

No DE Ingreso?
1230 IF

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN

AGO 2013

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
VICE-RECTORADO DE INVESTIGACION
RECIBIDO
531
15 AGO. 2013
CENTRO DE DOCUMENTACION
CIENTIFICA Y TRADUCCIONES



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
VICE-RECTORADO DE INVESTIGACION
RECIBIDO
264
15 AGO 2013
HORAS: 9.45
FIRMA: [Signature]

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN DE INGENIERÍA QUÍMICA

INFORME FINAL DE INVESTIGACIÓN

**"EVALUACION DE PARÁMETROS DE OPERACION DE UN MODULO DE
ELECTRODIALISIS CON MEMBRANA BIPOLAR EN LA PRODUCCION DE
HIDROXIDO DE SODIO A PARTIR DE AGUAS RESIDUALES POR
OSMOSIS INVERSA"**

PRESENTADO POR

JEFE DEL PROYECTO: ING. JUAN MEDINA COLLANA
PROFESOR PARTICIPANTE: AGÉRICO PANTOJA CADILLO

May
11/08
05-08-2013
10.00h
245

(Del 1 de Marzo del 2012 al 31 Agosto 2013)

Resol. N° 302-2012-R)

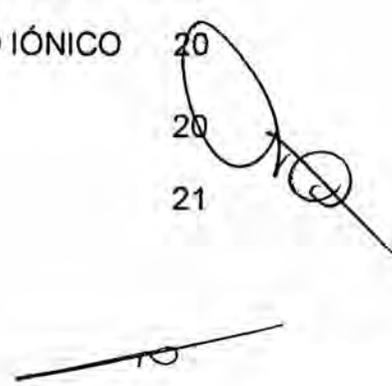
AGOSTO DEL 2013

CALLAO - PERU



INDICE

	Pagina
I. RESUMEN ✓	1
II. INTRODUCCION ✓	3
III. FUNDAMENTOS TEORICOS ✓	6
3.1. TECNOLOGÍA DE MEMBRANAS	6
3.1.1. MICROFILTRACION	8
3.1.2. ULTRAFILTRACIÓN	8
3.1.3. NANO FILTRACIÓN	9
3.1.4. OSMOSIS INVERSA	10
3.1.4.1. PRE-TRATAMIENTO DE OSMOSIS INVERSA	11
3.1.4.2. AGRUPACIÓN DE MÓDULOS DE OSMOSIS INVERSA	11
3.1.4.3. VENTAJAS DE LAS TECNOLOGIAS DE MEMBRANAS	13
3.1.5. LA TECNOLOGÍA DE LA DESALACIÓN	13
3.1.5.1. CLASIFICACIÓN DE LOS PROCESOS DE DESALACIÓN	14
3.1.5.2. TRATAMIENTO DE SALMUERAS DE PLANTAS DESALADORAS	15
3.1.5.3. TÉCNOLOGÍAS EN LA GESTIÓN DE SALMUERA	17
3.1.5.4. ALTERNATIVAS DE SOLUCION DE SALMUERA	17
3.1.5.5. PRODUCCION DE ACIDO Y BASE A PARTIR DE SALMUERA	19
3.1.6. PROCESOS CON MEMBRANA DE INTERCAMBIO IÓNICO	20
3.1.6.1. ELECTRODIÁLISIS ESTÁNDAR (ED)	20
3.1.6.2. ELECTRODEIONIZACIÓN (EDI)	21



3.1.6.3.	PROCESO DE ELECTRODIALISIS CON MEMBRANAS BIPOLAR(EDMB)	22
3.1.6.4.	DIÁLISIS POR DIFUSIÓN	23
3.1.6.5.	ELECTRODIÁLISIS REVERSIBLE (EDR):	24
3.1.6.6.	DENSIDAD DE CORRIENTE LÍMITE (DCL)	25
3.1.6.7.	DETERMINACION DE LA DENSIDAD DE CORRIENTE LIMITE.	26
3.1.7.	COMPONENTES DE UN MODULO DE ELECTRODIALISIS BIPOLAR	27
3.1.8.	MEMBRANA DE INTERCAMBIO CATION (MC)	27
3.1.9.	MEMBRANA DE INTERCAMBIO ANION (MA)	27
3.1.10.	MEMBRANA BIPOLAR(MB)	29
3.1.11.	ELECTRODOS:	30
3.1.12.	ESPACIADORES:	31
3.1.13.	FUENTE ELÉCTRICA:	32
3.1.14.	JUNTAS.	32
3.1.15.	CONFIGURACION DE LOS MODULOS DE ELECTRODIALISIS CON MEMBRANA BIPOLAR	32
3.1.16.	PRODUCCION DE ACIDO CLORHIDRICO- HIDROXIDO DE SODIO MEDIANTE MEMBRANA BIPOLAR	34
3.1.17.	ELECTRODIALIS MEDIANTE MEMBRANAS BIPOLARES PARA LA PRODUCCION DE ACIDO SULFURICO- HIDROXIDO DE NaOH	35
3.1.18.	ELECTRODIALIS MEDIANTE MEMBRANAS BIPOLARES PARA LA PRODUCCION DE ACIDO CÍTRICO- HIDROXIDO DE NaOH	36

3.1.6.3.	PROCESO DE ELECTRODIALISIS CON MEMBRANAS BIPOLAR(EDMB)	22
3.1.6.4.	DIÁLISIS POR DIFUSIÓN	23
3.1.6.5.	ELECTRODIÁLISIS REVERSIBLE (EDR):	24
3.1.6.6.	DENSIDAD DE CORRIENTE LÍMITE (DCL)	25
3.1.6.7.	DETERMINACION DE LA DENSIDAD DE CORRIENTE LIMITE	26
3.1.7.	COMPONENTES DE UN MODULO DE ELECTRODIALISIS BIPOLAR	27
3.1.8.	MEMBRANA DE INTERCAMBIO CATION (MC)	27
3.1.9.	MEMBRANA DE INTERCAMBIO ANION (MA)	27
3.1.10.	MEMBRANA BIPOLAR(MB)	29
3.1.11.	ELECTRODOS:	30
3.1.12.	ESPACIADORES:	31
3.1.13.	FUENTE ELÉCTRICA:	32
3.1.14.	JUNTAS.	32
3.1.15.	CONFIGURACION DE LOS MODULOS DE ELECTRODIALISIS CON MEMBRANA BIPOLAR	32
3.1.16.	PRODUCCION DE ACIDO CLORHIDRICO- HIDROXIDO DE SODIO MEDIANTE MEMBRANA BIPOLAR	34
3.1.17.	ELECTRODIALIS MEDIANTE MEMBRANAS BIPOLARES PARA LA PRODUCCION DE ACIDO SULFURICO- HIDROXIDO DE NaOH	35
3.1.18.	ELECTRODIALIS MEDIANTE MEMBRANAS BIPOLARES PARA LA PRODUCCION DE ACIDO CÍTRICO- HIDROXIDO DE NaOH	36

[Handwritten signature]

IV. MATERIALES Y MÉTODOS /	37
4.1. INTRODUCCIÓN AL TRABAJO EXPERIMENTAL	37
4.2. MATERIALES	37
4.2.1 AGUA	37
4.2.2 REACTIVO QUÍMICO:	37
4.2.3 MEMBRANAS	38
4.2.4 ELECTRODOS	39
4.2.5 BOMBAS CENTRÍFUGAS	39
4.2.6 TANQUES DE SOLUCIÓN	40
4.2.7 FUENTE ELÉCTRICA	40
4.2.8 INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN	40
4.2.9 ESPACIADORES – PROMOTORES DE TURBULENCIA	41
4.3 EQUIPO EXPERIMENTAL	42
4.4 CONFIGURACIÓN DE LA CELDA DE ELECTRODIÁLISIS CON MEMBRANA BIPOLAR	43
4.5 METODOLOGIA	45
4.5.1 PREPARACIÓN DE SOLUCIONES SINTÉTICAS DE CLORURO DE SODIO Y SOLUCIONES DILUIDAS DE HIDRÓXIDO DE SODIO Y ACIDO CLORHÍDRICO	45
4.5.2 PRUEBAS DE PRODUCCIÓN DE HIDRÓXIDO DE SODIO Y ACIDO CLORHÍDRICO /	45
V. RESULTADOS /	47
5.1. EQUIPO DE ELECTRODIALISIS CON MEMBRANABIPOLAR (EDMB)	47
5.2. PRUEBAS EXPERIMENTALES	49
5.2.1. PRUEBA N°1	49
5.2.2. PRUEBA N°2	50
5.2.3. PRUEBA N°3	51
5.2.4. PRUEBA N°4	52
5.2.5. PRUEBA N°5	53
VI. DISCUSION DE RESULTADOS /	54

6.1.	EQUIPO DE ELECTRODIALIS CON MEMBRANA BIPOLAR	54
6.2.	EFFECTO DE PARÁMETROS DE OPERACIÓN DEL PROCESO	55
6.3.	EFFECTO DE CONCENTRACION DE ALIMENTACION.	55
6.4.	EFFECTO DE VOLTAJE	55
6.5.	EFFECTO DE FLUJO DE ALIMENTACION	56
6.6.	EFFECTO DEL pH.	56
VII.	REFERENCIALES	57
VIII.	APENDICE	61
8.1	FIGURA DE MEMBRANA CATIONICA Y ANIONICA	
8.2	FIGURA DEL PROCESO DE ELECTRODIALIS CON MMEBRANA BIPOLAR	
IX.	ANEXOS	64
A.1.	MEMBRANA DE INTERCAMBIO IONICO DE LA EMPRESA FUMA-TECH	
A.2.	COMFIGURACION DE MEMBRANA BIPOLAR EN TRES COMPARTIMIENTOS	
A.3	DIAGRAMA DE UM PROCESO DE ELECTRODIALISIS COM MEMBRANA BIPOLAR PARA LA PRODUCCION DE ACIDO Y BASE	
A.4	GRAFICA DE CONCENTRACION DE ACIDO Y BASE EM FUNCION DEL TIEMPO	
A.5.	GRAFICA DE pH DEL ACIDO Y BASE EN FUNCIOON DEL TIEMPO	

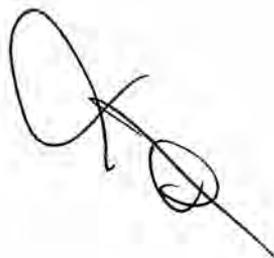


I. RESUMEN

La electrodiálisis bipolar (EDMB) es un proceso que emplea una combinación de membranas de intercambio catiónico, aniónica y bipolar y un campo eléctrico de corriente continua, haciendo uso de una solución de NaCl se produce soluciones acuosas de NaOH y HCl.

En el presente trabajo se ha construido un equipo de electrodiálisis con membrana bipolar. Se estudió la producción de hidróxido de sodio a partir de soluciones preparadas llamadas agua sintética, con una alta concentración de cloruro de sodio, similar a las aguas residuales de desalinización de aguas salobres.

Se estudió la influencia de los parámetros de operación, voltaje, flujo, concentración de alimentación de cloruro de sodio con respecto a la conductividad del hidróxido de sodio., se ha observado que resulta mayor conductividad del hidróxido es cuando trabaja el equipo a 25 Voltios alcanzando la conductividad de 10,4 mS/cm aproximadamente de 1,5 % en peso de hidróxido de sodio.

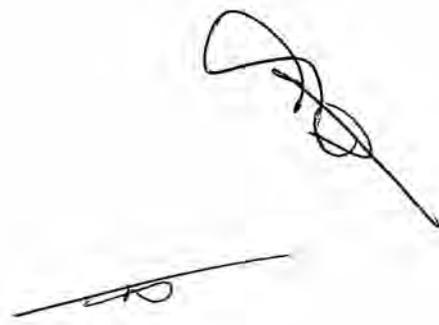



Abstract

Bipolar electro dialysis (EDMB) is a process that uses a combination of exchange membrane cationic, anionic membranes and bipolar membrane and a DC electric field to de-ionize the water and making use of NaCl solution occurs, NaOH and HCl.

The present work has been constructed with bipolar membrane electro dialysis equipment. Study the production of sodium hydroxide from prepared solutions called synthetic, with a high concentration of sodium chloride, water similar to the desalination of brackish waters.

Study the influence of operating parameters, voltage, flow, concentration of power of sodium chloride on the conductivity of sodium hydroxide, observed that results from higher conductivity of hydroxide is when work equipment to 25 volts reaching 10.4 mS/cm conductivity, approximately of 1.5% by weight of sodium hydroxide.

A handwritten signature in black ink, consisting of several loops and a long horizontal stroke at the end.

II. 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 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 (ppm), a partir de agua marina (salinidad nominal de 35.000 mg/L (ppm)) 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%.

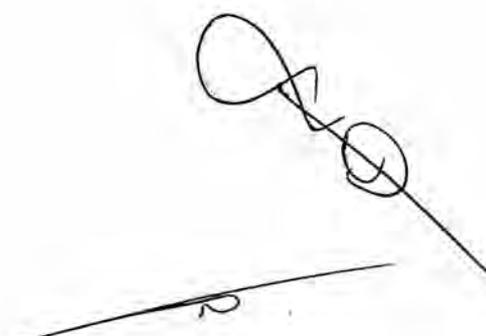
La salinidad de la salmuera concentrada aumenta a aproximadamente 70000, mg/L (ppm). La evacuación de tales salmueras presenta costes significativos y desafíos para la industria de la desalación, lo que da como resultado tiempos de puesta en marcha más largos y un mayor coste del agua. Hay tres formas básicas de tratar las salmueras de la desalación de agua marina: descarga al mar, inyección en pozos profundos y sistemas de producción de sustancias químicas.

Las salmueras procedentes de desoladoras son particularmente ricas en iones sodio y cloruro, por lo que la recuperación de los correspondientes

ácidos y bases con lleva importantes beneficios no solo desde el punto de vista medioambiental, sino como fuente de productos químicos que pueden ser reutilizados en la misma planta o comercializados. Ácido clorhídrico (HCl) es uno de los ácidos más utilizados tanto en la industria como en otras aplicaciones. En el mercado es posible adquirir disoluciones para uso corriente con concentración entre el 10% y el 12% en peso, utilizadas principalmente en limpieza..

En el presente trabajo, se ha construido un equipo de electrodiálisis haciendo uso de membranas catiónicas, anionicas y membrana bipolar de la empresa Fuma Tech, se ha seleccionado los parámetros de operación más significativos del proceso de electrodiálisis bipolar (concentración de la salmuera, potencial eléctrico, flujo volumétricos de las corrientes) y se ha efectuado pruebas experimentales para ver su efecto con respecto a la conductividad del hidróxido de sodio y ácido clorhídrico obtenido en función del tiempo.

Como resultados de las pruebas experimentales se ha obtenido una solución de hidróxido de sodio de una conductividad de 10,4 ms y pH de 12,2 al cabo de 5h de operación como se muestran en los resultados obtenidos.

A handwritten signature in black ink, consisting of several loops and a long horizontal stroke at the bottom.

III. FUNDAMENTOS TEORICOS

3.1. TECNOLOGÍA DE MEMBRANAS

Para, Laurence. *et al.* (2011) La tecnología de membrana se ha convertido en una parte importante de la tecnología de la separación en los últimos años. La fuerza principal de la tecnología de membrana es el hecho de que trabaja sin la adición de productos químicos, con un uso relativamente bajo de la energía y conducciones de proceso fáciles y bien dispuestas. La tecnología de la membrana es un término genérico para una serie de procesos de separación diferentes y muy característicos. Estos procesos son del mismo tipo porque en todos ellos se utiliza una membrana. Las membranas se utilizan cada vez más a menudo para la creación de agua tratada procedente de aguas subterráneas, superficiales o residuales. Actualmente las membranas son competitivas para las técnicas convencionales. El proceso de la separación por membrana se basa en la utilización de membranas semi- permeables .El principio es bastante simple: la membrana actúa como un filtro muy específico que dejará pasar el agua, mientras que retiene los sólidos suspendidos y otras sustancias. Hay varios métodos para permitir que las sustancias atraviesen una membrana. Ejemplos de estos métodos son la aplicación de alta presión, el mantenimiento de un gradiente de concentración en ambos lados de la membrana y la introducción de un potencial eléctrico. La membrana funciona como una pared de separación selectiva. Ciertas sustancias pueden atravesar la membrana, mientras que otras quedan atrapadas en ella. La filtración de membrana se puede dividir en micro y ultra filtración por una parte y en nano filtración y ósmosis inversa por la otra.

Cuando la filtración de membrana se utiliza para retirar partículas más grandes, se aplican la micro filtración y la ultrafiltración. Debido al carácter abierto de las membranas su productividad es alta mientras que las diferencias de presión son bajas. Cuando se necesita desalinizar el agua, se aplican la nano filtración y la ósmosis inversa. La nano filtración y las membranas de RO no actúan según el principio de porosidad; la separación ocurre por difusión a través de la membrana.

Khaled Walha (2007). La presión requerida para realizar la nano filtración y la ósmosis inversa es mucho más alta que la requerida para la micro y ultra filtración, mientras que la productividad es mucho más baja. A continuación se indican los procesos de acuerdo al tamaño de partículas disueltas.

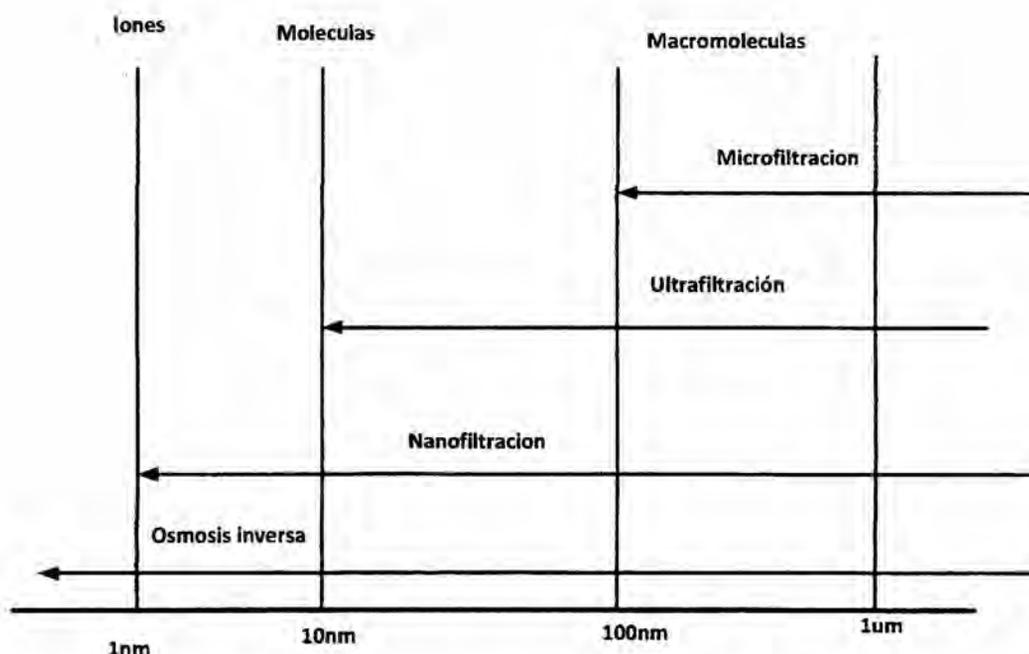


Fig. 3.1. Clasificación de los procesos de separación mediante membrana

[Handwritten signature]

3.1.1. MICROFILTRACIÓN (MF)

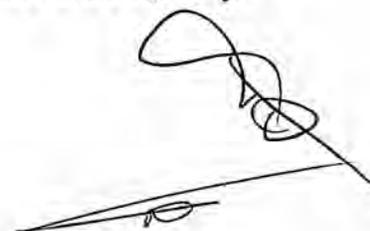
Laurence. *et al.*(2011) Esta técnica se utiliza para el tratamiento de suspensiones-no de disoluciones- de partículas finas o coloidales con tamaños lineales comprendidos entre 0,02 y 10 μm . Fuerza impulsora de 0,1-1 bar

El principio de la micro filtración es la separación física. Es el tamaño de poro de la membrana lo que determina hasta qué punto son eliminados los sólidos disueltos, la turbidez y los microorganismos. Las sustancias de mayor tamaño que los poros de la membrana son retenidas totalmente. Las sustancias que son más pequeñas que los poros de la membrana son retenidas parcialmente, dependiendo de la construcción de una capa de rechazo en la membrana.

