

Título LABORATORIO POTENCIALES GIBBS - DONNAN

Objetivos:

- Explicar los fenómenos biofísicos que rigen el movimiento de sustancias que poseen carga a través de las membranas biológicas.
- Corroborar el principio de electro-neutralidad en membranas biológicas.
- Determinar el coeficiente de difusión de la sal cloruro de sodio ($\text{Na}^+ \text{Cl}^-$) a través de una membrana de permeabilidad selectiva.
- Comprobar que la velocidad con que dos especies iónicas situadas en compartimientos diferentes difunden hacia el otro compartimento solo depende de la permeabilidad de la membrana que los separa (potenciales de difusión)

INTRODUCCIÓN

Las bicapas lipídicas son barreras de permeabilidad selectiva, cuyos interiores hidrofóbicos restringen el paso de la mayor parte de las moléculas. Esta es una característica importante de las membranas biológicas, debido a que sin esa separación física entre una célula viva y su ambiente, no podría existir la vida. Sin embargo, es por igual importante que el agua, el oxígeno, y todos los otros nutrientes necesarios para el desarrollo puedan entrar y que los productos generados para exportarla (por ejemplo, las hormonas, algunas enzimas digestivas, y las toxinas), así como los productos de desecho (por ejemplo, el bióxido de carbono y la urea) puedan salir de ella. Así, hay una variedad muy amplia de sustancias que deben poder cruzar una membrana a fin que la célula pueda sobrevivir. Algunas moléculas sin carga, pequeñas, pueden atravesar una membrana por difusión simple. Por ejemplo, el agua y el oxígeno pueden difundirse con relativa libertad a través de una membrana biológica. No obstante, la mayor parte de las moléculas y de los iones, debido a que son grandes en exceso o a que tienen carga no pueden penetrar en una célula por difusión simple. Para esas moléculas existen una variedad de mecanismos que sirven como un medio para el transporte de la materia y la carga a través de las membranas biológicas. Estos mecanismos incluyen la difusión facilitada y el transporte activo (para el transporte de moléculas pequeñas y de iones) y la endocitosis y la exocitosis (para el transporte de macromoléculas). Las células vivas emplean una combinación de estos mecanismos para mover la materia y la carga a través de sus membranas. (Horton, 1993).

LECTURAS, CONCEPTOS Y PREGUNTAS PREVIAS

1) Para lograr una fácil comprensión acerca de los potenciales de Gibbs-Donnan, es necesario que el estudiante recuerde algunos conceptos de biofísica, que haga una descripción física y matemática de los siguientes conceptos y conteste las preguntas.

- Campo escalar y campo vectorial.
- Potencial eléctrico, campo eléctrico y fuerza electromotriz
- Gradiente de una función escalar
- Potencial de membrana
- Difusión de iones en soluciones acuosas
- Leyes de Fick
- Mecanismos generadores de asimetría en la concentración iónica

2) Conteste verdadero o falso y justifique sus respuestas:

a) Se define un campo escalar como el conjunto de valores escalares que presenta en cada punto del espacio una magnitud física dada. F____V____ justificación

b) El campo eléctrico está definido mediante un campo escalar. F____V____ justificación

c) El potencial en cada punto de un campo conservativo es la energía potencial de la magnitud considerada, mientras que la fuerza electromotriz es el trabajo que se realiza sobre una carga eléctrica q en una trayectoria cerrada. F____V____ justificación

d) El gradiente de una función escalar es una magnitud vectorial que se define como la mayor tasa de cambio para la magnitud considerada. F____V____ justificación

e) El potencial de membrana, es el resultado de gradientes iónicos debido a diferencias de concentraciones iónicas a través de la membrana y ésta se modifica por el flujo iónico que produce corrientes perpendiculares a la membrana. F____V____ justificación

f) La movilidad de un ion en un fluido depende de su coeficiente de difusión, el cual indica su facilidad para moverse en un medio, entonces la difusión es directamente proporcional a la agitación térmica y contrarrestada por la fricción. V____F____ justificación

g) La ley de Fick dice que el flujo iónico es proporcional a la fuerza que lo produce.
V___F___Justificación_____

h) “En el ámbito macroscópico todos los sistemas biológicos verifican el principio de electroneutralidad de Nernst-Planck, que establece que la suma de las cargas positivas y negativas a ambos lados de la membrana debe ser cero, lo que supone la imposibilidad de que exista una diferencia neta de cargas entre los compartimientos intra y extracelulares. Este principio, que se observa aceptablemente bien en el ámbito macroscópico, presenta sin embargo pequeñas desviaciones de la neutralidad, lo que es suficiente para generar los gradientes necesarios para el establecimiento de los flujos iónicos”. (Fundamentos biofísicos de la actividad neuronal j. Pastor 2000) V___F___ justificación_____

- 3) En dos soluciones iónicas separadas por una membrana de grosor d y suponiendo que no hay ningún gradiente de concentración, sino solo un campo eléctrico a través de dicha membrana, la densidad molar de flujo (M_s) para el ion considerado (S) está dada por la siguiente expresión. Describa cada uno de los componentes de la siguiente ecuación, explique qué significado tiene.

$$M_s = -Z_s U_s C_s \frac{d\phi}{dx}$$

- 4) La siguiente relación es conocida como ecuación de Nernst-Planck describa cada uno de los componentes de la ecuación y explique cómo ésta es fundamental en el entendimiento de la génesis de biopotenciales en el sistema nervioso

$$J_s = -Z_s F D_s \left(\frac{dC_s}{dx} + C_s \frac{Z_s F}{RT} \frac{d\phi}{dx} \right)$$

- 5) El potencial de equilibrio del ion (S) que en ocasiones se denomina potencial de Nernst viene dado por la siguiente relación $\phi_o - \phi_i = E_s = \frac{RT}{Z_s F} \ln \frac{C_s^o}{C_s^i}$ describa cada uno de los componentes de ésta ecuación y explique qué significa ésta relación desde el punto de vista fisiológico.

PRÁCTICA # 1

Para este laboratorio son necesarios los siguientes materiales: una botella plástica, una fuente de voltaje, 2 multímetros, una balanza, cables de conexión, sal de cocina, dos agujas grandes (capadoras), 40 cm de cable de cobre (grosor similar al de las agujas) y agua.

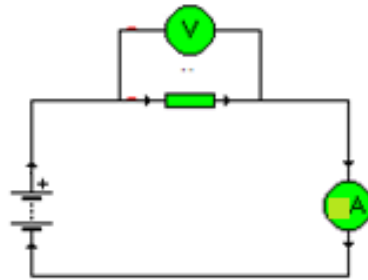
Objetivos

- Aplicar los conocimientos ya adquiridos en la construcción y medición de circuitos al hacer el nuevo montaje.
- Medir la corriente que se obtiene al ir aumentando la masa de cloruro de sodio
- Calcular la resistencia del circuito
- Encontrar la conductancia del circuito
- Relacionar en que forma la concentración de cloruro de sodio (NaCl) influye en el aumento o disminución de la corriente del sistema.

Foto del montaje 1



Circuito análogo 1



Realice el siguiente montaje

Montaje 1

Coja una botella plástica como muestra la figura 1

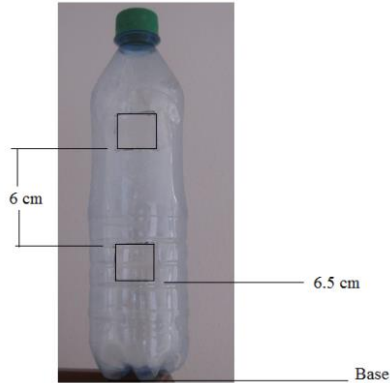
Figura 1

Botella 1



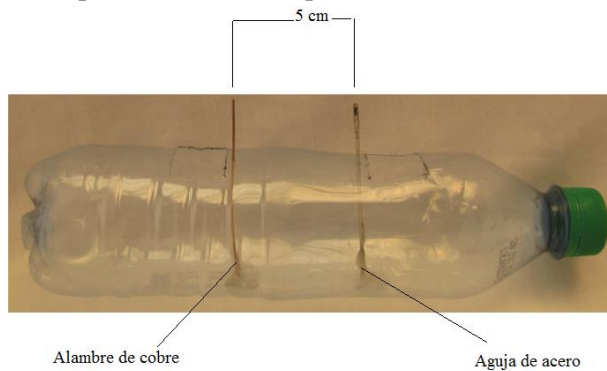
- 1) En la botella plástica, a 6,5 cm de su base haga un orificio rectangular sobre el cuerpo de la botella, a continuación mida 6 cm desde la arista derecha del rectángulo que acaba de hacer y haga otro orificio rectangular como muestra la foto 1

Foto 1 botella con 2 orificios en su cuerpo



- 2) Genere 2 puntos de conexión para medir la corriente y el voltaje calentando la punta a una aguja que atraviese el primer extremo del recipiente plástico sin atravesar el segundo. Estos 2 orificios quedan situados de frente a los rectángulos que usted se hizo previamente. Los puntos de conexión son de acero (aguja) y el otro punto de conexión es de 12 cm de alambre de cobre. La separación entre estos puntos es de aproximadamente 5 cm, como muestra la foto 2. (asegure los puntos con silicona a la base inferior del recipiente plástico)

