



transducto^{S.A.}

Electro-Electrodiálisis de iones metálicos: desde el concepto hasta la aplicación industrial

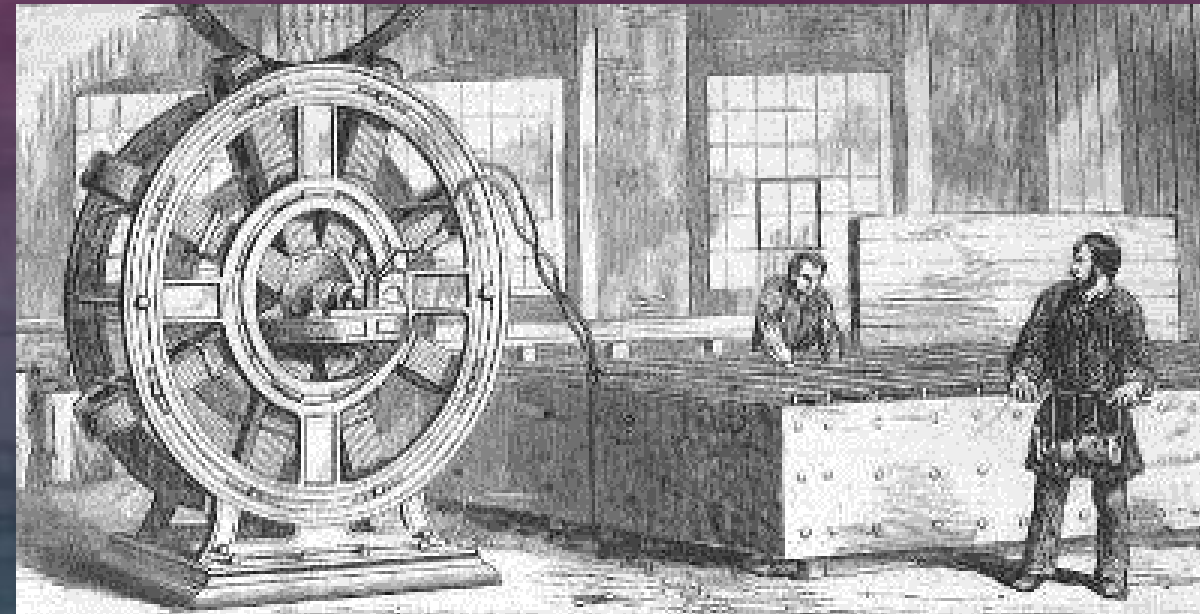
Dr. Gerardo Cifuentes Molina
Transducto S.A.