3.1.2. ULTRAFILTRACIÓN (UF)

Para, Laurence. *et al.*(2011) Ultrafiltración (UF) es un tipo de filtración por membranas en la cual la presión hidrostática fuerza un líquido contra una membrana semipermeable. Los sólidos suspendidos y los solutos de alto peso molecular son retenidos, mientras que el agua y los solutos de bajo peso molecular atraviesan la membrana.

El tamaño de poro no es tan fino como en la Nano filtración y tampoco requiere tanta energía para efectuar la separación, y es más pequeño que el de las membranas de micro filtración. Las membranas de Ultrafiltración están dispuestas en forma de capilares y están construidas con materiales plásticos que son porosos semipermeables. Su umbral de corte está comprendido entre 0,001 y 0,02 μm Fuerza impulsora de presión hidrostática 0,5-5 bar



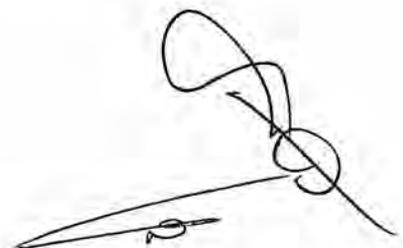
3.1.3. NANOFILTRACIÓN (NF)

Para, Laurence. *et al.*(2011) La nano filtración es el proceso mediante el cual se hace pasar un fluido a través de una membrana semipermeable a una determinada presión de forma que se produce una separación basada en el tamaño de las moléculas que pueden atravesar dicha membrana (entre 0.001 y 0.01 μm). Se obtienen dos corrientes del fluido de entrada: el permeado, que el fluido que ha pasado a través de la membrana 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 principal.

La técnica es principalmente aplicada en la purificación de agua, agua potable, la eliminación de sustancias orgánicas, tales como micro contaminantes e iones multivalentes. Las membranas de nano filtración retienen moderadamente las sales univalentes.

La nano filtración operadas bajo presión de trabajo entre 3,5 Kg./cm^2 y 25 Kg./cm^2 . Otras aplicaciones de la nano filtración son:

- La eliminación de pesticidas de las aguas subterráneas
- La eliminación de metales pesados de las aguas residuales
- Reciclaje de aguas residuales en lavanderías
- Ablandamiento del agua
- Eliminación de nitratos



3.1.4. ÓSMOSIS INVERSA

Para, Laurence. *et al.*(2011) Se conoce por Ósmosis Inversa al proceso de filtrado bajo presión a través de membranas semipermeables, elimina hasta el 95% de impurezas, sólidos y bacterias, obteniendo agua pura y fresca. Su sistema de filtros y membranas consigue eliminar metales y sales perjudiciales para la salud, además controla los químicos causante de olores y sabores como el cloro, Separación en líquidos por mecanismo de difusión, la fuerza impulsora de presión hidrostática es de 20-100 bar.

Este proceso se lleva a cabo una serie de filtraciones en cadena, obteniendo un agua dulce de mucha calidad. El agua antes de realizar este proceso debe de pasar por un pre tratamiento. La ósmosis inversa es capaz de eliminar (95% - 99%)de los sólidos totales disueltos (TDS) y el 99% de las bacterias, así proporcionando agua segura y pura, en la figura 2.7 se muestra un diagrama de bloques en donde indica la etapa de pre tratamiento (Cloración, filtración etc.), osmosis inversa y pos tratamiento (Ph , concentración) .

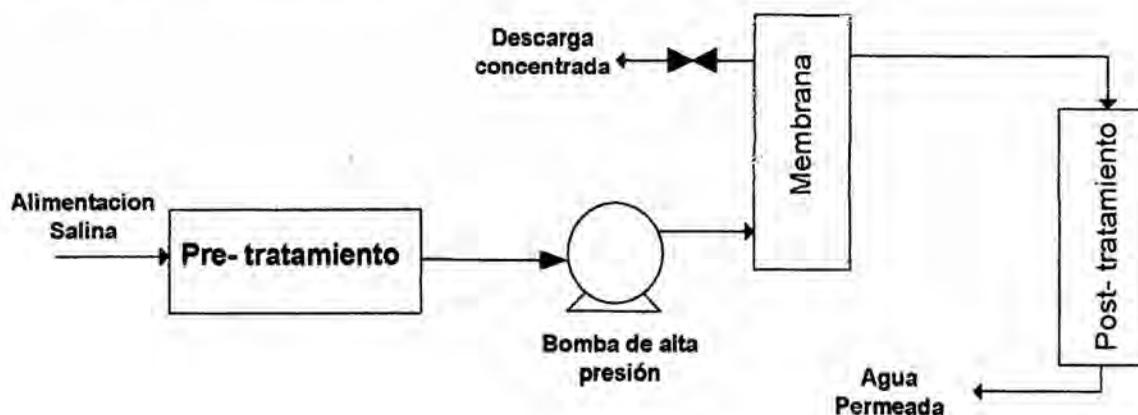


Fig.3.2. Diagrama de bloques del proceso de osmosis inversa

3.1.4.1 PRE-TRATAMIENTO DE OSMOSIS INVERSA

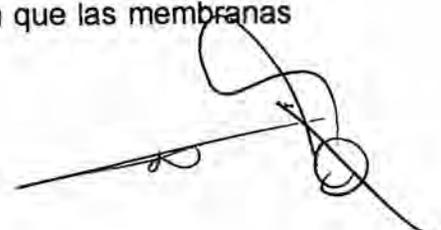
Para, Laurence. *et al.*(2011) Conceptualmente todos los elementos previos a las membranas de osmosis, tienen por único objetivo proteger a las mismas de incrustaciones, la elección del sistema más conveniente, dependerá básicamente de las características del agua a tratar.

3.1.4.2 AGRUPACIÓN DE MÓDULOS DE OSMOSIS INVERSA

Para, Laurence. *et al.*(2011) Los módulos de un sistema de ósmosis inversa pueden agruparse en paralelo y serie.

A) EN PARALELO.

En este tipo de montaje, las alimentaciones y las salidas tanto de permeado como de rechazo de cada módulo se conectan con cada una de las correspondientes tuberías generales. Esta disposición se usa para producir un caudal "n" veces superior al suministrado por un módulo, siendo "n" el número de módulos instalados en paralelo. Cuando los módulos trabajan en paralelo, la pérdida de carga entre el colector de aporte y el de rechazo es la misma para todos ellos, lo que quiere decir que el caudal de aporte que llega a cada uno dependerá de su grado de atascamiento y del caudal de permeado que produzca. Es muy importante que, cuando varios módulos trabajen en paralelo, el grado de envejecimiento de sus membranas sea similar ya que en caso contrario se producirán desequilibrios en los flujos individuales que harán que las membranas



menos deterioradas trabajen con conversiones elevadas y se atasque rápidamente.

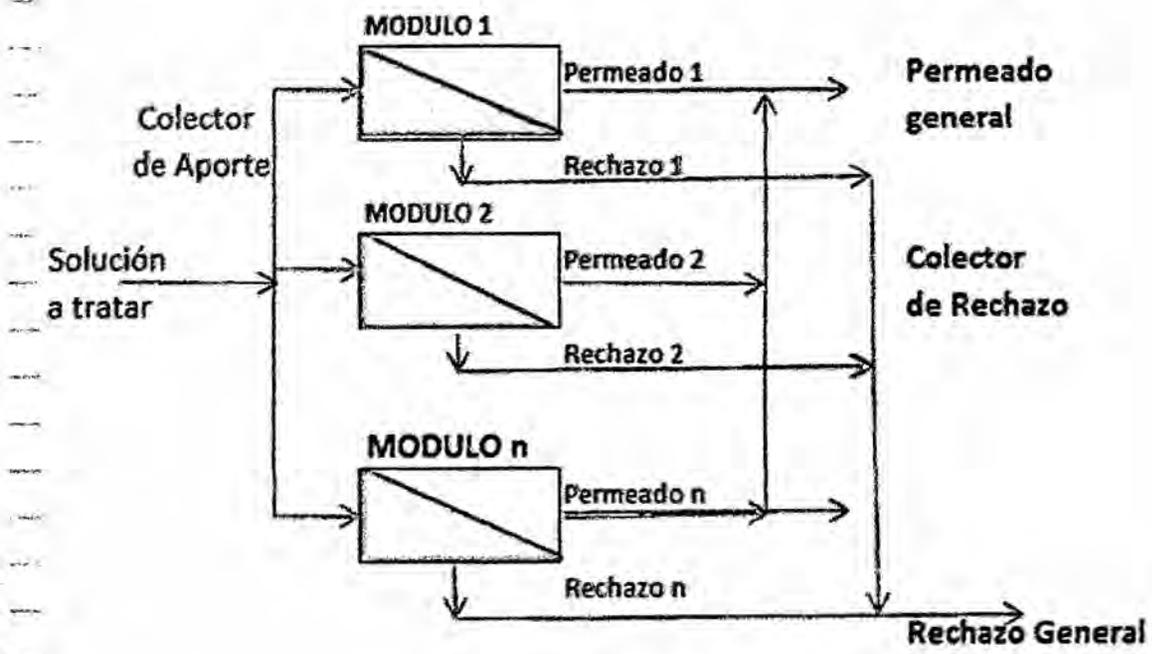
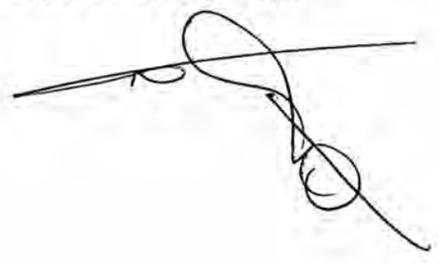


Fig.3.3. Configuración en paralelo de un sistema de separación por osmosis inversa

B) EN SERIE

Para, Laurence. *et al.*(2011) Cuando los módulos se montan en serie, el caudal de rechazo de cada módulo pasa a ser el aporte del siguiente y así sucesivamente. El permeado de los distintos módulos se recoge en un colector común a todos ellos donde se van mezclando los distintos flujo. Esta agrupación se utiliza, consecuentemente, para reducir los fenómenos de polarización cuando los flujos de permeado de las membranas son altos o cuando se trabaja con elevadas conversiones.



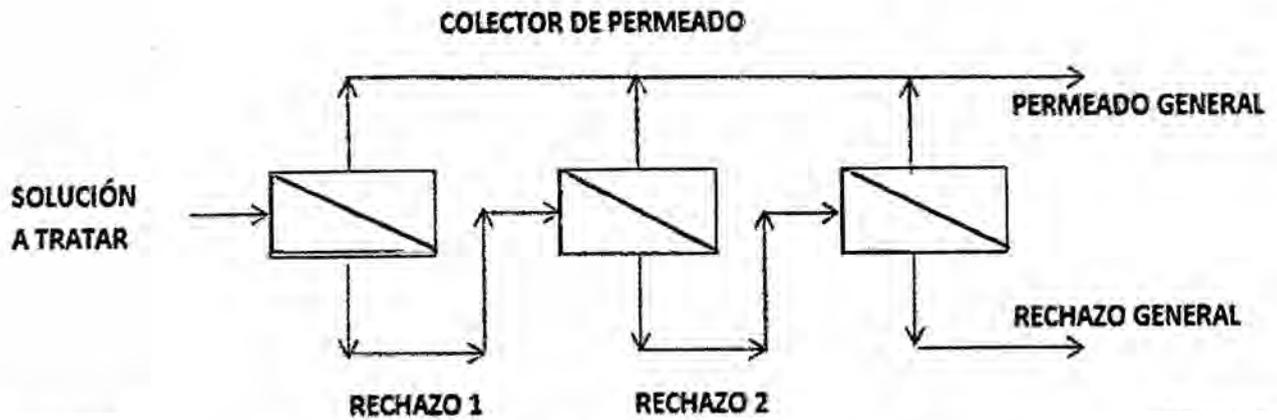


Fig. 3.4. Configuración en serie de un sistema de separación por osmosis inversa

3.1.4.3 VENTAJAS DE LAS TECNOLOGIAS DE MEMBRANAS

Para, Laurence. *et al.*(2011) Separaciones a la temperatura ambiental sin cambio de fase. La separación ocurre sin la acumulación de productos en la membrana, están adaptadas para funcionar continuamente sin un ciclo de Regeneración

3.1.5. LA TECNOLOGÍA DE LA DESALACIÓN

Para, Laurence. *et al.*(2011) La desalación es el proceso por medio del cual se separan las sales y minerales disueltos en el agua de mar o en 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 del agua

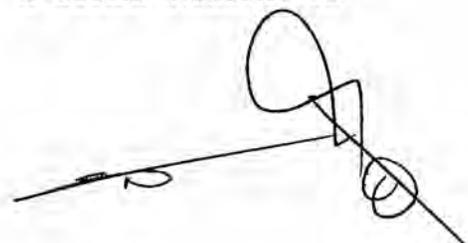
del mar representa en la actualidad la alternativa, en algunos casos única, para el suministro esencial de agua en determinadas zonas del planeta. Es necesario desalar el agua porque el hombre no puede consumir agua que tenga más de 0,5 gramos por litro de sales disueltas. Por otro lado, tampoco es recomendable que tenga menos de esta cantidad (agua destilada o totalmente desmineralizada).



Fig. 3.5. Diagrama de bloques del proceso de desalinización

3.1.5.1 CLASIFICACIÓN DE LOS PROCESOS DE DESALACIÓN

Para, Laurence. *et al.*(2011) Los procesos de desalinización se llevan a cabo principalmente mediante la destilación y mediante técnicas de membrana. Las tecnologías utilizadas actualmente para la desalación a escala industrial se pueden clasificar a en las siguientes categorías



El proceso industrial de desalación del agua marina y salobre es mediante ósmosis inversa dado que este procesado es el que resulta, a día de hoy, más eficiente y económico.

Tabla N° 3.1

Térmica	Evaporación	Destilación Flash(MSF) Destilación Multi efecto (MED) Termo compresión de vapor Destilación solar
	Cristalización	Congelación Formación de hidratos
	Filtración y evaporación	Destilación con membranas
Mecánica	Evaporación	Compresión mecánica de vapor
	Filtración	Osmosis inversa
Eléctrica	Filtración Selectiva	Electrodialisis
Química	Intercambio	Intercambio iónico

Fuente: Elaboración propia

3.1.5.2 TRATAMIENTO DE SALMUERAS DE PLANTAS DESALADORAS

Para, Laurence. *et al.*(2011) Uno de los aspectos ambientales más relevantes en el campo de la desalación es el de los vertidos de salmueras o concentrados. En los últimos años, se han incrementado los esfuerzos en hacer que estos vertidos tengan en menor impacto posible e incluso en la posibilidad de su posible

aprovechamiento industrial por la vía de la extracción de sales u otros productos químicos. En el caso de las salmueras de agua de mar, el problema está resuelto o al menos controlado mediante las prácticas habituales (estudios medioambientales previos, dilución previa a la descarga, uso de difusores, localización de la descarga, planes de vigilancia, etc.)

Sin embargo, en el caso de las aguas salobres en zonas de interior, la descarga de salmueras es un problema importante con una solución que muchas veces, aunque tiene solución técnica (como puede ser los sistemas de vertido cero líquido, ZLD) es inviable económicamente. Un problema adicional es que la composición de la salmuera procedente de aguas salobres no se basa solo en cloruro sódico, como en las de agua de mar, sino que incluyen otros componentes como sulfatos, nitratos, sílice, y puede generar problemas con los nutrientes (N y P), o puede contener elementos específicos de alta toxicidad como metales pesados en aguas de minería, arsénico, etc.

Khaled Walha (2007). Las salmueras que se producen en el proceso de ósmosis 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.

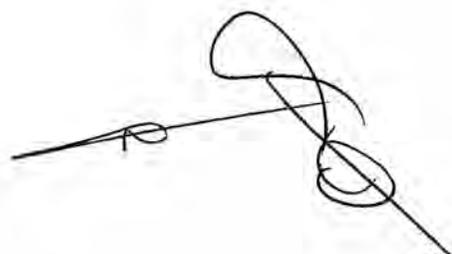
Si bien, hoy en día, en las plantas potabilizadoras, el vertido directo al mar de salmuera proveniente de plantas desalinizadoras es la práctica habitual en la eliminación de los residuos, resulta obvio que en un futuro, y con criterios de sostenibilidad del ecosistema litoral, esta práctica no debería 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.

3.1.5.3 TÉCNOLOGÍAS EN LA GESTIÓN DE SALMUERA

- Descarga en aguas superficiales
- Descarga combinada con otros efluentes (agua residual, agua de mar, etc.)
- Inyección en pozos profundos
- Ósmosis inversa en 2 etapas, con precipitación química entre etapas
- Procedimientos de extracción de sales o producción de productos químicos

3.1.5.4 ALTERNATIVAS DE SOLUCION DE SALMUERA

La reutilización de la salmuera de OI en la industria cloro-álcali es una alternativa ya que a la vez que se reduciría el impacto ambiental generado produciendo cloro, hidróxido de sodio y hidrogeno



Laurence. *et al.* (2011) menciona que las principales tecnologías para la producción de cloro son las celdas de electrólisis 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 y mediante electrodiálisis bipolar se obtendría ácido y bases reutilizables en el proceso o comercializables.

