

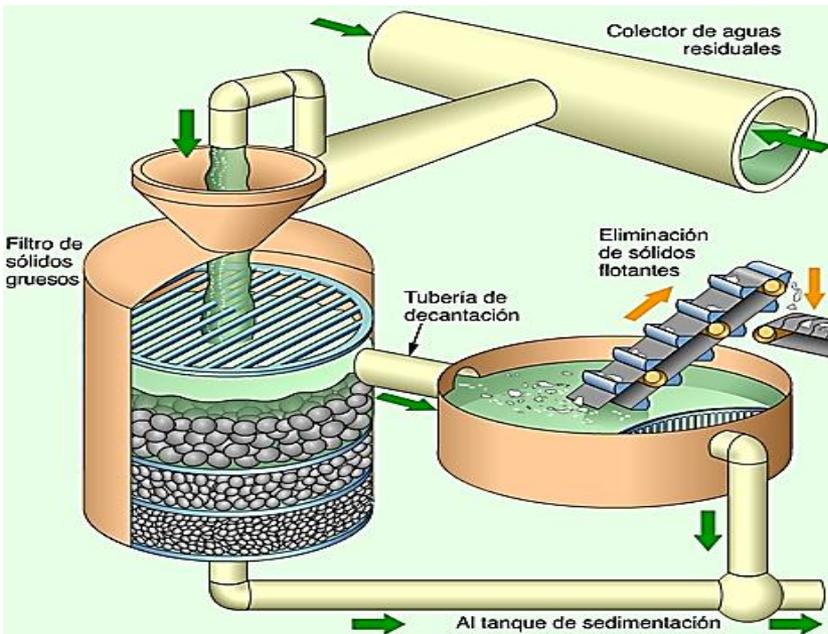
FENÓMENOS ELECTROKINÉTICOS

Quando una de las fases se pone en movimiento con respecto a la otra, se producen movimientos interfaciales que se conocen como **fenómenos electrocinéticos**.

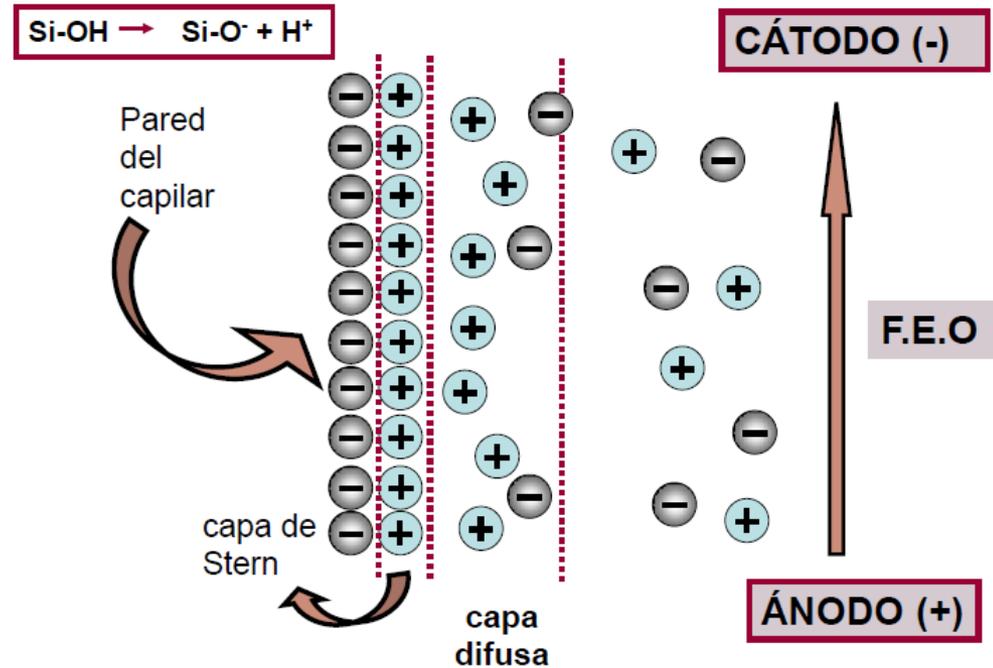
Los fenómenos electrocinéticos más importantes que tienen lugar con aplicaciones: **electroforesis**, **electroósmosis**, potencial de **sedimentación** y potencial de **flujo**.

Estos fenómenos se conocen en la práctica como los **4 procesos unitarios** de la Electroquímica.

Ejemplo de proceso químico



Ejemplo de proceso electrocinético



En la ingeniería de procesos, una **operación unitaria** es un paso básico en un proceso global. Las operaciones unitarias implican un cambio físico o transformación química, como separación, cristalización, evaporación, filtración, polimerización, isomerización y otras reacciones.

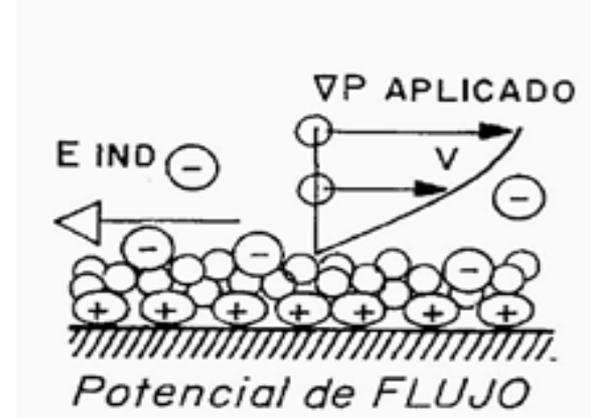
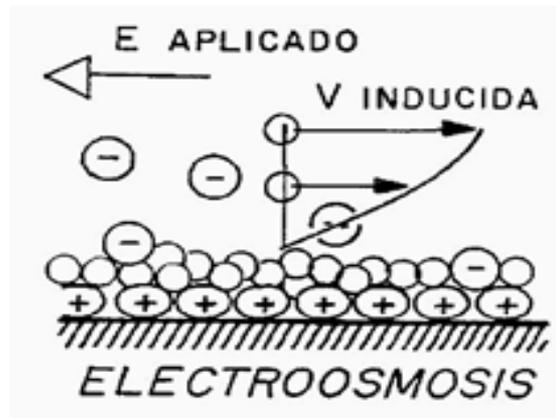
FENÓMENOS ELECTROCINÉTICOS

Los *fenómenos electrocinéticos* que corresponden al caso de una **interfase estacionaria** cerca de la cual puede moverse un fluido, por ejemplo, un medio poroso o un tubo capilar son:

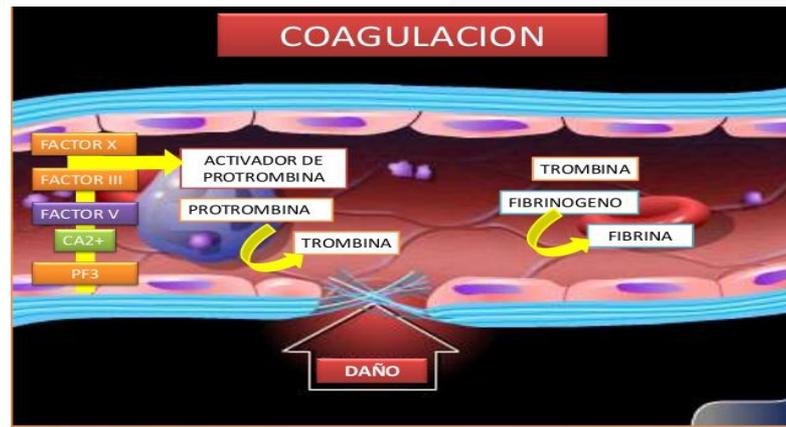
electroósmosis y **potencial de flujo**.

- Si se aplica un campo eléctrico paralelo a la interfase en esa región, se produce una fuerza neta sobre el fluido de la doble capa, generando un fenómeno llamado **ELECTRO-OSMOSIS**.
- Inversamente si se fuerza el movimiento del fluido de la doble capa, la deslocalización de carga resultante induce un campo eléctrico generando un **POTENCIAL DE FLUJO**.

La **Electroósmosis** es el deslizamiento de fluidos sobre la doble capa, mientras un campo eléctrico empuja a la nube iónica de apantallamiento



El flujo *electroosmótico* ocurre cuando una fase se mueve con respecto a otra adjunta y en general se mueve a través de los poros o capilares de un sólido bajo la influencia de un campo eléctrico externo.



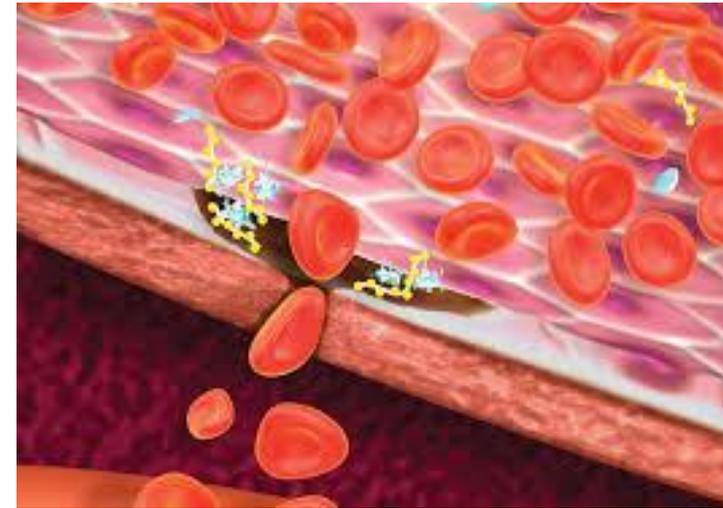
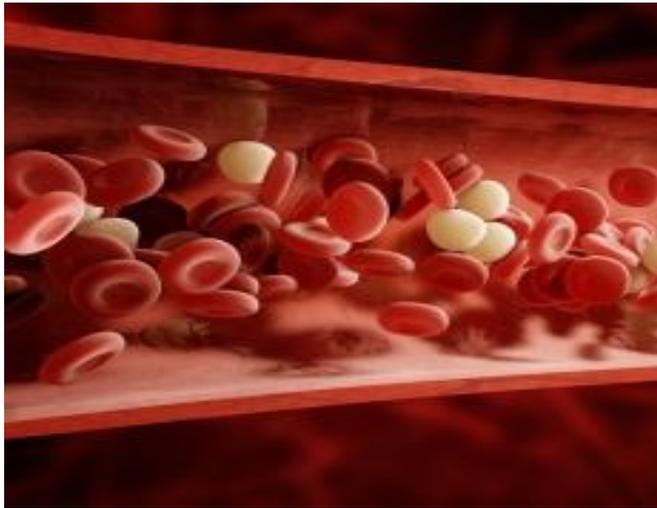
Coagulación de la Sangre

Se denomina **coagular** al proceso por el cual un líquido pierde su fluidez convirtiéndose en un gel dando lugar a un **coágulo**. En la sangre este proceso desemboca en la **hemostasis**, es decir, en el cese de la pérdida de sangre desde un vaso dañado, seguida por su reparación.

