Diseño de un sistema de electrodiálisis a escala piloto laboratorio para el desalado de soluciones

Natalia Peña Prada y Daniel Alberto Roa Guarín

Trabajo de Grado para optar al título de Ingeniero Químico

Modalidad Investigación

Director

Carlos Jesús Muvdi Nova

Ingeniero Químico, Ph.D.

Codirector

Juan Carlos González Téllez

Ingeniero Químico, M.Sc.

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas

Escuela de Ingeniería Química

Bucaramanga

2022

Contenido

Introducción 8

1. Objetivos 10

1.1. Objetivo general 10

1.2. Objetivos específicos 10

2. Estado del arte 12

3. Metodología 13

3.1. Definición conceptual del piloto de electrodiálisis. 14

3.2. Diseño de piezas y partes del módulo 15

3.3. Elaboración de documentación básica requerida para el piloto 15

4. Resultados 16

4.1. Definición conceptual del piloto de electrodiálisis. 16

4.2. Diseño de piezas y partes del módulo. 22

4.3. Elaboración de documentación básica requerida para el piloto. 30

5. Conclusiones 32

6. Recomendaciones 33

Referencias Bibliográficas 34

Apéndices 36

Lista de Tablas

Tabla 1. Revisión bibliográfica de equipos y requerimientos 17

Tabla 2. Especificación general de equipos y accesorios 19

Tabla 3. Cálculo de flujo de trabajo 26

Tabla 4. Dimensionamiento de tanques 27

Tabla 5. Presupuesto del piloto de electrodiálisis 30

Lista de Figuras

Figura 1 Diagrama metodológico 14

Figura 2 Diagrama PFD: Piloto de electrodiálisis a escala laboratorio. 21

Figura 3 Primer diseño a mano alzada. 22

Figura 4 Segundo boceto a mano alzada. 24

Figura 5 Módulo de electrodiálisis EDM-Z/4x10-0.8_19, Membrain S.R.O. 28

Figura 6 Diseño del piloto a escala laboratorio en SolidWorks. 29

Lista de Apéndices

Apéndice A. Piezas obtenidas en GrabCAD..... 36

Apéndice B. Diseño del piloto de electrodiálisis en SolidWorks. 37

Apéndice C. Cotizaciones de equipos y piezas del piloto. 40

Apéndice D. Propuesta protocolos de operación, limpieza y mantenimiento. 60

Resumen

Título: Diseño de un sistema de electrodiálisis a escala piloto laboratorio para el desalado de soluciones*

Autores: Natalia Peña Prada y Daniel Alberto Roa Guarín**

Palabras Clave: Electrodiálisis, diseño, piloto, módulo membranario, lactosuero.

Descripción:

La electrodiálisis ha demostrado ser una tecnología eficiente en el tratamiento, desalado y desmineralización de diversas soluciones. Por ello, el presente trabajo propone el diseño de un sistema a escala piloto laboratorio para el desalado de lactosueros y caldos de fermentación por medio de la electrodiálisis convencional (ED). Se realizó una revisión bibliográfica que permitió identificar las características y requerimientos generales de un sistema típico de ED, así como los equipos y accesorios que lo conforman. La selección de equipos y el dimensionamiento de las piezas del piloto se realizó con base en el módulo membranario modelo *EDM-Z/4x10-0.8_19* cotizado por la compañía *Membrain S.R.O,* que será importado para la posterior construcción e implementación del sistema. Con la información recolectada, se planteó inicialmente un boceto a mano alzada para visualizar la distribución espacial de los equipos, de manera que se consideró optimizar la ergonomía y el espacio a disponer para su operación. A partir de este boceto, se realizó el diseño del piloto de ED en el software SolidWorks, incluyendo el módulo membranario, tanques de alimentación, bombas, sensores, tuberías, fuente de poder y demás accesorios considerados en el diseño conceptual. De igual forma, se desarrollaron los protocolos generales para la operación, limpieza y mantenimiento del piloto, que servirán como guía para la futura construcción de los manuales de funcionamiento para la correcta puesta en marcha del sistema.

---

*Trabajo de grado

**Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química. Director: Carlos Jesús Muvdi Nova. Ingeniero Químico Ph.D. Codirector: Juan Carlos González Téllez. Ingeniero Químico. M. Sc.

Abstract

Title: Design of a laboratory pilot scale Electrodialysis system for desalination of solutions*

Authors: Natalia Peña Prada and Daniel Alberto Roa Guarín**

Key Words: Electrodialysis, design, pilot, module, whey.

Description:

Electrodialysis has shown to be an efficient technology for the treatment, desalted, and demineralization of various solutions. Thus, the present work proposes the design of a laboratory pilot-scale system for desalting whey and fermentation broths through conventional electrodialysis (ED). A bibliographic review was carried out to identify characteristics and general requirements on a typical ED system, as well as the equipment and accessories to be included. The equipment selection and the part sizing were based on the electrodialysis module *EDM-Z/4x10-0.8_19* offered by *Membrain S.R.O, which* will be imported for future system construction and implementation. From the collected information, a freehand sketch was raised to visualize the spatial distribution, so that the ergonomics and space are optimized in operation. From this sketch, the SolidWorks design in 3D was made, including the ED module, feed tanks, pumps, sensors, pipelines, power supply, and other accessories considered in the conceptual design. Likewise, general protocols for the operation, cleaning, and maintenance were developed. These will serve as a guide for the future construction of the operation manuals and the start-up of the pilot.

---

*Bachelor Thesis

**Physical-Chemical Faculty. Chemical Engineering School. Director: Carlos Jesús Muvdi Nova. Chemical Engineer Ph.D. Codirector: Juan Carlos González Téllez. Chemical Engineer. M. Sc.

Introducción

El lactosuero es un subproducto de la industria láctea que cuenta con un alto valor nutricional y cuyos principales componentes son lactosa, proteínas lacto-séricas, calcio y sales minerales (Castro, 2015). En Colombia, el lactosuero no es procesado, y, por el contrario, es destinado a aplicaciones de bajo valor o a ser desechado en ríos y lagos, provocando gran contaminación, puesto que no se han implementado procesos para su tratamiento a gran escala.

El grupo CICTA- UIS ha trabajado en los últimos años en el diseño de esquemas para el aprovechamiento de los componentes del lactosuero. Actualmente, en colaboración con el grupo GIQTA-UPTC, se desarrolla el proyecto titulado: ¨Diseño de un proceso de producción y recuperación de lactato obtenido de la fermentación láctica de lactosuero procesado a escala piloto laboratorio", en el marco de la Convocatoria 852 de Minciencias Conectando Conocimiento. Dentro de sus objetivos están la reducción en el contenido de sales de lactosuero concentrado y la recuperación del ácido láctico proveniente de caldos de fermentación. Dicho compuesto se encuentra presente como lactato de sodio debido al control del pH durante el proceso, con la adición de hidróxido de sodio. En ese sentido, se hace necesario el diseño de un piloto que permita el desalado y la recuperación de lactato obtenido de la fermentación láctica de lactosuero.

Diversos estudios reportan la aplicación de la electrodiálisis (ED) como una tecnología efectiva de desmineralización y remoción de iones lactato en lactosueros (Michael Greiter, 2002) (Henry, 2006) (Pérez, 1999), por ser una alternativa de desalado con bajo impacto ambiental y gran potencial para una recuperación eficiente y económica del ácido láctico, con bajos costos energéticos y sin generación de corrientes residuales (Henry, 2006). Sin embargo, los equipos de

ED son de elevado costo y al no existir una industria nacional que los comercialice, hace costosa la implementación de este tipo de tecnologías en el país.

El diseño de un módulo de electrodiálisis a escala laboratorio para el tratamiento de los lactosueros permitiría la disminución de costos de importación y adquisición que suponen la compra de una unidad completa de electrodiálisis, además de promover el desarrollo de nuevas tecnologías en el país que se ajusten a las necesidades que hoy en día tienen las industrias en relación con técnicas que favorezcan la sostenibilidad de los procesos.

1. Objetivos

1.1. Objetivo general

Diseñar un sistema de electrodiálisis a escala piloto laboratorio para el desalado de lactosuero y de lactato proveniente de caldos de fermentación.

1.2. Objetivos específicos

- Definir el diseño conceptual del piloto de electrodiálisis.
- Elaborar piezas y partes de la estructura del piloto de electrodiálisis mediante el diseño en el software SolidWorks.
- Documentar los protocolos de funcionamiento del equipo en base al diseño conceptual.

2. Marco conceptual

La electrodiálisis puede definirse como una tecnología de membranas que permite la separación, concentración y descontaminación de soluciones. En esta, las especies iónicas son transportadas a través de membranas de intercambio iónico bajo la influencia de un campo eléctrico continúo como fuerza motriz (Avila et al, 2000).

Las primeras aplicaciones de la electrodiálisis se remontan a principios del siglo XIX cuando Schwein utilizó esta tecnología para purificar extractos azucareros. Sin embargo, su invención se atribuye a Morse y Pierce, quienes en el año 1903 introdujeron un par de electrodos en los compartimentos de una celda de diálisis para acelerar el proceso de separación de electrolitos de una solución de gelatina. A finales de los años cuarenta, este tipo de dializador se convirtió en una opción válida para realizar operaciones de dilución y concentración de disoluciones de electrolitos (Luzón, 2014).

La separación se lleva a cabo mediante la utilización de membranas selectivas a cationes (membranas catiónicas, CEM) y membranas selectivas a los aniones (membranas aniónicas, AEM). Estas membranas se colocan de forma alterna, formando celdas (Avila et al, 2000), que a su vez están compuestas por separadores de plástico llamados espaciadores de flujo dispuestos en pilas de tal modo que todos los flujos desmineralizados y concentrados estén interconectados respectivamente entre sí (Luzón, 2014). En cada extremo de este arreglo de membranas se coloca un par de electrodos (cátodo y ánodo) que generan una diferencia de potencial. Este potencial eléctrico permite la migración de los cationes hacia el cátodo (electrodo negativo) a través de la membrana de intercambio catiónico (García, 2005), y de los aniones hacia el ánodo (electrodo positivo) a través de la membrana de intercambio aniónico (Avila et al, 2000).

Las membranas de intercambio iónico son el elemento principal en el proceso (Murcia Berdugo & Cifuentes Aguilera, 2017). Estas son películas finas de materiales poliméricos que poseen una carga eléctrica (García, 2005). Las membranas catiónicas poseen cargas negativas como grupos sulfónico o carboxilo y las aniónicas cargas positivas como grupos de amonio cuaternario (Murcia Berdugo & Cifuentes Aguilera, 2017), permitiendo el paso selectivo de cationes o aniones, respectivamente (García, 2005). Los parámetros de mayor influencia en ED incluyen: la selectividad entre iones de carga opuesta, alta conductividad iónica, estabilidad química a largo plazo, resistencia mecánica y resistencia a la colmatación; siendo esta última generada por el taponamiento o deposición de material sobre las membranas. La colmatación se puede contrarrestar con un pretratamiento al suero de alimentación y hacer limpiezas a las membranas (Santamaría, 2015).

3. Estado del arte

Con el desarrollo de membranas selectivas de baja resistencia eléctrica, con propiedades térmicas y mecánicas mejoradas, se ha generado gran interés en las aplicaciones de la ED, como es el caso de la desalinización del agua de mar, el tratamiento de aguas residuales (C.A. Solís, 2016), la obtención de compuestos activos para medicamentos, y especialmente en las industrias alimentarias para la obtención de las proteínas y desmineralización del lactosuero (Luzón, 2014) , siendo éste actualmente su mayor uso (C.A. Solís, 2016).

Un interesante ejemplo de aplicación de las tecnologías de membranas en el tratamiento del suero es la posibilidad de aprovechar sus componentes para la elaboración de productos con valor agregado como lactosuero en polvo, proteínas aisladas de suero, proteínas concentradas de suero, suero deslactosado, suero permeado, lactosa en polvo, entre otros (C.A. Solís, 2016).

Diversos estudios han demostrado que la electrodiálisis ha sido satisfactoria para la recuperación del ácido láctico en caldos de fermentación, así como para desmineralizar sueros para la posterior producción de polvos de proteína. Chen *et al.* (2016) estudiaron el uso de la ED operada en modo batch, como tecnología de desmineralización para remover los iones lactato del lactosuero, pues procesos del *downstream* como el *spray drying* requiere una disminución en la concentración de ácido láctico para evitar las aglomeraciones de polvo y depósitos pegajosos que impidan el correcto funcionamiento del equipo. Los autores obtuvieron un resultado satisfactorio, con una remoción del 80% de los iones lactato y una desmineralización del 90%. A su vez, Ávila *et al.* (2000) estudiaron la factibilidad de desalar y desacidificar dos tipos de suero (el obtenido de la fabricación de mantequilla y el del queso tipo "bonsalut") mediante la ED. Los resultados obtenidos muestran que es factible en ambos casos, pero que sólo a partir de una cierta concentración inicial del lactosuero se concluye que el método es conveniente desde el punto de vista del rendimiento para su aplicación a escala industrial.

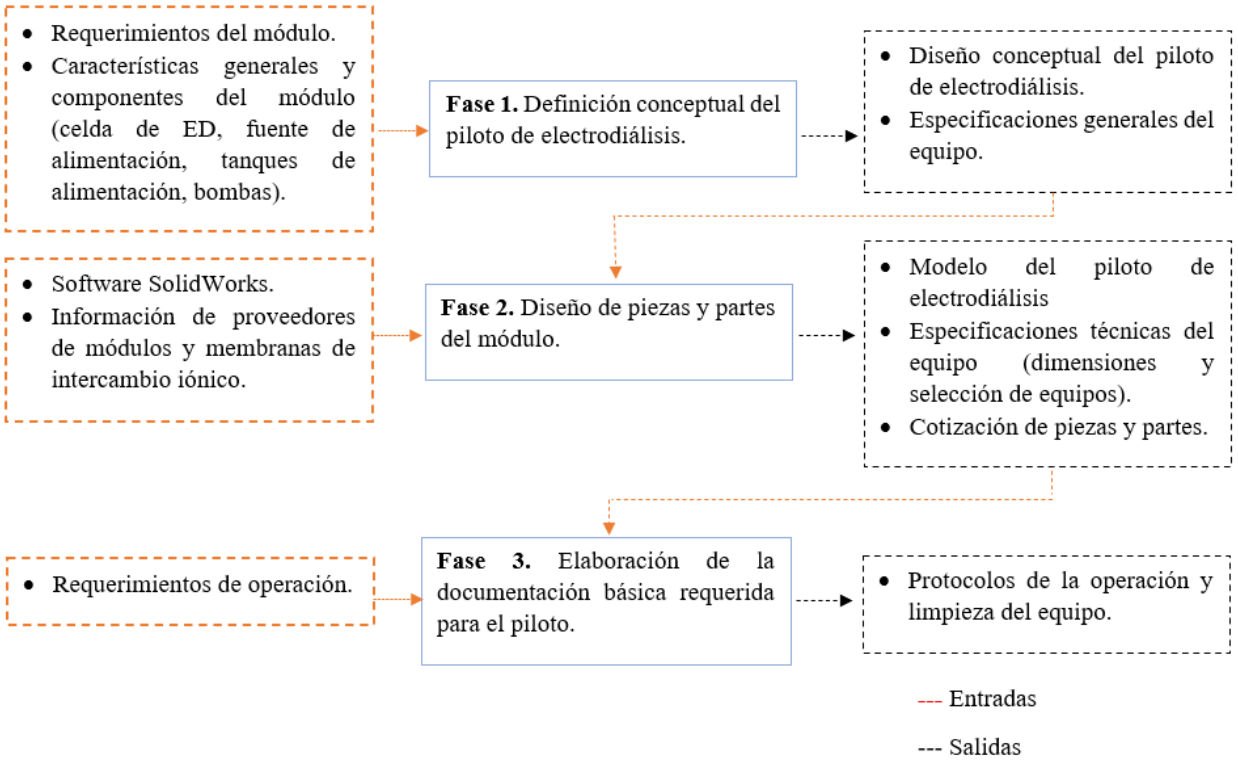
Teniendo en cuenta lo expuesto anteriormente, el desarrollo de este proyecto pretende aprovechar las características y ventajas de la electrodiálisis con el diseño de una unidad a escala piloto que permita el desalado y la recuperación de ácido láctico de caldos de fermentación obtenidos utilizando lactosueros procesados.