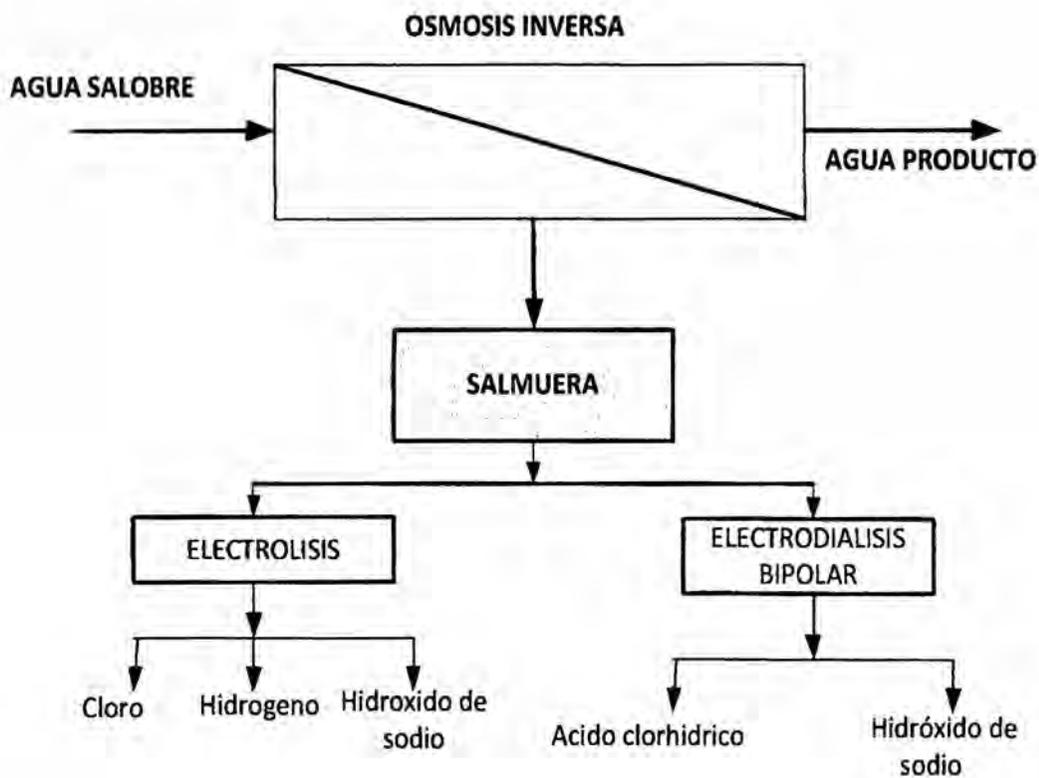


Fig. 3.6. Diagrama de bloques del proceso de tratamiento de salmuera

3.1.5.5 PRODUCCION DE ACIDO Y BASE A PARTIR DE SALMUERA

Para, Laurence. *et al.*(2011) al:

1. Someter la corriente de salmuera a un pre tratamiento mediante separación por membranas de tipo nanofiltración para obtener una corriente de salmuera sustancialmente libre de iones divalentes.
2. Someter la corriente de salmuera obtenida en la etapa anterior a un tratamiento mediante electrodiálisis con membranas bipolares destinado para obtener una corriente de ácido clorhídrico y una corriente de hidróxido sódico, además de una corriente de agua desalinizada.

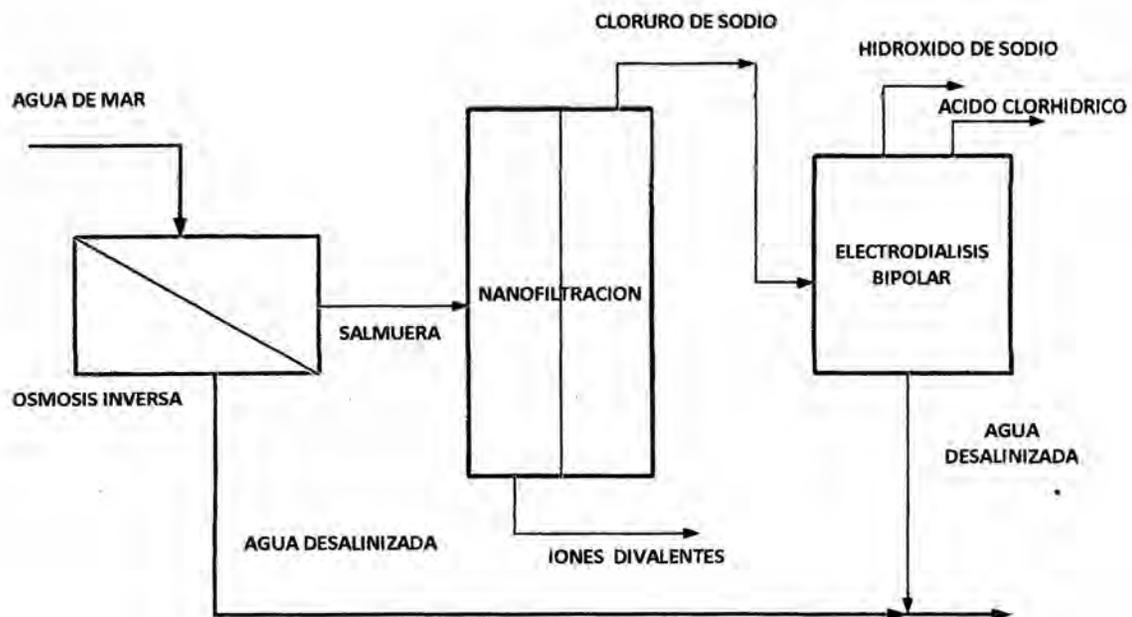


Fig. 3.7. Diagrama de bloques del proceso de electrodiálisis bipolar

3.1.6. PROCESOS CON MEMBRANA DE INTERCAMBIO IÓNICO

Para, Laurence. *et al.*(2011) la separación por electro membrana, procesos de electrolisis y electrodiálisis, se utilizan actualmente a escala industrial en la producción cloro soda, agua potable y en el tratamiento de efluentes industriales. El interés en otros procesos como la disociación del agua con membranas bipolares está creciendo rápidamente en nuevas aplicaciones en la industria de procesos.

Khaled Walha (2007). Una de las ventajas de los procesos de electro membranas es la minimización de reactivos químicos durante su desarrollo, así como la aplicación de condiciones de operación a las medioambientales..

El proceso de membrana de intercambio iónico se puede clasificar en dos grupos según su fuerza electromotriz para el proceso.

Celdas de diálisis por difusión en las que el proceso es accionado por el gradiente de concentración a través de las membranas y las celdas electrolíticas en las que el proceso es accionado principalmente por el gradiente de potencial eléctrico.

Algunos aspectos fundamentales y los principios de funcionamiento de diversos procesos se indican a continuación.

3.1.6.1 ELECTRODIÁLISIS ESTÁNDAR (ED)

Para, Laurence. *et al.*(2011) la electrodiálisis es un proceso de separación que consiste en el paso de iones a través de membranas de intercambio iónico, por el



efecto de la corriente eléctrica. La celda de electrodiálisis está constituida por una serie de membranas tanto aniónicas como catiónicas, unas a continuación de otras separadas por espaciadores y con electrodos en cada extremo. En el tratamiento la solución electrolítica ingresa a la celda y las membranas son permeables solo a los cationes o aniones según se trate de membrana catiónica o aniónica respectivamente; estas membranas limitan la migración de iones entre los dos electrodos obteniéndose de esta manera una corriente de agua desmineralizada (diluido) y otra de agua enriquecida con iones (concentrado), según se verifica en la Fig. 8

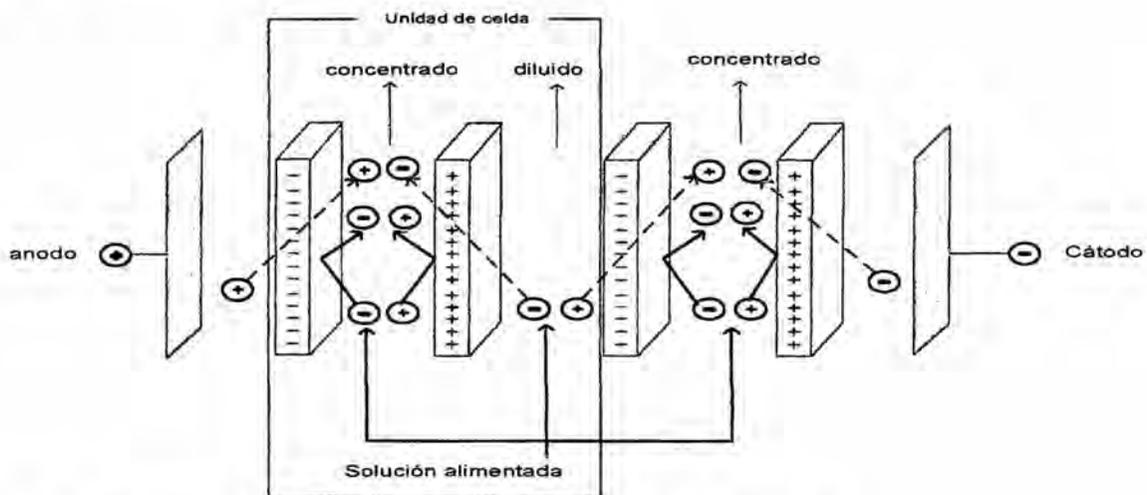
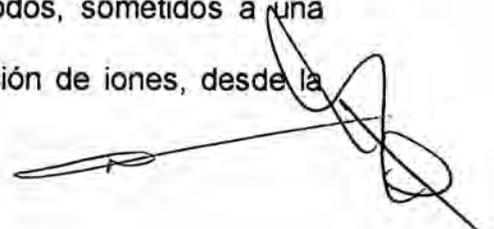


Fig.3.8. Diagrama que ilustra el principio de electrodiálisis

3.1.6.2 ELECTRODEIONIZACIÓN (EDI)

Para, Laurence. *et al.*(2011) , la electrodesionización es un proceso que emplea una combinación de membranas de intercambio iónico y resinas de intercambio iónico, montadas a modo de sándwich entre dos electrodos, sometidos a una diferencia de potencial eléctrico , la cual fuerza la migración de iones, desde la



cámara de alimentación hasta las cámaras adyacentes. Este potencial eléctrico también disocia las moléculas de agua, formando iones hidrógeno e hidroxilos que continuamente producen la regeneración de la resina, el resultado es un agua de elevada calidad que puede ser producida en continuo y con elevados caudales como se muestra en la figura N° 3.9.

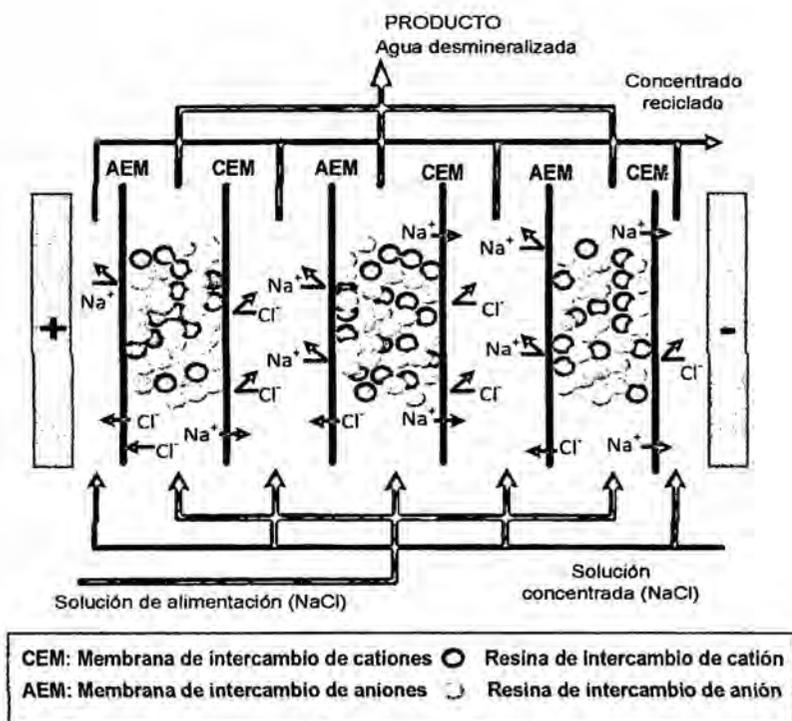


Fig.3.9. Diagrama que ilustra el principio de electro ionización

3.1.6.3 PROCESO DE ELECTRODIALISIS CON MEMBRANAS BIPOLAR(EDMB)

Las membranas de intercambio iónico, Para, Laurence. *et al.*(2011) se puede combinar con las membranas bipolares y producir ácidos y las bases de las sales correspondientes.

Las membranas del intercambio catiónico y aniónico están instaladas junto con las membranas bipolares en serie 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 del flujo de la solución del producto que contienen un ácido y una base, respectivamente como se muestra en la figura 3. La utilización de la electrodiálisis con las membranas bipolares es económicamente muy atractiva y tiene una multiplicidad de usos potenciales interesantes como la recuperación especies de intercambiadores iónicos, recuperación de metales de las aguas de lavado de los procesos electrolíticos, Recuperación de ácidos y aminoácidos orgánicos

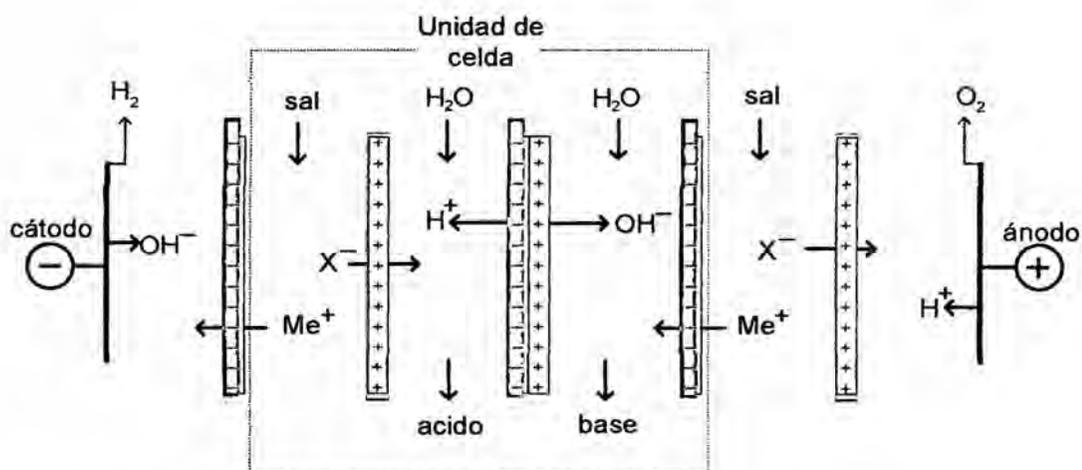
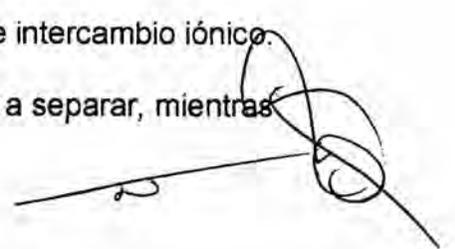


Fig.3.10. Diagrama que ilustra el principio de membranas bipolares

3.1.6.4 DIÁLISIS POR DIFUSIÓN

El proceso de diálisis por difusión Para, Laurence. *et al.*(2011) consiste en celdas alternas de dializado y difundido, separadas por membranas de intercambio iónico.

El dializado es el fluido de alimentación que contiene los iones a separar, mientras



que el difundido es inicialmente agua pura en la que se dispersan los iones recuperados, formando la solución recuperada. La solución de alimentación que contiene sales y ácido se bombea a través de las células de alternancia mientras que el agua se alimenta en contra corriente. Los iones hidrogeno y aniones atraviesan las membranas de intercambio anionico debido a gradiente de concentración, mientras que los cationes son rechazados por las membranas. El resultado es la formación de ácido y una mezcla de sales. El principio del proceso se ilustra en la figura 5

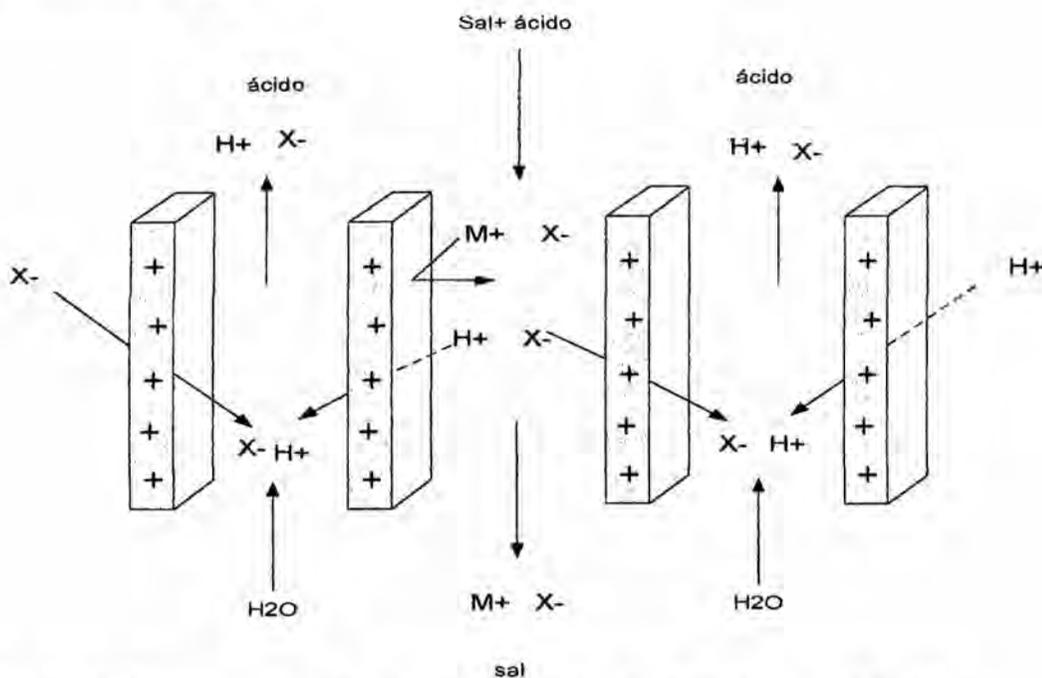


Fig. 3.11. Diagrama que ilustra el principio de diálisis por difusión

3.1.6.5 ELECTRODIÁLISIS REVERSIBLE (EDR):

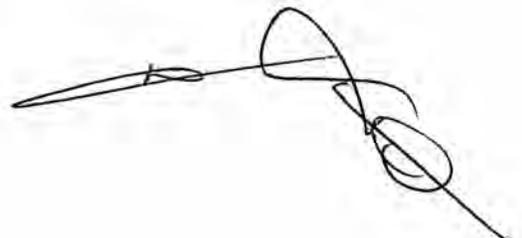
La electrodiálisis reversible Para, Laurence. *et al.*(2011) es un proceso en donde se invierte la polaridad de los electrodos, esto induce a una auto limpieza química. La inversión tiene lugar en 15 minutos aproximadamente y se realiza de manera

automática, luego de la inversión, los flujos de los compartimentos desmineralizados se convierten en flujos concentrados y viceversa. Este proceso tiene efectos positivos en el sistema de membranas tales como: rompe la polarización, evitando incrustaciones y reduce la suciedad de las membranas y limpia los electrodos automáticamente.

