de un potencial eléctrico. La celda de electrodialisis está constituida por una serie de membranas aniónicas y catiónicas, unas a continuación de otras separadas por espaciadores y con electrodos en cada extremo. Las membranas son permeables solo a los cationes o aniones según se trate de membrana catiónica o aniónica respectivamente; estas

obteniéndose de esta manera una corriente de agua desmineralizada (diluido) y otra de agua enriquecida con iones (concentrado), según se verifica en la Fig. N° 2.6

Figura N° 2.6: Principio de Electrodiálisis

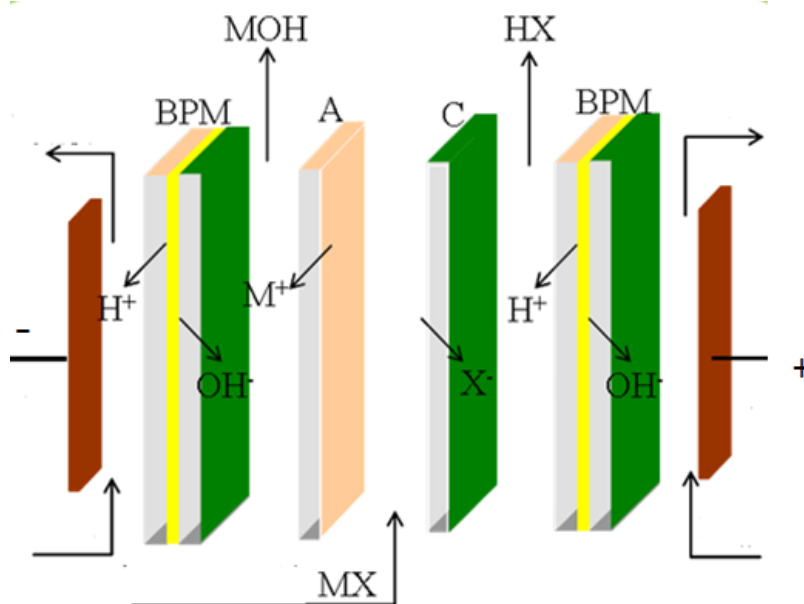


Fuente : Elaboracion propia

2.1.3.2 Electrodiálisis con membranas bipolar

Las membranas de intercambio iónico, se combina con las membranas bipolares para producir ácidos, bases de las sales correspondientes y una corriente de agua desalinizada. Las membranas del intercambio catiónico y aniónico están instaladas junto con las bipolares en forma alterna, entre dos electrodos..La unidad de repetición se compone de tres corrientes separadas del flujo, la corriente de alimentación que contiene una sal y dos corrientes de solución del producto que contienen un ácido y una base, respectivamente como se muestra en la figura N° 2.7

Figura N° 2.7: Principio de Electrodiálisis Bipolar

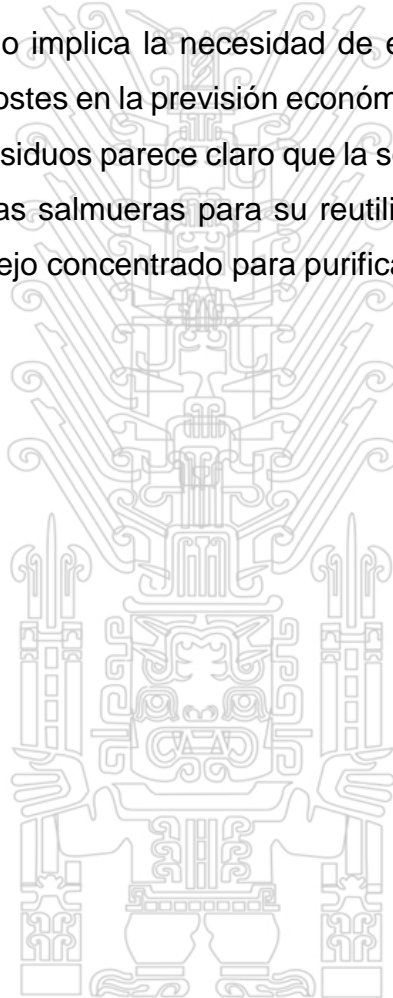


2.2 TRATAMIENTO DE CONCENTRADO PROVENIENTES DE PROCESOS DE DESALINIZACIÓN

Las salmueras que se producen en el proceso de osmosis inversa actualmente se desecha a través del emisario submarino aproximadamente a 60 m de profundidad y a unos 3 Km de distancia de la costa. El principal objetivo es conseguir que el residuo se mezcle con el afluente de la planta depuradora situada al lado de la desalinizadora y poder así disminuir el impacto con el medio ambiente marino. La concentración de sales en las salmueras es elevada y representa aproximadamente el doble que la concentración de sales en el agua del mar. (unos 35 g/L. Esto da la medida de la eficiencia productiva del proceso de desalación de agua de mar mediante ósmosis inversa. El volumen de salmuera que vierte al mar las plantas desaladora representa aproximadamente el 55 % del agua

captada, se requiere una buena gestión de este residuo, minimizando los efectos de su vertido al mar.

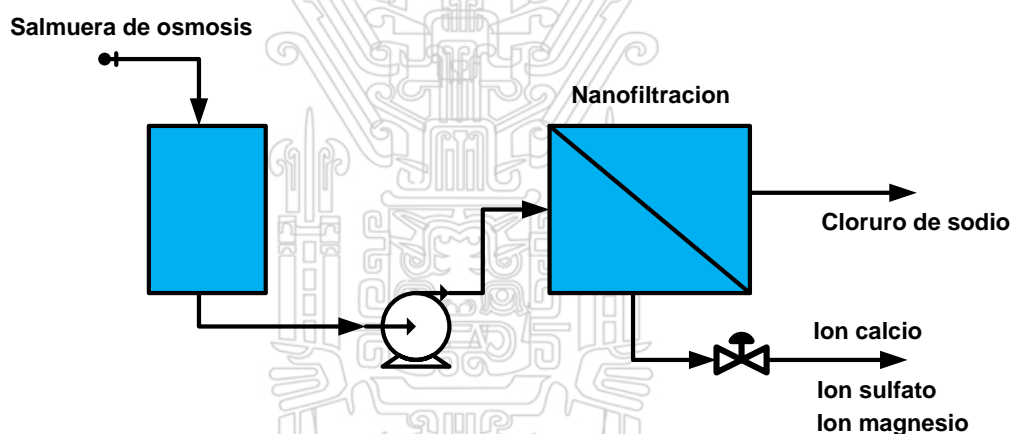
Si bien, hoy en día, en las plantas potabilizadoras, el vertido directo al mar de salmuera provenientes de plantas desalinizadoras es la práctica habitual en la eliminación de los residuos, resulta obvio que en un futuro, y con criterios de sostenibilidad del ecosistema litoral, esta práctica no debería continuar. Ello implica la necesidad de encontrar soluciones a la gestión e incluir sus costes en la previsión económica. Siguiendo la máxima de minimización de residuos parece claro que la solución debería pasar por una valorización de las salmueras para su reutilización en otros ámbitos. Las opciones de manejo concentrado para purificación del cloruro de sodio son:



2.2.1 Nano filtración

La nano filtración es el proceso mediante el cual se hace pasar la salmuera a través de una membrana de forma que se produce una separación basada en el tamaño de los iones (entre 0.001 y 0.01 mm). Se obtienen dos corrientes, el permeado, que ha pasado a través de la membrana (H_2O , $NaCl$) y al cual se le han retirado los componentes cuyo peso molecular es mayor que el tamaño de poro de la membrana, y el concentrado, que es la que corresponde al fluido que no ha atravesado la membrana y que concentra los componentes de la corriente de salmuera principalmente los iones sulfatos, el calcio y el magnesio .ver Figura N° 2.8

Figura N° 2.8: Esquema de Nano Filtración

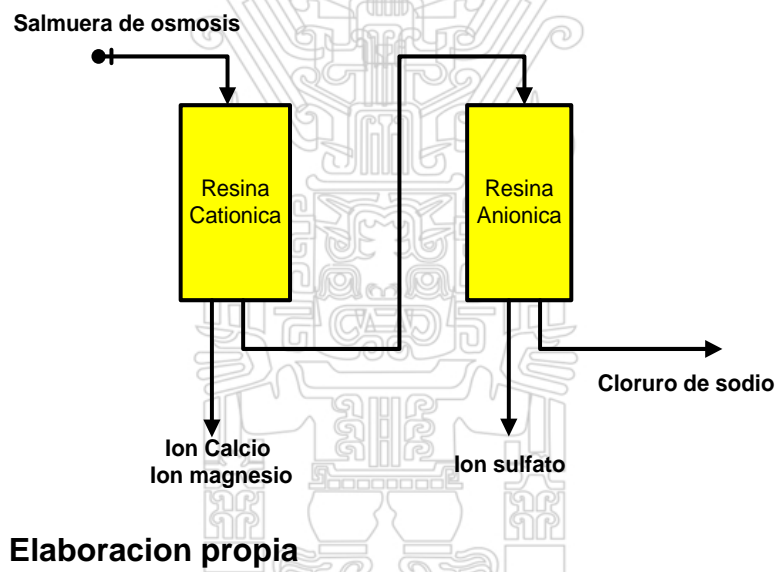


Fuente : Elaboracion propia

2.2.2 resinas de intercambio iónico

El intercambio iónico es un proceso físico-químico que, utilizando un soporte sólido denominado resina, reemplaza los iones presentes en una disolución por una cantidad equivalente de iones de la misma carga contenidos en la resina. Las resinas catiónicas, son las que tienen afinidad por los cationes (iones positivos, de calcio, magnesio) y las resinas aniónicas son las que tienen afinidad por los aniones (iones negativos tales como carbonato, sulfato, y oxhidrilo, etc.). Las resinas tienen una determinada capacidad de intercambio, superada esta ya no retiene más iones. En ese momento la resina está saturada debiendo proceder a su regeneración. Se introducen reactivos químicos, generalmente ácidos y bases. Ver Figura N° 2.9

Figura N° 2.9: Esquema de Desalinización por Resinas



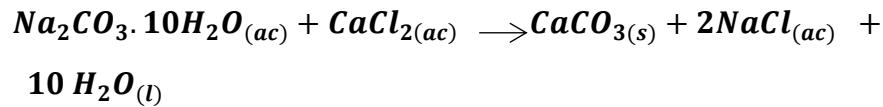
Fuente : Elaboracion propia

2.2.3 Precipitación química

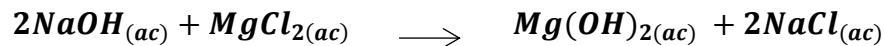
Los iones calcio se encuentran principalmente como CaCl_2 para precipitar se trata con una solución acuosa de carbonato de sodio (Na_2CO_3) [1] en condiciones de agitación controladas, lo que resulta en la formación de sales carbonatadas insolubles, a las que permite sedimentar. La reacción

Tesis publicada con autorización del autor
que ocurre es la siguiente.
No olvide citar esta tesis

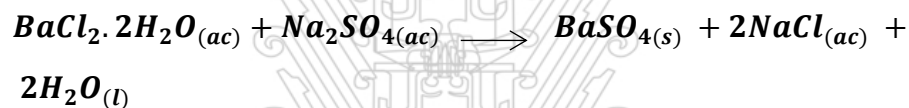
UNFV



Los iones magnesio se encuentran generalmente en forma de cloruro de magnesio (MgCl_2), para precipitar se adición solución de hidróxido de sodio de acuerdo a la siguiente reacción



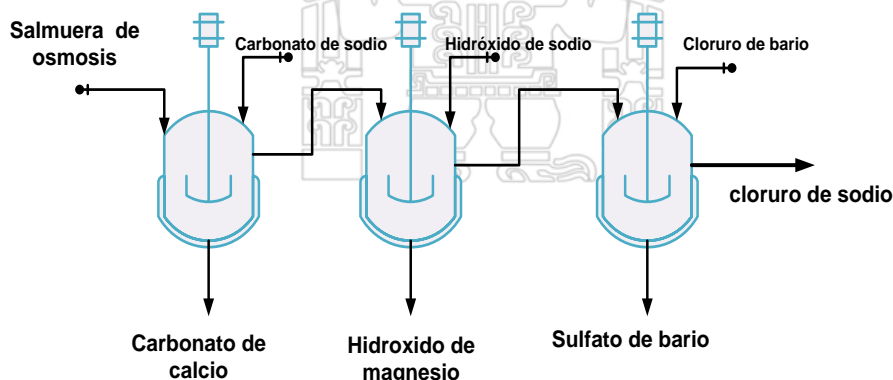
Los iones sulfato se encuentran presentes en las salmueras en forma de sulfato cálcico, sódico o magnésico. Para la remoción de los iones sulfato se adiciona solución de cloruro de bario, en medio ácido pH(3- 4)



La precipitación efectiva de sales de calcio y magnesio deberá ocurrir manteniendo un exceso de los reactivos en el orden de 200 y 400 ppm y agitados con aire.

El sistema esta formado por tres reactores instalados en serie donde se precipitan los iones iones calcio , magnesio y sulfato como se muestra en la Figura N°2.10

Figura N° 2.10: Sistema de Pretratamiento Químico de la Salmuera



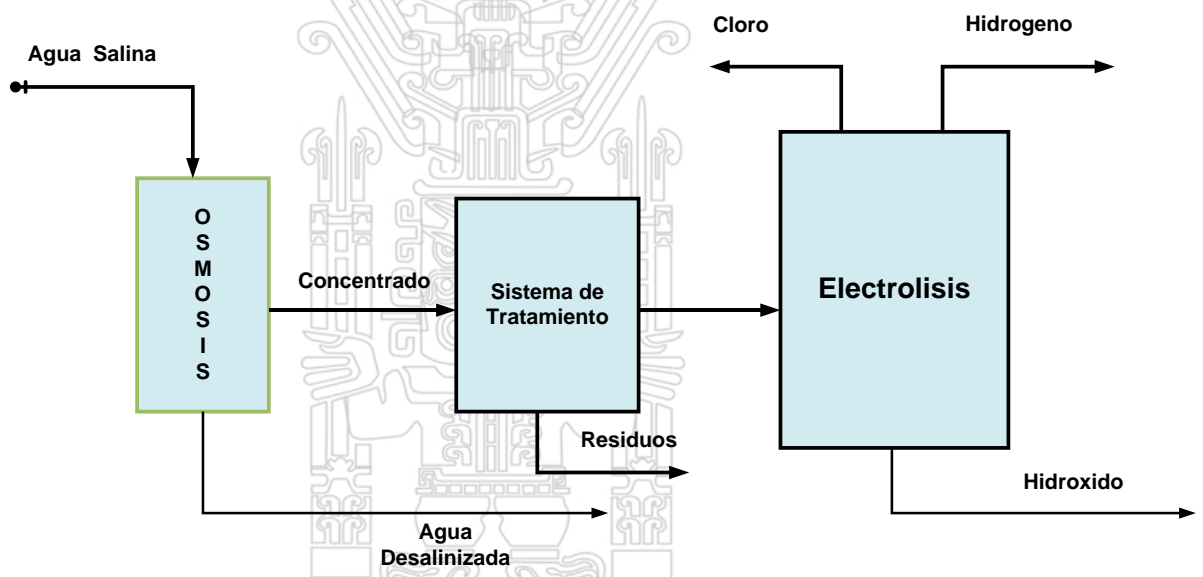
Fuente : Elaboracion propia

2.3 ALTERNATIVAS DE APROVECHAMIENTO DE SALMUERA

2.3.1 Producción de cloro soda mediante celdas de membrana

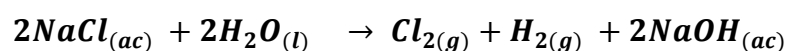
La reutilización de la salmuera proveniente de las plantas de osmosis inversa en la industria cloro-álcali es una alternativa ya que a la vez que se reduciría el impacto ambiental generado por la desalinización se producirá cloro, hidróxido de sodio y hidrogeno. Las principales tecnologías para la producción de cloro son las celdas de mercurio, diafragma y membrana. En los últimos años, la tecnología de membrana ha ganado importancia debido a sus ventajas ambientales y sus bajos consumos energéticos respecto a las otras tecnologías. En la figura N° 2.11 se muestra el diagrama de bloques del proceso.

Figura N°. 2.11: Diagrama de Bloques de la Producción de Cloro Soda



Fuente : Elaboracion propia

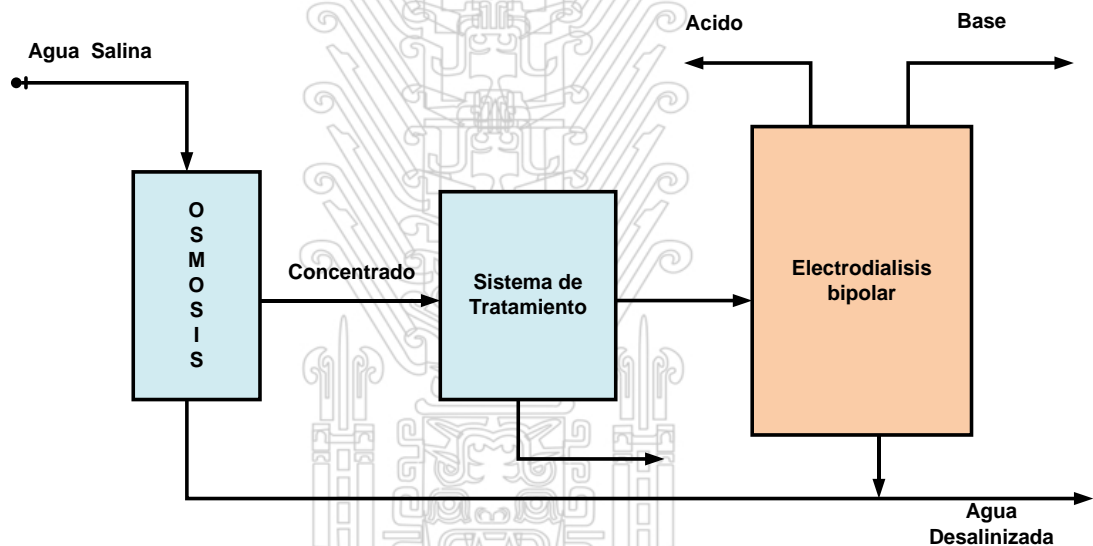
Reacciones químicas



2.3.2 Producción de ácido base mediante electrodiálisis bipolar

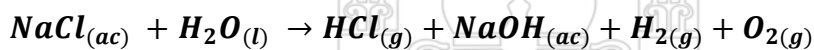
La reutilización de la salmuera en la producción de ácido base mediante membranas bipolares es una alternativa ya que a la vez que se reduciría el impacto ambiental generado por la desalinización. En el diagrama de bloques se muestra para la producción hidróxido de sodio y ácido clorhídrico. Ver figura N° 2.12

Figura N°. 2.12: Diagrama de bloques del proceso de Electrodiálisis Bipolar



Fuente : Elaboracion propia

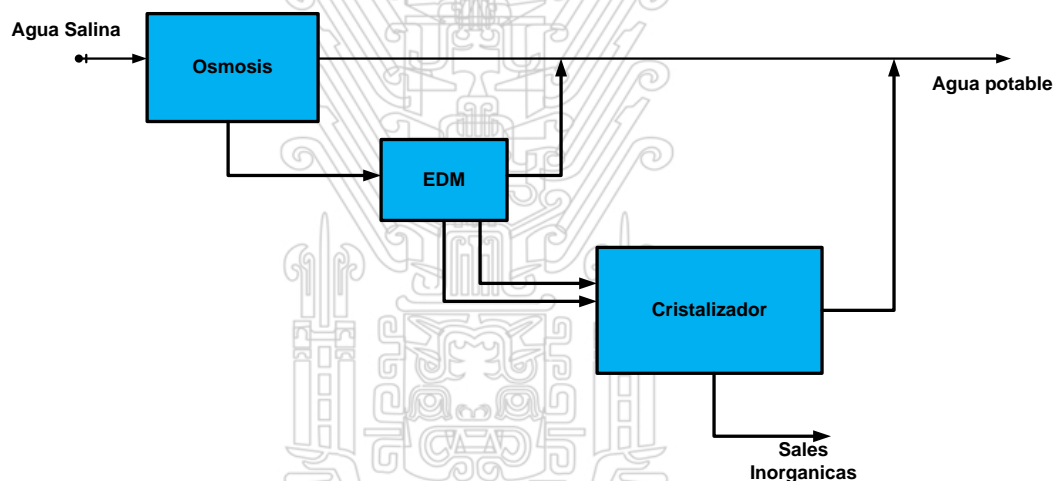
La reacción química que se presenta



2.3.3 Producción de sales mediante electrodiálisis metátesis (EDM)

La tecnología de electrodiálisis metátesis (EDM) Se ilustra en la figura N° 2.13 El concentrado es tratado con EDM para generar una corriente de agua desalinizada y dos corrientes de concentrado. La línea del concentrado de EDM es tratado en un cristalizador para la precipitación de las sales correspondientes. Ver figura N° 2.13

Figura N°. 2.13: Diagrama de bloques del proceso de electrodiálisis bipolar



Fuente : Elaboracion propia

2.4. MEMBRANAS DE INTERCAMBIO IÓNICO

2.4.1. Membrana de intercambio catiónico

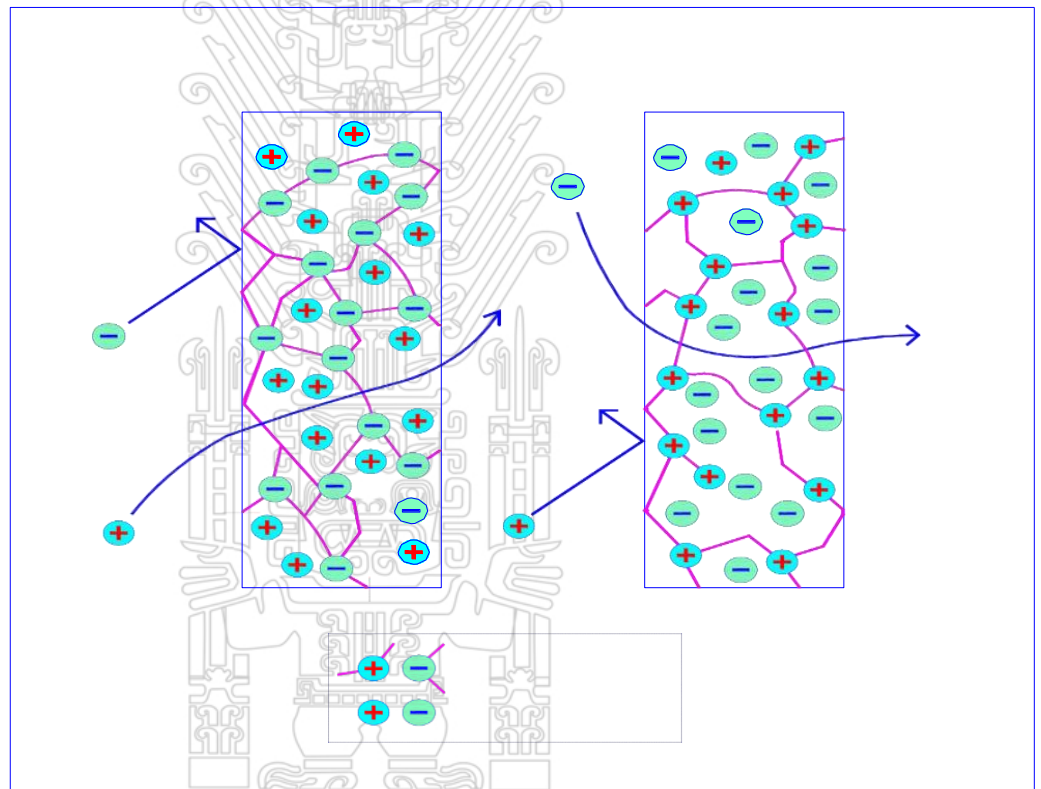
Es una lámina que contiene una matriz porosa en la cual están fijos grupos electronegativos, los grupos de intercambio más usuales son los sulfonato y carboxilato, Estos grupos electronegativos deben ser balanceados por los contra iones de carga positiva (cargas móviles), que son fácilmente

transportados de un grupo a otro. La lámina es capaz de permitir el paso de una corriente en la forma de un flujo de cationes, sin transportar aniones ni agua.