4. Metodología

La Figura 1 presenta la metodología desarrollada para el presente proyecto, el cual se llevó a cabo mediante 3 fases, con sus respectivas actividades y resultados.

Figura 1

Diagrama metodológico



4.1. Definición conceptual del piloto de electrodiálisis

Se realizó una revisión de la literatura para el reconocimiento de partes en un sistema de ED típico, lo cual proporcionó una visión general de los requerimientos y componentes para tener en cuenta para el desarrollo de esta fase.

Se seleccionó electrodiálisis convencional como tecnología a desarrollar, teniendo en cuenta que la solución a tratar es lactosuero, y los equipos necesarios para el montaje final. Los materiales de los equipos empleados como bombas, tuberías y depósitos se eligieron con base en a su resistencia a la corrosión, física y al ataque electroquímico, por lo cual se consideró el PVC y el acero inoxidable.

En esta fase se desarrolló un diseño conceptual 2D que describe los equipos, partes y materiales necesarios para el piloto, así como los requerimientos técnicos básicos necesarios para el modelado de la estructura del piloto en 3D que se realizó en la fase posterior.

4.2. Diseño de piezas y partes del módulo

Se modelaron las piezas y partes individuales que conforman el sistema por medio del software SolidWorks, para así obtener el diseño de la estructura del piloto de ED y sus especificaciones técnicas. Además, se realizó una búsqueda de posibles proveedores de módulos de ED, membranas de intercambio iónico, equipos y accesorios para cotizar y adquirir los que mejor se adapten a las necesidades del proyecto. Estos serán el recurso necesario para la fabricación futura de las piezas a cargo de una empresa nacional experta en maquinado, en un posterior trabajo de grado enfocado en la implementación del piloto.

4.3. Elaboración de documentación básica requerida para el piloto

Se desarrolló la documentación pertinente para el uso correcto del piloto, que comprende las propuestas para protocolos de limpieza y mantenimiento, protocolos de operación, y guías para la toma de datos y el seguimiento de pruebas experimentales. Para esta documentación, se tomó como referencia información suministrada para sistemas comerciales reportados en la literatura y demás referencias bibliográficas. Es importante aclarar que estos documentos deberán ser ajustados en el momento de implementar el piloto en un futuro trabajo de grado.

5. Resultados

5.1. Definición conceptual del piloto de electrodiálisis

Se realizó una revisión bibliográfica en la cual se identificaron componentes, equipos y accesorios utilizados en el proceso de electrodiálisis, con el fin de tener una referencia de prototipos ya implementados. En la Tabla 1 se dan a conocer las especificaciones de cada una de las partes que componen los diferentes módulos según la literatura. Con el análisis de esta tabla se pudo identificar el requerimiento de equipos tales como bombas, fuente de poder, rotámetros, módulo membranario, válvulas y sensores para el seguimiento de variables como la temperatura, presión, pH y conductividad. Dentro de estas especificaciones, se observa, además, el uso de filtros para el pretratamiento de las soluciones, sin embargo, para el alcance del presente proyecto se asume que las corrientes de alimentación son previamente acondicionadas y tratadas en etapas anteriores. De igual forma, se omite el uso de rectificadores debido a que se opta por seleccionar una fuente de poder que suministre corriente continua.

Para el caso de prototipos más robustos, a escala industrial, se requiere de sistemas de control de variables que garanticen el buen funcionamiento del circuito. Sin embargo, en el marco del proyecto, y por la escala del proceso, se planteó la implementación de control manual, y en ese sentido se necesita únicamente la implementación de sensores e indicadores para realizar el seguimiento de las variables de operación.

A partir de la información recolectada, se obtuvieron las especificaciones generales de equipos y accesorios requeridos para el diseño y futuro montaje del piloto de ED. Estas especificaciones se seleccionaron según las condiciones de trabajo y se resumen en la Tabla 2. En el marco del proyecto MinCiencias, se requieren depósitos con una capacidad de 5 L y tuberías de material

resistente a la corrosión; se planteó considerar PVC o acero inoxidable. Dado que el piloto contiene 3 circuitos, de concentrado, de diluido y de lavado, se implementarán 3 bombas centrífugas de accionamiento magnético, que se reportan en la información contenida en la Tabla 1. El tipo de bomba se definió considerando que son idóneas para el bombeo de líquidos corrosivos de viscosidad baja o normal.

Tabla 1

Revisión bibliográfica de equipos y requerimientos.

REFERENCIA	**“Electrólisis reversible para la obtención de agua a partir de efluentes industriales depurados” (Luzón, 2014)**	**¨Tratamientos de aguas de producción por electrodiálisis¨ (Roa, 2007)**	**"Lactic acid separation from fermented whey using electrodialysis" (Ana Machado, 2007)**	**"Obtención de ácidos y bases a partir de disoluciones salinas concentradas” (Estrella, 2014)**	**“Desacidificación del lactosuero ácido mediante electrodiálisis” (Santamaría, 2015)**
SOLUCIÓN TRATADA	Agua de alimentación con salinidad de 5.183,6 ppm.	Agua de producción.	Suero lácteo obtenido a partir de la producción del queso Bonsault.	Soluciones salinas sintéticas de NaCl, Na_2SO_4	Lactosuero crudo y lactosuero concentrado (ácido)
SOLUCIONES TRATANTES	Para limpieza y enjuague de membranas se utilizan disoluciones de HCl y/o NaCl.	NaCl 1.000 ppm (solución donde se concentra), NaCl 2.500 ppm (solución a diluir), Na_2SO_4 al 3% con H_2SO_4 (solución de lavado).	Sulfato de sódio al 3,5%, ácido sulfúrico concentrado, NaCl, NaOH al 0,5%	Sulfato de sodio anhidro, cloruro de sódio, ácido clorhídrico, ácido sulfúrico, hidróxido de sódio	Solución de hidróxido de sodio 0,3 N y cloruro de sodio 0,5 M. Solución de sulfato de sodio 1 N para el lavado.
CONDICIONES DE OPERACIÓN	-Presión de trabajo: 5 bar -Producción: 1.500 m^3/día.	-Presión: 25-35 bar -Salinidad: 4,5% -Temperatura: 30°C -Flujo: 200 L/h	Temperatura: 18°C-24°C. Flujo: 50-300 L/h	Semibatch Temperatura:25° C Presión: 10^5 Pa Flujo: 25 L/h	Semibatch Temperatura: 25-35°C
BOMBAS	4 bombas (resistentes a la corrosión) para alimentación y recirculación.	3 bombas centrífugas (solución de lavado, diluido, concentrado), fabricado por la empresa IWAKI PUMPS, descarga máxima de 16-19 L/min y cabeza máxima de 2,7-4,2 m de	3 bombas centrífugas (solución de lavado, diluido, concentrado), fabricado por la empresa IWAKI PUMPS, descarga máxima de 32-38 L/min y cabeza máxima de 3,8-5,4 m de	4 bombas impulsoras (corriente de limpieza, de disolución ácida, disolución básica, disolución salina)	4 bombas peristálticas corriente de limpieza corriente de disolución ácida, básica y diluido.

		agua. Frecuencia 50-60 Hz.	agua. Frecuencia 50-60 Hz.		
DEPÓSITOS	Depósitos de alimentación de plástico reforzado, en algunos casos de plástico reforzado con acero de bajo contenido de carbono.	3 unidades: lavado, diluido, concentrado. De PVC con capacidad de 3,5 L	3 unidades: lavado, diluido, concentrado.	4 unidades para corriente de limpieza, disolución ácida, básica y salina. Material: Polietileno Capacidad máxima:30 L	4 unidades de PVC, (corriente de limpieza, de disolución ácida, disolución básica, corriente de diluido)
TUBERÍAS	Tuberías de PVC reforzadas con resina epoxi	Material PVC	PVC reforzadas con resina epoxi.	Polietileno	Plástico
REFERENCIA	“Electrólisis reversible para la obtención de agua a partir de efluentes industriales depurados”	¨Tratamientos de aguas de producción por electrodiálisis¨	"Lactic acid separation from fermented whey using electrodialysis"	"Obtención de ácidos y bases a partir de disoluciones salinas concentradas"	“Desacidificación del lactosuero ácido mediante electrodiálisis”
ROTÁMETROS	4 rotámetros (agua de alimentación, producto, desecho y recirculación de desecho).	3 unidades, material PVC y acrílico. Rango de trabajo: 0-300 L/h	3 unidades, rango de trabajo: 30-300 L/h	4 unidades	N.A
RECTIFICADOR	Diodos de silicio dispuestos como rectificadores de onda completa.	N.A	N.A	N.A	N.A
FUENTE DE PODER	Corriente continua monofásica.	Voltaje de entrada 120 V, fabricado por la empresa KIKUSI. Corriente alterna monofásica, voltaje variable entre 0-35 V, frecuencia de entrada 50/60 Hz. Corriente variable 0-10 A.	Voltaje de entrada 120 V, fabricado por la empresa KIKUSI. Corriente alterna monofásica, voltaje variable entre 0-35 V, frecuencia de entrada 50/60 Hz. Corriente variable 0-10 A	Modelo HCS-3202, corriente continua limitada a 1,38 A. No se debe superar los 9 V o 5 A. Densidad de corriente de 21.6 mA/cm2	Fuente de poder Lamba EMS (100-20). Amperaje 0-10 A, voltaje 0-100 V
MÓDULO MEMBRANARIO	La unidad de electrodiálisis está constituida por 4 pilas en serie compuestas por 400 pares de célula por pila	Modelo CH-O de ASAHI GLASS CO, 10 pares de membranas. Área efectiva 0,021 m2. Membrana aniónica AMV,	Modelo CH-O de ASAHI GLASS CO, 10 pares de membranas. Área efectiva 0,021 m^2, espaciador espesor de 0,75 mm. Membrana aniónica AMV,	EDMB, 3 celdas del modelo PCCell. Área efectiva de 64 cm^2.	EDMB, membranas selemion CMV, Neosepta AXE 01 y Neosepta BP-1.

		membrana catiónica CMV.	membrana catiónica CMV.		
OTROS	-Manómetros (salida de la bomba de alimentación, entrada de cada canal de alimentación, salida del canal del producto y desecho) -Conductímetro -pH-metro digital situado a la salida del canal de desecho -Llaves reguladoras de esfera de PVC -Filtros de cartucho 5 µm.	N.A	-pH-metro marca Metrohm modelo 620 -Conductímetro modelo CMD210 de Radiometer Analytical.	-4 filtros de 5 µm.	-Medidor de pH (Oakton CON 110 series) -Multímetro digital (Extech DT830B-5) -Multiparámetros (Consort 832, Oakton PC 650, WTW 340i) -Osciloscopio (Extech Instruments 381 295) -Termocupla (Extech EA15) -Termostato controlador de temperatura -Turbidímetro

Tabla 2

Especificación general de equipos y accesorios.

EQUIPO/ACCESORIO	ESPECIFICACIÓN	CAPACIDAD
Tanques	3 unidades de PVC o acero inoxidable	5L
Bombas	3 bombas centrífugas de accionamiento magnético, anticorrosiva	Descarga máxima de 5,5-11 L/min. Cabeza máxima de 1,0-2,1 m de agua.
Rotámetros	3 unidades	Rango de trabajo 6-60 L/min
Fuente de poder	Corriente continua, monofásica	Voltaje de entrada 120 V
Módulo membranario	Modelo *EDM-Z/4x10-0.8_19, Membrain S.R.O*	Capacidad de procesamiento 5 L por batch
Válvulas	6 válvulas de bola para alimentación y descarga	N.A
Tuberías y accesorios	PVC reforzadas con resina epoxi	N.A
pH-metro	Medidor digital de pH	N.A
Termocupla	3 sensores de temperatura	N.A
Manómetro	Medidor de presión, 3 unidades	Rango de medición 0-6 bar
Conductímetro	Cuerpo epóxico/sensor de acero inoxidable	Rango medio K=1.0, conductividad 0-199,9 mS
Multímetro	Digital	N.A

Fue necesario añadir válvulas en cada uno de los circuitos, para regular el paso de los fluidos y la descarga de los tanques. Estas válvulas se seleccionaron debido al uso frecuente para este tipo de funciones, a su bajo costo y al bajo riesgo de presentar problemas de obstrucción y corrosión. Así mismo, se deben implementar rotámetros a los circuitos en cada una de las entradas del módulo membranario con el fin de conocer el flujo tratado.

El módulo contará con membranas aniónicas y catiónicas estándar, con resistencia a la ruptura de 200-250 kPa, por lo que se debe asegurar que el sistema no exceda tal presión. Para esto, se propuso ubicar manómetros con los que se mida la presión de entrada y salida de las celdas, para así determinar la caída de presión en el proceso.