Electro obtención de Cobre

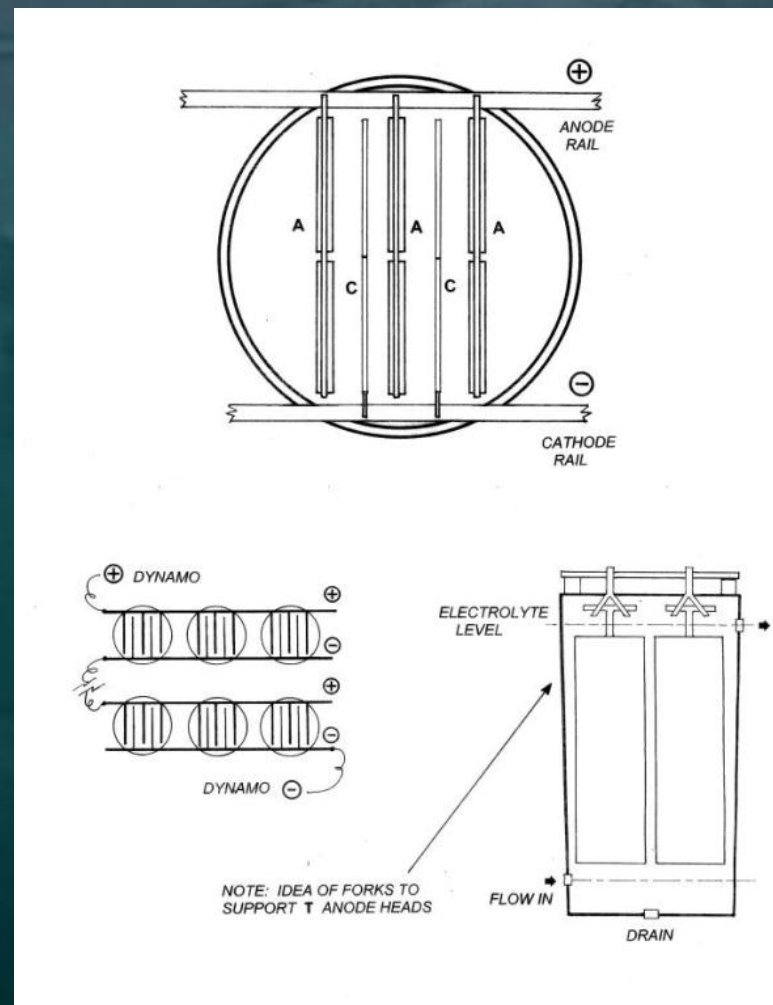
CELDAS Y DISPOSICIÓN DE ELECTRODOS

Planta de electrólisis a principios de 1860.