2.4.2. Membrana de intercambio aniónica (MA)

Permitirá sólo el paso de aniones, en este caso los grupos fijos son de carga positiva, utilizando grupos de intercambio aniónico tales como el amonio cuaternario o amina terciaria; tal como se muestra en la figura N° 2.14

Figura N°2.14: Diagrama de membrana de intercambio ionico

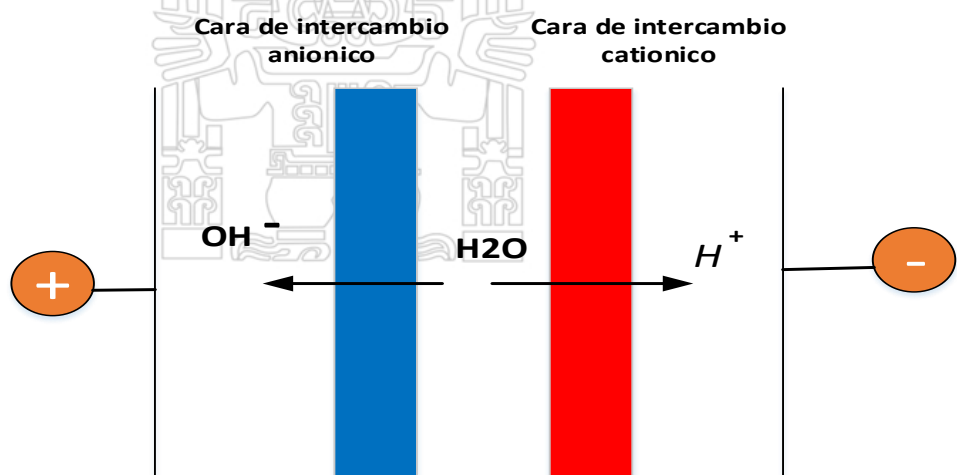


Fuente :Elaboracion propia

2.4.3. Membranas Bipolares (MB)

Las membranas bipolares están compuestas por dos capas que se encuentran unidas entre sí. Una (capa catiónica) contiene grupos fijos con cargas negativas, que son permeables a los cationes. La otra capa (anionica) contiene grupos con carga positiva que son permeables a los aniones.. (José Ramón Ochoa, 1996). La CEM debe orientarse hacia el cátodo, la AEM debe orientarse hacia el ánodo. Si la membrana se utiliza en la posición equivocada por un periodo prolongado, la capa intermedia puede ser destruida, y las monocapas se separarán. Una membrana bipolar debe tener alta capacidad de disociación del agua, baja resistencia eléctrica, alta selectividad, y deben ser estables frente a soluciones concentradas de ácidos y bases. El proceso de disociación del agua se ilustra en la figura N°2.15 Si se establece una diferencia de potencial eléctrico entre los electrodos se eliminan de la interface iones hidrogeno y iones oxidrilos que provienen de la disociación del agua (H. Strathmann)

Figura N°. 2.15: Principio de membrana bipolar



2.4.4. Propiedades de Membranas de intercambio iónico

Las principales propiedades a considerar al seleccionar una membrana de intercambio iónico son:

1. Selectividad Iónica

Es la capacidad que tienen las membranas de dejar pasar o discriminar un ion según la carga. Una membrana selectiva ideal de intercambio catiónico, transmitiría solamente iones cargados positivamente.

2. Estabilidad Química

Durante su aplicación las membranas se encuentran sometidas a sustancias oxidantes y reductores, Cambios de pH y Presencia de disolventes orgánicos. La membrana debe ser estable en un rango de pH de 0 a 14 y en presencia de agentes oxidantes.

3. Resistencia Mecánica

Deben tener una alta resistencia mecánica y una escasa variación de sus dimensiones para evitar su ruptura como consecuencia de las fuerzas que deben soportar . La matriz del polímetro define la resistencia mecánica.rígida para facilitar su manejo durante el montaje,

4. Resistencia Eléctrica

La resistencia eléctrica es uno de los factores que determinan los requerimientos de energía de los procesos de electrodiálisis (Strathmann 1992). Sin embargo es, en general, considerablemente menor que la resistencia de las soluciones diluidas que rodean la membrana. Es de suma importancia que se lo más bajo posible con el objeto de minimizar el consumo de energía. La resistencia eléctrica depende del tipo de grupos intercambiadores de iones y del espesor de las membranas.

5. Resistencia Térmica

Depende del polímero base, así como del material polimérico de refuerzo. Las membranas perfluoradas son estables hasta 100°C, mientras que las no perfluoradas comerciales, en general no pueden trabajar a temperaturas superiores a los 60°C.

6. Bajo coeficiente de difusión para soluto y solvente

Desafortunadamente las membranas de intercambio iónico son permeables en una cierta extensión a las moléculas no ionizadas. Éstas pueden atravesarlas por difusión, sobre todo las de pequeño tamaño.

2.5. Transporte de Masa

El desplazamiento de los iones sodio y cloruro de una solución a través de membrana de intercambio iónico; combina tres diferentes fuerzas en el transporte de masa por: difusión, electro migración y convección. Mediante la ecuación de de Nernst-Planck. para la especie y viene representado mediante la ecuación. La ecuación de Nernst-Planck utiliza las leyes de Fick, Ohm y Darcy

Flujo = difusión + convección + migración

$$J_i = J_d + J_m + J_c$$

$$J_i = -D_i \frac{dC_i}{dx} + \left(- \frac{z_i F D_i C_i}{RT} \frac{d\Phi}{dx} \right) + C_i v \dots\dots\dots(1)$$

La contribución de transporte convectivo puede ser obviarse quedando la siguiente ecuación.

$$J_i = -D_i \frac{dC_i}{dx} + \left(- \frac{z_i F D_i C_i}{RT} \frac{d\Phi}{dx} \right) \dots\dots\dots(2)$$

D_i : coeficiente de difusión de la especie iónica
 C_i : concentración de la especie iónica
 Z_i : carga eléctrica del ion
 F : constante de farday(96500A.s/ mol)
 R : constante universal de los gases(8,314 j / molK)
 Φ : potencial eléctrico T: Temperatura absoluta

2.6. POLARIZACIÓN POR CONCENTRACIÓN Y DENSIDAD DE CORRIENTE LÍMITE

2.6.1. Polarización por concentración

La polarización por concentración es un fenómeno de gradiente de concentración, que se presenta en el interfaz entre la membrana de intercambio iónico y la solución electrolítica. La causa principal de la polarización es la reducción de la concentración en la capa límite de solución diluida y de la diferencia del número de transporte del ion entre la membrana y solución. El transporte de ion a través de la membrana lleva a un agotamiento de iones en la capa límite en la superficie de la membrana en la celda de la corriente diluida y un aumento de iones en la capa de límite laminar en las superficies de la membrana en la celda de la solución del concentrado (Strathmann, 1991).

2.6.2. Corriente limite

Uno de los parámetros más importantes a considerar en la operación del equipo de electrodiálisis bipolar, es la corriente límite ($I_{lim.}$) su adecuada determinación permite que no ocurra el proceso de polarización. La corriente limite es la máxima corriente que se puede utilizar en el proceso de electrodiálisis, fuera de ello causa efectos negativos como, aumento de la resistencia eléctrica, baja eficiencia eléctrica y disociación del agua (Strathmann, 1992). La

densidad de corriente límite es proporcional a la concentración de iones en el diluido y al coeficiente de transferencia de masa. su valor

deberá ser determinado experimentalmente. La densidad de corriente fue sugerida a ajustarse al valor el cual corresponde a 70-80% de la corriente límite. puede ser evaluada según la expresión:

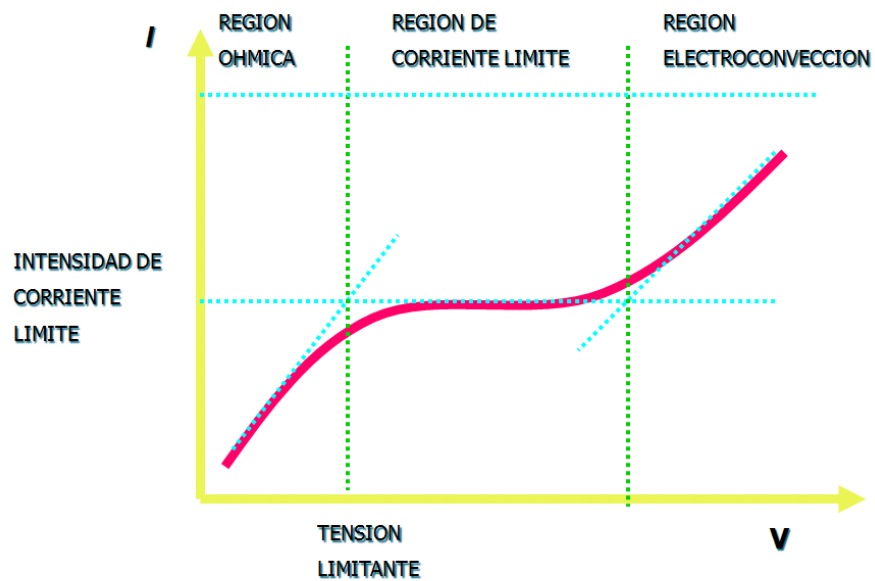
$$I_{lim} = \frac{zDFC}{\delta(t^m - t^s)} \dots \dots \dots (3)$$

Donde: t^m número de transporte del contra-ion en la membrana, t^s : número de transporte del contraion en la capa de difusión, z : es la carga de la especie iónica, F constante de Faraday, D : es el coeficiente de difusión, C_b : es la concentración en el seno de la solución. δ : es el espesor de la capa de difusión

2.6.3. Determinación de densidad de corriente límite

La densidad de corriente límite es determinada a partir de una curva potencial vs. Intensidad (curva de polarización), Una curva de polarización posee tres regiones características, según se puede visualizar en el siguiente esquema, de la figura N°2.16

Figura N°. 2.16: Esquema de una curva de polarización



a) Región óhmica

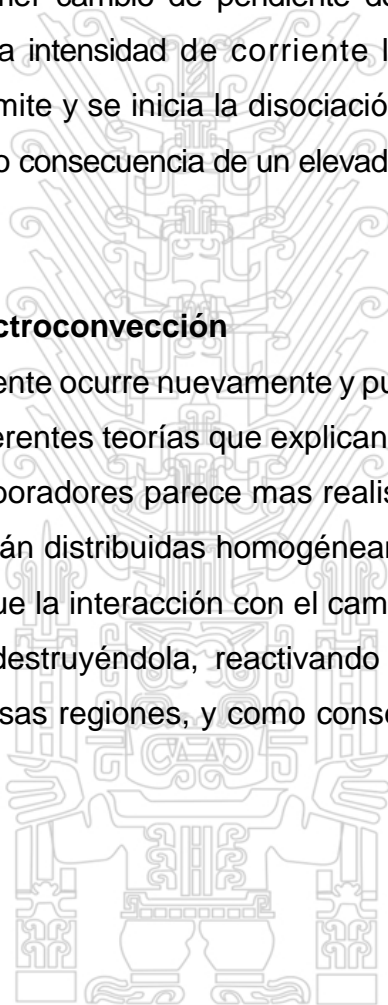
en la región I se produce la migración de los iones a través de la membrana y está gobernada por la ley de Ohm. Una relación linear se obtiene entre la corriente y la caída de voltaje,

b) Región de corriente límite

En esta región el primer cambio de pendiente de la curva corresponde al punto que determina la intensidad de corriente límite . En la región II se alcanza la corriente límite y se inicia la disociación de las moléculas del agua (H^+ y OH^-) como consecuencia de un elevado aumento de la diferencia de potencial.

c) Región de electroconvección

El aumento de la corriente ocurre nuevamente y puede deberse a diferentes razones. Entre las diferentes teorías que explican este efecto, la propuesta por Rubinstein y colaboradores parece mas realista ya que considera que las cargas fijas no están distribuidas homogéneamente en la superficie de la membrana por lo que la interacción con el campo eléctrico desestabiliza la capa de difusión destruyéndola, reactivando así el transporte de las especies iónicas en esas regiones, y como consecuencia del aumento de corriente.



2.7. PRODUCCIÓN DE ÁCIDO BASE MEDIANTE MEMBRANA BIPOLAR

2.7.1. Principio de electrodiálisis con membrana bipolar

Las membranas de intercambio iónico, se combina con las membranas bipolares y bajo la influencia del campo eléctrico entre dos electrodos el agua contenida dentro de la membrana bipolar se descompone en iones de H^{1+} y OH^{1-} y se producen simultáneamente ácidos y las bases de las sales correspondientes. La unidad de repetición se compone de tres corrientes separadas, la alimentación que contiene una sal y dos corrientes que contienen un ácido y una base, respectivamente.

2.7.2. Configuración de electrodiálisis bipolar

En la tabla N°2.2 se indican distintas configuraciones posibles obteniéndose tres tipos de compartimentos: celda de ácido, celda de base y celda de sal.

Tabla N° 2.2: Configuración de membranas en celdas de electrodiálisis bipolar

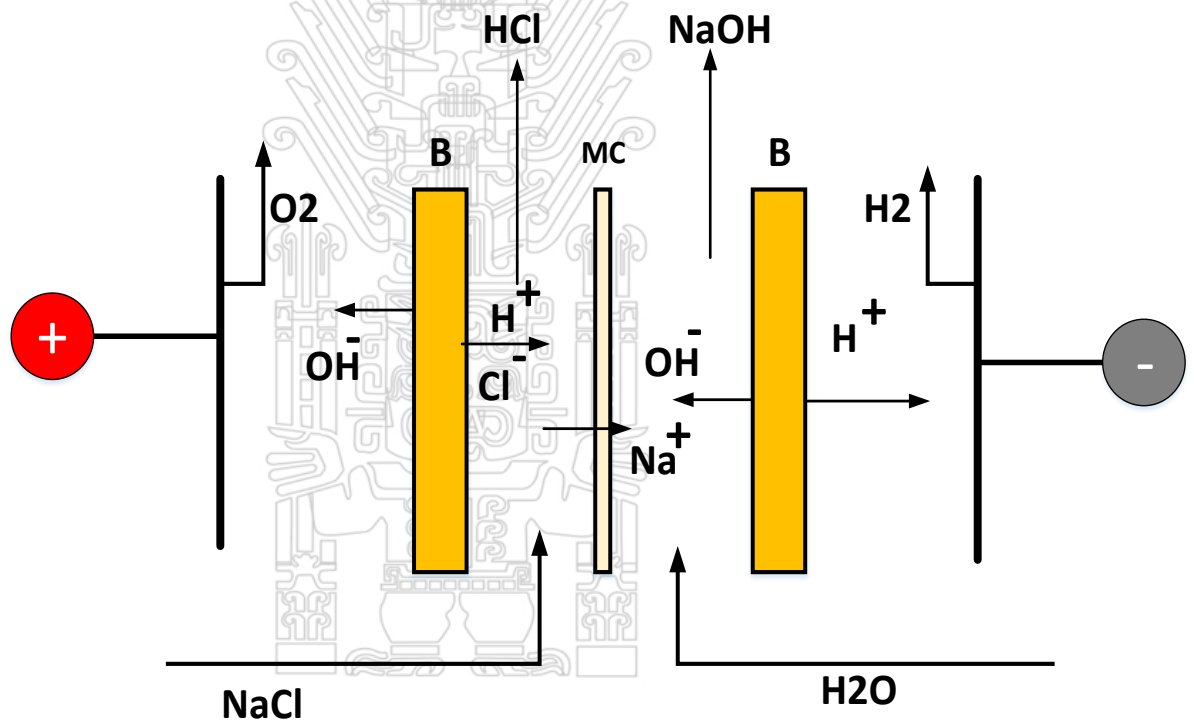
N°	Configuración	Referencia
1	C + BP + C + BP + C	Yu, L et al.(2000)
2	A + C+ BP + A + C	Tongwen, X y Weihua, Y (2002)
3	C + BP + C	Tongwen, X y Weihua, Y (2002)
4	BP + A + C + BP	Tongwen, X y Weihua, Y (2002)
5	BP + C + BP	Tongwen, X y Weihua, Y (2002)

Fuente :R.Ibañez, P.Mier,M.J.Rvera I. Orti

2.7.2.1. Electrodiálisis con membrana bipolar a dos compartimientos

La configuración del sistema consiste un arreglo de dos membranas bipolares, y una membrana catiónica como se muestra en la figura N° 2.17 la configuración del módulo (BP + C + BP). Como corriente de alimentación se utiliza una solución de cloruro de sodio y obteniéndose soluciones acuosas de ácido clorhídrico y hidróxido de sodio en forma simultáneamente. Para lavar los electrodos se utiliza una solución diluida de sulfato de sodio

Figura N°. 2.17: Principio de membrana bipolar con dos compartimientos



Fuente : Elaboracion propia

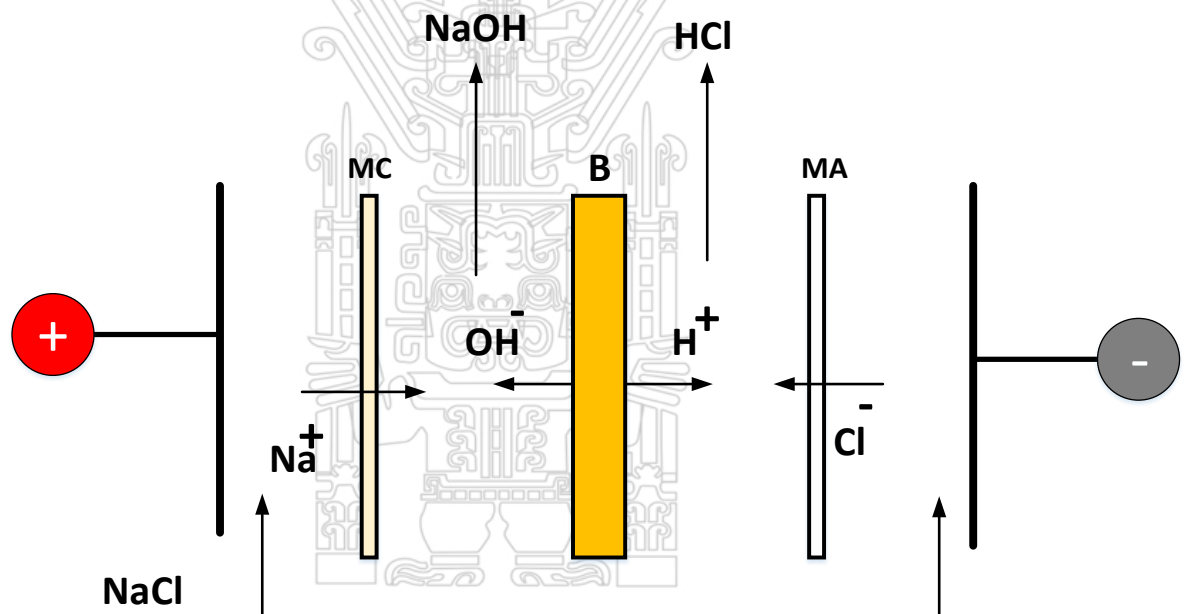
la reacción desarrollada en la celda de electrodiálisis bipolar



2.7.2.2. Electrodialisis con membrana bipolar a dos compartimientos

La configuración del sistema consiste en un arreglo de una membrana bipolar, una membrana anionica y una membrana catiónica como se muestra en la figura N° 2.18. La configuración del módulo (MC +BP + MA). Como corriente de alimentación se utiliza una solución de cloruro de sodio y obteniéndose soluciones acuosas de ácido clorhídrico y hidróxido de sodio en forma simultáneamente. Para lavar los electrodos se utiliza una solución diluida de sulfato de sodio

Figura N°.2.18: Principio de membrana bipolar con dos compartimientos



Fuente : Elaboracion propia

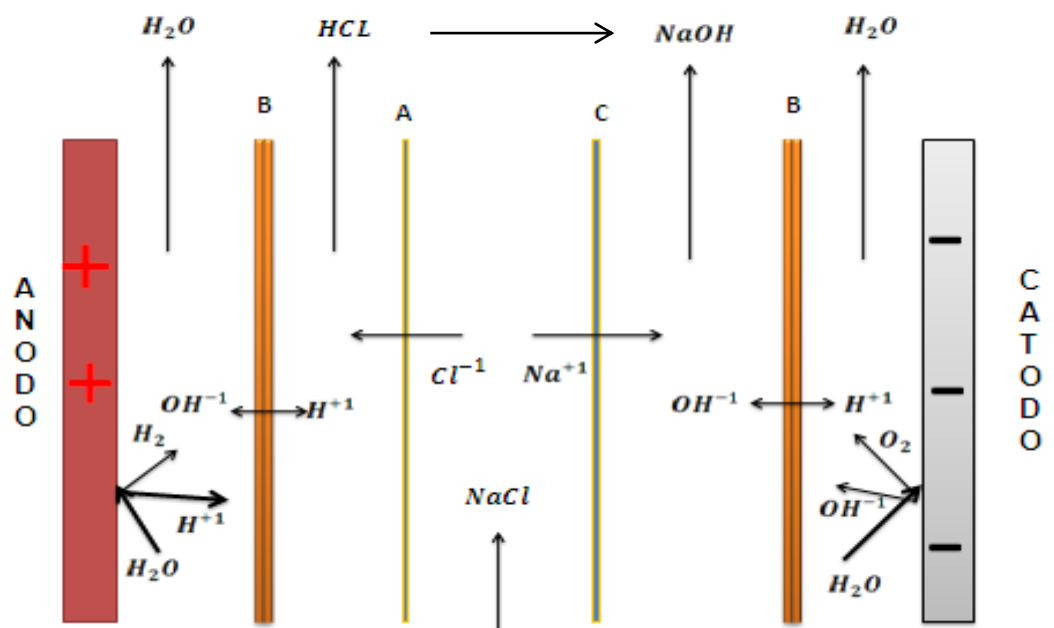
la reacción desarrollada en la celda de electrodialisis bipolar



2.7.2.3. Electrodiálisis con membrana bipolar con tres compartimientos

La configuración del sistema de electrodiálisis con membrana bipolar consiste en un arreglo de 2 membranas bipolares una membrana catiónica y una membrana aniónica como se muestra en la figura N° 2.19. Configuración del módulo **(BP + A + C + BP)**. Como corriente de alimentación se utiliza una solución concentrada de cloruro de sodio y obteniéndose un compartimiento de ácido clorhídrico y un compartimiento de hidróxido de sodio. Para lavar los electrodos utilizaremos una solución acuosa de sulfato de sodio.