3.1.6.6 DENSIDAD DE CORRIENTE LÍMITE (DCL)

Para, Laurence. *et al.*(2011) La densidad de corriente límite es la densidad de corriente máxima (corriente por el área de la membrana) que se puede utilizar en el proceso de la electrodiálisis, para que no genere efectos negativos como un incremento drástico de la resistencia eléctrica (debido al agotamiento de iones en la capa límite en la superficie de la membrana), baja eficiencia eléctrica y disociación del agua.

La densidad de corriente límite depende usualmente de las propiedades de la membrana, construcción de la celda de electrodiálisis y varios parámetros operacionales como la velocidad de flujo y concentración de la solución diluida. El cálculo de dicha intensidad de corriente límite delimita el punto a partir del cual se pueden producir fenómenos de polarización que ponen en peligro el correcto funcionamiento del proceso. Por tanto, es recomendable trabajar al 80% del valor de la intensidad límite determinado experimentalmente.



3.1.6.7 DETERMINACION DE LA DENSIDAD DE CORRIENTE LIMITE.

La densidad de corriente límite es determinada experimentalmente a partir de una curva potencial vs. Intensidad (curva de polarización), obtenida en el proceso de electrodiálisis con la solución a tratar.

En la figura se muestra una curva de polarización con sus diferentes zonas, 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 lineal se obtiene entre la corriente y la caída de voltaje, el primer cambio de pendiente de la curva corresponde al punto que determina la intensidad de corriente límite para la configuración dada. En la región II se alcanza la densidad de corriente límite y se inicia la disociación de las moléculas del agua presentes en la disolución, como consecuencia de un elevado aumento de la diferencia de potencial.

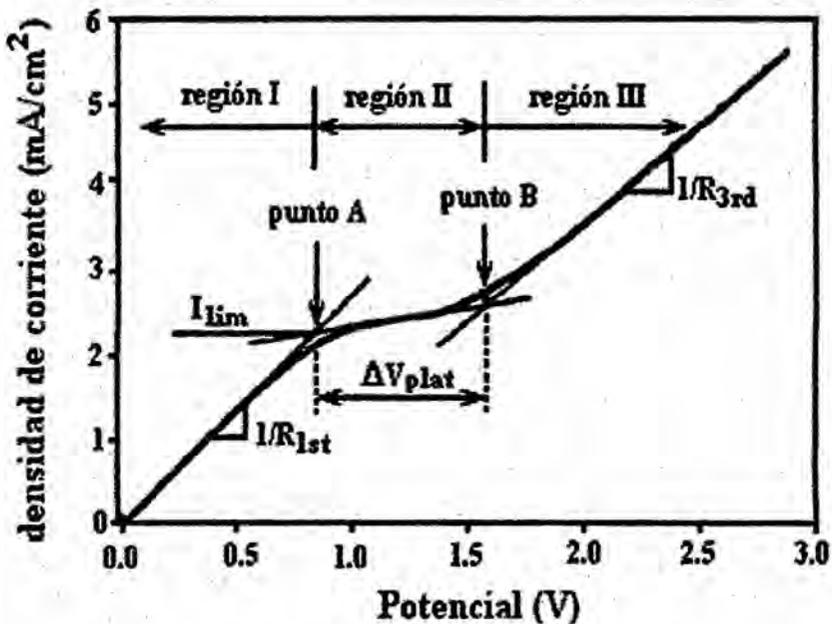


Fig. 3.12. Curva de Potencial y Densidad de Corriente

3.1.7. COMPONENTES DE UN MODULO DE ELECTRODIALISIS BIPOLAR

3.1.8. MEMBRANA DE INTERCAMBIO CATION (MC)

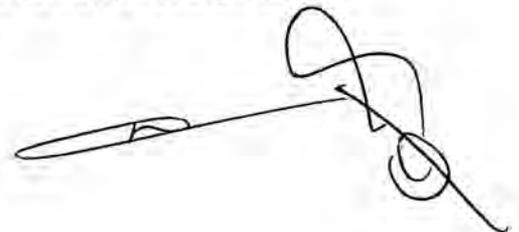
Para, Ibáñez *et al* (2001) Una membrana catiónica es una lámina que contiene una matriz porosa como poli estireno en la cual están fijos grupos electronegativos, los grupos de intercambio más usuales son los sulfonato y carboxilato:

- SO_3^{1-} El grupo funcional es el ácido sulfónico
- COO^{1-} El grupo funcional es un ácido carboxílico

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 entonces capaz de permitir el paso de una corriente en la forma de un flujo de cationes, sin transportar aniones ni agua. Las membranas de intercambio catiónico sólo son permeables a los cationes, mientras que constituyen una barrera eléctrica para los aniones.

3.1.9. MEMBRANA DE INTERCAMBIO ANIÓN (MA)

Análogamente, una membrana aniónica dice Ibáñez *et al* (2001) 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:



NH_3^{1+} Grupos funcionales de amina primaria

RNH_2^{1+} Grupos funcionales de amina secundaria

Existe una gran variedad de membranas, desarrolladas por cada casa comercial para las aplicaciones específicas que se solicitan. Se clasifican en homogéneas y heterogéneas, atendiendo al hecho de que los grupos cargados eléctricamente estén homogéneamente distribuidos en la matriz de la membrana o en lugares determinados. Las membranas homogéneas se fabrican a partir de polímeros de estirenos/divinilbenceno o polímeros de perfluorocarbono.

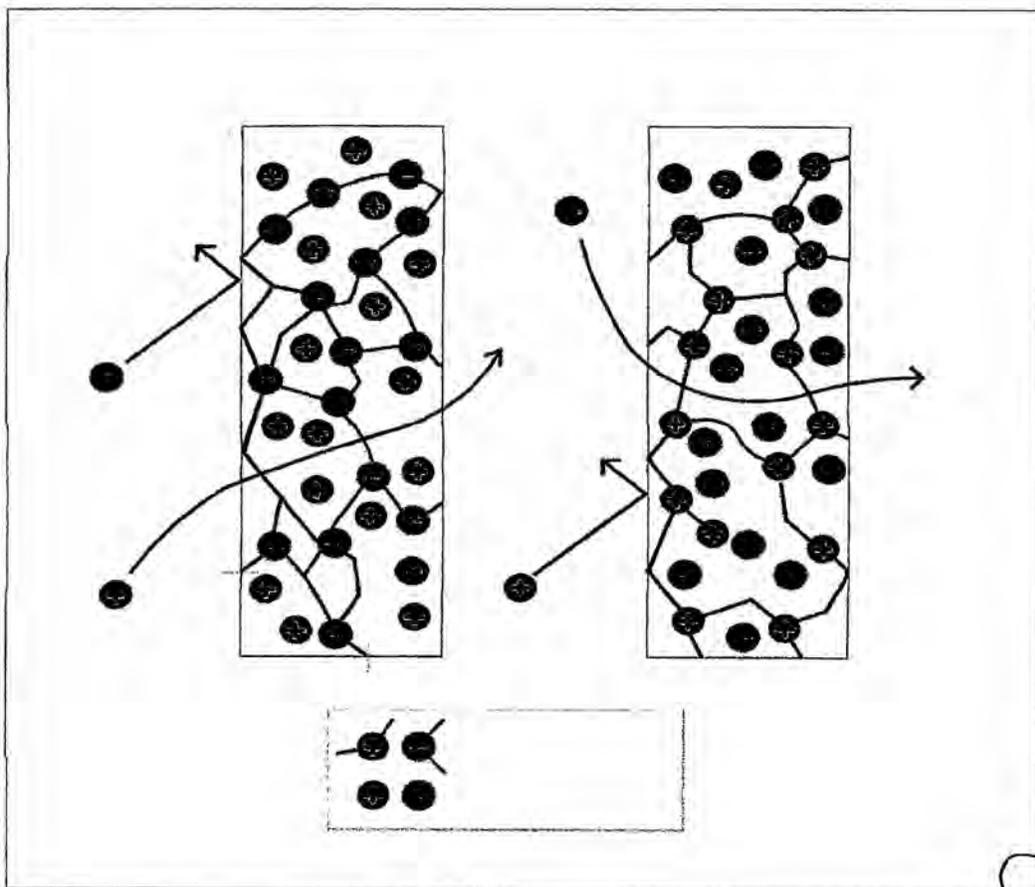
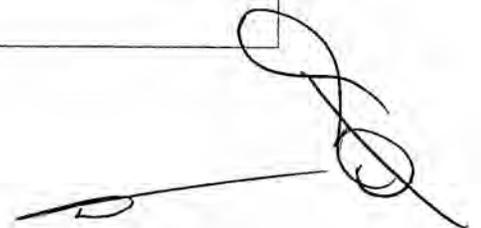


Fig. 3.13. Membrana de intercambio catión y anión.



3.1.10. MEMBRANA BIPOLAR(MB)

Para, Ibáñez *et al* (2001) Las membranas bipolares (MB) son unas clases especiales de membranas intercambiadoras de iones. 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. Una membrana bipolar debe tener alta capacidad de disociación del agua, baja resistencia eléctrica, alta selectividad, vida útil larga de operación y deben ser estables frente a soluciones concentradas de ácidos y bases.

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.

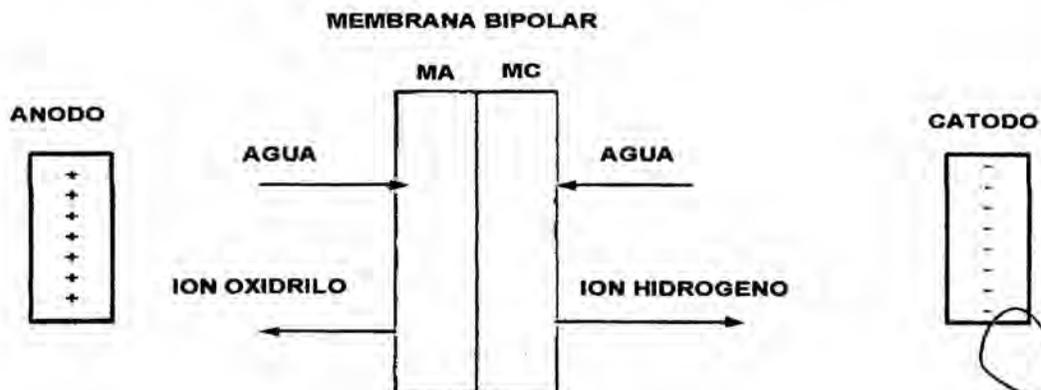


Fig. 3.14. Diagrama de disociación del agua en una membrana bipolar

3.1.11. ELECTRODOS:

Están constituidos por dos placas rectangulares metálicas, el material varía cuando se trata de ánodo o cátodo, pero siempre debe ser resistente a la corrosión, a la formación de óxidos y a la deposición de películas orgánicas no conductoras (lo más usual es Platino recubierto con Titanio). En el centro geométrico se debe soldar dos cilindros para conectar los bornes de la fuente de alimentación. La función de los electrodos es proporcionar el campo eléctrico necesario para que se lleve a cabo el proceso.

Cátodo: El material que se utiliza en los cátodos es generalmente acero inoxidable 316. Las reacciones de reducción que se producen en él son relativamente moderadas y producen desprendimiento de gas hidrógeno, éstas dependen del pH.

Ánodo: En el ánodo ocurren reacciones de oxidación muy agresivas, que los materiales de los cuales están constituidos deberían tolerar, entre los materiales que se pueden utilizar tenemos Ir/Ti, PbO₂/Ti.

Las reacciones en el cátodo en un proceso de electrodiálisis son relativamente moderadas con el desprendimiento de gas hidrogeno y dependen del Ph.

Reduccion de agua : $2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightarrow 2\text{OH}^- + \text{H}_{2(\text{g})}$

La disociación del agua incrementa sustancialmente el pH debido a los iones OH^-

El alto valor de pH provoca la precipitación de hidróxido del metal y del CaCO_3 sobre la superficie de la membrana de intercambio iónico y del electrodo.

Se utiliza generalmente acero inoxidable 316.

Los materiales del ánodo deben soportar las condiciones agresivas de sustancias oxidantes. Oxidacion de agua: $\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{e}^- + \frac{1}{2} \text{O}_{2(\text{g})} + 2\text{H}^+$

Si están presente iones cloruro: $2\text{Cl}^- \rightarrow 2\text{e}^- + \text{Cl}_2(\text{g})$

3.1.12. ESPACIADORES:

Son estructuras de plástico que tienen forma de malla, y se colocan para separar cada par de membranas. Las funciones que cumplen dentro del proceso son:

- promover la turbulencia, para evitar la deposición de materiales en la superficie de las membranas
- Proporcionar los canales de flujo a través de los cuales fluyen las soluciones
- sellar las celdas
- soportar las membranas
- provocar la homogenización de la concentración

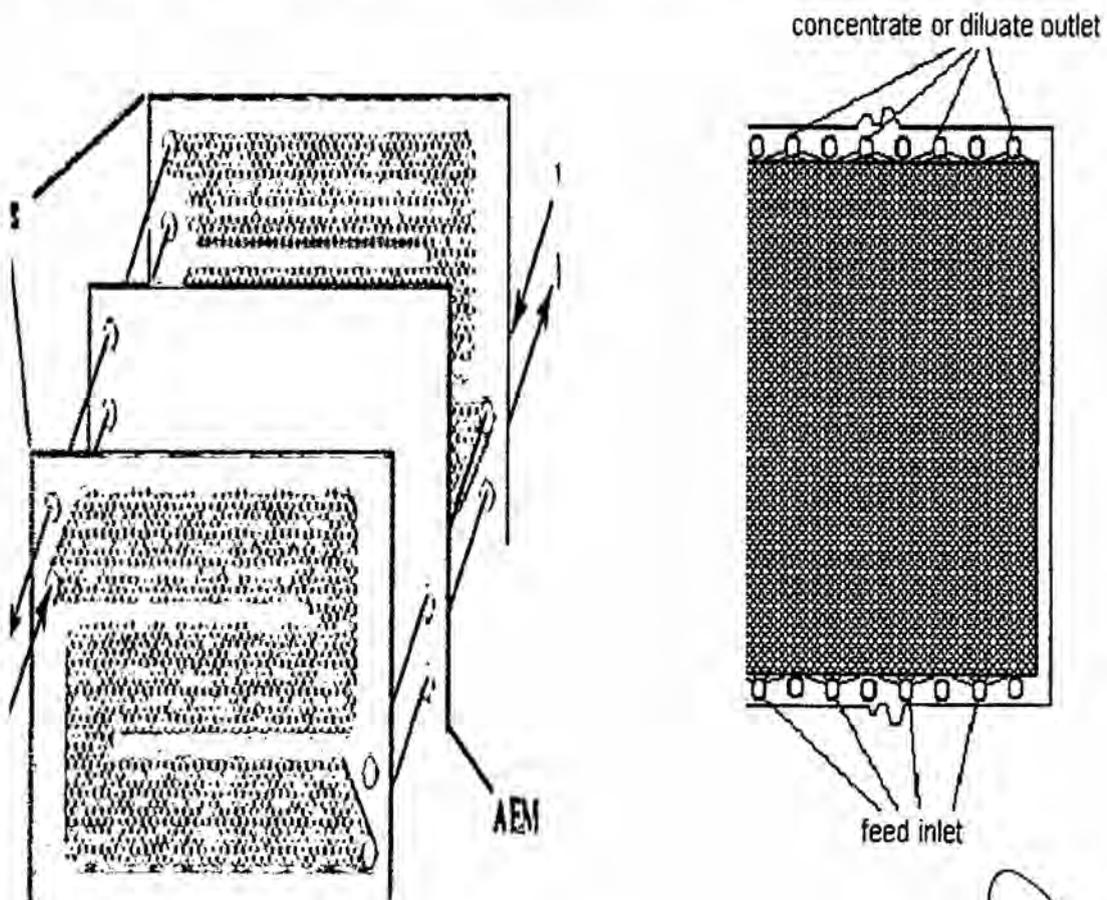


Fig.3.15. Diferentes tipos de espaciadores

3.1.13. FUENTE ELÉCTRICA:

La fuente de alimentación debe proveer corriente continua al proceso, durante el proceso, se manipula el voltaje en un rango de 0 a 60 voltios y de 0 a 10 A.

3.1.14. JUNTAS.

Su objetivo es evitar fugas del electrolito en la celda, que ocasionaría cortos circuitos, mezcla de las corrientes que fluyen por los compartimientos.

Deben presentar alta estabilidad química y resistencia mecánica, con el menor espesor posible, de esta forma se minimizara las distancias intermembranas.

3.1.15. CONFIGURACION DE LOS MODULOS DE ELECTRODIALISIS CON MEMBRANA BIPOLAR

Para, Ibáñez *et al* (2001), los módulos de ED tienen una configuración de placas y marcos semejante a los filtros prensa. Además de las membranas, son necesarios elementos como las juntas y los espaciadores. La ventaja de esta configuración es que es sencilla, compacta y se pueden construir equipos de muy diverso tamaño. Las unidades de ED, también denominadas celdas electrolíticas, se estructuran según distintos compartimientos. Las membranas de intercambio catiónico y aniónico así como las bipolares pueden organizarse en distintas configuraciones en función de la operación que se desee realizar. Incluso para obtener un mismo producto a partir de una alimentación concreta, se pueden disponer distintas configuraciones de membranas..

Algunas de las disposiciones experimentales encontradas en la bibliografía se recogen en la figura, así como los movimientos de iones que tienen lugar en cada



una de ellas. De modo resumido, la Tabla recoge el orden en el que se disponen las membranas que constituyen cada unidad en una celda.

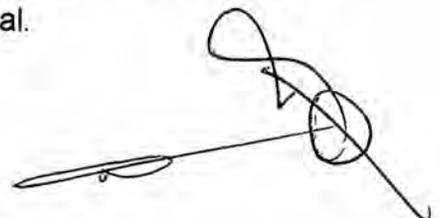
El proceso siempre es el mismo: al aplicar la diferencia de potencial,

Las cargas positivas tenderán a ir hacia el cátodo, pero sólo podrán atravesar la membrana catiónica; mientras que las cargas negativas que tienden a ir al ánodo sólo pueden atravesar la membrana aniónica.