Foto 2 puntos de contacto para toma de datos



Pasos a seguir en el laboratorio

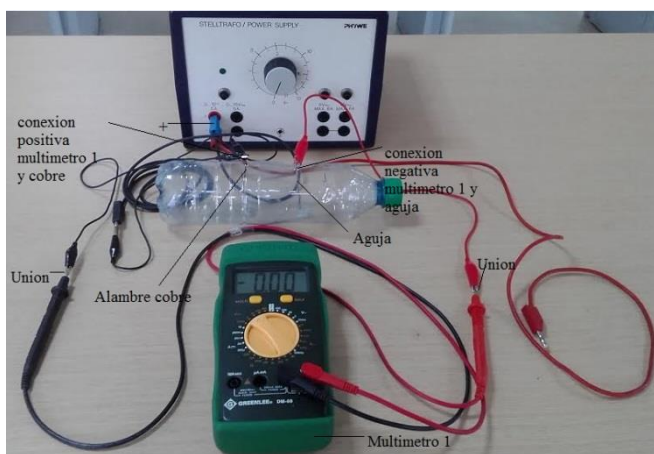
- 1) Realice las siguientes conexiones sobre el montaje 1
 - a) Conecte dos cables de conexión a la fuente de voltaje en la parte de corriente continua.
 - b) Ahora coja un cable caimán y únalo por un extremo al cable que sale de la parte positiva de la fuente y por el otro extremo a la conexión izquierda de la botella plástica (Alambre de cobre). Como lo muestra la foto 3

Foto 3 cable positivo de la fuente unido a la conexión de cobre



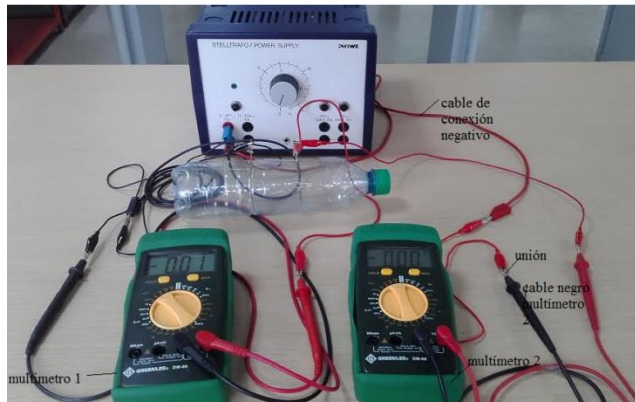
- c) Coja un multímetro al cual llamaremos multímetro (1) y una la punta del cable negro a la aguja izquierda del recipiente plástico donde se encuentra el cable positivo de la fuente y un extremo del cable caimán. Y el cable rojo de ese multímetro (1) hace contacto con la aguja derecha de la botella plástica. Como muestra la foto 4

Foto 4 Conexión del multímetro 1 al sistema (botella-conexiones)



- d) A continuación, el cable de conexión negativa que sale de la fuente empálmelo con la punta del cable negro del multímetro (2). Como muestra la foto 5

Foto 5 empalme del cable negativo de la fuente al multímetro 2



- e) Ahora la punta del cable rojo del multímetro (2) se une por un extremo a un cable caimán y el otro extremo del cable caimán va unido a la aguja derecha de la botella plástica donde se une con la punta del cable rojo del multímetro (1). Como muestra la foto 6

Foto 6 Conexión del multímetro 2 al sistema (botella-conexiones)



- 2) Hágalo verificar del profesor.
- 3) Antes de encender la fuente de voltaje, verifique que el voltaje sea cero.
- 4) Después de realizadas las conexiones del montaje introduzca 250 g de agua en el recipiente plástico (éste sistema funciona como resistencia). Luego en el montaje se va a cambiar la cantidad de cloruro de sodio (sal de cocina). varíe el voltaje en la fuente de 1V a 10V, mida el voltaje y su corriente respectiva sobre el montaje, e infiera la resistencia y conductancia pertinente. Consigne los valores en la siguiente tabla.

Tabla 1.

MASA Na ⁺ Cl ⁻	VOLTAJE	CORRIENTE	RESISTENCIA	CONDUCTANCIA
0 gramos	1V			
	2V			
	3V			
	4V			
	5V			
	6V			
	7V			
	8V			
	9V			
	10V			
Promedio				
Desviación estándar				
Rango de confianza				

- 5) Halle la ecuación de la recta de voltaje vs corriente por medio de mínimos cuadrados.
- 6) Introduzca en los 250 g de agua 0,5 gramos de sal de cocina y varíe el voltaje en la fuente de 1V a 10V, mida el voltaje y la corriente sobre el montaje, e infiera la resistencia, la conductancia, respectiva. Consigne los valores en la siguiente tabla

Tabla 2.

MASA Na ⁺ Cl ⁻	VOLTAJE	CORRIENTE	RESISTENCIA	CONDUCTANCIA
0,5 gramos	1V			
	2V			
	3V			
	4V			
	5V			
	6V			
	7V			
	8V			
	9V			
	10V			
Promedio				
Desviación estándar				
Rango de confianza				

- 7) Halle la ecuación de la recta de voltaje vs corriente por medio de mínimos cuadrados
- 8) Sin modificar el sistema anterior agregue 0,5 gramos más de sal de cocina para un total de 1 gramo de cloruro de sodio en él sistema y varíe el voltaje en la fuente de 1V a 10V, mida el voltaje y la corriente sobre el montaje, e infiera la resistencia, la conductancia, respectiva. Consigne los valores en la siguiente tabla

Tabla 3.

MASA Na ⁺ Cl ⁻	VOLTAJE	CORRIENTE	RESISTENCIA	CONDUCTANCIA
1 gramo	1V			
	2V			
	3V			
	4V			
	5V			
	6V			
	7V			
	8V			
	9V			
	10V			
Promedio				
Desviación estándar				
Rango de confianza				

- 9) Halle la ecuación de la recta de voltaje vs corriente por medio de mínimos cuadrados
- 10) Sin modificar el sistema anterior agregue 0,5 gramos más de sal de cocina para un total de 1,5 gramos de cloruro de sodio en el sistema y varíe el voltaje en la fuente de 1V a 10V, mida el voltaje y la corriente sobre el montaje, e infiera la resistencia, la conductancia, respectiva. Consigne los valores en la siguiente tabla

Tabla 4

MASA Na ⁺ Cl ⁻	VOLTAJE	CORRIENTE	RESISTENCIA	CONDUCTANCIA
1.5 gramos	1V			
	2V			
	3V			
	4V			
	5V			
	6V			
	7V			
	8V			
	9V			
	10V			
Promedio				
Desviación estándar				
Rango de confianza				

- 11) Halle la ecuación de la recta de voltaje vs corriente por medio de mínimos cuadrados
- 12) Sin modificar el sistema anterior agregue 0,5 gramos más de sal de cocina para un total de 2 gramos de cloruro de sodio en el sistema y varíe el voltaje en la fuente de 1V a 10V, mida el voltaje y la corriente sobre el montaje, e infiera la resistencia, la conductancia, respectiva. Consigne los valores en la siguiente tabla

Tabla 5

MASA Na ⁺ Cl ⁻	VOLTAJE	CORRIENTE	RESISTENCIA	CONDUCTANCIA
2 gramos	1V			
	2V			
	3V			
	4V			
	5V			
	6V			
	7V			
	8V			
	9V			
	10V			
Promedio				
Desviación estándar				
Rango de confianza				

- 13) Halle la ecuación de la recta de voltaje vs corriente por medio de mínimos cuadrados
- 14) Sin modificar el sistema anterior agregue 0,5 gramos más de sal de cocina para un total de 2,5 gramos de cloruro de sodio en el sistema y varíe el voltaje en la fuente de 1V a 10V, mida el voltaje y la corriente sobre el montaje, e infiera la resistencia, la conductancia, respectiva. Consigne los valores en la siguiente tabla

Tabla 6

MASA Na ⁺ Cl ⁻	VOLTAJE	CORRIENTE	RESISTENCIA	CONDUCTANCIA
2.5 gramos	1V			
	2V			
	3V			
	4V			
	5V			
	6V			
	7V			
	8V			
	9V			
	10V			
Promedio				
Desviación estándar				
Rango de confianza				

- 15) Halle la ecuación de la recta de voltaje vs corriente por medio de mínimos cuadrados
- 16) Sin modificar el sistema anterior agregue 0,5 gramos más de sal de cocina para un total de 3 gramos de cloruro de sodio en el sistema y varíe el voltaje en la fuente de 1V a 10V, mida el voltaje y la corriente sobre el montaje, e infiera la resistencia, la conductancia, respectiva. Consigne los valores en la siguiente tabla

Tabla 7

MASA Na ⁺ Cl ⁻	VOLTAJE	CORRIENTE	RESISTENCIA	CONDUCTANCIA
3 gramos	1V			
	2V			
	3V			
	4V			
	5V			
	6V			
	7V			
	8V			
	9V			
	10V			
Promedio				
Desviación estándar				
Rango de confianza				

17) Halle la ecuación de la recta de voltaje vs corriente por medio de mínimos cuadrados

18) Sin modificar el sistema anterior agregue 0,5 gramos más de sal de cocina para un total de 3,5 gramos de cloruro de sodio en el sistema y varíe el voltaje en la fuente de 1V a 10V, mida el voltaje y la corriente sobre el montaje, e infiera la resistencia, la conductancia, respectiva. Consigne los valores en la siguiente tabla

Tabla 8

MASA Na ⁺ Cl ⁻	VOLTAJE	CORRIENTE	RESISTENCIA	CONDUCTANCIA
3.5 gramos	1V			
	2V			
	3V			
	4V			
	5V			
	6V			
	7V			
	8V			
	9V			
	10V			
Promedio				
Desviación estándar				
Rango de confianza				

19) Halle la ecuación de la recta de voltaje vs corriente por medio de mínimos cuadrados

20) Sin modificar el sistema anterior agregue 0,5 gramos más de sal de cocina para un total de 4 gramos de cloruro de sodio en el sistema y varíe el voltaje en la fuente de 1V a 10V, mida el voltaje y la corriente sobre el montaje, e infiera la resistencia, la conductancia, respectiva. Consigne los valores en la siguiente tabla