Figura N°. 2.19: Principio de membrana bipolar con tres compartimientos



Fuente : Elaboracion propia

la reacción desarrollada en la celda de electrodiálisis bipolar



Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

UNFV

2.8. INDICADORES DEL PROCESO DE ELECTRODIÁLISIS BIPOLAR

2.8.1. Porcentaje de separación de cloruro de sodio

El grado de desalación, indica el porcentaje de separación de iones y se calcula mediante la siguiente relación. Se mide la concentración o conductividad inicial y luego a un cierto tiempo.

$$S = \left(\frac{C_{t=0} - C_{t=t}}{C_{t=0}} \right) \times 100\% \dots \dots \dots (4)$$

2.8.2. Concentración de ácido base

Los cambios de concentración de ácido clorhídrico y hidróxido de sodio fueron determinados por titulación usando fenolftaleína como indicador. La concentración fue calculada mediante las siguientes ecuaciones

$$C_{HCl} = \frac{C_{NaOH} \times V_{NaOH}}{V_{HCl}} \dots \dots \dots (5)$$

$$C_{NaOH} = \frac{C_{HCl} \times V_{HCl}}{V_{NaOH}} \dots \dots \dots (3)$$

Dónde C_{HCl} , C_{NaOH} mol/L ; V_{HCl} , V_{NaOH} en litros(L)

2.8.3. Eficiencia de corriente

La eficiencia de corriente, está dado por la ecuación.

$$\eta = \frac{zF(C_f - C_i)V_t}{N \int_0^t i dt} \times 100\% \dots \dots \dots (6)$$

η : eficiencia de corriente: constante de Faraday (96500A.s/mol), C_f y C_i concentración inicial y final de la solución de HCl mol/m³, i , intensidad de corriente eléctrica (A) y N número de pares de celda. V_t volumen de la solución de HCl recirculado

2.8.4. Consumo de Energía

El consumo de energía es calculado mediante la ecuación

$$E = \frac{V \int i dt}{C_t V_t P.F} \dots \dots \dots (7)$$

E : consumo de energía (Kwh/kg) de NaOH producida V : voltaje i : corriente eléctrica t : tiempo V_t : volumen en m³ en función del tiempo), C_t concentración final de la solución de HCl mol/m³,.

2.8.5. Relación entre Concentración(STD) y Conductividad(C)

La concentración de sólidos totales disueltos en el agua a partir de la conductividad., se relaciona mediante la siguiente ecuación

$$STD = \frac{C}{2} \dots \dots \dots (8)$$

STD: Concentración de sólidos totales disueltos (mg/L).C: Conductividad (us/cm).

2.9. FORMULACION DE LA HIPOTESIS

2.9.1. Hipótesis General

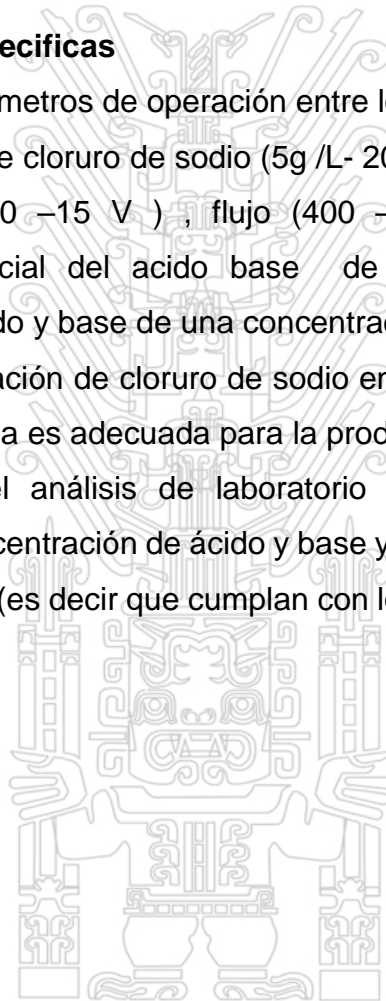
Existe una relación de influencia significativa entre los parámetros de operación sobre la concentración del ácido y base producido a partir de salmuera procedente de osmosis inversa vía electrodiálisis con membrana bipolar.

2.9.2. Hipótesis Especificas

H₁ : Con los parámetros de operación entre los rangos, Concentración de alimentación de cloruro de sodio (5g /L- 20g/L y 50g/L diferencia de potencial, (5 - 10 -15 V) , flujo (400 – 600 -800 mL./min.), y concentración inicial del ácido base de (0 – 0,025 -0,05 N) Obtendremos ácido y base de una concentración de 1,0 M.

H₂ : La concentración de cloruro de sodio en la salmuera proveniente de osmosis inversa es adecuada para la producción de ácido base

H₃ : Mediante el análisis de laboratorio de titulación es posible determinar la concentración de ácido y base y comprobar los productos de buena calidad (es decir que cumplan con los estándares de calidad)



CAPITULO III

METODO

3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

El tipo de investigación desarrollado en el presente estudio experimental es explicativo, pues se encarga de buscar el porqué de los hechos mediante el establecimiento de causa - efecto. En este sentido, los estudios explicativos pueden ocuparse tanto de la determinación de las causas (Investigación post facto) como de los efectos (investigación experimental) mediante la prueba de hipótesis.

El estudio se hizo sobre las variables de operación del equipo y la concentración del ácido y base, para evaluar su influencia se ha efectuado un diseño experimental mediante la metodología Taguchi a tres nivel para cada variable, se ha demostrado la relación matemática entre una de las variables independiente y dependiente.

3.2. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

La presente investigación se ha desarrollado en dos etapas, la primera se ha construido un equipo experimental de electrodiálisis bipolar a escala piloto y luego se ha evaluado los parámetros de operación del módulo, empleado un diseño experimental mediante la metodología Taguchi para ver la influencia de los parámetros operacionales en la concentración de ácido y base producido a partir de salmuera reparada en el laboratorio.

3.2.1. Reactivos

Los reactivos que se indica a continuación fueron de grado analítico, cloruro de sodio (Merck), Sulfato de sodio, Nitrato de plata, dicromato de potasio Fenolftaleína, agua pura de 0,3 us que proviene de un equipo de osmosis inversa y electro ionización.

3.2.2. Equipo

Los equipos utilizados en este estudio experimental, incluyen los siguientes:

Balanza analítica, Bombas, fuente eléctrica, equipo de osmosis inversa, electrodos de titanio de 30cm x 3cm, recipientes de acrílico, conductímetro, pH, transformadores

3.2.3. Membranas

El experimento implicó el uso de tres tipos de membranas, intercambio catiónico, intercambio anionico y membrana bipolar fueron suministrados por la compañía Fumatech, Alemania

- a) intercambio catiónico **FTCM –E**
- b) membranas de intercambio anionica **FTAM-E**
- c) membrana bipolar **FBM**.

Las principales propiedades físico químicas de las membranas se indican en la siguiente tabla N° 3.1

Tabla 3.1: Características de las Membranas de Intercambio Iónico.

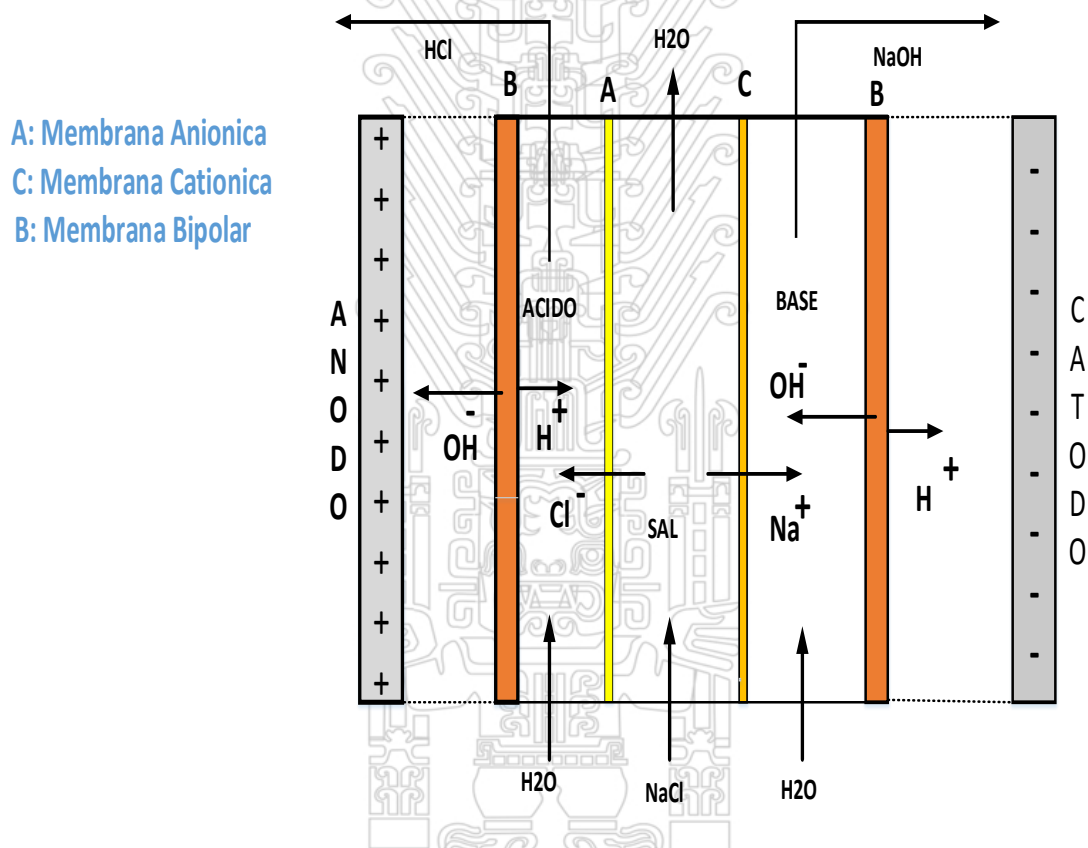
Características de la Membrana	FTCM –E	FTAM-E	FBM
Resistencia eléctrica (Ω / cm^2)	2,5 – 3,5	2,5 - 3,5	0,2 - 0,25
Capacidad de intercambio iónico (meq/g membrana)	1,5 -1,8	1,4 -1,7	
Espesor(mm)	0,17 - 0,19	0,16 - 0,18	

Fuente : Elaboracion propia

3.2.4. Configuración de la Celda de Electrodiálisis con Membrana Bipolar

En la Fig. N°3.1 se muestra la disposición de las dos membranas bipolares, una membrana catiónica y una membrana anionica cuya notación corresponde a (B +C +A +B), configuración que permite que se creen tres tipos de compartimentos, celda de ácido, base y de la sal.

Figura N°3.1: Configuración de las Membranas



Fuente : Elaboracion propia

3.2.5. Descripción de la Celda

La celda de electrodiálisis con membrana bipolar (EDB) es de tipo filtro prensa con tres compartimientos, fue construido con material de acrílico sobre el que se ensamblan cuatro membranas con sus

respectivos promotores de turbulencia en forma de malla, fijadas alternativamente y afianzado con 8 barras transversales con tuercas para prevenir fuga, mezclado o derrame del líquido como se muestra en la Fig. N° 3.2. juntas de jebe fueron colocadas entre cada marco y membrana. Que permite sellar y mantener la distribución uniforme de flujo dentro de las celdas.,tiene dos placas de acrílico en los extremos cada una con tres entradas y tres salidas para el flujo de las soluciones. Las placas exteriores, de acrílico, permiten mantener el sistema a presión, proporcionando estabilidad y resistencia al conjunto de celdas. dos marcos acrílicos de 1,5 cm de espesor, en la que se insertan los electrodos, cada uno con una entrada y salida por donde ingresa la solución de lavado de los electrodos

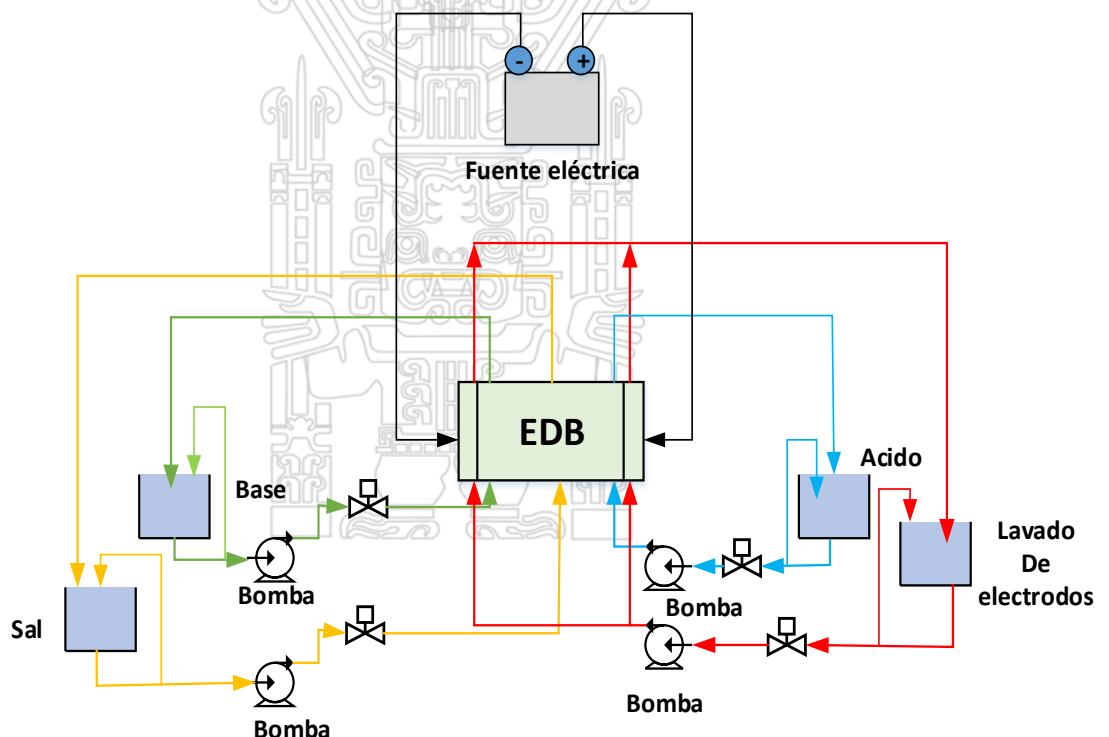
Figura N° 3.2: Diagrama de la celda electrodiálisis bipolar



3.2.6. Descripción del Equipo Experimental

Las soluciones de cloruro de sodio, ácido, base y lavado de electrodos fueron recirculadas dentro de los compartimientos de la celda de electrodiálisis bipolar mediante cuatro bombas. Para regular el flujo de cada corriente se colocaron cuatro válvulas en línea y una tubería de reciclo para cada tanque. El ánodo y el cátodo son colocados en los extremos de la celda y son colocados al polo positivo y negativo de la fuente eléctrica. El equipo contiene una superficie efectiva de transferencia unitaria de 90 cm^2 , y una superficie total de la membrana de 360 cm^2 . El equipo tiene un régimen de funcionamiento batch. El sistema contiene 4 tanques de material acrílico de capacidad de 3 litros de espesor de 4 mm (13 cm de diámetro y 27 m de altura). como se muestra en la Fig. N°3.3 y Fig. N° 3.4

Figura N° 3.3 Diagrama del equipo Experimental

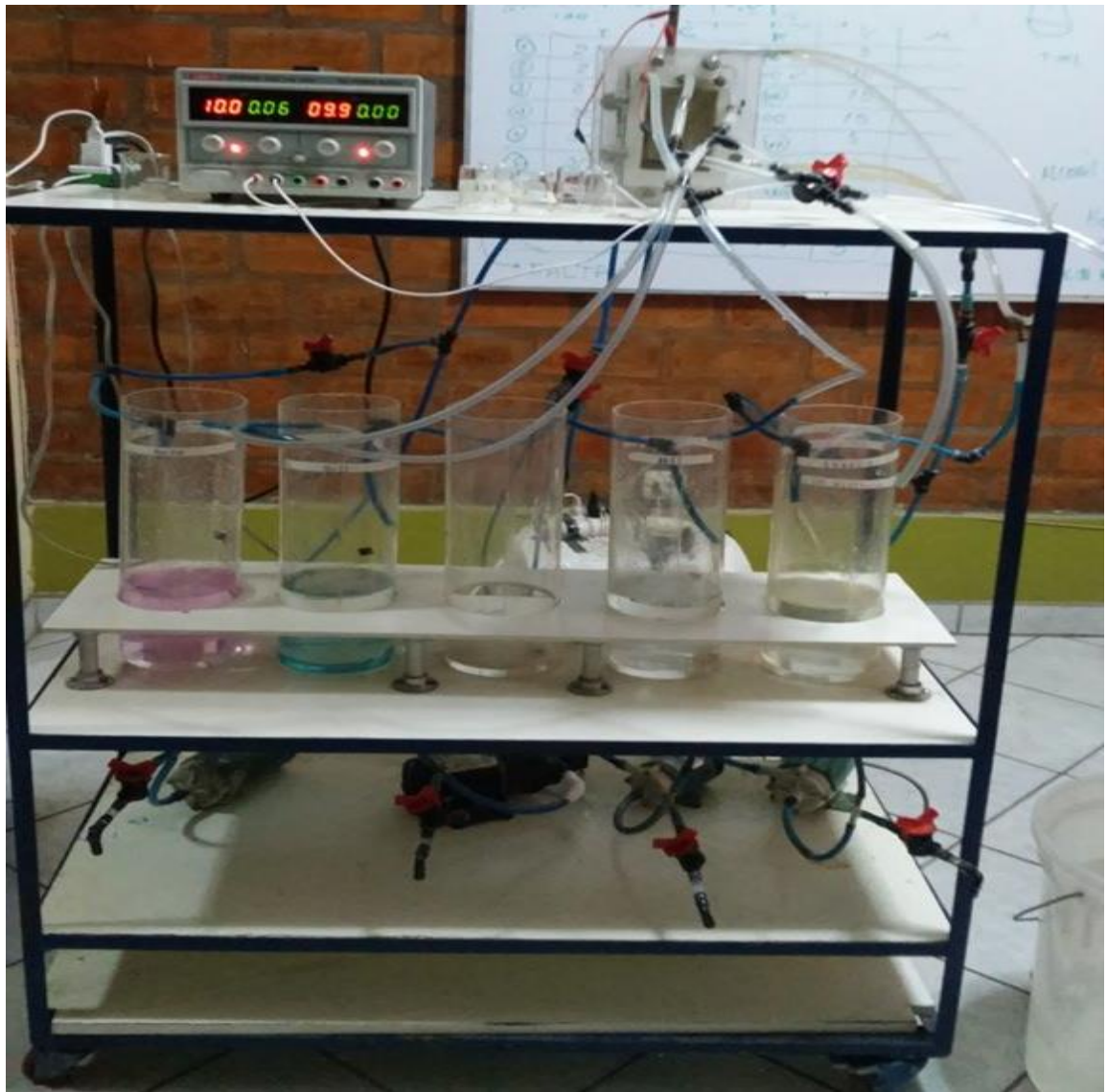


Fuente : Elaboracion propia

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

UNFV

Figura N°3.4: Fotografía del Equipo Experimental



Fuente : Elaboracion propia

3.3. ESTRATEGIA DE PRUEBA DE HIPÓTESIS

El análisis estadístico de los resultados de las pruebas experimentales se efectuaron mediante Excel y el software Minitab se realizaron gráficas y análisis de varianza (ANOVA), se efectuaron el análisis de regresión lineal de la concentración de ácido y base en función del tiempo. Para evaluar la concentración alcanzada del ácido, base, porcentaje de separación del cloruro de sodio y la eficiencia se utilizaron las ecuaciones N° 1,2, 3 y 4 y las gráficas de concentración, conductividad y Ph del ácido base en función del tiempo fueron realizadas utilizando el software Excel

3.4. DISEÑO EXPERIMENTAL

Para el desarrollo de las pruebas experimentales las variables independientes identificadas y niveles se muestran en la Tabla N° 3.2

La influencia de la concentración de ácido y base obtenida se ha estudiado mediante la combinación de los parámetros de operación a tres niveles

Tabla N°3.2: Variables Independientes y niveles de experimentación

N°	Variables Independientes	Notación	Nivel bajo	Nivel medio	Nivel alto
1	Concentración de cloruro de sodio(g/L)	X ₁	5	20	50
2	Flujo (mL/min.)	X ₂	400	600	800
3	Voltaje(V)	X ₃	5	10	15
4	Concentracion inicial de NaOH y HCl	X ₄	0	0,025	0,005

Fuente : Elaboracion propia

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

UNFV

Se realizaron los experimentos mediante la metodología Taguchi (**Zhou Mu, Xiusong, GaoLiping, 2014**) el diseño del experimento tiene 4 variables en 3 niveles diferentes para cada factor (9 pruebas experimentales) cuya matriz se muestra en la Tabla N°3.3

La variable dependiente (Y): concentración normal del ácido y base obtenido al cabo de 240 min. de experimentación

Tabla N°3.3. Matriz de diseño Experimental Taguchi L₉ (3⁴)

N°	X ₁ (g/L)	X ₂ (mL/min)	X ₃ (V)	X ₄ (M)	Y
1	5	400	5	0	Y1
2	5	600	10	0,025	Y2
3	5	800	15	0,05	Y3
4	20	400	10	0,05	Y4
5	20	600	15	0	Y5
6	20	800	5	0,025	Y6
7	50	400	15	0,025	Y7
8	50	600	5	0,05	Y8
9	50	800	15	0	Y9

Fuente : Elaboracion propia

3.5. MUESTRA

En la Tabla N°3.4 se indica las concentraciones de las soluciones modelo de salmuera que fueron preparadas de aproximación a de agua salobre y de mar, para su preparación se ha utilizado agua des ionizada producida por un equipo de osmosis inversa y electroionizacion.