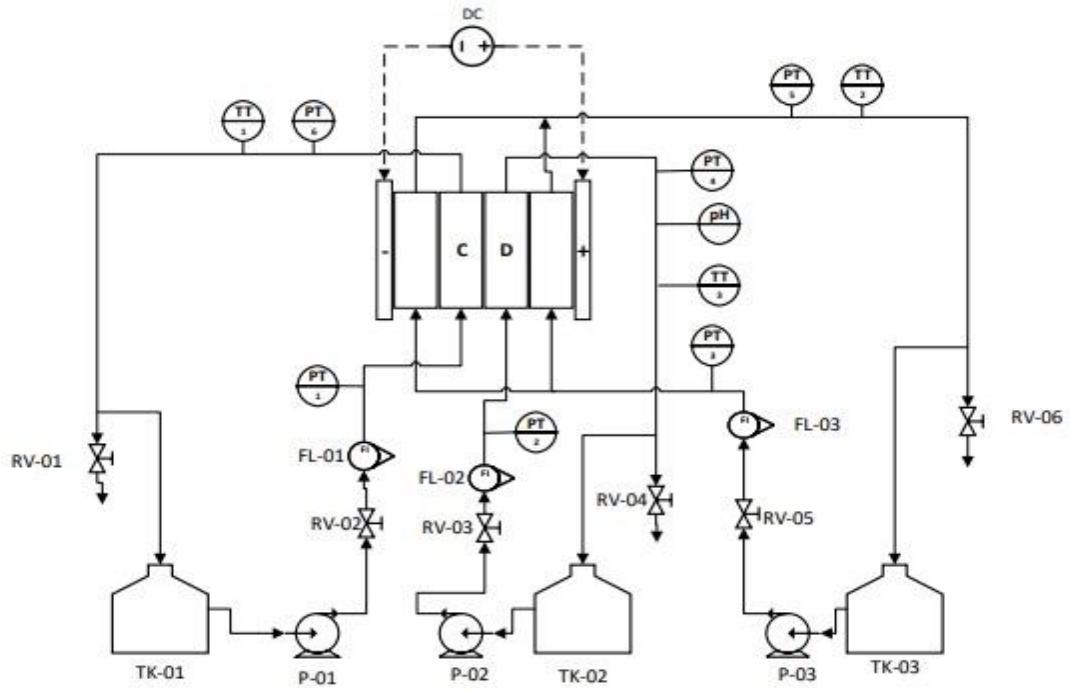
Durante el proceso también se debe hacer seguimiento a la temperatura, el pH y la conductividad. Para ello, se propuso ubicar tres (3) termocuplas a la salida del módulo, un (1) pH-metro digital a la salida de la corriente del diluido y un (1) conductímetro para la medición de este parámetro de muestras provenientes de cada circuito.

La diferencia de potencial se suministra por medio de una fuente de poder monofásica de corriente continua, y se emplea un multímetro para la medición de voltaje, corriente y resistencia del circuito.

De acuerdo con los requerimientos, se realizó un diagrama PFD en Microsoft Visio para visualizar en 2D la secuencia de equipos y accesorios que intervienen en el proceso de electrodiálisis, el cual se ilustra en la Figura 2. Este sirvió como referencia para llevar a cabo el diseño en 3D, con el cual se obtuvo información de la ubicación espacial, dimensión de equipos y sus especificaciones técnicas.

Figura 2

Diagrama PFD: Piloto de electrodiálisis a escala laboratorio.



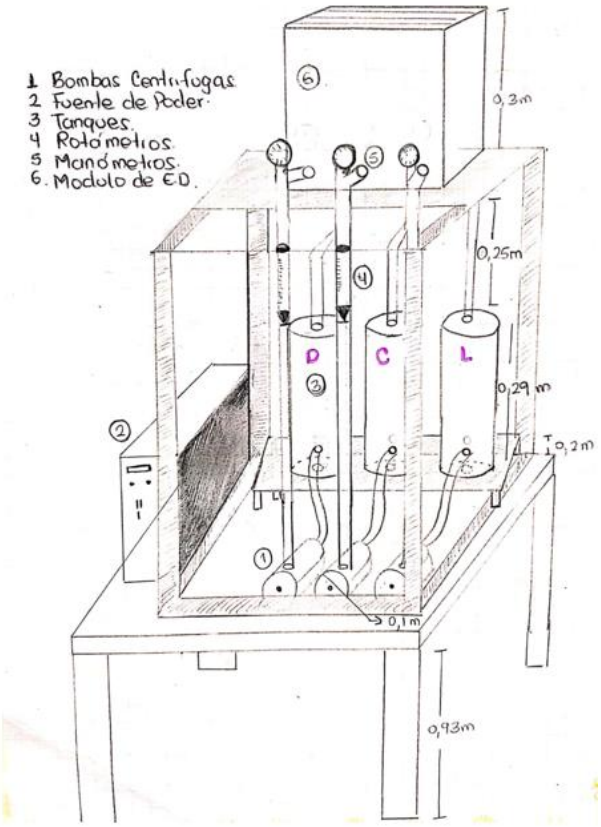
TK-01 Tanque de concentrado 5L	TK-02 Tanque de diluido 5L	TK-03 Tanque de lavado 5L	P-01 Bomba centrífuga Cap. Máx 5,5-11 L/min	P-02 Bomba centrífuga Cap. Máx 5,5-11 L/min	P-03 Bomba centrífuga Cap. Máx 5,5-11 L/min	RV-01 Válvula de diafragma 1 bar	RV-02 Válvula de diafragma 2 bar	RV-03 Válvula de diafragma 2 bar	RV-04 Válvula de diafragma 1 bar	RV-05 Válvula de diafragma 2 bar	RV-06 Válvula de diafragma 1 bar
FL-01 Rotámetro 6-60 L/min	FL-02 Rotámetro 6-60 L/min	FL-03 Rotámetro 6-60 L/min	pH Indicador de pH pH-metro digital	TT-1 Indicador de temperatura Termocupla	TT-2 Indicador de temperatura Termocupla	TT-3 Indicador de temperatura Termocupla	PT-1 Indicador de presión Manómetro	PT-2 Indicador de presión Manómetro	PT-3 Indicador de presión Manómetro		
PT-4 Indicador de presión Manómetro	PT-5 Indicador de presión Manómetro	PT-6 Indicador de presión Manómetro									

5.2. Diseño de piezas y partes del módulo

Para realizar el diseño de piezas en 3D fue necesario tomar como punto de partida un boceto a mano alzada que permitió tener una noción espacial de la ubicación de cada equipo en el módulo. En la elaboración de este boceto, se consideró inicialmente el espacio que será adaptado para la instalación del piloto. Para esto, se cuenta con un mesón de laboratorio de 0,93 m de altura y dimensiones de 0,72 x 3,0 m^2 aproximadamente.

Se realizó el diseño de un primer boceto, ilustrado en la Figura 3, en el cual se integraron las partes y equipos contemplados en la primera fase del proyecto.

Figura 3
Primer diseño a mano alzada.



En este, se ubicaron las tres bombas del sistema al nivel de la mesa de laboratorio, sostenidas por una estructura metálica que sirve como soporte del piloto. Estas estarían conectadas aguas arriba por medio de tuberías a los tres tanques de diluido, concentrado y lavado (D, C y L, respectivamente), y aguas abajo a los rotámetros y manómetros que miden las variables de entrada al módulo de electrodiálisis, que se ubican en la parte frontal de la estructura para facilitar la lectura.

El módulo se encuentra ubicado sobre una base metálica de elevación de 0,84 m sobre el nivel de la mesa. Las corrientes de entrada se ubican en la parte frontal inferior y las corrientes de salida se encuentran en la parte posterior del mismo, conectadas por medio de tuberías que transportan el producto tratado hasta los tanques de almacenamiento. Los tanques cuentan con dimensiones de 0,29 m de altura y 0,15 m de diámetro, además de una elevación de 0,20 m para facilitar su vaciado y limpieza por medio de válvulas instaladas en la parte inferior de los mismos.

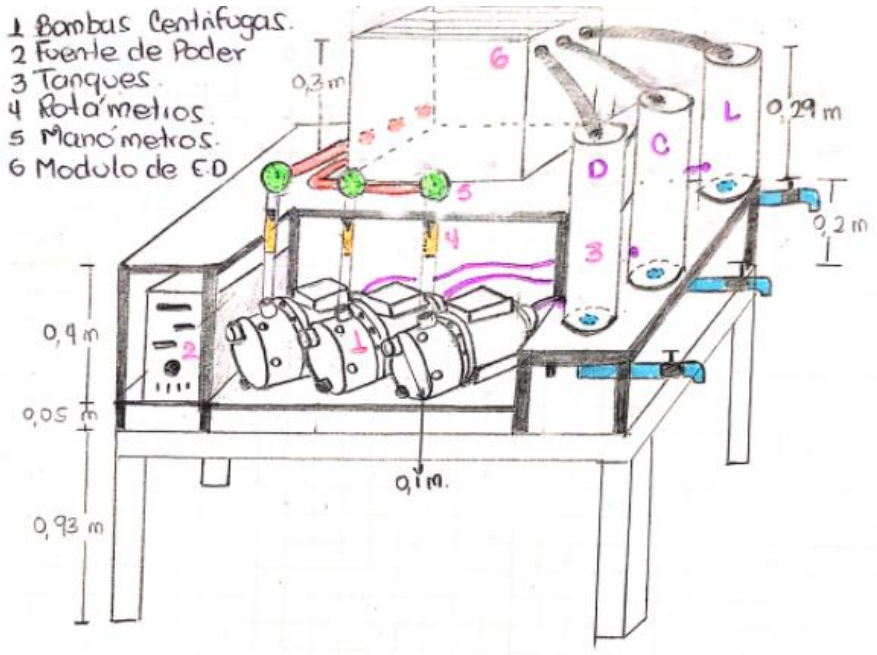
Por último, se ubica la fuente de poder, que se encuentra en el lateral izquierdo del piloto sobre la mesa de laboratorio. Esta fuente de poder no cuenta con ningún tipo de soporte ni recubrimiento, por lo que es uno de los inconvenientes más importantes, ya que presenta riesgo eléctrico al momento de manipulación del equipo.

De este primer diseño, se detectaron falencias en la organización de los equipos en cuanto a seguridad y ergonomía durante el funcionamiento. La fuente de poder está expuesta a cualquier derrame en el circuito del proceso, lo que podría causar algún accidente eléctrico. Así mismo, la posición del módulo y de los tanques hace difícil su manipulación, puesto que la altura total del piloto, según las dimensiones previstas para los equipos, alcanza los 2,07 m.

En este sentido, se consideraron distintos tipos de arreglo para analizar la ergonomía y el aprovechamiento del espacio. Para esto, se tuvo en cuenta que los equipos que requieren mayor manipulación, como los tanques y la fuente de poder, sean de fácil acceso para el personal a cargo del manejo del equipo. Así, se asegura comodidad en las tomas de muestras y en el vaciado y lavado de tanques. De igual manera, se tuvo que considerar que la altura total del montaje del piloto no exceda la estatura promedio de una persona para evitar el uso de accesorios como bancas o escaleras. Además, verificar que la ubicación de la fuente de poder fuera adecuada para evitar daños por incidentes, como derrames en los tanques o en las tuberías del equipo.

Se realizó un segundo boceto a mano alzada, como se muestra en la Figura 4, en el cual se tuvo en cuenta una mejor postura ergonómica, además, de minimizar el riesgo durante la operación del piloto de electrodiálisis.

Figura 4
Segundo boceto a mano alzada.



Para este segundo diseño, se determinó una altura total de aproximadamente 1,68 m, que cumple con la estatura promedio de una persona, por lo que se minimizan inconvenientes en el momento de manipulación del piloto.

En la parte frontal se encuentran las tres bombas centrífugas, ubicadas sobre un soporte metálico con 0,05 m de elevación sobre el nivel de la mesa. Estas poseen las respectivas instalaciones con los rotámetros y manómetros, equipos encargados de tomar los datos de algunas de las variables del proceso.

En un segundo nivel de la estructura (0,40 m de altura) se encuentra el módulo de ED con corrientes de entrada (lateral izquierdo) y corrientes de salida (lateral derecho). De esta manera, se facilita el transporte por gravedad del producto tratado hacia los tanques de diluido, concentrado y lavado. Éstos se ubicaron en la parte lateral derecha del piloto, sobre un soporte metálico elevado a 0,20 m, para facilitar su vaciado y limpieza por medio de válvulas instaladas en la parte inferior de los mismos.

Para la fuente de poder, fue necesario considerar una carcasa para cubrirlo y así evitar cualquier tipo de accidente eléctrico durante la operación del equipo. Esta carcasa está ubicada en la parte frontal izquierda, dejando así también un fácil acceso a ella.

Una vez definido el boceto con la respectiva ubicación espacial, se dio inicio al diseño por medio del software SolidWorks, para el modelado de piezas y equipos, y su posterior ensamblaje en 3D.

Inicialmente, se realizó una búsqueda en la comunidad GrabCAD para obtener piezas genéricas disponibles en la web, de manera que se lograra simplificar el proceso de diseño. De la biblioteca de GrabCAD se tomaron los manómetros, una válvula de bola, los rotámetros, la fuente de poder, el termopar, y las bombas que conformarían el diseño final. A estos, se les realizó un ajuste de

escala para integrarlos al ensamblado y cumplir con las medidas anteriormente propuestas (para mayor detalle se presentan en el Apéndice A).

Los equipos que debían tener características específicas se diseñaron como pieza unitaria en SolidWorks. En el caso de los tanques, se realizó un dimensionamiento de acuerdo con la escala del proyecto. Se calcularon los flujos de trabajo para el piloto, tomando a consideración que el volumen de solución procesado será 5L en un rango de 0,3 h de operación (aproximadamente 20 min). Los resultados se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3
Cálculo de flujo de trabajo.

CÁLCULO FLUJO VOLUMÉTRICO	
Tiempo de operación [h]	0,3
Volumen procesado [L]	5
Flujo volumétrico [L/h]	16
Flujo volumétrico [m^3/h]	0,016
CÁLCULO FLUJO MÁSICO	
Densidad [kg/m^3]	1024
Flujo másico [kg/h]	16,38

Para el dimensionamiento de tanques se tuvo en cuenta los dos fenómenos de transferencia de masa que más contribuyen al proceso de electrodiálisis: la migración iónica y la electro-ósmosis. La migración iónica refiere a los iones eléctricamente transferidos debido al potencial eléctrico, y la electro-ósmosis representa el flujo de moléculas de agua que se transportan con los iones sodio y lactato por la influencia del campo eléctrico (Murcia Berdugo & Cifuentes Aguilera, 2017). Debido a este último fenómeno, se planteó un sobredimensionamiento del 20% en los tanques para

considerar la variación en volumen del concentrado y diluido durante el proceso. Las dimensiones de los tanques se presentan en la Tabla 4.

Tabla 4

Dimensionamiento de tanques.