El mecanismo de coagulación involucra la **activación**, **adhesión** y **agregación plaquetaria**, junto con el depósito y maduración de la **fibrina**.

Lo que concierne a este *Curso* es la separación del coágulo accionado por el daño y la diferencia de presión lo cual induce una diferencia de potencial (**potencial de flujo**), y el concerniente flujo de partículas cargadas.

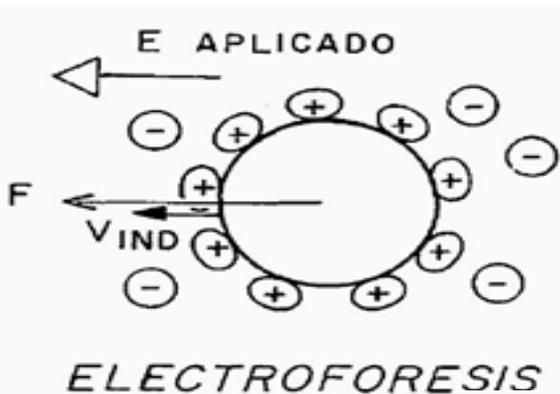
Los coágulos sanguíneos son masas semisólidas de sangre que pueden permanecer estacionarias (**trombosis**) y bloquear el flujo sanguíneo, o desprenderse (**embolia**) y viajar a varias partes del cuerpo.



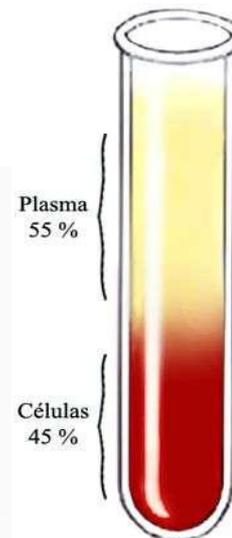
FENÓMENOS ELECTROCINÉTICOS

Los **fenómenos electrocinéticos** que corresponden al caso de una **interfase** susceptible a **desplazarse** para un fluido estacionario son **electroforesis** y **potencial de sedimentación**. Como por ejemplo la de una partícula de tamaño coloidal o de una micro-gota de un fluido inmiscible.

- Al aplicar un campo eléctrico a una suspensión coloidal, se produce un movimiento de las partículas respecto de una solución estática (fase dispersante no cargada) llamado **ELECTROFORESIS**.
- Al desplazarse partículas cargadas en un campo de fuerzas (gravedad natural o artificial), se genera un campo eléctrico correspondiente al **POTENCIAL DE SEDIMENTACION**.



Potencial de sedimentación generado por centrifugación.



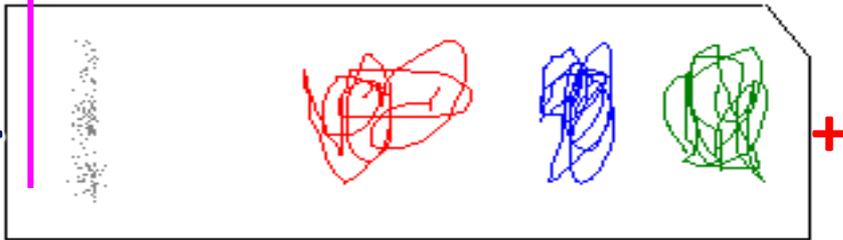
| Componentes | Funciones |
|-----------------------|---|
| Agua | Solvente para transportar sustancias |
| Sales | Balance osmótico, regulación de pH (Na^+ , K^+ , Ca^{++} , Mg^{++} , Cl^- , HCO_3^{--}) y permeabilidad de membrana |
| Proteínas plasmáticas | Balance osmótico (albúmina), coagulación (fibrinógeno), defensa (inmunoglobulinas) |
| Eritrocitos | Transporte de O_2 y CO_2 |
| Leucocitos | Intervienen en la defensa contra las infecciones |
| Plaquetas | Intervienen en la hemostasia |
| Nutrientes | Glucosa, ácidos grasos, vitaminas, hormonas, productos metabólicos |

FUNDAMENTO DE LA ELECTROFORESIS

La electroforesis clásica data de **Tiselius** en 1937. Se aplican altos voltajes y se genera una **migración electroforética** que es la movilidad de la macromolécula bajo campo eléctrico unidad.



Aplicación o sembrado



Estudia la migración de las partículas coloidales en el seno de un campo eléctrico

$$\vec{v} = u \vec{E}$$

Separa los diferentes elementos que componen una mezcla compleja en función de la relación entre la carga eléctrica y la masa de los mismos

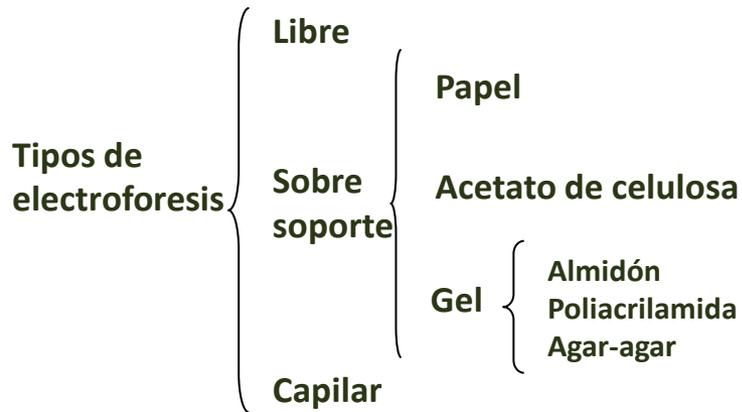
La migración de cada partícula depende de la carga eléctrica de los coloides, la intensidad del campo eléctrico y el coeficiente de fricción de las moléculas con el medio con la fase dispersante estacionaria.

APLICACIÓN DE LA ELECTROFORESIS

- Fraccionamiento de las hemoglobinas
- Diferenciación de la hemoglobina fetal
- Diagnóstico de talasemias, anemias falciformes, etc

- Proteínas séricas y urinarias
- Lipoproteínas
- Ácidos nucleicos
- Enzimas
- Inmunolectroforesis

TIPOS DE ELECTROFORESIS

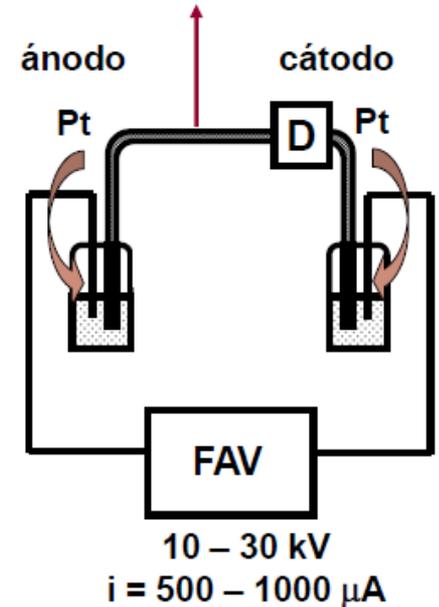


Electroforesis Capilar.