Tabla N°3.4 :Concentración de salmuera

Tipo	Concentración de NaCl (g/L)
I	5 g/L
II	20 g/L
III	50 g/L

Fuente : Elaboracion propia

3.6. TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS PROCESAMIENTOS Y ANÁLISIS DE DATOS

3.6.1. Técnica

Se ha medido la conductividad del ácido, base y salmuera cada 10 min. durante 4 h de experimentación. Se ha registrado el pH del ácido y base cada 10 min. Se terminó la concentración normal del ácido y la base mediante titulación cada 60 min. se ha registrado la corriente eléctrica cada 10 min para cada experiencia. La temperatura de operación del equipo fue 20 ± 2 °C.

3.6.2. Instrumentos.

Se utilizaron los instrumentos de medida, multitéster para monitorear la corriente eléctrica y la tensión de la celda de electrodiálisis, equipo de medida de conductividad para tomar lecturas de cloruro de sodio, ácido y base, pH-metro, cronómetro patrones de referencia para la calibración de la celda de conductividad y pH

CAPITULO IV RESULTADOS

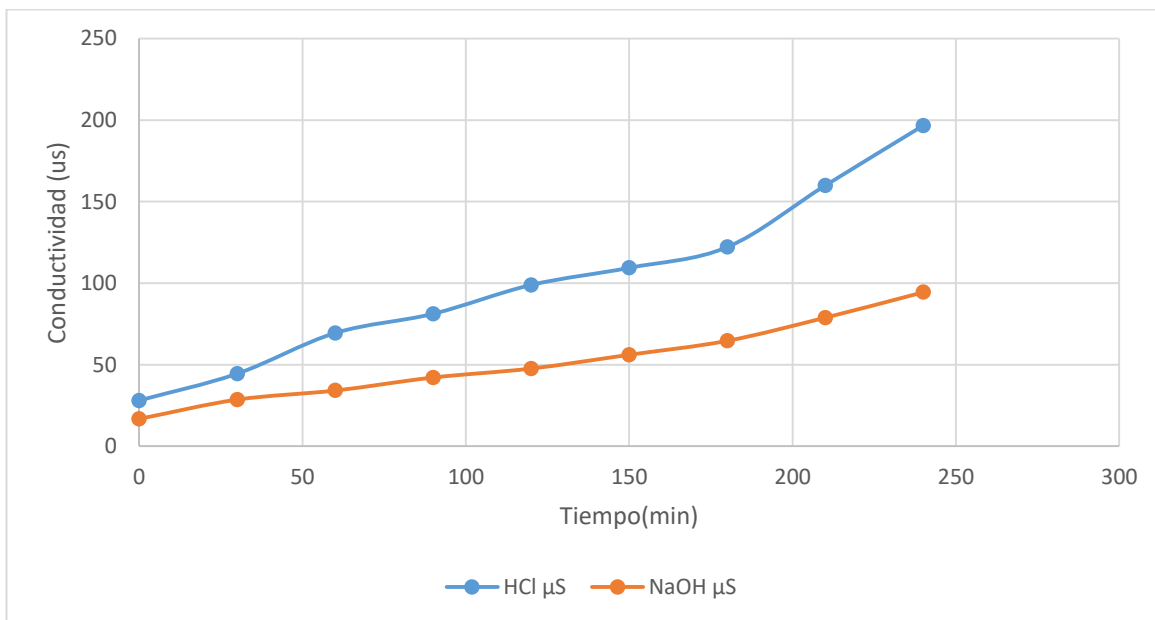
En este capítulo se presenta los resultados experimentales del estudio de la influencia de los parámetros de operación (concentración de cloruro de sodio, flujo, voltaje y concentración inicial de ácido y base) del módulo de electrodiálisis bipolar respecto a la conductibilidad, pH, Concentración normal de ácido, eficiencia eléctrica, porcentaje de separación de cloruro de sodio y el tiempo de experimentación.

Los resultados de los parámetros de operación se muestran en las siguientes tablas y graficas :

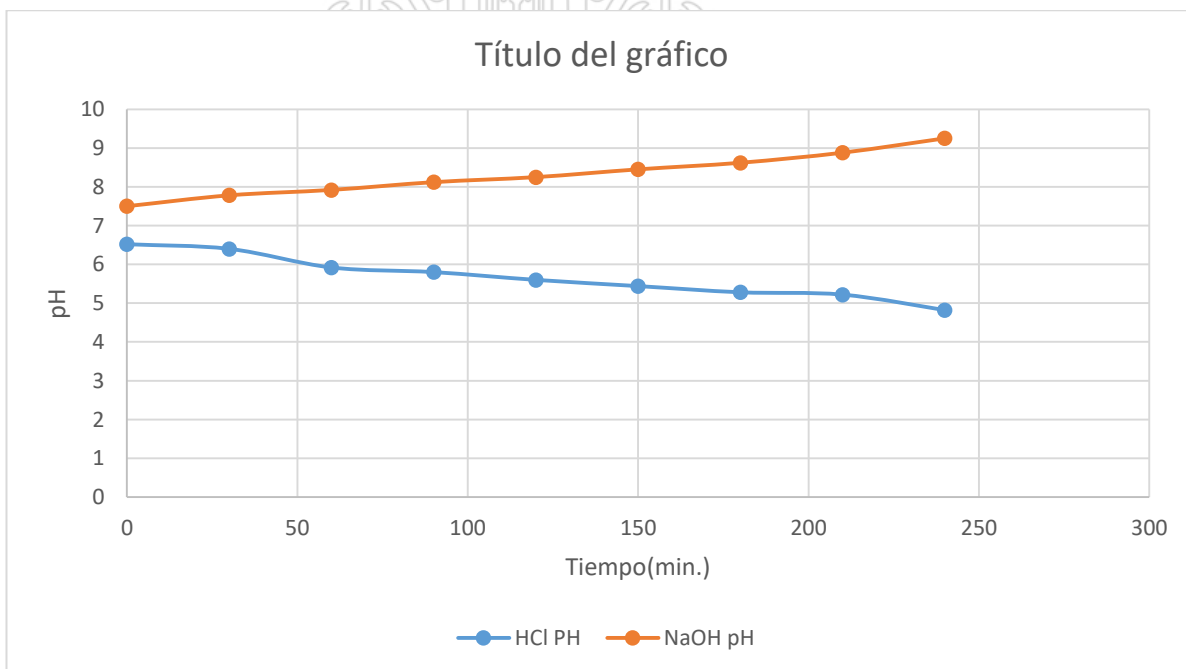
Tabla N° 4.1: Conductividad, PH, Concentración de HCl y NaOH vs Tiempo a las condiciones de operación. NaCl 5 g/L, flujo 400 mL/min, voltaje 5V y concentración inicial de HCl , NaOH 0,0N

Tiempo (min)	Conductividad(uS)		pH		Concentración Normal (N)	
	HCl	NaOH	HCl	NaOH	HCl	NaOH
0	28	16.7	6.52	7.5	0	0
30	44.45	28.53	6.4	7.78		
60	69.4	34.1	5.92	7.92	0.0016	0.0015
90	81.2	42.1	5.8	8.12		
120	98.9	47.6	5.6	8.25	0.0025	0.0022
150	109.4	56.05	5.44	8.45		
180	122.1	64.6	5.28	8.62	0.003	0.0028
210	159.9	78.8	5.22	8.88		
240	196.7	94.4	4.82	9.25	0.004	0.0035

Grafica N°4.1: Conductividad del ácido HCl y Hidróxido de sodio – tiempo



Grafica N° 4.2: Variación de pH del ácido HCl y NaOH – Tiempo



Grafica N° 4.3: Concentración del ácido(HCl) y Hidróxido de sodio (NaOH) – tiempo

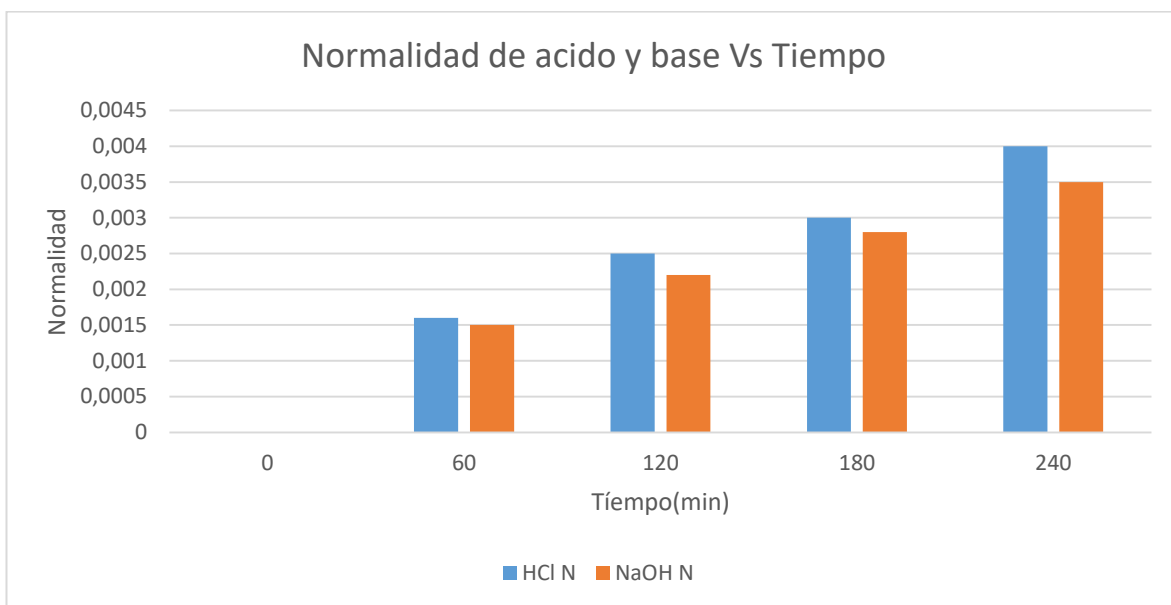
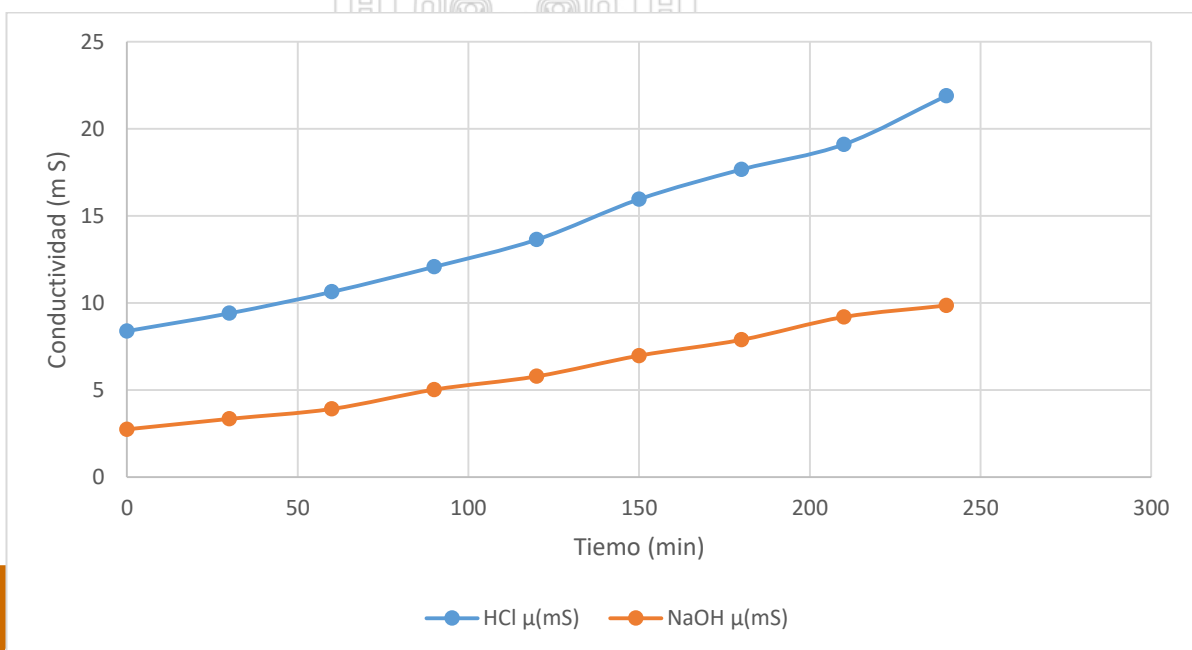


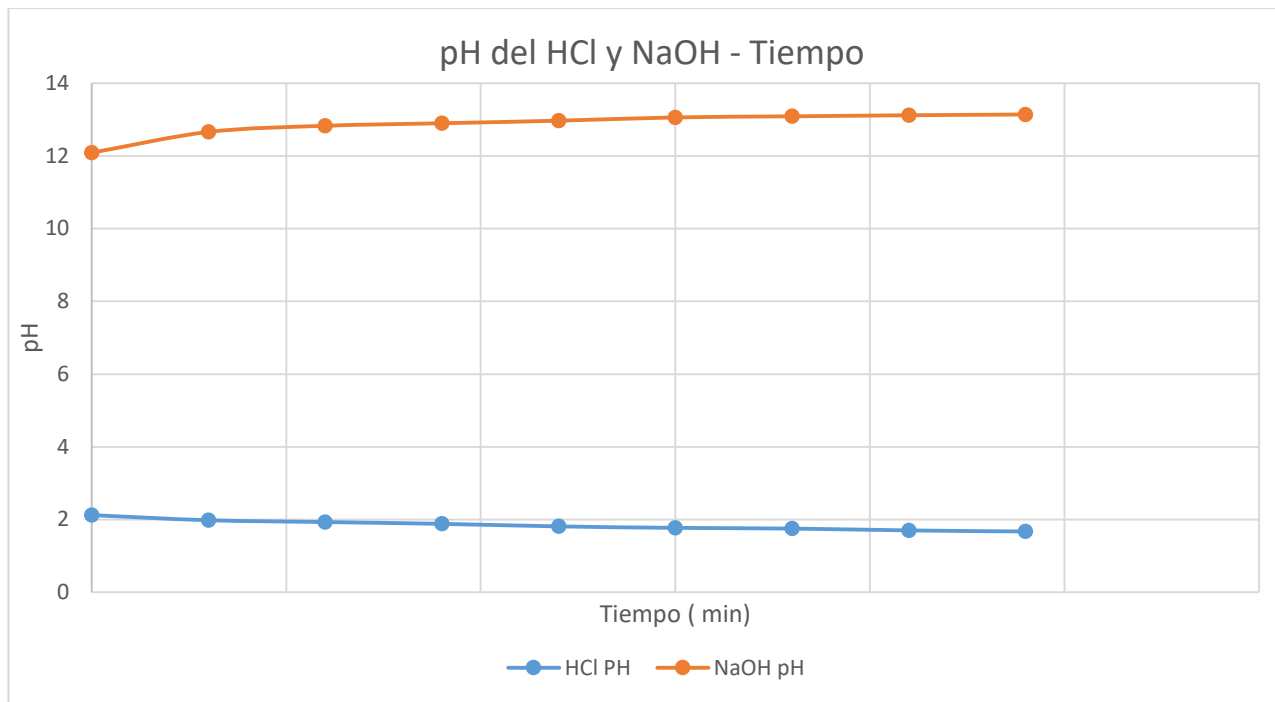
Tabla N°4.2: Conductividad, Ph, Concentración de HCl y NaOH vs Tiempo a las condiciones de operación. NaCl 5 g/L , flujo 600 mL/min , voltaje 10 V y concentración inicial de HCl , NaOH 0,025

Tiempo (min)	Conductividad(Ms)		pH		Concentración Normal (N)	
	HCl	NaOH	HCl	NaOH	HCl	NaOH
0	8,39	2,75	2.12	12,09	0,025	0,025
30	9,41	3,35	1.98	12,66		
60	10,64	3,92	1.93	12,83	0,033	0,030
90	12,08	5,03	1.88	12,9		
120	13,64	5,79	1.81	12,97	0,046	0,035
150	15,96	6,98	1.77	13,06		
180	17,67	7,89	1.75	13,09	0,056	0,045
210	19,11	9,2	1.7	13,12		
240	21,9	9,86	1.67	13,14	0,07	0,055

Grafica N°4.4: Conductividad del ácido HCl y Hidróxido de sodio - tiempo



Gráfica N° 4.5: pH del ácido HCl y NaOH – Tiempo



Gráfica N° 4.6: Concentración Normal del ácido y base – Tiempo

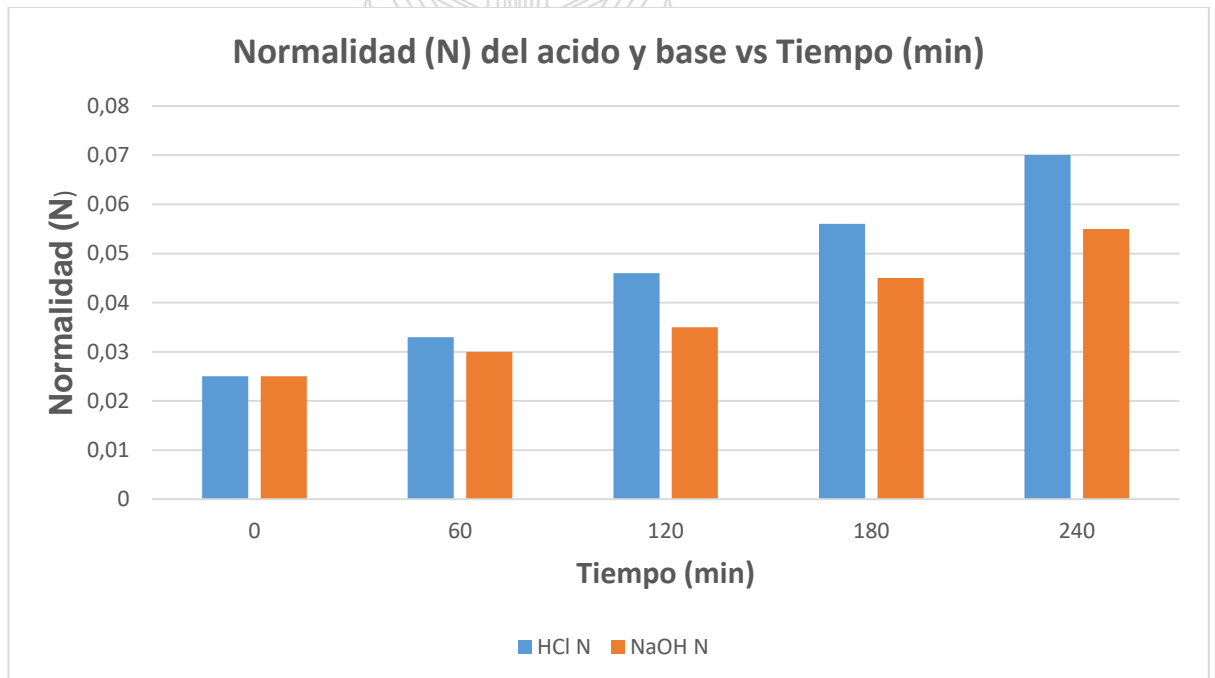


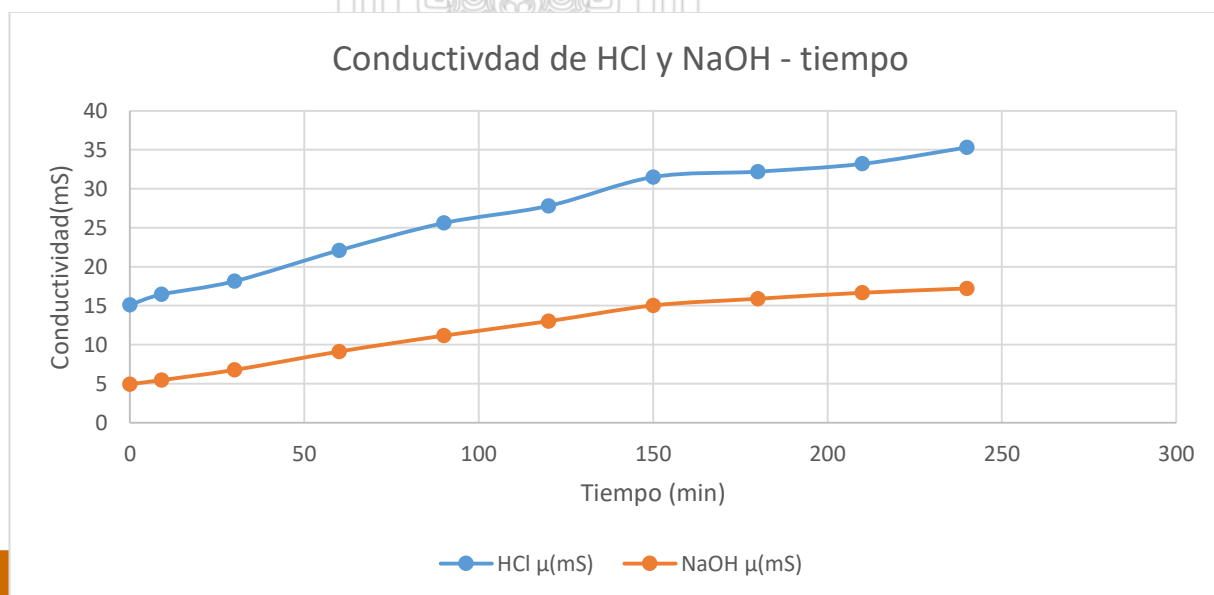
Tabla N° 4.3:

Conductividad, Ph, Concentración de HCl y NaOH vs Tiempo a las condiciones de operación. NaCl 5 g/L , flujo 800 mL/min , voltaje 15 V y