Fuente de poder: magneto-dinamo de 8 polos Woolrich



Celda propuesta por Elkington en patente de 1860

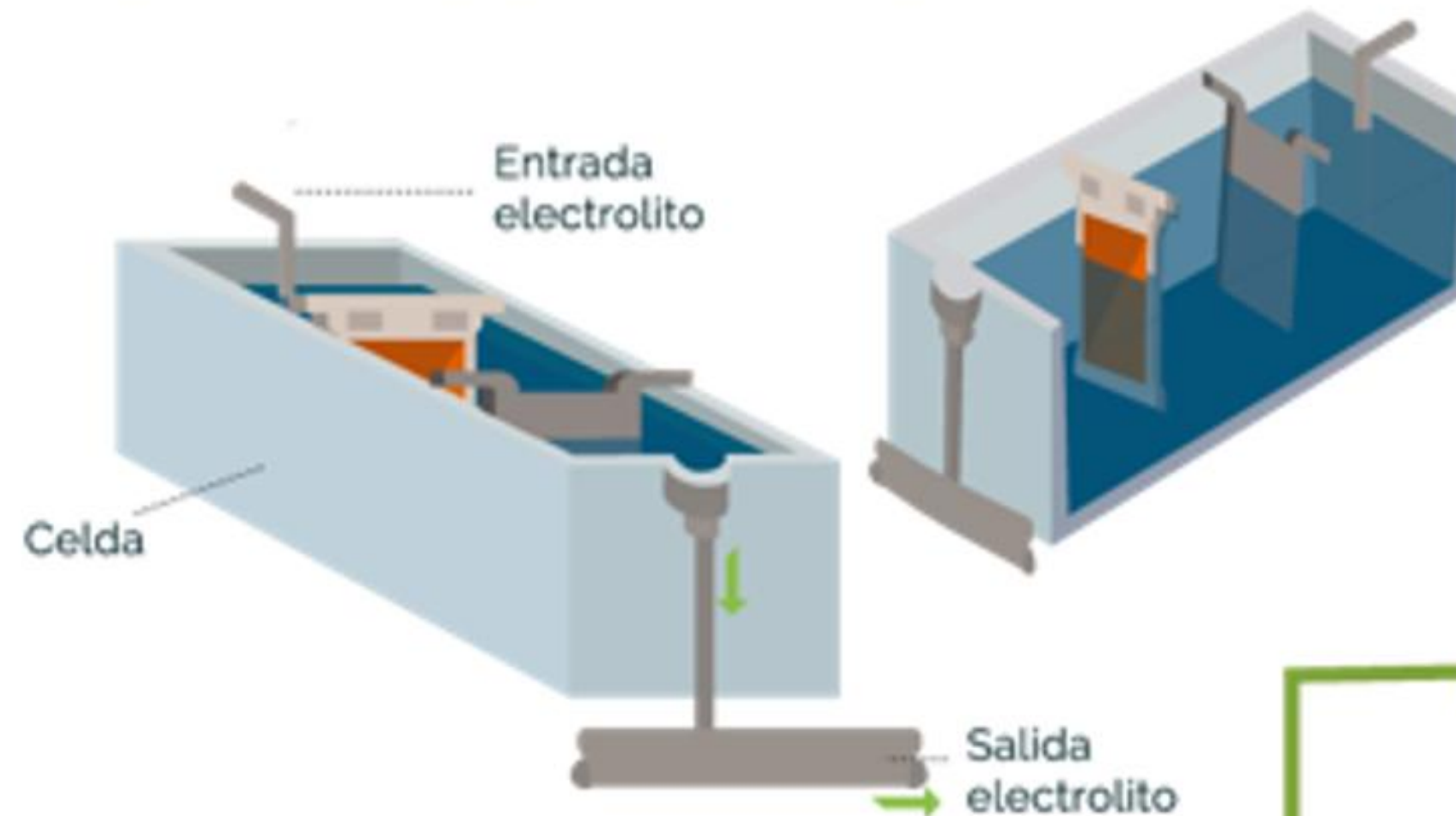


Disposición de celdas y electrodos en celda propuesta por Elkington en patente de 1860

Electro obtención de Cobre

CELDAS Y DISPOSICIÓN DE ELECTRODOS

CELDA ELECTROLÍTICA



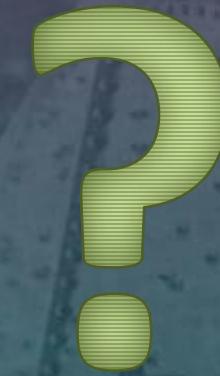
Las celdas son unidades básicas para la EW y debido a las características del proceso y sus limitaciones, se requiere disponer un alto número de ellas, de acuerdo a la producción deseada