Dimensionamiento TK-1, TK-2, TK-3		
Flujo másico	16,38	Kg/h
Densidad	1024,00	Kg/m3
Flujo volumétrico	0,016	m3/h
Flujo volumétrico	0,0003	m3/min
Volumen de fluido que entra al reactor		
Volumen	0,005	m3
Volumen	5	L
Sobredimensionamiento del 20% en los tanques		
Volumen reactor	0,00625	m3
Volumen reactor	6,25	L

$L = 2D$ $V = \frac{\pi}{4} D^2 * 2D$

$V = \frac{\pi}{4} D^2 L$ $D = \sqrt[3]{\frac{4V}{2\pi}}$

Cálculo de diámetro y altura		
Diámetro	0,15	m
Altura	0,29	m

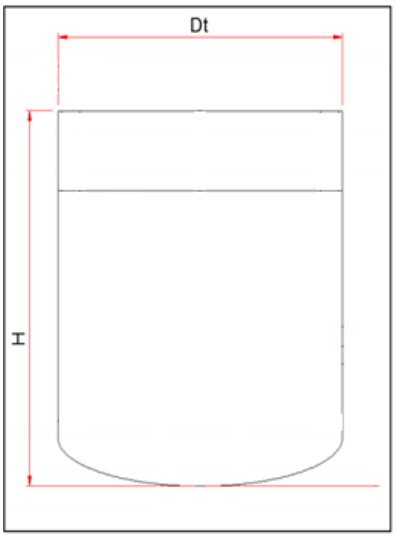


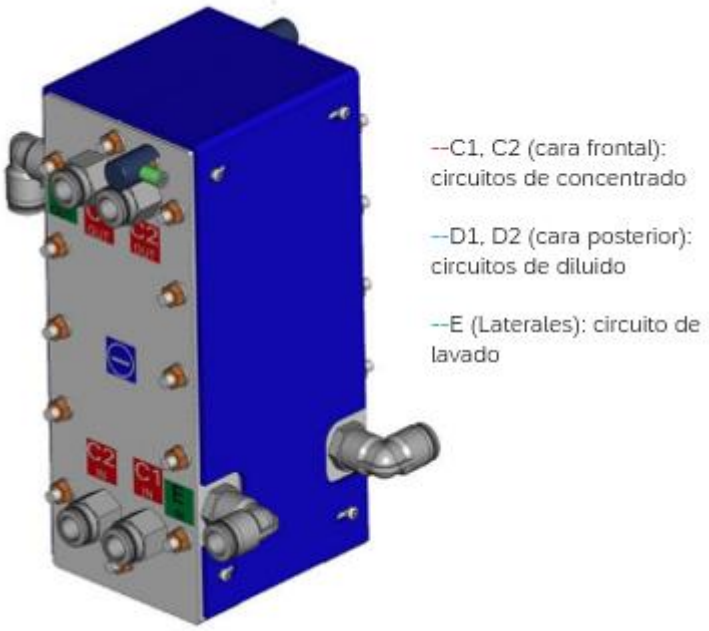
Diagrama tanque de almacenamiento

Para el diseño del módulo de electrodiálisis, se tomó como referencia la Figura 5 del modelo EDM-Z/4x10-0.8_19 del proveedor Membrain S.R.O. Este módulo cuenta con 6 circuitos independientes, dos para el lavado de electrodos, dos para el diluido y dos para el concentrado. Esta característica se tuvo en cuenta para la adecuación de tuberías a la entrada y salida del módulo.

Como se muestra en la Figura 5, la entrada del circuito de concentrado se ubica en la parte inferior de la cara frontal del módulo y la alimentación del diluido en la cara posterior. De igual forma, tienen salida por la parte superior del módulo. Para el modelo EDM-Z/4x10-0.8_19 se hace necesaria la adaptación de 6 rotámetros y 6 manómetros para evitar que con la instalación de

bifurcaciones en la entrada al módulo se produzca pérdida de presión y en consecuencia el flujo de alimentación no sea equivalente.

Figura 5
Módulo de electrodiálisis EDM-Z/4x10-0.8_19, Membrain S.R.O.

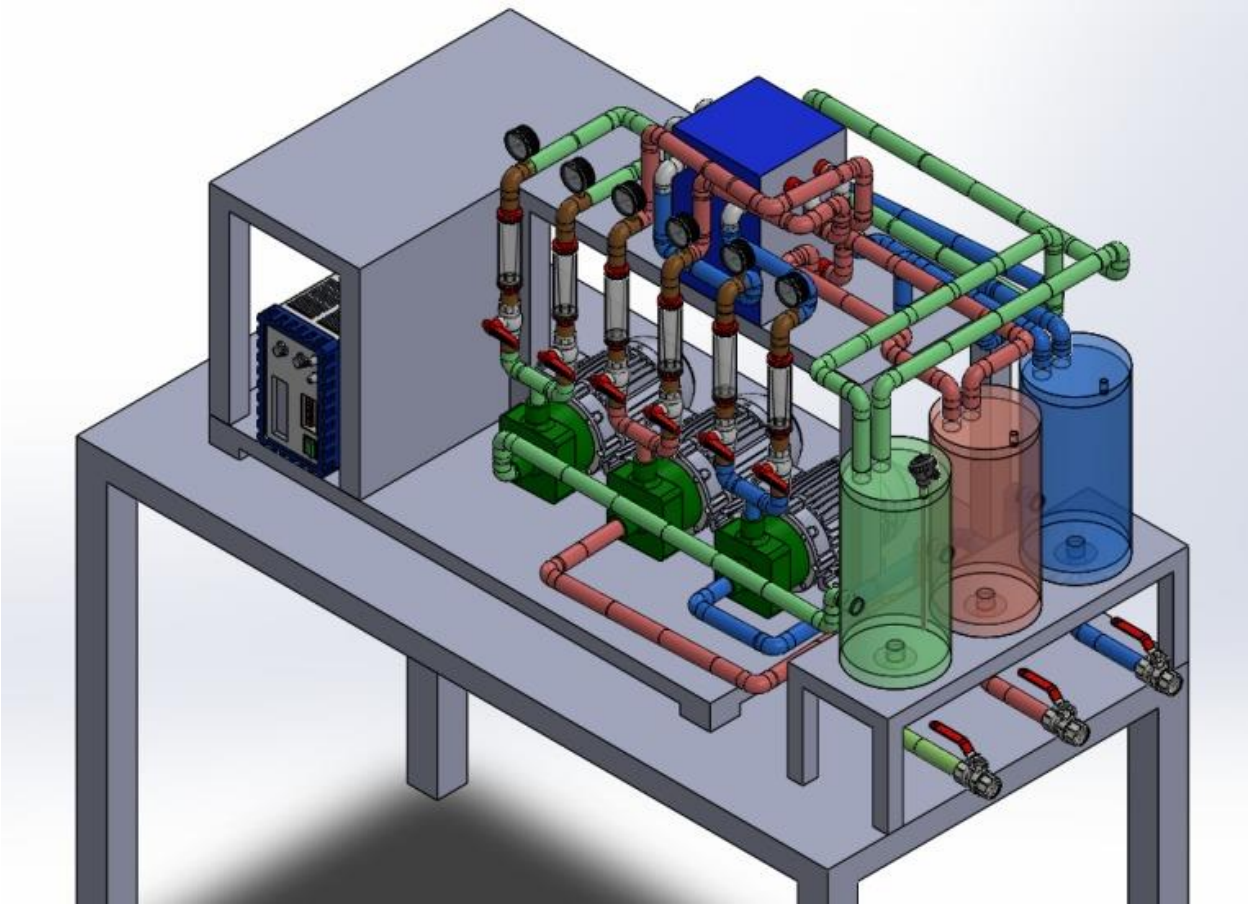


Por lo tanto, se planteó un montaje bomba-bifurcación-válvula-rotámetro-manómetro como se muestra en la Figura 6, de tal forma que en todas las entradas haya un sistema independiente de medición de variables de proceso (presión y flujo).

La medición de la variable temperatura se realiza por medio de una termocupla ubicada en los tanques de almacenamiento. Se espera que la temperatura a lo largo del proceso no varíe considerablemente debido a la escala del piloto. En consecuencia, se asume que la temperatura en los tanques sea aproximada a la temperatura de entrada y salida del módulo. La termocupla se ubica en el tanque de diluido como se muestra en la Figura 6, con la posibilidad de utilizarla en

cualquiera de los 3 tanques según se requiera. Para observar con detalle el diseño en SolidWorks, dirigirse al Apéndice B.

Figura 6
Diseño del piloto a escala laboratorio en SolidWorks.



Una vez obtenidas las especificaciones y la cantidad de unidades requeridas por equipo, se realizó una búsqueda de cotizaciones con posibles proveedores (Apéndice C) con el fin de cuantificar un costo aproximado de la construcción del piloto. Este presupuesto se encuentra resumido en la Tabla 5.

Tabla 5
Presupuesto del piloto de electrodiálisis.

Equipo/accesorio	Cantidad	Valor unitario	Valor total
Módulo de electrodiálisis	1	$12.659.735	$12.659.735
Bombas centrífugas	3	$1.214.990	$3.644.970
Tanques de acero inoxidable	3	$650.000	$1.950.000
Fuente de poder	1	$4.998.000	$4.998.000
Rotámetro 1 a 10 GPM	6	$784.928	$4.709.572
Manómetro 0-60 psi	6	$33.108	$198.649
Multímetro	1	$963.632	$963.632
Termocupla tipo K	1	$325.223	$325.223
Válvulas PVC	6	$4.305	$25.832
Válvulas acero inox.	3	$77.054	$231.164
Soporte del módulo	1	$630.000	$630.000
Soporte de tanques	1	$450.000	$450.000
Soporte de bombas	1	$350.000	$350.000
Tuberías PVC	2	$33.319	$66.638
Tubería manguera	1	$9.801	$9.801
Total		**$31.213.216**	

5.3. Elaboración de documentación básica requerida para el piloto.

Se propuso la documentación básica para el piloto que comprende los protocolos de operaciones, limpieza y mantenimiento. Estos son de gran importancia debido a que sirven como guía de referencia para la correcta manipulación del equipo, facilitando su futura implementación y evitando que ocurran accidentes o daños durante su operación.

La elaboración de los protocolos de operación, limpieza y mantenimiento se realizaron en base a fuentes bibliográficas encontradas, como la Guía de Desalación: aspectos técnicos y sanitarios en la producción de agua de consumo humano adecuada por el Ministerio de Sanidad y Política Social de España. Así como los trabajos de Cegarra (2014), Valverde (2014), Pillo (2015), Medina (2007), en los que especifican las buenas prácticas para el manejo de electrodializadores.

El protocolo de operación incluye una descripción detallada e ilustrada de la instalación, con el fin de proporcionar un reconocimiento del sistema y de cada pieza que lo conforma; un listado de reactivos con la guía para la preparación de soluciones a procesar en el piloto (bien sea para pruebas preliminares o para tratamiento de lactosueros); y un paso a paso del procedimiento para la puesta en marcha del piloto. Por su parte, el protocolo de limpieza y mantenimiento incluye la descripción del procedimiento de limpieza general del sistema, que debe ser realizado al finalizar cada experimento; el procedimiento de mantenimiento del piloto, que se recomienda realizar cada cierto tiempo, según se requiera, para mantener el módulo membranario y las tuberías libres de incrustaciones y ensuciamiento; recomendaciones a tener en cuenta para el cuidado de los equipos; y una ficha guía para el registro de datos de limpieza y soluciones utilizadas en las sesiones de mantenimiento del piloto.

La propuesta de los protocolos se detalla en el Apéndice D. Es preciso aclarar que esta documentación servirá como referencia para la futura implementación del piloto, pero deberá ser modificada y actualizada según se requiera.

6. Conclusiones

- Se definió el diseño conceptual del piloto de electrodiálisis a partir de las referencias bibliográficas sobre trabajos aplicados. Se seleccionó la electrodiálisis convencional con membranas catiónicas y aniónicas como tecnología a implementar y, con base en ella, se determinaron las generalidades del sistema. El piloto está conformado por 3 circuitos: diluido, concentrado y lavado, que se conectan desde el módulo de ED hasta los tanques de almacenamiento por medio de bombas centrífugas y sensores para la medición y seguimiento de las variables de interés. De esta forma, se obtiene un sistema sencillo y de bajo costo permitiendo en un futuro tener en cuenta a empresas de la región para la fabricación de sus piezas.
- Se diseñaron las piezas y partes del piloto de electrodiálisis mediante el software SolidWorks, tomando como referencia las generalidades definidas y siguiendo la configuración del módulo membranario que será acoplado al sistema, de manera que se cumplieran sus especificaciones. En este sentido, se tomaron en cuenta los parámetros de operación y la configuración del módulo. En cuanto a las condiciones operacionales se consideró un rango de flujo entre 15-35 L/h, voltaje en las celdas de 20-30V y temperatura de trabajo entre 20-35°C.
- El diseño del piloto de electrodiálisis incluye elementos que se dimensionaron pero que están disponibles en el mercado con las especificaciones requeridas, como el caso de las bombas centrífugas de 0,5 HP, las válvulas y la tubería en PVC, la fuente de poder, la termocupla, los manómetros, los rotámetros y el módulo membranario. Otros componentes del piloto fueron diseñados según dimensiones y materiales determinados, como la estructura en acero inoxidable que soporta los equipos, y los tanques de alimentación de 5 L para los 3 circuitos del piloto.

- Se propusieron los protocolos de operación, limpieza y mantenimiento del sistema inspirados en fuentes bibliográficas como manuales y trabajos de aplicación. En estos se definieron las concentraciones de trabajo para las soluciones de lavado (1 N de sulfato de sodio) y soluciones de NaCl para pruebas preliminares (1000 y 2500 ppm para concentrado y diluido, respectivamente), y las condiciones de operación a seguir durante la puesta en marcha (16 L/h para todos los circuitos y voltaje de 30V). Por otra parte, en el protocolo de limpieza y mantenimiento, se definieron las concentraciones de la solución de limpieza (HCl o NaCl al 5%) para lavado químico y eliminación de incrustaciones en las membranas.

7. Recomendaciones

- Realizar el desarrollo experimental evaluando diferentes condiciones operacionales (flujo, concentración, conductividad, corriente límite, tiempo de tratamiento), de manera que éstas sean optimizadas de acuerdo con la solución a tratar.
- Desarrollar los manuales de operación tomando como guía los protocolos propuestos en el presente trabajo, y teniendo en cuenta todas las recomendaciones técnicas del fabricante del módulo membranario y demás equipos.
- Se sugiere profundizar sobre la metodología experimental para la implementación del piloto, en cuanto a la determinación de condiciones de operación, análisis de muestras, determinación de concentraciones y cálculo de rendimientos de desalado.

Referencias Bibliográficas

Ana Machado, L. G. (2007). Lactic acid separation from fermented whey using electrodialysis. *Revista técnica de la FAcultad de Ingeniería Universidad del Zulia*, 56-63.

