



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Química

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN EQUIPO DIDÁCTICO PARA LA CARACTERIZACIÓN
DEL FENÓMENO DE ÓSMOSIS PARA SOLUCIONES ELECTROLÍTICAS MEDIANTE
CONDUCTIMETRÍA**

Nadya Waleska Figueroa Marroquín

Asesorado por el Ing. William Eduardo Fagiani Cruz

Guatemala, abril de 2018

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN EQUIPO DIDÁCTICO PARA LA CARACTERIZACIÓN
DEL FENÓMENO DE ÓSMOSIS PARA SOLUCIONES ELECTROLÍTICAS MEDIANTE
CONDUCTIMETRÍA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

NADYA WALESKA FIGUEROA MARROQUÍN
ASESORADO POR EL ING. WILLIAM EDUARDO FAGIANI CRUZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERA QUÍMICA

GUATEMALA, ABRIL DE 2018

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Oscar Humberto Galicia Nuñez
VOCAL V	Br. Carlos Humberto Gómez Donis
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

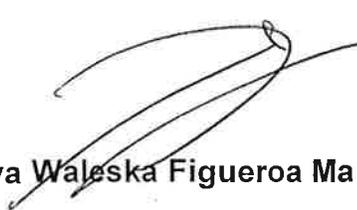
DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Cesar Ariel Villela Rodas
EXAMINADOR	Ing. César Alfonso García Guerra
EXAMINADOR	Ing. Carlos Salvador Wong Davi
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN EQUIPO DIDÁCTICO PARA LA CARACTERIZACIÓN DEL FENÓMENO DE ÓSMOSIS PARA SOLUCIONES ELECTROLÍTICAS MEDIANTE CONDUCTIMETRÍA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha 30 de noviembre de 2015.



Nadya Waleska Figueroa Marroquín

Guatemala, 30 de octubre de 2017

Ingeniero
Carlos Salvador Wong Davi.
Director
Escuela de Ingeniería Química.
Facultad de Ingeniería
USAC

Respetable Señor Director

Me dirijo a usted para informarle que a la presente fecha he revisado el informe final del trabajo de graduación titulado: **“DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN EQUIPO DIDÁCTICO PARA LA CARACTERIZACIÓN DEL FENOMENO DE ÓSMOSIS PARA SOLUCIONES ELECTROLITICAS MEDIANTE CONDUCTIMETRÍA”**, del estudiante universitario **NADYA WALESKA FIGUEROA MARROQUÍN** de la carrera de Ingeniería Química con el carné No. 2062265780101 y registro académico No. 201113831, de quien estoy fungiendo como ASESOR. Siendo que los aspectos metodológicos del trabajo en cuestión llenan los requisitos técnicos que ameritan su aprobación, sirva la presente para patentizarlo a efecto de que se autorice el trabajo realizado y se proceda a continuar con los trámites subsiguientes.

Sin más por el momento, me suscribo de usted.


INGENIERO QUÍMICO
WILLIAM EDUARDO FAGIANI CRUZ
COL. 1734
WILLAM EDUARDO FAGIANI CRUZ

Ing. Químico, colegiado 1734



Guatemala, 19 de febrero de 2018.
Ref. EIQ.TG-IF.008.2018.

Ingeniero
Carlos Salvador Wong Davi
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería

Estimado Ingeniero Wong:

Como consta en el registro de evaluación del informe final EIQ-PRO-REG-007 correlativo **104-2015** le informo que reunidos los Miembros de la Terna nombrada por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del:

**INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADUACIÓN
-Modalidad Seminario de Investigación-**

Solicitado por la estudiante universitaria: **Nadya Waleska Figueroa Marroquín**.
Identificada con número de carné: **2062 26578 0101**.
Identificada con registro académico: **2011-13831**
Previo a optar al título de **INGENIERA QUÍMICA**.

Siguiendo los procedimientos de revisión interna de la Escuela de Ingeniería Química, los Miembros de la Terna han procedido a **APROBARLO** con el siguiente título:

**DISEÑO Y CONTRUCCIÓN DE UN EQUIPO DIDÁCTICO PARA LA CARACTERIZACIÓN DEL
FENÓMENO DE ÓSMOSIS PARA SOLUCIONES ELECTROLÍTICAS MEDIANTE
CONDUCTIMETRÍA**

El Trabajo de Graduación ha sido asesorado por el Ingeniero Químico: **William Eduardo Fagiani Cruz**.

Habiendo encontrado el referido informe final del trabajo de graduación **SATISFACTORIO**, se autoriza al estudiante, proceder con los trámites requeridos de acuerdo a las normas y procedimientos establecidos por la Facultad para su autorización e impresión.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"


Inga Ana Gloria Montes Peña
COORDINADORA DE TERNA
Tribunal de Revisión
Trabajo de Graduación



C.c.: archivo



Ref.EIQ.TG.007.2018

El Director de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y de los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química para revisar el Informe del Trabajo de Graduación de la estudiante, **NADYA WALESKA FIGUEROA MARROQUÍN** titulado: **"DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN EQUIPO DIDÁCTICO PARA LA CARACTERIZACIÓN DEL FENÓMENO DE ÓSMOSIS PARA SOLUCIONES ELECTROLÍTICAS MEDIANTE CONDUCTIMETRÍA"**. Procede a la autorización del mismo, ya que reúne el rigor, la secuencia, la pertinencia y la coherencia metodológica requerida.

"Id y Enseñad a Todos"

Ing. Carlos Salvador Wong Davi
Director
Escuela de Ingeniería Química

Guatemala, abril 2018

FACULTAD DE INGENIERIA USAC
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA
DIRECTOR

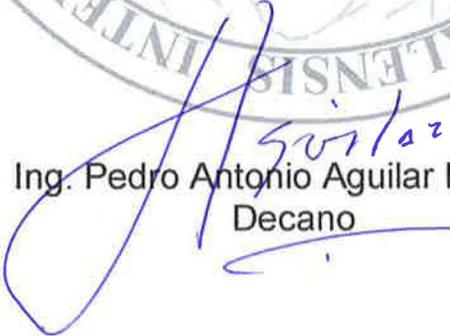
Cc: Archivo
CSWD/ale





El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al trabajo de graduación titulado: **DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN EQUIPO DIDÁCTICO PARA LA CARACTERIZACIÓN DEL FENÓMENO DE ÓSMOSIS PARA SOLUCIONES ELECTROLÍTICAS MEDIANTE CONDUCTIMETRÍA**, presentado por la estudiante universitaria: **Nadya Waleska Figueroa Marroquín**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano



Guatemala, abril de 2018

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por ser esa fuerza que no podemos ver y simplemente podemos sentir.
- Mis padres** Lidia Elizabeth Marroquín Hernández y Carlos Aníbal Figueroa Trujillo por ser parte de todo este proceso al lado mío y una gran fuente de inspiración.
- Mi hermana** Ana Denisse Figueroa Marroquín, por dejarme ser el ejemplo a seguir y darme inspiración día con día para continuar mi camino.
- Familia** Por ser un gran apoyo en los momentos de debilidad.
- Mi prometido** Keneth Jacobs, por ser esa inspiración constante de perseverancia y paciencia para salir adelante y luchar por mis sueños.
- Amigos** Cesia De León y Daniel Vallejo, por ser mi compañía y mis mejores amigos durante la universidad, familia que yo elegí para crecer.
- Michelle Martínez** Por ser un miembro más de mi querida familia y escucharme siempre.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser el lugar donde aprendí a ser mejor persona y saber que no todo está en un libro.
Facultad de Ingeniería	Por ser la casa de estudios en la que aprendí todo lo que profesionalmente soy.
Mi asesor	William Fagiani, por su paciencia y sus enseñanzas, pero sobre todo su habilidad de transmitir conocimiento.
Mis amigos de la Facultad	Cesia De León, Edgar Vallejo, Obed Orozco, Ronald Mendizábal, Emilia Pontaq, Katherin Callejas y Mario Sosa por acompañarme siempre y brindarme su amistad.
Christopher Valiente	Por ser un gran amigo y apoyarme en esta parte de la carrera.
Mis amigas del equipo de <i>Flag Football</i>	Isabel Ávalos, Alisha Moguel, Argelia Gordillo, Lucía Castañeda, Mishel Quevedo y Adriana Olivar, por ser las personas que comparten la pasión del deporte junto a mí.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS	XI
GLOSARIO	XIII
RESUMEN.....	XV
OBJETIVOS.....	XVII
INTRODUCCIÓN	XIV
1. ANTECEDENTES	1
2. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. Didáctica.....	5
2.2. Ósmosis.....	5
2.2.1. Ósmosis inversa	5
2.2.2. Ósmosis directa	6
2.3. Difusión.....	7
2.3.1. Velocidad de ósmosis.....	7
2.3.2. Ley de difusión de Fick	8
2.4. Soluciones electrolíticas	8
2.4.1. Métodos de medición.....	8
2.4.2. Conductimetría	9
2.5. Conductividad eléctrica.....	10
2.6. Equilibrio material.....	10
2.6.1. Equilibrio químico	10
2.6.2. Equilibrio de fases	10
2.6.2.1. Condiciones del equilibrio de fases	10

2.6.3.	El potencial químico en el equilibrio de fases y su relación con el flujo de material	12
2.6.4.	Excepciones de las condiciones del equilibrio de fases.....	12
2.7.	Potenciales químicos en el equilibrio material.....	13
2.7.1.	Ecuación de Gibbs para sistemas en no equilibrio	13
2.8.	Membranas semipermeables: definición	17
2.9.	Propiedades coligativas: presión osmótica	17
3.	DISEÑO METODOLÓGICO.....	21
3.1.	Variables	21
3.1.1.	Variables de diseño del equipo didácticamente especializado para la caracterización de la ósmosis directa de una solución de cloruro de sodio.....	21
3.1.2.	Variables de caracterización de la ósmosis directa del azul de metileno a una temperatura y presión constante	22
3.2.	Delimitación del campo de estudio.....	23
3.2.1.	Área del conocimiento	23
3.2.2.	Lugar de trabajo para investigación	23
3.2.3.	Recursos humanos disponibles.....	24
3.2.4.	Recursos materiales disponibles.....	24
3.2.4.1.	Equipos auxiliares	24
3.2.4.2.	Cristalería y reactivos	24
3.2.4.3.	Materiales.....	25
3.2.5.	Proceso	25
3.2.5.1.	Etapas del proceso	25

	3.2.5.2.	Diseño	25
	3.2.5.3.	Construcción.....	26
	3.2.5.4.	Evaluación	27
	3.2.6.	Técnica cualitativa o cuantitativa	28
	3.2.7.	Recolección y ordenamiento de la información	28
	3.2.7.1.	Recolección de la información.....	28
	3.2.7.2.	Fundamentos y estimación de medidas de diseño del equipo celda osmótica para la elaboración de planos para la construcción del equipo.....	29
	3.3.	Metodología de uso de la celda osmótica.....	29
	3.3.1.	Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información	29
	3.4.	Análisis estadístico	34
	3.4.1.	Análisis de la regresión de datos.....	34
	3.5.	Hipótesis estadística del número de repeticiones.....	36
	3.6.	Muestra de cálculo y explicación de análisis del número de repeticiones	36
4.		RESULTADOS.....	39
	4.1.	Descripción del diseño en planos y construcción de la Celda Osmótica como resultados.....	39
	4.2.	Descripción general de resultados de evaluación del equipo..	45
5.		DISCUSIÓN DE RESULTADOS	67
	5.1.	Análisis de diseño y construcción de un equipo didácticamente especializado para la ósmosis.....	67

5.2. Análisis de datos obtenidos mediante las mediciones realizadas.....	67
CONCLUSIONES.....	71
RECOMENDACIONES	73
BIBLIOGRAFÍA.....	75
APÉNDICES.....	77

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Ilustración de ósmosis inversa	6
2.	Ilustración de ósmosis directa	7
3.	Esquema de conductimetría.....	9
4.	Proceso de transferencia de materia en un sistema bifásico	11
5.	Dispositivo para la presión osmótica	18
6.	Esquema demostrativo de diseño del equipo didácticamente especializado para la caracterización de la ósmosis directa de cloruro de sodio.....	22
7.	Curva de potencia para ANOVA unidireccional.....	37
8.	Plano de vista lateral de equipo didácticamente especializado para la ósmosis directa.....	40
9.	Plano de planta de equipo didácticamente especializado para la ósmosis directa	41
10.	Plano de marco sostenedor de piezas de vidrio contenedoras de reactivos.....	42
11.	Plano de piezas de vidrio del equipo didácticamente especializado para la ósmosis directa	43
12.	Imagen en planta de la celda osmótica	44
13.	Imagen de vista angular de la celda osmótica	45
14.	Gráfica de curva de calibración para la celda osmótica en un rango de 0,5M a 0,05M	46

15.	Gráfica de conductividad en función de tiempo de una solución de NaCl en agua utilizando una membrana semipermeable de celofán teñido	48
16.	Gráfica de tiempo en función de concentración de una solución de NaCl en agua utilizando una membrana semipermeable de celofán teñido	49
17.	Gráfica de concentración en función de conductividad de una solución de NaCl en agua utilizando una membrana semipermeable de celofán teñido	50
18.	Gráfica de velocidad de ósmosis en función del tiempo de una solución de NaCl en agua utilizando una membrana semipermeable de celofán teñido	52
19.	Gráfica de tiempo en función de conductividad de una solución de NaCl en agua utilizando una membrana semipermeable de papel termo encogible	54
20.	Gráfica de conductividad en función de tiempo de una solución de NaCl en agua utilizando una membrana semipermeable de papel termo encogible	55
21.	Gráfica de concentración en función de conductividad de una solución de NaCl en agua utilizando una membrana semipermeable de papel termo encogible	56
22.	Gráfica de conductividad en función de tiempo de una solución de NaCl en agua utilizando una membrana semipermeable de celofán incoloro	58
23.	Gráfica de tiempo en función de concentración de una solución de NaCl en agua utilizando una membrana semipermeable de celofán incoloro.....	59

24.	Gráfica de concentración en función de conductividad de una solución de NaCl en agua utilizando una membrana semipermeable de celofán incoloro.....	60
25.	Gráfica de velocidad de ósmosis en función del tiempo de una solución de NaCl en agua utilizando una membrana semipermeable de celofán incoloro.....	62
26.	Gráfica comparativa entre tiempo y conductimetría utilizando tres diferentes barreras (membranas) que son celofán teñido, celofán incoloro y papel termoencogible.....	63
27.	Gráfica comparativa entre tiempo y concentración utilizando tres diferentes barreras (membranas) que son celofán teñido, celofán incoloro y papel termoencogible.....	64
28.	Gráfica comparativa entre tiempo y velocidad de ósmosis dos diferentes barreras (membranas) que son celofán teñido y celofán incoloro	65

TABLAS

I.	Definición de variables de caracterización de la ósmosis directa del azul de metileno a una temperatura y presión constante	22
II.	Tabla de medidas arbitrarias para la celda osmótica	30
III.	Tabla de medidas de las piezas de vidrio de celda osmótica.....	30
IV.	Tabla de medidas de marco sostenedor de piezas de vidrio de celda osmótica	30
V.	Tabla de medidas de planta del equipo de celda osmótica.....	30
VI.	Tabla de datos experimentales de conductividad y concentración molar de cloruro de sodio en solución con agua	31

VII.	Tabla de datos experimentales de conductividad y tiempo de tres soluciones 0,5M de NaCl en agua y una membrana semipermeable de papel celofán teñido	32
VIII.	Tabla de datos experimentales de conductividad y tiempo de tres soluciones 0,5M de NaCl en agua utilizando una membrana semipermeable de papel termo encogible	32
IX.	Tabla de datos experimentales de conductividad y tiempo de tres soluciones 0,5M de NaCl en agua utilizando una membrana semipermeable de papel celofán incoloro.....	33
X.	Regresión de datos de las tres diferentes gráficas, T-mS/cm, T-Concentración y concentración-mS/cm en un rango de 0,05M a 5M para la prueba con la membrana semipermeable de papel celofán teñido	34
XI.	Regresión de datos de las tres diferentes gráficas, T-mS/cm, T-Concentración y concentración-mS/cm en un rango de 0,05M a 5M para la prueba con la membrana semipermeable de plástico termo encogible	35
XII.	Regresión de datos de las tres diferentes gráficas, T-mS/cm, T-concentración y concentración-mS/cm en un rango de 0.05M a 5M para la prueba con la membrana semipermeable de celofán incoloro	35
XIII.	Datos de conductividad tomados de soluciones de concentraciones conocidas en un rango de 0,5M a 0,05M.....	46
XIV.	Datos calculados de concentración de la solución de NaCl con agua utilizando membrana semipermeable de celofán teñido	47
XV.	Datos calculados de velocidad de ósmosis conductividad de una solución de NaCl en agua utilizando una membrana semipermeable de celofán teñido	51

XVI.	Datos calculados de concentración de la solución de NaCl con agua utilizando membrana semipermeable papel termo encogible.....	53
XVII.	Datos calculados de concentración de la solución de NaCl con agua utilizando membrana semipermeable celofán incoloro.....	57
XVIII.	Datos calculados de velocidad de ósmosis conductividad de una solución de NaCl en agua utilizando una membrana semipermeable de celofán incoloro.....	61

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
γ_A	Coefficiente de actividad
R	Constante de los gases
dG	Energía libre de Gibbs
A	Energía de Helmholtz
U	Energía Interna
H	Entalpía
S	Entropía
δ	Fase Alfa
β	Fase Beta
F	Grados de libertad o varianza
N	Número de fases
n_i	Número de moles i
P	Presión
Π	Presión osmótica
μ_i	Potencial químico
T	Temperatura
V	Volumen
\bar{V}_A	Volumen parcial del componente A
$V_{m,A}$	Volumen molar del componente A

GLOSARIO

Didáctica	Rama de la pedagogía que estudia las metodologías y técnicas del aprendizaje.
Electrolitos	Materiales que se disuelven completamente o parcialmente en el agua y de esta forma conducen corriente eléctrica.
Equilibrio	Estado de un sistema en el cual no se observan cambios macroscópicos ni de sus propiedades a lo largo del tiempo.
Espectrofotometría	Método científico utilizado para medir la cantidad de luz que absorbe una sustancia química.
Fases	Se le conoce como fase a cada una de las zonas macroscópicas del espacio de una composición química, tanto en química como en termodinámica.
Flujo	Caudal de un fluido continuo.
Membrana	Material que permite el paso de ciertas sustancias de manera preferencial.
Ósmosis	Difusión que tiene lugar entre dos líquidos o gases que pueden mezclarse.

Permeabilidad	Capacidad que tiene un material de ser atravesado sin afectar su estructura interna.
Presión	Fuerza que ejerce un gas o un líquido sobre una superficie.
Semipermeable	Material que permitirá el paso de ciertos materiales por el mismo.
Sistema	Proporción de un cuerpo material con delimitaciones fijas.
Temperatura	Magnitud escalar relacionada a la energía interna de un cuerpo.
Termodinámica	Parte de la física que estudia el calor y otras formas de energía.
Trabajo	Producto de la fuerza, ejercida por un cuerpo, por el desplazamiento recorrido.
Concentración	Relación que existe entre soluto y solvente de una disolución química.
Polarización	Fenómeno de concentración que se da en la ósmosis Inversa.