La membrana bipolar se combinarán para formar el ácido, mientras que los iones Na^+ se combinarán con los grupos hidroxilo de las membranas bipolares. Dado que en principio las membranas aniónicas no pueden ser atravesadas por los iones hidroxilo, en el lado aniónico de la membrana bipolar debe haber una disolución que pueda contener estos iones como es el NaOH .

Nº	CONFIGURACION
1	C + BP + C + BP + C
2	A + C + BP + A + C
3	C + BP + C
4	BP + A + C + BP
5	BP + C + BP
6	BP + A + C + BP
7	BP + A + BP + A + BP
8	BP + C + BP + C + BP

La disposición de las membranas permite que se creen tres tipos de compartimentos: celda de ácido, celda de base y celda de sal.



3.1.16. PRODUCCION DE ACIDO CLORHIDRICO- HIDROXIDO DE SODIO MEDIANTE MEMBRANA BIPOLAR

Para, Ibáñez *et al* (2001). 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. Configuración del módulo (BP + A + C + BP). Como corriente de alimentación se utiliza una solución concentrada de cloruro de sodio y obteniéndose ácido clorhídrico y hidróxido de sodio. Para lavar los electrodos utilizaremos una solución acuosa de hidróxido de sodio *cuyas* reacciones se muestran en las superficies de los electrodos.

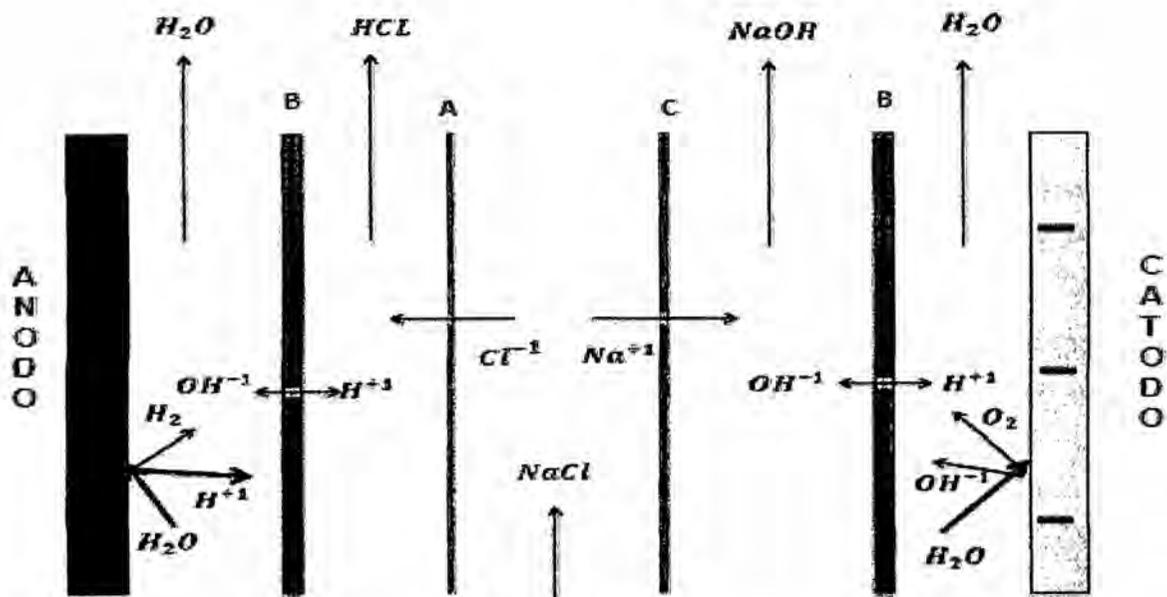
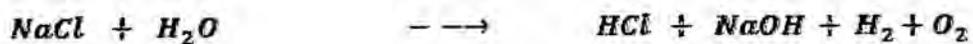


Fig. 3.16. Configuración de las membranas (MC membrana catiónica, MA membrana aniónica y MB membrana bipolar) para la obtención de solución acuosa de NaOH y HCl

3.1.17. ELECTRODIALIS MEDIANTE MEMBRANAS BIPOLARES PARA LA PRODUCCION DE ACIDO SULFURICO- HIDROXIDO DE NaOH

Para, Ibáñez *et al* (2001). 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. Configuración del módulo (BP + A + C + BP). Como corriente de alimentación se utiliza una solución concentrada de sulfato de sodio y obteniéndose ácido sulfúrico y hidróxido de sodio. Para lavar los electrodos utilizaremos una solución acuosa de hidróxido de sodio cuyas reacciones se muestran en las superficies de los electrodos.

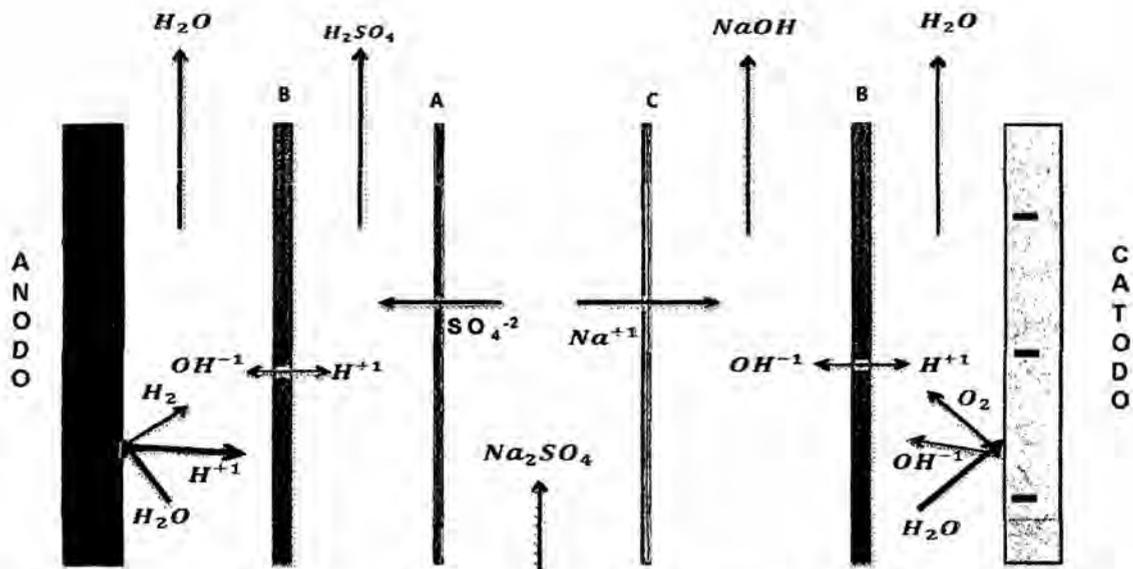


Fig. 3.17 Configuración de las membranas (MC membrana catiónica, MA membrana anionica y MB membrana bipolar) para la obtención de solución acuosa de NaOH y ácido sulfúrico

3.1.18. ELECTRODIALISIS MEDIANTE MEMBRANAS BIPOLARES PARA LA PRODUCCION DE ACIDO CITRICO- HIDROXIDO DE NaOH

Para, Ibáñez *et al* (2001) La configuración del sistema de electrodiálisis con membrana bipolar consiste en un arreglo de unas membranas bipolares una membrana catiónica y una membrana aniónica como se muestra en la figura. Configuración del módulo de electrodiálisis (BP + A + C). Como corriente de alimentación se utiliza una solución concentrada de citrato de sodio y obteniéndose ácido cítrico y hidróxido de sodio. Para lavar los electrodos utilizaremos una solución acuosa de hidróxido de sodio cuyas reacciones se muestran en las superficies de los electrodos.

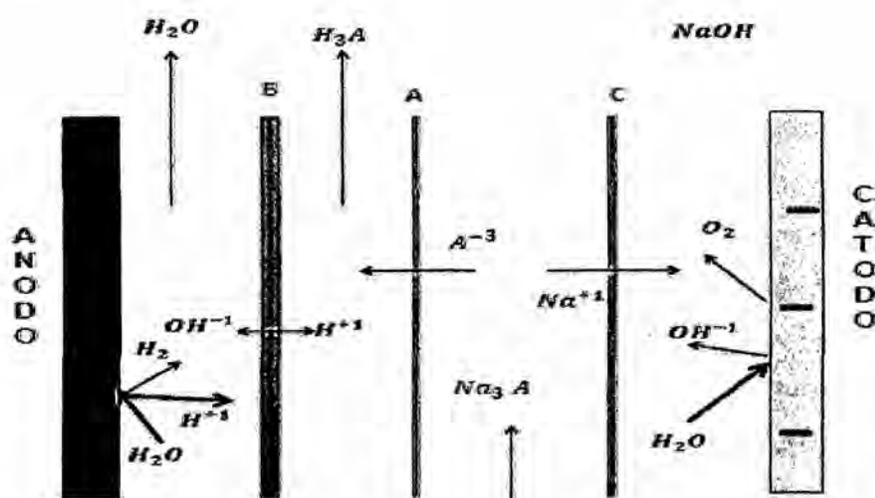


Fig.3.18. Configuración de las membranas (MC membrana catiónica, MA membrana anionica y MB membrana bipolar) para la obtención de solución acuosa de NaOH y ácido cítrico

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. INTRODUCCIÓN AL TRABAJO EXPERIMENTAL

A continuación se describirán todos los equipos, instrumentos y especies químicas que forman parte del montaje experimental

El trabajo fue desarrollado en dos etapas, la primera fue la construcción de equipo a escala de laboratorio y luego el estudio experimental para evaluar los parámetros de operación (Concentración de la alimentación, voltaje y flujo volumétrico). Para ver la respuesta en la concentración y el pH. del hidróxido de sodio

4.2. MATERIALES

4.2.1. AGUA:

El agua utilizada en las pruebas experimentales fue producida mediante un equipo de osmosis inversa, cuya conductividad del agua fue de 5 us

4.2.2. REACTIVO QUÍMICO:

los reactivos que se indica a continuación fueron de grado analítico

a) cloruro de sodio (Merck, grado analítico)

b) ácido clorhídrico de 0,01N

d) Hidróxido de sodio de 0,01N

e) Fenolftaleína

4.2.3. MEMBRANAS

1 membranas de intercambio catiónico FTCEM – E , 1 membranas de intercambio aniónico FTAM-E y 1 membrana bipolar de área efectiva de 90 cm² cada una, fueron usadas en el equipo de electrodiálisis. Antes del experimento las membranas se sumergieron en agua desmineralizada por un tiempo de 16 h. a temperatura ambiente.

Tabla 4.1:

CARACTERÍSTICAS DE LAS MEMBRANAS DE INTERCAMBIO IONICO.

Características de la Membrana	FTCEM –E	FTAM-E	Membrana bipolar FBM
Resistencia eléctrica (Ω / cm^2)	2,5 – 3,5	2,5 - 3,5	
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	0,2 - 0,25

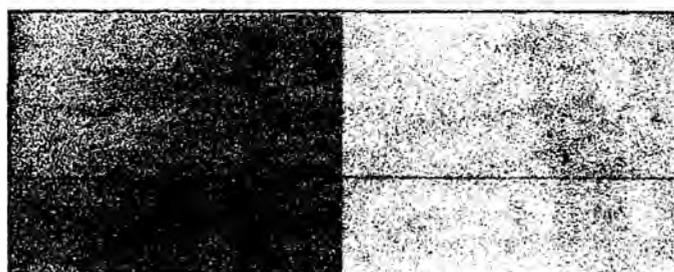


Fig.4.1. Membrana catiónica y anionica

4.2.4 Elementos del proceso de electrodiálisis de membrana bipolar

4.2.4. ELECTRODOS

- Ánodo de titanio platinizado de 30cm x3cm.
- Cátodo de acero inoxidable 316 de 30cm x 3cm



FIGURA 4.2 : Ánodo de titanio platinado

4.2.5. BOMBAS CENTRÍFUGAS

Tres bombas de 110 V de alimentación.

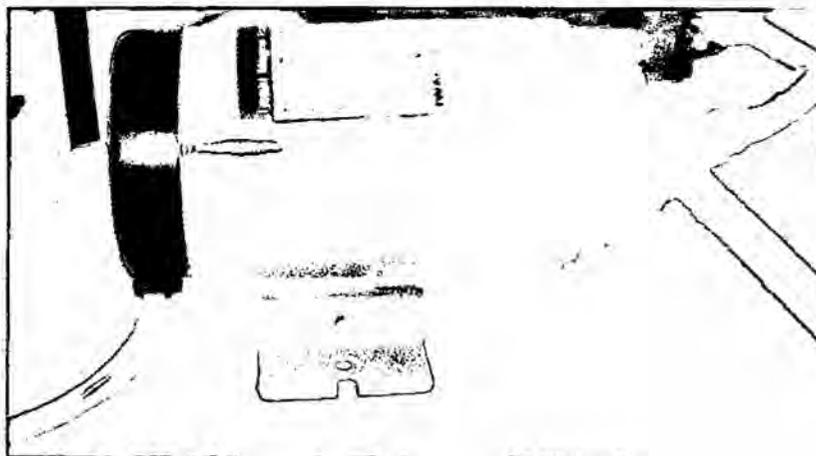
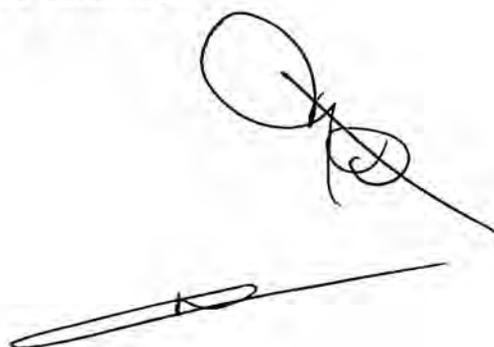


FIGURA 4.3 : Diagrama de una bomba centrífuga



4.2.6. TANQUES DE SOLUCIÓN

Tres tanques de acrílico, cloruro de sodio, ácido clorhídrico y hidróxido de sodio.

4.2.7. FUENTE ELÉCTRICA

Una fuente de alimentación fue usada para proporcionar corriente continua, el voltaje de trabajo es manipulado desde la misma fuente cuyo rango es de (0 a 30 voltios).

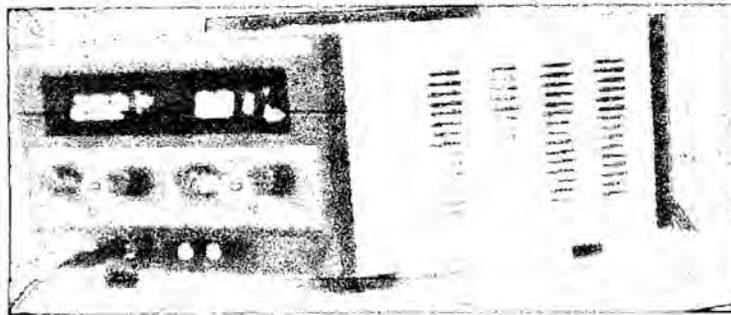


FIGURA 4.4 : Fuente eléctrica continua

4.2.8. INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN

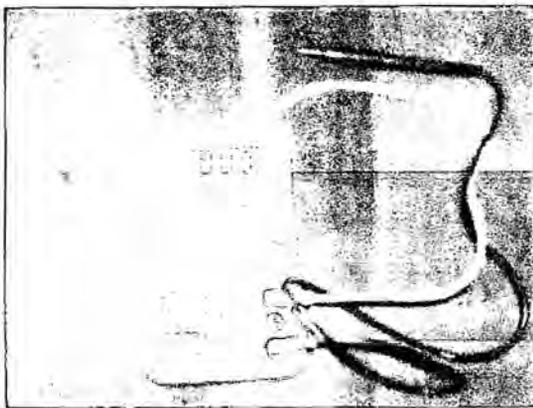


Fig. 4.5. Multitester

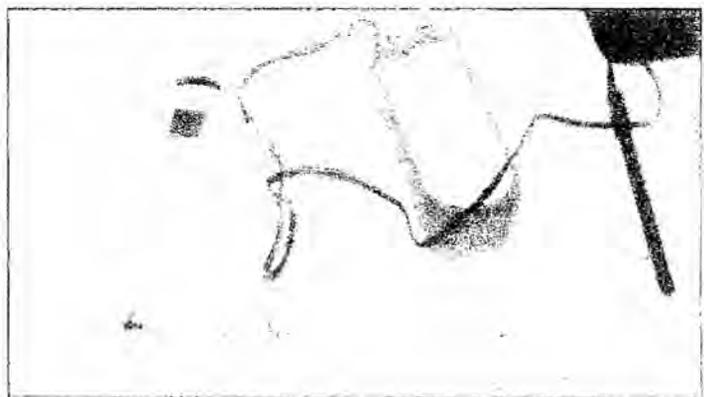


Fig. 4.6 Medidor de pH y Conductímetro

4.2.9. ESPACIADORES - PROMOTORES DE TURBULENCIA

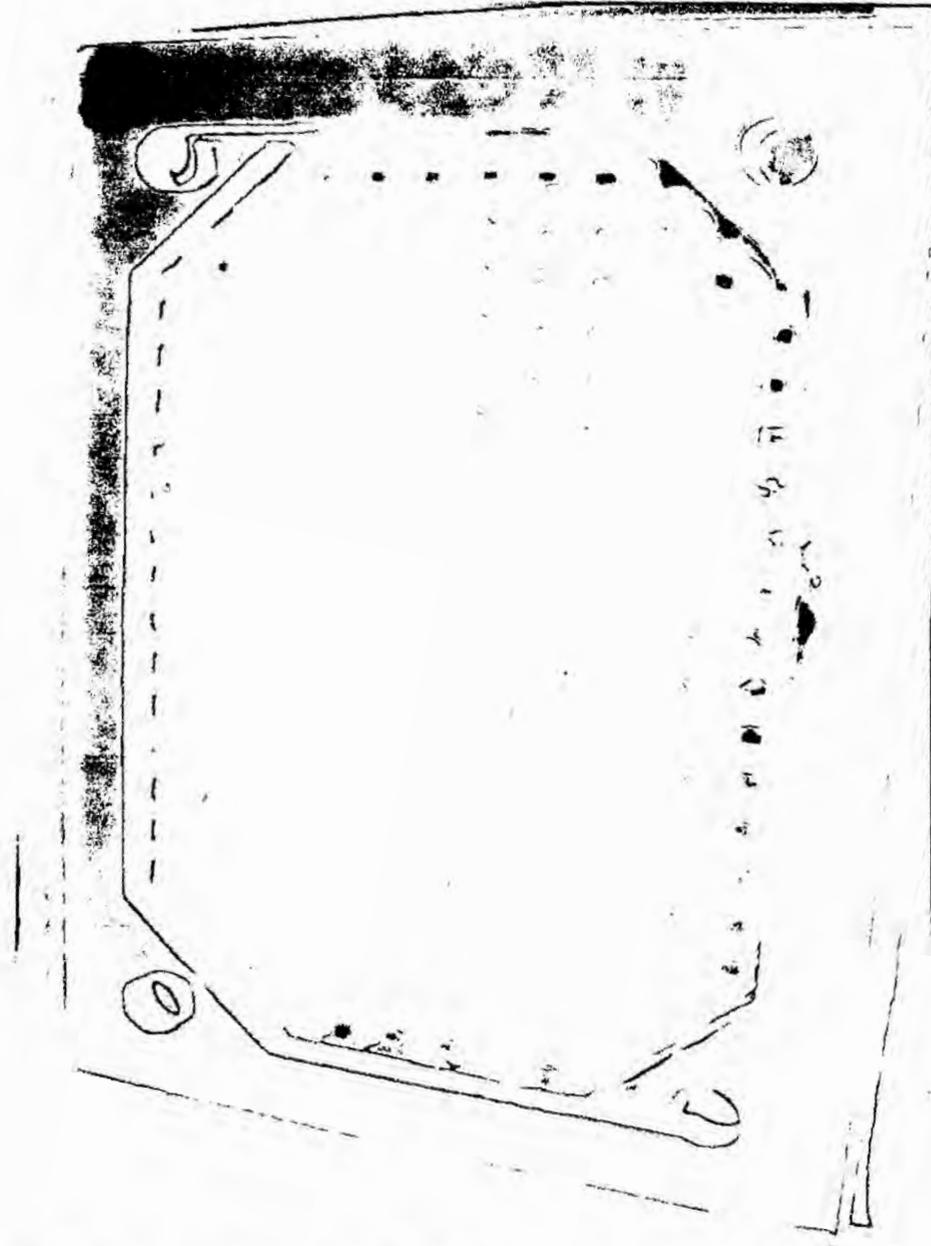


Fig. 4.7. Espaciador en forma de malla de material acrílico

A handwritten signature or set of initials in black ink, located to the right of the caption. It consists of several loops and a long horizontal stroke extending to the right.