Tabla 9

MASA Na ⁺ Cl ⁻	VOLTAJE	CORRIENTE	RESISTENCIA	CONDUCTANCIA
4 gramos	1V			
	2V			
	3V			
	4V			
	5V			
	6V			
	7V			
	8V			
	9V			
	10V			
Promedio				
Desviación estándar				
Rango de confianza				

- 21) Sin modificar el sistema anterior agregue 0,5 gramos más de sal de cocina para un total de 4,5 gramos de cloruro de sodio en el sistema y varíe el voltaje en la fuente de 1V a 10V, mida el voltaje y la corriente sobre el montaje, e infiera la resistencia, la conductancia, respectiva. Consigne los valores en la siguiente tabla

Tabla 10

MASA Na ⁺ Cl ⁻	VOLTAJE	CORRIENTE	RESISTENCIA	CONDUCTANCIA
4.5 gramos	1V			
	2V			
	3V			
	4V			
	5V			
	6V			
	7V			
	8V			
	9V			
	10V			
Promedio				
Desviación estándar				
Rango de confianza				

- 22) Halle la ecuación de la recta de voltaje vs corriente por medio de mínimos cuadrados
- 23) Sin modificar el sistema anterior agregue 0,5 gramos más de sal de cocina para un total de 5 gramos de cloruro de sodio en el sistema y varíe el voltaje en la fuente de 1V a 10V, mida el voltaje y la corriente sobre el montaje, e infiera la resistencia, la conductancia, respectiva. Consigne los valores en la siguiente tabla

Tabla 11

MASA Na ⁺ Cl ⁻	VOLTAJE	CORRIENTE	RESISTENCIA	CONDUCTANCIA
5 gramos	1V			
	2V			
	3V			
	4V			
	5V			
	6V			
	7V			
	8V			
	9V			
	10V			
Promedio				
Desviación estándar				
Rango de confianza				

- 24) Halle la ecuación de la recta de voltaje vs corriente por medio de mínimos cuadrados
- 25) Grafique los datos de voltaje vs corriente en un mismo plano, halle las pendientes de las 9 rectas.
- 26) Explique qué significado tienen estos cambios.
- 27) En la siguiente tabla para los datos obtenidos anteriormente encuentre la concentración de la sustancia y coloque el valor de la conductancia promedio.

Tabla 12

Masa de NaCl (g)	Cantidad de sustancia (moles)	Concentración (M ¹)	Conductancia (Ω ⁻¹)
0,0			
0,5			
1,0			
1,5			
2,0			
2,5			
3,0			
3,5			
4,0			
4,5			
5,0			

- 28) Grafique los datos de conductancia vs concentración
- 29) Explique qué significado tiene ésta gráfica

¹ Molar

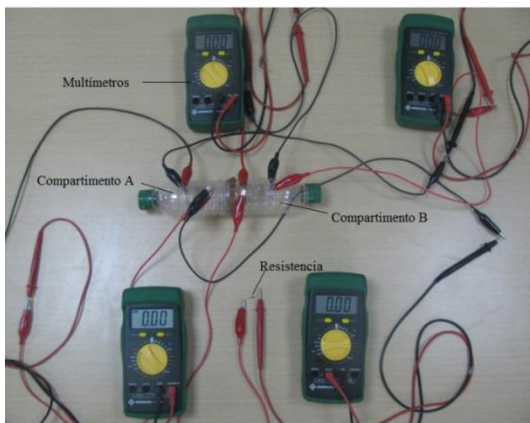
Práctica # 2

Para este laboratorio son necesarios los siguientes materiales: Cuatro (4) botellas plásticas del mismo tamaño (se recomienda botellas plásticas pequeñas de jugo soka), 4 multímetros, una balanza, 8 cables de conexión, sal de cocina, 4 agujas grandes (capadoras), 40 cm de cable de cobre (grosor similar al de las agujas), membrana sintética (condón látex), membrana biológica (viseras de cerdo) y agua.

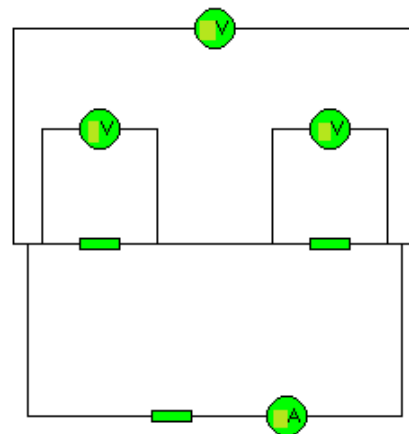
Objetivos

- Aplicar los conocimientos adquiridos en el montaje de circuitos para hacer el nuevo montaje y realizar las medidas pertinentes.
- Incentivar la creatividad del estudiante en el diseño para la caracterización de nuevas membranas biológicas para la toma de datos con el montaje ya propuesto.
- Medir la diferencia de potencial en los compartimentos, así como en los extremos de éstos compartimentos al ir aumentando la cantidad de cloruro de sodio en uno de ellos.
- Medir la corriente que circula a través de los compartimentos a causa del movimiento del cloruro de sodio atravesando las membranas.
- Comparar que tipo de membrana presenta mayor o menor permeabilidad al cloruro de sodio.

Foto del montaje



Circuito análogo



Realice el siguiente montaje

Montaje 2

Coja dos botellas plásticas del mismo tamaño como muestra la foto 1

Foto 1 botellas plásticas

Botella plástica 1



Botella plástica 2



- 1) Sobre el cuerpo de la botella (1) a 9 cm de su base haga un orificio rectangular de 2,5 cm de largo por 2 cm de ancho, haga lo mismo en la botella plástica (2). Como muestra la foto 2

Foto 2 botellas plásticas con agujeros en sus cuerpos

Botella 1

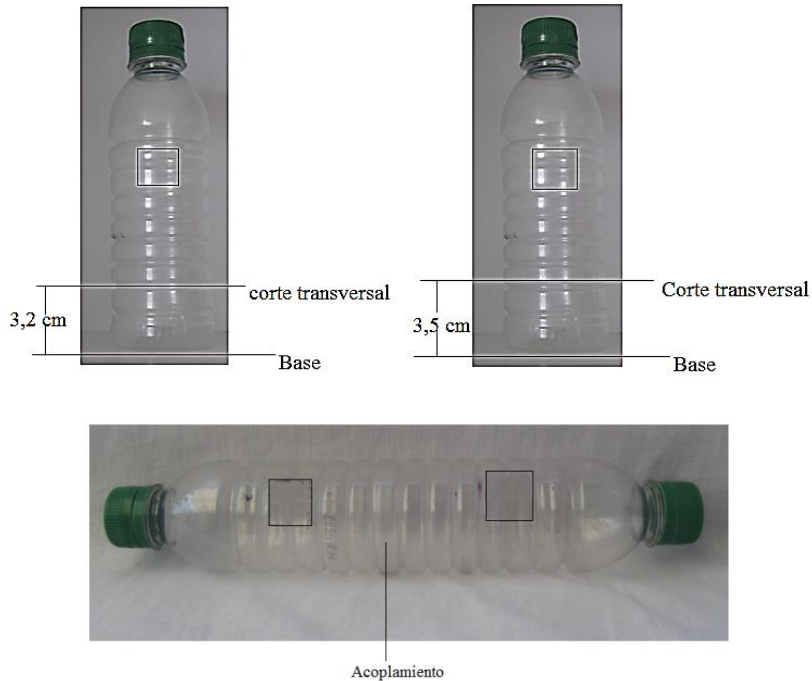


Botella 2



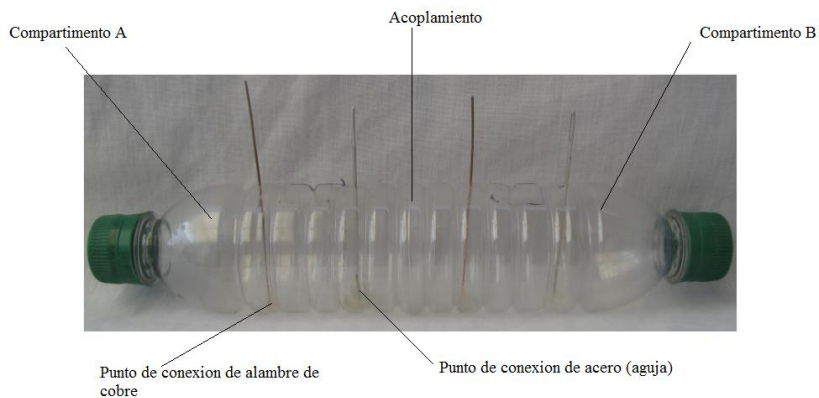
- 2) Haga un corte transversal a la botella plástica (1) 3,2cm (medidos desde la base del recipiente), a continuación haga el mismo tipo de corte a la botella (2) 3,5cm (medidos desde la base del recipiente), de tal manera que las botellas se puedan acoplar una dentro de la otra. Como muestra la foto 3

Foto 3 cortes transversales botellas 1 y 2 – Acoplamiento



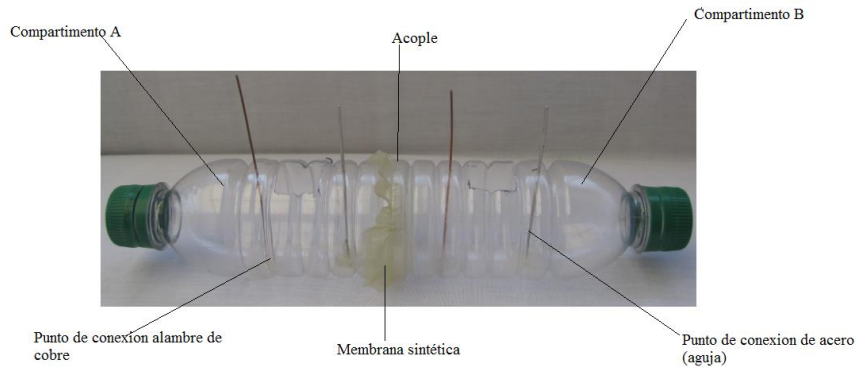
Acopladas las botellas plásticas, origine 4 puntos de conexión intercalados de alambre de cobre y aguja de acero, para medir la corriente y el voltaje, utilizando el método de la práctica 1 (abriendo huecos a los recipientes plásticos). Dos de estos puntos de conexión quedan situados de frente a los rectángulos que usted hizo previamente (distancia entre estos puntos 5 cm), uno de ellos es de 12 cm de alambre de cobre y el otro es la aguja de acero (capotera). Los otros 2 puntos quedan ubicados en la parte posterior de cada rectángulo a 1 cm; (distancia entre estos puntos 12,5 cm) uno de ellos es de acero (aguja capotera) y el otro es de 12 cm de alambre de cobre. los puntos de conexión deben estar superpuestos. (asegúrelos al recipiente plástico con silicona) como muestra la foto 4.