RESUMEN

Mediante el presente trabajo de graduación se realizó el diseño construcción y evaluación de un equipo didácticamente especializado para la caracterización de la ósmosis directa del cloruro de sodio por conductimetría, a escala laboratorio.

Esto se realizó con la finalidad de que el estudiante del Laboratorio de Físicoquímica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala comprenda mejor el fenómeno de ósmosis directa utilizando dicho equipo y recolección de datos experimentales que le faciliten la caracterización de la ósmosis.

El equipo didácticamente especializado fue construido por personal experto en el manejo de acero inoxidable. Cuenta con un sistema especial que permite, sin problema, alguno el cambio de reactivos por utilizar y la membrana semipermeable de tal forma que el experimento sea reproducible para la obtención de datos.

La investigación se llevó a cabo con un presupuesto aproximado de Q.2,492.00 con el apoyo de la empresa Imaginate Metal y el Laboratorio de Físicoquímica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

OBJETIVOS

General

Diseñar y construir un equipo didáctico para la caracterización del fenómeno de ósmosis para soluciones electrolíticas mediante conductimetría.

Específicos

1. Diseñar un equipo que permita el estudio del fenómeno de la ósmosis de manera cuantitativa.
2. Construir un equipo de acero inoxidable y vidrio que permita estudiar el fenómeno de ósmosis mediante el monitoreo de concentraciones por conductimetría.
3. Caracterizar el comportamiento de la velocidad de ósmosis de una solución de cloruro de sodio en función de la concentración mediante el uso de dos membranas semipermeables de diferente porosidad (celofán teñido, incoloro y termoencogible) y agua.

INTRODUCCIÓN

En diversas áreas industriales se han interesado en la ósmosis directa, partir de la diversificación del concepto de la presión osmótica. Entre los distintos campos de aplicación industrial de la ósmosis directa se destaca el tratamiento de agua y la concentración de todo tipo de soluciones. También es aplicable en el campo de generación de energía. Existen dos grandes retos que impiden, hasta el momento, que la ósmosis directa sea una realidad a gran escala. Por una parte, están, las membranas que son aún poco productivas, debido al problema de la polarización de la concentración, y deberán adaptarse para minimizar esta dificultad. Y por el otro lado, la necesidad de procesos de bajo coste para la regeneración de las soluciones extractoras. Sin embargo la ósmosis directa se aplica, a escala laboratorio, para la obtención de parámetros característicos de las sustancias por emplear en la ósmosis inversa.

La ósmosis directa es la forma didáctica más importante para la comprensión del fenómeno de ósmosis. De tal forma que el enfoque que tiene el presente trabajo de graduación, es que el estudiante comprenda dicho fenómeno de forma especializada haciendo uso del equipo de celda osmótica. De esta manera podrá obtener datos experimentales con los cuales ilustre y caracterice el fenómeno de ósmosis directa.

Para fines prácticos y didácticos, se diseñó un equipo el cual permite tanto observar el fenómeno y recolectar datos que ayuden al estudiante a comprender mejor, la ósmosis, todas las áreas del equipo son de acero inoxidable, excepto las áreas donde el equipo entra en contacto con el reactivo

las cuales son de vidrio de cinco milímetros de espesor. En ese lugar se verterá una cantidad definida de reactivos.

Este trabajo de graduación enfoca su interés en el Laboratorio de Fisicoquímica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

1. ANTECEDENTES

En el ámbito educativo la teoría y la empírea constituyen dos realidades que dependen una de la otra y que gestionan conocimientos de diferente índole. La teoría representa principios y conocimientos acerca de una ciencia, una doctrina o una actividad, mientras que la empírea es la acción que se desarrolla con la aplicación de los conocimientos teóricos enfocados en determinada teoría o ley.

En la Universidad de San Carlos de Guatemala el ámbito educativo se basa en una metodología y una corriente constructivista, en la cual cada estudiante es capaz de aprender y generar conocimiento partiendo de los fundamentos teóricos que obtiene por medio de la cátedra expositiva. En la Facultad de Ingeniería, el área de Físicoquímica desarrolla la metodología teórico-empírica mediante un curso expositivo y un curso práctico, para llevar a la praxis los principios conceptuales. El Laboratorio de Físicoquímica emplea una metodología en la cual los estudiantes desarrollan experimentos que analizan fenómenos físicoquímicos y termodinámicos utilizando equipos especializados para generar datos experimentales del proceso y construir generalizaciones limitadas a partir de los mismos. De esta manera se establece un método para construir un verdadero conocimiento.

Durante el desarrollo del curso práctico semestral, se observó la carencia de un equipo especializado con un diseño didáctico para la obtención de datos experimentales mediante los cuales se facilite la comprensión y estudio del fenómeno de ósmosis directa. Con base en esto, se diseñó, construyó y evaluó un equipo especializado para el estudio de la ósmosis directa de una solución

de cloruro de sodio mediante conductimetría a escala laboratorio con el apoyo del Laboratorio de Fisicoquímica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

En el entorno investigativo y evaluativo de la ósmosis directa e inversa se han realizado diferentes estudios para diferentes fines.

Vela, Laura; Herrera, Adriana; Morales, Gustavo; Castro, Ildelfonso de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Cartagena Avenida el Cosulado Calle 30 No. 48-152. Cartagena Colombia con su estudio realizado en el 2016 *Implementación de ósmosis directa y nano aditivos magnéticos para desalinización de agua*. Se evaluó, a escala laboratorio, la desalinización por ósmosis directa de agua de mar sintética. Este sistema utilizó un agente osmótico comercial y un agente osmótico preparado, a partir de azúcar/glucosa 50/50% p/p y nano partículas magnéticas modificadas con carboximetil celulosa.

Zapata, José; Castro, Gilberto de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Medellín en 1999 *deshidratación osmótica de frutas y vegetales*. El estudio se realizó con piña de variedad Cayena lisa buscando obtener trozos con humedad del 5%. Se empleó el método de ósmosis directa y las mejores condiciones de proceso se obtuvieron con un jarabe de sacarosa a 40°C y 50°Brix.

Álvarez, Ricardo; San Martín, Faustino y Coca, José de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala con su estudio realizado 1989 *Polarización de concentración en los procesos con membranas*. *Evaluaron el comportamiento de diferentes membranas para la polarización de*

la concentración y retardo de las reacciones químicas mediante distintas sustancias.

José Alberto Escobar Galo de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia de la Universidad de San Carlos de Guatemala con su estudio realizado en el 2001 *determinación de la calidad microbiológica y fisicoquímica de un sistema de tratamiento de agua por ósmosis, en una planta nacional de medicamentos parentales.* Mediante este estudio se determinó la calidad microbiológica y fisicoquímica de un sistema de tratamiento de agua por ósmosis inversa de una planta nacional de medicamentos parentales utilizados para inyecciones y medicamentos punzantes ya sean cutáneos o musculares.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Didáctica

La didáctica es la rama de la pedagogía que se especializa en las técnicas del aprendizaje y todos los elementos que intervienen en este proceso. En la educación, la didáctica es un medio esencial por que aporta herramientas que ayudan a los educadores a enfrentarse al proceso de enseñanza con una mayor seguridad.

2.2. Ósmosis

La ósmosis es un fenómeno físico relacionado con el movimiento de un solvente a través de una membrana semipermeable, este comportamiento supone una difusión simple, sin gasto de energía.

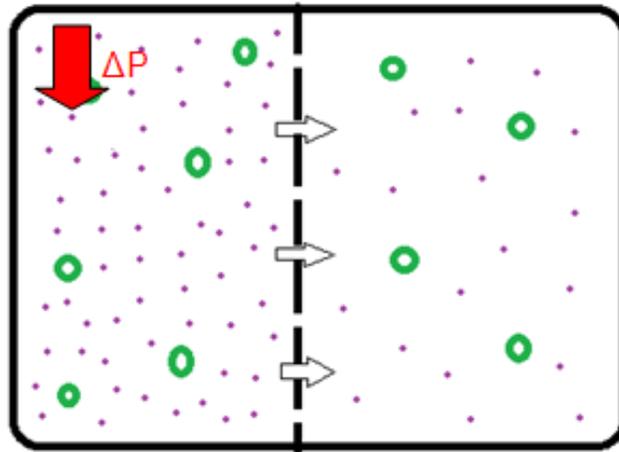
De la ósmosis se estudian dos diferentes tipos los cuales son la ósmosis directa y la ósmosis inversa. El más conocido es la ósmosis inversa por su aplicación industrial tal como la desalinización de agua salada o de mar y también la purificación de agua.

2.2.1. Ósmosis inversa

Proceso en el cual se hace pasar un solvente a través de una membrana semipermeable desde una solución más concentrada (puede ser sales o sólidos disueltos) a una solución menos concentrada, mediante la aplicación de presión. Una de las grandes aplicaciones de la ósmosis inversa es la obtención de agua potable a partir de agua de mar. Debido al incremento demográfico en

muchos países, el agua se ha vuelto escasa y este proceso es muy efectivo además de ser rentable.

Figura 1. **Ilustración de ósmosis inversa**



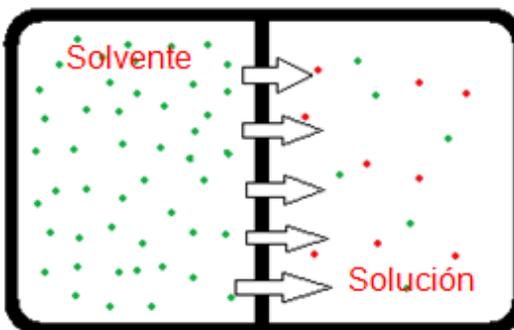
Fuente: elaboración propia.

2.2.2. **Ósmosis directa**

La ósmosis directa es un proceso en el cual se hace pasar un soluto que se encuentra en solución a través de una membrana semipermeable para desconcentrar una solución. La ósmosis directa tiene como campo de aplicación la purificación de agua, concentración de soluciones y también la generación de energía.

En los últimos años, la ósmosis directa ha generado interés, para la obtención de agua pura y para la concentración de soluciones, debido a que las condiciones de operación son relativamente más leves en comparación de la ósmosis inversa.

Figura 2. **Ilustración de ósmosis directa**



Fuente: elaboración propia.

2.3. **Difusión**

Descenso espontaneo de diferencias de concentración entre dos disoluciones de sustancias diferentes, cuando están, en contacto, debido al movimiento molecular. Es decir que la difusión es un movimiento macroscópico de los componentes de un sistema originado por diferencias de concentración.

2.3.1. **Velocidad de ósmosis**

Es rapidez con la que viajan las moléculas de solvente de una zona menos concentrada a una zona más concentrada en la ósmosis directa. Al medir el tiempo y concentración se realiza una curva que modele estas mediciones. Después de ello se obtiene un modelo matemático de dicha curva la cual se deriva y a la derivada se le ingresan datos de concentración. De esta manera, se obtiene el valor numérico de la velocidad de ósmosis el cual describe el paso de las moléculas. Se determina mediante el valor numérico si la ósmosis directa es de forma natural si este valor tiene un signo negativo o es positivo, la velocidad de ósmosis no se da de forma natural. Esto significa que necesita temperaturas y presiones más altas o bajas que las ambientales para llevarse a cabo, de esta forma se trataría una velocidad de ósmosis inversa.

2.3.2. Ley de difusión de Fick

Leyes cuantitativas escritas en forma de ecuación diferencial que describen, matemáticamente, el proceso de de difusión, térmica o, energía en un medio que no ésta inicialmente en equilibrio.

La ley de Fick se describe mediante la siguiente ecuación:

$$\frac{dn_j}{dt} = -D_{jk}A \frac{dc_j}{dx}$$

El coeficiente de difusión D_{jk} es una función del estado local del sistema y, por tanto, depende de la presión, temperatura y composición local de la disolución.

2.4. Soluciones electrolíticas

Son sustancias en disolución las cuales se disocian, como las sales, que tienen esta capacidad y permite que entren iones de la sustancia se conduce electricidad.

La electrolisis es el proceso químico en el cual una sustancia sometida a disociación por medio de una disolución, se descomponen por la acción de una corriente eléctrica continúa.

2.4.1. Métodos de medición

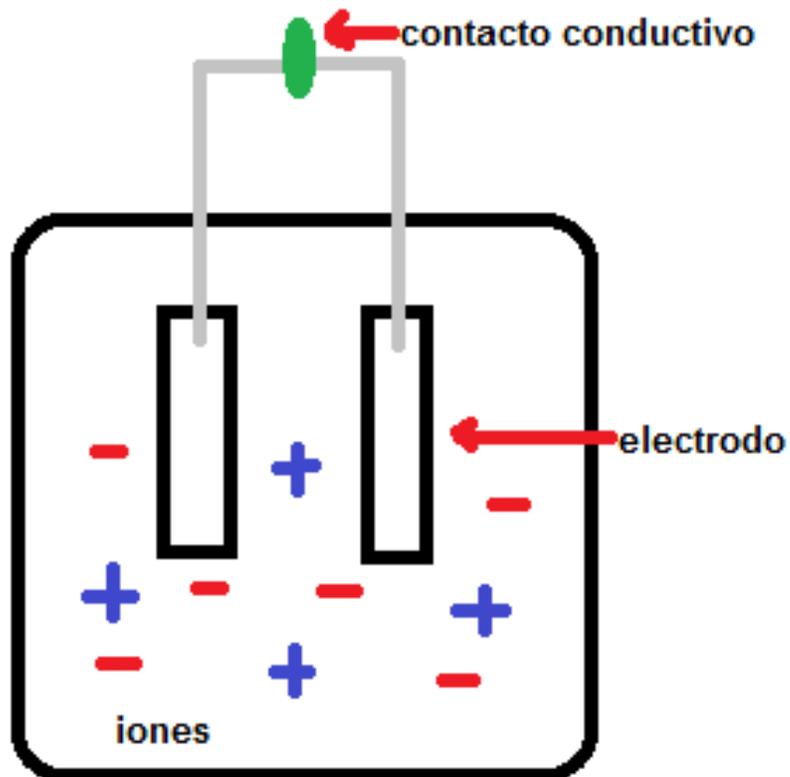
Un método de medición es un proceso básico de la ciencia que trata de comparar un patrón seleccionado con el objeto o fenómeno, cuya magnitud física se desea medir, para observar cuántas veces dicho patrón estará

contenido en esa magnitud; es decir, la medición es un método para determinar la magnitud de algo en cuanto a cantidad

2.4.2. Conductimetría

Se le llama conductimetría a una técnica instrumental que tiene como finalidad determinar la conductividad que tienen las soluciones electrolíticas, las cuales están sometidas al fenómeno de ionización y tienen la especial característica de ser conductoras de electricidad.

Figura 3. Esquema de conductimetría



Fuente: elaboración propia.

2.5. Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica es un fenómeno de transporte en el cual la carga eléctrica en forma de iones o electrones, se mueve a través del sistema, a la inversa de la conductividad se le llama resistividad.

2.6. Equilibrio material

En un sistema cerrado. El equilibrio material se da cuando en cada fase del sistema cerrado el número de moles de cada sustancia presente no varía a lo largo del tiempo. El equilibrio material se subdivide en equilibrio químico y equilibrio de fases.

2.6.1. Equilibrio químico

Es el equilibrio con respecto a la conversión de un conjunto de especies químicas de otro conjunto. El equilibrio químico se puede evaluar a partir del avance o extensión de la reacción y la constante de equilibrio de la reacción.

2.6.2. Equilibrio de fases

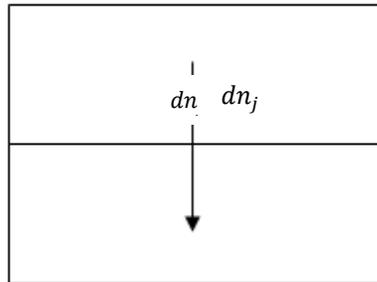
Es el equilibrio con respecto al transporte de materia entre las fases del sistema sin conversión de una especie en otra.

2.6.2.1. Condiciones del equilibrio de fases

La condición del equilibrio material en un sistema cerrado con trabajo P-V solamente viene dada por la definición $\sum_{\alpha} \sum_{\beta} \mu_i^{\alpha} dn_i^{\alpha} = 0$, que se cumple para cualquier cambio infinitesimal posible en el número de moles n_i^{α} . Considerando

un sistema de varias fases que está en equilibrio, y suponiendo que dn_j moles de la sustancia j fluyeron de la fase β (beta) a la fase δ (delta) de la siguiente manera, ilustrado en el siguiente diagrama.

Figura 4. **Proceso de transferencia de materia en un sistema bifásico**



Fuente: elaboración propia.

Para este proceso, la condición del equilibrio material se transforma en:

$$\mu_j^\beta dn_j^\beta + \mu_j^\delta dn_j^\delta = 0$$

Del diagrama del proceso de equilibrio, se tiene que $dn_j^\beta = -dn_j$ y que $dn_j^\delta = dn_j$. Por lo tanto, $-\mu_j^\beta dn_j + \mu_j^\delta dn_j = 0$, y se obtiene que:

$$(-\mu_j^\beta + \mu_j^\delta) dn_j = 0$$

Como $dn_j \neq 0$ ya que existe una transferencia de materia entre fases, se debe cumplir que $\mu_j^\delta - \mu_j^\beta = 0$, o reescrito matemáticamente:

$$\mu_j^\delta = \mu_j^\beta$$

En un sistema cerrado en equilibrio térmico y mecánico con trabajo P-V solamente, la condición del equilibrio de fases es que el potencial químico de una sustancia dada sea igual en cada fase del sistema.

2.6.3. El potencial químico en el equilibrio de fases y su relación con el flujo de material

La función de estado μ_i determina si existe o no equilibrio material entre las fases. Como se ha mencionado, la temperatura es una propiedad intensiva que gobierna el flujo de calor. De igual manera, los potenciales químicos son propiedades intensivas que gobiernan el flujo de materia de una fase a otra. La temperatura es menos abstracta que el potencial químico, ya que se pueden obtener mediciones directas de la misma en un termómetro.

El potencial químico se puede interpretar viéndolo como una medida de la tendencia de escape. Cuanto mayor sea el valor de μ_j^δ , mayor será la tendencia de la sustancia j a escapar de la fase δ y fluir hacia otra fase adyacente donde su potencial químico sea menor.

2.6.4. Excepciones de las condiciones del equilibrio de fases

Se ha establecido que una sustancia fluye de la fase donde su potencial químico es mayor a la fase donde su potencial químico es menor. Supongamos que inicialmente no hay sustancia j en la fase δ . Aunque no hay sustancia j en la fase δ , el potencial químico μ_j^δ es una cantidad definida, puesto que se podría, en principio, añadir dn_j moles de j a δ midiendo la siguiente expresión:

$$(\partial G^\delta / \partial n_j^\delta)_{T,P,n_{i \neq j}} = \mu_j^\delta$$

Si inicialmente $\mu_j^\beta > \mu_j^\delta$, entonces j fluye de la fase β (beta) a la fase δ (delta) hasta que se alcanza el equilibrio de fases. Sin embargo, si inicialmente $\mu_j^\delta > \mu_j^\beta$, j no puede fluir a partir de δ (porque no existe en δ). El sistema permanecerá, por consiguiente, invariable en el tiempo y por lo tanto está en equilibrio. En consecuencia, cuando una sustancia no se encuentra presente en una fase, la condición de equilibrio pasa a ser:

$$\mu_j^\delta \geq \mu_j^\beta$$

La desigualdad anterior aplica para todas las fases β en equilibrio con δ . De esta manera, interpretando la expresión anterior, se puede enunciar que:

En un sistema cerrado en equilibrio termodinámico, el potencial químico de cualquier sustancia dada es el mismo en todas las fases en las que la sustancia está presente.