Electro obtención de Cobre

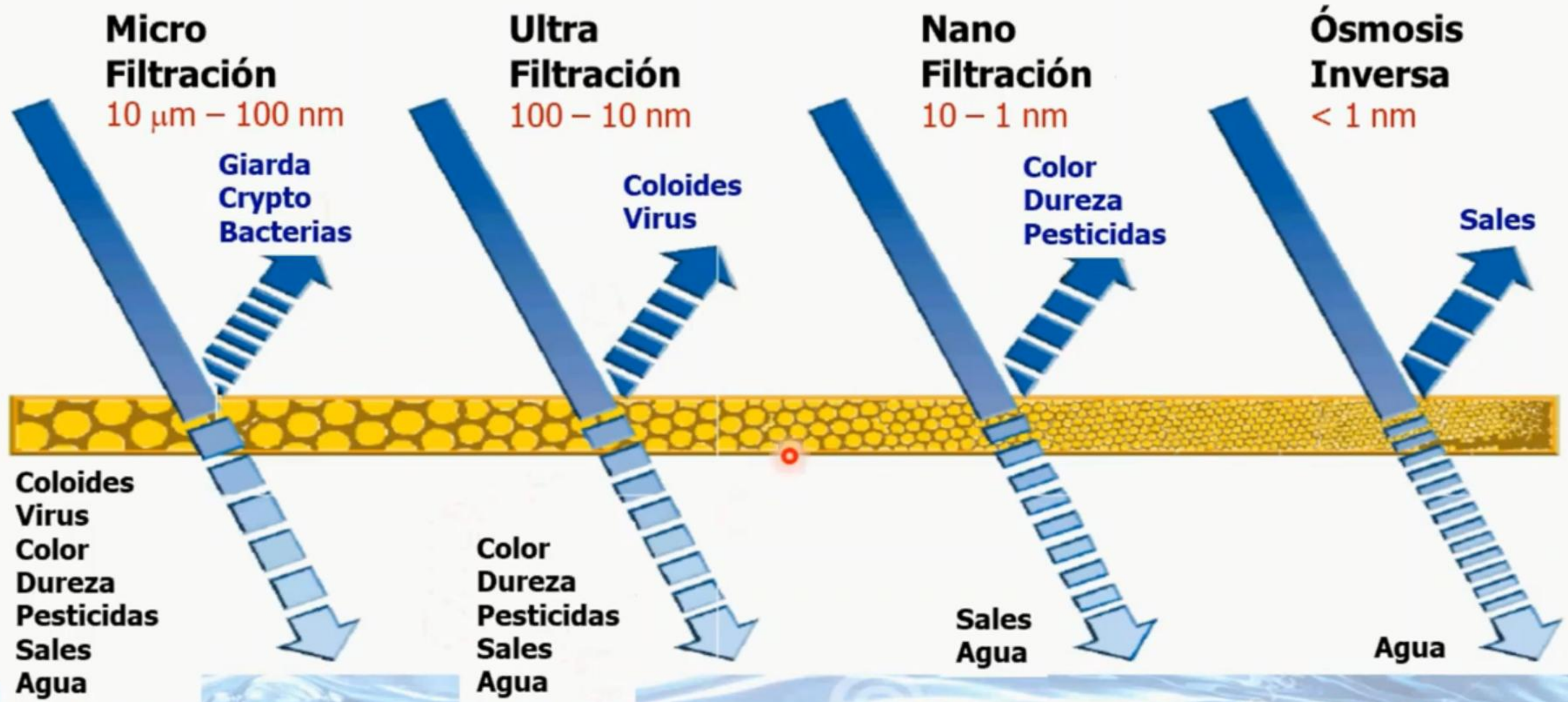
CELDAS Y COSECHA HOY



v/s



Comparación de tecnologías de membranas

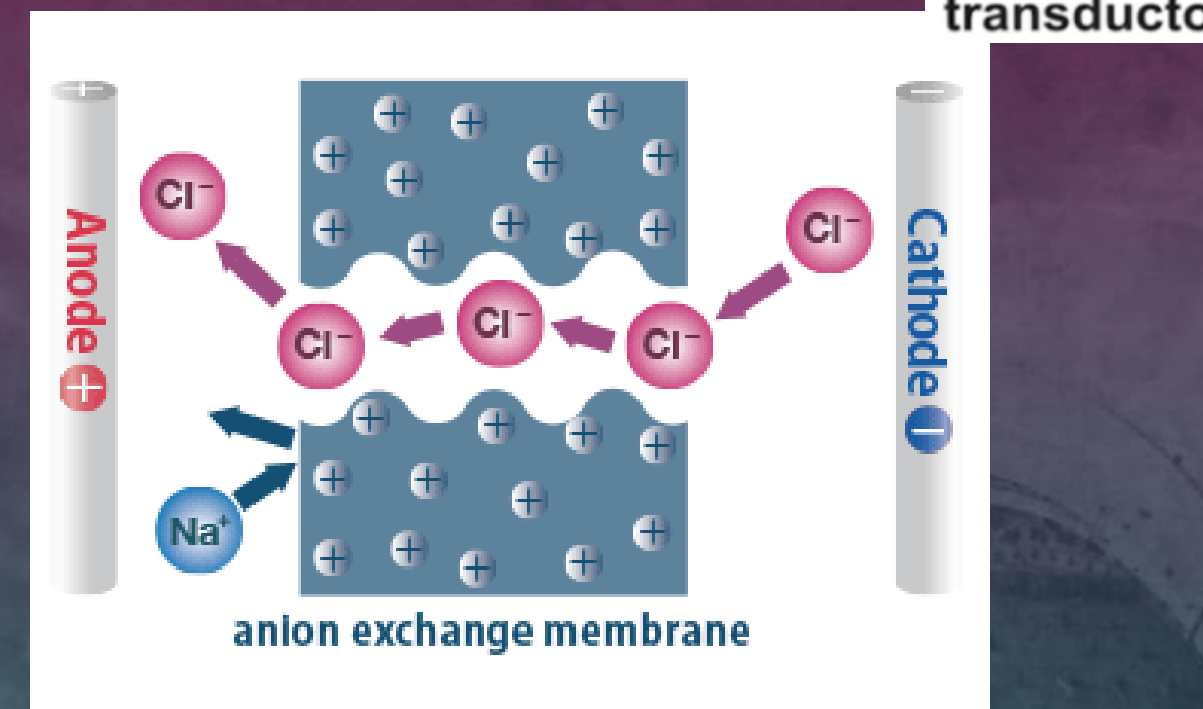


Electro-Electrodiálisis (EED)