Foto 4 puntos de conexión del montaje



- 3) Desacople las botellas plásticas y seleccione una membrana sintética (condón látex) que cubra el área de corte de la sección transversal de una de las botellas plásticas. Ahora acople las botellas plásticas nuevamente con la membrana sintética en el medio, de manera que no haya filtraciones de líquido entre los compartimientos; que desde ahora llamaremos compartimento A (izquierda) y compartimento B (derecha). Como muestra la foto 5

Foto 5 Sistema con la membrana sintética en medio de los compartimentos (Montaje 2)



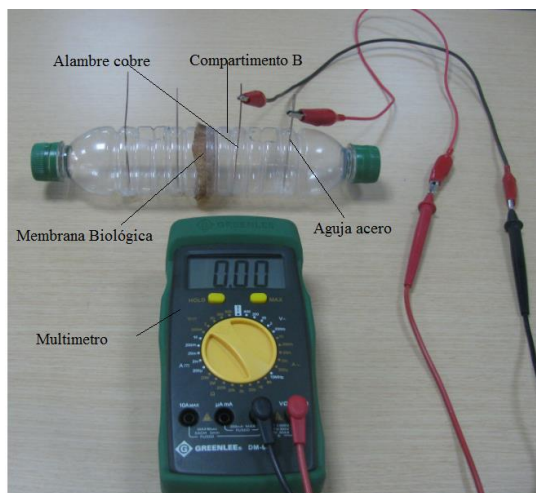
- 4) Al mirar el montaje de frente, el primer punto de conexión de izquierda a derecha es el alambre de cobre, el segundo punto de conexión es una aguja de acero, el tercer punto de conexión es el alambre cobre y el cuarto punto de conexión una aguja de acero, procedemos a conectar los multímetros de la siguiente manera:
- Un multímetro se conecta entre el primer punto de conexión alambre de cobre y el segundo punto de conexión aguja de acero (compartimento A) como muestra la foto 6

Foto 6 multímetro conectado al compartimento A



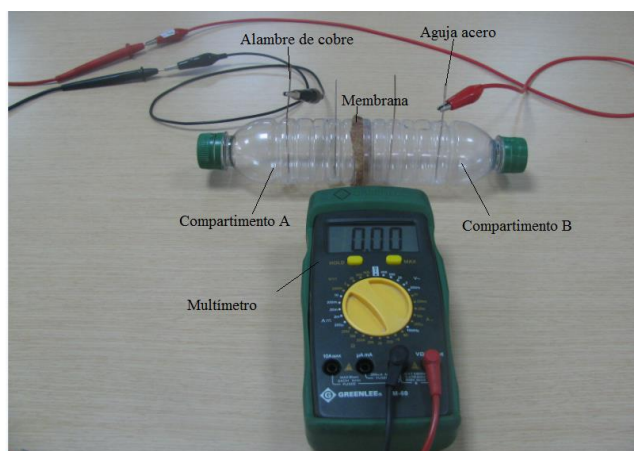
- Se conecta otro multímetro entre el tercer punto de conexión alambre de cobre y el cuarto punto de conexión aguja de acero. (compartimento B). como muestra la foto 7

Foto 7 multímetro conectado al compartimento B



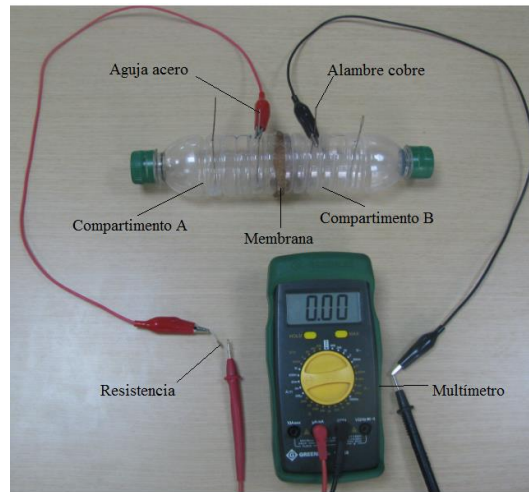
- Ahora se conecta otro multímetro entre el primer punto de conexión alambre de cobre y el cuarto punto de conexión aguja de acero. Como muestra la foto 8

Foto 8 multímetro conectado entre los compartimentos A y B



- Por último se conecta otro multímetro entre el segundo punto de conexión aguja de acero y el tercer punto de conexión alambre de cobre. Como muestra la foto 9. (tenga en cuenta que en esta última conexión debe colocar una resistencia en serie, entre la aguja de acero y el alambre de cobre). Porqué se debe colocar ésta resistencia? _____

Foto 9 Amperímetro conectado ente A y B



Escriba a continuación qué va a medir cada multímetro entre los distintos puntos de conexión y ponga la escala adecuada.

Multímetro entre los puntos de conexión 1 y 2 _____

Multímetro entre los puntos de conexión 3 y 4 _____

Multímetro entre los puntos de conexión 1 y 4 _____

Multímetro entre los puntos de conexión 2 y 3 _____

Pasos a seguir en el laboratorio

MEMBRANA SINTÉTICA SIN ORIFICIOS

- 1) Ya realizado el montaje anterior con los compartimientos acoplados, los puntos de conexión fijos, la membrana sintética en medio de los compartimientos y los multímetros conectados hágalo revisar del profesor.
- 2) A continuación introduzca 150 gr de agua en cada uno de los compartimientos y llene la siguiente tabla

Tabla 1 compartimentos con cero (0) gramos de sal

MASA Na ⁺ Cl ⁻ en compartimiento A	TIEMPO (segundos)	VOLTAJE EN COMPARTIMIENTO A (mV)	VOLTAJE EN COMPARTIMIENTO B (mV)	VOLTAJE ENTRE LOS COMPARTIMENTOS A-B (mV)	CORRIENTE ENTRE LOS COMPARTIMENTOS A-B (μA)
0 gramos	30				
	40				
	60				
	120				
	150				
	180				
	240				
	300				
	360				
420					
Promedio					
Desviación estándar					
Rango de confianza					

- 3) Sin modificar el sistema anterior, disuelva 0,2 gramos de sal en 10 gramos de agua en un vaso plástico por aparte y agregue esta mezcla al compartimiento A y llene la siguiente tabla.

Tabla 2 compartimento A con 0,2 gramos de sal

MASA Na ⁺ Cl ⁻ en compartimiento A	TIEMPO (segundos)	VOLTAJE EN COMPARTIMIENTO A (mV)	VOLTAJE EN COMPARTIMIENTO B (mV)	VOLTAJE ENTRE LOS COMPARTIMENTOS A-B (mV)	CORRIENTE ENTRE LOS COMPARTIMENTOS A-B (μA)
0,2 gramos	30				
	40				
	60				
	120				
	150				
	180				
	240				
	300				
	360				
	420				
Promedio					
Desviación estándar					
Rango de confianza					

- 4) Sin modificar el sistema anterior, disuelva 0,2 gramos de sal en 10 gramos de agua en un vaso plástico por aparte y agregue esta mezcla en el compartimento A y llene la siguiente tabla

Tabla 3 compartimento A con 0,4 gramos de sal

MASA Na ⁺ Cl ⁻ en compartimiento A	TIEMPO (segundos)	VOLTAJE EN COMPARTIMENTO A (mV)	VOLTAJE EN COMPARTIMENTO B (mV)	VOLTAJE ENTRE LOS COMPARTIMENTOS A-B (mV)	CORRIENTE ENTRE LOS COMPARTIMENTOS A-B (μA)
0,4 gramos	30				
	40				
	60				
	120				
	150				
	180				
	240				
	300				
	360				
420					
Promedio					
Desviación estándar					
Rango de confianza					

- 5) Sin modificar el sistema anterior, disuelva 0,2 gramos de sal en 10 gramos de agua en un vaso plástico por aparte y agregue esta mezcla en el compartimento A y llene la siguiente tabla

Tabla 4 compartimento A con 0,6 gramos de sal

MASA Na ⁺ Cl ⁻ en compartimiento A	TIEMPO (segundos)	VOLTAJE EN COMPARTIMENTO A (mV)	VOLTAJE EN COMPARTIMENTO B (mV)	VOLTAJE ENTRE LOS COMPARTIMENTOS A-B (mV)	CORRIENTE ENTRE LOS COMPARTIMENTOS A-B (μA)
0,6 gramos	30				
	40				
	60				
	120				
	150				
	180				
	240				
	300				
	360				
420					
Promedio					
Desviación estándar					
Rango de confianza					

- 6) Sin modificar el sistema anterior, disuelva 0,2 gramos de sal en 10 gramos de agua en un vaso plástico por aparte y agregue esta mezcla en el compartimento A y llene la siguiente tabla