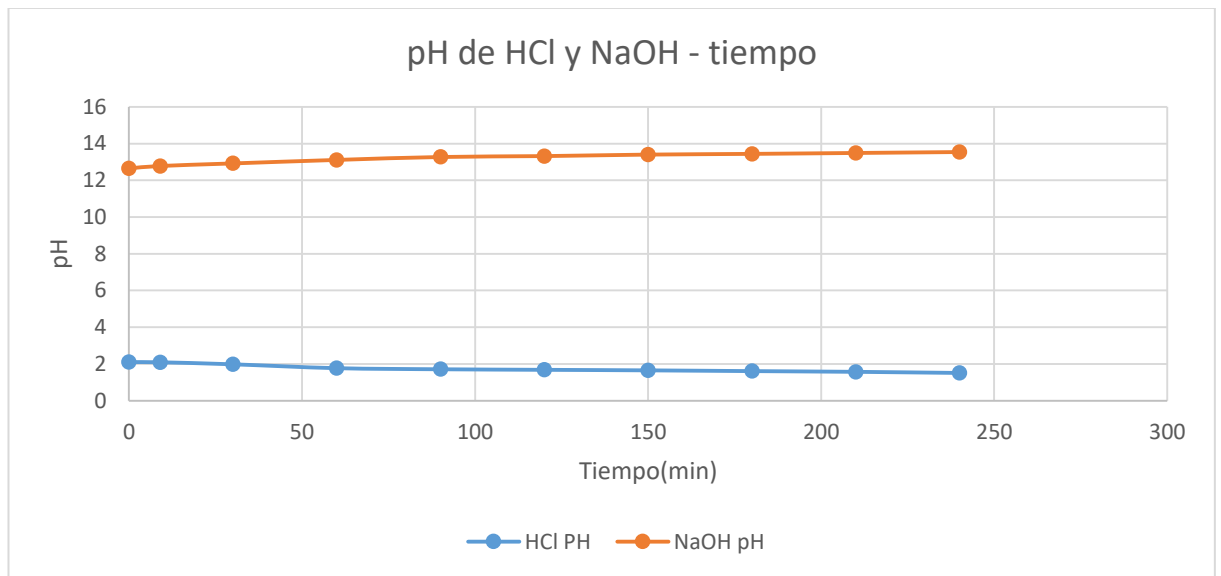
Tiempo (min)	Conductividad(mS)		pH		Concentración Normal (N)	
	HCl	NaOH	HCl	NaOH	HCl	NaOH
0	15,1	4.93	2.1	12.65	0.05	0,05
30	16.44	5.45	2.09	12.78		
60	18.14	6.76	1.98	12.92	0,07	0,048
90	22.1	9.12	1.77	13.11		
120	25.6	11.16	1.71	13.27	0,082	0,07
150	27.8	13.01	1.68	13.32		
180	31.5	15.03	1.65	13.4	0,104	0,082
210	32.2	15.89	1.61	13.44		
240	33.2	16.66	1.57	13.49	0,114	0,094

concentración inicial de HCl , NaOH 0,05

Grafica N°4.7: Conductividad del ácido y base - tiempo



Grafica N° 4.8: pH del ácido HCl y NaOH – Tiempo



Grafica N° 4.9: Concentración Normal del ácido y base – Tiempo

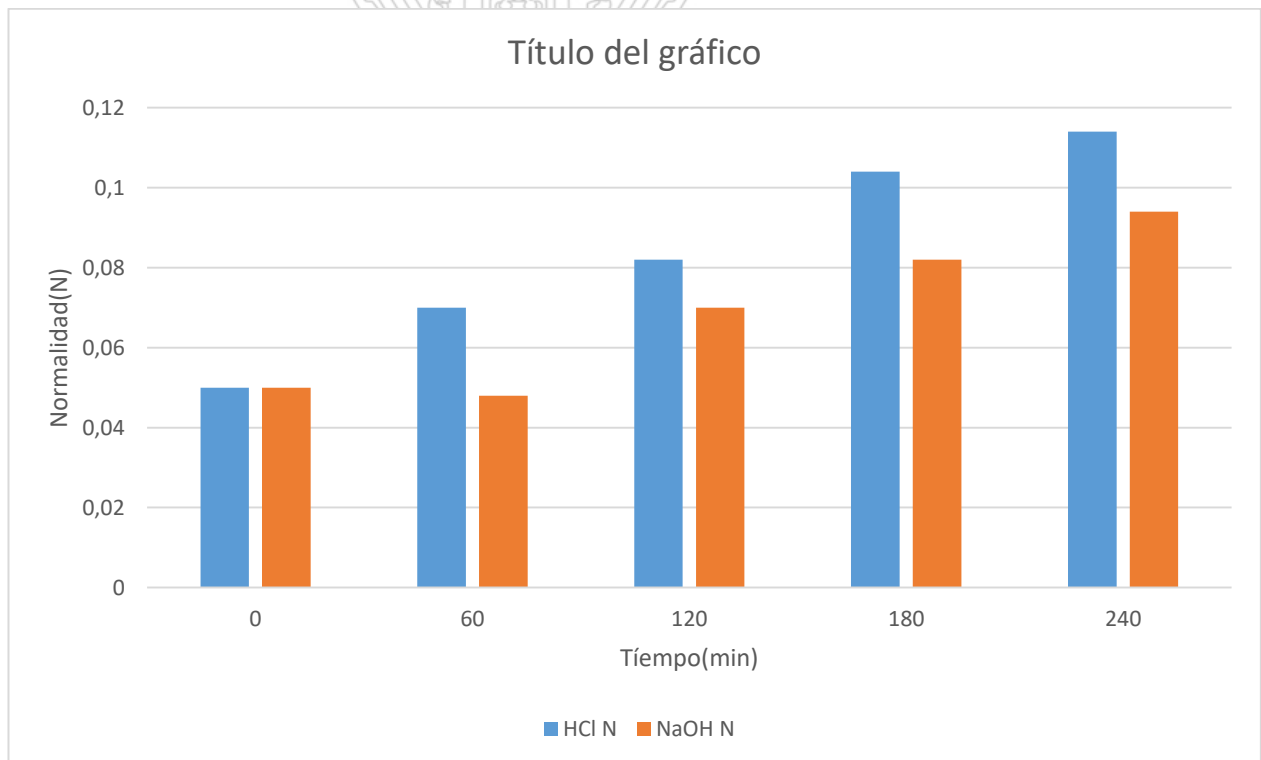
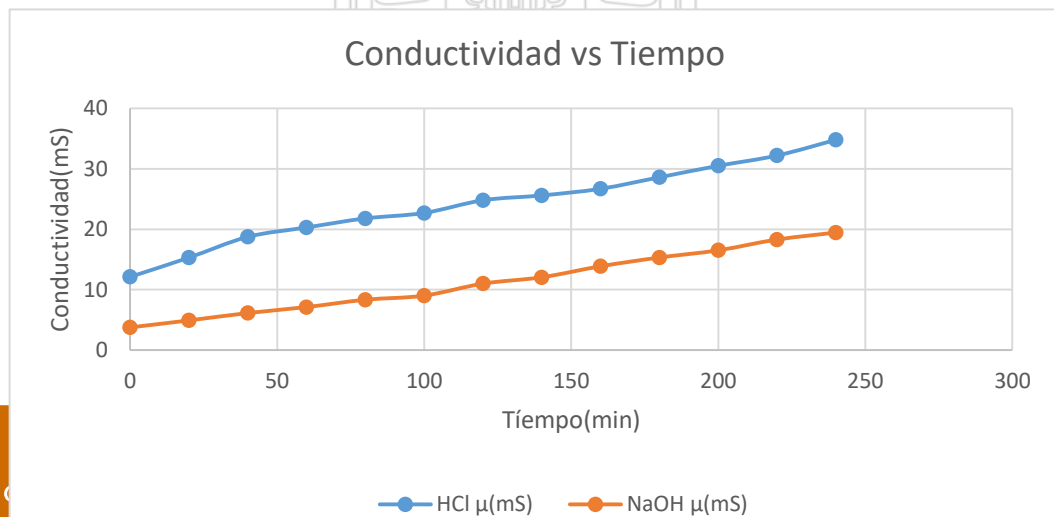


Tabla N° 4.4: Conductividad, Ph, Concentración de HCl y NaOH vs Tiempo a las condiciones de operación. NaCl 20 g/L , flujo 400 mL/min , voltaje 10 V y concentración inicial de HCl , NaOH 0,05

Tiempo (min)	Conductividad(Ms)		pH		Concentración Normal (N)	
	HCl	NaOH	HCl	NaOH	HCl	NaOH
0	12.12	3.77	2.35	12.01	0.045	0,048
20	15.31	4.92	1.92	12.58		
40	18.74	6.14	1.77	12.73		
60	20.3	7.13	1.70	12.8	0.051	0.050
80	21.8	8.34	1.62	12.91		
100	22.7	9.02	1.58	13.06		
120	24.8	11.01	1.52	13.07	0.062	0.058
140	25.6	12.06	1.49	13.15		
160	26.7	13.88	1.43	13.17		
180	28.6	15.33	1,39	13.2	0.082	0.062
200	30.5	16.52	1.36	13.23		
220	32.2	18.3	1.31	13.25		
240	34.8	19.45	1.29	13.3	0.104	0.076

Grafica N° 4.10 :Conductividad del ácido y base - tiempo



Grafica N° 4.11: Concentración Normal del ácido y base – Tiempo y pH

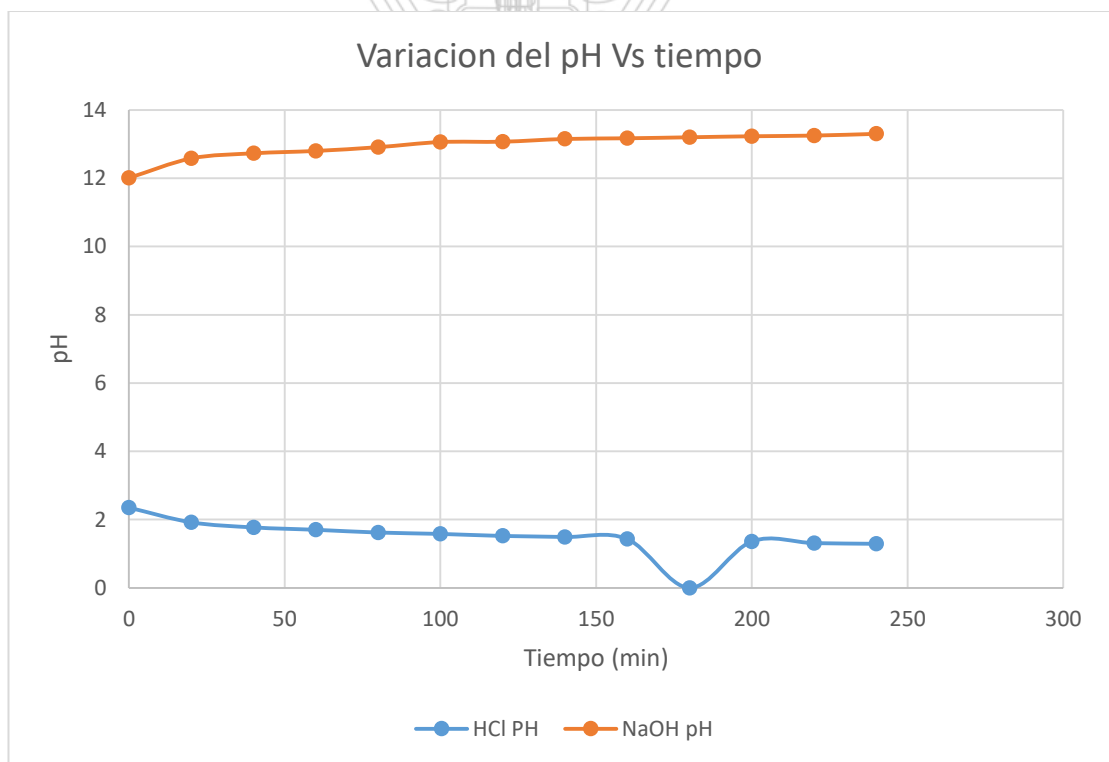
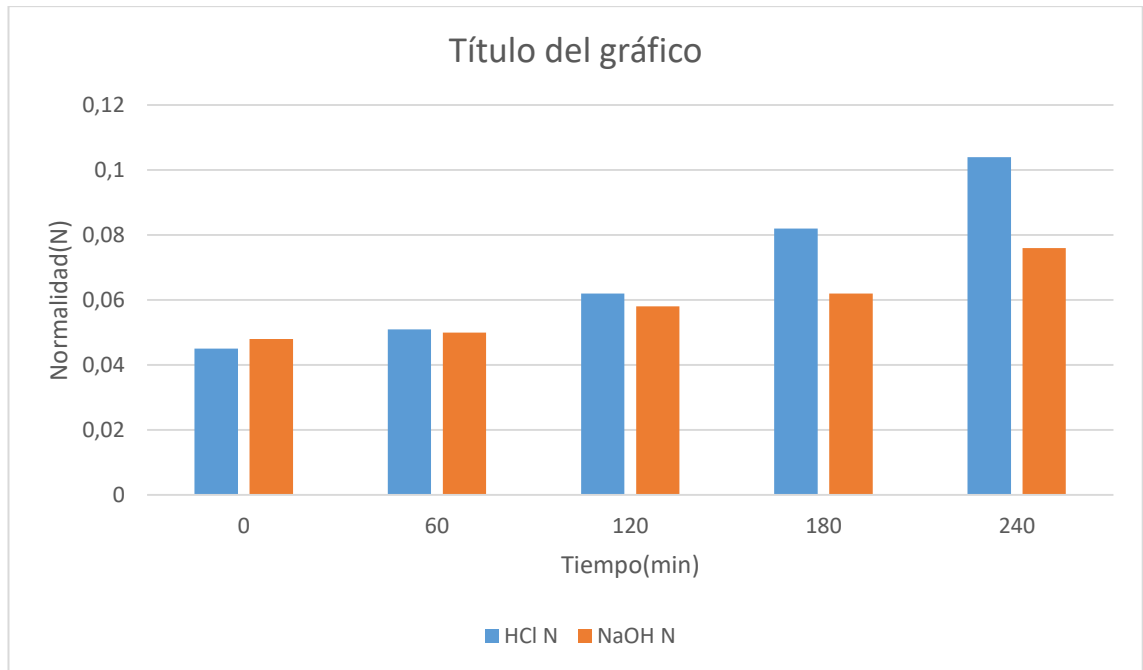


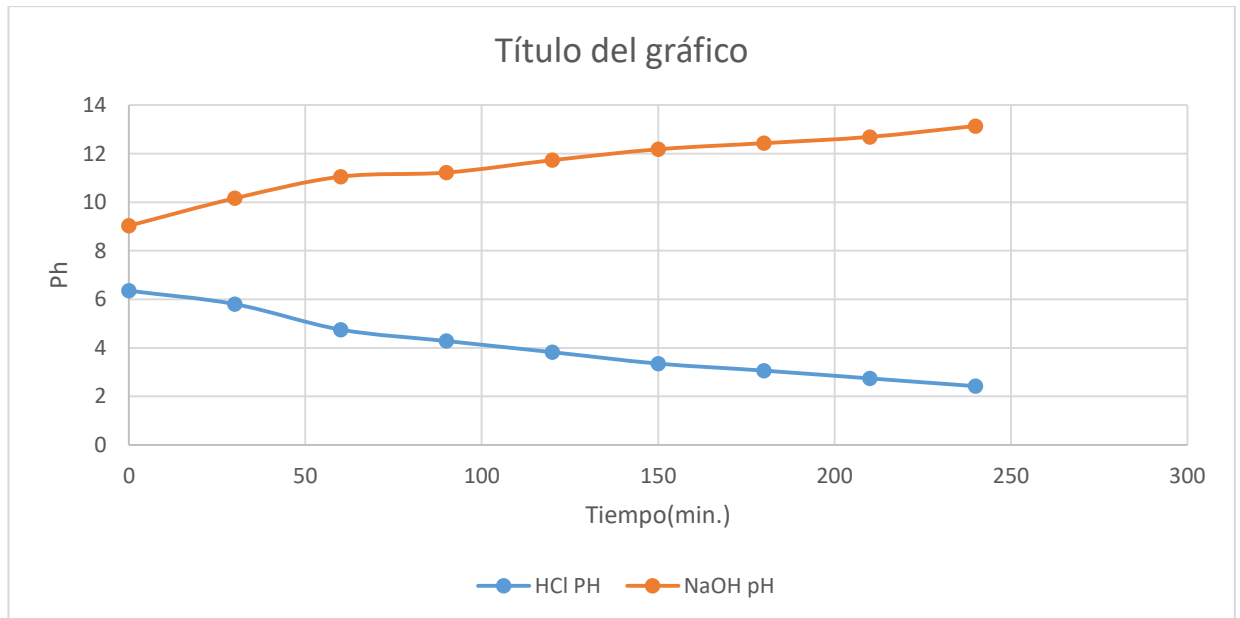
Tabla N°4.5: Conductividad, Ph, Concentración de HCl y NaOH vs Tiempo a las condiciones de operación. NaCl 20 g/L , flujo 600 mL/min , voltaje 15 V y concentración inicial de HCl , NaOH 0,0

Tiempo (min)	Conductividad(ms)		pH		Concentración Normal (N)	
	HCl	NaOH	HCl	NaOH	HCl	NaOH
0	0.0222	0.0242	6.35	9.03	0	0
30	0.0351	0.046	5.8	10.16		
60	0.0633	0.0513	4.75	11.05	0,0005	0,0005
90	0.1177	0.09002	4.28	11.22		
120	0.25801	0.12006	3.82	11.73	0,001	0,001
150	0.352	0.369	3.35	12.18		
180	1.464	0.805	3.06	12.43	0,0030	0,004
210	2.29	1.357	2.74	12.69		
240	4.03	2.38	2.42	13.14	0,013	0,01

Grafica N° 4.12: Conductividad del ácido y base. tiempo



Grafica N° 4.13: pH del ácido HCl y NaOH – Tiempo



Grafica N° 4.14: Concentración Normal del ácido y base – Tiempo

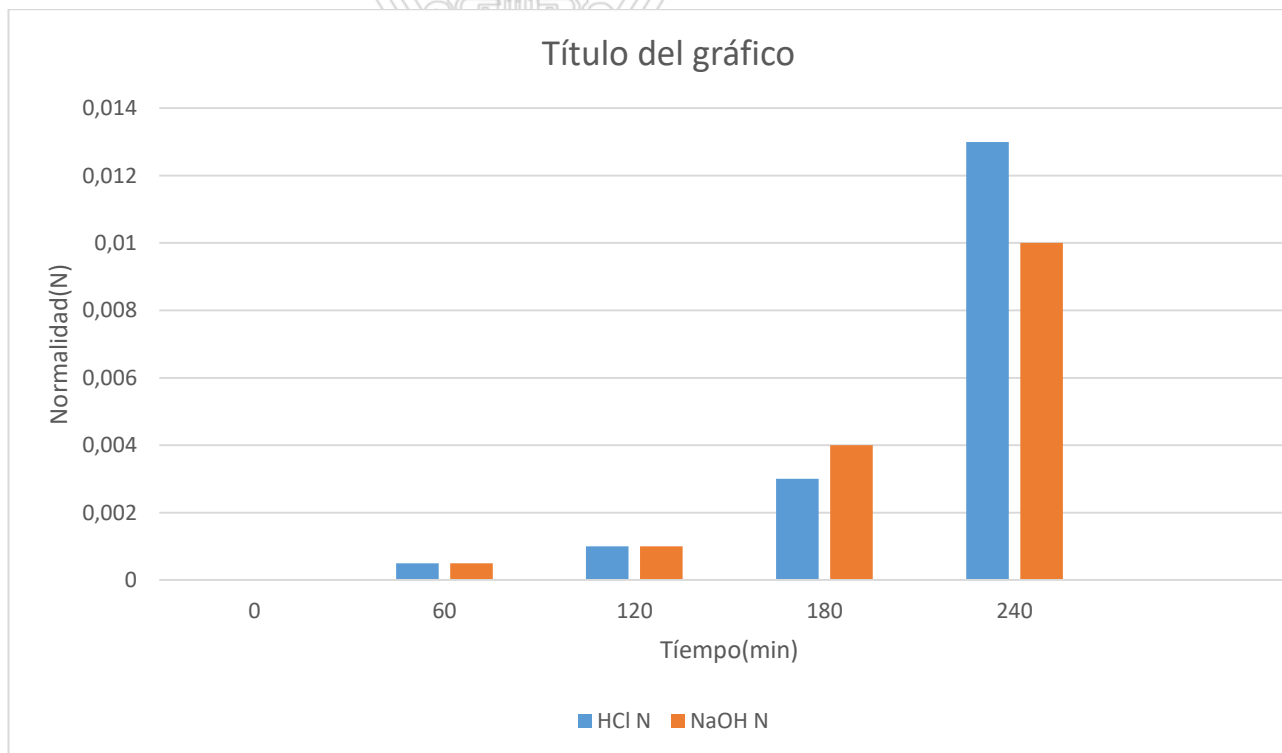
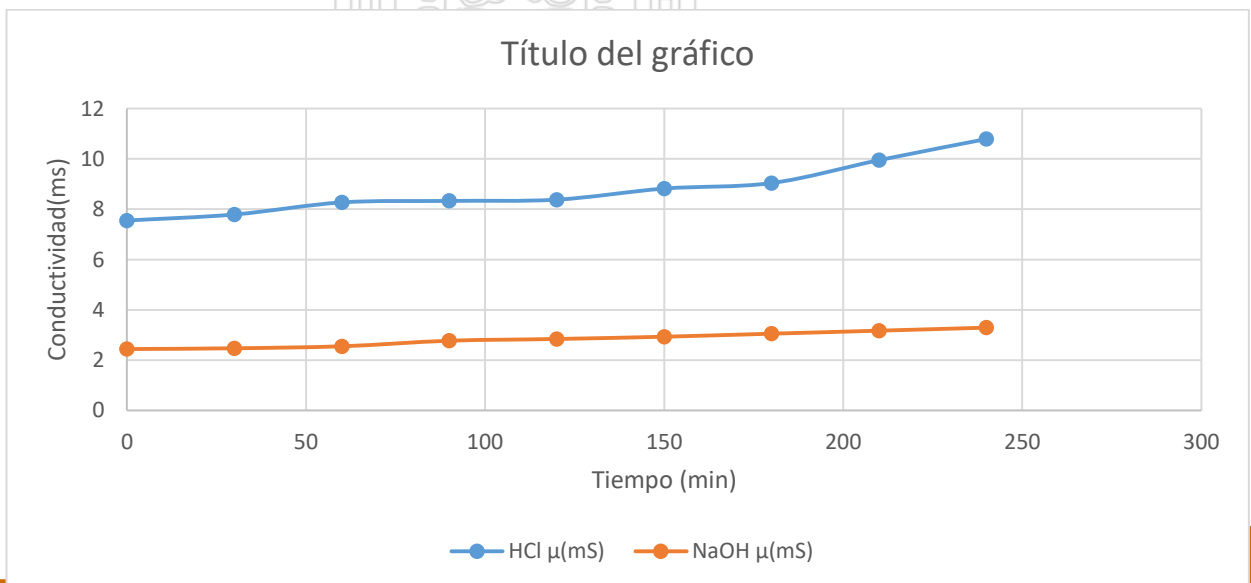