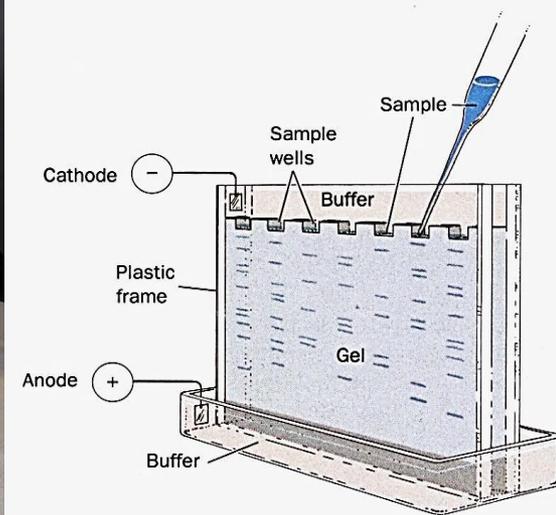
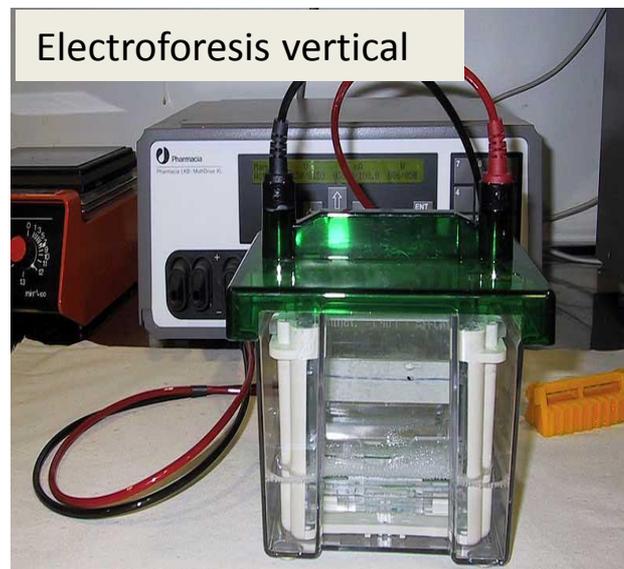
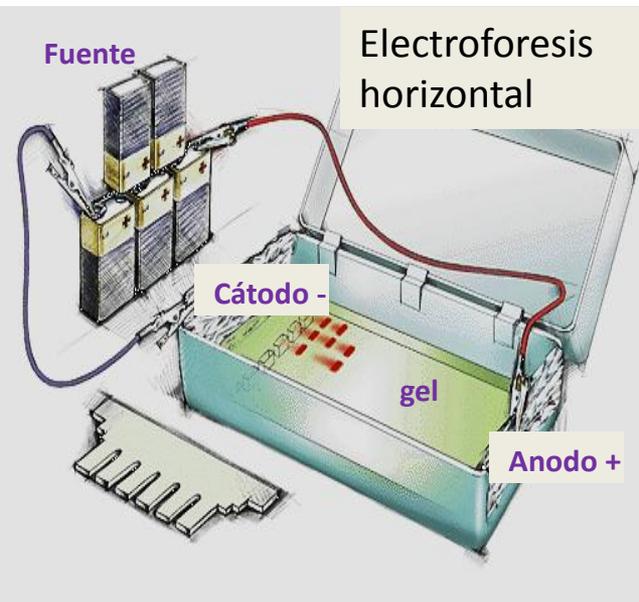
Emplea como celda con capilares (20-200 μm) que contienen amortiguadores donde ocurre la separación electroforética de los componentes. Utiliza un campo eléctrico muy alto ($\sim 60 \text{ kV/m}$) y poco volumen de muestra. Combina electroósmosis y electroforesis.

Electroforesis Capilar

Sílice fundida/poliimida, vidrio 50 cm longitud y 50 μm d.i.



Esquema básico de una electroforesis



Electroforesis

Es importante tener una medida cuantitativa de dicho proceso. Para ello consideremos los procesos que tienen lugar antes de la aplicación del campo eléctrico a nuestra solución (suspensión) coloidal.

Cuando una partícula coloidal está realizando un movimiento al azar, queda sometida a la fuerza de rozamiento viscoso ejercida por la solución (*Ley de Stokes*).

$$\vec{F}_{vis\ cos\ a} = C \pi \mu r_{difusa} \vec{v}$$

donde r_{dif} es el radio de la capa difusa, μ es el coeficiente de viscosidad dinámico de la solución, v es la velocidad que experimenta la partícula al moverse sin aceleración y C es el factor que surge de considerar la forma del coloide: **6** para una esfera y **4** para un cilindro con el eje paralelo a la dirección del campo eléctrico.

Cuando se aplica un campo eléctrico exterior, E , la fuerza eléctrica es;

$$\vec{F}_{electrica} = q_{difusa} \vec{E}$$

Se considera como fenómeno electroforético al movimiento de un coloide en un medio continuo, el potencial eléctrico que responde a este movimiento sería entre la capa más externa de la doble capa difusa y la solución. A este potencial lo llamamos anteriormente **potencial zeta** ζ de origen difusional.

$$\zeta = q_{difusa} / \epsilon \epsilon_o (r_{difusa} + r_{coloide})$$

Sustituyendo

$$\vec{F}_{electrica} = \zeta \epsilon \epsilon_o (r_{difusa} + r_{coloide}) \vec{E}$$

Cuando el coloide alcanza la velocidad correspondiente al **estado estacionario** hay que igualar ambas fuerzas, alcanzándose una velocidad de estado estacionario.

Electroforesis

$$C \pi \mu r_{difusa} \vec{v} = \zeta \epsilon \epsilon_o (r_{difusa} + r_{coloide}) \vec{E} \quad \text{estado estacionario}$$

Tomando en consideración que el **espesor de la capa difusa del coloide** es mucho mayor que el del propio coloide, despreciamos el radio del coloide y obtenemos la velocidad de estado estacionario y su correspondiente **movilidad electroforética**:

$$\vec{v}_{est.est.} = \frac{\zeta \epsilon \epsilon_o \vec{E}}{C \pi \mu}$$

$$\vec{v} = u \vec{E}$$

$$u_{est.est.} = \frac{\zeta \epsilon \epsilon_o}{C \pi \mu}$$

Para una esfera C=6

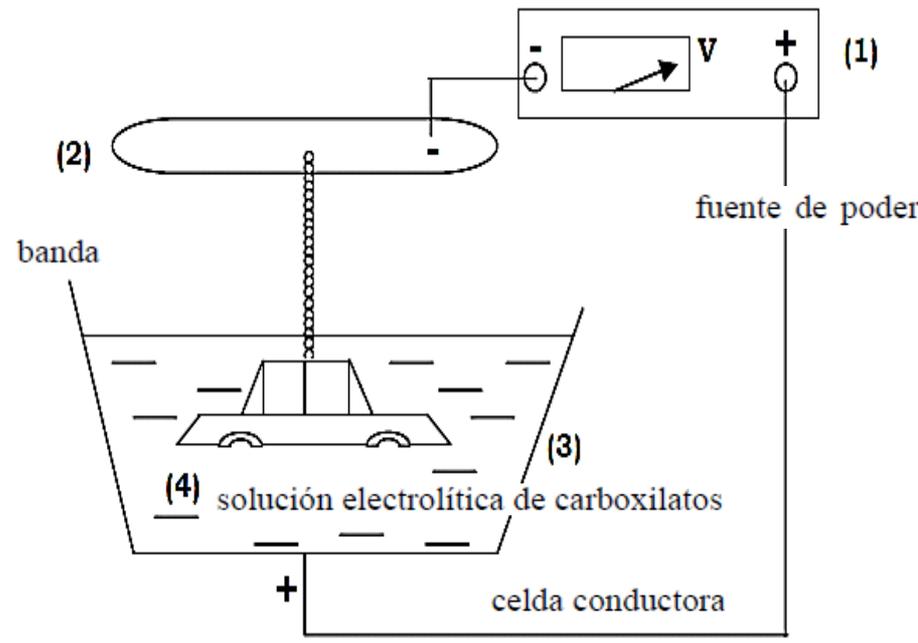
$$u_{est.est.} = \frac{\zeta \epsilon \epsilon_o}{6 \pi \mu}$$

Aplicaciones de Electroforesis en la Industria

En la industria la mas conocida es la **protección metálica cataforética**, o sea, electroforesis de partículas coloidales como las pinturas cargadas positivamente.

Las soluciones acuosas se obtienen de pinturas u otro tipo de **resinas de base epóxido** (insolubles en agua).

La solubilización acuosa ocurre por un tratamiento con aminas secundarias, con formación de un **aducto epoxi-aminado**, y luego disolviendo por adición de ácidos carboxílicos.



Protecciones metálicas cataforéticas

La electrodeposición catódica es un proceso de pintado por inmersión, basado en el desplazamiento de partículas cargadas dentro de un campo eléctrico hacia el polo de signo opuesto. **Cataforesis** es el desplazamiento hacia el **cátodo**.

- Se aplica únicamente a piezas metálicas por la necesidad de conducción eléctrica.
- Se consigue una película de pintura uniforme garantizándose un pintado correcto incluso en los interiores y cuerpos huecos.
- Se logra una protección anticorrosiva y resistencia a deformaciones mecánicas (doblado, impacto, golpes).
- Previamente a la electrodeposición, las piezas deben someterse a un tratamiento de desengrase y fosfatado que nos asegure el anclaje de la pintura sobre el metal.
- Posteriormente debe pasar por un horno que facilite la polimerización correcta para obtener garantía total de las prestaciones de la pintura.



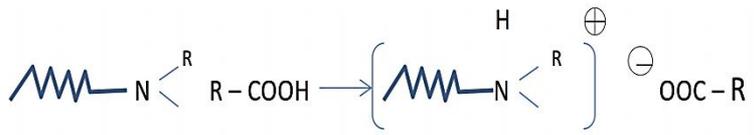
La pintura de **cataforesis** es una dispersión de resinas y pigmentos en medio acuoso con un contenido en disolventes orgánicos bajo (< 4%) y con tres componentes básicos:

Agua desmineralizada, Ligante catiónico, Pasta pigmentada

Protecciones metálicas cataforéticas

Ligante catiónico

Es una resina epoxi (o también acrílica) con grupos nitrogenados neutralizados con un ácido para solubilizarla:

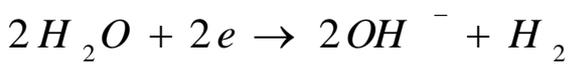


Esta cadena epoxi porta grupos OH –contribuye a la solubilidad en agua de la resina, y constituyen los puntos de reticulación a través de grupo isocianatos aromáticos. El ligante incluye además de la resina, disolventes como metoxipropanol, butilglicol, agua y fenoxipropanol. Su forma comercial es un líquido lechoso de baja viscosidad y un contenido en seco en torno al 35% medido a 105 °C durante 3 horas.