A handwritten number '2' in black ink, located below the signature. It is a simple, slightly stylized digit.

4.3. EQUIPO EXPERIMENTAL

El equipo de electrodiálisis con membrana bipolar (EDB) del tipo filtro prensa (placas y marco) fue construido con material de acrílico sobre el que se ensamblan tres membranas (1 catiónica, 1 aniónica y 1 bipolar), situadas alternativamente y afianzado con 8 barras transversales con tuercas para prevenir fuga o derrame del líquido desde una celda a otra. Como se muestra en la figura 5.1.

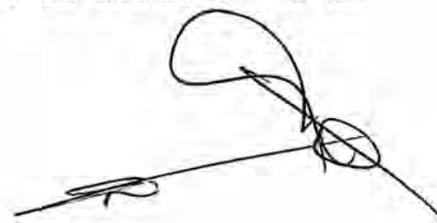
Una junta hecha de jebe fueron colocados entre cada marco y membrana. Que permite sellar y mantener la distribución uniforme de flujo dentro de las celdas..

La celda tiene dos placas de acrílico en los extremos cada una con dos entradas y dos 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.

Las soluciones (NaOH y HCl) fueron circuladas dentro de los compartimientos mediante una bombas centrifuga. Para regular el flujo volumétrico se colocaron tres válvulas en línea y una tubería de re ciclo para regular el flujo en cada corriente. El ánodo y el cátodo son colócalos 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 270 cm^2 El equipo tiene un régimen de funcionamiento continuo, En la figura 4.8 se muestra La distribución de las membranas del equipo experimental.

La parte experimental consiste en lo siguiente:



- 3 tanques de material acrílico de capacidad de 3 litros de espesor de 4 mm (13 cm de diámetro y 27 m de altura)
- Estructura metálica. De hierro fundido
- 3 bombas de 0,5 HP
- válvulas de paso para controlar el flujo de la solución acida, hidróxido de sodio y solución de cloruro de sodio
- conectores rápidos con entrada manguera/manguera
- codos de plástico de 10 mm. de diámetro
- 3 Transformadores de 150 watts y 110 voltios.
- 3 membranas de intercambio iónico
- Fuente eléctrica Continua
- Conductímetro

4.4. CONFIGURACIÓN DE LA CELDA DE ELECTRODIÁLISIS CON MEMBRANA BIPOLAR

La disposición de las membranas, permite que se creen tres tipos de compartimentos: celda de ácido, celda de base y celda de sal.

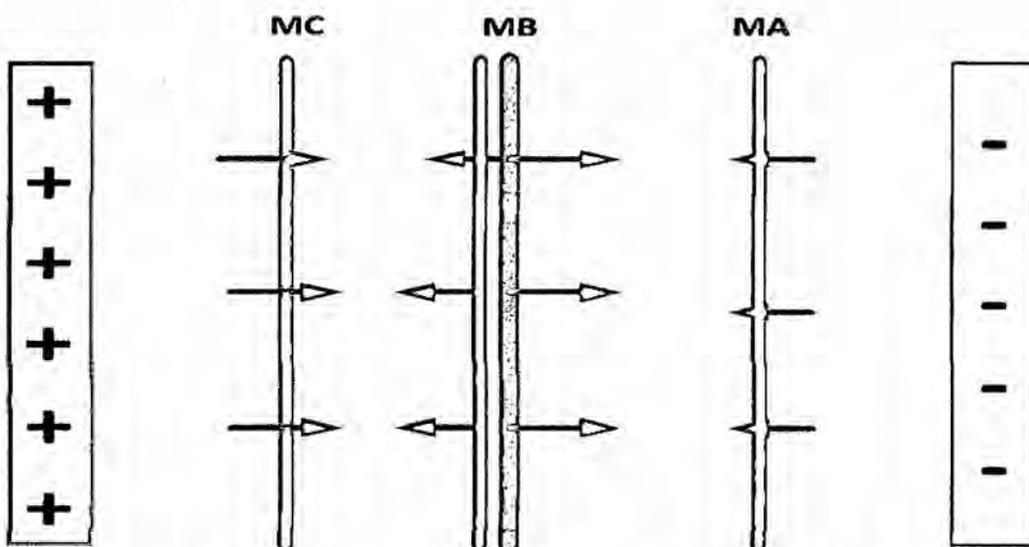


Fig. 4.8. Configuración experimental de las membranas (MC membrana catiónica, MA membrana aniónica y MB membrana bipolar)

EQUIPO EXPERIMENTAL

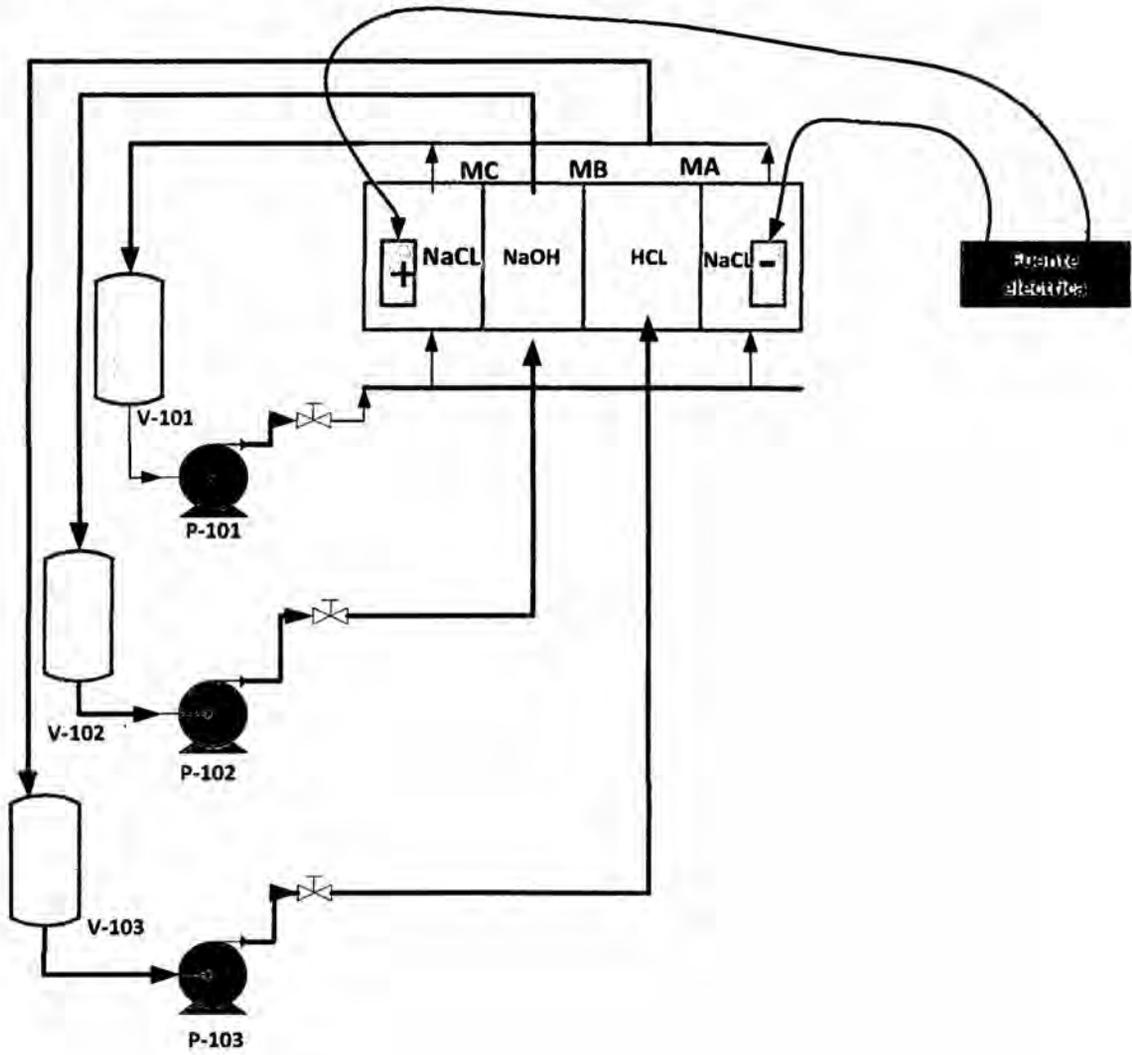


Fig. 4.9. Esquema de los circuitos hidráulicos del equipo de electrodiálisis con membrana bipolar modo batch.

4.5. METODOLOGIA

los pasos realizados en las pruebas y ensayo para cumplir los objetivos propuestos se indican a continuación.

4.5.1. PREPARACIÓN DE SOLUCIONES SINTÉTICAS DE CLORURO DE SODIO Y SOLUCIONES DILUIDAS DE HIDRÓXIDO DE SODIO Y ACIDO CLORHÍDRICO

Se prepararon 8 litros de soluciones sintéticas de cloruro de sodio 0,5 N y 0,25N haciendo uso de agua destilada y cloruro de sodio químicamente puro.

Se prepararon soluciones de hidróxido de sodio y de ácido clorhídrico de 10 ppm y se midieron sus conductividades para tener referencia al momento de realizar las pruebas en el equipo de electrodiálisis

4.5.2. PRUEBAS DE PRODUCCIÓN DE HIDRÓXIDO DE SODIO Y ACIDO CLORHÍDRICO

la primera prueba se realizó con 0,5N de cloruro de sodio y 200us de conductividad del tanque de ácido y hidróxido de sodio, se inició la prueba con un potencial de 2 voltios y se midió la corriente eléctrica, se incrementó el voltaje cada 15 min. Hasta 27 voltios, esto con el fin de determinar a qué voltaje es más conveniente trabajar con el equipo.

Todos los experimentos fueron realizados a temperatura ambiente, usando soluciones de (0,5 M y 0,25M) Se trabajó con un potencial fijo de (10,15 y 20 y 25V) .Con el fin de mantener constantes las condiciones hidrodinámicas, (los caudales de la solución diluida y solución concentrada fueron iguales para cada

experiencia. Estas pruebas se repitieron con el equipo cambiando el flujo, tensión y concentración de alimentación. El equipo experimental fue limpiado después de cada experiencia, realizando una recirculación de 10 minutos con agua desionizada de 5 uS/cm En un vaso de precipitado de capacidad de 100 mL se extrae una muestra de 20 mL para determinar la conductividad de las soluciones en el tanque de diluido y concentrado. Para determinar el flujo volumétrico se midió un volumen en un determinado tiempo que se controló con un cronometro, Para determinar la corriente limite se utilizó una concentración de 0,5 N de cloruro de sodio y se ha variado la tensión cada 15 min. Y se determinó la corriente por un tiempo de 3h.

Variables de operación

X₁: Concentración de Cloruo de sodio (0,5N y 0,25N)

X₂: Voltaje (10V, 15V , 20V y 25V)

X₃: Flujo Volumétrico (200 mL/min y 300 mL/min)

Variable de salida o respuesta (Y)

C: conductividad de hidróxido de sodio

Tabla 4.2

PRUEBA N°	CONCENTRACION DE CLORURO DE SODIO (M)	VOLTAJE (V)	FLUJO (mL/min.)	Tiempo (h)
1	0,5	2 - 27	300	150 min.
2	0,5M	15	200	120 min.
3	0,25M	10	200	240
4	0,5M	25	300	180
5	0,25M	20	300	350

V. RESULTADOS

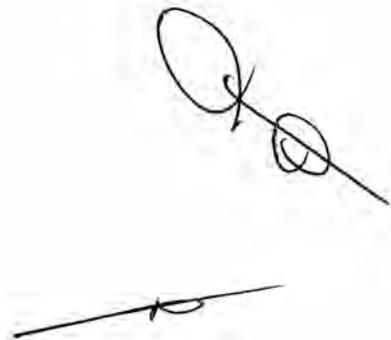
En este capítulo se presenta el equipo de electrodiálisis bipolar y los resultados realizados en la investigación. Se muestra la foto de la celda construida. Así mismo se muestra los resultados de como la conductibilidad del tanque de ácido y hidróxido van cambiando con el tiempo

5.1. EQUIPO DE ELECTRODIALISIS CON MEMBRANABIPOLAR (EDMB)

En la figuras 5.1 se muestra la celda de electrodiálisis bipolar construidas con las partes que la conforman.

Características del equipo de electrodiálisis

- Una membrana catiónica
- Una membrana anionica
- Una membrana bipolar
- Área de efectiva de cada membrana: 90 cm^2
- Área total de membrana: 270 cm^2
- Ánodo : titanio platinado en malla de 30 cm^2
- Cátodo de acero inoxidable: 30 cm^2
- 3 marcos de material acrílico

Handwritten signature and scribble consisting of several loops and a horizontal line.

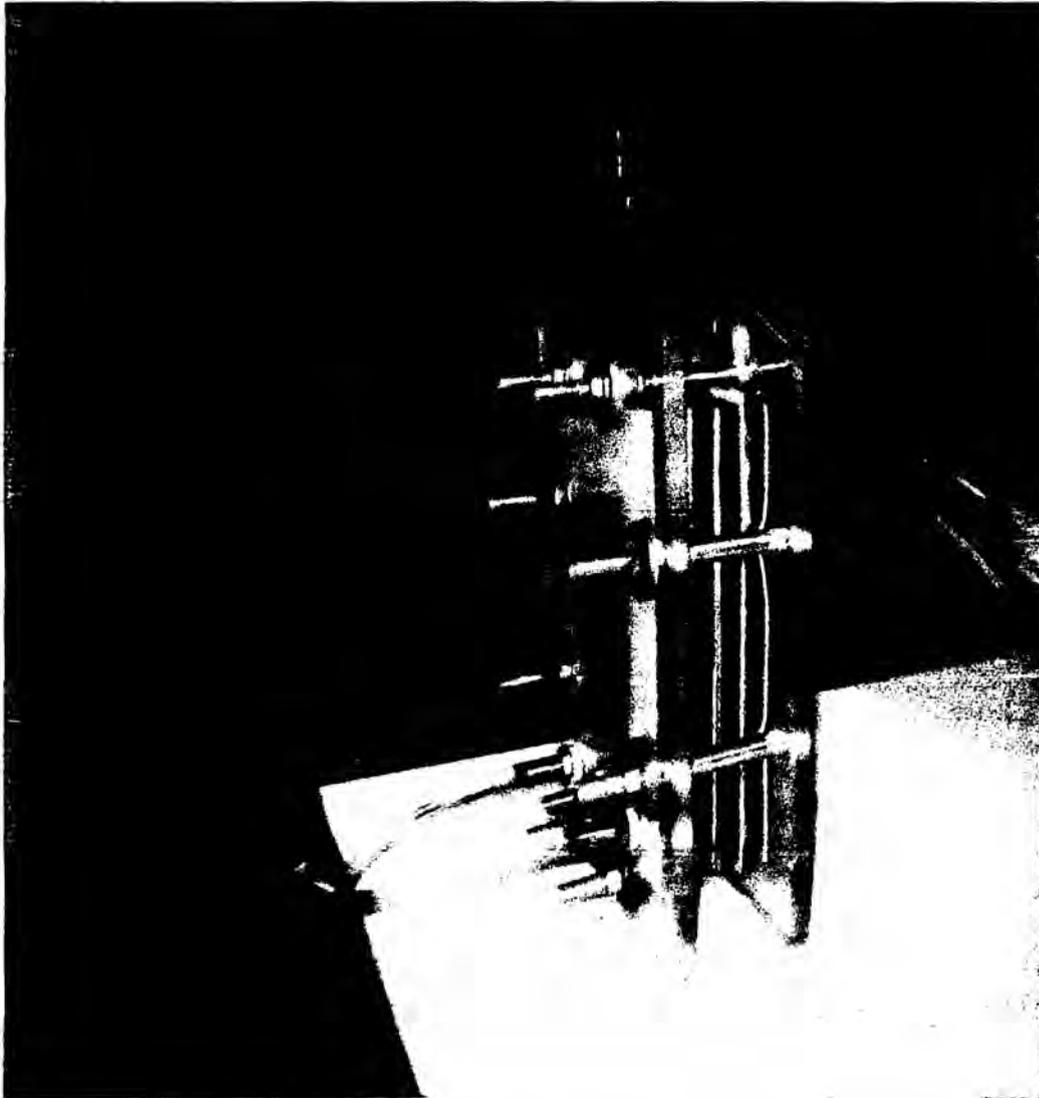


Fig. 5.1. Celda de electrodiálisis con membrana bipolar a escala de Laboratorio

5.2. PRUEBAS EXPERIMENTALES

5.2.1. PRUEBA N°1.

Para determinar la corriente limite, el voltaje fue incrementada escalonadamente con un paso de 2 voltios cada 15 min. y la corriente fue monitoreada en forma permanente mediante un multitestter. Las solución de prueba fue preparada a 0,5N de NaCl y la conductividad de la celda de hidróxido de sodio y ácido clorhídrico fue de 200us. Las soluciones fueron recirculadas a flujo constante de 200mL/ min