2.7. Potenciales químicos en el equilibrio material

La ecuación básica para describir el diferencial de la energía interna es igual a la temperatura multiplicada por el diferencial de la entropía menos la presión por el diferencial del volumen:

$$dU = TdS - PdV$$

2.7.1. Ecuación de Gibbs para sistemas en no equilibrio

Si se considera un sistema de una fase y que se encuentra en equilibrio térmico y mecánico pero no necesariamente en equilibrio material, de tal forma que tiene temperatura (T) y presión (P) con valores bien definidos y el estado

termodinámico se define mediante $T, P, n_1 \dots n_i$, para lo cual i es el número de moles de los diferentes componentes que puedan existir en esa sola fase. Aunque el sistema no esté en equilibrio material, tiene sentido aun, asignarle valores a la energía interna (U) y entropía (S) del sistema respecto a sus valores en algún estado de referencia. De tal forma que como los valores de T, P, V, U y S tienen valores definidos, la entalpía (H), la energía de Helmholtz (A) y energía de Gibbs (G) pueden expresarse en función de T, P y n_i .

En cualquier momento durante un proceso químico en el sistema estudiado, la energía de Gibbs se define por las siguientes variables:

$$G = G(T, P, n_i)$$

Suponiendo que T, P y n_i cambian en cantidades infinitesimales dP, dT y dn_i como resultado de una reacción química irreversible o un transporte infinitesimal. Se desea calcular el diferencial de la energía de Gibbs (dG) para este proceso infinitesimal y como G es una función de estado, se reemplaza el cambio irreversible por reversible:

$$dG = \left(\frac{\partial G}{\partial T}\right)_{P, n_i} dT + \left(\frac{\partial G}{\partial P}\right)_{T, n_i} dP + \left(\frac{\partial G}{\partial n_1}\right)_{T, P, n_{i \neq 1}} dn_1 + \dots + \left(\frac{\partial G}{\partial n_i}\right)_{T, P, n_i} dn_i$$

Utilizando la ecuación diferencial de la energía de Gibbs $dG = -SdT + VdP$ de un proceso irreversible, n_i fija y solo trabajo P-V. Se deduce que:

$$\left(\frac{\partial G}{\partial T}\right)_{P, n_i} = -S, \quad \left(\frac{\partial G}{\partial P}\right)_{T, n_i} = V$$

Y se obtiene para dG en un proceso reversible y un sistema de una fase con trabajo P-V que se define:

$$dG = -SdT + VdP + \sum_{i=1}^i \left(\frac{\partial G}{\partial n_i} \right)_{T,P,n_{i \neq 1}} dn_i$$

Surge la definición de potencial químico μ_i de la sustancia, de la abreviatura de la ecuación anterior:

$$\mu_i = \left(\frac{\partial G}{\partial n_i} \right)_{T,P,n_{i \neq 1}} dn_i$$

G es la energía de Gibbs del sistema de una fase; La ecuación del diferencial de energía de Gibbs toma la siguiente forma:

$$dG = -SdT + VdP + \sum_{i=1}^i \mu_i dn_i$$

La ecuación anterior es la clave de la termodinámica química, se aplica en sistemas de una sola fase que están en equilibrio mecánico y térmico pero no necesariamente en equilibrio material de tal forma que cumple para una reacción química irreversible y un transporte de materia dentro del sistema y fuera de él.

Las ecuaciones anteriores son válidas para sistemas cerrados. Para sistemas abiertos se utiliza ecuación de diferencial de energía interna partiendo de la energía de Gibbs $G \equiv U + PV - TS$ y se obtiene que $dU = dG - pdV - VdP + TdS + SdT$ y sustituyendo para este sistema se obtiene que:

$$dU = TdS - PdV + \sum_i \mu_i dn_i$$

Al utilizar $H = U + PdV$ y $A = U - TS$ junto con la ecuación anterior, se obtienen expresiones para cambios químicos irreversibles de dU , dH , dH y dG :

$$dU = tdS - pdV + \sum_i \mu_i dn_i$$

$$dH = TdS + VdP + \sum_i \mu_i dn_i$$

$$dA = -SdT - PdV + \sum_i \mu_i dn_i$$

$$dG = -SdT + VdP + \sum_i \mu_i dn_i$$

Las cuatro expresiones anteriores se denominan ecuaciones de Gibbs. Estas son válidas para sistemas de una sola fase. Para sistemas de más de una fase, se utiliza la siguiente expresión $dG = \sum_{\alpha} dG^{\alpha}$ y sustituyendo en la misma se obtiene que:

$$dG = - \sum_{\alpha} S^{\alpha} dT + \sum_{\alpha} V^{\alpha} dP + \sum_{\alpha} \sum_i \mu_i^{\alpha} dn_i^{\alpha}$$

De tal forma el potencial químico de la fase α se convierte en:

$$\mu_i^{\alpha} \equiv \left(\frac{\partial G^{\alpha}}{\partial n_i^{\alpha}} \right)_{T, P, n_{i \neq 1}^{\alpha}}$$

Se asume que T y P para todas las fases es igual, esto es válido en un sistema en equilibrio mecánico y térmico siempre que no existan paredes

adiabáticas separando las fases. Como S y V son extensivas las sumatorias sobre las mismas de las fases son iguales a la entropía y volumen del sistema, de tal forma que se convierte en:

$$dG = -SdT + VdP + \sum_{\alpha} \sum_i \mu_i^{\alpha} dn_i^{\alpha}$$

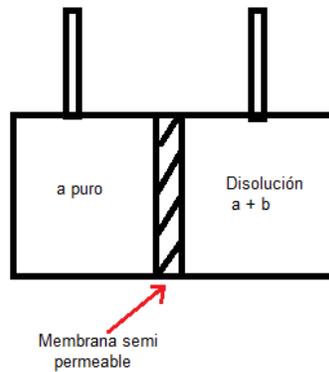
2.8. Membranas semipermeables: definición

Una membrana semipermeable, también llamada membrana selectivamente permeable, membrana parcialmente permeable o membrana permeable diferenciable permitirá que ciertas moléculas o iones pasen a través de ella por difusión y ocasionalmente, especializada en "difusión facilitada". El índice del paso depende de la presión osmótica, la concentración, el gradiente electroquímico y la temperatura de las moléculas o de los solutos en cualquier lado, así como la permeabilidad de la membrana para cada soluto.

2.9. Propiedades coligativas: presión osmótica

Existen membranas semipermeables que solo permiten el paso de determinadas especies químicas a través de ellas, según el dispositivo para la presión osmótica

Figura 5. **Dispositivo para la presión osmótica**



Fuente: elaboración propia.

Se encuentra dividido en dos cámaras que a su vez están separadas por una membrana rígida, diatérmica y semipermeable, que permite el paso del disolvente A pero no del soluto B. En la cámara de la izquierda se sitúa el disolvente A puro y en la derecha una disolución de B en A (A es un no electrólito).

Ambas cámaras se encuentran con los mismos volúmenes y también con la misma presión: $P_{\text{izquierda}} = P_{\text{derecha}}$, como la membrana es diatérmica y se mantiene en equilibrio entonces $T_{\text{izquierda}} = T_{\text{derecha}} = T$, el potencial químico de A es μ_A^* y de tal forma que como temperatura y presión son la misma en ambas cámaras y en los líquidos, la presencia del soluto B en la disolución de la derecha hace que el potencial químico del mismo sea menor. Las sustancias fluyen de las zonas con mayor potencial químico a las zonas donde el potencial químico es menor, de tal forma que la sustancia A fluirá a través de la membrana desde la izquierda, hacia la derecha en donde se encuentra la disolución de B en A. Al suceder esto, aumenta la presión en la cámara de la derecha, sabiendo que:

$$\bar{V}_A = (\partial\mu_A/\partial P)_T$$

Donde:

\bar{V}_A = volumen molar parcial de A

$\frac{\partial \mu_A}{\partial P}$ = derivada parcial de potencial químico en A respecto de la presión, a temperatura constante.

Como el volumen parcial molar de A suele ser positivo, da lugar a un aumento de potencial químico de A en la disolución de la derecha, hasta que finalmente alcanzan el equilibrio y se igualan los potenciales químicos de ambos lados del dispositivo. Como la membrana no permite el paso de B es imposible formular una ecuación para el equilibrio químico de B.

3. DISEÑO METODOLÓGICO

3.1. Variables

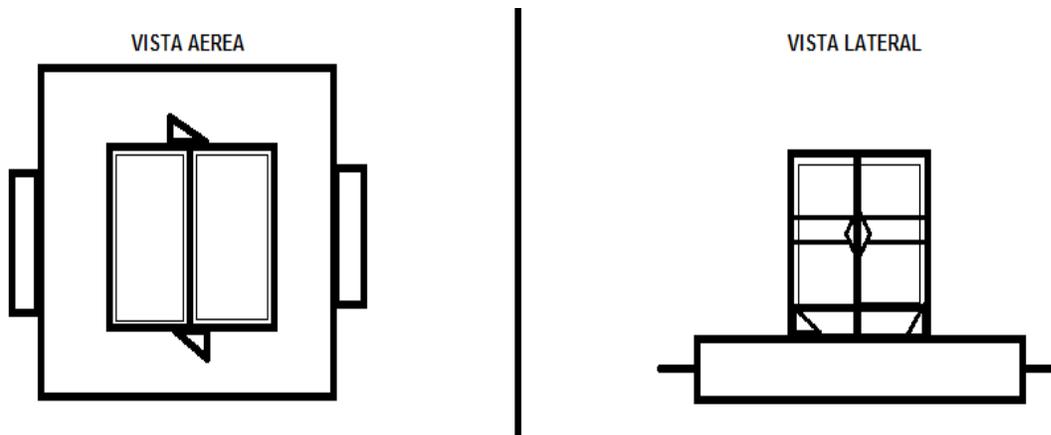
Las variables analizadas se separan en dos grupos: el primer grupo de variables involucra todas las variables de diseño del equipo didácticamente especializado, mientras que el segundo grupo involucra las variables de monitoreo y respuesta para la caracterización de la ósmosis directa de una solución de cloruro de sodio.

3.1.1. Variables de diseño del equipo didácticamente especializado para la caracterización de la ósmosis directa de una solución de cloruro de sodio

Debido a la carencia de un equipo didácticamente especializado para el estudio de la ósmosis directa, el volumen del equipo se establecerá arbitrariamente en función de la optimización del área de contacto entre los fluidos de trabajo y la membrana semipermeable empleada.

Se tomó en cuenta que los materiales por utilizar fueran de alta calidad para garantizar se utilice durante un tiempo prolongado en el Laboratorio de Fisicoquímica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Figura 6. **Esquema demostrativo de diseño del equipo didácticamente especializado para la caracterización de la ósmosis directa de cloruro de sodio**



Fuente: elaboración propia.

3.1.2. Variables de caracterización de la ósmosis directa del azul de metileno a una temperatura y presión constante

Tabla I. **Definición de variables de caracterización de la ósmosis directa del azul de metileno a una temperatura y presión constante**

No.	Variable	Unidad	Factor Potencial de diseño		Tipo de Variable	
			Constantes	No constante	Independiente	Dependiente
1	Temperatura	K	X		X	
2	Presión	atm	X		X	
3	Conductividad	Sm m ² /m		X		X
4	Concentración de la especie <i>i</i>	mol/L		X		X

Continuación tabla I.

5	Constante del gas ideal	atm L/ mol K	X		X	
6	Coeficiente de actividad de la especie <i>i</i>	-		X		X
7	Actividad de la especie <i>i</i>	-		X		X
8	Fracción molar de la especie <i>i</i>	-		X		X

Fuente: elaboración propia.

3.2. Delimitación del campo de estudio

En la siguiente área se delimita el campo del estudio realizado en este trabajo de graduación para un mejor entendimiento y comprensión del problema principal planteado:

3.2.1. Área del conocimiento

Fundamento de conocimiento: Físicoquímica, operaciones unitarias, fenómeno de ósmosis, termodinámica cinética química.

3.2.2. Lugar de trabajo para investigación

El trabajo de graduación fue realizado en la Universidad de San Carlos de Guatemala, específicamente, para el curso de Laboratorio de Físicoquímica I para el Laboratorio de Físicoquímica, para aplicar los conocimientos teóricos a

la praxis en un aparato destinado a la generación de datos para caracterización del fenómeno.

3.2.3. Recursos humanos disponibles

El equipo didácticamente especializado fue diseñado por la investigadora Nadya Waleska Figueroa Marroquín. Lo construyó personal capacitado en construcción y torno de piezas disponible en la empresa Imaginarte Metal. La caracterización de soluciones de cloruro de sodio fue realizada por Nadya Waleska Figueroa Marroquín, asistida por el Ing. William Eduardo Fagiani Cruz.

3.2.4. Recursos materiales disponibles

En esta área se todos los materiales que se utilizaron para la construcción y para la evaluación del equipo.

3.2.4.1. Equipos auxiliares

- Balanza analítica marca RADWAG modelo WPS 750C/1
- Conductímetro HANNA.

3.2.4.2. Cristalería y reactivos

- Vidrio de reloj
- Beaker de 600 mL
- Beaker de 400 mL
- Balones aforados de 125 mL
- Balón aforado de 1 L
- Varilla de agitación

- Cloruro de sodio
- Agua desmineralizada

3.2.4.3. Materiales

- Planchas de 8x5x0,5cm. de acero inoxidable
- Cuadros de 13,5x5,5cm. de acero inoxidable
- Celdas de vidrio de 13,5x5,5x10cm
- Polietileno de 0,5mm de espesor, largo 13 cm, alto 9,5cm, grosor 0,5cm

3.2.5. Proceso

Diseño, construcción y evaluación de un equipo especializado para la práctica didáctica de la caracterización de la ósmosis directa y la estimación de los parámetros representativos fundamentales del proceso.

3.2.5.1. Etapa del proceso

En el proceso inicial se determinó que es necesario el análisis de ciertos factores que incidirán en la determinación de los parámetros del diseño. A partir de esto, se realizaron los planos del diseño y del equipo didácticamente especializado para la caracterización de la ósmosis directa.

3.2.5.2. Diseño

El diseño se realizó partiendo de que en la ósmosis el área de contacto entre la membrana, disolución electrolítica y sustancia menos concentrada sea máxima. A su vez se tomó en cuenta la utilización de materiales que en su

contacto con las sustancias de estudio no tuviesen ninguna intervención en el proceso.

El principal interés en la construcción de este equipo fue la necesidad del estudio del fenómeno de ósmosis en el Laboratorio de Fisicoquímica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, ya que carecía de un equipo especializado para el estudio de este.

Se realizaron planos especializados con las medidas precisas para así realizar la construcción del equipo en la empresa Imaginate Metal. Se diseñó la estructura y las piezas para el equipo. Primero se proyectó estructura de la base del equipo, el cual debería soportar el resto del aparato. La base es una plancha de acero inoxidable con una estructura interna del mismo material. El peso, una vez construido, fue aceptable para fines del equipo. Se diseñaron las estructuras soporte para las piezas móviles de vidrio. Para construirlas se utilizó acero inoxidable de media pulgada y soldadura del mismo material. Las cuatro pequeñas bisagras que permiten la movilidad de las piezas mencionadas, se diseñaron y construyeron con mucha precisión.. Las piezas móviles de vidrio son dos peceras sin una cara diseñadas de acuerdo con las medidas reales del equipo una vez construido y pegadas de forma sencilla con silicón para vidrio. Los empaques utilizados son de polietileno cortados a la medida y pegados con *Super Glue* al acero inoxidable

3.2.5.3. Construcción

La empresa Imaginate Metal especializada en manejo de acero inoxidable, construyó el equipo llamado celda osmótica, partiendo de los planos especializados.

3.2.5.4. Evaluación

Se evaluó el equipo partiendo de una curva de calibración que permita relacionar la conductividad de la solución de cloruro de sodio y la concentración. Esta curva se realizó después de tomar mediciones de conductividad de concentraciones conocidas en un rango de 0,5M a 0,05M en un intervalo de 0,05M utilizando soluciones de NaCl en agua, tomando como referencia medir en un tiempo determinado de cinco minutos durante una hora lo que da un total de doce mediciones.

El tiempo estipulado para la realización de una práctica de laboratorio en el área de Fisicoquímica es de tres horas y media, por tanto se determino que las mediciones durante una hora eran efectivas para fines prácticos.

Se realizaron mediciones de conductividad utilizando la Celda Osmótica de tres formas distintas con las siguientes configuraciones:

- Solución de cloruro de sodio en agua y membrana semipermeable de celofán teñido.
- Solución de cloruro de sodio en agua y membrana semipermeable de plástico termo encogible.
- Solución de cloruro de sodio en agua y membrana semipermeable de celofán incoloro.

Con dichas mediciones se procedió a realizar gráficos los cuales describen el comportamiento del tiempo en función de conductividad, tiempo en función de la concentración y concentración en función de conductividad para las tres configuraciones antes mencionadas para así concluir con la velocidad de osmosis.

3.2.6. Técnica cualitativa o cuantitativa

Para estimar los valores de concentración en el tiempo durante el proceso de ósmosis del cloruro de sodio en solución en el equipo especializado se utilizó la técnica cuantitativa de conductivimetría. Esta técnica, requiere de la elaboración de una curva de calibración para el conductímetro empleado. De ello se obtuvieron medidas de conductividad en función de concentraciones conocidas de soluciones de cloruro de sodio en agua desmineralizada. Con base en la curva de calibración, se obtienen los diferentes valores de concentración utilizando la conductividad medida.

3.2.7. Recolección y ordenamiento de la información

En esta área se desglosa la forma en la que los datos se tomaron y recolectaron tanto del diseño y construcción como de la evaluación del trabajo de graduación.

3.2.7.1. Recolección de la información

La recolección de la información y datos necesarios para llevar a cabo el diseño y evaluación de un equipo didácticamente especializado para la caracterización de la ósmosis directa de cloruro de sodio se realizó en dos etapas: recolección de información para la estructuración y fundamento del diseño del equipo didácticamente especializado y recolección de datos experimentales.

La recolección de información se llevó a cabo en las instalaciones del Laboratorio de Fisicoquímica de la facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

3.2.7.2. Fundamentos y estimación de medidas de diseño del equipo celda osmótica para la elaboración de planos para la construcción del equipo

Se fijó un volumen arbitrario de 1 L para determinar las diferentes áreas y medidas del equipo, a su vez se hizo un cálculo sencillo de volumen utilizando dos valores arbitrarios más, los cuales se pueden observar en la tabla II, la finalidad de estas medidas es obtener un tamaño especial para la celda osmótica impida el gasto innecesario de reactivos. Se consideró también el espesor del vidrio que es de 0,5 cm.