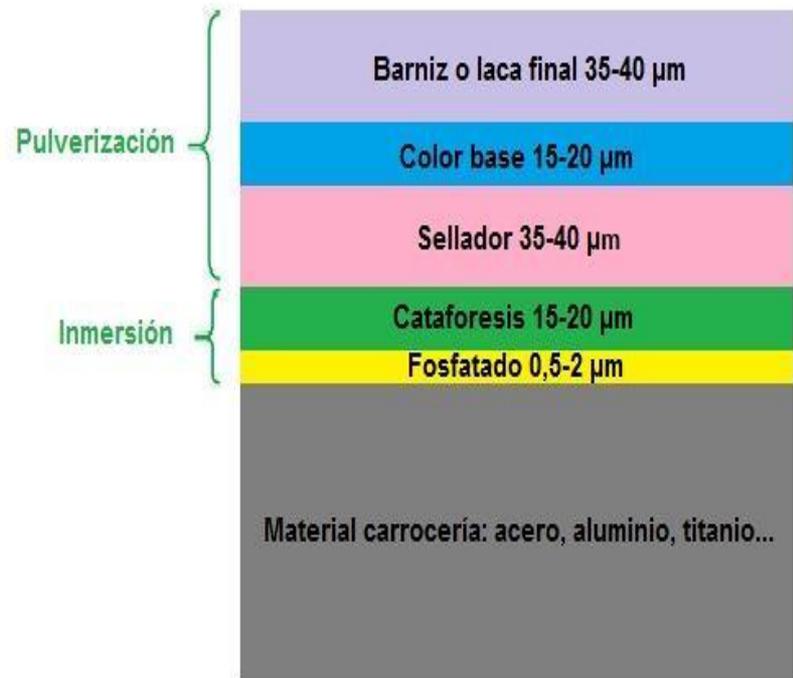
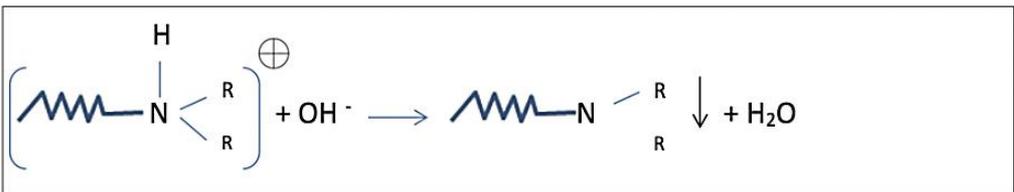


Reacciones en el cátodo

Electrolisis del agua



Electrocoagulación de la pintura



Protecciones metálicas cataforéticas

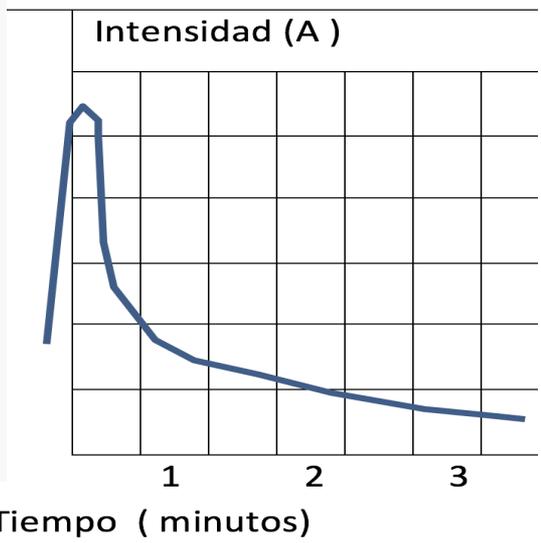
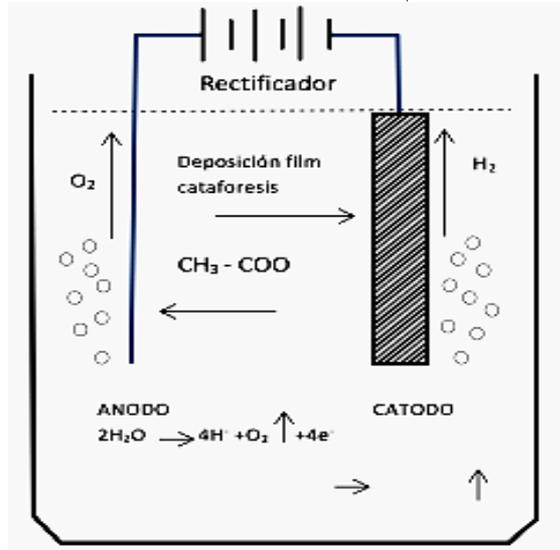
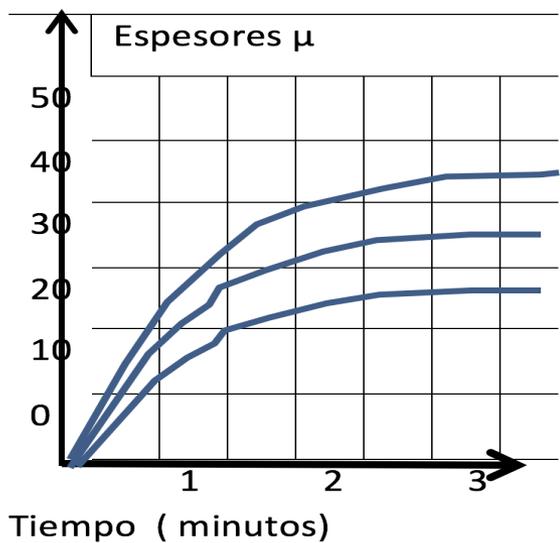
En la zona próxima al cátodo, a causa del aumento de concentración de iones hidroxilo provenientes de la electrólisis del agua, se produce un gran aumento del pH perdiendo estabilidad la dispersión de pintura y coagulando sobre la pieza metálica.

A medida que va coagulando la pintura, aumenta el espesor de la película depositada y por lo tanto su resistencia eléctrica, terminando la formación de ese *film* cuando ya no se alcanza la densidad mínima de corriente para la deposición.

El hidrógeno que se va produciendo en el cátodo por electrólisis del agua, atraviesa la capa de pintura que se depositando, permitiendo la continuidad del proceso entre el baño y cátodo.

Reacciones en el ánodo

Electrolisis del agua



Osmosis

Henri Dutrochet al trabajar con soluciones acuosas de diferente concentración, propuso los términos endosmosis y exosmosis, para describir este fenómeno de movimiento de fluidos. Debido a ello se lo considera su descubridor entre 1827 y 1832.

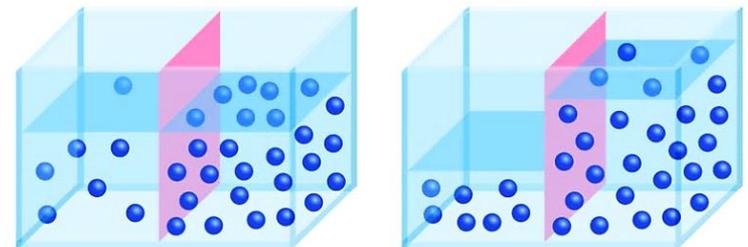
En 1854, **Thomas Graham** trabajó en sustancias coloidales y descubrió que no podían atravesar una membrana animal. Fue entonces cuando acuñó el término «**osmosis**» que significa 'empuje'. En 1884 **Hugo de Vries** trabajó en la plasmólisis y la turgencia de las células vegetales. En 1886 **Jacobus van't Hoff** publicó una analogía entre soluciones acuosas y los gases perfectos describiendo la termodinámica de la ósmosis. Estableció una ley, la **ley de la osmometría** y propuso el adjetivo «**semipermeable**» para designar membranas.

La **ósmosis** es un fenómeno físico relacionado con el movimiento del solvente o fase dispersante a través de una membrana semipermeable. Esto genera una difusión pura o difusión migratoria a través de la membrana, sin gasto de energía. La ósmosis del agua es el fenómeno biológico principal para el metabolismo celular de los seres vivos.



Jacobus Henricus van't Hoff
30 de agosto de 1852-
1 de marzo de 1911
Premio Nobel de Química (1901)

OSMOSIS



Osmosis

Cuando se tiene un dispositivo en el que un compartimiento contiene el solvente solamente como agua (o una solución mas diluida) y en el otro una solución con un soluto dado o una suspensión coloidal (más concentrado) separados por una membrana semipermeable, se observa el fenómeno descrito por **Van't Hoff**.

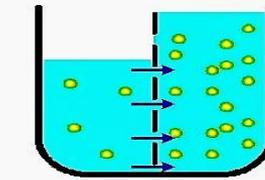
LEYES DE OSMOMETRÍA

La **presión osmótica** puede definirse como la presión que se debe aplicar a una solución para detener el flujo neto de disolvente a través de una membrana semipermeable. La presión osmótica es una de las **cuatro propiedades coligativas** de las soluciones.

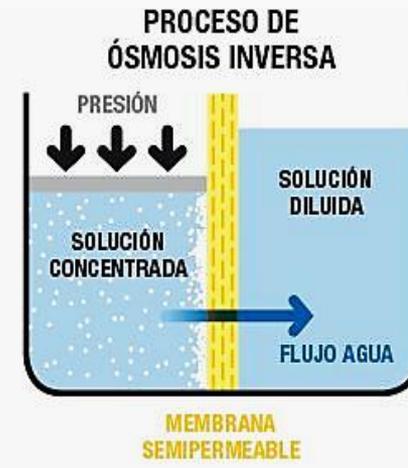
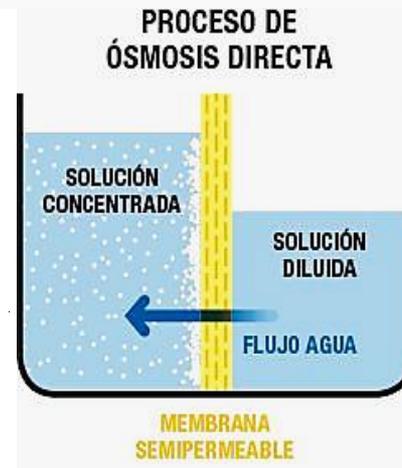
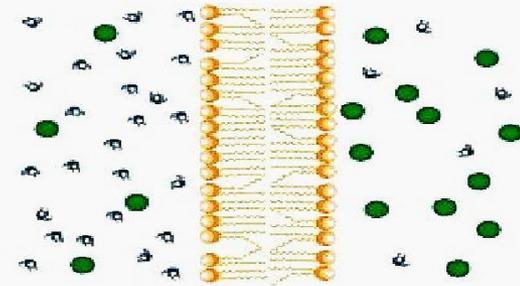
Primera ley : "A temperatura constante, la presión osmótica es directamente proporcional a la molaridad de la solución."