Tabla 5.1: Elaboración propia

Voltaje(V)	0	2	4	6	8	10	12	13,5	15	17	19	21	23	25	27
Corriente (A)	0	0,01	0,02	0,03	0,06	0,08	0,1	0,11	0,11	0,12	0,13	0,17	0,23	0,32	0,46

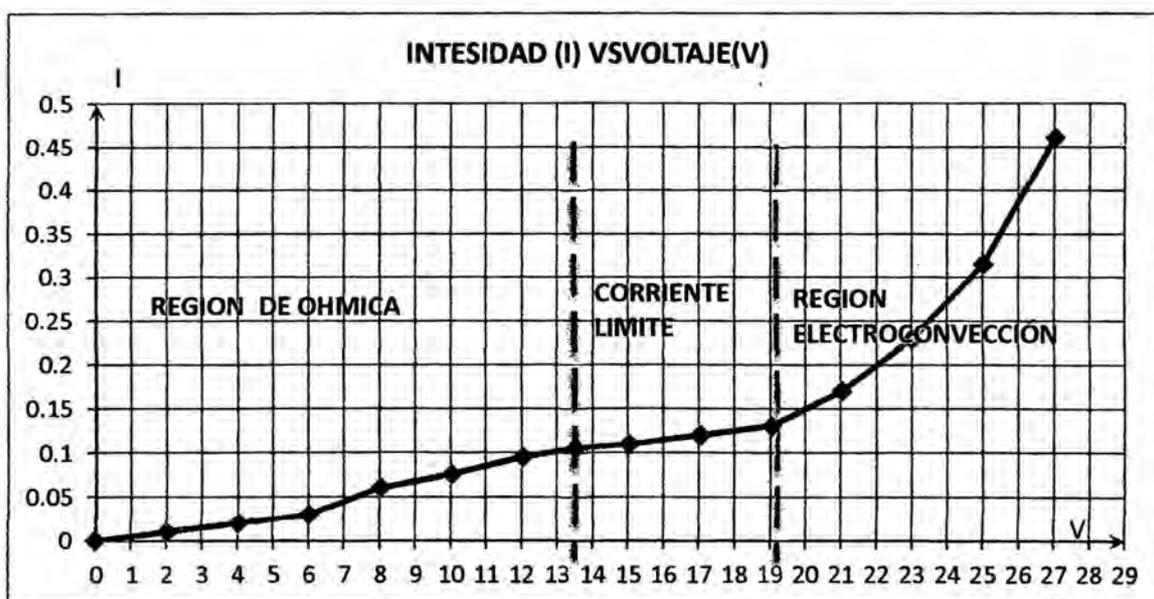


FIGURA 5.2: Curva de voltaje y corriente eléctrica

5.2.2. PRUEBA N° 2

La segunda prueba se realizó a una concentración de 0,5N de cloruro de sodio con un volumen de 2L, el tanque de hidróxido de sodio de 2L con una conductividad de 150 us y el tanque de ácido clorhídrico de 233us, manteniendo constante de 15 V. Las soluciones fueron recirculadas a flujo constante de 200mL/ min

Tabla 5.2: Elaboración propia

TANQUE 1 NaOH jul-13			TANQUE 2 HCl jul-13		
Tiempo(min)	CE(ms/cm)	pH	Tiempo(min)	CE(ms/cm)	pH
0	0.15	10.19	0	0.233	3.17
30	0.32	11.04	30	0.272	2.71
60	0.7091	11.57	60	1.063	2.37
90	1.174	11.8	90	2.31	2.16
120	2.3	11.71	120	3.91	2.14

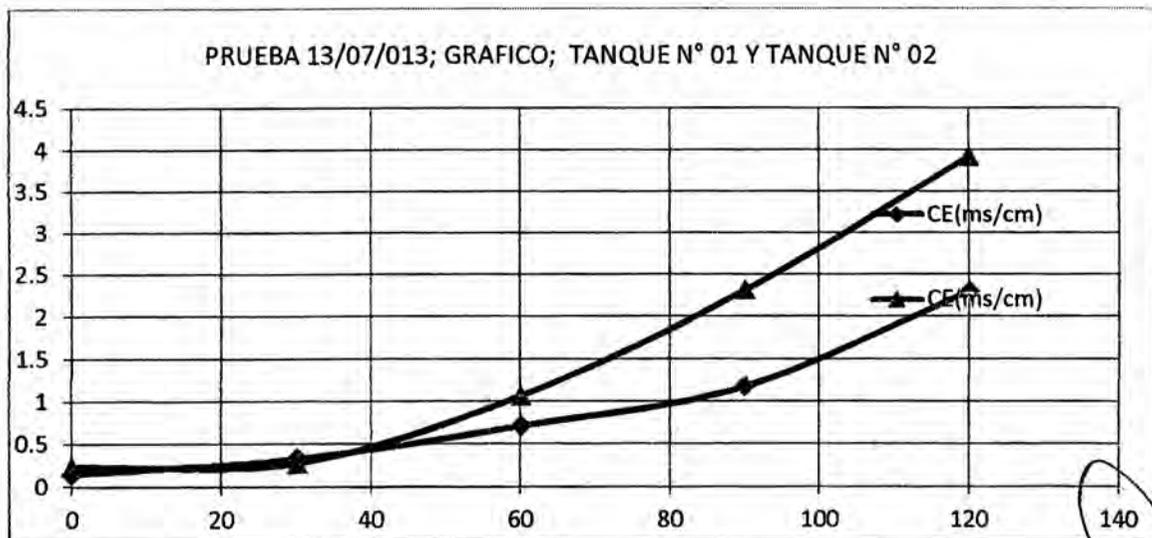


FIGURA 5.3: Conductividad del hidróxido de sodio y ácido clorhídrico

5.2.3. PRUEBA N° 3

La tercera prueba se realizó a una concentración de 0,25N de cloruro de sodio con un volumen de 2L, el tanque de hidróxido de sodio de 2L con una conductividad de 400 us y el tanque de ácido clorhídrico de 362us, manteniendo constante de 10 V. Las soluciones fueron recirculadas a flujo constante de 200mL/ min

Tabla 5.3: Elaboración propia

13-jul-13	TANQUE NaOH		13-jul-13	TANQUE HCl	
Tiempo (min)	CE(ms/cm)	pH	Tiempo(min)	CE(ms/cm)	pH
0	0.4	10.19	0	0.362	3.17
60	0.788	11.04	60	1.157	2.71
120	1.521	11.57	120	2.72	2.37
180	2.31	11.8	180	3.76	2.16
240	2.83	11.71	240	4.84	2.14

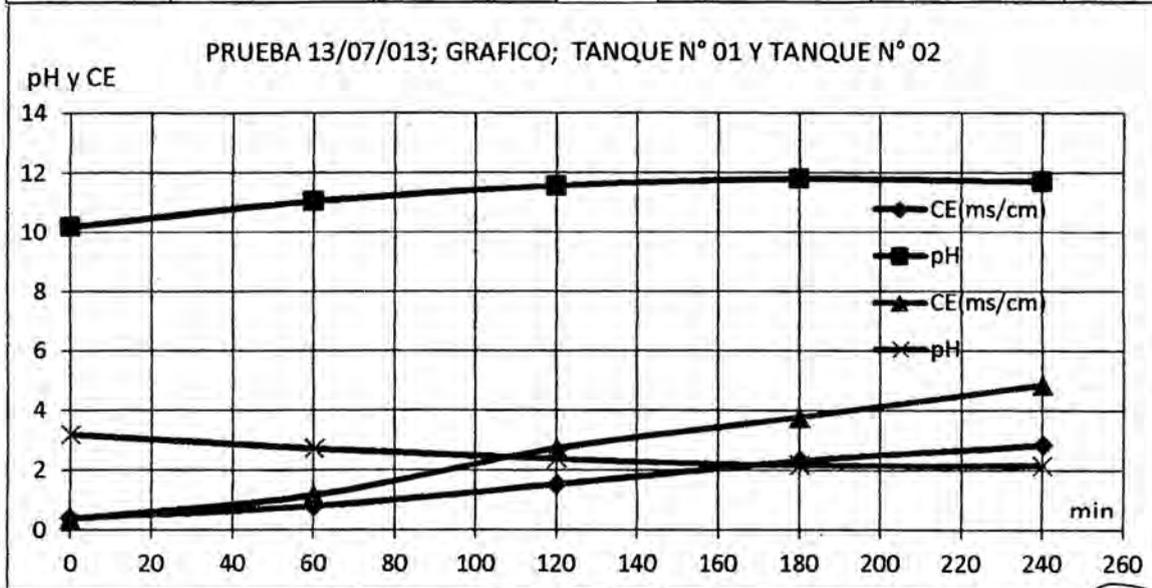


Fig.5.4: Conductividad del hidróxido de sodio y ácido clorhídrico y pH en Función del tiempo

5.2.4. PRUEBA N° 4

La cuarta prueba se realizó a una concentración de 0,5N de cloruro de sodio con un volumen de 2L, el tanque de hidróxido de sodio de 2L con una conductividad de 106 us y el tanque de ácido clorhídrico de 353us, manteniendo constante de 25 V. Las soluciones fueron recirculadas a flujo constante de 300mL/ min

Tabla 5.4: Elaboración propia

TANQUE 1 NaOH 17-jul-13			TANQUE 2 HCl 17-jul-13		
Tiempo(min)	CE(ms/cm)	pH	Tiempo(min)	CE(ms/cm)	pH
0	0.1067		0	0.353	
20	0.11		20	0.446	3.15
40	0.1437	10.83	40	0.581	3.09
60	0.316	10.77	60	0.931	2.85
80	0.559	11.1	80	1.375	2.76
100	0.154	11.49	100	3.01	2.18
120	3.04	11.75	120	5.06	2.09
140	5.66	11.95	140	9.29	1.9
160	7.69	12	160	11.56	1.84
180	9.67	12.06	180	15.14	1.76

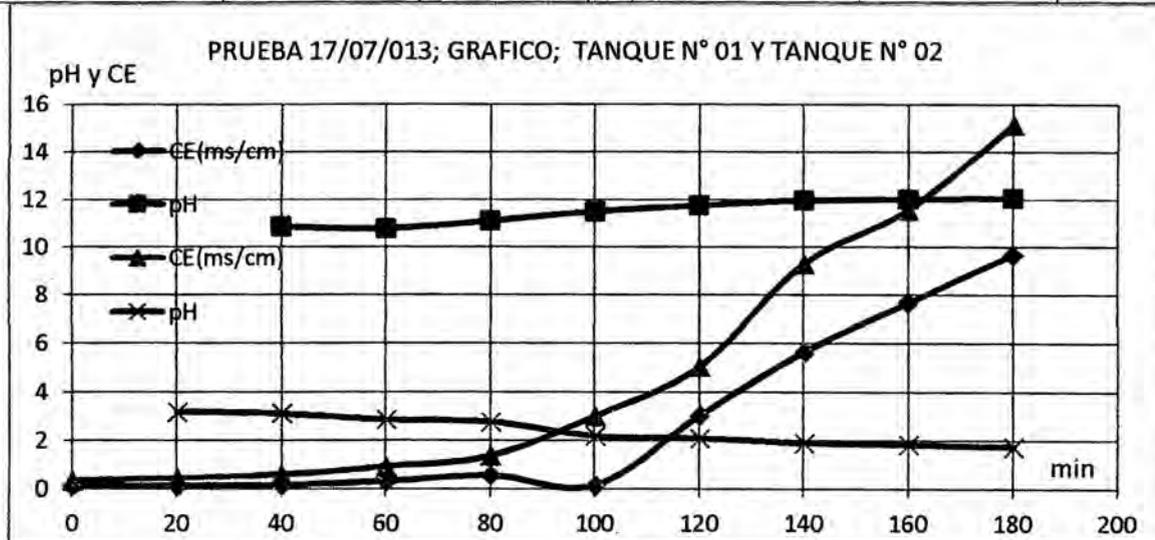


Fig. 5.5: Conductividad del hidróxido de sodio y ácido clorhídrico y pH



5.2.5. PRUEBA N° 5

La última prueba se realizó a una concentración de 0,25N de cloruro de sodio con un volumen de 2L, el tanque de hidróxido de sodio de 2L con una conductividad de 179 us y el tanque de ácido clorhídrico de 418us, manteniendo constante de 20 V. Las soluciones fueron recirculadas a flujo constante de 300mL/ min

Tabla 5.5: Elaboración propia

TANQUE 1 NaOH 18-jul-13			TANQUE 2 HCl 18-jul-13		
Tiempo(min)	CE(ms/cm)	pH	Tiempo(min)	CE(ms/cm)	pH
0	0.179	3.69	0	0.418	3.3
50	0.294	10.5	50	0.816	2.85
100	0.949	11.5	100	1.983	2.71
150	1.62	11.57	150	3.24	2.34
200	2.54	11.69	200	4.5	2.21
250	3.6	11.8	250	6.44	2.09
300	6.3	11.96	300	10.9	1.85
350	10.4	12.02	350	15.5	1.76

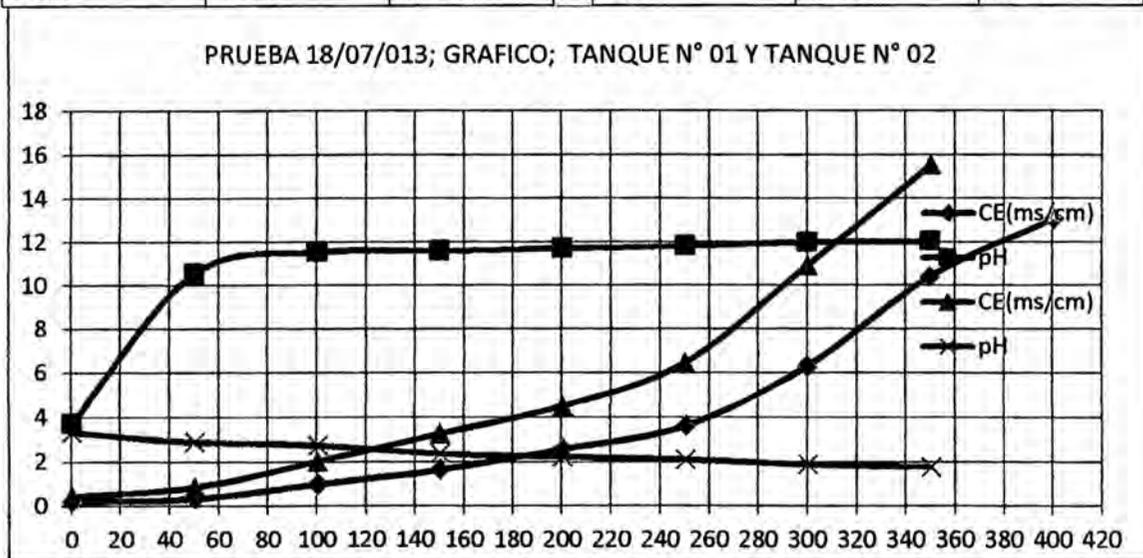
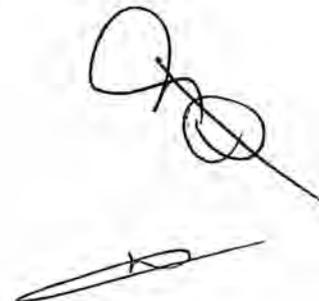


Fig. 5.6: Conductividad del hidróxido de sodio y ácido clorhídrico y pH en Función del tiempo

VI. DISCUSION DE RESULTADOS

6.1. EQUIPO DE ELECTRODIALISIS CON MEMBRANA BIPOLAR

1. El módulo de electrodiálisis con membrana bipolar construido, mostró un buen funcionamiento de operación en la producción de ácido clorhídrico y hidróxido de sodio, el uso de espaciadores de material acrílico y juntas de material de plástico permite sellar el módulo sin ocasionar fuga de las soluciones..
2. La distancia entre membrana catiónica , anionica y membrana bipolar es de 5 mm.
3. Se ha seleccionado como ánodo , material de titanio para evitar la oxidación de dicho electrodo , actuando solamente como medio de transporte de los electrones entre la fuente y el electrolítico.
4. Para la construcción de la celda se ha seleccionado material acrílico transparente, con fines didácticos igual forma esto permite sellar y evitar fuga de la corrientes de proceso.
5. El equipo trabaja en forma batch.
6. La corriente eléctrica más elevada fue registrada trabajando a 22V cuyo valor es 180mA (corriente limite)



6.2. EFECTO DE PARÁMETROS DE OPERACIÓN DEL PROCESO

El módulo de electrodiálisis con membrana bipolar construido, mostró un buen funcionamiento de operación en la obtención de hidróxido de sodio y ácido clorhídrico, el uso de 25 voltios y flujo de 300 mL/min. Presentó la mejor alternativa de operación, dando como resultado una mayor conductividad de hidróxido y ácido clorhídrico, igual forma mayor alcalinidad del hidróxido de sodio y mayor acides del ácido clorhídrico.

6.3. EFECTO DE CONCENTRACION DE ALIMENTACION.

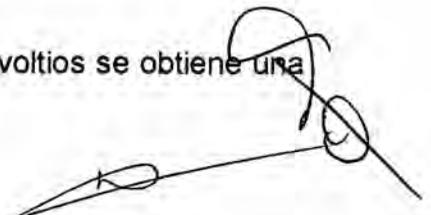
De la gráfica Fig. 5.6 se muestra que a bajas conductividades de alimentación del hidróxido de sodio y ácido clorhídrico la conductividad se incrementa muy lentamente, esto se debe a la poca presencia de iones en la solución.

Igual forma no existe variación significativa de la concentración de hidróxido de sodio con respecto a la variación de conductividad de hidróxido de sodio y ácido clorhídrico en función del tiempo.

6.4. EFECTO DE VOLTAJE

El efecto de potencial eléctrico en el rango de operación (10 , 15 , 20 y 25V) sobre la conductividad del hidróxido de sodio, muestra que a 25 voltios presenta mayor conductividad como se muestra en la Fig. 5.5 (9,65 ms) y del ácido 15,14us al cabo de 3h de operación.

Se observa de la tabla 5.4 cuando el sistema trabaja a 10 voltios se obtiene una baja conductividad.

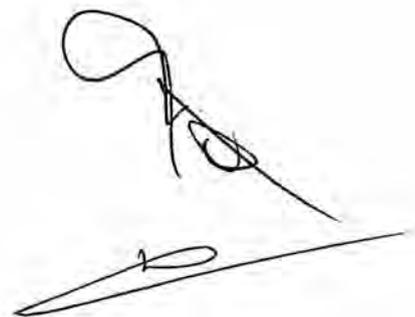


6.5. EFECTO DE FLUJO DE ALIMENTACION

El efecto del flujo de de alimentación entre los rangos de (200 y 300 mL/min.) sobre la conductividad de los resultados se observa que a 300 mL/ min. Presenta mayor incremento de conductividad manteniendo constante la concentración .