3.3. Metodología de uso de la celda osmótica

Se debe tomar en cuenta cada detalle a realizar, primero, se deben tener las soluciones electrolíticas de concentración y forma adecuadas, luego, es necesario, verificar que el equipo se encuentre completamente limpio y el empaque y membrana en buen estado, finalmente se deben realizar las mediciones utilizando el conductivímetro durante una hora. Esta información se amplía en el Apéndice 3.

3.3.1. Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información

Tabla II. **Tabla de medidas arbitrarias para la celda osmótica**

Volumen	1,00 litro
Largo	12,0 cm
Altura	11,0 cm

Fuente: elaboración propia.

Tabla III. **Tabla de medidas de las piezas de vidrio de celda osmótica**

Largo externo	13,0 cm
Largo interno	12,0 cm
Ancho externo	5,2 cm
Ancho interno	4,70 cm

Fuente: elaboración propia

Tabla IV. **Tabla de medidas de marco sostenedor de piezas de vidrio de celda osmótica**

Alto	10,0 cm
Ancho	14,2 cm
Grosor	2,00 cm
Ancho interno	10,2 cm
Parte superior	1,00 cm

Fuente: elaboración propia

Tabla V. **Tabla de medidas de planta del equipo de celda osmótica**

Placa central	18,0 cm
Bisagras	1,00 cm
Placa sostén	26,2 cm

Fuente: elaboración propia

Tabla VI. **Tabla de datos experimentales de conductividad y concentración molar de cloruro de sodio en solución con agua**

Los datos de conductividad fueron tomados mediante el conductivímetro HANNA, y la concentración fue elegida aleatoriamente de 0,05M a 0,5M para la realización de la curva de calibración.

Las medias determinadas en toda la experimentación se realizaron mediante la ecuación de media general la cual es:

$$X = \frac{\sum x}{N_x}$$

Donde:

X= media

x= valores

N_x= número de valores

Concentración molar	volumen (mL)	Corrida 1 (mS/cm)	Corrida 2 (mS/cm)	Corrida 3 (mS/cm)	Media (mS/cm)
0,50	-	8,91	8,89	8,93	8,91
0,45	33,30	8,27	8,34	8,34	8,32
0,40	33,70	7,77	7,73	7,75	7,75
0,35	34,28	6,89	6,97	6,97	6,94
0,30	35,00	5,91	5,90	5,91	5,91
0,25	36,00	4,96	4,97	5,06	5,00
0,20	37,50	4,31	4,36	4,35	4,34
0,15	40,00	3,71	3,84	3,82	3,79
0,10	45,00	3,34	3,33	3,34	3,34
0,05	60,00	2,83	2,84	2,83	2,83

Fuente: elaboración propia.

Tabla VII. **Tabla de datos experimentales de conductividad y tiempo de tres soluciones 0,5M de NaCl en agua y una membrana semipermeable de papel celofán teñido**

Los datos experimentales de conductimetría fueron tomados con el conductivímetro HANNA del Laboratorio de Fisicoquímica.

Tiempo (min)	Corrida 1 (mS/cm)	Corrida 2 (mS/cm)	Corrida 3 (mS/cm)	Media (mS/cm)
0	8,96	8,96	8,97	8,96
5	8,95	8,96	8,96	8,96
10	8,95	8,95	8,96	8,95
15	8,94	8,94	8,94	8,94
20	8,94	8,95	8,94	8,94
25	8,94	8,94	8,94	8,94
30	8,93	8,94	8,93	8,93
35	8,93	8,93	8,93	8,93
40	8,93	8,93	8,93	8,93
45	8,93	8,92	8,93	8,93
50	8,92	8,92	8,93	8,92
55	8,92	8,92	8,92	8,92
60	8,92	8,92	8,92	8,92

Fuente: Elaboración propia.

Tabla VIII. **Tabla de datos experimentales de conductividad y tiempo de tres soluciones 0,5M de NaCl en agua utilizando una membrana semipermeable de papel termo encogible**

Los datos experimentales de conductimetría fueron tomados con el conductivímetro HANNA del Laboratorio de Fisicoquímica.

Continuación tabla VII.

Tiempo (min)	Corrida 1 (mS/cm)	Corrida 2 (mS/cm)	Corrida 3 (mS/cm)	Media (mS/cm)
0	8,99	9,00	8,98	8,99
5	8,99	9,00	8,99	8,99
10	8,99	9,00	8,99	8,99
15	8,99	9,00	8,99	8,99
20	8,99	9,00	8,99	8,99
25	8,99	9,00	8,99	8,99
30	8,99	9,00	8,99	8,99
35	8,99	9,00	8,99	8,99
40	8,99	9,00	8,99	8,99
45	8,99	9,00	8,99	8,99
50	8,99	9,00	8,99	8,99
55	8,99	9,00	8,99	8,99
60	8,99	9,00	8,99	8,99

Fuente: elaboración propia

Tabla IX. Tabla de datos experimentales de conductividad y tiempo de tres soluciones 0,5M de NaCl en agua utilizando una membrana semipermeable de papel celofán incoloro

Los datos experimentales de conductimetría fueron tomados con el conductivimetro HANNA del Laboratorio de Fisicoquímica.

Tiempo (min)	Corrida 1 (mS/cm)	Corrida 2 (mS/cm)	Corrida 3 (mS/cm)	Media (mS/cm)
0	9,13	9,09	8,97	9,06
5	9,12	9,09	8,96	9,06
10	9,12	9,08	8,96	9,05
15	9,12	9,08	8,95	9,05
20	9,12	9,08	8,94	9,05

Continuación Tabla IX

25	9,11	9,07	8,94	9,04
30	9,11	9,06	8,93	9,03
35	9,10	9,06	8,93	9,03
40	9,10	9,06	8,93	9,03
45	9,10	9,05	8,93	9,03
50	9,10	9,05	8,93	9,03
55	9,09	9,05	8,92	9,02
60	9,09	9,05	8,92	9,02

Fuente: elaboración propia

3.4. Análisis estadístico

3.4.1. Análisis de la regresión de datos

A continuación, se despliega el análisis estadístico de datos obtenidos.

Tabla X. **Regresión de datos de las tres diferentes gráficas, T-mS/cm, T-Concentración y concentración-mS/cm en un rango de 0,05M a 5M para la prueba con la membrana semipermeable de papel celofán teñido**

En la siguiente tabla se observa el ajuste, función y regresión numérica del gráfico

Gráfica	Ajuste	Función	R ²
T-mS/cm	cuadrado	$y=19239x^2-345364x+2E6$	0,98
T-concentración	cuadrado	$y=2E6x^2-2E6x+506434$	0,98

Fuente: elaboración propia

Tabla XI. Regresión de datos de las tres diferentes gráficas, T-mS/cm, T-Concentración y concentración-mS/cm en un rango de 0,05M a 5M para la prueba con la membrana semipermeable de plástico termo encogible

En la siguiente tabla se observa el ajuste, función y regresión numérica del gráfico

Gráfica	Ajuste	Función	R ²
T-mS/cm	lineal	$y=x+24$	0,99
T-concentración	lineal	$y=2E7x+0,5097$	0,98
concentración-mS/cm	-	[8.99, 0.51]	-

Fuente: elaboración propia

Tabla XII. Regresión de datos de las tres diferentes gráficas, T-mS/cm, T-concentración y concentración-mS/cm en un rango de 0.05M a 5M para la prueba con la membrana semipermeable de celofán incoloro

Gráfica	Ajuste	Función	R ²
T-mS/cm	cuadrado	$y=133355x^2-242802x+1E6$	0,98
T-concentración	cuadrado	$y=7E-7x^2-0,0001x+0,5176$	0,98
concentración-mS/cm	lineal	$Y=0,1074x-0,4555$	0,99

Fuente: elaboración propia

3.5. Hipótesis estadística del número de repeticiones

Hipótesis nula H_0 :

La variación en la composición de la membrana semipermeable produce un efecto significativo sobre la velocidad de ósmosis.

Hipótesis alternativa H_1 :

La variación en la composición de la membrana semipermeable produce un efecto no significativo sobre la velocidad de ósmosis.

3.6. Muestra de cálculo y explicación de análisis del número de repeticiones

Se calculó la diferencia mínima que existe entre el uso de las membranas, el significado de la diferencia mínima es la que se espera encontrar en la variable respuesta entre dos niveles factor los cuales son la membrana de celofán teñido e incoloro.

$$Dm = -0.000012$$

Donde:

Dm = diferencia mínima de medias

La desviación estándar se determinó utilizando el programa *Microsoft Excel* con los dos factores anteriormente mencionados y dio como resultado el valor numérico de:

$$S = 0,00002$$

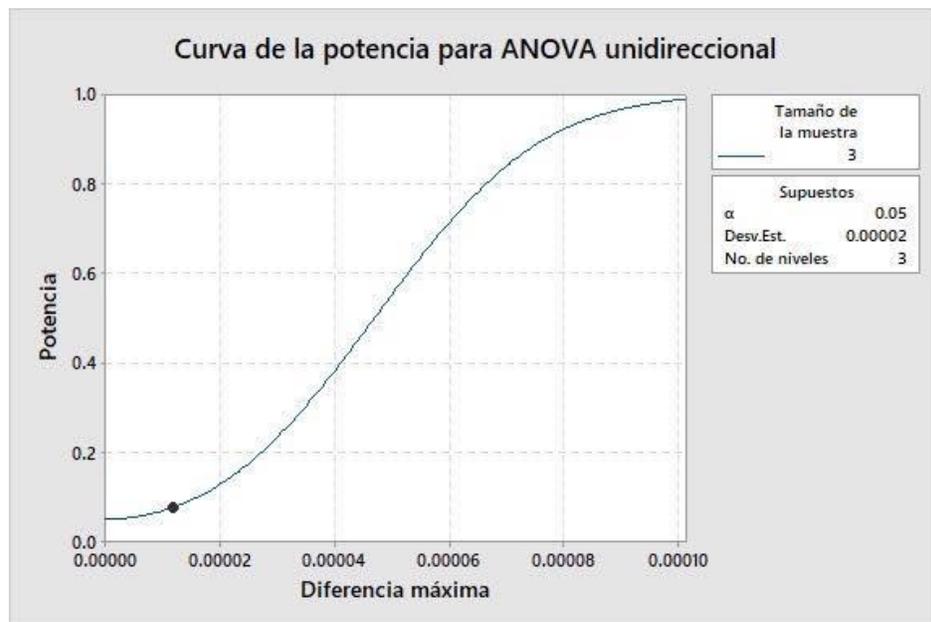
Donde:

S= desviación estándar

Utilizando la diferencia mínima y una serie de datos de potencia, mediante el uso del programa *Minitab 17* utilizando los dos factores se logra determinar el número mínimo de repeticiones del experimento.

En este punto la potencia es tan pequeña al realizar únicamente 3 veces el experimento que se rechaza la hipótesis nula, lo que significa que existe una probabilidad elevada de errar al considerar diferencia media como significativa.

Figura 7. **Curva de potencia para ANOVA unidireccional**



Fuente: elaboración propia. Minitab 17

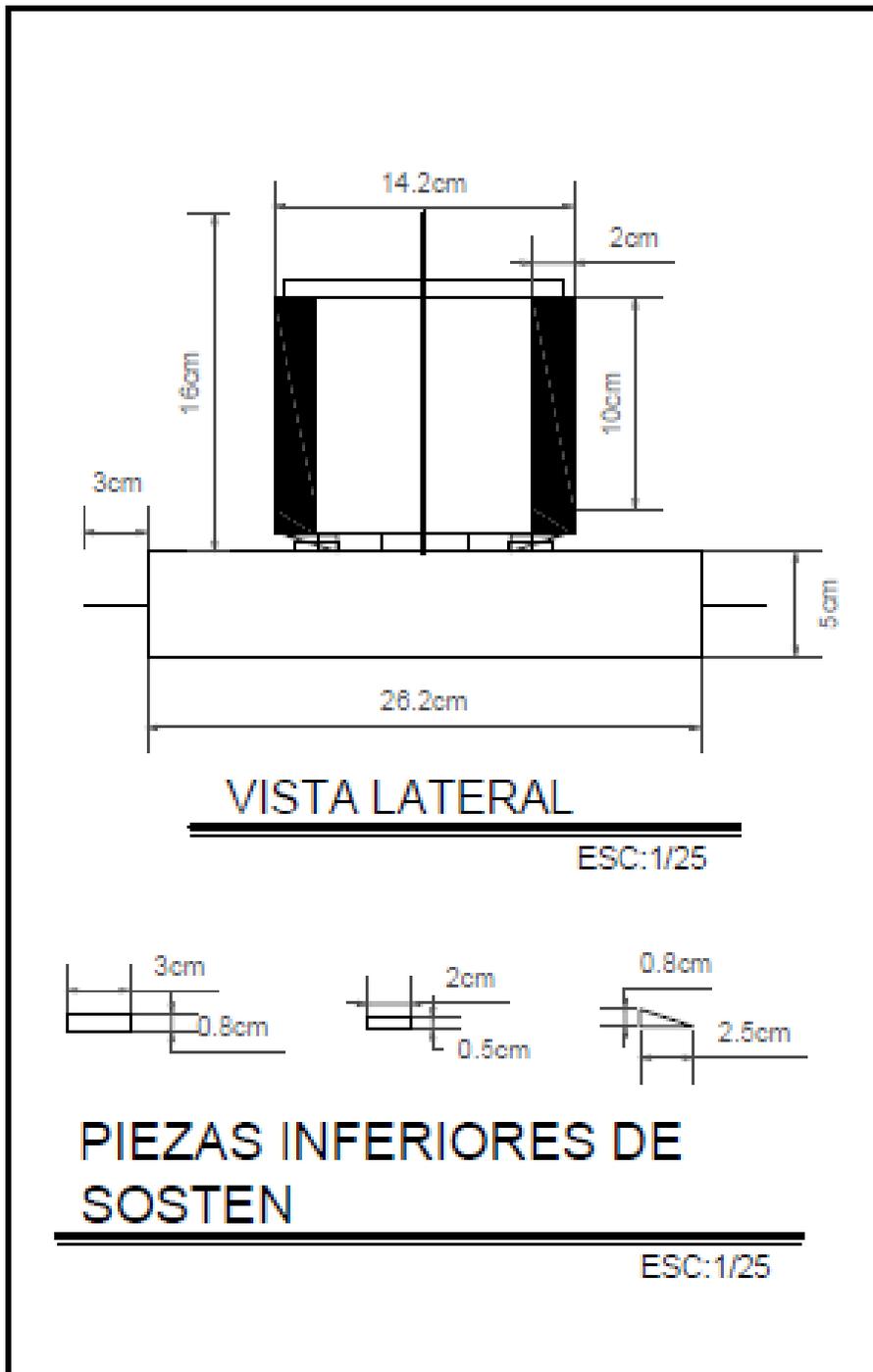
4. RESULTADOS

4.1. Descripción del diseño en planos y construcción de la Celda Osmótica como resultados

La celda osmótica ésta diseñada y construida para que describa el fenómeno de ósmosis de la mejor manera, por tanto, su diseño y construcciones fueron meticulosos.

El plano que se muestra en la figura 8 da una vista lateral de la celda osmótica y las piezas inferiores que sostienen y dan movilidad del marco sostén de acero inoxidable. Se observa en las partes sombreadas, la vista lateral del marco sostén. Estas dan soporte a las piezas móviles de vidrio. También se muestra el largo y ancho de la placa de acero inoxidable en donde va montado el aparato que es completamente cuadrado. En el plano que se muestra en la figura 9, se observa la vista de planta de la celda osmótica, en el se pueden ver los espesores del acero inoxidable utilizado y el cuadro de la placa utilizada para sostén del aparato y los agarradores. En la figura 10 se muestran las medidas del marco sostén de acero inoxidable el cual sostiene las piezas de vidrio móviles, cuyo espesor es de 1mm de grueso. En la figura 11 se observa la medida de las piezas móviles de vidrio que van introducidas en el marco sostén de acero inoxidable. La figura 12 muestra la vista de planta en la figura 13 la vista lateral y en la figura 14 la vista angular de la celda osmótica al igual que en el plano descrito de la figura 8, 9 y 10 con las mismas medidas y construido de manera profesional utilizando acero inoxidable y soldadura especial.

Figura 8. **Plano de vista lateral de equipo didácticamente especializado para la ósmosis directa**



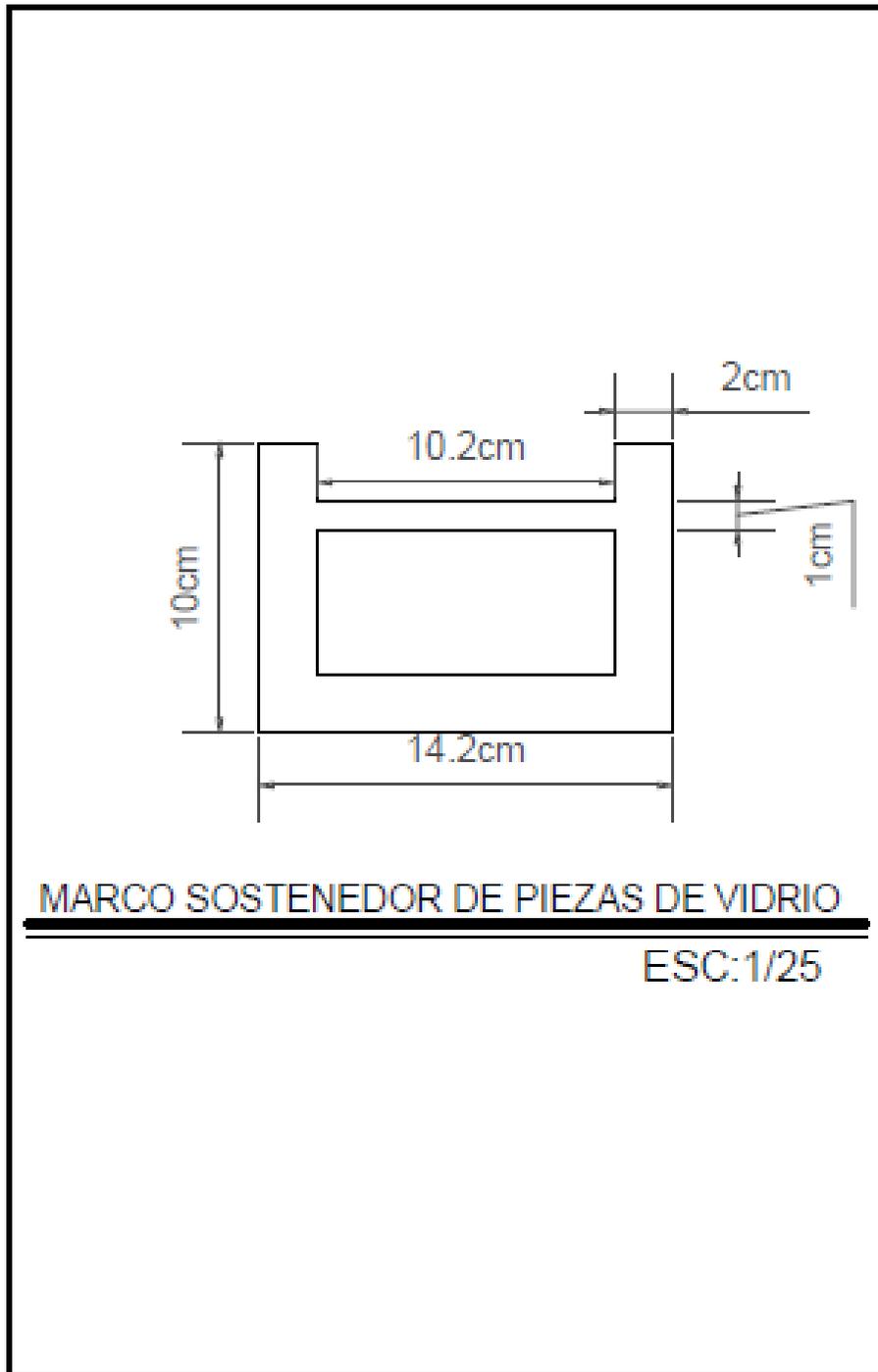
Fuente: elaboración propia empleando AutoCAD 2015.