Tabla 5 compartimento A con 0,8 gramos de sal

MASA Na ⁺ Cl ⁻ en compartimento A	TIEMPO (segundos)	VOLTAJE EN COMPARTIMENTO A (mV)	VOLTAJE EN COMPARTIMENTO B (mV)	VOLTAJE ENTRE LOS COMPARTIMENTOS A-B (mV)	CORRIENTE ENTRE LOS COMPARTIMENTOS A-B (μA)
0,8 gramos	30				
	40				
	60				
	120				
	150				
	180				
	240				
	300				
	360				
420					
Promedio					
Desviación estándar					
Rango de confianza					

- 7) Sin modificar el sistema anterior, disuelva 0,2 gramos de sal en 10 gramos de agua en un vaso plástico por aparte y agregue esta mezcla en el compartimento A y llene la siguiente tabla

Tabla 6 compartimento A con 1,0 gramos de sal

MASA Na ⁺ Cl ⁻ en compartimento A	TIEMPO (segundos)	VOLTAJE EN COMPARTIMENTO A (mV)	VOLTAJE EN COMPARTIMENTO B (mV)	VOLTAJE ENTRE LOS COMPARTIMENTOS A-B (mV)	CORRIENTE ENTRE LOS COMPARTIMENTOS A-B (μA)
1,0 gramos	30				
	40				
	60				
	120				
	150				
	180				
	240				
	300				
	360				
420					
Promedio					
Desviación estándar					
Rango de confianza					

- 8) Sin modificar el sistema anterior, disuelva 0,2 gramos de sal en 10 gramos de agua en un vaso plástico por aparte y agregue esta mezcla en el compartimento A y llene la siguiente tabla

Tabla 7 compartimento A con 1,2 gramos de sal

MASA Na ⁺ Cl ⁻ en compartimento A	TIEMPO (segundos)	VOLTAJE EN COMPARTIMENTO A (mV)	VOLTAJE EN COMPARTIMENTO B (mV)	VOLTAJE ENTRE LOS COMPARTIMENTOS A-B (mV)	CORRIENTE ENTRE LOS COMPARTIMENTOS A-B (μ A)
1,2 gramos	30				
	40				
	60				
	120				
	150				
	180				
	240				
	300				
	360				
	420				
Promedio					
Desviación estándar					
Rango de confianza					

- 9) Realice la gráfica de (voltaje en A, voltaje en B y voltaje entre A-B) vs tiempo para cada una de las tablas anteriores
- 10) Realice la gráfica de corriente entre A-B.

MEMBRANA SINTÉTICA CON ORIFICIOS.

Ahora desconecte los cables y multímetros del sistema, vacíe los compartimentos (lávelos para evitar residuos de cloruro de sodio), no desacople el montaje. Haga 5 orificios a la membrana sintética (condón de látex) y vuelva a conectar los cables y multímetros. Agregue a cada compartimento 150 gr de agua y llene la siguiente tabla

Tabla 1 compartimentos con cero (0) gramos de sal (membrana sintética con agujeros)

MASA Na ⁺ Cl ⁻ en compartimiento A	TIEMPO (segundos)	VOLTAJE EN COMPARTIMIENTO A (mV)	VOLTAJE EN COMPARTIMIENTO B (mV)	VOLTAJE ENTRE LOS COMPARTIMENTOS A-B (mV)	CORRIENTE ENTRE LOS COMPARTIMENTOS A-B (μA)
0 gramos	30				
	40				
	60				
	120				
	150				
	180				
	240				
	300				
	360				
420					
Promedio					
Desviación estándar					
Rango de confianza					

- 1) Sin modificar el sistema anterior, disuelva 0,2 gramos de sal en 10 gramos de agua en un vaso plástico por aparte y agregue esta mezcla al compartimento A y llene la siguiente tabla.

Tabla 2 compartimento A con 0,2 gramos de sal (membrana sintética con orificios)

MASA Na ⁺ Cl ⁻ en compartimiento A	TIEMPO (segundos)	VOLTAJE EN COMPARTIMIENTO A (mV)	VOLTAJE EN COMPARTIMIENTO B (mV)	VOLTAJE ENTRE LOS COMPARTIMENTOS A-B (mV)	CORRIENTE ENTRE LOS COMPARTIMENTOS A-B (μA)
0,2 gramos	30				
	40				
	60				
	120				
	150				
	180				
	240				
	300				
	360				
420					
Promedio					
Desviación estándar					
Rango de confianza					

- 2) Sin modificar el sistema anterior, disuelva 0,2 gramos de sal en 10 gramos de agua en un vaso plástico por aparte y agregue esta mezcla en el compartimento A y llene la siguiente tabla

Tabla 3 compartimento A con 0,4 gramos de sal (membrana sintética con orificios)

MASA Na ⁺ Cl ⁻ en compartimento A	TIEMPO (segundos)	VOLTAJE EN COMPARTIMENTO A (mV)	VOLTAJE EN COMPARTIMENTO B (mV)	VOLTAJE ENTRE LOS COMPARTIMENTOS A-B (mV)	CORRIENTE ENTRE LOS COMPARTIMENTOS A-B (μA)
0,4 gramos	30				
	40				
	60				
	120				
	150				
	180				
	240				
	300				
	360				
420					
Promedio					
Desviación estándar					
Rango de confianza					

- 3) Sin modificar el sistema anterior, disuelva 0,2 gramos de sal en 10 gramos de agua en un vaso plástico por aparte y agregue esta mezcla en el compartimento A y llene la siguiente tabla

Tabla 4 compartimento A con 0,6 gramos de sal (membrana sintética con orificios)

MASA Na ⁺ Cl ⁻ en compartimento A	TIEMPO (segundos)	VOLTAJE EN COMPARTIMENTO A (mV)	VOLTAJE EN COMPARTIMENTO B (mV)	VOLTAJE ENTRE LOS COMPARTIMENTOS A-B (mV)	CORRIENTE ENTRE LOS COMPARTIMENTOS A-B (μA)
0,6 gramos	30				
	40				
	60				
	120				
	150				
	180				
	240				
	300				
	360				
420					
Promedio					
Desviación estándar					
Rango de confianza					

- 4) Sin modificar el sistema anterior, disuelva 0,2 gramos de sal en 10 gramos de agua en un vaso plástico por aparte y agregue esta mezcla en el compartimento A y llene la siguiente tabla

Tabla 5 compartimento A con 0,8 gramos de sal (membrana sintética con orificios)

MASA Na ⁺ Cl ⁻ en compartimento A	TIEMPO (segundos)	VOLTAJE EN COMPARTIMENTO A (mV)	VOLTAJE EN COMPARTIMENTO B (mV)	VOLTAJE ENTRE LOS COMPARTIMENTOS A-B (mV)	CORRIENTE ENTRE LOS COMPARTIMENTOS A-B (μA)
0,8 gramos	30				
	40				
	60				
	120				
	150				
	180				
	240				
	300				
	360				
420					
Promedio					
Desviación estándar					
Rango de confianza					

- 5) Sin modificar el sistema anterior, disuelva 0,2 gramos de sal en 10 gramos de agua en un vaso plástico por aparte y agregue esta mezcla en el compartimento A y llene la siguiente tabla

Tabla 6 compartimento A con 1,0 gramos de sal (membrana sintética con orificios)

MASA Na ⁺ Cl ⁻ en compartimento A	TIEMPO (segundos)	VOLTAJE EN COMPARTIMENTO A (mV)	VOLTAJE EN COMPARTIMENTO B (mV)	VOLTAJE ENTRE LOS COMPARTIMENTOS A-B (mV)	CORRIENTE ENTRE LOS COMPARTIMENTOS A-B (μA)
1,0 gramos	30				
	40				
	60				
	120				
	150				
	180				
	240				
	300				
	360				
420					
Promedio					
Desviación estándar					
Rango de confianza					

- 6) Sin modificar el sistema anterior, disuelva 0,2 gramos de sal en 10 gramos de agua en un vaso plástico por aparte y agregue esta mezcla en el compartimento A y llene la siguiente tabla

Tabla 7 compartimento A con 1,2 gramos de sal (membrana sintética con orificios)

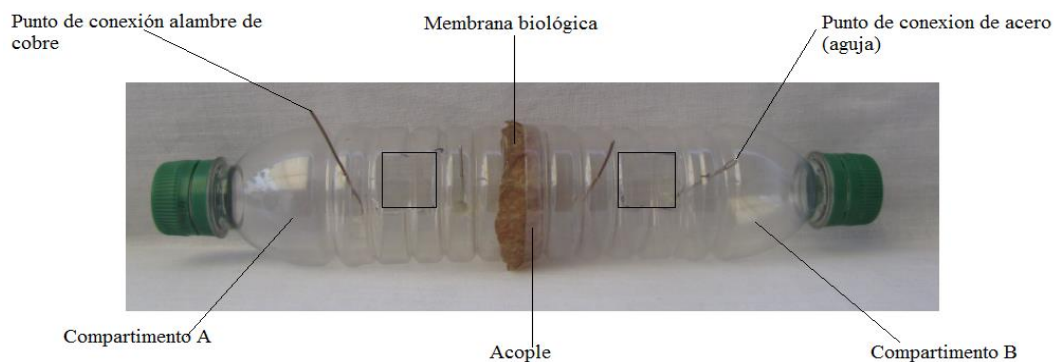
MASA Na ⁺ Cl ⁻ en compartimiento A	TIEMPO (segundos)	VOLTAJE EN COMPARTIMIENTO A (mV)	VOLTAJE EN COMPARTIMIENTO B (mV)	VOLTAJE ENTRE LOS COMPARTIMENTOS A-B (mV)	CORRIENTE ENTRE LOS COMPARTIMENTOS A-B (μA)
1,2 gramos	30				
	40				
	60				
	120				
	150				
	180				
	240				
	300				
	360				
	420				
Promedio					
Desviación estándar					
Rango de confianza					

- 7) Realice la gráfica de (voltaje en A, voltaje en B y voltaje entre A-B) vs tiempo para cada una de las tablas anteriores.
8) Realice la gráfica de corriente entre A-B.