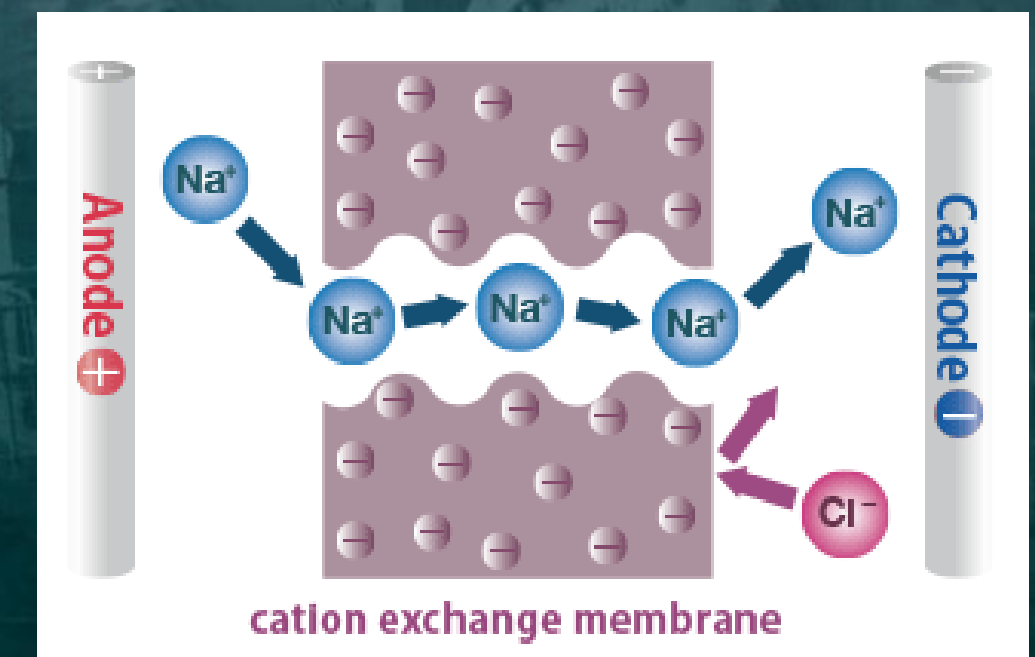
MEMBRANAS ELECTRO-IÓNICAS

Las membranas porosas se utilizan frecuentemente en aplicaciones de filtración, ultrafiltración, nanofiltración y osmosis reversa por ejemplo en la desalinización de agua de mar, así como también en la recuperación química de componentes, permitiendo el paso de iones de una solución a otra e impidiendo el paso del agua, este flujo de materia es realizado al aplicar una diferencia de presión. **En cambio, las membranas de intercambio iónico no son porosas y están compuestas de un material polimérico unido a grupos de iones cargados los que al aplicar una diferencia de voltaje permite el flujo de iones a través de ella.**