Figura 9. **Plano de planta de equipo didácticamente especializado para la ósmosis directa**



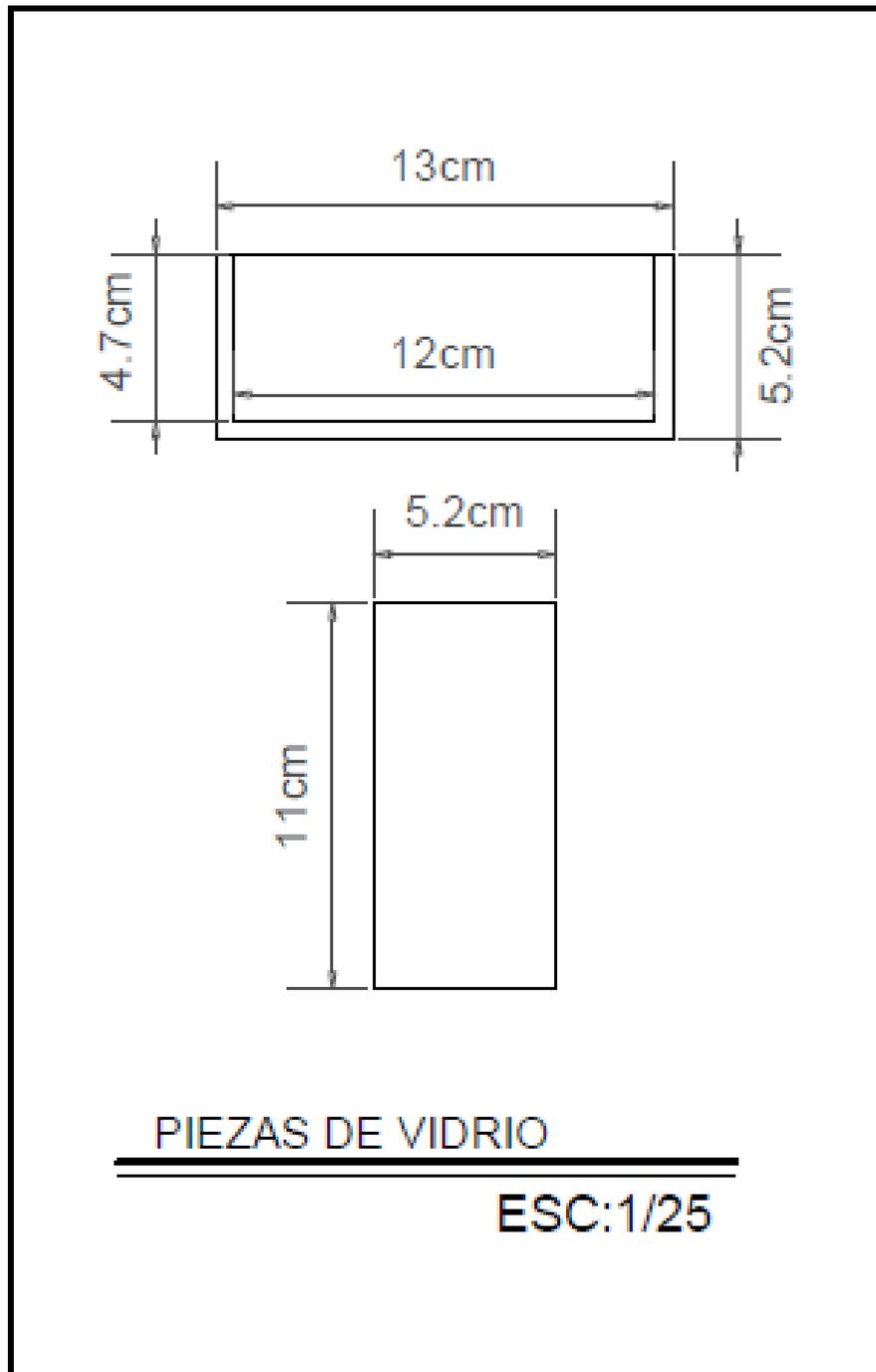
Fuente: elaboración propia empleando AutoCAD 2015.

Figura 10. **Plano de marco sostenedor de piezas de vidrio
contenedoras de reactivos**



Fuente: elaboración propia empleando AutoCAD 2015.

Figura 11. **Plano de piezas de vidrio del equipo didácticamente especializado para la ósmosis directa**



Fuente: elaboración propia empleando AutoCAD 2015.

Figura 12. **Imagen en planta de la celda osmótica**



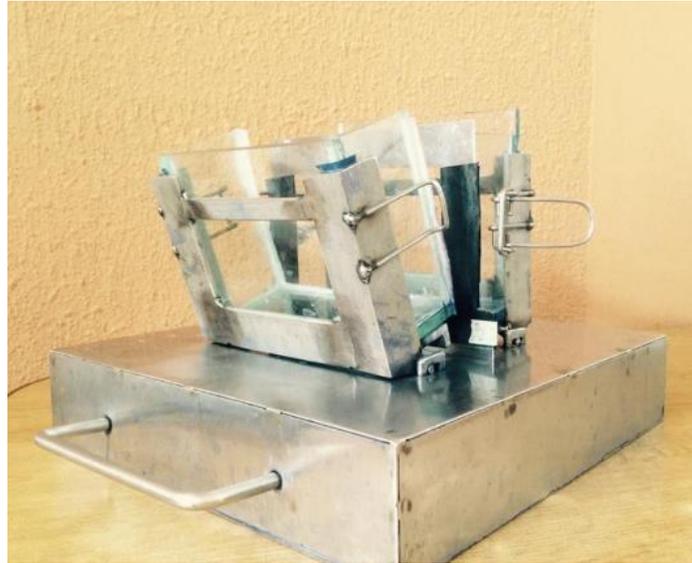
Fuente: elaboración propia

Figura 13. **Imagen lateral de la celda osmótica**



Fuente: elaboración propia

Figura 14. **Imagen de vista angular de la celda osmótica**



Fuente: elaboración propia

4.2. Descripción general de resultados de evaluación del equipo

La toma de datos se realiza con el equipo celda osmótica. Con ellos se realiza una curva de calibración para el equipo y tres diferentes gráficas con cada una de las configuraciones mencionadas anteriormente, por cada una de las tres barreras (membranas) a su vez se realiza una gráfica más por cada configuración que muestra el comportamiento de la velocidad de ósmosis.

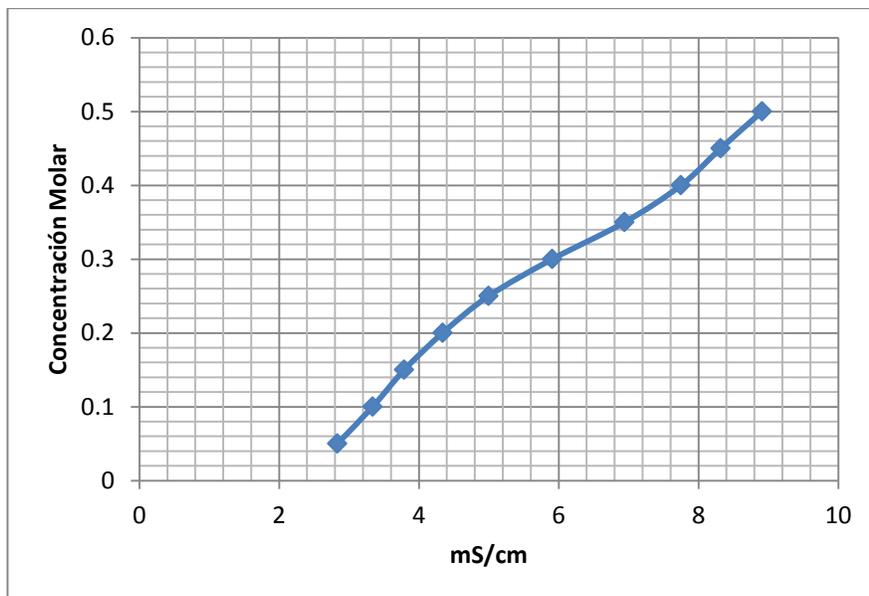
Los datos fueron recolectados en tablas y se usaran solo las medias de todas las mediciones. De las gráficas realizadas se determinó la función de cada una de ellas con diferentes ajustes.

Tabla XIII. **Datos de conductividad tomados de soluciones de concentraciones conocidas en un rango de 0,5M a 0,05M**

Conductividad	Concentración molar
8,91	0,50
8,32	0,45
7,75	0,40
6,94	0,35
5,91	0,30
5,00	0,25
4,34	0,20
3,79	0,15
3,34	0,10
2,83	0,05

Fuente: elaboración propia.

Figura 15. **Gráfica de curva de calibración para la celda osmótica en un rango de 0,5M a 0,05M**



Fuente: elaboración propia.

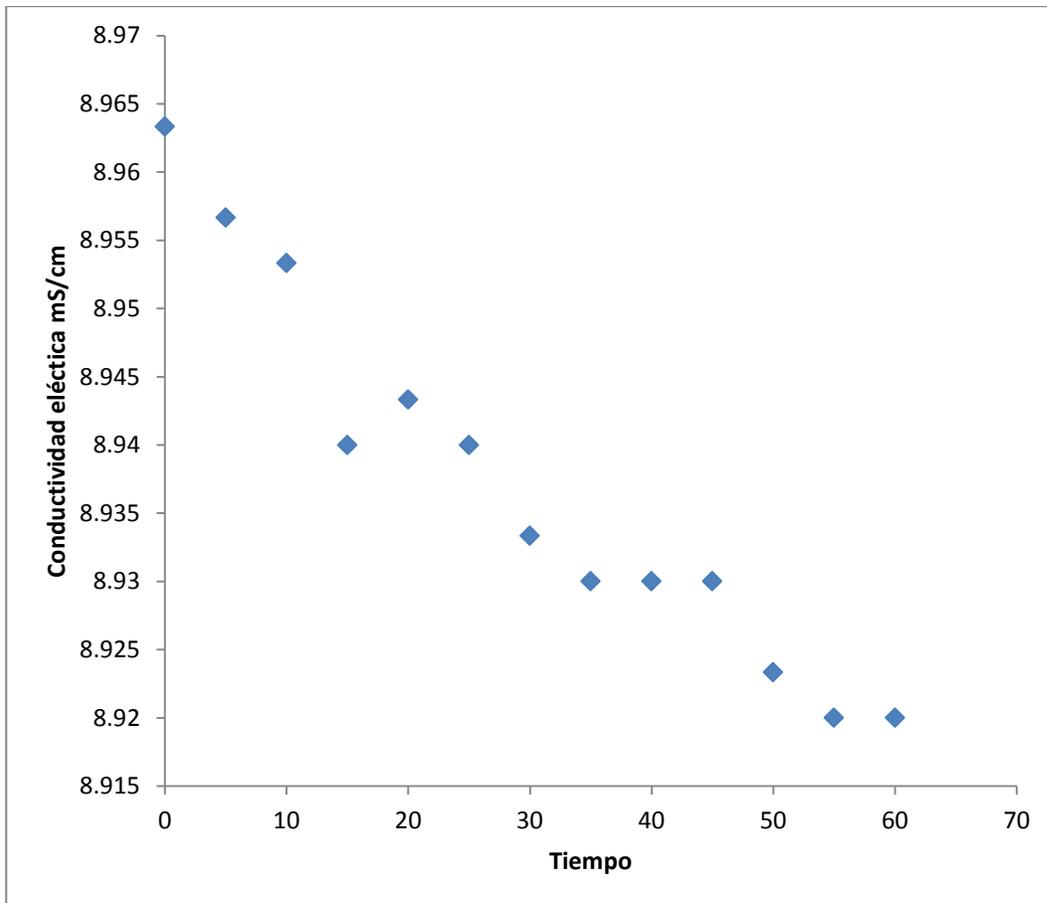
La gráfica muestra la tendencia de la concentración en función de la conductividad, la cual se ajustó a un modelo de grado tres que tiene la siguiente función: $y = 0,0023x^3 - 0,043x^2 + 0,3209x - 0,571$.

Tabla XIV. **Datos calculados de concentración de la solución de NaCl con agua utilizando membrana semipermeable de celofán teñido**

Tiempo (min)	Concentración molar
0	0,50694623
5	0,50625101
10	0,50590403
15	0,50452026
20	0,50486558
25	0,50452026
30	0,50383087
35	0,50348680
40	0,50348680
45	0,50314314
50	0,50279990
55	0,50245706
60	0,50245706

Fuente: elaboración propia.

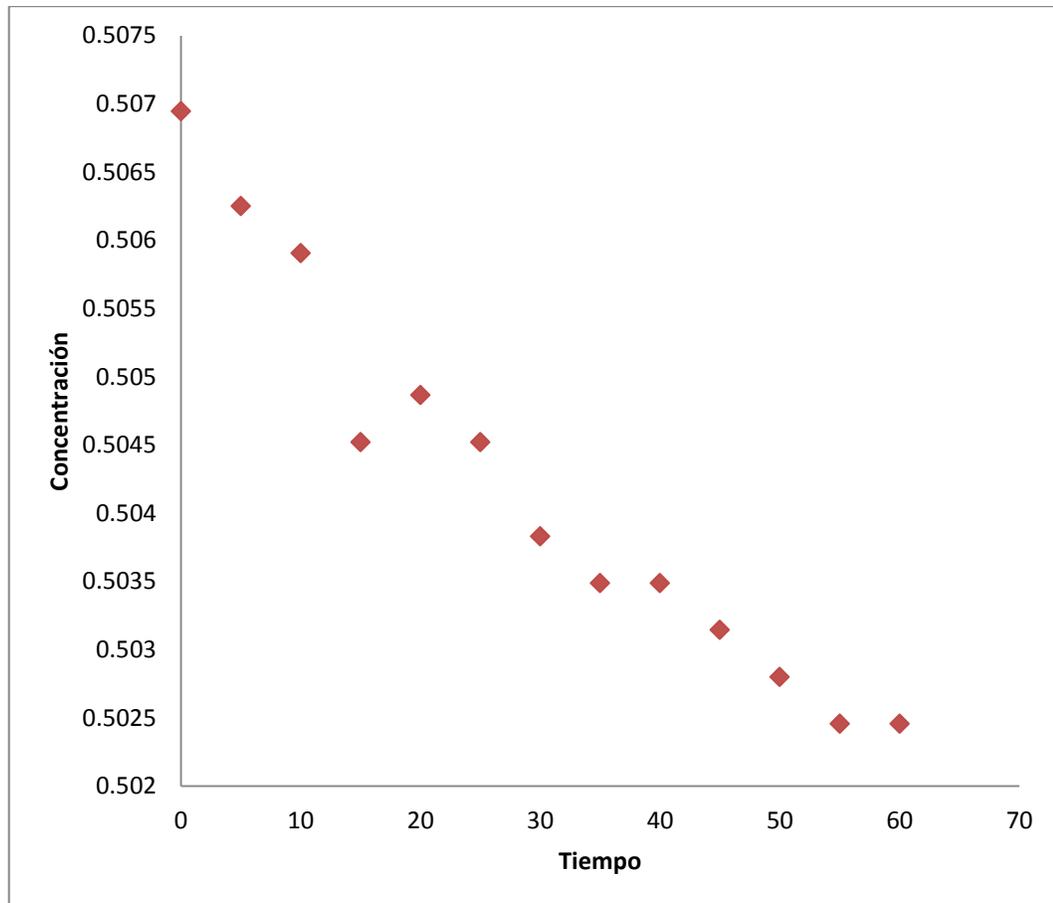
Figura 16. **Gráfica de conductividad en función de tiempo de una solución de NaCl en agua utilizando una membrana semipermeable de celofán teñido**



Fuente: elaboración propia.

La gráfica muestra la tendencia de tiempo en función de la conductividad, la cual se ajustó a un modelo de grado dos que tiene la siguiente función:
 $y = 1923x^2 - 345364x + 2E6$.

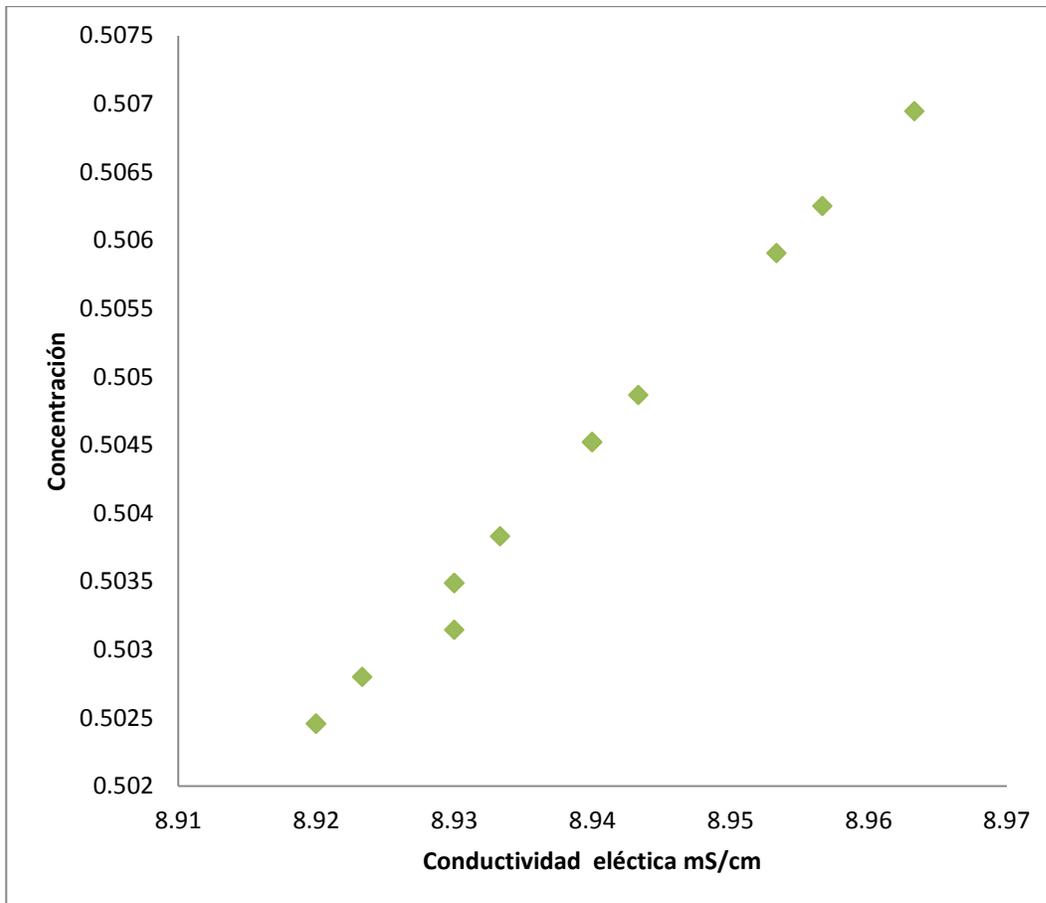
Figura 17. **Gráfica de tiempo en función de concentración de una solución de NaCl en agua utilizando una membrana semipermeable de celofán teñido**



Fuente: elaboración propia.