MEMBRANA BIOLÓGICA SIN ORIFICIOS

Ahora realice el montaje 2 con una membrana biológica como viseras de cerdo (cotidianamente conocido como rellena) en medio de los compartimentos A y B (membrana sin agujeros). Como muestra la siguiente foto

Foto del montaje 2 con una membrana biológica en medio de los compartimentos



Vuelva a conectar los cables y multímetros. Agregue a cada compartimento 150 gr de agua y llene la siguiente tabla

Tabla 1 compartimentos con cero (0) gramos de sal (membrana biológica sin agujeros)

MASA Na ⁺ Cl ⁻ en compartimiento A	TIEMPO (segundos)	VOLTAJE EN COMPARTIMIENTO A (mV)	VOLTAJE EN COMPARTIMIENTO B (mV)	VOLTAJE ENTRE LOS COMPARTIMENTOS A-B (mV)	CORRIENTE ENTRE LOS COMPARTIMENTOS A-B (μA)
0 gramos	30				
	40				
	60				
	120				
	150				
	180				
	240				
	300				
	360				
420					
Promedio					
Desviación estándar					
Rango de confianza					

- 1) Sin modificar el sistema anterior, disuelva 0,2 gramos de sal en 10 gramos de agua en un vaso plástico por aparte y agregue esta mezcla al compartimento A y llene la siguiente tabla.

Tabla 2 compartimento A con 0,2 gramos de sal (membrana biológica sin agujeros)

MASA Na ⁺ Cl ⁻ en compartimiento A	TIEMPO (segundos)	VOLTAJE EN COMPARTIMIENTO A (mV)	VOLTAJE EN COMPARTIMIENTO B (mV)	VOLTAJE ENTRE LOS COMPARTIMENTOS A-B (mV)	CORRIENTE ENTRE LOS COMPARTIMENTOS A-B (μA)
0,2 gramos	30				
	40				
	60				
	120				
	150				
	180				
	240				
	300				
	360				
420					
Promedio					
Desviación estándar					
Rango de confianza					

- 2) Sin modificar el sistema anterior, disuelva 0,2 gramos de sal en 10 gramos de agua en un vaso plástico por aparte y agregue esta mezcla en el compartimento A y llene la siguiente tabla

Tabla 3 compartimento A con 0,4 gramos de sal (membrana biológica sin agujeros)

MASA Na ⁺ Cl ⁻ en compartimento A	TIEMPO (segundos)	VOLTAJE EN COMPARTIMENTO A (mV)	VOLTAJE EN COMPARTIMENTO B (mV)	VOLTAJE ENTRE LOS COMPARTIMENTOS A-B (mV)	CORRIENTE ENTRE LOS COMPARTIMENTOS A-B (μA)
0,4 gramos	30				
	40				
	60				
	120				
	150				
	180				
	240				
	300				
	360				
420					
Promedio					
Desviación estándar					
Rango de confianza					

- 3) Sin modificar el sistema anterior, disuelva 0,2 gramos de sal en 10 gramos de agua en un vaso plástico por aparte y agregue esta mezcla en el compartimento A y llene la siguiente tabla

Tabla 4 compartimento A con 0,6 gramos de sal (membrana biológica sin agujeros)

MASA Na ⁺ Cl ⁻ en compartimento A	TIEMPO (segundos)	VOLTAJE EN COMPARTIMENTO A (mV)	VOLTAJE EN COMPARTIMENTO B (mV)	VOLTAJE ENTRE LOS COMPARTIMENTOS A-B (mV)	CORRIENTE ENTRE LOS COMPARTIMENTOS A-B (μA)
0,6 gramos	30				
	40				
	60				
	120				
	150				
	180				
	240				
	300				
	360				
420					
Promedio					
Desviación estándar					
Rango de confianza					

- 4) Sin modificar el sistema anterior, disuelva 0,2 gramos de sal en 10 gramos de agua en un vaso plástico por aparte y agregue esta mezcla en el compartimento A y llene la siguiente tabla

Tabla 5 compartimento A con 0,8 gramos de sal (membrana biológica sin agujeros)

MASA Na ⁺ Cl ⁻ en compartimento A	TIEMPO (segundos)	VOLTAJE EN COMPARTIMENTO A (mV)	VOLTAJE EN COMPARTIMENTO B (mV)	VOLTAJE ENTRE LOS COMPARTIMENTOS A-B (mV)	CORRIENTE ENTRE LOS COMPARTIMENTOS A-B (μA)
0,8 gramos	30				
	40				
	60				
	120				
	150				
	180				
	240				
	300				
	360				
420					
Promedio					
Desviación estándar					
Rango de confianza					

- 5) Sin modificar el sistema anterior, disuelva 0,2 gramos de sal en 10 gramos de agua en un vaso plástico por aparte y agregue esta mezcla en el compartimento A y llene la siguiente tabla

Tabla 6 compartimento A con 1,0 gramos de sal (membrana biológica sin agujeros)

MASA Na ⁺ Cl ⁻ en compartimento A	TIEMPO (segundos)	VOLTAJE EN COMPARTIMENTO A (mV)	VOLTAJE EN COMPARTIMENTO B (mV)	VOLTAJE ENTRE LOS COMPARTIMENTOS A-B (mV)	CORRIENTE ENTRE LOS COMPARTIMENTOS A-B (μA)
1,0 gramos	30				
	40				
	60				
	120				
	150				
	180				
	240				
	300				
	360				
420					
Promedio					
Desviación estándar					
Rango de confianza					

- 6) Sin modificar el sistema anterior, disuelva 0,2 gramos de sal en 10 gramos de agua en un vaso plástico por aparte y agregue esta mezcla en el compartimento A y llene la siguiente tabla

Tabla 7 compartimento A con 1,2 gramos de sal (membrana biológica sin agujeros)

MASA Na ⁺ Cl ⁻ en compartimento A	TIEMPO (segundos)	VOLTAJE EN COMPARTIMENTO A (mV)	VOLTAJE EN COMPARTIMENTO B (mV)	VOLTAJE ENTRE LOS COMPARTIMENTOS A-B (mV)	CORRIENTE ENTRE LOS COMPARTIMENTOS A-B (μA)
1,2 gramos	30				
	40				
	60				
	120				
	150				
	180				
	240				
	300				
	360				
	420				
Promedio					
Desviación estándar					
Rango de confianza					

- 7) Realice la gráfica de (voltaje en A, voltaje en B y voltaje entre A-B) vs tiempo para cada una de las tablas anteriores.
- 8) Realice la gráfica de corriente entre A-B.

MEMBRANA BIOLÓGICA CON ORIFICIOS

Desconecte los cables y multímetros del sistema, vacíe los compartimentos (lávelos para evitar residuos de cloruro de sodio), no desacople el montaje. Haga 5 orificios a la membrana biológica (cuero de rellena) y vuelva a conectar los cables y multímetros. Agregue a cada compartimento 150 gr de agua y llene la siguiente tabla

Tabla 1 compartimentos con cero (0) gramos de sal (membrana biológica con agujeros)

MASA Na ⁺ Cl ⁻ en compartimiento A	TIEMPO (segundos)	VOLTAJE EN COMPARTIMENTO A (mV)	VOLTAJE EN COMPARTIMENTO B (mV)	VOLTAJE ENTRE LOS COMPARTIMENTOS A-B (mV)	CORRIENTE ENTRE LOS COMPARTIMENTOS A-B (μA)
0 gramos	30				
	40				
	60				
	120				
	150				
	180				
	240				
	300				
	360				
420					
Promedio					
Desviación estándar					
Rango de confianza					

- 1) Sin modificar el sistema anterior, disuelva 0,2 gramos de sal en 10 gramos de agua en un vaso plástico por aparte y agregue esta mezcla al compartimento A y llene la siguiente tabla.

Tabla 2 compartimento A con 0,2 gramos de sal (membrana biológica con orificios)

MASA Na ⁺ Cl ⁻ en compartimiento A	TIEMPO (segundos)	VOLTAJE EN COMPARTIMENTO A (mV)	VOLTAJE EN COMPARTIMENTO B (mV)	VOLTAJE ENTRE LOS COMPARTIMENTOS A-B (mV)	CORRIENTE ENTRE LOS COMPARTIMENTOS A-B (μA)
0,2 gramos	30				
	40				
	60				
	120				
	150				
	180				
	240				
	300				
	360				
420					
Promedio					
Desviación estándar					
Rango de confianza					

- 2) Sin modificar el sistema anterior, disuelva 0,2 gramos de sal en 10 gramos de agua en un vaso plástico por aparte y agregue esta mezcla en el compartimento A y llene la siguiente tabla

Tabla 3 compartimento A con 0,4 gramos de sal (membrana biológica con orificios)

MASA Na ⁺ Cl ⁻ en compartimento A	TIEMPO (segundos)	VOLTAJE EN COMPARTIMENTO A (mV)	VOLTAJE EN COMPARTIMENTO B (mV)	VOLTAJE ENTRE LOS COMPARTIMENTOS A-B (mV)	CORRIENTE ENTRE LOS COMPARTIMENTOS A-B (μA)
0,4 gramos	30				
	40				
	60				
	120				
	150				
	180				
	240				
	300				
	360				
420					
Promedio					
Desviación estándar					
Rango de confianza					

- 3) Sin modificar el sistema anterior, disuelva 0,2 gramos de sal en 10 gramos de agua en un vaso plástico por aparte y agregue esta mezcla en el compartimento A y llene la siguiente tabla

Tabla 4 compartimento A con 0,6 gramos de sal (membrana biológica con orificios)