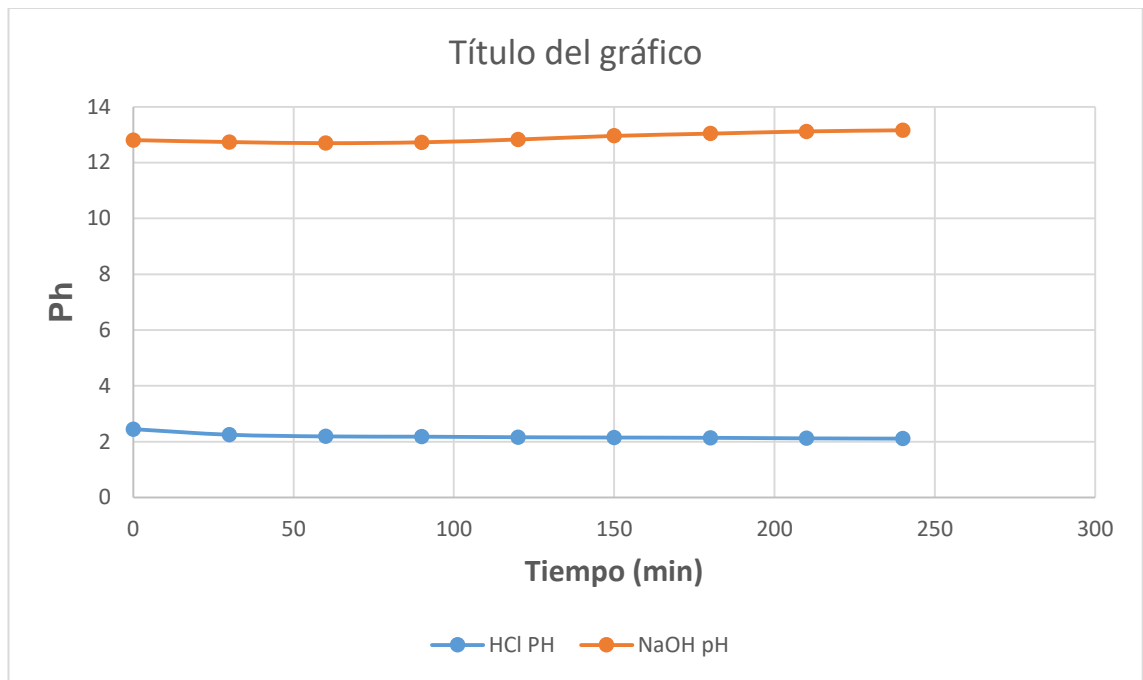
Tabla N°4.6: Conductividad, Ph, Concentración de HCl y NaOH vs Tiempo a las condiciones de operación. NaCl 20 g/L , flujo 800 mL/min , voltaje 5 V y concentración inicial de HCl , NaOH 0,025

Tiempo (min)	Conductividad(Ms)		pH		Concentración Normal (N)	
	HCl	NaOH	HCl	NaOH	HCl	NaOH
0	7.55	2.44	2.45	12.81	0,025	0,025
30	7.79	2.47	2.25	12.74		
60	8.27	2.55	2.19	12.7	0,026	0,014
90	8.33	2.77	2.18	12.73		
120	8.38	2.84	2.16	12.83	0,03	0,016
150	8.82	2.93	2.15	12.96		
180	9.04	3.05	2.14	13.04	0,036	0,02
210	9.95	3.17	2.12	13.12		
240	10.79	3.29	2.11	13.16	0,045	0,024

Gráfica N° 4.15: Conductividad del ácido y Hidróxido de sodio - tiempo



Grafica N°4.16: pH del ácido HCl y NaOH – Tiempo



Grafica N° 4.17: Concentración Normal del ácido y base – Tiempo

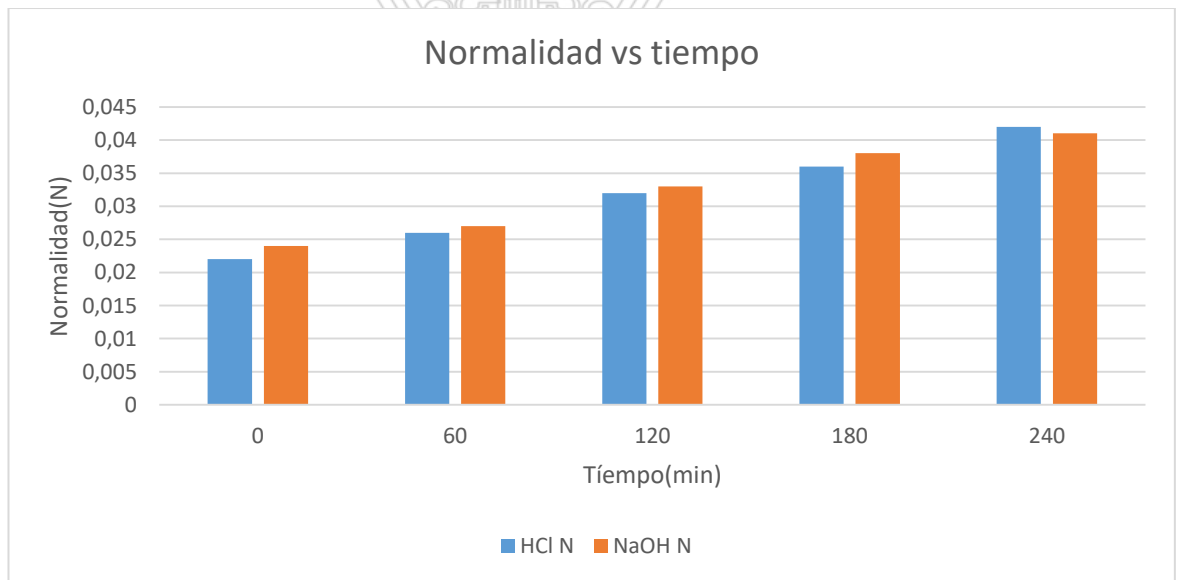
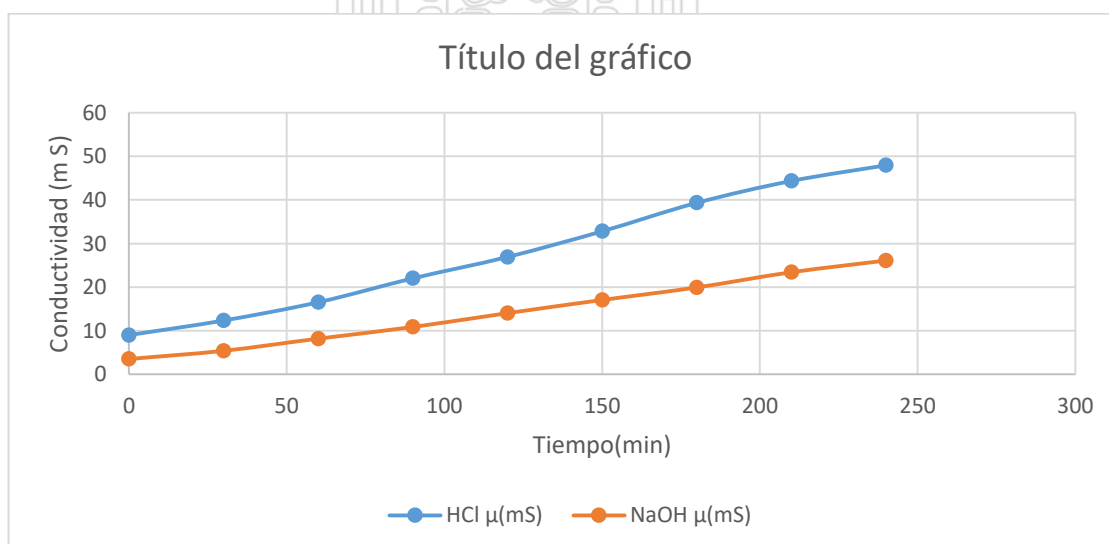


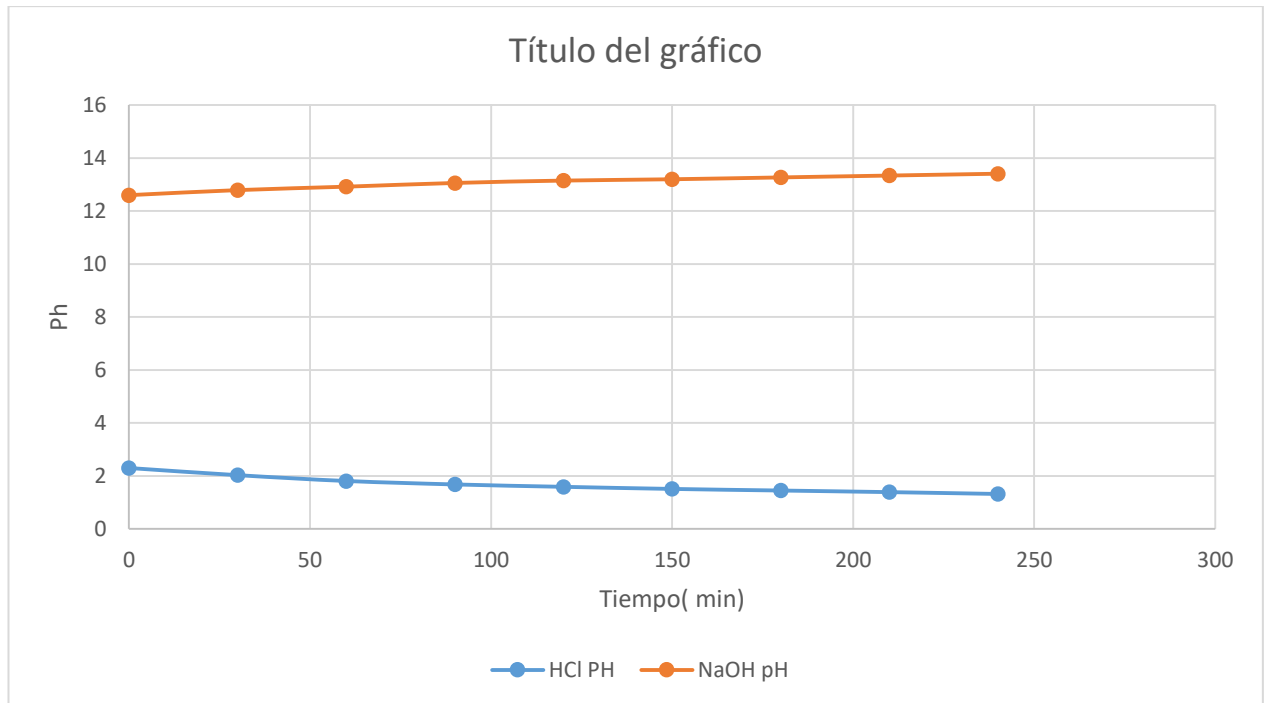
Tabla N°4.7: Conductividad, Ph, Concentración de HCl y NaOH vs Tiempo a las condiciones de operación. NaCl 50 g/L , flujo 400 mL/min , voltaje 15 V y concentración inicial de HCl , NaOH 0,025

Tiempo (min)	Conductividad(Ms)		pH		Concentración Normal (N)	
	HCl	NaOH	HCl	NaOH	HCl	NaOH
0	9.01	3.53	2.3	12.6	0,025	0,025
30	12.35	5.41	2.03	12.79		
60	16.53	8.19	1.81	12.92	0,05	0,039
90	22.01	10.86	1.68	13.06		
120	26.91	14.04	1.59	13.15	0,088	0,066
150	32.79	17.05	1.51	13.2		
180	39.32	19.93	1.45	13.27	0,124	0,103
210	44.33	23.41	1.39	13.34		
240	47.91	26.09	1.32	13.41	0,16	0,132

Grafica N°4.18: Conductividad del ácido y base - tiempo



Grafica N° 4.19: pH del ácido HCl y NaOH – Tiempo



Grafica N°4.20: Concentración Normal del ácido y base – Tiempo

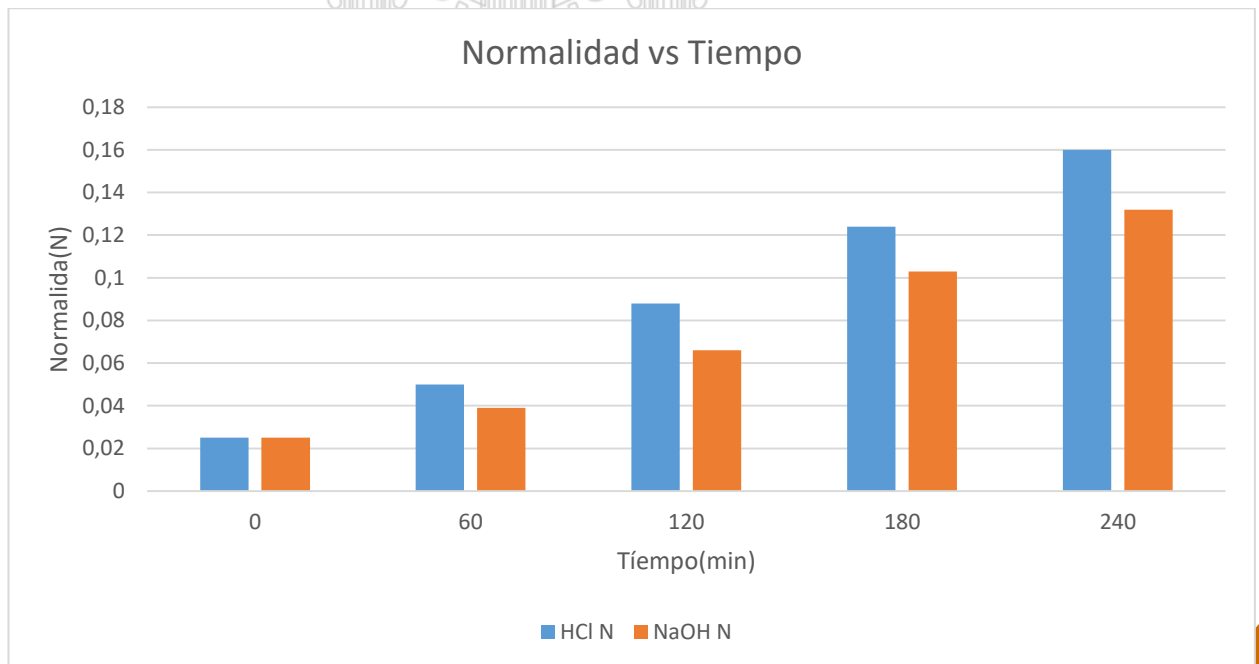
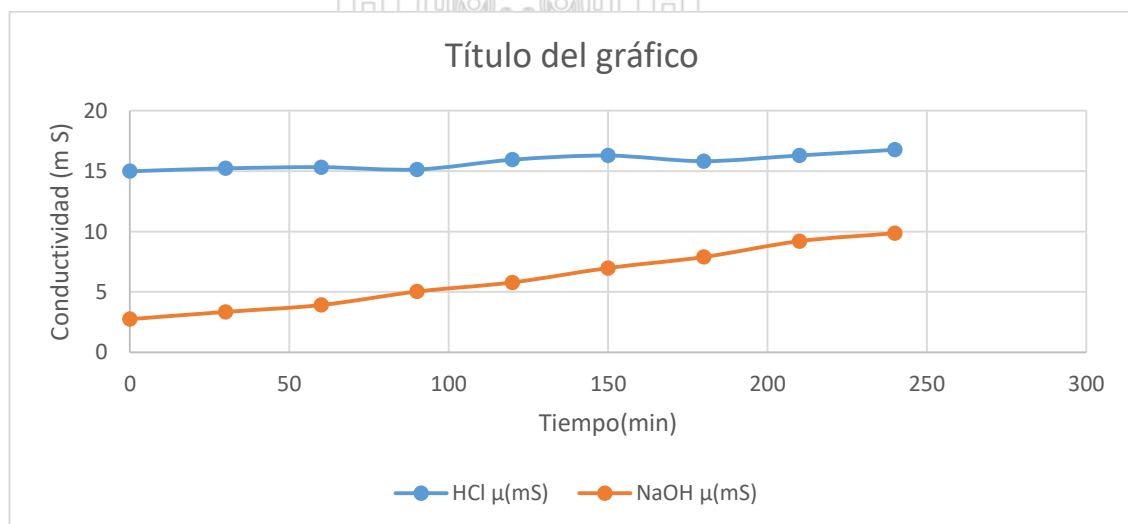


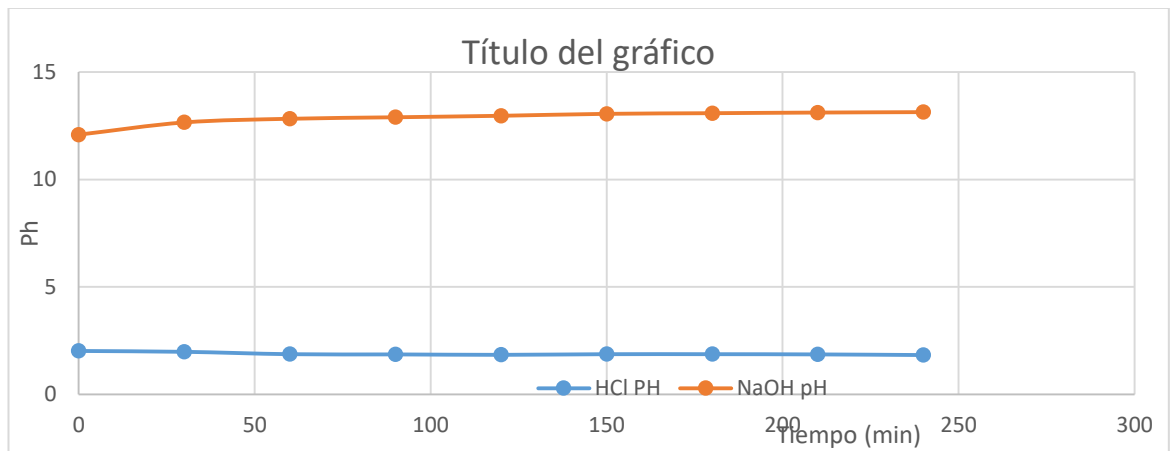
Tabla N°4.8: Conductividad, Ph, Concentración de HCl y NaOH vs Tiempo a las condiciones de operación. NaCl 50 g/L , flujo 600 mL/min , voltaje 5 V y concentración inicial de HCl , NaOH 0,05

Tiempo (min)	Conductividad (Ms)		pH		Concentración Normal (N)	
	HCl	NaOH	HCl	NaOH	HCl	NaOH
0	14.98	2.75	2.02	12.09	0,048	0,048
30	15.22	3.35	1.98	12.66		
60	15.32	3.92	1.87	12.83	0,052	0,051
90	15.13	5.03	1.86	12.9		
120	15.94	5.79	1.84	12.97	0,056	0,055
150	16.28	6.98	1.87	13.06		
180	15.82	7.89	1.87	13.09	0,059	0,059
210	16.29	9.2	1.86	13.12		
240	16.76	9.86	1.83	13.14	0,065	0,061

Grafica N°4.21: Conductividad del ácido y Hidróxido de sodio - tiempo



Grafica N° 4.22: pH del ácido HCl y NaOH – Tiempo



Grafica N° 4.23: Concentración Normal del ácido y base – Tiempo

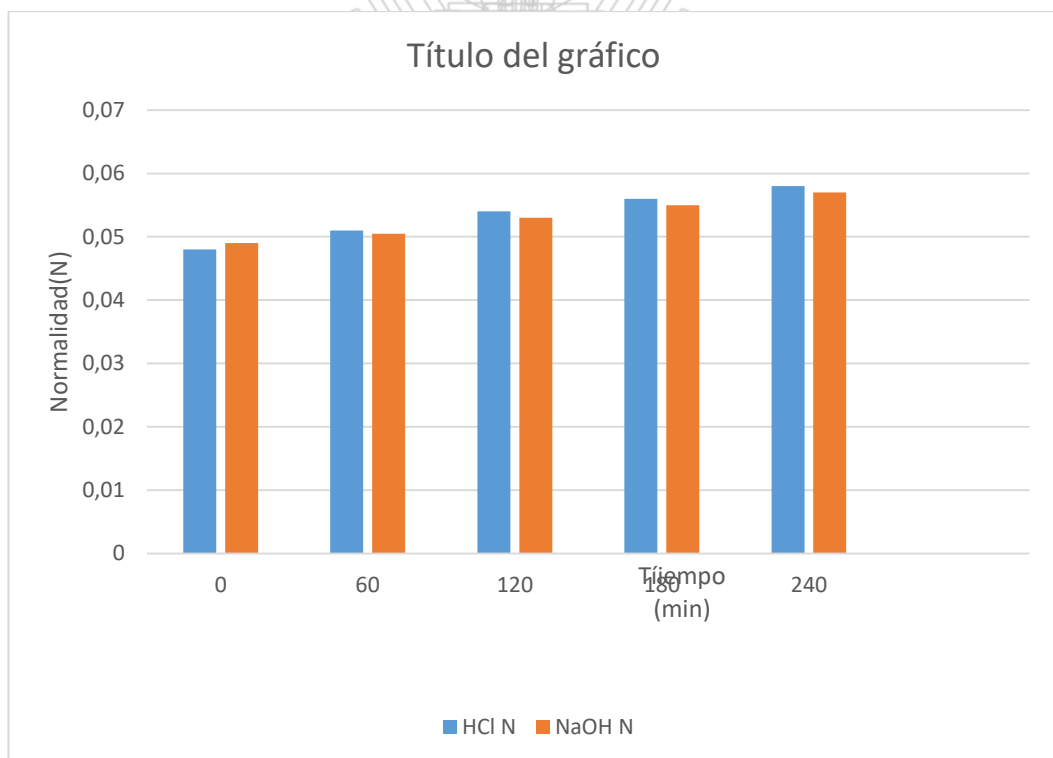
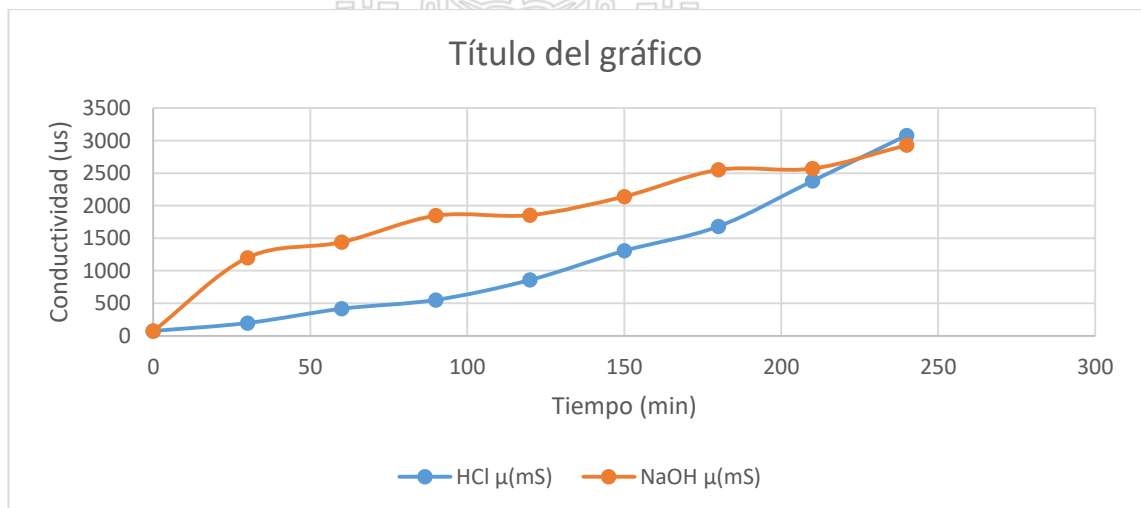