La gráfica muestra la tendencia de tiempo en función de concentración, la cual se ajustó a un modelo de grado dos que tiene la siguiente función:
 $y = 2E6x^2 - 2E6x + 506434$.

Figura 18. **Gráfica de concentración en función de conductividad de una solución de NaCl en agua utilizando una membrana semipermeable de celofán teñido**



Fuente: elaboración propia.

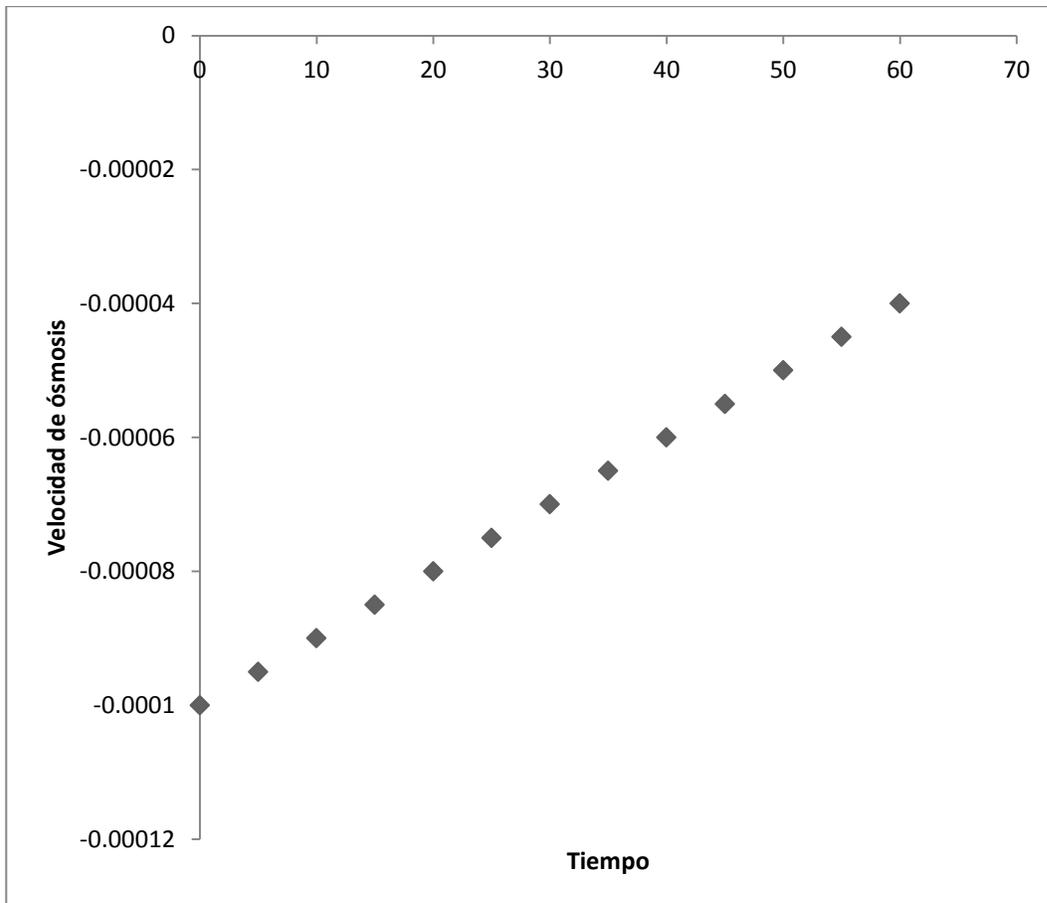
La gráfica muestra la tendencia de concentración en función de conductividad, la cual se ajustó a un modelo de grado dos que tiene la siguiente función: $y = 0,1046x - 0,4307$.

Tabla XV. **Datos calculados de velocidad de ósmosis conductividad de una solución de NaCl en agua utilizando una membrana semipermeable de celofán teñido**

Tiempo (min)	velocidad de ósmosis
0	-0,000100
5	-0,000095
10	-0,000090
15	-0,000085
20	-0,000080
25	-0,000075
30	-0,000070
35	-0,000065
40	-0,000060
45	-0.000055
50	-0,000050
55	-0,000045
60	-0,000040

Fuente: elaboración propia.

Figura 19. **Gráfica de velocidad de ósmosis en función del tiempo de una solución de NaCl en agua utilizando una membrana semipermeable de celofán teñido**



Fuente: elaboración propia.

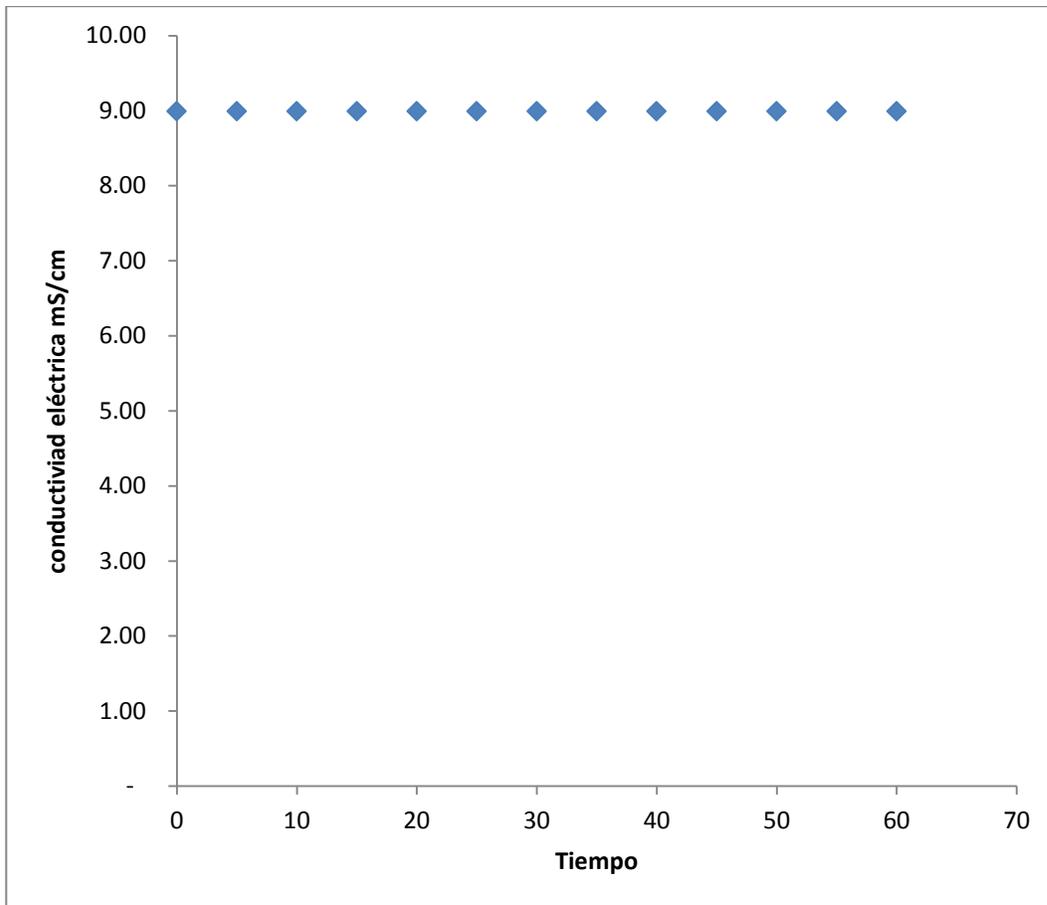
La velocidad de ósmosis en esta gráfica demuestra que la ósmosis directa sucede de forma natural por el comportamiento descendente.

Tabla XVI. **Datos calculados de concentración de la solución de NaCl con agua utilizando membrana semipermeable papel termo encogible**

Tiempo (min)	Concentración
0	0,51
5	0,51
10	0,51
15	0,51
20	0,51
25	0,51
30	0,51
35	0,51
40	0,51
45	0,51
50	0,51
55	0,51
60	0,51

Fuente: elaboración propia.

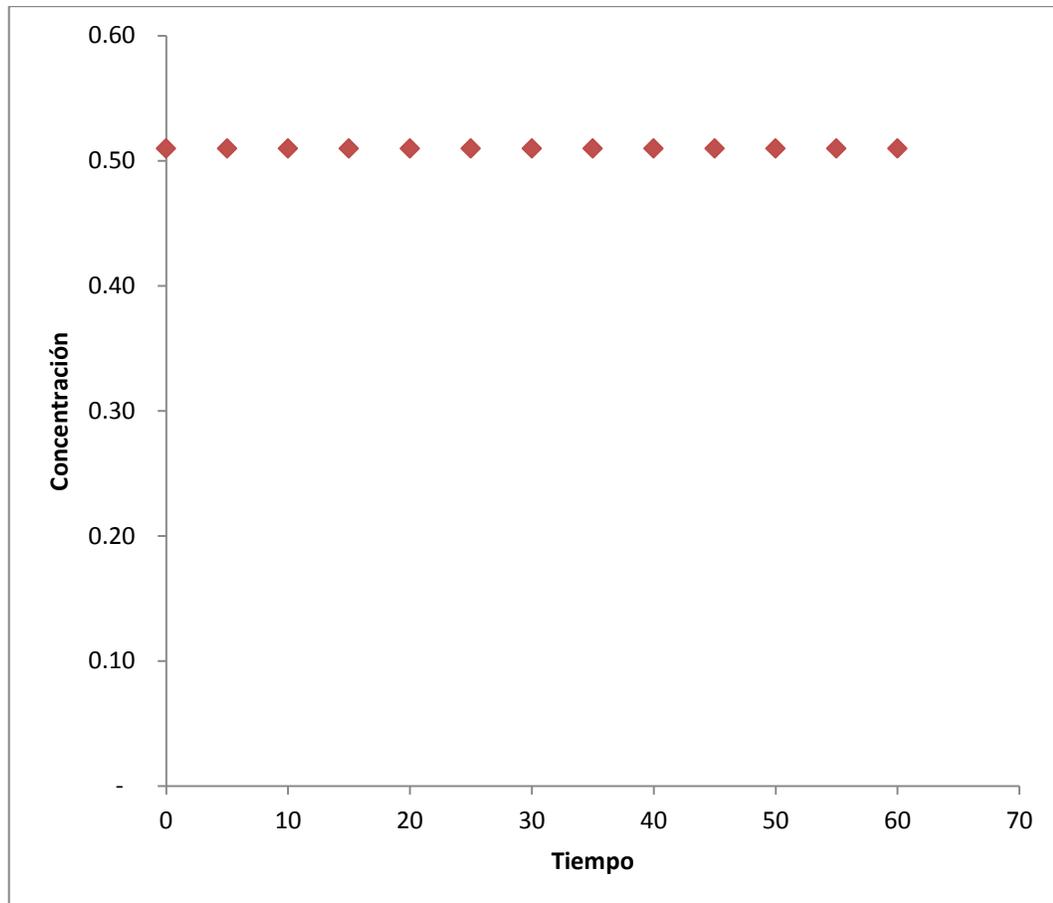
Figura 20. **Gráfica de tiempo en función de conductividad de una solución de NaCl en agua utilizando una membrana semipermeable de papel termo encogible**



Fuente: elaboración propia.

La gráfica muestra la tendencia de tiempo en función de conductividad, la cual se ajustó a un modelo de grado uno que tiene la siguiente función:
 $y = x + 24$.

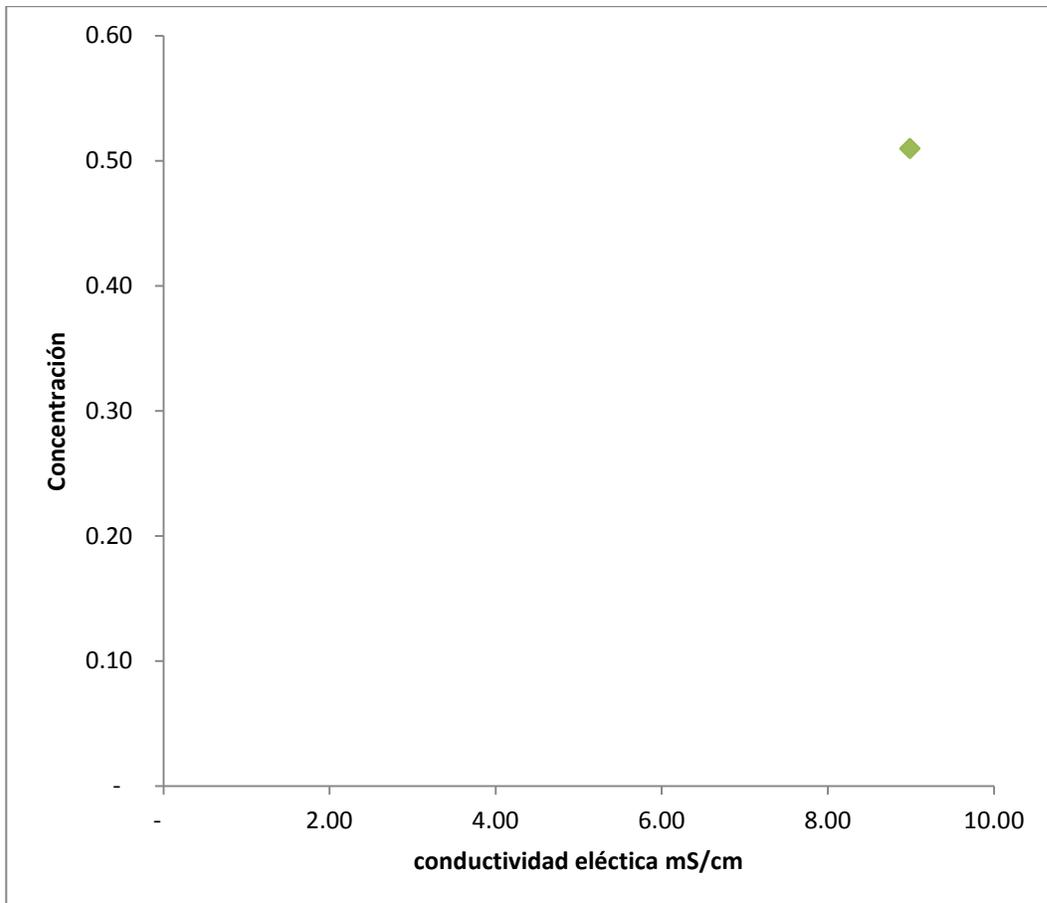
Figura 21. **Gráfica de conductividad en función de tiempo de una solución de NaCl en agua utilizando una membrana semipermeable de papel termo encogible**



Fuente: elaboración propia.

La gráfica muestra la tendencia de conductividad en función de tiempo, la cual se ajustó a un modelo de grado uno que tiene la siguiente función:
 $y = 2E7x + 0,5097$.

Figura 22. **Gráfica de concentración en función de conductividad de una solución de NaCl en agua utilizando una membrana semipermeable de papel termo encogible**



Fuente: elaboración propia.

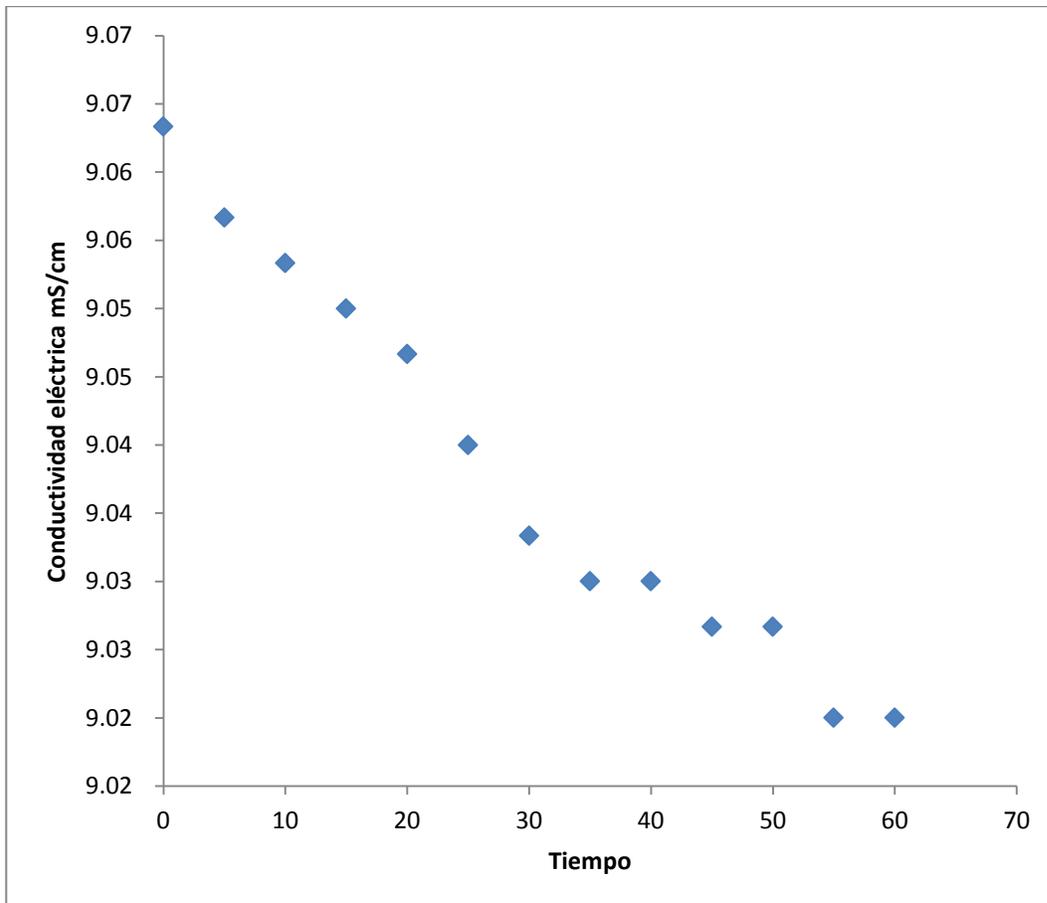
La gráfica muestra un punto que representa conductividad en función de tiempo, el punto posee las coordenadas [8.99, 0.51].

Tabla XVII. **Datos calculados de concentración de la solución de NaCl con agua utilizando membrana semipermeable celofán incoloro**

Tiempo (min)	Concentración molar
0	0,517577863
5	0,516857084
10	0,516497344
15	0,516138038
20	0,515779163
25	0,515062707
30	0,514347974
35	0,513991252
40	0,513991252
45	0,513634959
50	0,513634959
55	0,512923658
60	0,512923658

Fuente: elaboración propia.