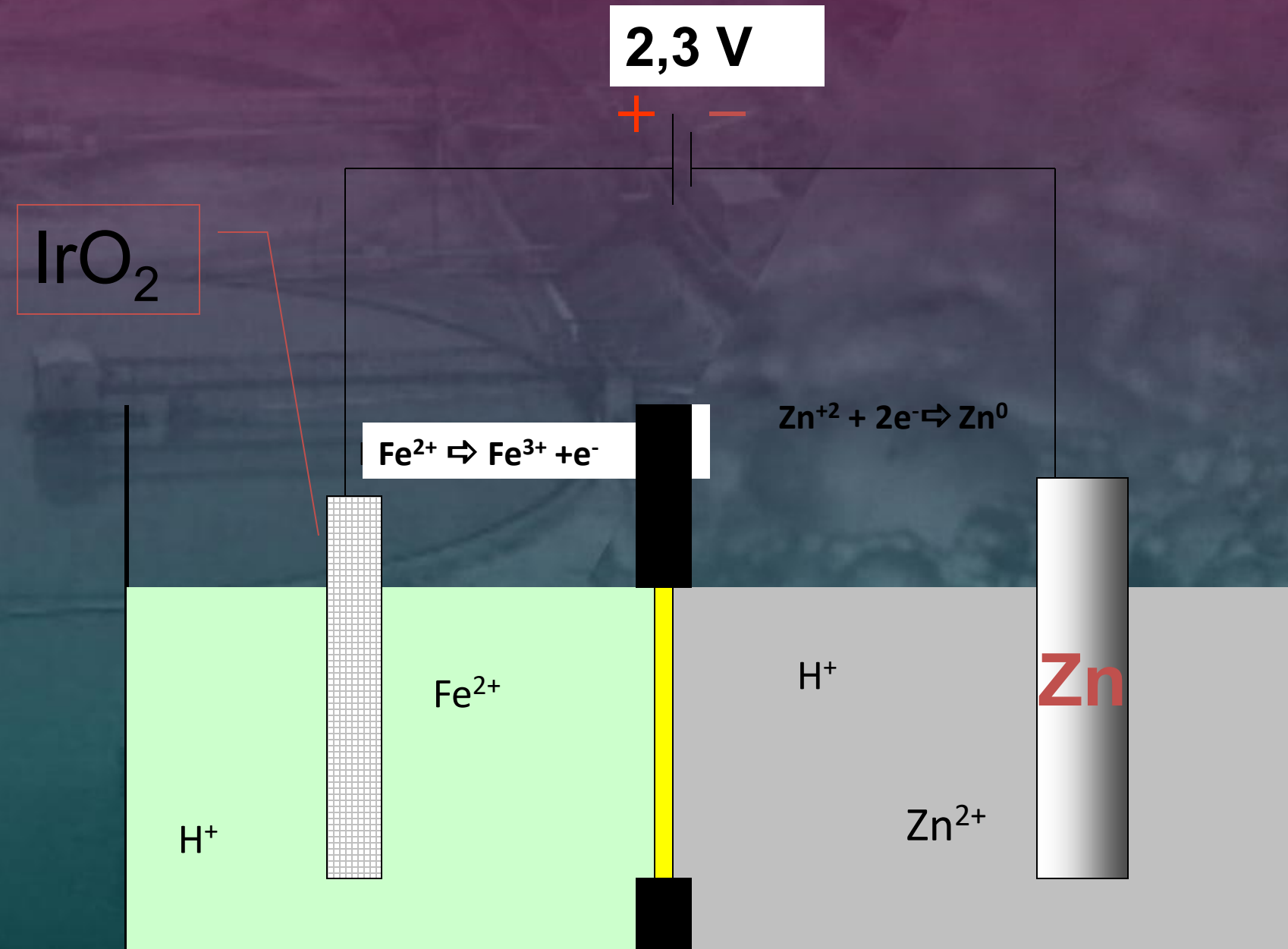
- Las membranas de intercambio aniónico contienen grupos catiónicos de amonio fijos con aniones móviles; permiten el paso de aniones y bloquean los cationes.