Segunda ley : "A una molaridad constante, la presión osmótica es directamente proporcional a la temperatura absoluta de la solución."

Membrana: osmosis



Osmosis
(Water moves by concentration gradient)



Para calcular la presión osmótica de soluciones diluidas, se utiliza la fórmula:

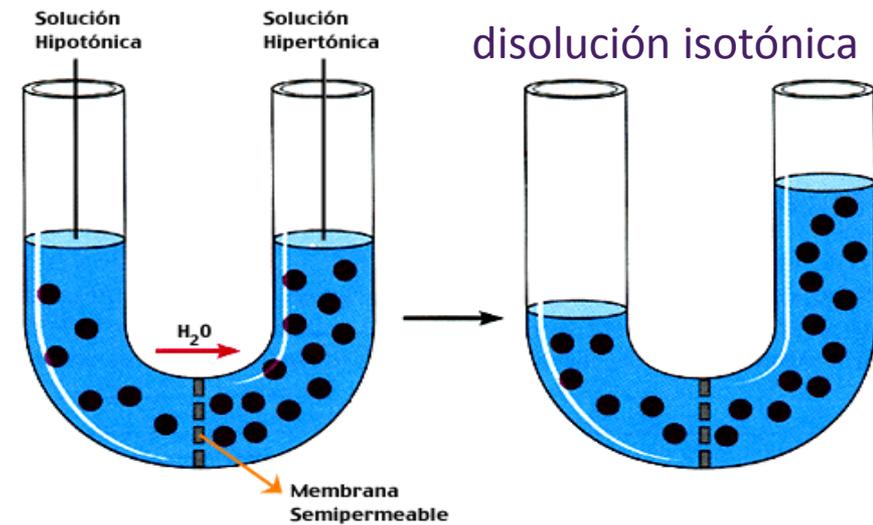
$$\Pi = MRT$$

siendo π : presión de la solución osmótica (atm), M : molaridad de la solución (mol/L), R : constante universal de los gases, T : temperatura absoluta de solución (K).

Osmosis

Las moléculas de agua atraviesan la membrana semipermeable desde la disolución de menor concentración, **disolución hipotónica**, a la de mayor concentración, **disolución hipertónica**.

Cuando el trasvase de agua iguala las dos concentraciones, las **disoluciones** reciben el nombre de **isotónicas**.



En los seres vivos, este movimiento del agua a través de la membrana celular puede producir que algunas células se arruguen por una **pérdida excesiva**, o bien que se **hinchén**, por un aumento también excesivo en el contenido celular de agua. Para evitar estas dos situaciones de graves desenlaces, las células poseen mecanismos para expulsar el agua o los iones mediante un transporte que requiere gasto de energía.

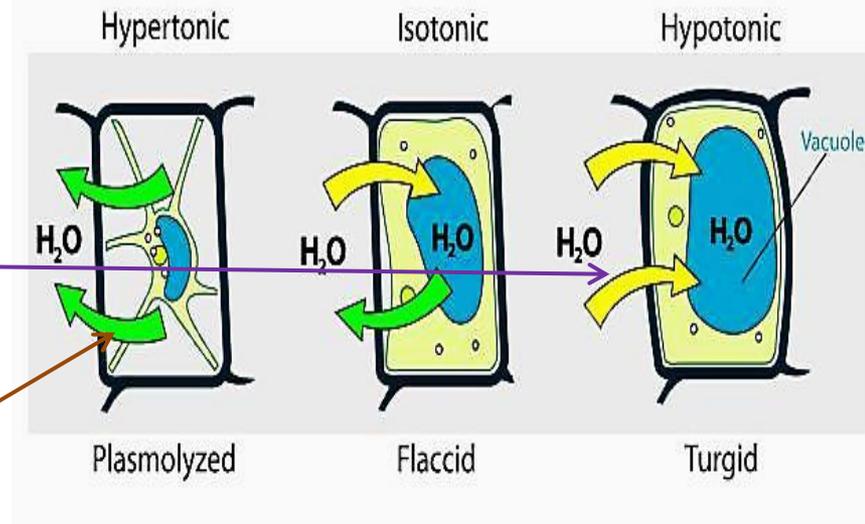
Las **membranas** de las células animales son **semipermeables**, por lo tanto, en un medio isotónico, el paso del agua en los dos sentidos se equilibra.

Si la célula se encuentra en un **medio hipotónico** tenderá a absorber agua hinchándose dando origen a la **citólisis** (con extremo de estallar).

Por el contrario, si la célula se encuentra en un **medio hipertónico**, el agua interior tenderá a salir, proceso denominado de **crenación** (con extremo de deshidratación).

Osmosis

- En el caso de las células vegetales y en presencia de un medio hipotónico la célula absorbe agua llenando sus vacuolos, dando origen a la **turgencia**.
- Por otro lado, en un medio hipertónico, el agua sale de la célula a través de la membrana, llegándose a que la membrana plasmática se desprege de la célula, originando la **plasmólisis**.



Osmolaridad

La **osmolaridad** es la medida para expresar la concentración total de sustancias en disoluciones usadas en medicina.

El prefijo "osmo-" indica la posible variación de la presión osmótica π en las células, que se producirá al introducir la disolución en el organismo.

La concentración osmótica, **osmolar**, es la medición de la concentración de solutos, definida como el número de **osmoles (Osm)** de un soluto por litro (L) de solución (Osmol/L) pronunciado **Osmolar**.

Una solución de NaCl 0.1 M daría 0.1 moles de Na^+ y 0.1 moles de Cl^- por litro, siendo su osmolaridad 0.2.

Flujo Osmótico

Consideremos por simplicidad que el líquido que experimenta **ósmosis** circula por una tubería en la dirección **x** de radio **r**. Si consideramos que la convección ocurre bajo régimen laminar unidireccional el flujo seguirá la **Ley de Stokes**

$$\vec{F}_{\text{viscosa}} = 2 \pi r \mu \vec{v}_{i,x}$$

Si despejamos la velocidad como cambio de presión, ΔP , siendo la $F_{\text{vis}} = \Delta P * (\text{sección})$

$$v_{i,x} = \frac{\Delta P \pi r^2}{2 \pi r \mu} = \frac{\Delta P r}{2 \mu}$$

Consideremos que el transporte es unidireccional independiente del tiempo pero controlado por difusión y convección (para partículas no cargadas y la migración):

Ec. Nernst-Planck difusión convección

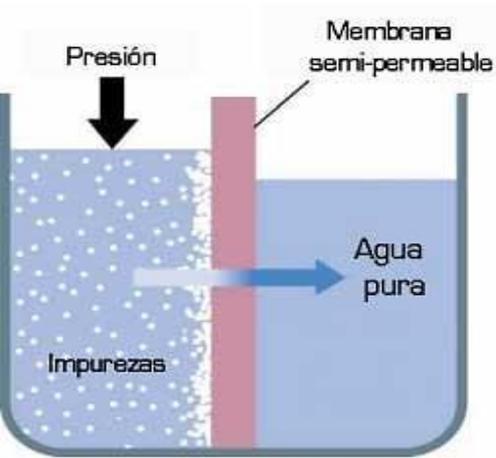
$$\vec{J}_i = -D_i \vec{\nabla} \mu_i + v_i C_i \longrightarrow \vec{J}_i(x) = -D_i RT \frac{d \ln C_i}{dx} + v_{i,x} C_i$$

Si sustituimos en el flujo de Nernst-Planck la velocidad viscosa hallada, queda el flujo dependiente del gradiente difusivo y de presiones entre ambos lados de la tubería.

$$v_{i,x} = \frac{\Delta P r}{2 \mu} \longrightarrow J_{i,x} = -\frac{D_i RT}{C_i} \frac{dC_i}{dx} + \frac{\Delta P r C_i}{2 \mu}$$

Flujo unidireccional
en soluciones diluidas

Ósmosis inversa



Lo descrito hasta ahora ocurre en situaciones normales, en que los dos lados de la membrana estén a la misma presión.

Si se aumenta la presión del lado de mayor concentración, puede lograrse que el agua pase desde el lado de alta concentración al de baja concentración de sales.

Se puede decir que se está haciendo lo contrario de la ósmosis, llamándose **ósmosis inversa**.

En la **ósmosis inversa** a través de la **membrana semipermeable** sólo pasa **agua**, es decir, el agua de la zona de alta concentración pasa a la de baja concentración.

Si la alta concentración es de sal, por ejemplo agua marina, al aplicar presión, el agua salobre de mar pasa al otro lado de la membrana (si la misma es permeable a la sal). Así se logra desalinizar el agua por ósmosis inversa, y potabilizarla. Ej. UPA de OSE.

Electroósmosis

Cuando un líquido se mueve a través de los poros o capilares de una membrana bajo un campo eléctrico externo, tenemos el llamado fenómeno **electrosmótico**.