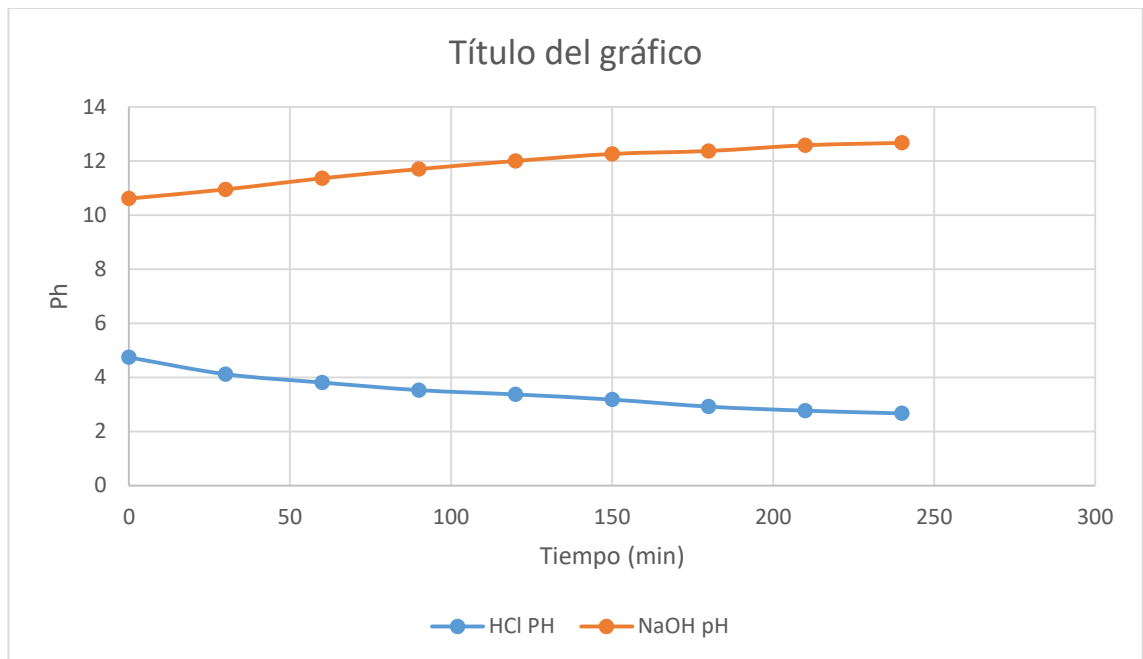
Tabla N°4.9 :Conductividad, Ph, Concentración de HCl y NaOH vs Tiempo a las condiciones de operación. NaCl 50 g/L , flujo 800 mL/min , voltaje 10 V y concentración inicial de HCl , NaOH 0,0

Tiempo (min)	Conductividad(us/cm)		pH		Concentración Normal (N)	
	HCl	NaOH	HCl	NaOH	HCl	NaOH
0	74.1	72.4	4.74	10.61	0	0
30	197	1200	4.12	10.95		
60	416	1439	3.81	11.36	0,006	0,09
90	552	1846	3.53	11.7		
120	858	1855	3.37	12	0,009	0,015
150	1306	2140	3.18	12.26		
180	1681	2550	2.92	12.37	0,015	0,016
210	2380	2570	2.77	12.58		
240	3080	2930	2.67	12.67	0,0226	0,018

Grafica N°4.24: Conductividad del ácido y base – tiempo



Gráfica N° 4.25: pH del ácido HCl y NaOH – Tiempo



Gráfica N° 4.26 Concentración Normal del ácido y base –Tiempo

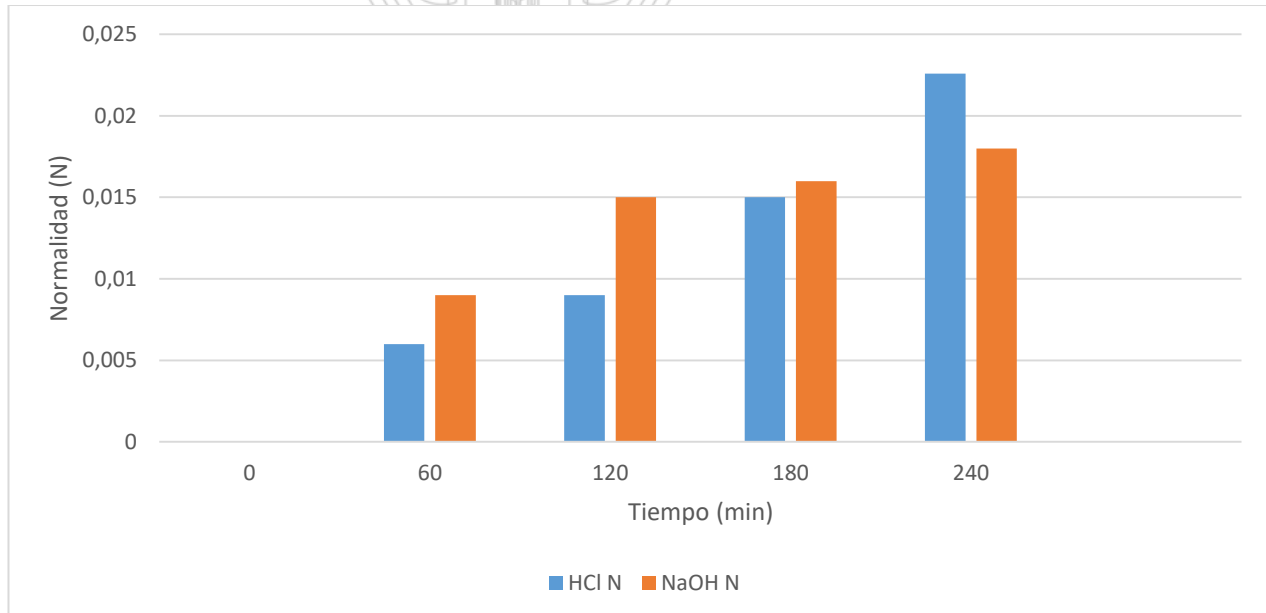


TABLA N° 4.10: Resultados del diseño experimental (Taguchi)

N°	X1 (g/L)	X2 (mL/min)	X3 (V)	X4 (N)	Ácido (N _{HCl})	Base (N _{NaOH})	% Eficiencia de corriente	% separación de NaCl
1	5	400	5	0	0,004	0,0035	91,9%	2,25%
2	5	600	10	0,025	0,07	0,055	99,621%	46,13%
3	5	800	15	0,05	0,114	0,094	76,12%	77,9%
4	20	400	10	0,05	0,104	0,076	98,6%	18,58%
5	20	600	15	0	0,013	0,010	57,19%	2,27%
6	20	800	5	0,025	0,045	0,024	94,6%	4,65%
7	50	400	15	0,025	0,160	0,132	87,05%	15,43%
8	50	600	5	0,05	0,058	0,057	98,9%	4,37%
9	50	800	10	0	0,0226	0,018	56,7%	13,6%

Elaboración: Fuente Propia

RESULTADOS MEDIANTE EL SOFTWARE MINITAB

DISEÑO DE TAGUCHI

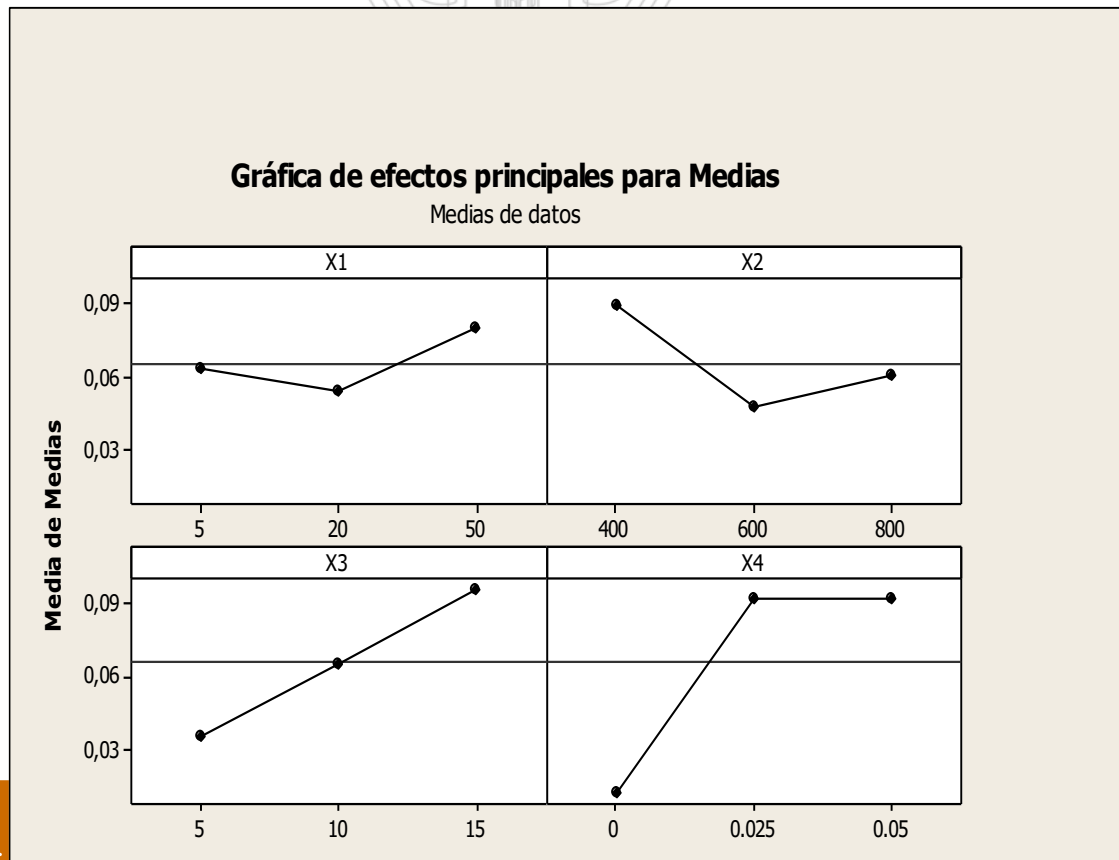
Diseño Taguchi de arreglo ortogonal

L9(3**4), Factores: 4, Corridas: 9, Columnas de L9(3**4) Arreglo 1 2 3 4

TABLA N° 4.11: Tabla de respuesta para medias

Nivel	X1	X2	X3	X4
1	0,06267	0,08933	0,03567	0,01320
2	0,05400	0,04700	0,06553	0,09167
3	0,08020	0,06053	0,09567	0,09200
Delta	0,02620	0,04233	0,06000	0,07880
Clasificar	4	3	2	1

Gráfica N° 4.27 Gráfica de efectos principales



ANOVA UNIDIRECCIONAL: Y VS. X1

Fuente	GL	SC	MC	F	P
X1	2	0,00107	0,00053	0,16	0,859
Error	6	0,02057	0,00343		
Total	8	0,02164			

S = 0,05855 R-cuad. = 4,94% R-cuad.(ajustado) = 0,00%

ICs de 95% individuales para la media agrupada basados en Desv.Est.

Nivel	N	Media	Desv.Est.
5	3	0,06267	0,05537
20	3	0,05400	0,04616
50	3	0,08020	0,07134

Desv.Est. agrupada = 0,05855

ANOVA UNIDIRECCIONAL: Y VS. X2

Fuente	GL	SC	MC	F	P
X2	2	0,00280	0,00140	0,45	0,659
Error	6	0,01884	0,00314		
Total	8	0,02164			

S = 0,05603 R-cuad. = 12,96% R-cuad.(ajustado) = 0,00%

ICs de 95% individuales para la media basados en Desv.Est. agrupada

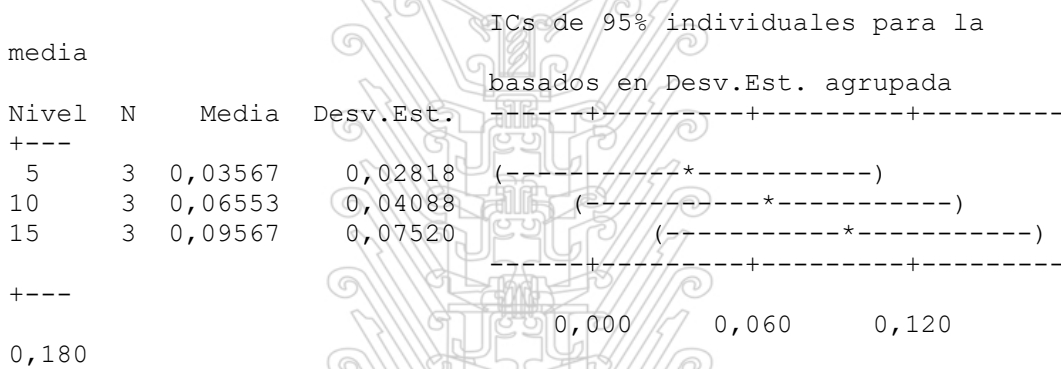
Nivel	N	Media	Desv.Est.
400	3	0,08933	0,07903
600	3	0,04700	0,03005
800	3	0,06053	0,04764

Desv.Est. agrupada = 0,05603

ANOVA UNIDIRECCIONAL: Y VS. X3

Fuente	GL	SC	MC	F	P
X3	2	0,00540	0,00270	1,00	0,423
Error	6	0,01624	0,00271		
Total	8	0,02164			

S = 0,05203 R-cuad. = 24,95% R-cuad.(ajustado) = 0,00%

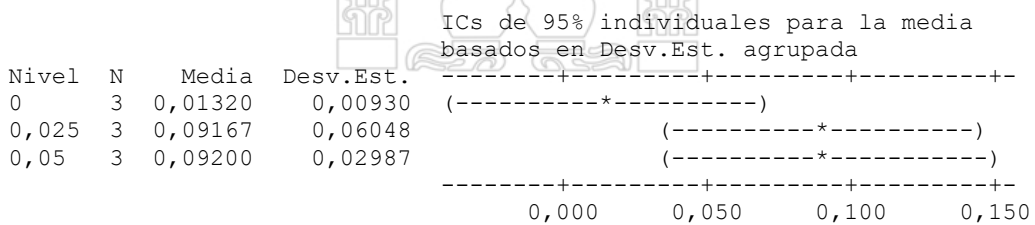


Desv.Est. agrupada = 0,05203

ANOVA UNIDIRECCIONAL: Y VS. X4

Fuente	GL	SC	MC	F	P
X4	2	0,01237	0,00618	4,00	0,079
Error	6	0,00927	0,00155		
Total	8	0,02164			

S = 0,03931 R-cuad. = 57,15% R-cuad.(ajustado) = 42,86%



Desv.Est. agrupada = 0,03931

CAPITULO V

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1.1 Efecto de Parámetros de Operación del Proceso

El módulo de electrodiálisis con membrana bipolar construido, mostró un buen funcionamiento de operación en la obtención ácido clorhídrico, hidróxido de sodio y desalinización de la salmuera.

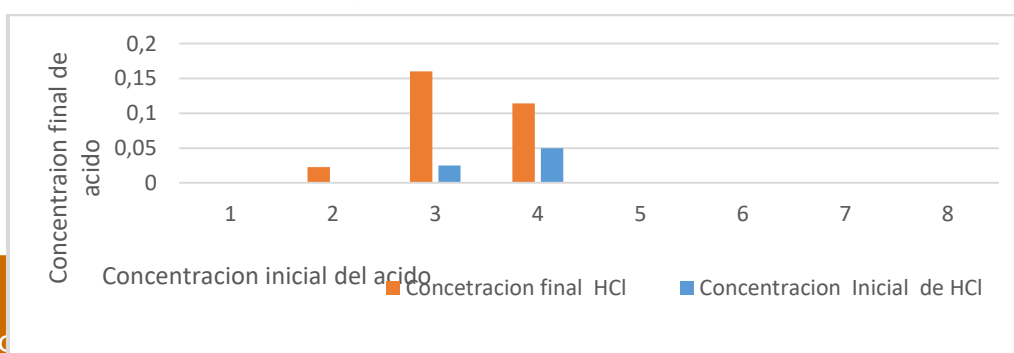
Cuando el parámetro de operación trabaja a 15 voltios, concentración inicial de 0,05N, flujo de 400 mL/min y concentración de salmuera de 50g/L. Presenta la mejor alternativa de operación, dando como resultado una mayor concentración de ácido clorhídrico y hidróxido de sodio formado, igual forma mayor alcalinidad del hidróxido de sodio y acides del ácido clorhídrico.

5.1.1.1 Efecto de Concentración Inicial de ácido y base

De la tabla N° 4.10 se observa cuando la experimentación se inicia con agua pura la concentración alcanzada del ácido es de 0,022 esto se debe a la poca presencia de iones en la solución.

De la gráfica N°5.1 se observa cuando la experimentación se inicia con una concentración de 0,025 y 0,025N de ácido, la solución alcanza la concentración de 0,16N de ácido y 0,132N de base. La conductividad es mayor a valores iniciales altos de ácido y base ya que hay más iones disponibles para el transporte corriente eléctrica, como se indica (7)

Figura N°5.1 :Concentración del ácido Vs concentración inicial del acido

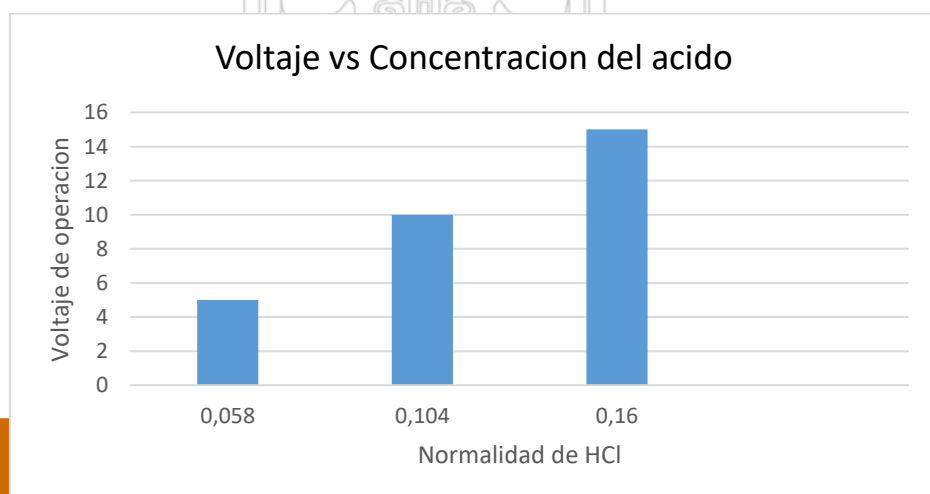


5.1.1.2 Efecto de Voltaje

El efecto de potencial eléctrico en el rango de operación (5 ,10 y15) sobre la concentración ,conductividad y pH del ácido y base, se muestra que a 15 voltios presenta un impacto directo con el incremento de concentración, conductividad y Ph para el ácido y base como se muestra en la tabla N°4.10 alcanzando (0,114 y 0,16 N de ácido) y de la base 0,094 7 0,132 N al cabo de 4h de operación del equipo de electrodiálisis bipolar. Esto es porque cuando el voltaje de la pila es mayor, hay suficiente corriente para que el agua en la membrana bipolar se ioniza.

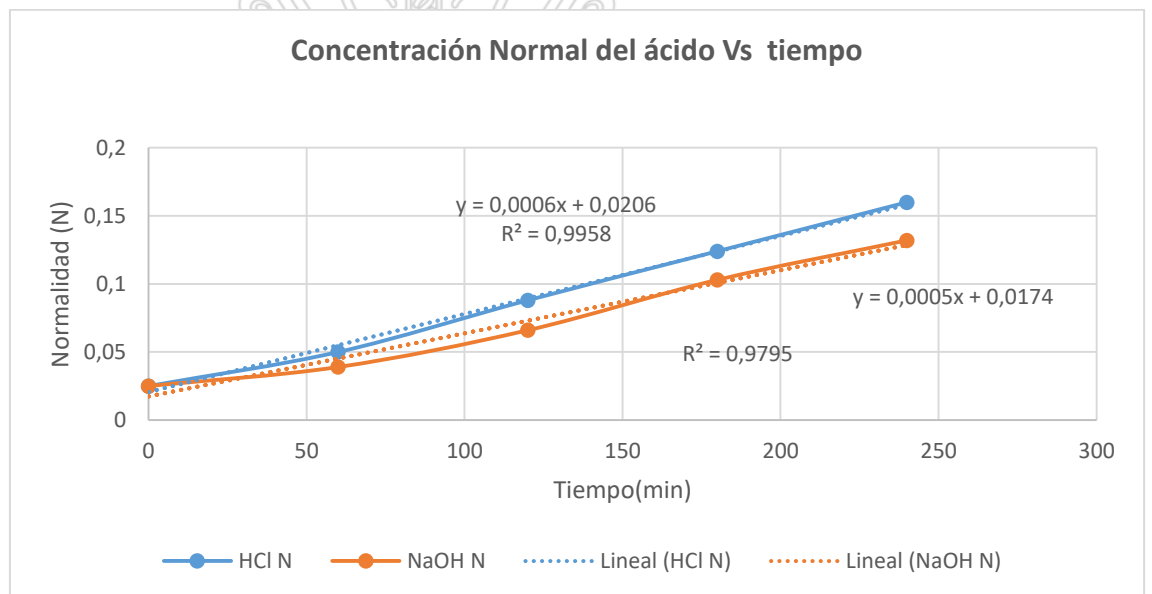
Se observa que cuando trabaja a 5 voltios se obtiene la más baja concentración de ácido y base y el incremento de conductividad, pH es más lento en función del tiempo. En el artículo (8) Se alimentaron salmueras libres de cationes divalentes que contienen 50 g/L de NaCl en la celda de EDBM con el fin de producir NaOH y HCl bajo Recirculación. De acuerdo con los resultados, EDBM es un Método para la desalación de salmueras que producen ácido y bases encontró que un aumento De la tensión aplicada representaron mayores concentraciones de ácido y base.

Figura N°5.2: Concentración Normal del ácido Vs voltaje



De la figura N°5.3 se observa que la concentración normal del ácido y la base es una función lineal del tiempo cuya ecuación para el ácido es de $y = 0,0006x + 0,0206$ y la base $y = 0.0005x + 0.0174$

Figura N°5.3: Concentración Normal del ácido y base Vs tiempo a 15 V ,400ml /min. y 0,025 N inicial

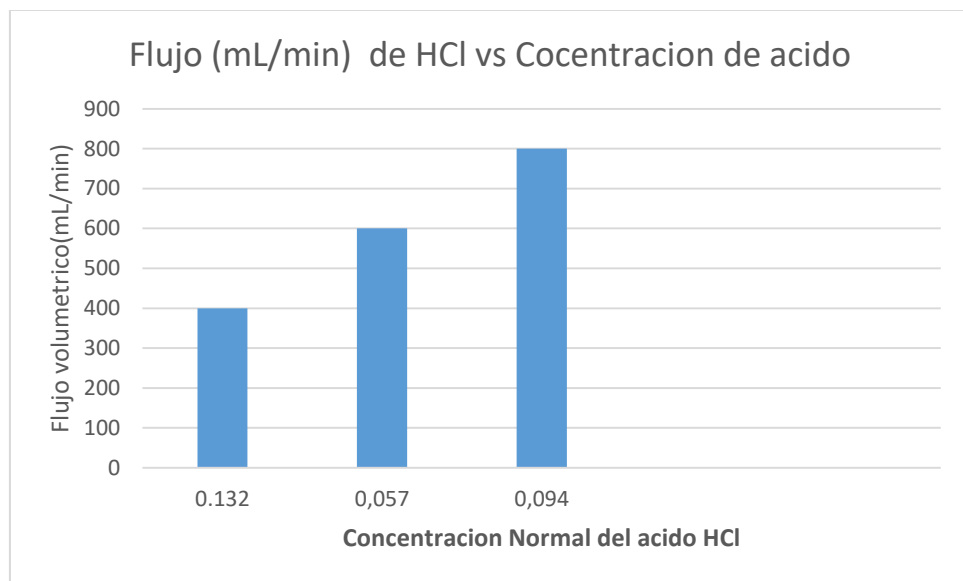


5.1.1.3 Efecto de Flujo de Alimentación

El efecto del flujo de alimentación entre los rangos de (400,600 y 800 mL/min.) sobre la concentración de ácido y base se observa en la tabla N° 4.10 que a 400 mL/ min. Presenta mayor concentración de ácido (0,16N) y base (0,13N) manteniendo constante el voltaje de 15 voltios.