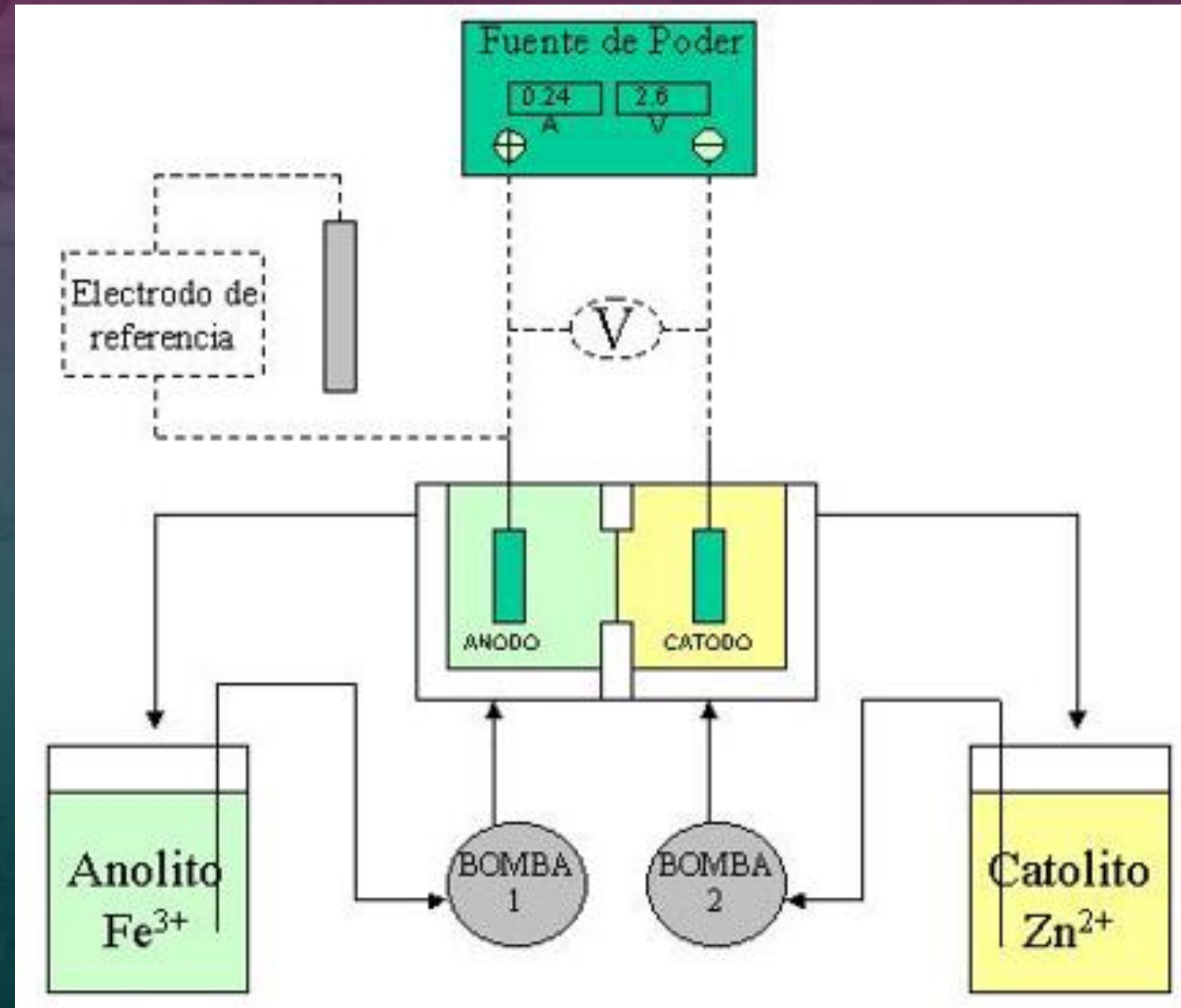
- Las membranas de intercambio catiónico contienen grupos aniónicos sulfónicos fijos con cationes móviles; permiten el paso de cationes y bloquean los aniones..



Cambio de reacción anódica.