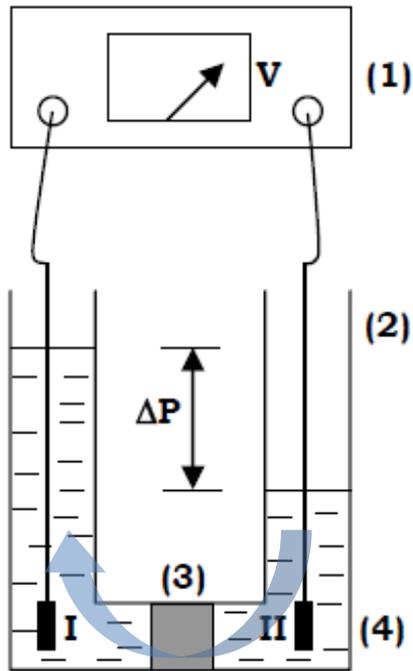
Ec. Nernst-Planck difusión convección migración Flujo unidireccional en soluciones diluidas

$$\vec{J}_i = -D_i \vec{\nabla} \mu_i + v_i C_i + u_i C_i \vec{\nabla} V$$

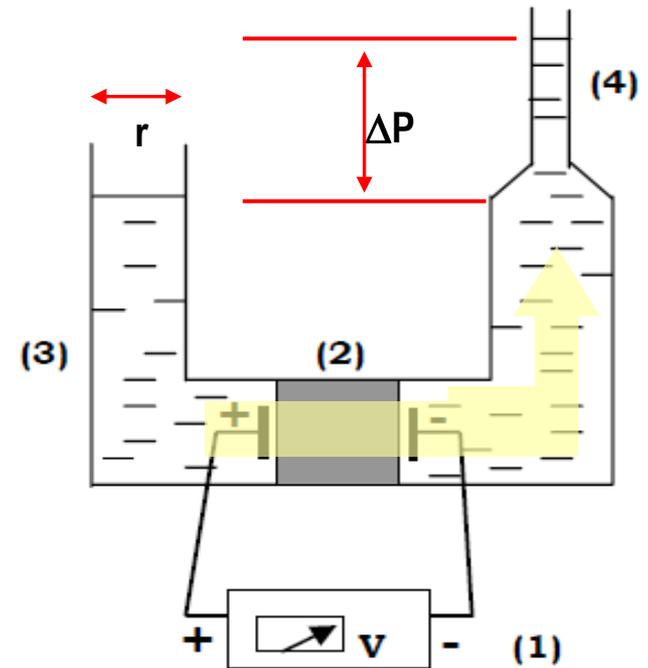
$$J_{i,x} = -D_i RT \frac{d \ln C_i}{dx} + \frac{C_i \Delta P \cdot r}{2 \mu} + \frac{C_i |Z_i| F D_i}{RT} \frac{dV}{dx}$$

Ejemplos de Experiencias de Electroósmosis

Luego de aplicarse un potencial de valor definido, el nivel del líquido en el tubo manométrico aumenta hasta que se logra alcanzar cierta presión de equilibrio.



Remplazando el **diafragma** por un **tubo capilar** de vidrio, se produce el mismo fenómeno pero en menor extensión. Aparentemente el fenómeno es más marcado cuando se tiene una relación mayor entre el área de contacto de la superficie en cuestión y el volumen del líquido.



Fenómeno electroosmótico.

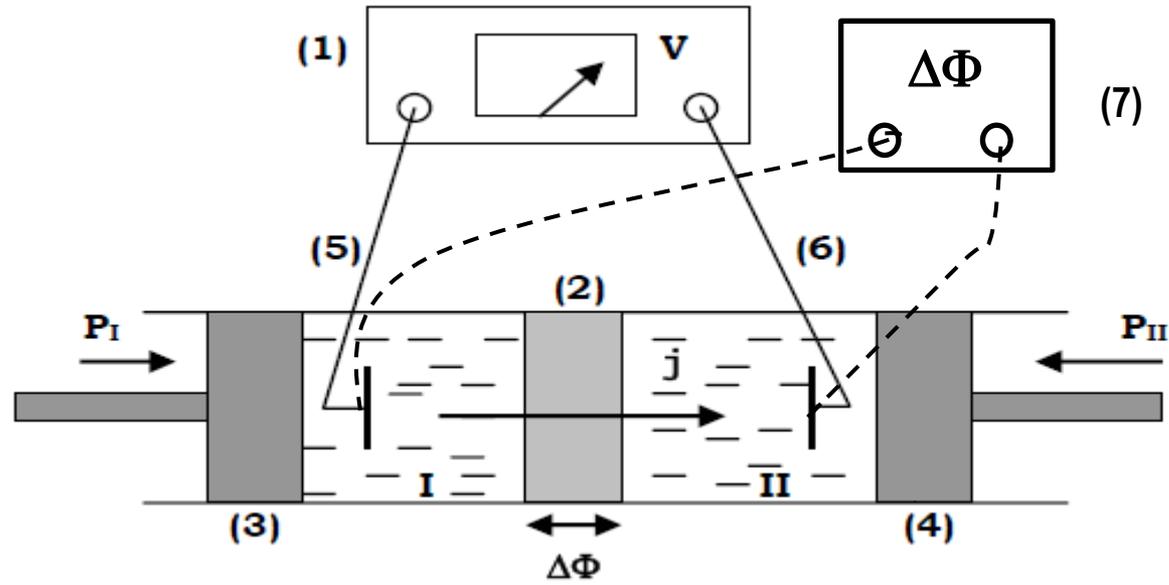
- (1) fuente de poder;
- (2) celda en U con líquido;
- (3) Diafragma o membrana;
- (4) tubo manométrico.
- (I) y (II) Electrodos de trabajo también usado luego como referencia

Fenómeno electroosmótico.

- (1) fuente de poder de voltaje;
- (2) diafragma o membrana;
- (3) celda en U con líquido;
- (4) tubo manométrico; (+) (-) electrodos de trabajo para aplicar con la fuente (1) un potencial V .

Los fenómenos electroosmóticos fueron observados por primera vez por **Reuss** e interpretados posteriormente por medio de balances de Nernst-Planck.

Diálisis simple y Electrodiálisis



Diálisis simple. (1) fuente de poder; (2) membrana intercambiadora; (3) y (4) pistones; (5) y (6) compartimentos de la celda de electroósmosis con electrodos de referencia; I y II, que miden el potencial reversible de membrana $\Delta\Phi$ con el voltímetro de alta impedancia (7). Los electrodos de referencia se usan también como electrodos de trabajo para la fuente.

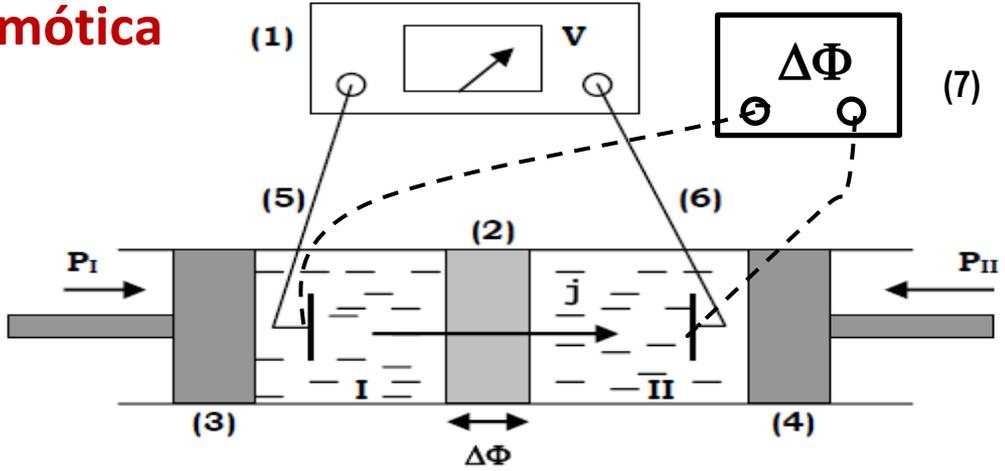
Una membrana de intercambio iónico, (2), experimenta la intensidad de un campo eléctrico desde una fuente que se indica en (1). Además dos pistones, (3) y (4), permiten mantener en todo momento los volúmenes de solución iniciales a ambos lados de la membrana. La fuente de poder está conectada a dos electrodos de referencia, (I) y (II), para poder establecer un flujo de corriente j y luego medir la diferencia de potencial en la membrana $\Delta\Phi$.

Para el transporte en la membrana, el sistema establecerá naturalmente el flujo del **solvente**, **iones**, solutos no electroactivos y cargas eléctricas.

La fuerzas que resultarán de aplicar el campo eléctrico exterior, provocarán un desbalance en el equilibrio electroquímico a ambos lados de la membrana. Esto resultará en una diferencia en la concentración de **electrolito** ($\Delta C_E = C_{E,II} - C_{E,I}$), en el **solvente** ($\Delta C_S = C_{S,II} - C_{S,I}$), en la presión ($\Delta P = P_{II} - P_I$) y en el potencial de la membrana ($\Delta\Phi = \Phi_{II} - \Phi_I$).

Diálisis simple y corriente electroosmótica

Tenemos cuatro casos de interés bajo situaciones extremas de trabajo, que se pueden deducir usando la ecuación de **Nernst-Planck**.