MASA Na ⁺ Cl ⁻ en compartimento A	TIEMPO (segundos)	VOLTAJE EN COMPARTIMENTO A (mV)	VOLTAJE EN COMPARTIMENTO B (mV)	VOLTAJE ENTRE LOS COMPARTIMENTOS A-B (mV)	CORRIENTE ENTRE LOS COMPARTIMENTOS A-B (μA)
0,6 gramos	30				
	40				
	60				
	120				
	150				
	180				
	240				
	300				
	360				
420					
Promedio					
Desviación estándar					
Rango de confianza					

- 4) Sin modificar el sistema anterior, disuelva 0,2 gramos de sal en 10 gramos de agua en un vaso plástico por aparte y agregue esta mezcla en el compartimento A y llene la siguiente tabla

Tabla 5 compartimento A con 0,8 gramos de sal (membrana biológica con orificios)

MASA Na ⁺ Cl ⁻ en compartimento A	TIEMPO (segundos)	VOLTAJE EN COMPARTIMENTO A (mV)	VOLTAJE EN COMPARTIMENTO B (mV)	VOLTAJE ENTRE LOS COMPARTIMENTOS A-B (mV)	CORRIENTE ENTRE LOS COMPARTIMENTOS A-B (μA)
0,8 gramos	30				
	40				
	60				
	120				
	150				
	180				
	240				
	300				
	360				
420					
Promedio					
Desviación estándar					
Rango de confianza					

- 5) Sin modificar el sistema anterior, disuelva 0,2 gramos de sal en 10 gramos de agua en un vaso plástico por aparte y agregue esta mezcla en el compartimento A y llene la siguiente tabla

Tabla 6 compartimento A con 1,0 gramos de sal (membrana biológica con orificios)

MASA Na ⁺ Cl ⁻ en compartimento A	TIEMPO (segundos)	VOLTAJE EN COMPARTIMENTO A (mV)	VOLTAJE EN COMPARTIMENTO B (mV)	VOLTAJE ENTRE LOS COMPARTIMENTOS A-B (mV)	CORRIENTE ENTRE LOS COMPARTIMENTOS A-B (μA)
1,0 gramos	30				
	40				
	60				
	120				
	150				
	180				
	240				
	300				
	360				
420					
Promedio					
Desviación estándar					
Rango de confianza					

- 6) Sin modificar el sistema anterior, disuelva 0,2 gramos de sal en 10 gramos de agua en un vaso plástico por aparte y agregue esta mezcla en el compartimento A y llene la siguiente tabla

Tabla 7 compartimento A con 1,2 gramos de sal (membrana biológica con orificios)

MASA Na ⁺ Cl ⁻ en compartimento A	TIEMPO (segundos)	VOLTAJE EN COMPARTIMENTO A (mV)	VOLTAJE EN COMPARTIMENTO B (mV)	VOLTAJE ENTRE LOS COMPARTIMENTOS A-B (mV)	CORRIENTE ENTRE LOS COMPARTIMENTOS A-B (μA)
1,2 gramos	30				
	40				
	60				
	120				
	150				
	180				
	240				
	300				
	360				
	420				
Promedio					
Desviación estándar					
Rango de confianza					

- 7) Realice la gráfica de (voltaje en A, voltaje en B y voltaje entre A-B) vs tiempo para cada una de las tablas anteriores.
- 8) Realice la gráfica de corriente entre A-B.

LECTURA ANEXA

El flujo de sustancias de un compartimento a otro puede realizarse a favor o en contra de un gradiente, ya sea de concentración, electroquímico. Si el intercambio de sustancias se realiza a favor del gradiente, esto es, en el sentido de los potenciales decrecientes, el requerimiento de energía externo al sistema es nulo; si, en cambio, el transporte se hace en contra del gradiente, se requiere el aporte de energía, energía metabólica en este caso. Si la sustancia a transportar posee una carga neta, difundirá no sólo en respuesta a un gradiente de concentración, sino también al potencial de membrana, esto es, al gradiente electroquímico.

Consideremos dos compartimentos A y B separados por una membrana semipermeable, lo que significa que permite el paso de algunas sustancias por difusión. La cual depende de: gradientes de concentración; coeficiente de permeabilidad de la membrana a los solutos; área de la membrana por donde difunden los solutos; y leyes de Fick de la difusión. Esta difusión se hace con el ánimo de alcanzar un estado homogéneo en el que en cualquier punto de la solución, la concentración sea la misma. Pero los solutos deben ser eléctricamente neutros. Qué ocurre cuando iones eléctricamente cargados como el Na^+ , Cl^- intentan pasar la membrana celular, sucede que las cargas ejercen una fuerza extra sobre el movimiento de los solutos, una de esas fuerzas es el gradiente electroquímico que deriva de las diferencias de concentración de la sustancia a ambos lados de una membrana y otra es el campo eléctrico a través de la membrana. Cuando la diferencia de potencial eléctrico se establece se alcanza un equilibrio en el cual existe una diferencia de potencial constante, llamado potencial Donnan.

El equilibrio Gibbs-Donnan es el equilibrio que se produce entre los iones que pueden atravesar la membrana y los que no son capaces de hacerlo. Las composiciones en el equilibrio se ven determinadas tanto por las concentraciones de los iones como por sus cargas.

El objeto de estudio son partículas cargadas eléctricamente, que no se difunden a través de una membrana semipermeable; cuando estas partículas están presentes en un compartimento fluido como el vascular, atraen los iones cargados positivamente y repelen los iones cargados negativamente. Como consecuencia de ello, se establece un gradiente eléctrico de concentración de iones.

Mecanismos fisiológicos en la distribución asimétrica de iones en la membrana celular.

La desigualdad en la concentración de distintos iones, básicamente Na^+ , K^+ , y Cl^- , genera un gradiente electroquímico que origina una diferencia de potencial a través de la membrana celular. Cómo es posible que iones de igual carga, por ejemplo Na^+ y K^+ , produzcan una diferencia de potencial?, ¿por qué se distribuyen de forma asimétrica a ambas partes de la membrana?, ¿por qué diferentes concentraciones iónicas dan lugar a la aparición de una diferencia de potencial eléctrico? (J. Pastor 2000)

“Estos gradientes, a su vez, son la fuerza motriz para cada especie iónica, que tiende a moverse siempre (generando, por lo tanto corrientes) hacia su potencial de equilibrio. No obstante, deben existir mecanismos encargados de la generación de estos estados asimétricos”. (J. Pastor 2000)

A nivel microscópico el principio de neutralidad presenta pequeñas desviaciones las cuales son suficientes para generar los gradientes necesarios para el establecimiento de los flujos iónicos.

Potenciales de Gibbs-Donnan

En dos compartimentos separados por una membrana permeable, al ion K^+ . En ambos compartimentos se disuelve ClK y en uno de ellos que consideraremos el interno hay un soluto de carga negativa no difusible (A^-). El principio de neutralidad implica que las concentraciones, tanto en el compartimento exterior(o) como en el interior (i), serán:

$$[K^+]_o = [Cl^-]_o$$

$$[K^+]_i = [Cl^-]_i + [A^-]$$

Ecuación 1

El K^+ se moverá a favor de su gradiente de concentración, pero para conservar la electroneutralidad se verá acompañado de ion Cl^- , lo que va a originar una fuerza electromotriz debida a la acumulación de aniones que tiende a compensar el gradiente de concentración de K^+ , así, cuando ambos gradientes de signo opuesto se equilibren, las concentraciones serán: (J. pastor 2000)

$$\frac{[K^+]_o}{[K^+]_i} = \frac{[Cl^-]_i}{[Cl^-]_o}$$

Y sustituyendo por los valores de $[K^+]_i$ y $[K^+]_o$ obtenidos en la ecuación 1 se obtiene:

$$[K^+]_i = \left(\frac{[K^+]_o^2}{[K^+]_i} \right) + [A^-]$$

Ecuación 2

A partir de esta ecuación puede demostrarse que

$$[K^+]_i > [K^+]_o \text{ y } [Cl^-]_o > [Cl^-]_i$$

Ecuación 3

Es decir, la presencia de los cationes no difusibles, junto con la existencia de una membrana semipermeable, es suficiente para crear una asimetría en la concentración de iones.

Difusión de un ion en una solución acuosa

Dos soluciones iónicas separadas por una membrana de grosor d (cm) y asumiendo que no hay ningún gradiente de concentración, sino solo un campo eléctrico a través de dicha membrana, la densidad molar de flujo M_s para el ion considerado (s) será: (J. Pastor 2000).

$$M_s = -Z_s U_s C_s \frac{d\phi}{dx}$$

Ecuación 4

Donde

$\phi = \frac{U_r}{q}$ Potencial local de membrana, con U energía potencial eléctrica y q magnitud de la carga

C_s = concentración iónica.

U_s = movilidad del ion s

Z_s = carga del ion considerado s

Si multiplicamos la ecuación 4 por la carga eléctrica y la constante (F) de Faraday obtendremos la densidad de corriente J_s

$$J_s = -Z_s^2 F U_s C_s \frac{E}{d} \quad \text{Hacer el procedimiento para obtener esta ecuación}$$

Ecuación 5

Se ha supuesto además, que, el campo eléctrico es constante a través de la membrana y que está definido:

$$E = -\nabla\phi \quad \text{En qué forma está definido éste campo eléctrico}$$

Ecuación 6

También podemos ver que $\frac{d\phi}{dx} = \frac{E}{d}$ implica ésta ecuación alguna relación entre el campo eléctrico y la densidad de corriente. Explíquela

La cantidad $Z_s F U_s$ que nombre recibe y que unidades tiene cada uno de sus componentes.