C.A. Solís, C. V. (2016). Tecnología de membranas: desarrollo histórico. *Entre Ciencia e Ingeniería*, 89-98.

Castro, C. P. (2015). Aprovechamiento Industrial del Lactosuero. Córdoba, Colombia.

Estrella, E. V. (2014). Obtención de ácidos y bases a partir de las disolciones salinas concentradas. Universidad Politécnica de Cataluña.

García, U. M. (Febrero de 2005). Aplicación de la electrodiálisis a la eliminicación de Nitrato en agua . Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica .

George Q. Chen, F. I. (2016). Removal of Lactic Acid from Acid Whey Using Electrodialysis. *Separation and Purificacion Technology*, 230-237.

(2009). *Guía de Desalación: aspectos técnicos y sanitarios en la producción de agua de consumo humano.* Madrid: Ministerio de Sanidad y Política Social.

Henry, R. D. (2006). Lactic acid: recent advances in products, processes and technologies- a review. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 119-1129.

Luzón, S. C. (Septiembre de 2014). Electrodiálisis reversible para la obtención de agua regenerada a partir de efluentes industriales depurados. Universidad Politécnica de Cartagena .

Michael Greiter, S. N.-D. (2002). Desalination of whey by electrodialysis and ion exchange resins: analysis of both processes with regard to sustainability by calculating their cumulative energy demand. *Journal of Membrane Science*, 91-102.

Murcia Berdugo, N. N., & Cifuentes Aguilera, J. S. (2017). Modelamiento y diseño conceptual de la separación de lactato mediante electrodiálisis. Fundación Universidad de América .

Pérez, R. V. (1999). Caracterización, evaluación y optimización de una planta de desalación por electrodiálisis reversible. Universidad de Murcia, España .

Rita M Avila, A. C. (2000). Tratamiento del lactosuero utilizando la técnica de electrodiálisis. *Interciencia*, 80-84.

Roa, I. F. (2007). Tratamiento de Aguas de Producción con Electrodiálisis. Mérida : Universidad de Los Andes.

Santamaría, V. H. (2015). Desacidificación de lactosuero ácido mediante electrodiálisis. Quito: Escuela Politécnica Nacional.

Apéndices

Apéndice A. Piezas obtenidas en GrabCAD.

Figura A1

Diseño bomba centrífuga

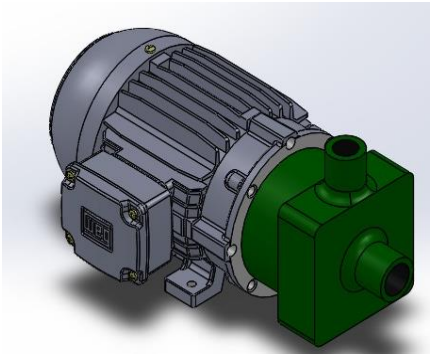


Figura A2

Diseño termocupla

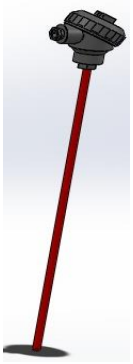


Figura A3

Diseño fuente de poder

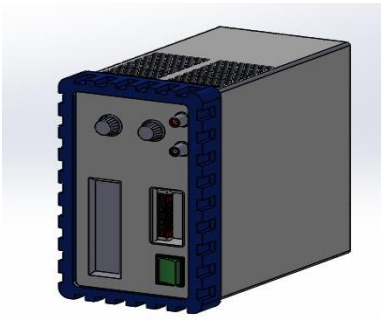


Figura A4

Diseño manómetro

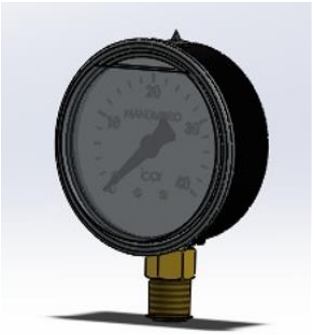


Figura A5

Diseño rotámetro

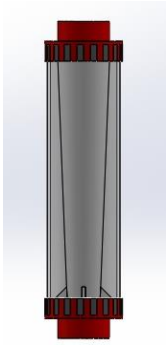
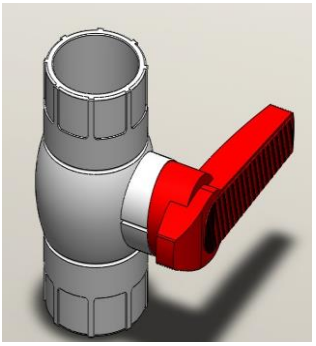


Figura A6

Diseño válvula de bola



Apéndice B. Diseño del piloto de electrodiálisis en SolidWorks.

Figura B1

Vista isométrica del piloto de ED

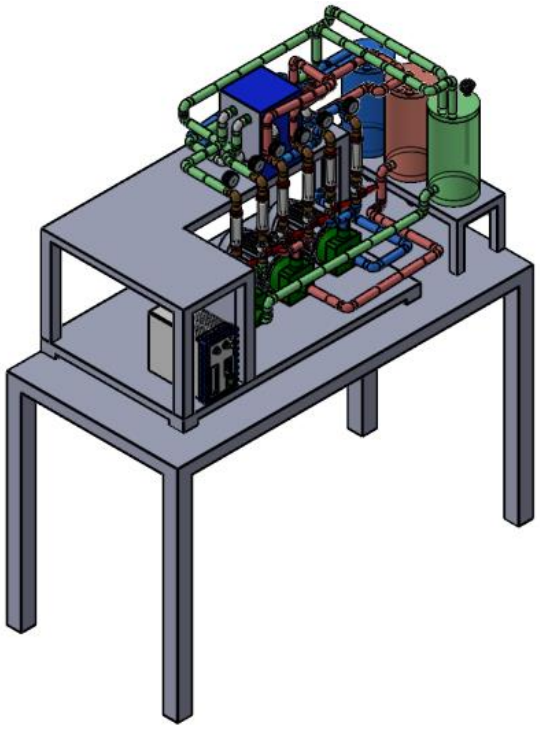


Figura B2

Vista frontal del piloto de ED

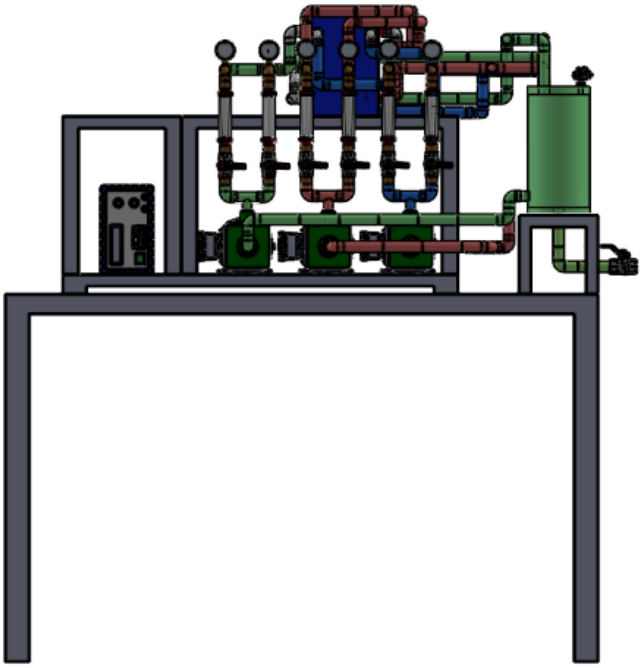


Figura B3

Vista lateral derecha del piloto de ED

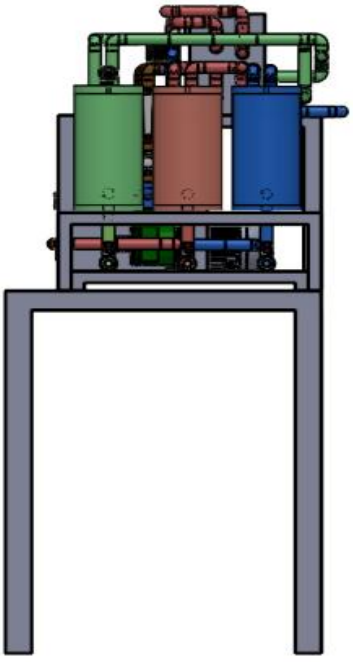
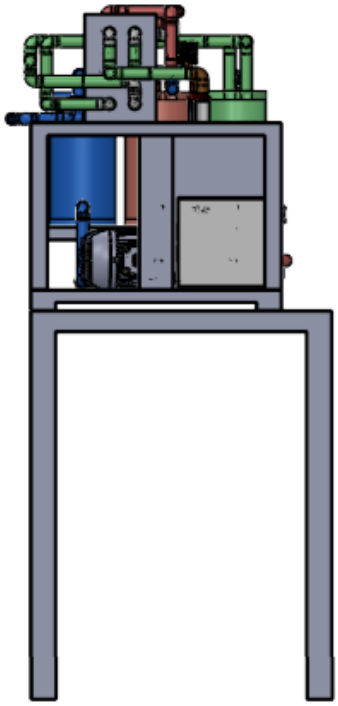


Figura B4

Vista lateral izquierda del piloto de ED



Apéndice C. Cotizaciones de equipos y piezas del piloto.

C1. Cotización de bomba centrífuga.

COTIZACION No. LS0119-2021

Bogotá, D.C., Agosto 31 de 2021

Señores
Universidad Industrial de Santander
Bucaramanga.-

Apreciados señores

En atención a su amable solicitud y de acuerdo con las especificaciones técnicas informadas, nos permitimos presentarles la siguiente cotización:

ELECTROBOMBA TRIFASICA

Electrobomba, marca PEDROLLO, modelo **NGA PROm 1A**, cuerpo bomba en acero inoxidable 316, eje en acero inoxidable soportado en rodamientos, sello mecánico cerámica – grafito - NBR, impulsor en acero inoxidable, acopladas a un motor eléctrico PEDROLLO **de alto rendimiento en clase IE3** (motores trifásicos) (**1,0 HP, 3450 RPM, 220V, 1 Fases, 60HZ**), expresamente dimensionado, silencioso, cerrado, con ventilación externa y apto para servicio continuo. Aislamiento clase F, protección IP X4, Succión y descarga 1 ½".

Prestaciones de la bomba
Altura Máxima 20 mts
Caudal máximo 350 Litros por minuto

Precio Monofásica $ 2.813.000.oo
Precio Trifásica $ 2.604.000.oo

NOTA: No se incluye ningún accesorio no descrito en la anterior oferta.
No incluye instalación.
NO incluye válvulas de pie.

Electrobomba centrifuga marca PEDROLLO, modelo AL REDm600-6, construcción CUERPO BOMBA EN ACERO INOXIDABLE 316 laminado, eje en acero inoxidable, sello mecánico cerámica – grafito – NBR, impulsor en acero inoxidable 316 laminado, con succión roscada de 1 ¼" y descarga roscada de 1", **acoplada a un motor eléctrico PEDROLLO de alto rendimiento en clase IE2 (0.5 HP, 3450 RPM, 110V, 1 Fases, 60HZ**), expresamente dimensionado, silencioso, cerrado, con ventilación externa y apto para servicio continuo. Aislamiento clase F, protección IP X4.

PRESTACIONES ELECTROBOMBA
Altura máxima 22 metros
Caudal máximo 100 LPM

Precio Monofásica $ 1.021.000.oo

CONDICIONES COMERCIALES

	Adicionar 19% del IVA.
Lugar de entrega:	Bodega Pedrollo Colombia, Bogotá. **FLETES CONTRAENTREGA.**
Validez de la oferta:	15 días.
Tiempo de entrega:	Inmediata, previa venta.
Forma de pago:	Contado.

GARANTIAS

Repuestos: PEDROLLO COLOMBIA LTDA garantiza la consecución de cualquier repuesto requerido.

Fabricación: 1 año de garantía contra defectos de fabricación.

Asesoría: Suministramos la asesoría técnica para la correcta instalación y puesta en marcha del equipo ofrecido.

Esperamos que la anterior oferta sea de su completo interés y quedamos a su disposición para suministrar cualquier información adicional.

Cordialmente,

LUCY SIERRA JIMENEZ
PEDROLLO COLOMBIA LTDA
Asesor Comercial
Cel 310 6191740

C2. Cotización del módulo de electrodiálisis.

MemBrain
MEMBRÁNOVÉ INOVAČNÍ CENTRUM

QUOTATION NO. QUO-02697-P5V3Q1
ELECTRODIALYSIS MODULE
EDM-Z/4x10-0.8_19

CUSTOMER: UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

DATE: JULY 2021

PRESENTED BY: MEMBRAIN S.R.O.

MemBrain®

Pod Vinicí 87, 471 27 Stráž pod Ralskem, the Czech Republic
Phone: +420 778 750 445, Fax: +420 487 888 302 E-mail: helena.belkova@membrain.cz
http://www.membrain.cz

MemBrain s.r.o. belongs to group of mega

MemBrain
MEMBRANOVÉ INOVAČNÍ CENTRUM

A. CUSTOMER

Company:	Universidad Industrial de Santander
Address:	Cra 27 Calle 9 Ciudad Universitaria Bucaramanga-Santander-Colombia
Contact person:	Juan Gonzalez e-mail: juan.gonzalez11@correo.uis.edu.co

B. PROVIDER

Company name:	MemBrain s.r.o.
Address:	Pod Vinicí 87, 471 27 Stráž pod Ralskem, Czech Republic
ID No.:	28676092
VAT No.:	CZ699005394
Contact person:	Helena Belková, Sales and Marketing tel. +420 778 750 445, e-mail: helena.belkova@membrain.cz

In Stráž pod Ralskem, 15th July 2021

MemBrain
Pod Vinicí 87
471 27 Stráž pod Ralskem
IČ: 28676092

Helena Belková

MemBrain
MEMBRÁNOVÉ INOVAČNÍ CENTRUM

1 SUMMARY OF THE INQUIRY

The Universidad Industrial de Santander (later as "customer") has requested MemBrain to submit a quotation for electrodialysis four compartment module. MemBrain offers the **module EDM-Z/4x10-0.8_19.**

2 TECHNICAL SPECIFICATION OF THE MODULE

2.1 BASIC DESCRIPTION

2.1.1 Basic description

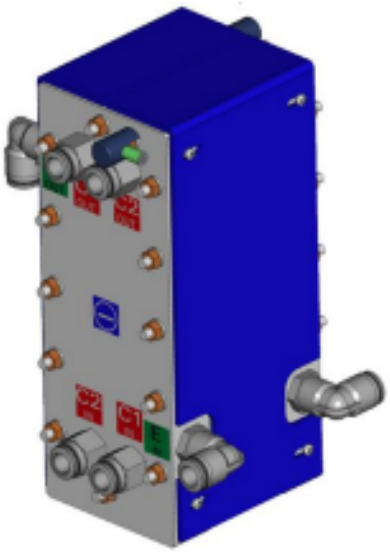
Electrodialysis module EDM-Z/4x10-0.8_19 is an equipment developed, designed and produced by MemBrain Ltd. company for the purposes of laboratory testing in the course of treatment (desalination) of solutions. A unique hydraulic construction and design variability of the module provide its adaptation to the required parameters of laboratory tests and achievement of process optimization.