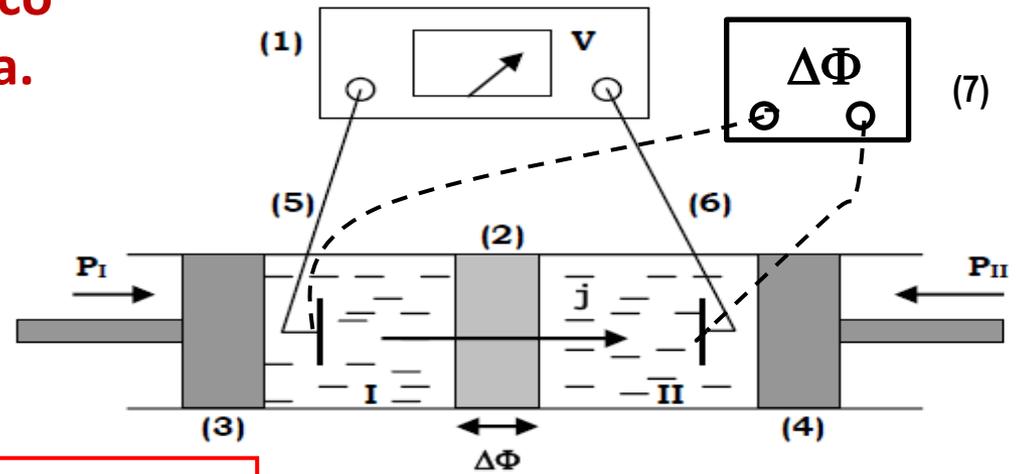


$$j_{i,x} = -Z_i F D_i RT \frac{d \ln C_i}{dx} + \frac{Z_i F r C_i}{2 \mu} \Delta P + Z_i F u_i C_i \frac{d \Delta\Phi}{dx}$$

- i) si cortocircuitamos los electrodos de referencia ($\Delta\Phi = 0$) o no aplicamos potencial y permitimos que el volumen del líquido fluya ($\Delta P = 0$), estamos en condiciones de una **diálisis simple** con ósmosis normal con pasaje de solvente.
- ii) si trabajamos de forma que el líquido fluya ($\Delta P = 0$) y que la membrana a consecuencia de ese flujo no cambie las concentraciones de **electrolito** ($\Delta C_E = 0$) y **solvente** ($\Delta C_S = 0$), obtenemos un efecto puramente eléctrico que tiene por consecuencia la aparición de una **densidad de corriente electroosmótica, j** . No hay difusión.

La **densidad de corriente electroosmótica** será calculada a partir de la **Ecuación de Nernst-Planck** expresada mas arriba.

Diálisis simple, flujo electroosmótico Y potencial de membrana osmótica.



$$j_{i,x} = -Z_i F D_i RT \frac{d \ln C_i}{dx} + \frac{Z_i F \Delta P \cdot r C_i}{2 \mu} + Z_i F u_i C_i \frac{d \Delta\Phi}{dx}$$

iii) cuando hay un cambio en la presión y se logra impedir variaciones en las concentraciones de **electrolito** ($\Delta C_E = 0$) y **solvente** ($\Delta C_S = 0$), se detiene el **flujo electroosmótico** del solvente a través de la membrana. Así se obtiene un diferencia de presión ΔP llamada **presión electroosmótica**, la cual depende de la diferencia de potencial desarrollada.

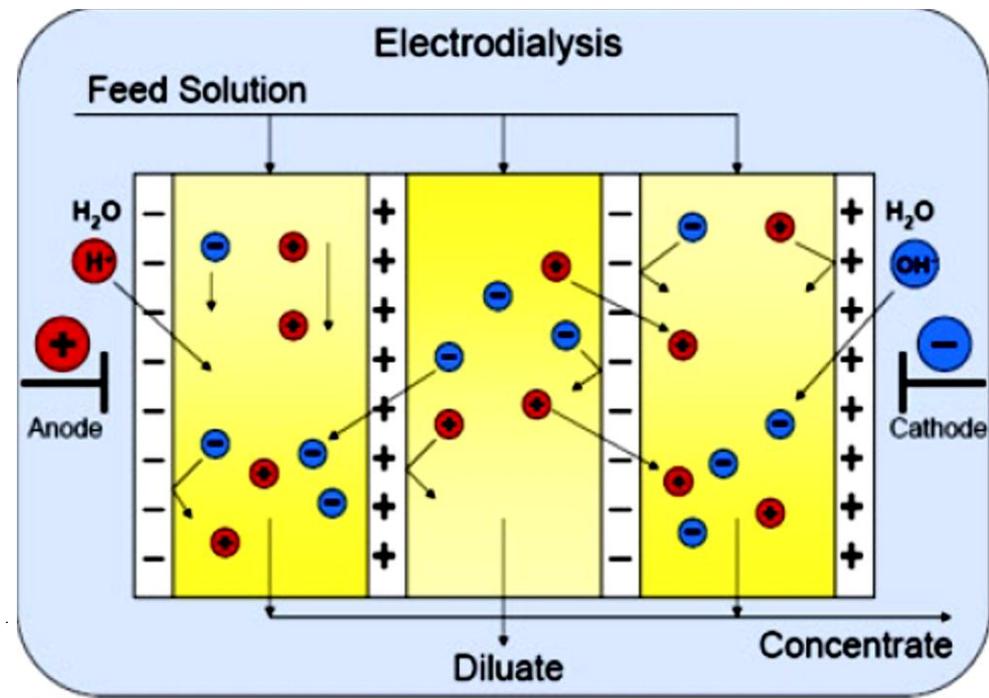
iv) si logramos que se anule la densidad de corriente que atraviesa la membrana ($j = 0$) mediante un flujo libre de líquido ($\Delta P = 0$), ocurrirán cambios en las concentraciones pero en una **diálisis electroquímica reversible**. Se puede medir el **potencial de membrana** $\Delta\Phi$, reversible mediante los dos referencias, (I) y (II) y responderá a las diferencias de las concentraciones. Potencial de membrana difusional.

Electrodiálisis

Supongamos ahora que tenemos un sistema como el de la Figura de tres compartimentos. El recinto central está separado de ambos terminales por dos **membranas** de intercambio iónico, una permeable a los **cationes** y otra a los **aniones**.

En este caso, el flujo continuo de solución permite la separación de electrolito y solvente (*desalinización*) proceso conocido como **Electrodiálisis**.

Este procedimiento será posible siempre que la concentración iónica en el compartimento central (de donde se extrae el **diluato**) sea menor que en los compartimentos laterales con los grupos iónicos enlazados a la membrana.

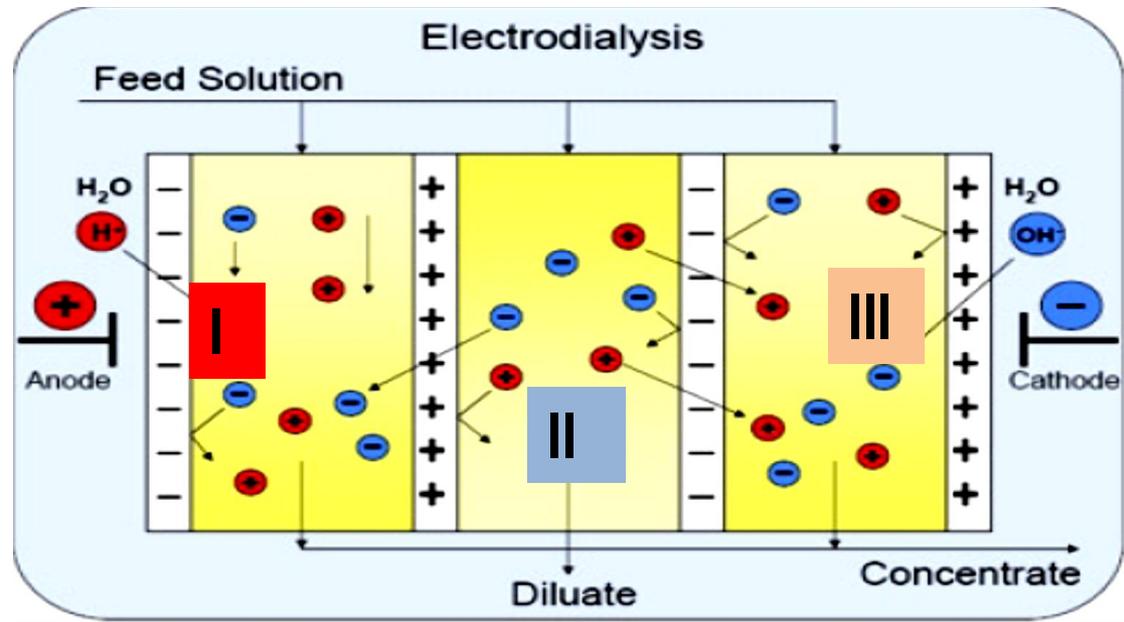


Por supuesto que el proceso se puede acelerar aplicando una diferencia de potencial externa (como se muestra en el figura). Asimismo se puede aplicar una diferencia de presión entre los concentrados para aumentar la densidad de corriente obtenida según vimos en la experiencia anterior.

Electrodiálisis

Supongamos que circula corriente eléctrica del compartimento I al III atravesando el central, II, que contiene en una cara una membrana permeable a los cationes y en la otra una permeable a los aniones.

El resultado será el pasaje de cationes por la primera cara en la misma dirección y el pasaje de aniones por la segunda en dirección contraria. Este experimento provoca una acumulación de iones en el compartimento central, logrando una solución neutra.



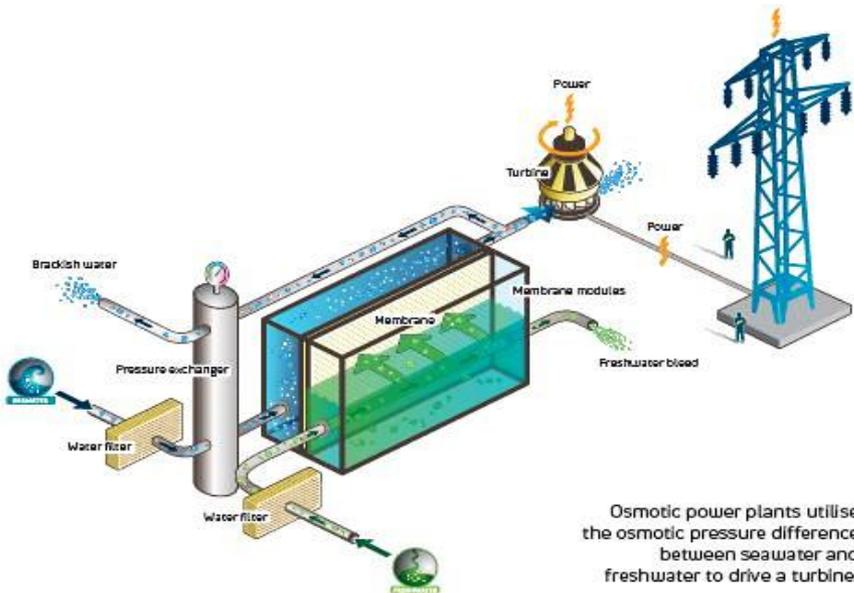
Notar que la polaridad del sistema se debe conllevar con el tipo de membrana de intercambio iónico. Supongamos que entre el compartimento I y el III existe una **membrana de intercambio catiónico**, entonces la solución en el compartimento I debería ser un **anolito**, o sea el polo adyacente un ánodo positivo. De esta forma en el compartimento III debe tener del lado derecho una **membrana de intercambio aniónico** y por ende la solución debe ser un **catolito**, o sea que el polo adyacente un cátodo.