La movilidad de un ion en un fluido es igual a su coeficiente de difusión D_s , lo cual indica su facilidad para moverse en un medio. La relación entre U_s y D_s fue descrita por Nernst- Einstein como:

$$D_s = \frac{KT}{f_s} = \frac{RT}{F} U_s$$

Ecuación 7

Se observa que la difusión es directamente proporcional a la agitación térmica e inversamente proporcional a la fricción f_s [N], siendo k la constante de Boltzmann ($K= 1.3803 \times 10^{-16}$ erg/k), R representa la constante universal de los gases (8.3144 J/ kg.mol.C) y T la temperatura (k). (J. Pastor 2000)

En general el flujo iónico es proporcional a la fuerza que lo produce. Y esta relación esta descrita por la ley de Fick. Qué dicen la leyes de Fick

Considerando la concentración química como fuerza motriz el flujo de materia J_s^q será:

$$J_s^q = -Z_s F D_s \frac{\partial C_s}{\partial x}$$

Ecuación 8

La combinación de esta ecuación con la ley de ohm ecuación 5 y la relación de movilidad y el coeficiente de difusión da lugar a la expresión conocida como ecuación de Nernst-Planck.

$$J_s = -Z_s F D_s \left(\frac{dC_s}{dx} + C_s \frac{Z_s F}{RT} \frac{d\phi}{dx} \right)$$

Ecuación 9

Esta igualdad es primordial para entender el origen de los biopotenciales en el sistema nervioso. Manifiesta la aditividad de los movimientos de difusión y electroforético, o sea, rige la conducta electroquímica de un ion en la solución y su desarrollo nos permite hallar el potencial de equilibrio iónico. (J. Pastor 2000).

Para ello se impone la condición de equilibrio $J_s = 0$

$$J_s = 0 = \frac{dC_s}{dx} + C_s \frac{Z_s F}{RT} \frac{d\phi}{dx}$$

Entonces

$$\frac{d\phi}{dx} = - \frac{RT}{Z_s} \frac{dc_s}{dx}$$

Ecuación 10

Si integramos esta última ecuación entre los límites del potencial intracelular ϕ_i y el potencial extracelular ϕ_o y C_s^i (concentración intracelular) y C_s^o (concentración extracelular):

$$\int_{\phi_i}^{\phi_o} d\phi = \frac{RT}{Z_s} \int_{C_s^i}^{C_s^o} \frac{dC_s}{C_s}$$

Entonces se obtendrá

$$\phi_o - \phi_i = E_s = \frac{RT}{Z_s F} \ln \frac{C_s^o}{C_s^i}$$

Ecuación 11

Donde E_s es el potencial de equilibrio del ion S en la disolución.

Potencial de difusión

Se da por la distinta velocidad a la que difunden iones diferentes a través de una membrana, debido a la diferente movilidad (U) de cada especie iónica. Ambas especies iónicas difunden con una

velocidad intermedia en la que, el coeficiente de difusión de Fick para ambos iones (D_{\pm}) considerados en conjunto, es: (J. Pastor 2000).

$$D_{\pm} = -U_{\pm} RT$$

Ecuación 12

En general, la cuantía de este potencial es menos significativa que el resto de los mecanismos implicados en la génesis del potencial de reposo.

Potencial de reposo

Cómo, a partir de estos potenciales de equilibrio para los diferentes iones fundamentalmente Na^+ , Cl^- y K^+ se genera el potencial de reposo (E_r). Sabemos que hay mayor concentración de sodio y cloro extracelularmente y que hay mayor concentración de potasio interiormente; Los iones significativos en la génesis del potencial E_r están distribuidos de forma similar a como se distribuyen sus concentraciones entre el intersticio y la célula. Partiendo de estas premisas y que también el campo eléctrico variaba de forma constante a través de la membrana se tiene que: (J : Pastor 2000).

$$\frac{E}{d} = - \frac{d\phi}{dx}$$

Que explica el valor del potencial de reposo en función de las diferentes concentraciones iónicas a ambos lados de la membrana, así como de acuerdo con la permeabilidad relativa de la membrana a cada ion.

Potencial de superficie

Este potencial explica el marcado efecto que algunos iones por ejemplo el Ca^{+2} o Mg^{+2} tienen sobre la funcionalidad de la membrana. Ya que en la superficie la concentración es entre 50 y 10^5 veces mayor que en el interior de la célula. Una aproximación para calcular el potencial de superficie es:

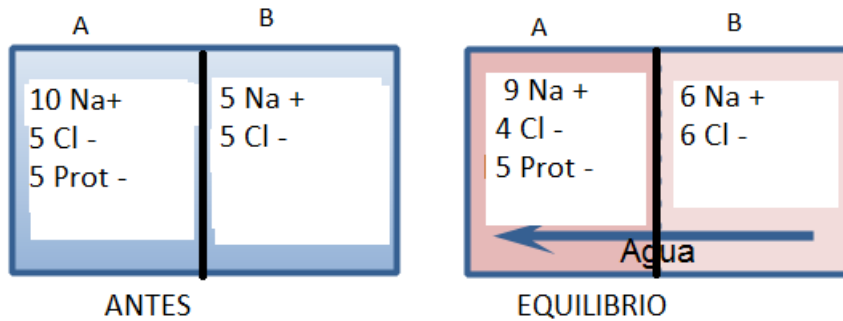
$$\phi(x) = \frac{4\pi\sigma}{\epsilon} \delta_r + \phi_d e^{-kt}$$

Ecuación 13

Donde σ representa la densidad superficial de carga negativa, ϵ la constante dieléctrica del medio, δ_r el grosor de la membrana, ϕ_d la variación de potencial local y k un parámetro que describe la curvatura del potencial (J. Pastor 2000).

EQUILIBRIO GIBBS-DONNAN ENTRE EL PLASMA Y EL INTERSTICIO.

Una forma de definirlo es distribuir iones en forma distinta no solamente por una diferencia de concentración sino por diferencias electro y químicas hasta que se llegue a un equilibrio electroquímico, o sea, la fuerza electroquímica de un lado debe ser igual a la fuerza electroquímica del otro, así la química de un lado sea diferente a la química del otro lado.



Condiciones de Gibbs-Donnan en el equilibrio entre el plasma y el intersticio.

De las partículas que tienen la capacidad de pasar la membrana sodio y cloro en nuestro ejemplo. El producto de las concentraciones de los iones difusibles de $\text{Na}^+ \times \text{Cl}^-$ en el compartimento A debe ser igual al producto de las concentraciones de iones difusibles de $\text{Na}^+ \times \text{Cl}^-$ en el compartimento B.

La concentración de cationes en el equilibrio era ligeramente mayor del lado donde se haya las proteínas.

La concentración de aniones que puede atravesar la membrana era mayor del lado donde se haya menos concentradas las proteínas.

Principio de Electro-neutralidad: En cada compartimento el número total de cargas positivas debe ser igual al número total de cargas negativas y el resultado neto debe dar cero tanto en A como en B en el equilibrio.

El número de partículas osmóticamente activas es mayor en el equilibrio del lado donde se encuentran las proteínas. Esto significa la tendencia del agua a moverse por osmosis de B hacia A.

Entre el plasma y el intersticio las condiciones de Gibbs-Donnan siempre se cumplían.

Sería que las condiciones de equilibrio Gibbs-Donnan también se verificarían entre el intersticio el cual posee una concentración menor de proteínas respecto a la concentración de proteínas dentro de la célula?

Intersticio vs Célula

Al hacer cuantiosas investigaciones se encontró por ejemplo que las concentraciones de Na^+ eran mayores en el intersticio que dentro de la célula, lo cual no cumplía las condiciones de equilibrio de Gibbs-Donnan. Se encontró también que las concentraciones de K^+ eran mayores dentro de la célula que en el intersticio lo cual si cumple con nuestras condiciones de equilibrio, también se encontró que las concentraciones de Cl^- eran mayores en el intersticio que en la célula lo cual cumple las condiciones de equilibrio de Gibbs-Donnan. Pero también se encuentra que las concentraciones de fosfatos (PO_4) eran mayores en la célula que en el intersticio lo mismo que las concentraciones de los sulfatos (SO_4), y esto no cumple con las condiciones de equilibrio de Gibbs-Donnan entre el intersticio y el interior de la célula. Por lo tanto se concluye que entre el intersticio y la célula no se

cumple el equilibrio Gibbs-Donnan. Ya que para algunos cationes si se cumplía el equilibrio Gibbs-Donnan y para algunos aniones no se cumplía dicho equilibrio. A qué se debe que se haya roto este equilibrio?.

Si asumimos que el intersticio es nuestro compartimento B y el interior de la célula es el compartimento A de nuestro ejemplo, entonces por osmosis el agua está entrando de B hacia A, pero si se permite el ingreso de agua sin ningún tipo de control la célula estallaría; Entonces la célula debe utilizar bombas primarias como las bombas de $\text{Ca}^{+2}/\text{Mg}^{+2}$ -ATPasa, K^+/H^+ -ATPasa, HCO_3/Cl^- -ATPasa y, la más conocida, Na^+/K^+ -ATPasa. Para que igualen las concentraciones tanto en el intersticio como en el interior celular. Estas bombas buscan sacar partículas osmóticamente activas desde el interior de la célula hacia el intersticio con el fin de que la célula no se dematice, como se mencionó anteriormente para que este equilibrio Gibbs-Donnan no se cumpla la célula utiliza bombas e intercambiadores los cuales son el principal sistema por el cual los sistemas biológicos generan las diferencias de concentración de diversas especies iónicas, imprescindibles para la génesis de biopotenciales, esta capacidad que tiene la célula de regular su contenido de solutos depende de lo que llamamos mecanismos de regulación del volumen celular.

Se puede concluir entonces que el equilibrio Gibbs-Donnan no se puede dejar cumplir entre el intersticio y la célula ya que esta moriría. (www.youtube.com/watch?v=ByyQLM48_YE).

Bibliografía

www.youtube.com/watch?v=ByyQLM48_YE

J. Pastor Rev Neurol 2000