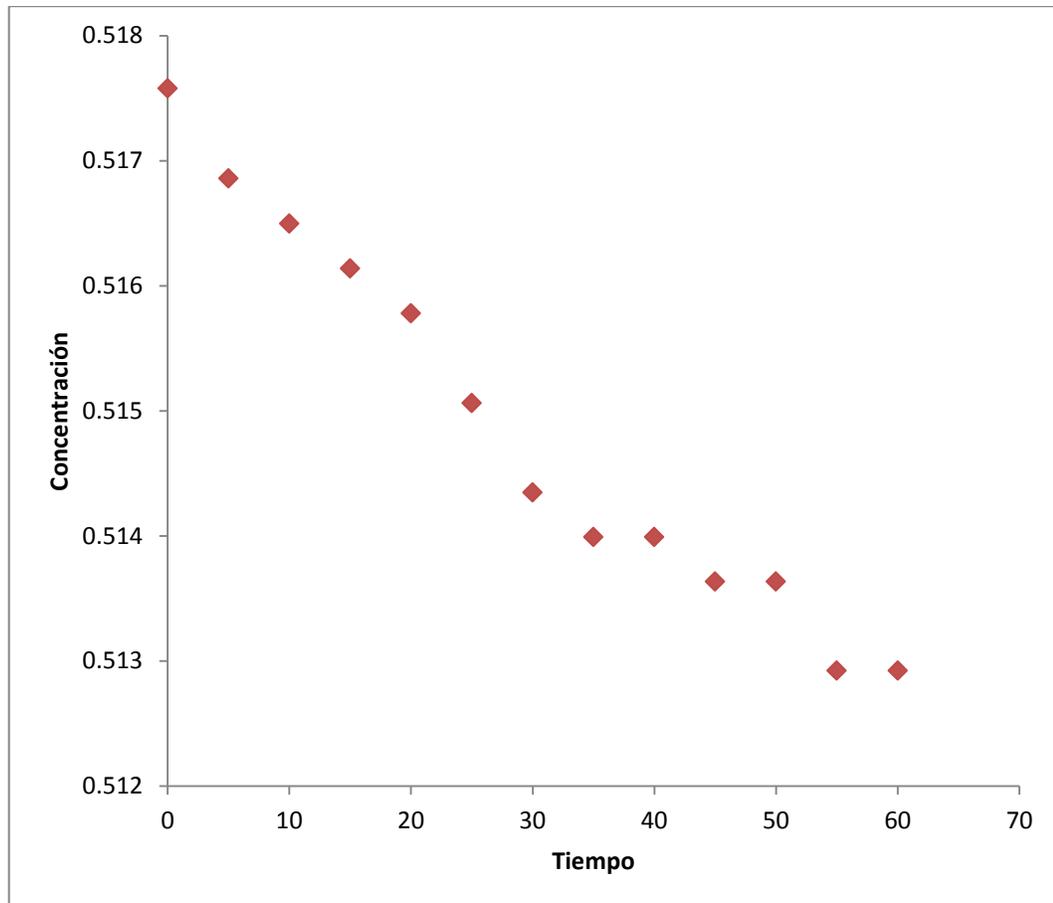
Figura 23. **Gráfica de conductividad en función de tiempo de una solución de NaCl en agua utilizando una membrana semipermeable de celofán incoloro**



Fuente: elaboración propia.

La gráfica muestra la tendencia de conductividad en función de tiempo, la cual se ajustó a un modelo de grado dos que tiene la siguiente función:
 $y = 13335x^2 - 242802 + 1E6$.

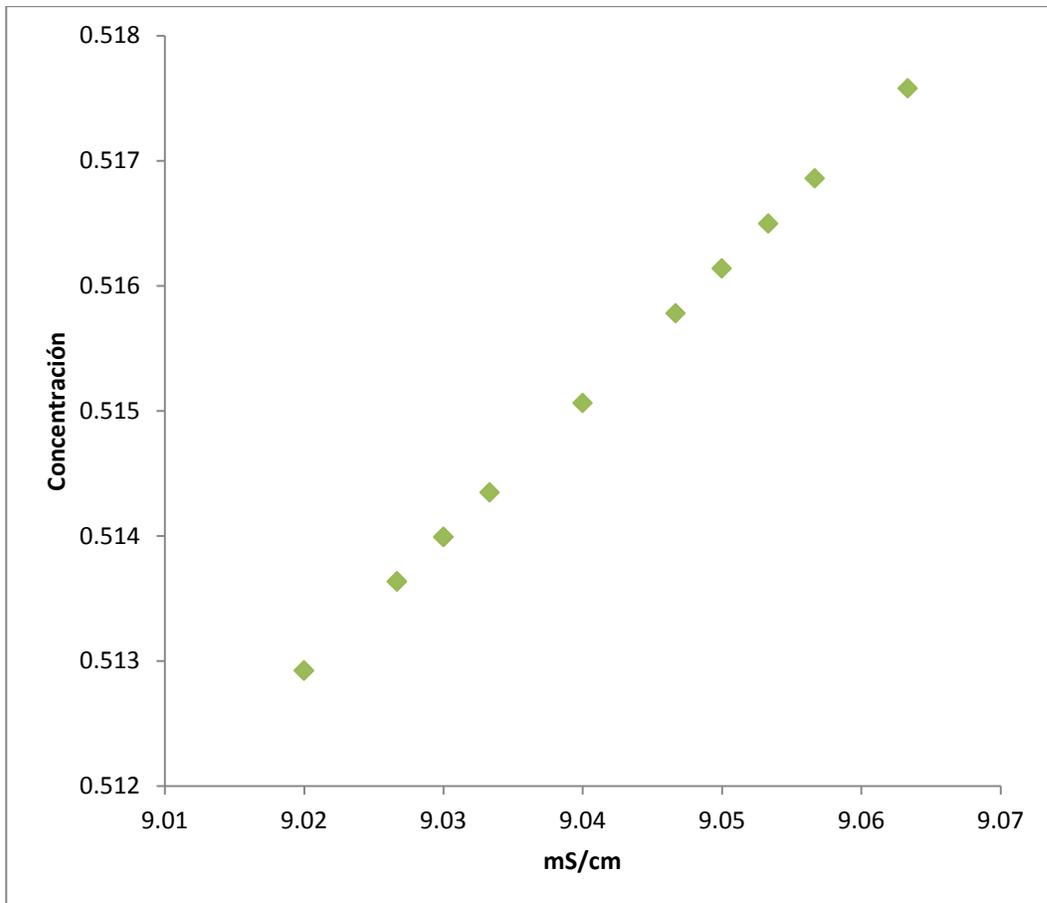
Figura 24. **Gráfica de tiempo en función de concentración de una solución de NaCl en agua utilizando una membrana semipermeable de celofán incoloro**



Fuente: elaboración propia.

La gráfica muestra la tendencia de tiempo en función de concentración, la cual se ajustó a un modelo de grado dos que tiene la siguiente función:
 $y = 7E - 7x^3 - 0,0001x + 0,5176$.

Figura 25. **Gráfica de concentración en función de conductividad de una solución de NaCl en agua utilizando una membrana semipermeable de celofán incoloro**



Fuente: elaboración propia.

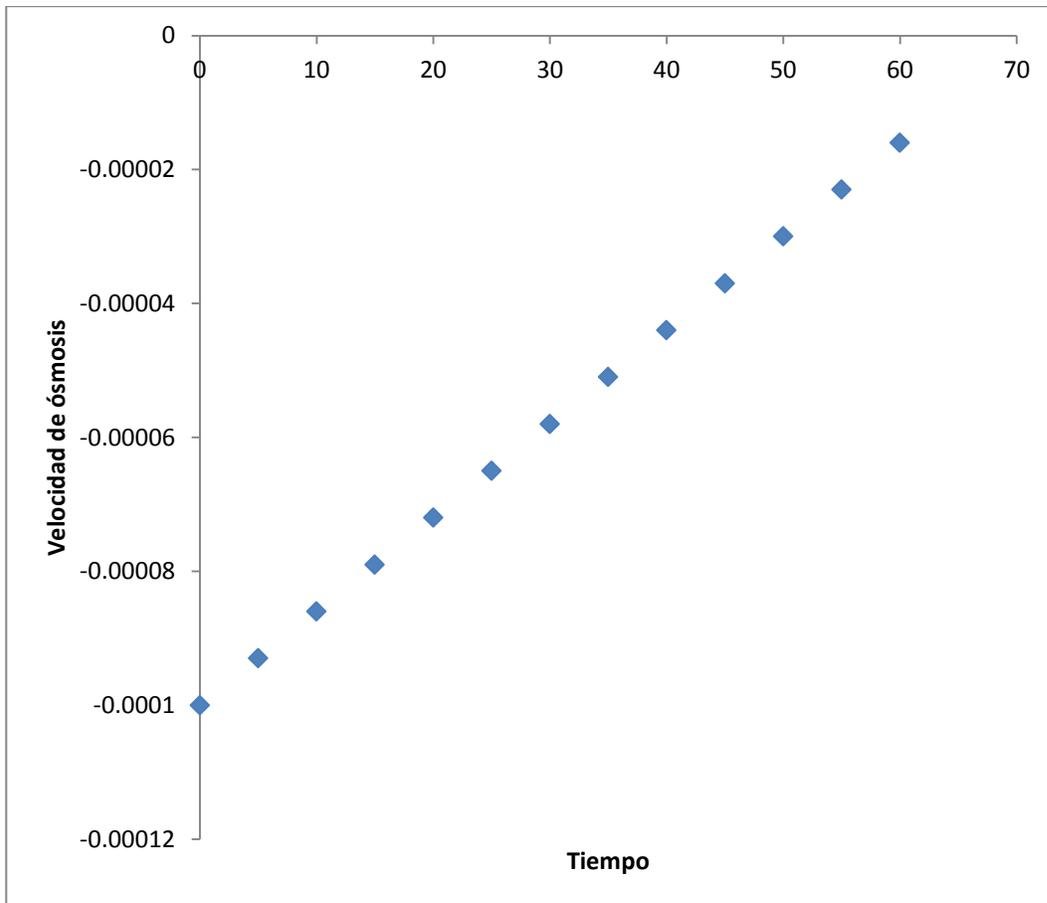
La gráfica muestra la tendencia de tiempo en función de concentración, la cual se ajustó a un modelo de grado dos que tiene la siguiente función:
 $y = 0,1074x - 0,4555$.

Tabla XVIII. Datos calculados de velocidad de ósmosis conductividad de una solución de NaCl en agua utilizando una membrana semipermeable de celofán incoloro

Tiempo (min)	velocidad de ósmosis
0	-0,00010
5	-0,000093
10	-0,000086
15	-0,000079
20	-0,000072
25	-0,000065
30	-0,000058
35	-0,000051
40	-0,000044
45	-0,000037
50	-0,000030
55	-0,000023
60	-0,000016

Fuente: elaboración propia.

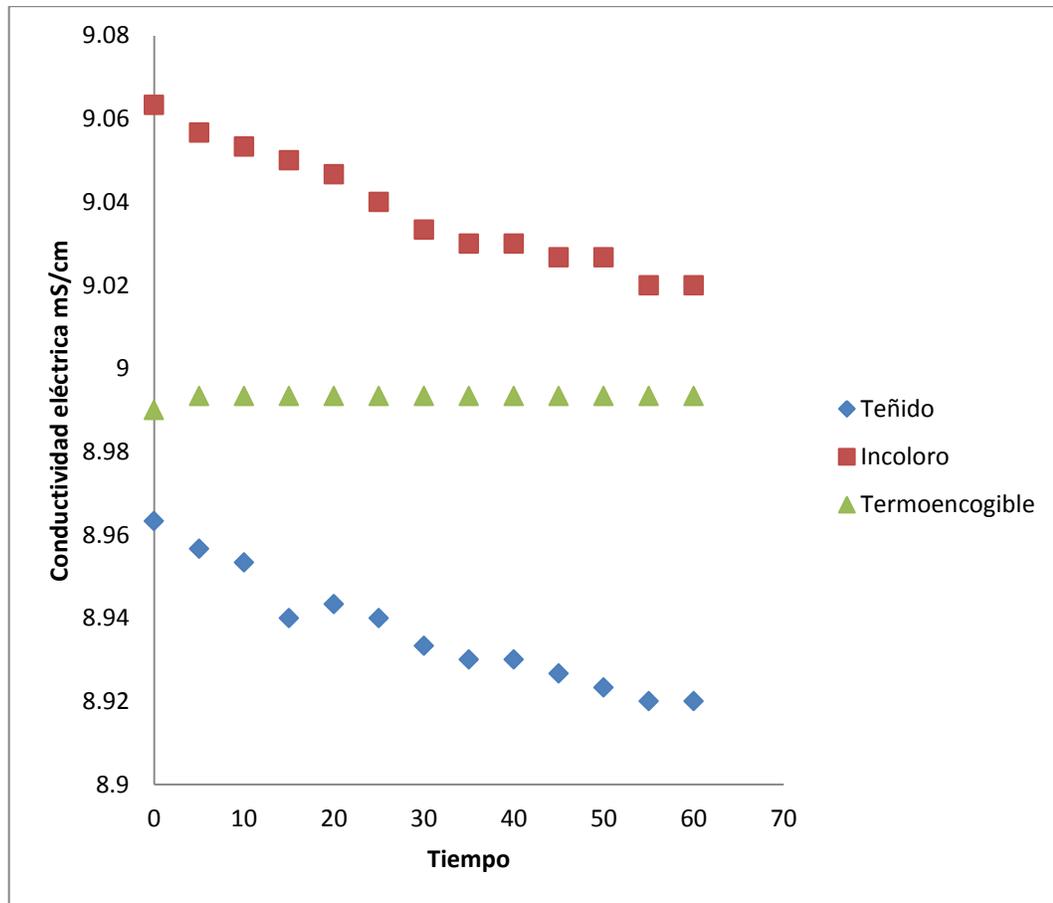
Figura 26. **Gráfica de velocidad de ósmosis en función del tiempo de una solución de NaCl en agua utilizando una membrana semipermeable de celofán incoloro**



Fuente: elaboración propia.

La velocidad de ósmosis en esta gráfica demuestra que la ósmosis directa sucede de forma natural por el comportamiento descendente.

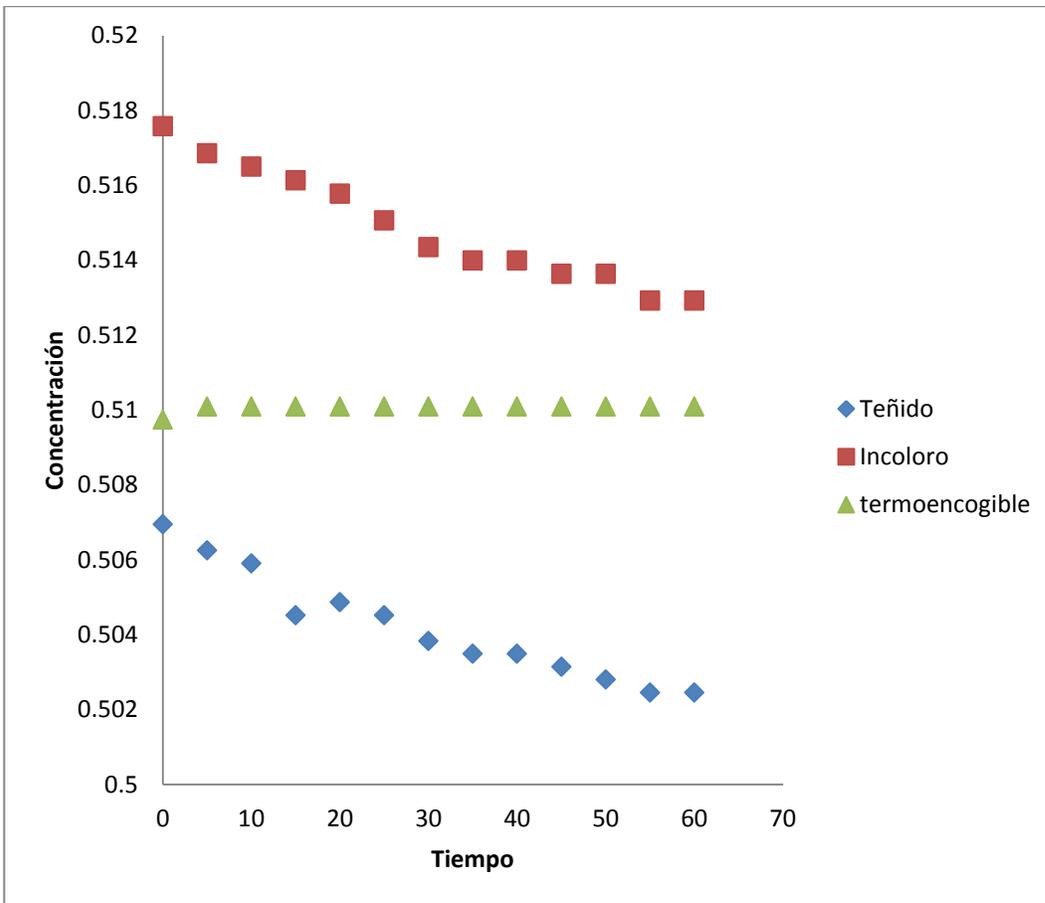
Figura 27. **Gráfica comparativa entre tiempo y conductimetría utilizando tres diferentes barreras (membranas) que son celofán teñido, celofán incoloro y papel termoencogible**



Fuente: elaboración propia.

La anterior gráfica muestra el comportamiento de la conductividad eléctrica en función del tiempo con el paso de una hora de mediciones de conductividad eléctrica cada cinco minutos.