ELECTRODIÁLISIS

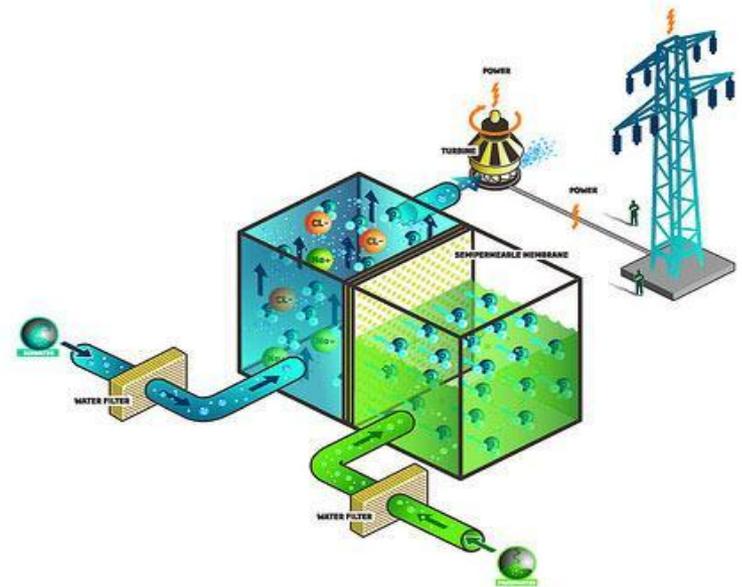
IRREVERSIBILIDADES EN UN PROCESO DE ELECTRODIÁLISIS

- **Pérdidas** de carácter eléctrico debido a la **resistencia óhmica del fluido**. Se pueden reducir esas pérdidas minimizando la distancia entre membranas y electrodos ($R = \rho L/A$).
- **Reacciones electroquímicas irreversibles** con sobrepotencial alto para la transferencia de masa en los diafragmas. Se puede evitar parcialmente cambiando las condiciones de experiencia pero no el tipo de reacciones.
- **Pérdidas en la membrana** de actividad y de simetría. Se pueden reducir estableciendo etapas de electrodiálisis con un gradiente máximo de concentraciones.

ELECTRODIÁLISIS INVERSA Generación de electricidad por turbinas



Osmotic power plants utilise the osmotic pressure difference between seawater and freshwater to drive a turbine.



Hemodiálisis

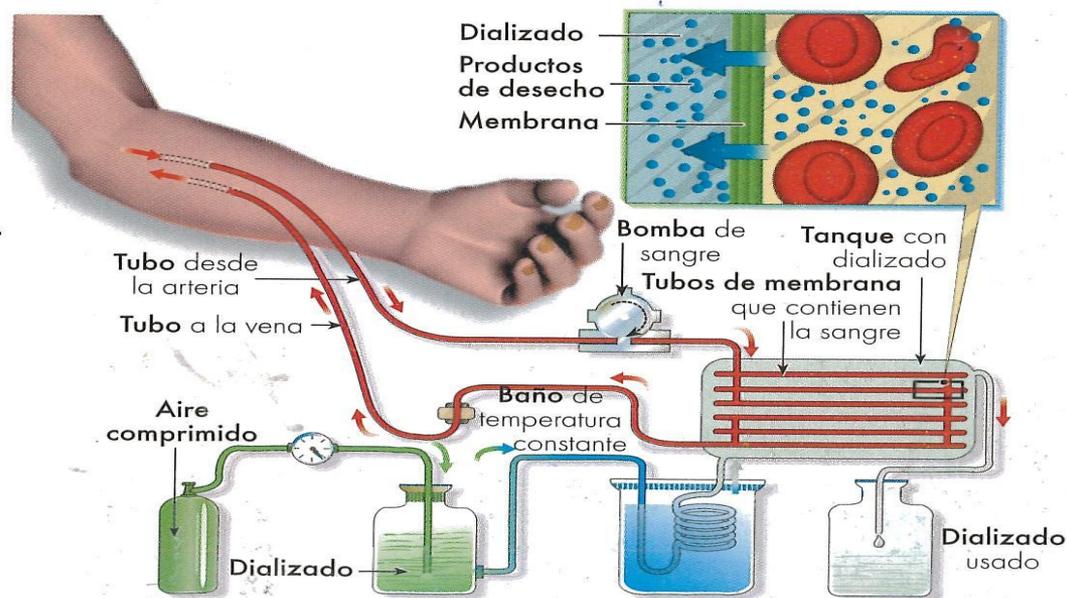
Técnicas de hemodiálisis

El procedimiento de depuración extracorpórea más utilizado en el tratamiento de la insuficiencia renal crónica es la **hemodiálisis**. Es una técnica difusiva puesto que la convección queda reservada a la eliminación del agua retenida en el periodo interdialítico.

Difusión, convección y **adsorción** son los tres principios físicos que regulan la eliminación de sustancias en la **diálisis extracorpórea**. Los solutos de pequeño tamaño y gran movilidad se transfieren por **difusión**, en cambio las medianas y grandes moléculas con poca movilidad se eliminan mejor por **convección** y **adsorción**.

La convección elimina pobremente las toxinas urémicas unidas a proteínas, por lo que hay que recurrir a procedimientos que combinen cartuchos de adsorción para eliminar las moléculas unidas a proteínas. Normalmente, los riñones filtran la **urea** de la **sangre**, pero cuando no funcionan bien, la cantidad de **urea** filtrada es menor y aumenta en el torrente. El nivel normal en **sangre** es inferior 40 mg/dl.

La **superficie del dializador**, el **flujo de sangre** y en menor medida el **flujo del baño de diálisis** son los factores que regulan la difusión de los pequeños solutos. La eliminación de medianas y grandes moléculas por difusión es menos eficaz y depende de la permeabilidad de la membrana.

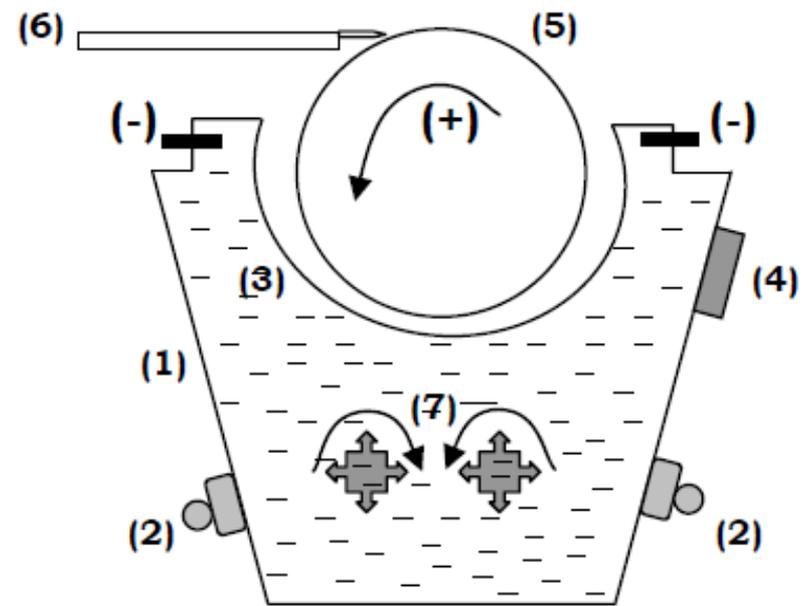


↑ Mediante la hemodiálisis, la sangre se purifica.

Electrodecantación

Otra aplicación de los **fenómenos electrocinéticos** a escala industrial, es el proceso de purificación de arcillas, silicatos, minerales, etc, **Caolín** $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$.

La **suspensión** a purificar entra por los conductos, (2), y son mezcladas por medio de los rotores no solidarios, (7). Las direcciones opuestas de rotación previenen la formación de cristalizados del **caolín**. Un cilindro de plomo, (5), está inmerso en la parte superior actuando como **ánodo**, y un semicilindro metálico en forma de malla, (3), se coloca coaxial funcionando como **cátodo**. Bajo la acción del campo eléctrico, las partículas coloidales migran al **ánodo** donde son parcial o totalmente descargadas y depositadas luego como una capa compacta que puede ser deshidratada por **electroósmosis**. Dicha capa puede ser quitada fácilmente por la tecla o cuchillo, (6). El líquido claro obtenido se descarga a través de la salida, (4), y se recicla varias veces para purificar al caolín.



Purificación de Caolín.

(1) tanque; (2) entradas; (3) carcasa semi-porosa; (4) salida de solución agotada; (5) tambor giratorio; (6) tecla; (7) rotores mezcladores.

El campo eléctrico utilizado es del orden de 8 KVm^{-1} y la densidad de corriente anódica obtenida se acerca a 10 mAcm^{-2} .

Término del Curso Teórico

Fisicoquímica de las Interfases