Basic components of the electrodialysis module of EDR-Z type – ion exchange membranes RALEX® and spacers RALEX® are produced by MemBrain s.r.o. and therefore MemBrain s.r.o. has a full control over design, quality and process characteristics of the final equipment.

2.1.2 Module components

EDR-Z module consists of the following basic components:

- End plates with built-in electrodes,
- Ion exchange heterogeneous RALEX® membranes,
- PE spacers,
- Tie rods,
- Cover.



The module is fitted with heterogeneous ion exchange RALEX® membranes. Properties of the selected membranes have a significant effect on qualitative but also energetic requirements of the whole system. The membranes are hydraulically impermeable, but ion conductive at the same time, which allows exchange of ions between hydraulically insulated circuits.

Regularly alternating cation exchange and anion exchange membranes separated one from another by appropriately designed construction are constricted in-between of robust terminal plates by tie bolts. Thus, a multi-chamber system is created in which diluate and concentrate chambers are alternated. Flow system of spacers and sealing method of the module were proposed with a consideration of the used membranes. Plastic spacers that separate membranes allow the flow of desalted and concentrated solutions along their surface and – with a help of nets – they also ensure turbulent character of the flow in particular chambers. Cut-off corners of spacers and cation exchange membranes facilitate the control of the bunch position.

From hydraulic point of view the electrodialysis module consists of five independent circuits. The first circuit washes electrodes by electrode solution and brings the electricity to the terminal working membranes (E). The second circuit (D1), third circuit (D2), fourth circuit (C1), and fifth circuit (C2)

solutions flow through the chambers alternately, which are created by the spacers. Work media (diluate and concentrate) are brought to membrane chambers through thin-walled distributors that consist of main channels set in the perimeter frame of the membrane bunch. Media are taken out from chambers through distributors on opposite sides of chambers, heading towards exit channels designed similarly to the input channels. Input and output of diluate is on one end plate while input and output of concentrate on another end plate. On both end plates there is also one input and one output for electrode solution. All solutions run through the piping to bottom section of the electrodialysis module and are taken out of the module in the upper section.

2.1.3 Module specification

Parameter	EDM-Z/4x10-0.8_19
Effective area of ED module	640 cm^2
Effective area of one membrane	64 cm^2
Number of membrane cells	10 pcs
Anion-exchange membrane RALEX® AM(H)-PES RALEX® AM(H)-PP	 - 20 pcs
Cation-exchange membrane RALEX® CM(H)-PES RALEX® CM(H)-PP	 - 21 pcs
Bipolar membrane (PP)	-
Spacer thickness	0.8 mm
Electrodes (anode, cathode), Ti +Pt	2 pcs
Hydraulic connection inner/outer	Ø 6 mm
ED module dimension (W x H x L)	175 × 260 × 171.24 mm
ED module weight	3 kg

2.1.4 Operating and limiting module working parameters

Parameter	EDM-Z/4x10-0.8_19
Operating voltage (on membrane cell)	20-30 V
Max. voltage	40 V
Max. electrical current	3 A
Operating flow rate D, C	20-35 L/h
Min. flow rate D, C	15 L/h
Operating flow rate E	40-50 L/h
Min. flow rate E	20 L/h
Operating temperature	20-30 °C
Min./ Max. temperature	10/35 °C

Detailed information is included in the operating manual (handling, storage, transport, safety and service information etc.), attached with the packet.

MemBrain
MEMBRÁNOVÉ INOVAČNÍ CENTRUM

3 PRICE SPECIFICATION

The price offer includes the following items:

- Module EDM-Z/4x10-0.8_19, the customer will specify the type of membranes for the module: CM-PES and AM-PES are suitable for the pH 0-10, CM-PP and AM-PP membranes for more alkali environment (pH from 0-14).
- Transportation to the customer,
- Optional: Spare membrane set 21xCM-PES, 20x AM-PES
- Optional: Spare membrane set 21xCM-PP, 20x AM-PP

Type	Price (€)
Module EDM-Z/4x10-0.8_19	**1 610,-**
Optional: Spare membrane set 21xCM-PES, 20xAM-PES	**410,-**
Optional: Spare membrane set 21xCM-PP, 20xAM-PP	**410,-**
Transportation	**350,-**

The price is excluding VAT.

4 PAYMENT CONDITIONS

100% of the price as advance payment after order confirmation. The bank details:
Company name: MemBrain s.r.o.
Address: Pod Vinicí 87
47127 Stráž pod Ralskem
Czech Republic
VAT: CZ699005394
EUR bank account: 3851280/0300
IBAN: CZ9503001712800117082433
The customer will receive the proforma invoice with the bank details.

5 DELIVERY TERMS

5.1 DELIVERY TERMS

DAP Santander, Colombia (INCOTERMS 2020).

5.2 DELIVERY CONDITIONS

The equipment will be ready for dispatch within 8-10 weeks after receipt of advance payment.

6 WARRANTY TERMS

6.1 PROCESS WARRANTY

MemBrain does not provide any process guarantee in case of supplying of individual stacks or pilot units.

MemBrain
MEMBRÁNOVÉ INOVAČNÍ CENTRUM

6.2 MECHANICAL WARRANTY

Mechanical warranty for all the equipment, machinery, instrumentation and devices, assembly and installation works is 12 month from dispatching the equipment from MemBrain. Warranty is applicable only when no unauthorized works, repairs and/or maintenance occur. Otherwise MemBrain has no responsibility for mechanical failures.

The warranty stipulated under this Article does not cover normal wear and tear as well as improper handling, storage and/or operation carried out by the CUSTOMER or the END USER.

7 ELECTRODIALYSIS PROCESS STANDARD AND CRITICAL PARAMETERS

The feed water must be properly filtrated by 10µm filters. Any risk of ED stack silting by mechanical particles must be avoided. The table below presents processing limits. The column **common** shows common working limits or maximal commonly acceptable limits. The column **critical** shows the limits which cannot be exceeded. Interval between both limits can be a few times a year (in total maximal sum of 48 hours, in peak values no longer than 1 hour) accepted without any high technological risks but not as a rule. Diluate quality (TDS) will not be guaranteed under those conditions even after returning to the common status. Some bad operation conditions over **commons** limits can significantly decrease the ED stack performance. CIP of the whole plant is usually necessary in that case.

Parameter	Value		Unit	Note
	common	critical		
pH	2 - 10	over 10	[-]	
pH CIP	1 - 14	no limit	[-]	not longer than 2 hours cycles (standard CIP)
temperature	15 - 35	5 – 40	°C	
turbidity	0.5	5	NTU	
SDI_5	5	10	[-]	
TSS	1	10	$mg.l^{-1}$	
COD_{Cr}	50	100	$mg.l^{-1}$ O_2	
TOC	15	50	$mg.l^{-1}$ O_2	
free Cl_2	0.5	30	$mg.l^{-1}$	1 - 30 acceptable no longer than 1 hour per day
$Fe^{2(3)+}$	0.3	3	$mg.l^{-1}$	
Mn^{2+}	0.1	1	$mg.l^{-1}$	
Al^{3+}	0.1	1	$mg.l^{-1}$	
HS^-	0.1	1	$mg.l^{-1}$	
F^-	1	2.5	$mg.l^{-1}$	strong affecting to the electrodes lifetime
As	0.1	1	$mg.l^{-1}$	
SiO_2	100	150	$mg.l^{-1}$	
oils	1	2.5	$mg.l^{-1}$	

8 CONFIDENTIALITY

Content of this offer and all information, both commercial and technical, shall be considered as property of MemBrain and as confidential, and shall not be disseminated to or shared with third parties.

MemBrain
MEMBRÁNOVÉ INOVAČNÍ CENTRUM

9 INTELLECTUAL PROPERTY RIGHTS

Intellectual or industrial property rights as may be obtained on the basis of the information given herein shall remain the exclusive property of MemBrain, unless otherwise agreed upon in writing.

10 GENERAL TERMS AND CONDITIONS

Either party shall be entitled to suspend performance of his obligations under the Quotation to the extent that such performance is impeded or made unreasonably onerous by any of the following circumstances: industrial disputes and any other circumstance beyond the control of the parties such as fire, war, extensive military mobilization, insurrection, requisition, seizure, embargo, epidemy, quarantine, restrictions in transportation, restrictions in the use of power and defects or delays in deliveries by subcontractors caused by any such circumstance as referred to in this clause. A circumstance referred to in this clause, whether occurring before or after the formation of the Quotation, shall give a right to suspension only if its effect on the performance of the Quotation could not be foreseen at the time of the formation of the Quotation. The party claiming to be affected by Force Majeure shall notify the other party In Writing without delay on the intervention and on the cessation of such circumstance. Regardless of what might otherwise follow from the present contract, either party shall be entitled to terminate the Quotation by notice in writing to the other party if performance of the Quotation is suspended due to Force Majeure for more than six months.

11 PERIOD OF VALIDITY

This quotation is valid for a period of 3 months from the date of this quotation.

C3. Cotización manómetro.

#344344

Bogotá: 1-2129044
Cali: 2-3691122
Medellín: 4-2042078
Barranquilla: 5-3161149

Claro: 311-5330014
Movistar: 318-4768777
Tigo: 300-3876379
: 314-5257315
comercial2@viaindustrial.com
Ver mas

Cotización

Viaindustrial.com Buscar Catalogo de productos

No. f -913572

Imprimir Cotización

Fecha: 9/3/2021
Empresa: Universidad Industrial de Santander
Aten: Natalia Peña Prada
Telefono: 3008027118
E-mail: NATALIA.PENA2@correo.uis.edu.co f #344344
Vendedor: Maria Valencia

Comprar

Verifique el contenido de su cotización, las características de los productos, borre o agregue mas productos y ordene su pedido presionando el botón Comprar o contáctenos

Imagen	Codigo / Ref	Descripción	Cant.	Precio / Unitario	Precio / Total	IVA	Borrar
	140226 Case A 111.111	Manometro seco 1.5" dial conexion vertical bronce, 0-60 psi, 0 a 150 °C, Acrilico, 1/8" NPT, , winters, Entrega: Inmediata Catalogo	1	27,822	27,822	19 %	

Agregar otros productos
Agregar mas manometros-secos-caja-negra

Precios en Pesos Colombianos

SubTotal: $	27,822
Flete: $	18,000
SubTotal + Flete: $	45,822
IVA: $	8,706
Total: $	54,528

https://www.viaindustrial.com/cotizacion.asp?CotCliente=913572&CodigoVia=NATALIA.PENA2arr0bacorreo.uis.edu.co&p=140221 1/2

C4. Cotización multímetro.

#344344

Bogotá: 1-2129044
Cali: 2-3691122
Medellín: 4-2042078
Barranquilla: 5-3161149

Claro: 311-5330014
Movistar: 318-4768777
Tigo: 300-3876379
: 314-5257315

comercial2@viaindustrial.com

Ver mas

Cotización

Viaindustrial.com Buscar Catalogo de productos

No. f -913574

Imprimir Cotización

Fecha: 9/3/2021
Empresa: Universidad Industrial de Santander
Aten: Natalia Peña Prada
Telefono: 3008027118
E-mail: NATALIA.PENA2@correo.uis.edu.co f #344344
Vendedor: Maria Valencia

Comprar

Verifique el contenido de su cotización, las características de los productos, borre o agregue mas productos y ordene su pedido presionando el botón Comprar o contáctenos

Imagen	Codigo / Ref	Descripción	Cant.	Precio / Unitario	Precio / Total	IVA	Borrar
	190241 97509 / F509THD	Multimetro digital multifuncion, AAC, ADC, VAC, VDC, resistencia Ver catalogo, Frecuancia, Diodos, capacitancia, temperatura Ver catalogo, Distorcion armonica, comparador CO-NO-GO, Si, software y cable incluido, , finest, Entrega: 20 DIAS Catalogo	1	809,775	809,775	19 %	

Agregar otros productos
Agregar mas multimetro

SubTotal: $	809,775
Flete: $	18,000
SubTotal + Flete: $	827,775
IVA: $	157,277
Total: $	985,052

Precios en Pesos Colombianos

C5. Cotización termopar.

#344344

Bogotá: 1-2129044

Cali: 2-3691122

Medellín: 4-2042078

Barranquilla: 5-3161149

Claro: 311-5330014

Movistar: 318-4768777

Tigo: 300-3876379

: 314-5257315

comercial2@viaindustrial.com

Ver mas

Cotización

Viaindustrial.com Buscar Catalogo de productos

No. f -913573

Imprimir Cotización

Fecha: 9/3/2021
Empresa: Universidad Industrial de Santander
Aten: Natalia Peña Prada
Telefono: 3008027118
E-mail: NATALIA.PENA2@correo.uis.edu.co f #344344
Vendedor: Maria Valencia

Comprar

Verifique el contenido de su cotización, las características de los productos, borre o agregue mas productos y ordene su pedido presionando el botón Comprar o contáctenos

Imagen	Codigo / Ref	Descripción	Cant.	Precio / Unitario	Precio / Total	IVA	Borrar
	123624	Termocupla con cabezote tipo K, 12", 1/4" OD, 1/2" NPT, 20, , via, Entrega: INMEDIATA Catalogo	1	263,700	263,700	19 %	

Agregar otros productos
Agregar mas termocuplas

Precios en Pesos Colombianos

SubTotal: $	263,700
Flete: $	18,000
SubTotal + Flete: $	281,700
IVA: $	53,523
Total: $	335,223

C6. Cotización rotámetro.

#731173

Bogotá: 60-1-2129044 Claro: 311-5330014

Cali: 60-2-3691122 Movistar: 318-4768777

Cotización Medellín: 60-4-2042078 Tigo: 300-3876379

Barranquilla: 60-5-3161149 : 314-5257315

comercial@viaindustrial.com

Ver mas

Buscar

No. f -942565

Imprimir Cotización

Fecha: 1/19/2022
Empresa: Universidad Industrial de Santander
Aten:
Telefono: 3008027118
E-mail: npp98@hotmail.com f #
Vendedor: Maria Valencia

Comprar

Verifique el contenido de su cotización, las características de los productos, borre o agregue mas productos y ordene su pedido presionando el botón Comprar o contáctenos

Imagen	Codigo / Ref	Descripción	Cant.	Precio / Unitario	Precio / Total	IVA	Borrar
	172004 H621-010	Rotametros - flujometros area variable para agua GPM/LPM, 1 a 10 GPM / 4 a 35 LPM, 1" NPT Macho, 121°C, 325 psi, , hedland, Entrega: 10 DIAS Catalogo	1	659,604	659,604	19 %	

Agregar otros productos
Agregar mas rotametros-flujometros

SubTotal: $	659,604
Flete: $	18,000
SubTotal + Flete: $	677,604
IVA: $	128,745
Total: $	806,349

Precios en Pesos Colombianos

C7. Cotización válvula de bola en acero inoxidable.