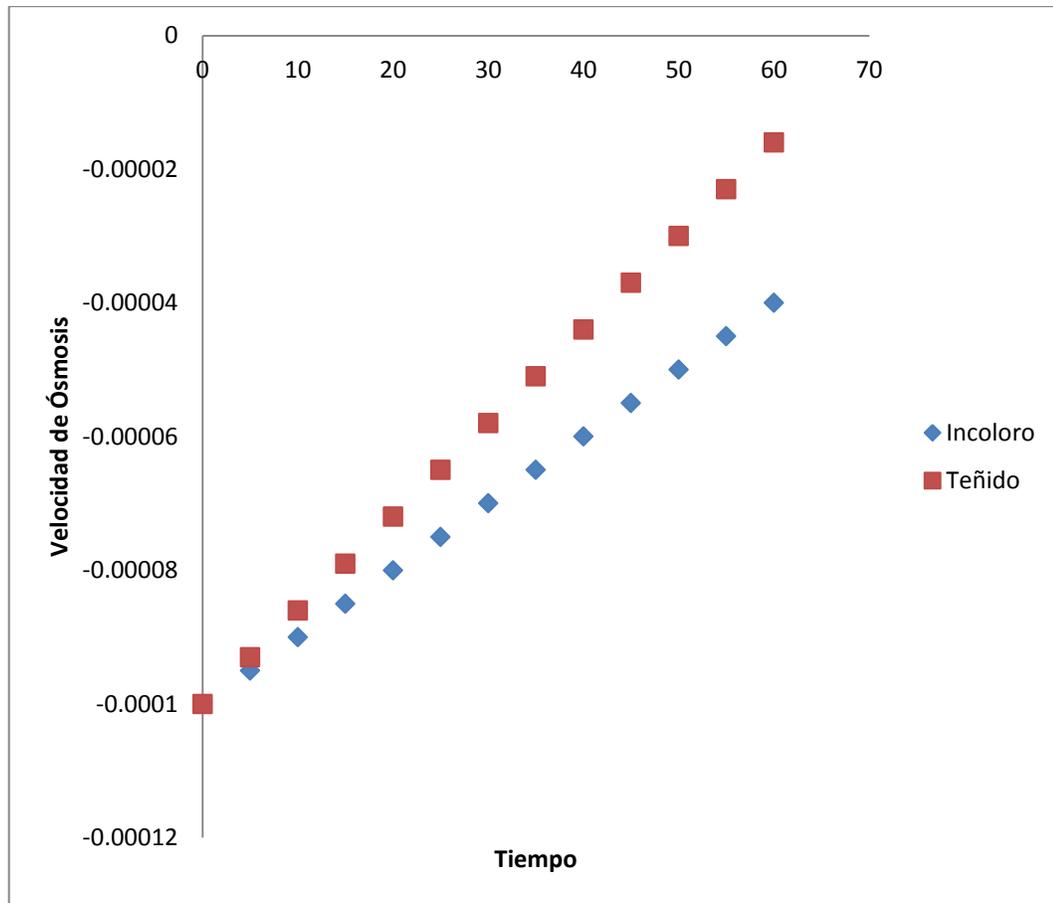
Figura 28. **Gráfica comparativa entre tiempo y concentración utilizando tres diferentes barreras (membranas) que son celofán teñido, celofán incoloro y papel termoencogible**



Fuente: elaboración propia.

La anterior gráfica muestra el comportamiento de la concentración en función del tiempo con el paso de una hora de mediciones de conductividad eléctrica cada cinco minutos.

Figura 29. **Gráfica comparativa entre tiempo y velocidad de ósmosis dos diferentes barreras (membranas) que son celofán teñido y celofán incoloro**



Fuente: elaboración propia.

En la gráfica anterior se observa el comportamiento de la velocidad de ósmosis de dos soluciones de NaCl a través de dos membranas distintas que son celofán teñido y celofán incoloro.

5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1. Análisis de diseño y construcción de un equipo didácticamente especializado para la ósmosis

La celda osmótica se subdivide en piezas las cuales son: una placa de sostén la cual es completamente acero inoxidable de 26,2 cm, en ella se sostiene una armazón de piezas de acero inoxidable (ver tabla IV y figura 6), que tienen la finalidad de almacenar y fijar dos piezas de vidrio las cuales serán las que retengan los reactivos. Estas piezas de vidrio, están separadas por una placa central de acero inoxidable que permite el funcionamiento de los empaques de polivinilo y que no reaccionan con los reactivos que se utilizaran. La función de los empaques es evitar fugas de los reactivos para que la ósmosis directa pueda llevarse a cabo.

Utilizando un conductivímetro *HANNA instruments* HI9813 el cual se introduce en el lado de la celda osmótica que contiene la solución concentrada, para el diseño se tomó en cuenta que el ingresar el electrodo medidor el volumen de dicho espacio en la celda subirá, por lo cual se consideró elevar un centímetro de altura las piezas de vidrio.

5.2. Análisis de datos obtenidos mediante las mediciones realizadas

Con los datos obtenidos de la calibración se realizó una gráfica de concentración en función de conductividad (ver figura 16) la cual muestra una tendencia descendente. Esto significa que, al disminuir la concentración de una solución, la conductividad también disminuye. Con esta gráfica modelada, es

posible determinar la concentración en cualquier punto en un rango de 0,5M a 0,05M.

Con los datos de las mediciones tomadas con la celda osmótica se realizó una caracterización de conductividad en función del tiempo (ver figuras 15, 19 y 22). De acuerdo con estas tendencias se puede determinar que para las membranas del papel celofán teñido e incoloro, la ósmosis directa sucede de manera espontánea ya que al analizar la velocidad de ósmosis (ver figura 18) nos muestra un valor negativo de velocidad.

Para los datos tomados de conductividad utilizando la membrana de papel termoencogible y la solución 0,5 M de NaCl, se determinó que la ósmosis directa no sucede debido que al monitorear los valores durante una hora cada 5 minutos el valor de conductividad no varió y se conservó el valor inicial (ver figuras 19, 20 y 21), esto determina que el tamaño del poro del papel termoencogible es muy pequeño para hacer pasar la molécula del agua a través de la membrana de tal forma que el papel termoencogible no permite el paso de solvente a la disolución, al observar la velocidad de osmosis, se confirma lo anterior, ya que la velocidad de ósmosis fue una constante que no tiene ningún valor significativo.

En la gráfica 26 se observan tres tendencias comparativas de tiempo y conductividad eléctrica, se observa un comportamiento descendente con el paso del tiempo con una pequeña variación en cada tendencia, lo que significa que no es una diferencia significativa para los experimentos que se realizaron con papel celofán incoloro y teñido. Para la tendencia del experimento que se realizó con papel termoencogible, se observa una gráfica que no cambia su valor con el paso del tiempo, lo que significa que el paso de solvente hacia el

área más concentrada en este caso nunca sucedió porque la conductividad permaneció constante con el paso del tiempo.

En la gráfica 27 se observan tres tendencias comparativas de tiempo y concentración, se observa un comportamiento descendente con el paso del tiempo con una pequeña variación en cada tendencia, lo que significa que no es una diferencia significativa para los experimentos que se realizaron con papel celofán incoloro y teñido. Para la tendencia del experimento que se realizó con papel termoencogible, se observa una gráfica que no cambia su valor con el paso del tiempo, lo que significa que el paso de solvente hacia el área más concentrada en este caso nunca sucedió porque la concentración permaneció constante con el paso del tiempo.

En la gráfica 28 se observa las tendencias de la velocidad de ósmosis para los dos experimentos que se realizaron con papel celofán incoloro y teñido, las cuales tienen un comportamiento descendente, lo que significa que la ósmosis sucedió de manera natural, a temperatura y presión ambiente, no se muestra ninguna gráfica del experimento realizado con papel termoencogible ya que al calcular la velocidad de ósmosis de dicho experimento, resultó el valor numérico de una constante lo cual indica que la derivada de la curva es un valor numérico por lo tanto la ósmosis directa nunca sucede, tal cual como se ve en las gráficas 26 y 27 la conductividad eléctrica y concentración para el papel termo encogible no varía con el paso del tiempo. Esta inexistente variación puede deberse a que el tamaño de poro de la membrana sea tan pequeño que no permite el paso de la molécula de solvente por ella.

CONCLUSIONES

1. Se diseñó un equipo (celda osmótica), utilizando el programa *AutoCAD* 2015 realizando planos especializados.
2. Se construyó un equipo (celda osmótica), utilizando inoxidable de alto desempeño y piezas de bajo costo como vidrio y plástico para que el estudiante pueda utilizarlo y repararlo en cualquier momento.
3. Los datos tomados utilizando la membrana de celofán teñido e incoloro tienen un comportamiento descendente, lo cual significa que la ósmosis directa sucede de manera natural. Para los datos obtenidos con la membrana de plástico termoencogible es diferente.

RECOMENDACIONES

1. Utilizar diferentes tipos de membranas y solventes para determinar cuáles son los más viables de uso en la celda osmótica y así lograr un mejor entendimiento del fenómeno.
2. El aparato puede potenciar la sistematización de datos y resultados en cada proceso realizado para diferentes sales, el cual requiere la creación de un programa de registro electrónico digital.
3. Utilizar otras técnicas cuantitativas como espectrofotometría, sólidos disueltos, entre otros de manera que pueda evaluarse la ósmosis directa de una forma eficiente.

BIBLIOGRAFÍA

1. CHANG, Raymond. *Química*. Traducido por: Rosa Zugazagoitia Herranz. 10 ed. Estados Unidos. McGraw-Hill, 2010. ISBN: 978-607-15-0307-7. 790p.
2. Desalación de agua de mar, efectos de la temperatura y concentración del agua de alimentación en el proceso de desalación por ósmosis inversa. [En línea]. <<http://unesdoc.unesco.org/images/0023/-002309/230987S.pdf>> , [Consulta: 15 de septiembre 2017]
3. *Fisicoquímica: Volumen 1*. Traducido por: Ángel González Ureña. 5 ed. Estados Unidos. McGraw-Hill, 2004. ISBN: 84-481-3786-8. 628p.
4. *Fisicoquímica: Volumen 2*. Traducido por: Ángel González Ureña. 5 ed. Estados Unidos. McGraw-Hill, 2004. ISBN: 84-481-3786-8. 734p.
5. LAIDLER, Keith; MEISER, John. *Fisicoquímica*. 3a ed. México: CECSA (Compañía Editorial Continental, S.A.), 2006. ISBN: 96-826-1309-4. 589p.
6. *Membranas semipermeables de acetatos de celulosa para la concentración de jugos de frutas por ósmosis inversa*. [En línea]. < <http://www.bonsaimenorca.com/articulos/articulos-tecnicos/osmosis-inversa/>>, [Consulta: 15 de septiembre 2017].

7. *Polarización de concentración en los procesos con membranas.*
[En línea]. <<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5000964>>, [Consulta: 13 septiembre 2017].

8. SMITH, James; VAN NESS, Hendrick; ABBOTT, Michael. *Introducción a la Termodinámica en Ingeniería Química.* Traducido y revisado por: Misael Flores Rojas. 7ª edición. Estados Unidos: McGraw-Hill, 2007. ISBN-13: 978-0-07-310445-4. 945p.

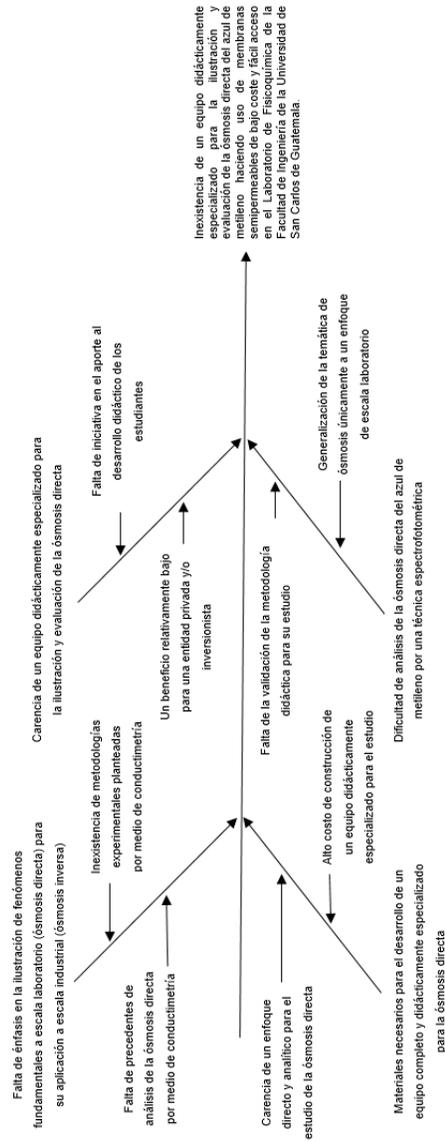
APÉNDICES

Apéndice 1. **Cuadro de cursos requeridos del trabajo de graduación**

Carrera	Área	Curso	Temática
Ingeniería Química	Área de Química	Química 3	Estequiometría. Equilibrio.
		Química 4	Expresión de concentraciones. Equilibrio químico (generalidades). Presiones parciales y totales.
		Química Orgánica 2	Alcoholes
	Área de Físicoquímica	Físicoquímica 1	Equilibrio de fases. Potencial químico.
		Físicoquímica 2	Fenómenos de superficie. Propiedades coligativas: ósmosis.
		Laboratorio de Físicoquímica 1 y 2	Diseño experimental de una investigación.
		Termodinámica 3	Cálculos de gases reales
		Termodinámica 4	Equilibrio termodinámico. Equilibrio de fases.
	Área de Operaciones Unitarias	Balance de masa y energía	Balances de masa.
		Transferencia de calor	Radiación.
		Transferencia de masa en estado estacionario	Difusión líquido-líquido
	Área de ciencias básicas y complementarias	Estadística 1	Estadística descriptiva.

Fuente: elaboración propia.

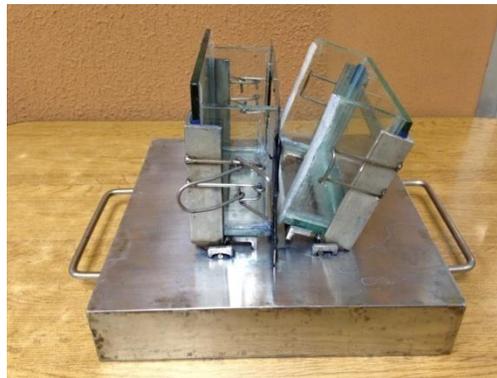
Apéndice 2. Diagrama de Ishikawa



Fuente: elaboración propia

Apéndice 3. **Manual de uso del equipo para la ósmosis directa de sales para la práctica de laboratorio**

- Verificar que el equipo se encuentre completamente limpio para evitar contaminaciones de cualquier tipo.



- Preparar la membrana. Para ello cortar un trozo a la medida, utilizar regla y tijeras.

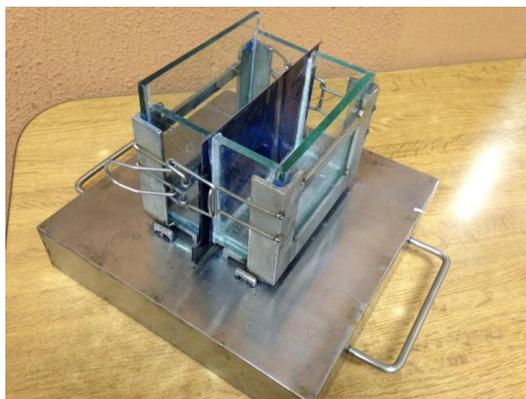


Continuación apéndice 3.

- Preparar solución de NaCl en agua a una concentración molar de 0,5M, para esto utilizar un balón aforado de 1 litro.

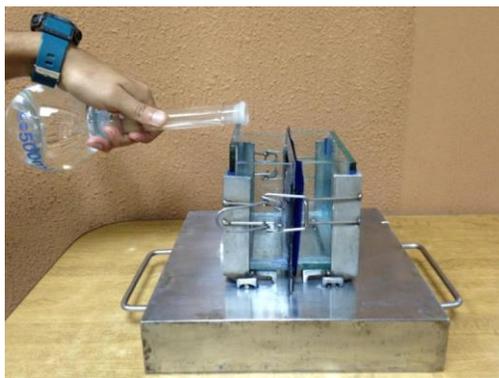


- Colocar los recipientes de vidrio en el área adecuada de manera que queden completamente en su lugar y a su vez colocar el sostén de membrana en su lugar asegurándose que quede completamente fijo.
- Colocar la membrana. A continuación proceder a cerrar ambos compartimientos en donde se encuentran los recipientes de vidrio y sujetarlos con abrazaderas, observar que la membrana quede completamente estirada para evitar fugas de cualquier tipo.

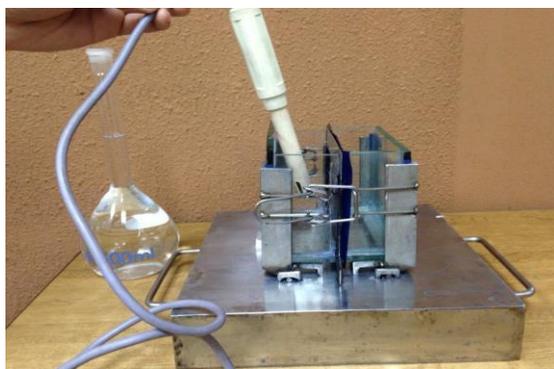


Continuación apéndice 3.

- Medir con un *beaker* 500 mL de agua destilada y verter en el lado derecho del aparato.
- Medir con un *beaker* 500 mL de la solución de NaCl preparado en el paso 3 y verter en el lado izquierdo del aparato.



- Medir conductividad inicial en un tiempo considerado cero, y hacer mediciones de los mismos cada 5 minutos por 60 minutos haciendo uso del conductivímetro.



- Realizar el paso 9 tres veces.
- Realizar el procedimiento 3 veces cambiando la membrana.

Fuente: elaboración propia

APENDICE 4. MARCO METODOLÓGICO DE CÁLCULO

5.3. Metodología de cálculo de curva de calibración

Como primer punto, al realizar la curva de calibración se realizaron mediciones de conductividad con soluciones de concentraciones: 0,05, 0,10, 0,15, 0,20, 0,25, 0,30, 0,35, 0,40, 0,45, 0,50 molar, haciendo diluciones de una solución madre inicial de 0,5M. La solución madre se calculó con estequiometria simple de la siguiente manera:

$$0,5M * \frac{1mol}{L} * \frac{58,4g}{mol} * 500mL * \frac{1L}{1000mL}$$

Después de ello se procedió a hacer las disoluciones anteriormente mencionadas con la siguiente relación entre concentración y volumen

$$C_1v_1 = C_2v_2$$

Donde:

C= concentración

v= volumen

Próximo a tener las soluciones, haciendo uso del conductímetro HANNA se realizó la medición de cada una de ellas. Con ello se logra construir la curva de calibración de concentración en función de conductividad. Así se obtiene el modelo matemático que se utilizará para el cálculo de concentración al utilizar la Celda Osmótica.

Continuación apéndice 4.

5.4. Metodología de cálculo para concentración

Utilizando la curva de calibración la cual tuvo un ajuste de grado dos de la siguiente forma:

$$\text{Concentración} = -5,0029C^2 + 3,3417C + 0,0499$$

En donde

C = conductividad

Con ello se obtienen todos los valores de concentración ya que puede introducirse en la ecuación el valor puntual de conductimetría, con esta ecuación se relacionan los datos de conductividad con concentración.

5.5. Metodología de cálculo de velocidad de ósmosis

Se tomaron datos de conductividad utilizando el conductivímetro en la celda osmótica en el área donde se encuentra la solución de NaCl concentrada tomando mediciones cada cinco minutos durante una hora, Se determinan las concentraciones de cada medición tomada de conductividad, utilizando la curva de calibración, con su modelo matemático, como se describió en metodología de cálculo de concentración.

Se realiza una curva utilizando los datos de tiempo y concentración. De ella, se obtiene un ajuste matemático polinomial, el cual se deriva y se obtiene una nueva ecuación a la cual se le llama rapidez o velocidad de ósmosis. Con ella se puede determinar qué tan rápido se traslada el solvente para el lado concentrado para establecer equilibrio químico.

Continuación apéndice 4.

Ejemplo:

De la curva de tiempo y concentración de la configuración de celofán teñido y NaCl se obtuvo el siguiente modelo

$$C = 8E - 7t^2 - 0,0001t + 0,5068$$

Donde:

C= concentración

t= temperatura

Al derivar el modelo anterior se obtiene:

$$dC = 1E - 6t - 0,0001$$

Donde

dC = es la velocidad de ósmosis.

Fuente: elaboración propia