6.6. EFECTO DEL pH.

El pH del hidróxido de sodio alcanza el mayor valor de 12,06 a 25 V y 300mL/min. y a una concentración de NaCl de 0,5N y el pH de ácido clorhídrico 1,76. Tabla N° 5.4.

A handwritten signature in black ink, consisting of a large, stylized initial 'R' followed by a series of loops and a long horizontal stroke at the bottom.

VII. REFERENCIALES

1. A. Igual Muñoz, J. García Antón, J.L. Guiñón Segura y V. Pérez Herranz
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."Designing of
anelectrodialysisdesalination plant". Desalination142(2002) 267
3. Laura J. Banasiak, Thomas W. Kruttschnitt.
Andrea.Schafer."Desalinationusingelectrodialysisasafunctionofvoltage
andsaltconcentration".Desalination205(2007) 38-46.
4. Laurence k. wang "Membrane desalination tecnologias, 2011
5. J.M. Ortiz, E. Exposito, F. Gallud, V. Garcia- Garcia, V. Montiel, A. Aldaz.
Photovoltaicelectrodialysis system for brackish water desalination: Modeling
of global process.Journal of membrane science 274(2006) 138-149.
6. Juan Manuel Ortiz, Eduardo Expósito, Francisco Gallud, Vicente García-
García, Vicente Montiel*, Antonio Aldaz, Electrodialysis of brackish water
powered by photovoltaic energy without batteries: direct connection
behavior, 208 (2007) 89–100
7. Khaled Walha , Raja Ben Amar, LoubnaFirdaous, Francis Quemeneur,
pascal Jaouen. Brackish groundwater treatment by nanofiltration, reverse
osmosis and electrodialysis in Tunisia: performance and cost
comparison.Desalination 207(2007) 95-106.
8. L. M. Alvarez, A. Montes Comparacion de dos membranas selectivas
monopolares de intercambio aniónico en la remoción de nitratos

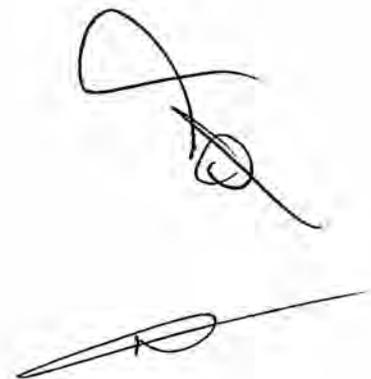
9. Mariam Tureck Optimization of electro dialytic desalination in diluted solutions. *Desalination* 153 (2002) 383-387.
10. N. Kabay*, M. Demircioglu*, E. Ersiiz, I. Kurucaovali, Removal of calcium and magnesium hardness by electro dialysis, 149 (2002) 343-349.
11. O.V. Grigorchuc. V.I. Vasil-eva, V.A. Shaposhnik. Local characteristics of mass transfer under electro dialysis Demineralization. *Desalinizacion* 184 (2005) 431- 438
12. P.Mier, I Ortiz and R. Ibañez Mathematical description of Bipolar membrane electro dialysis processes for obtention of acids and bases. *Ingenieria quimica* 418, 166- 182.
13. R. Klischenko, B. Kornilovich, R. Chebotaryoba, V. Linkov Purification of galvanic sewage from metal by electro dialysis *Desalination* 126(1999) 159-162
14. R. Valerdi-Pérez, M. López-Rodríguez, J.A. Ibañez-Mengual*, Characterizing an electro dialysis reversal pilot plant, 137 (2001) 199–206.
15. R. Ibañez, P. Mier, M. J. Rivero e I. Ortiz Dpto. Ingeniería Química y Química Inorgánica Electrodiálisis con membranas bipolares 2001
16. Ramh Valerdi-Perez, Jo& A. Ibtiez-Mengual*, Current-voltage curves for an electro dialysis reversal pilot plant: determination of limiting currents, 141 (2001) 23-37.
17. Stanislaw Koter Analysis of an electro dialysis unit on the basis of irreversible thermodynamics *Desalination*, 95(1994)139-153.

18. T Mohammadi A. Razmi, M. Sadrzadeh .Effect of operating parameters on Pb separation from wastewater using electro dialysis *Desalination* 167 (2004) 379-385
19. Toraj Mohammadi, Anita Kaviani, "Water Shortage and seawater desalination by electro dialysis", *Desalination*, Vol.158, 2003, 267-270.
20. Toraj Mohammadi, Anita Kaviani, Water shortage and sea water dealination by electro dialysis, 153 (2002) 399-404
21. Vu Hong Thang, Werner Koschuh, Klaus D. Kulbe, Stefan Kromus Cristian Krotscheek, Senad Novalin. Desalination of high sal content mixture by two-stage electro dialysis as the first step of separating valuable substances from grass silage *Desalination* 162 (2004) 343-353
22. V.V Slesarenko Electro dialysis and reverse osmosis membrane plants at power stations .*Desalination* 158 (2003) 303-311
23. V.Niconenko, V.Zabolotsky, C.Larchet, B. Auclair, G. Pourcelly. Mathematycal Description of ion transport in membrane system. *Desalination* 147 (2002) 369-374.
24. V.Niconenko , V.Zabolotsky A.G.Istoshin, M.Kh. Urtenov. C.Larchet., J. Benzaria.. Analysis of electro dialysis water desalination costs by convective-diffusion model..*Desalination* 126 (1999) 207-211..
25. V.E. Santadosa, F. Peretti, J. Zoppas, M. Zen. Study of ion seleectivemenbranes from electro dialysis removal of industrial effluent metals II: Zn and Ni. *Desalination* 149(2002) 389-391.

26. Yan Goug, Xiao-Lin, Wang, Li-xinYu. Proceso simulation of desalination by electro dialysis of an aqueous solution containing a neutral solute. Desalination 172(2005)157-172.
27. R. Ibáñez, P. Mier, M. J. Rivero e I. Ortiz Dpto. Ingeniería Química y Química Inorgánica Electrodialisis con membranas bipolares
28. William Shane Walker, B.S., M.S.E. Improving Recovery in Reverse Osmosis Desalination of Inland Brackish Groundwaters via Electrodialysis

PÁGINAS WEB

1. <http://www.ua.es/otri/es/areas/ttot/docs/TO-ED-FV.pdf>
2. <http://www.fumatech.com/NR/rdonlyres/CDE4224C-7311-4344-9254-742B0B94C69A/0/fumasepFBM.pdf>
3. <http://www.fumatech.com/EN/Products/c>
4. <http://www.aseanbiotechnology.info/Abstract/21020312.pdf>
5. www.leia.es/archivos_proyectosweb/proyecto116_a2.doc
6. <http://membrane.ustc.edu.cn/paper/pdf/ion%20exchange%20membranes%20state%20of%20their%20development%20and%20perspective.pdf>
7. http://konyvtar.uni-pannon.hu/hjic/HJIC36_095_099.pdf



VIII. APENDICE

8.1 FIGURA DE MEMBRANA CATIONICA Y ANIONICA

8.2 FIGURA DEL PROCESO DE ELECTRODIALIS CON MMEBRANA
BIPOLAR

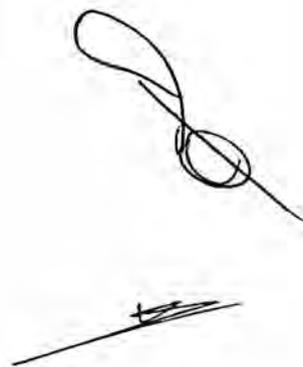


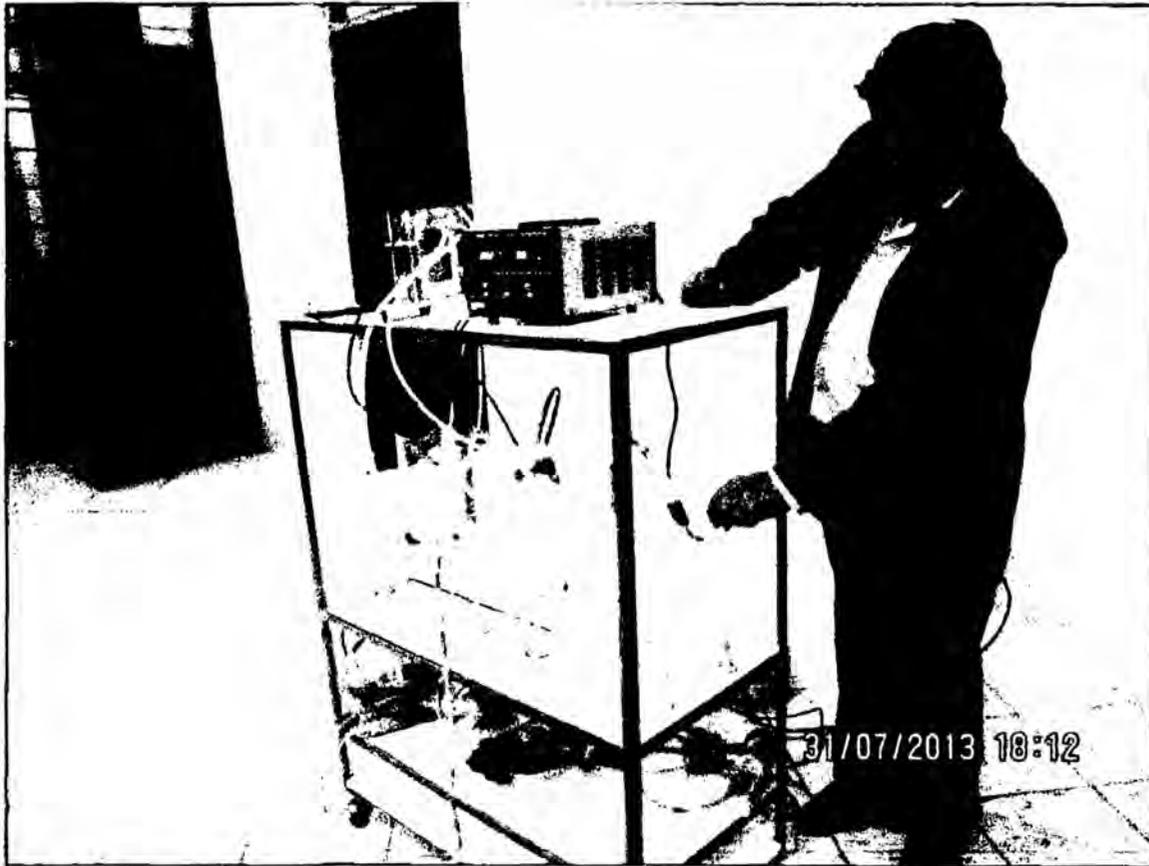
FIGURA DE MEMBRANA CATIONICA Y ANIONICA



A handwritten signature or scribble consisting of several loops and a long horizontal stroke extending to the right.

A handwritten signature or scribble consisting of a long horizontal stroke with a small loop at the end.

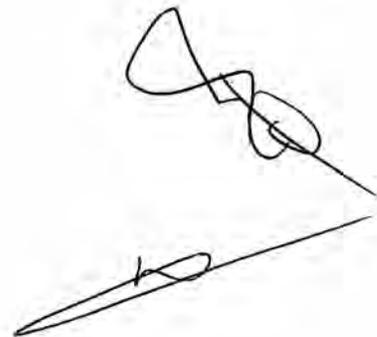
FIGURA DEL PROCESO DE ELECTRODIALIS CON MMEBRANA BIPOLAR



[Handwritten signature]

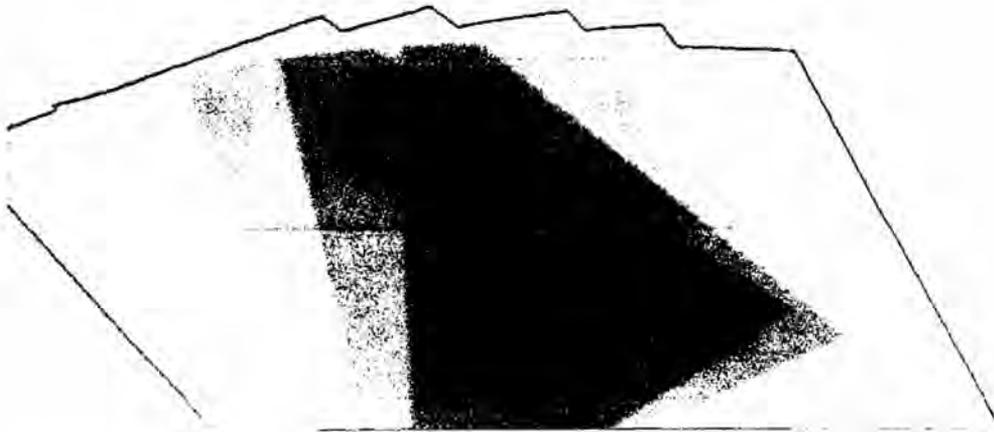
IX. ANEXOS

- A.1.** MEMBRANA DE INTERCAMBIO IONICO DE LA EMPRESA FUMA-TECH
- A.2.** CONFIGURACION DE MEMBRANA BIPOLAR EN TRES COMPARTIMIENTOS
- A.3** DIAGRAMA DE UM PROCESO DE ELECTRODIALISIS COM MEMBRANA BIPOLAR PARA LA PRODUCCION DE ACIDO Y BASE
- A.4** **GRAFICA DE** CONCENTRACION DE ACIDO Y BASE EM FUNCION DEL TIEMPO
- A.5.** GRAFICA DE pH DEL ACIDO Y BASE EN FUNCIOON DEL TIEMPO

A handwritten signature in black ink, consisting of several loops and a long horizontal stroke at the bottom.

A.1. MEMBRANA DE INTERCAMBIO IONICO DE LA EMPRESA FUMA-TECH

Ion Exchange Membranes



FuMA-Tech – the company for functional membranes and plant technology – is one of the leading manufacturer of ion exchange membranes for different electrochemical operations.

Our modern coating plant produces porous, non-porous and functional membranes with excellent resistance to acids, bases, solvents and oxidation.

Standard Grade Membranes

The FAS and FCS are standard anion/cation exchange membranes for electrodialysis and reversed electrodialysis. They are cost saving membrane types with reinforcement as well as non reinforced films. Those membrane types are optimised in view of thickness, conductivity, permselectivity and area resistance, depending on the application. The recommended applications are for example desalination processes, concentration of salts, acids and bases, nitrogen removal from drinking water.

The microheterogenous membrane types FAM and FCM are based on strong base anionic and strong acid cationic ion exchange resin. The membranes are reinforced for highest mechanical stability. Special fields of application are processes like desalination, demineralization and electrodeionization to produce ultrapure water.

Membranes for Electrodialysis with Bipolar Membranes

Our products FAD , FED and FCM are designed and optimized for electrodialysis with bipolar membranes. The EDCM is the combination of conventional electrodialysis for salt separation with electrochemical water splitting for the conversion of a salt into its corresponding acid and base. FAS is an anion exchange membrane which is developed for very low proton crossover to receive a high concentration of acid. FCS is a cation exchange membrane optimised for high cation transport in combination with high OH^- retention. FCM is a bipolar membrane, which induce the splitting of water into protons and hydroxide ions.

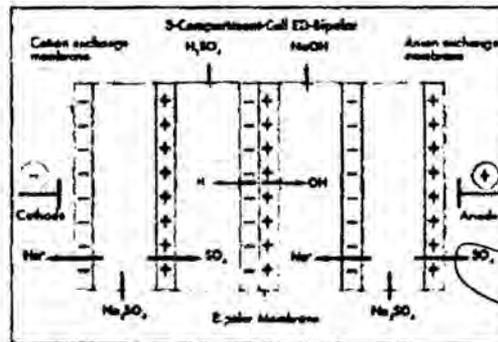


Figure 1: Electrodialysis with bipolar membranes in a 3-compartment cell

A.2. CONFIGURACION DE MEMBRANA BIPOLAR EN TRES COMPARTIMIENTOS

1. Introduction

The bipolar membrane functionality is already given for a cation exchange membrane in loose contact with an anion exchange membrane placed in an electric field with the correct polarity and sufficient strength. Water is dissociated where the two membranes are in close contact, and the dissociation products OH^- and H^+ are transported away from this interface through the anion and cation exchange membrane, respectively. At the respective side a base and an acid can be produced in an electrodiolysis repeat unit as drawn schematically in Figure 1. For practical applications such membrane arrangements are not used as bipolar membranes; they do not meet the major requirements or membrane properties of a good membrane. Well-designed bipolar membranes show high water dissociation efficiency, low energy requirement, and good chemical and mechanical stability. Therefore, it is interesting to know the materials and the production processes to manufacture bipolar membranes. That allows to optimise their properties, tailored for certain application environments.

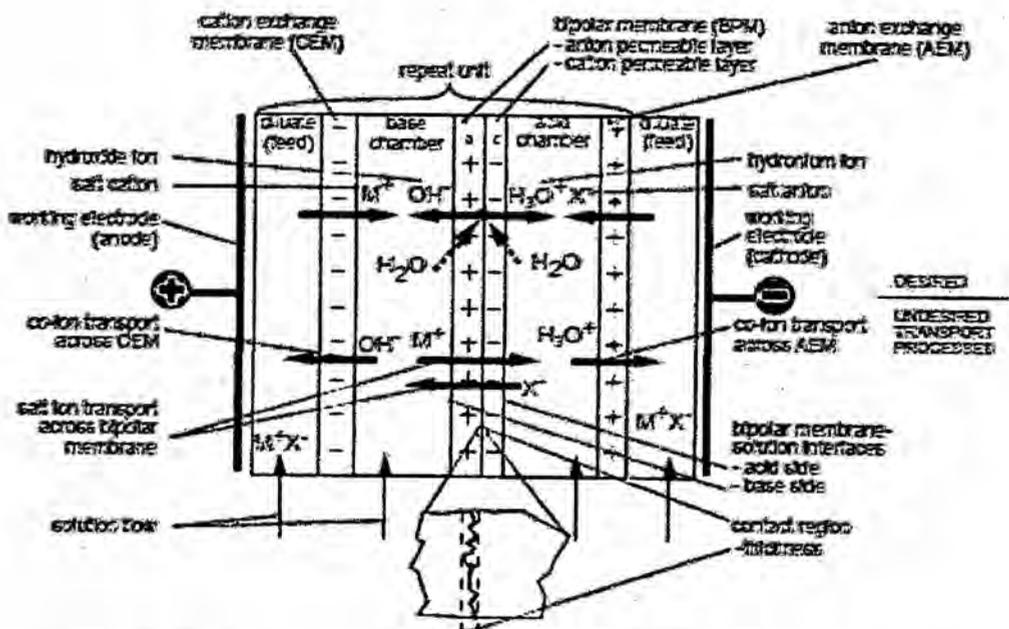


Figure 1: Bipolar membrane in a three-compartment repeat unit under production conditions for the introduction of definitions and nomenclature. Included are desired and undesired transport processes during production of a completely dissociated acid and base.