#344344

Bogotá: 1-2129044
Cali: 2-3691122
Medellín: 4-2042078
Barranquilla: 5-3161149

Claro: 311-5330014
Movistar: 318-4768777
Tigo: 300-3876379
: 314-5257315

comercial@viaindustrial.com

Ver mas

Cotización

Viaindustrial.com Buscar Catalogo de productos

No. f -913578

Imprimir Cotización

Fecha: 9/3/2021
Empresa: Universidad Industrial de Santander
Aten: Natalia Peña Prada
Telefono: 3008027118
E-mail: NATALIA.PENA2@correo.uis.edu.co f #344344
Vendedor: Maria Valencia

Comprar

Verifique el contenido de su cotización, las características de los productos, borre o agregue mas productos y ordene su pedido presionando el botón Comprar o contáctenos

Imagen	Codigo / Ref	Descripción	Cant.	Precio / Unitario	Precio / Total	IVA	Borrar
	261079 50063735206	Valvulas de Bola en Acero Inoxidable Roscadas paso full 1000 psi, 1" NPT, Paso Full, , , , via, Entrega: Inmediata Catalogo	1	64,752	64,752	19 %	

Agregar otros productos
Agregar mas valvulas-de-bola

Precios en Pesos Colombianos

SubTotal: $	64,752
Flete: $	18,000
SubTotal + Flete: $	82,752
IVA: $	15,723
Total: $	98,475

https://www.viaindustrial.com/cotizacion.asp?CotCliente=913578&CodigoVia=NATALIA.PENA2arr0bacorreo.uis.edu.co&p=261055 1/2

C8. Cotización válvula de bola en PVC.

#344344

Bogotá: 1-2129044
Cali: 2-3691122
Medellín: 4-2042078
Barranquilla: 5-3161149

Claro: 311-5330014
Movistar: 318-4768777
Tigo: 300-3876379
: 314-5257315

comercial@viaindustrial.com

Ver mas

Cotización

Viaindustrial.com Buscar Catalogo de productos

No. f -913576

Imprimir Cotización

Fecha: 9/3/2021
Empresa: Universidad Industrial de Santander
Aten: Natalia Peña Prada
Telefono: 3008027118
E-mail: NATALIA.PENA2@correo.uis.edu.co f #344344
Vendedor: Maria Valencia

Comprar

Verifique el contenido de su cotización, las características de los productos, borre o agregue mas productos y ordene su pedido presionando el botón Comprar o contáctenos

Imagen	Codigo / Ref	Descripción	Cant.	Precio / Unitario	Precio / Total	IVA	Borrar
	P165036 VALVULA-PVC	Valvula bola 1pulgada en pvc soldar, via, Entrega: INMEDIATA Catalogo	1	3,618	3,618	19 %	

Agregar otros productos
Agregar mas

Precios en Pesos Colombianos

SubTotal: $	3,618
Flete: $	18,000
SubTotal + Flete: $	21,618
IVA: $	4,107
Total: $	25,725

https://www.viaindustrial.com/cotizacion.asp?CotCliente=913576&CodigoVia=NATALIA.PENA2arr0bacorreo.uis.edu.co&p=P165036 1/2

C9. Cotización fuente de poder.

SUCONEL
SUMINISTROS Y CONTROLES ELECTRÓNICOS S.A.

Calidad en nuestros productos. Tecnología a su servicio.
Suministros y Controles Electronicos S.A.

NIT: 890943055-0
IVA REGIMEN COMUN - ACTIVIDAD ECONOMICA 4659

CERTIFICADO IC&T ISO 9001:2015 REGISTRO: ICAT-15-03/03

COTIZACION DE VENTA
32015

NO SOMOS GRANDES CONTRIBUYENTES
NI AUTORRETENEDORES - IVA RÉGIMEN COMÚN
RES DIAN De 1 a 300000000
AUTORIZACIÓN NUMERACIÓN COMPUTADOR:

SEÑOR(ES)

NOMBRE: UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
NIT/C.C: 890201213-4
CONTACTO:
DIRECCIÓN: CR 27 CON CALLE 9 BUCARAMANGA
TELÉFONO: 6344000

MEDELLIN - COLOMBIA: Conmutador: 448 78 30 - FAX: 512 75 94
Cra 53 No. 50-51 Oficina 506
CALI: Cel. 301 257 89 52
COSTA ATLANTICA: Cel. 301 362 59 86
BOGOTA: Cel. 301 362 65 85
SANTANDER: Cel. 301 570 09 79
Email: suconel@suconel.com

FECHA COTIZACION			VALIDEZ DE OFERTA			CONDICIONES DE PAGO	VENDEDOR		
25	1	2022	25	2	2022	30 Días	C-Diana Correa Velez EMail: ventas2@suconel.com	Teléfonos: 4487830	3042451038

ITEM	CODIGO	DESCRIPCIÓN	FECHA ENTREGA	CANT.	V. UNITARIO	VALOR TOTAL
1	BK1745A	FUENTE DIGITAL 0-35V 0-10A		1	$ 4.200.000	$ 4.200.000,00

SON: CUATRO MILLONES NOVECIENTOS NOVENTA Y OCHO MIL PESOS M.CTE.

OBSERVACIONES: Tiempo de entrega: 30 a 45 días luego de recibir la oc

SUBTOTAL	$	4.200.000,00
DESCUENTO	$	0,00
VALOR NETO	$	4.200.000,00
IVA	$	798.000,00
FLETE	$	
TOTAL	$	4.998.000,00

C.C. O NIT

ACEPTADA

FIRMA Y SELLO CLIENTE

FIRMA EMISOR

Realizar transferencias o consignaciones a la cuenta de ahorros Bancolombia 10118401562 o cuenta corriente Banco de Occidente 44002941-1

Página 1 de 1

C10. Cotización tubería PVC.

Cotizacion Pag. 1 de 1

Cliente UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
CC o Nit 890201213
Direccion CRA 27 CON CALLE 9
Telefono -6344000-3152060985
Dpto. SANTANDER
Ciudad BUCARAMANGA

Cotizacion Nro. COT220000231
Fecha Expedicion 12/01/2022
Condicion de pago 0
Vendedor LUNA GOMEZ CARLOS HUMBERTO
Cen. Poblado BUCARAMANGA

NO ES VÁLIDA COMO FACTURA
Sujeta a cambio de precios sin previo aviso

Id	Codigo	Descripcion	Presentacion	Grupo	Und	Precio	Dcto%	Iva%	Total
1	02740	TUBO PRES RDE 13.5 DE 1" T/P	TRAMO	PVC	2,00	27.999,41		19	55.999

Observaciones

Total Peso	4,00
Subtotal	55.998,82
Iva 19 %	10.640,00
Iva 16%	0,00
Iva 5%	0,00
Otros Ivas	0,00
Total	66.638,82

Elaboró LUNA GOMEZ CARLOS HUMBERTO | **Revisó** | **Aprobó**

Reporte: RepCotCasita [Fin de Documento ...] *Fecha Elaboracion: 12/01/22*
Elaboro: LUNA GOMEZ CARLOS HUMBERTO *Software MantisWeb*

C10. Cotización tubería en manguera.

Sumatec

Cotización N°

NIT. 890800788-7

Señores:		UNIVERSIDAD IND DE SANTANDER	Teléfono:	315-2060985	
Atn:		DANIEL ROA	Correo:	daniel.roa1@correo.uis.edu.co	
Cargo:		COMPRAS	Fecha:	OCTUBRE 06 DE 2021	
Ciudad		BUCARAMANGA			

No ITEM	CANTIDAD	REFERENCIA/MARCA	DESCRIPCIÓN	CODIGO JAIVANA	PRECIO	SUBTOTAL
1	2	WERK	MIND MANGUERA WERK PLANA PVC 1"	440600100	$4,118	$8,236
			OBSERVACION :SUMATEC S.A.S. expresamente hace constar que la presente cotización solo aplica para la planta y para los procesos informados por el cliente, y no garantizamos la aplicación de los productos o bienes, en sitio diferente al considerado en la cotización, ni para procesos diferentes a los informados por el cliente al momento de la cotización. oferta valida por 8 dias.		SUBTOTAL	$8,236
					* IVA 19%	$ 1,565
					TOTAL	$ 9,801

Condiciones de pago: CONTADO

Tiempo de entrega: 2-3 DIAS HABILES DESPUES DE CONFIRMADO PAGO.

Cordialmente

ELIAS PERALTA-ASESOR CALL CENTER MRO-BOGOTA

CEL: 316-6238204

C11. Cotización tanques y soporte en acero inoxidable.

INDUSTRIAS METALICAS GUMEN S.A.S.

Nit. 900.723.226-5
IVA - RÉGIMEN COMÚN
Todo lo relacionado con la Carpintería Metálica

Piedecuesta, 06 de octubre de 2021

Señores

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

Referencia: trabajos varios ornamentación (proyecto de grado)

1. Tanque con tapa en acero inoxidable

Espesor 2 mmcon una altura de32 cm, Diámetro de 16 cm, tubo lateral de 1 in con longitud de 3cm, Un agujero en la parte central inferior de 1 in, 2 agüeros superiores de 1 in y un Agujero de 10 mm

Valor

Cotizado de acuerdo a especificaciones suministradas $650.000

2. Soporte de módulo

Altura 40 cm, cotizar en acero inoxidable(espesor de la lámina en tres 2 y 3 cm) y malla dura, patas cuadradas 3x3 cm

Valor

Cotizado de acuerdo a especificaciones suministradas $630.000

3. Soporte de tanques

En acero inoxidable aproximadamente placa con espesor entre 2 y 3 cm altura de 20 cm, 3 agujeros igual espaciados con diámetro de 6 cm, patas cuadradas 3 x 3 cm

Valor

Cotizado de acuerdo a especificaciones suministradas $450.000

FABRICA: CALLE 4 No. 12 - 16 - TELEFONO: 656 44 67
CEL: 315 - 7653450 - PIEDECUESTA
E-mail: gumen2007@yahoo.es

4. Soporte de bombas

Acero inoxidable y malla dura

Valor

Cotizado de acuerdo a especificaciones suministradas $350.000

Atentamente,

OCTAVIO GUARIN MENDOZA

INDUSTRIAS
METALICAS GUMEN S.A.S.

Apéndice D. Propuesta protocolos de operación, limpieza y mantenimiento.

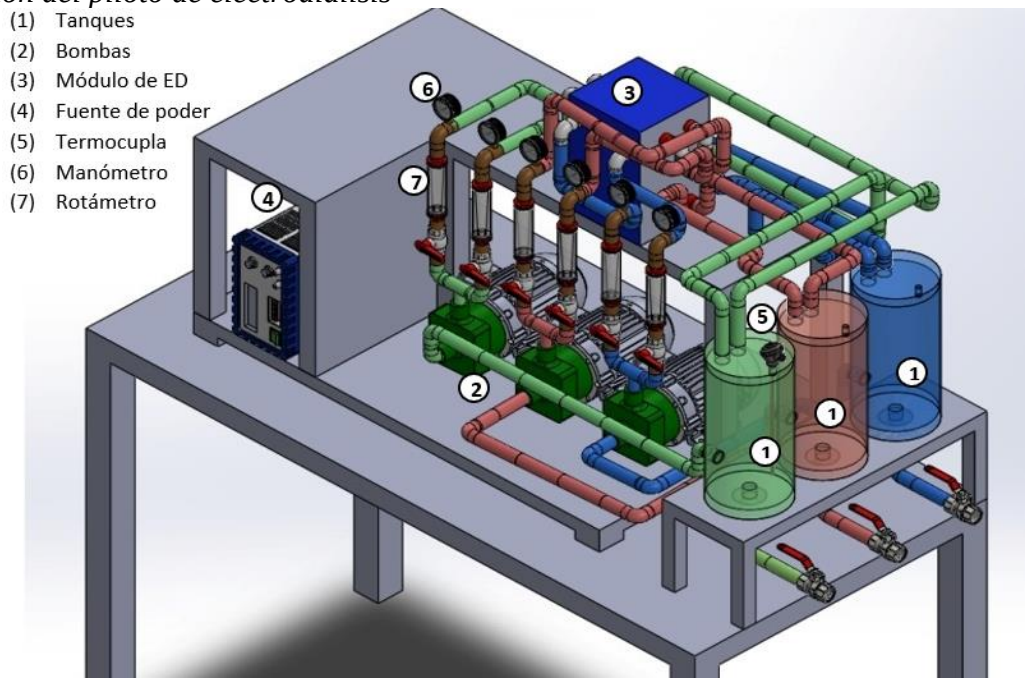
D1. Protocolo de operación del piloto de electrodiálisis.

1. Descripción de la instalación

El piloto de electrodiálisis cuenta con una instalación de tanques, bombas, módulo de ED, fuente de poder e instrumentos de seguimiento de variables, como se muestra en la Figura 1. El piloto está diseñado para procesar un flujo de 15 L/h de solución. Los tanques cuentan con capacidad de 5 L y cada uno corresponde a los circuitos de diluido, concentrado y lavado. Se les asigna en la ilustración los colores verde, rojo y azul, respectivamente, como referencia para la práctica. Los tanques tienen un sistema tubería-válvula en la parte inferior para facilitar el vaciado y la toma de muestras en cada uno de ellos. Además, poseen un orificio en la cara superior para introducir la termocupla y hacer la medición de temperatura durante el proceso.

Figura 1

Instalación del piloto de electrodiálisis



Las bombas impulsan las soluciones desde los tanques hacia el módulo de ED, pasando por los rotámetros para medir el flujo que puede ser regulado por medio de las válvulas instaladas, y por los manómetros para monitorear la presión de entrada. El producto sale por la parte superior del módulo y es recirculado a los tanques para llevar a cabo el proceso nuevamente hasta obtener las especificaciones del producto requeridas.

El potencial eléctrico es suministrado por la fuente de poder ubicada en la zona lateral izquierda del piloto, aislada de los circuitos del proceso para evitar riesgos eléctricos.

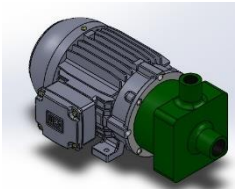
2. Listado de equipos y materiales

Para el proceso de electrodiálisis, la instalación de equipos puede ser más o menos compleja según sea el tamaño y el tipo de sustancia por tratar, y debe contemplar todos los elementos desde la preparación de soluciones, hasta el almacenamiento del producto final.