De la Fig. 5.4 se observa que a 400 mL/min. se obtiene 013N de ácido Igual forma no existe variación significativa de la concentración de ácido clorhídrico cuando el equipo opera a 600 y 800 mL/min.

Figura. N°5.4: Concentración Normal del ácido Vs flujo del ácido



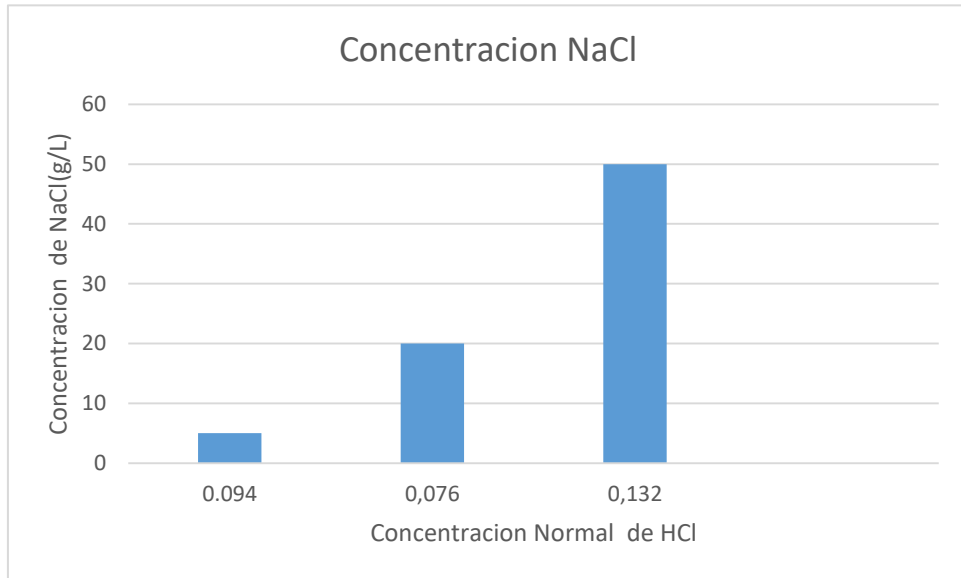
5.1.1.4 Efecto de la Concentración de Salmuera

La concentración de cloruro de sodio utilizada en la celda de electrodiálisis bipolar afecta en forma directa a la concentración del ácido y la base alcanzada al cabo de 4 h de experimentación.

En la Fig. 5.6. Se observa la concentración del ácido aumenta con la concentración de la alimentación de la salmuera, a 50g/L se obtiene una concentración de 0,13N de ácido

De la tabla N° 4.10 se observa que cuando la solución de salmuera es de 50g/L se obtiene mayor concentración, conductividad y pH de ácido y base manteniendo constante el voltaje de 15 voltios y flujo de 400mL./min.

Figura N°5.6: Concentración Normal del ácido Vs concentración de salmuera



5.2 CONCLUSIONES

El objetivo de este trabajo experimental fue evaluar en qué medida influye los parámetros operacionales en la concentración de ácido y base producido a partir de salmuera vía electrodiálisis bipolar y ser una alternativa para mejorar la gestión de los efluentes salinos provenientes de plantas de desalinización.

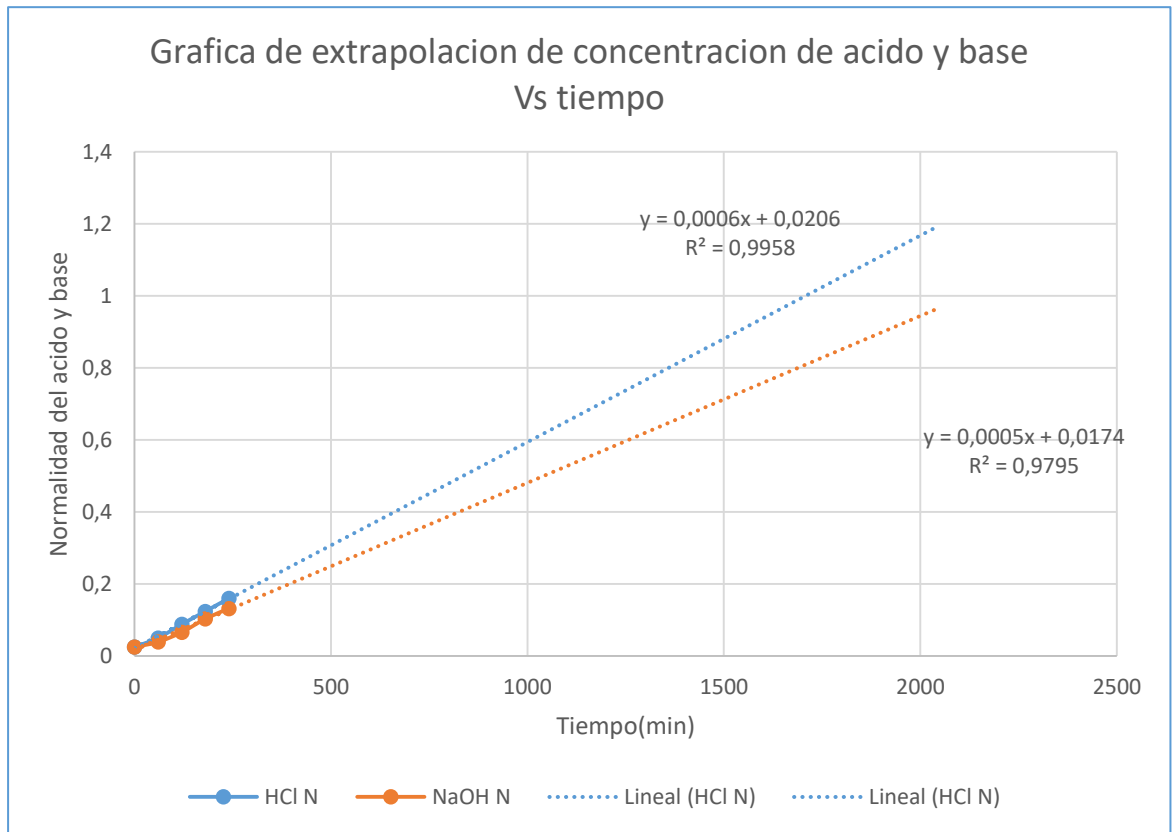
1. Los resultados muestran claramente cuando el voltaje de operación de la celda es 15V, flujo volumétrico del ácido y base es de 400mL / min, y la concentración inicial del ácido y base de 0,05N Como se muestra en la tabla N° 4.10 la contracción del ácido alcanza a 0,16N y 0,132 N de la base.

De los cuatro parámetros de operación del equipo de electrodiálisis bipolar en estudio el de mayor influencia en la contracción es el potencial eléctrico como se muestra en la tabla N° 4.10 alcanzando la contracción del ácido de 0,16N y 0,132 N de la base.

Se observa cuando el equipo de electrodiálisis, inicia con agua pura en los compartimientos de ácido y base se obtiene muy baja concentración, alcanzando 0,004 N para el ácido y 0,035 N como se muestra en la tabla N° 4.10

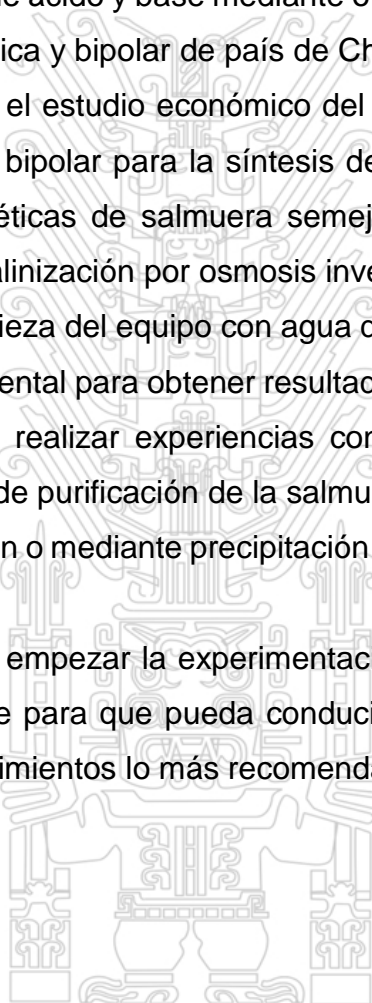
2. La concentración de cloruro de sodio más adecuada para alcanzar mayor concentración de ácido base es de 50 g/L de cloruro de sodio como se muestra en la gráfica N°5.6
3. De la gráfica N° 5.7 se observa que, la contracción normal del ácido clorhídrico y hidróxido de sodio presenta una tendencia lineal en función del tiempo de operación del módulo, obtenido una ecuación de una recta. Si efectuamos una extrapolación de la recta de la gráfica 5.3 al cabo de 30h de operación del módulo se obtendría una concentración de 1,1 N de ácido clorhídrico 0,9174N de hidróxido de sodio:

Figura N°5.7: Concentración Normal del ácido y base Vs tiempo



5.3 RECOMENDACIONES

1. Se recomienda comparar la influencia de parámetros operacionales en la concentración de ácido y base mediante otras configuraciones de la membrana de electrodiálisis bipolar como la configuración de la membranas catiónica y bipolar (C + BP + C + BP + C)
2. Se recomienda comparar la influencia de parámetros operacionales en la concentración de ácido y base mediante otras membranas de intercambio catiónico, anionica y bipolar de país de China y Japón
3. Se recomienda el estudio económico del proceso de electrodiálisis con membrana bipolar para la síntesis de ácido y base a partir de soluciones sintéticas de salmuera semejantes a concentrados de plantas de desalinización por osmosis inversa.
4. Efectuar la limpieza del equipo con agua destilada después de cada corrida experimental para obtener resultados lo más exactos posible
5. Se recomienda realizar experiencias con agua residuales reales, previo sistema de purificación de la salmuera utilizando membranas de nana filtración o mediante precipitación de iones calcio, magnesio y sulfatos
6. Se recomienda empezar la experimentación con cierta contracción de ácido y base para que pueda conducir la corriente eléctrica en ambos compartimientos lo más recomendable es de 0,05N de ácido y base.



5.4 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. A. Igual Muñoz, J. García Antón, J.L. Guiñón Segura y V. Pérez Herranz (1999) *Planta piloto de electrodiálisis Aplicaciones a la desalación de agua salobre* Dpto. de Ingeniería Química y Nuclear. Universidad Politécnica de Valencia
2. Hong-JooLee.HeinerStrathmann,Seung-HyeonMoon.”(2002) Designing of electro dialysis desalination plant”.Desalination142 267
3. Laura J. Banasiak, Thomas W. Kruttschnitt. Andrea.Schafer.” (2007) Desalination using electro dialysis as a function of voltage and salt concentration”.Desalination 205 38-46.
4. J.M. Ortiz, E. Exposito, F. Gallud, V. Garcia- Garcia, V. Montiel, A. Aldaz. (2006) Photovoltaic electro dialysis system for brackish water desalination: Modeling of global process.Journal of membrane science 274 pagina 138-149.
5. Juan Manuel Ortiz, Eduardo Expósito, Francisco Gallud, Vicente García-García, Vicente Montiel*, Antonio Aldaz, (2007) Electro dialysis of brackish water powered by photovoltaic energy without batteries: direct connection behavior, 208 89–100
6. KhaledWalha , Raja Ben Amar, Loubna Firdaous, Francis Quemeneur, pascal Jaouen. (2007) Brackish groundwater treatment by nanofiltration, reverse osmosis and electro dialysis in Tunisia: performance and cost comparison.Desalination 207 95-106.
7. Mariam Tureck (2002) Optimización de electro dialytic desalination in diluted solutions.Desalination 153 ,383-387.
8. M.P. Mier, R. Ibañez, I. Ortiz (2007) Influence of process variables on the production of bovine milk casein by electro dialysis with bipolar membranes Departamento de Ingeniería Química y Química Inorgánica, Universidad de Cantabria, Avda. Los Castros s/n, 39005 Santander, Spain
9. M. Reig , S. Casas , O. Gibert , C. Valderrama, J.L. Cortina (2016) Integration of nanofiltration and bipolar electro dialysis for

- valorization of seawater desalination brines: Production of drinking and waste water treatment chemicals *Desalination* 382 13–20
10. N. Kabay*, M. Demircioglu*, E. Ersiiz, I. Kurucaovali, (2002) Removal of calcium and magnesium hardness by electrodialysis, 149 343-349.
 11. O.V. Grigorchuc. V.I. Vasil-eva, V.A. Shaposhnik. (2005) Local characteristics of mass transfer under electrodialysis Demineralization. *Desalinizacion* 184 431- 438
 12. P. Mier, I Ortiz and R. Ibañez (2008) Mathematical description of Bipolar membranaelectrodialysis processes for obtention of acids and bases. *Ingenieria quimica* 418, 166- 182.
 13. R. Klischenko, B. Kornilovich, R. Chebotaryoba, V. Linkov (1999) Purification of galvanic sewage from metal by electrodialysis *Desalination* 126 159-162
 14. R. Valerdi-Pérez, M. López-Rodríguez, J.A. Ibañez (2001) - Mengual*, Characterizing an electrodialysis reversal pilot plant, 137 199–206.
 15. Ramh Valerdi-Perez, Jo& A. Ibtiez (2001) Mengual*, Current-voltage curves for an electrodialysis reversal pilot plant: determination of limiting currents, 141 23-37.
 16. Stanislaw Koter (1994) Analysis of an electrodialysis unit on the basis of irreversible thermodynamics *Desalination*, 95 139-153.
 17. T Mohammadi A. Razmi, M. Sadrzadeh (2004) .Effect of operating parameters on Pb separation from wastewater using electrodialysis *Desalination* Vol.167 379-385
 18. Toraj Mohammadi, Anita Kaviani, 2003, “Water Shortage and seawater desalination by electro dialysis”, *Desalination*, Vol.158, 267-270.
 19. Toraj Mohammadi, Anita Kaviani, (2002) Water shortage and sea water dealination by electrodialysis, 153 399–404

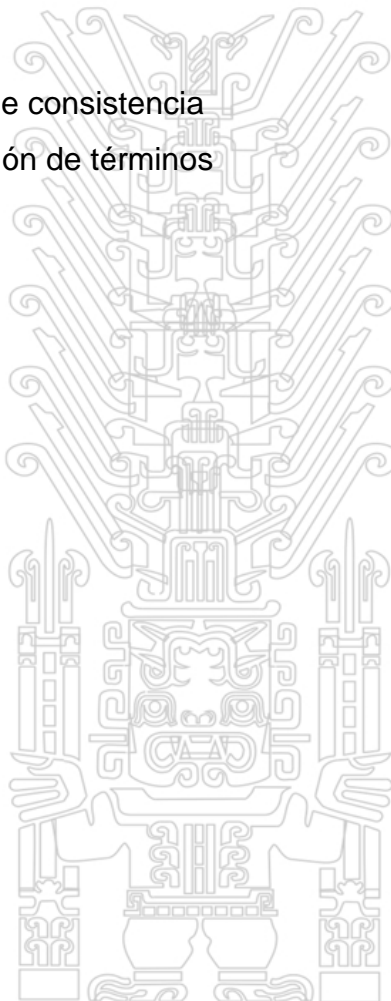
20. Vu Hong Thang, Werner Koschuh, Klaus D. Kulbe, Stefan KromusCristianKrotscheek, Senad Novalin. (2004) Desalination of high sal content mixture by two- stage electrodialysis as the first step of separating valuable substances from grass silage Deslination 162 343-353
21. V.V Slesarenko (2003) Electrodialysis and reverse osmosis membrane plants at power stations .Desalination 158 303-311
22. V.Niconenko, V.Zabolotsky, C.Larchet, B. Auclair, G. (2002) Pourcelly.Mathematycal Description of ion transport in membrane system. Desalination 147 369-374.
23. V.Niconenko , V.ZabolotskyA.G.Istoshin, M.Kh. Urtenov. C.Larchet., J. Benzaria. (1999). Analysis of electrodialysis water desalination costs by convective-diffusion model..Desalination 126 207-211..
24. V.E. Santadosa, F. Peretti, J. Zoppas, M. (2002) Zen.Study of ion seleectivemenbranes from electrodialysis removal of industrial effluent metals II: Zn and Ni.Desalination Vol. 149 ,389-391.
25. Yan Goug, Xiao-Lin, Wang, Li-xinYu. (2005)Proceso simulation of deslination by electrodialysis of an aqueous solution containing a neutral solute.Desalination Vol.172 157-172.



Anexos

Anexo A. Matriz de consistencia

Anexo B . Definición de términos



**ANEXO A: MATRIZ DE
CONSISTENCIA**

METROS OPERACIONALES EN LA CONCENTRACIÓN DE ÁCIDO Y BASE PRODUCIDO A PARTIR DE SALMUERA

PROCEDENTE DE OSMOSIS INVERSA VIA ELECTRODIALISIS “

PROBLEMA GENERAL	OBJETIVOS	HIPÓTESIS.	VARIABLES E INDICADORES
<p>Principal</p> <p>¿En qué medida influyen los parámetros de operación sobre la concentración del ácido y base producido a partir de salmuera procedente de osmosis inversa vía electrodiálisis con membrana bipolar?</p> <p>Problemas Secundarios</p> <p>a) ¿Cuáles serán los parámetros de operación más adecuados del módulo de electrodiálisis con membrana bipolar?</p> <p>b) ¿Cuál será la concentración de la NaCl en la salmuera, para la producción de ácido base?</p> <p>c) ¿Cuál será la concentración de ácido y base al finalizar el proceso?</p>	<p>Objetivo General</p> <p>Evaluar los parámetros operacionales que influyen sobre la concentración de ácido y base, producidos vía electrodiálisis con membrana bipolar a partir de residuos salinos procedentes de osmosis inversa.</p> <p>Objetivos Específicos</p> <p>a) Identificar los parámetros y niveles de operación del módulo de electrodiálisis con membrana bipolar.</p> <p>b) Identificar la concentración de NaCl en el concentrado (g/L)</p> <p>c) Analizar la concentración de ácido y base obtenido, al finalizar el proceso de electrodiálisis con membrana bipolar</p>	<p>Hipótesis General</p> <p>Existe una relación de influencia significativa entre los parámetros de operación sobre la concentración del ácido y base producido a partir de salmuera procedente de osmosis inversa vía electrodiálisis con membrana bipolar</p> <p>Hipótesis Especificas</p> <p>H₁ Con los parámetros de operación entre los rangos, Concentración de alimentación de cloruro de sodio (5g /L- 20g/L y50g/L diferencia de potencial, (5 - 10 –15 V) , flujo (400- 600 – 800 mL./min.), y concentración inicial del acido y base de (0,0,025 y 0,05N) obtendremos ácido y base de una concentración de 1 M.</p> <p>H₂. La concentración de cloruro de sodio en la salmuera es adecuada para la producción de ácido base</p> <p>H₃ : Mediante el análisis de laboratorio es posible determinar la concentración de ácido y base y comprobar los productos de buena calidad (es decir que cumplan con los estándares de calidad)</p>	<p><i>X = Variable Independiente</i></p> <p>parámetros de operación (x)</p> <p>indicadores:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Concentración de alimentación de cloruro de sodio(x1) • Potencial (x2) • Flujo (x3) • Concentración inicial del ácido y base (x4) <p><i>Y=Variable dependiente</i> <i>concentración normal de ácido y base</i></p> <p>indicadores: <i>concentración Nrmal (N)</i></p>

Anexo B: Definición de términos

- **Agua salobre**

Agua que tiene más sal disuelta que el agua dulce, pero menos que el agua de mar.

- **Salmuera**

La salmuera es agua con una alta concentración de sal disuelta (NaCl). Existen ríos y lagos salados en donde no hay vida por el exceso de sal y de donde se extrae la salmuera, principalmente para obtener su sal evaporando el agua en salinas. La salmuera puede ser venenosa para algunos animales que beben de esta.

- **Ánodo**

Es un electrodo en el cual se produce la reacción de oxidación.

- **Cátodo**

Se produce la reacción de reducción.

- **Ácido Clorhídrico**

Es una disolución acuosa del gas cloruro de hidrógeno (HCl). Es muy corrosivo y ácido.

- **Hidróxido de sodio**

El Hidróxido de Sodio es una sustancia incolora e higroscópica que se vende en forma de trozos, escamas, hojuelas, granos o barras. Se disuelve en agua con fuerte desprendimiento de calor y la disolución acuosa se denomina lejía de sosa

- **Electrodiálisis**

La electrodiálisis es una tecnología que permite, bajo la influencia de un campo eléctrico continuo, extraer sustancias ionizadas disueltas en una disolución acuosa a través de membranas selectivas de intercambio iónico.

- **Conductimetría**

Es un método que se utiliza para medir la conductividad de una disolución, determinada por su carga iónica, o salina, de gran movilidad entre dos puntos de diferente potencial.

- **Diseño Factorial**

Por diseño factorial se entiende aquel en el que se investigan todas las posibles combinaciones de los niveles de los factores en cada ensayo completo o réplica del experimento.

- **Membrana Aniónica**

Una membrana aniónica permitirá sólo el paso de aniones claro que en este caso los grupos fijos son de carga positiva, utilizando grupos de intercambio aniónico tales como el amonio cuaternario o amina terciaria:

- **Membrana Catiónica**

Una membrana catiónica es una lámina que contiene una matriz porosa como poli estreno en la cual están fijos grupos electronegativos, los grupos de intercambio más usuales son los sulfonato y carboxilato:

- **Membrana bipolar**

Están compuestas por dos capas que se encuentran unidas.

Cada capa está formada por una lámina polimérica que contiene cargas fijas. Una de las capas (capa catiónica) contiene grupos fijos con cargas negativas, por lo que son permeables solo a los cationes. La otra capa (capa aniónica) contiene grupos fijos con carga positiva por lo que son permeables solamente a los aniones.