En dicha instalación pueden establecerse tres zonas o partes, dotadas de equipos, las cuales son:

- **Zona de concentrado:** refiere al circuito de solución de concentrado. Esta solución circula por las celdas de concentrado del módulo y va enriqueciéndose en iones, de manera que pasa de ser una solución diluida a una concentrada.
- **Zona de diluido:** refiere al circuito de solución de diluido. Esta solución contiene los iones que se desean extraer. A medida que circula por los compartimientos del módulo va empobreciéndose en iones, de manera que pasa de ser una solución concentrada a una diluida.
- **Zona de lavado:** refiere al circuito de la solución de lavado. Esta se ubica en la celda contigua a los electrodos y se utiliza para minimizar la ocurrencia de reacciones en su superficie.

Para el proceso se van a tener en cuenta equipos tales como: bombas, rotámetros, válvulas, tanques de almacenamiento, manómetros, fuente de poder y el módulo de electrodiálisis.

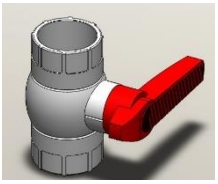


BOMBAS: El proceso cuenta con la instalación de 3 bombas centrífugas, también denominadas bombas rotodinámicas, cuyo objetivo es convertir la energía en velocidad, y posteriormente, en presión. Es decir, transforman la energía mecánica en energía hidráulica. De esta manera, puede mover el mayor volumen de líquido posible.

Cada bomba se encuentra instalada en cada uno de los circuitos del proceso de electrodiálisis.

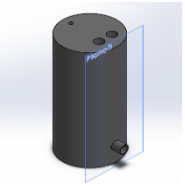
ROTÁMETROS: Debido a la disposición del módulo, el proceso cuenta con la implementación de 6 rotámetros, usados para medir el caudal de líquido que entra al módulo. Este instrumento trabaja con un flotador en forma cilíndrica o cónica que juega con las densidades del fluido para así determinar el caudal, en función de su posición en su interior.

El caudal se refiere al volumen de fluido que se desplaza dentro de un sistema por unidad de tiempo.



VÁLVULAS: se incorporaron al sistema 9 válvulas de bola o válvula de esfera, las cuales sirven para regular el flujo de un fluido canalizado, y se caracteriza porque el mecanismo regulador situado en el interior tiene forma de esfera perforada. Estas se sitúan en cada uno de los seis circuitos de entrada del módulo antes del rotámetro y después de la bomba de cada circuito. Las 3 válvulas restantes se ubican en la parte inferior de los tanques de alimentación para la toma de muestras.

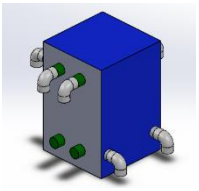
TANQUES DE ALMACEMANIEMTO: 3 tanques de almacenamiento para cada circuito (concentrado, lavado y diluido) para el proceso de electrodiálisis.



MANÓMETROS: se disponen de 6 manómetros ubicados a la entrada del módulo para así poder verificar la presión al interior de cada circuito por donde circula al fluido y asegurar que cumple con la presión adecuada de operación del módulo de electrodiálisis.

FUENTE DE PODER: es un componente que se encarga de transmitir corriente eléctrica por la generación de una diferencia de potencial. Este sistema otorga el potencial eléctrico al módulo membranario para inducir la migración de los iones.

MÓDULO DE ELECTRODIÁLISIS: el módulo consiste en un equipo conformado por compartimientos delgados empaquetados entre un par de electrodos que bajo la influencia de un campo eléctrico continuo hacen posible la transferencia de los iones presentes en la solución a tratar. Estos compartimientos están formados por membranas de intercambio aniónico y catiónico colocados der forma intercala.



TERMOCUPLA: Es el sensor de temperatura más empleado a nivel industrial. Se caracteriza por ser simple, eficiente, de bajo costo y capaz de medir un amplio rango de temperatura. Consta de un tubo de acero inoxidable, en cuyos extremos se encuentran la unión y el terminal eléctrico de los cables, protegido con una caja redonda de aluminio (cabezal).

A continuación, se especifican las variables del proceso y su respetivo instrumento de medición.

Tabla 1

Variables e instrumentos.

Variable	**Dimensiones**	**Instrumento**
Tiempo	Segundos (s)	Cronómetro
Masa	Gramos (g)	Balanza analítica
Caudal	L/min	Rotámetro
Presión	Libras por pulgada cuadrada (psi)	Manómetro
Temperatura	Grados Celsius (°C)	Termocupla-multímetro
Concentración	Partes por millón (ppm)	Curva de calibración: concentración vs conductividad
Conductividad	mili Siemens por centímetro (mS/cm)	Conductímetro
pH	-	pH-metro
Corriente	Amperio (A)	Multímetro
Voltaje	Voltios (V)	Fuente de poder

3. Listado de reactivos

Los reactivos para preparación de soluciones y demás operación del piloto, se listan a continuación:

-Sulfato de sodio (Na_2SO)

-Cloruro de sodio (NaCl)

-Agua destilada

-Lactosuero clarificado.

4. Preparación de soluciones

4.1. Solución de lavado.

Se preparan 5 L de una solución 1 N de sulfato de sodio. Se agregan 355 g de Na_2SO_4 a un vaso de precipitado con agua destilada hasta completar 5 L. Esta solución es usada como solución de lavado de los electrodos en todos los ensayos.

4.2. Soluciones para pruebas preliminares

Para realizar pruebas preliminares de desalación se procesan soluciones ideales de NaCl con el fin de verificar la transferencia de iones en la operación. Para esto, se preparan dos soluciones de 5 L de 1000 ppm para el concentrado y 2500 ppm para el diluido, añadiendo 5 y 12,5 g de NaCl, respectivamente, a un volumen de 5 L de agua destilada.

Se recomienda realizar un proceso de filtrado de las soluciones con filtro de tela previo a la operación, para la remoción de sólidos insolubles que puedan afectar el funcionamiento y estado de las membranas de intercambio iónico.

4.3. Soluciones reales

Se procesa el lactosuero proveniente de la producción de quesos, previamente clarificado para el buen desempeño durante la electrodiálisis.

5. Puesta en marcha

Antes de iniciar la operación del piloto con las soluciones ideales y reales, se realiza una primera prueba con agua desionizada, con el fin de verificar la ausencia de fugas en el sistema.

Una vez se verifique el correcto funcionamiento del piloto, se sigue el siguiente procedimiento para la operación:

5.1. Se preparan las soluciones descritas anteriormente, según el tipo de prueba que se vaya a realizar (pruebas preliminares o con soluciones reales). Se agregan a los tanques de diluido,

concentrado y lavado. Se miden las conductividades, el pH y la temperatura iniciales de cada una de las soluciones para tener una referencia de estas variables en el tiempo 0.

5.2. Se verifican que las válvulas de salida estén cerradas y que las válvulas de alimentación estén abiertas.

5.3. Se encienden las bombas.

5.4. Se fija el flujo en los rotámetros a 15 L/h para todos los circuitos.

5.5. Se conectan los electrodos del módulo de ED a la fuente de poder, se enciende y se fija el voltaje con el cual se va a trabajar (30V). Se verifica que esté en corriente constante (CC) y se da inicio al cronómetro.

5.6. Verificar las variables presión y temperatura para que los valores de operación estén en los rangos recomendados por el proveedor del electrodializador durante toda la prueba. Para temperatura entre 10-35 °C y no exceder 2 bar de presión, según las especificaciones de operación del fabricante.

5.7. Se toman muestras de concentrado y diluido continuamente mientras los valores del amperaje varían en el tiempo. Se mide la conductividad, pH y la temperatura de las muestras para el seguimiento del proceso. Algunas muestras se deben reservar para hacer los análisis pertinentes posteriormente.

5.8. Cuando los valores de amperaje no varíen se finaliza la prueba. Primero se debe detener la corriente al módulo, y posteriormente, se apagan las bombas y se cierran las válvulas de salida de éstas.

5.9. Se vacían los tanques de almacenamiento.

5.10. Se sigue el protocolo de lavado del electrodializador.

6. Modelo para la toma de datos

Se toma como referencia las siguientes tablas para la toma de datos de las variables del proceso.

Tabla 2

Toma de datos - Condiciones iniciales

Condiciones iniciales		
Prueba No.		
Voltaje		
Caudal		
Concentración	D	
	C	

Tabla 3

Toma de datos - variables de proceso

Tiempo	**Amperaje (A)**	**Conductividad**		**Temperatura**			**pH**	
		Tanque		**Tanque**			**Tanque**	
		D	**C**	**D**	**C**	**L**	**D**	**C**

D2. Protocolo de limpieza y mantenimiento del piloto de electrodiálisis.

A continuación, se registran los protocolos básicos que se deben tener en cuenta para la limpieza y mantenimiento del módulo de electrodiálisis, y de esta manera asegurar su buen funcionamiento y mantener su vida útil, así como para garantizar la calidad del producto a tratar. Se recomienda seguir las sugerencias adicionales proporcionadas por los proveedores de cada equipo que conforma el piloto.

1. Procedimiento de limpieza del sistema.

Una vez finalizado el vaciado de los depósitos, se almacenan las soluciones restantes, ya sea para el aprovechamiento de los productos, o para el desecho de residuos. Para preparar el piloto para un siguiente experimento, se debe limpiar el equipo llenando los tanques con agua potable desmineralizada y activando las bombas sin encender la fuente de voltaje. Para verificar que el lavado haya sido correcto, se mide la conductividad en los depósitos hasta que la lectura sea inferior a 6 µS/cm, de lo contrario, se repite el procedimiento las veces necesarias.

Siempre deben respetarse las condiciones establecidas por los fabricantes de membranas para no deteriorarlas o acortar su vida útil. La operación de limpieza se realiza siempre con la planta fuera de producción y cuando todas las soluciones producto hayan sido retiradas del sistema.

2. Procedimiento de mantenimiento del sistema.

En la electrodiálisis, es posible que se produzca una serie de contaminaciones en las pilas y membranas, debido a la deposición de sustancias y ensuciamiento en la superficie. Por esto, es necesario realizar cada cierto tiempo un procedimiento de mantenimiento, que incluya limpieza química o limpieza mecánica, según se requiera.

2.1.Limpieza mecánica

Con el ensuciamiento, es posible que algunas piezas del módulo de ED requieran de una limpieza mecánica con cepillos de cerdas suaves cada determinado tiempo. Para ello, se desmonta la pila y se cepillan espaciadores, uniones y tuberías para eliminar la suciedad depositada en ellos. Se deben seguir las instrucciones del fabricante.

2.2.Limpieza química

El proceso de limpieza de membranas debe realizarse en las siguientes etapas.

2.2.1. Preparación de la solución de limpieza

En función del tipo de contaminación se utilizarán soluciones de HCl o de NaCl. Las soluciones de limpieza deben prepararse con agua de buena calidad y sin cloro, preferiblemente agua destilada o en su defecto desmineralizada.

Se deben verificar estas prácticas con las recomendaciones del fabricante de la membrana empleada. Antes de bombear cualquier solución, se debe comprobar que todos los químicos empleados se hayan disuelto por completo.

Se recomienda realizar el procedimiento cada 4 semanas (a no ser que el fabricante especifique otro periodo de tiempo), o cuando sea necesario por problemas de funcionamiento.

Solución ácido clorhídrico (HCl) al 5%.

La concentración de solución ácida a recircular por el sistema debe ser del 5% aproximadamente, con un pH entre 1-1,5. El HCl elimina las incrustaciones de carbonato cálcico, reaccionando para formar cloruro cálcico y dióxido de carbono. El HCl también ayuda a eliminar pequeños depósitos de suciedad ligera de la superficie de las membranas.

Solución de cloruro sódico (NaCl) al 5%.

La solución para recircular debe ser de al menos un 3% de NaCl (0,55N) y el pH de la unidad debe estar entre 8 y 9. Para aumentar el pH puede utilizarse una pequeña cantidad de hidróxido de sodio (NaOH) en el tanque de limpieza. Un pH superior a 10 puede dañar seriamente las membranas aniónicas.

2.2.2. Limpieza de electrodos

Como mantenimiento preventivo, se debe realizar un proceso de limpieza química de los electrodos, para evitar incrustaciones o ensuciamiento en los compartimientos del electrodo. Para esto se inyecta ácido clorhídrico HCl al 33%.

Esta solución de limpieza se bombea al interior del sistema desde el tanque con la ayuda de la bomba.

2.2.3. Recirculación

La limpieza de la membrana debe realizarse a una presión inferior a 2 bar, para no exceder la presión máxima de operación, y el flujo no debe superar los límites permitidos. Para favorecer el contacto de la solución de limpieza con la suciedad, se deben intercalar periodos de recirculación y reposo.

Si la solución de limpieza muestra un considerable cambio de color o aparecen precipitaciones, debe ser desechada y preparar una nueva, repitiendo el proceso.

2.2.4. Aclarado

Una vez finalizada la limpieza, se deben aclarar tanto las membranas como el circuito de limpieza haciendo circular agua apropiada para cada tipo de membrana por el sistema, para remover los

restos de solución. El proceso de aclarado finaliza cuando se verifique que se ha retirado completamente la solución de limpieza del sistema.

3. Recomendaciones

- Mientras no se haga uso del piloto, mantener los depósitos secos y tapados para evitar el ingreso de suciedad y polvo.
- El pretratamiento es fundamental para evitar ensuciamiento e incrustaciones en los equipos, por lo que se debe verificar que las soluciones a procesar sean previamente filtradas.
- Se recomienda realizar una limpieza cuando se producen variaciones entre el 10-15 % del valor de los parámetros de funcionamiento (conductividad, presión y temperatura). Si no se efectúa una pronta limpieza, podrían alcanzarse daños irreversibles por ensuciamiento en las membranas. Sin embargo, se deben seguir las especificaciones del fabricante.
- Llevar un registro de las siguientes operaciones:
    - Calibrado de instrumentos de control de variables según las instrucciones del fabricante.
    - Fecha de inicio de operación de las membranas y sus respectivas sustituciones.
    - Registrar limpiezas y desinfecciones: frecuencia y productos químicos empleados.
    - Registro de incidentes y/u observaciones detectadas durante la operación del piloto.
    - Uso y medida del consumo de reactivos.

Se adjunta ficha guía para toma de los datos anteriormente mencionados.

Tabla 1

Formato de registro de mantenimiento.

Fecha:		
Hora:		
Experimento:		
A cargo de:		
Registro de operaciones	**SI**	**NO**
Calibrado de instrumentos		
Limpieza post-experimento		
Mantenimiento/limpieza mecánica		
Mantenimiento/limpieza química		
Reactivos usados/concentraciones:		
Observaciones:		