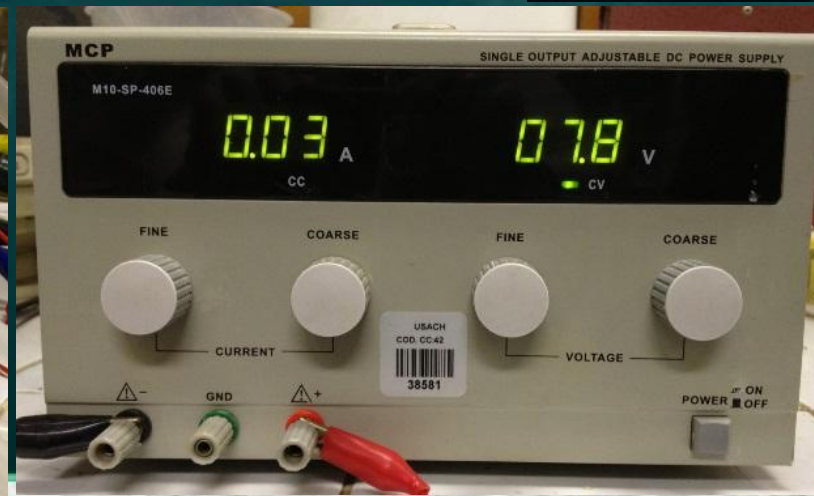
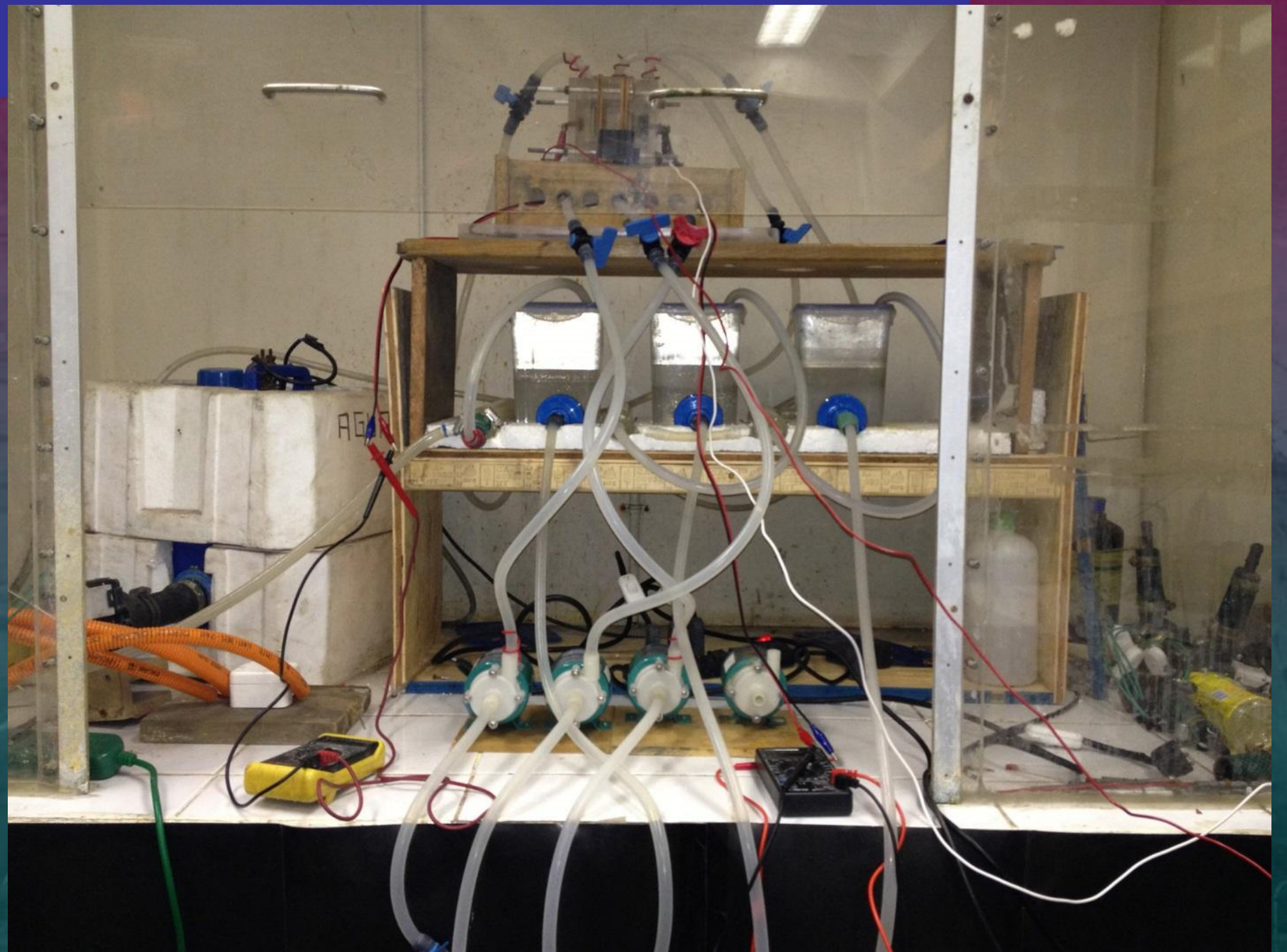
$$U_{\text{bornes}} = \Delta E_{th} + \eta_{(\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+})} + |\eta_c| + I \cdot R_{an.} + I \cdot R_{cat.} + I \cdot R_{memb.} + \text{Pérdidas}_{\text{sistema}}$$



Desarrollo Experimental

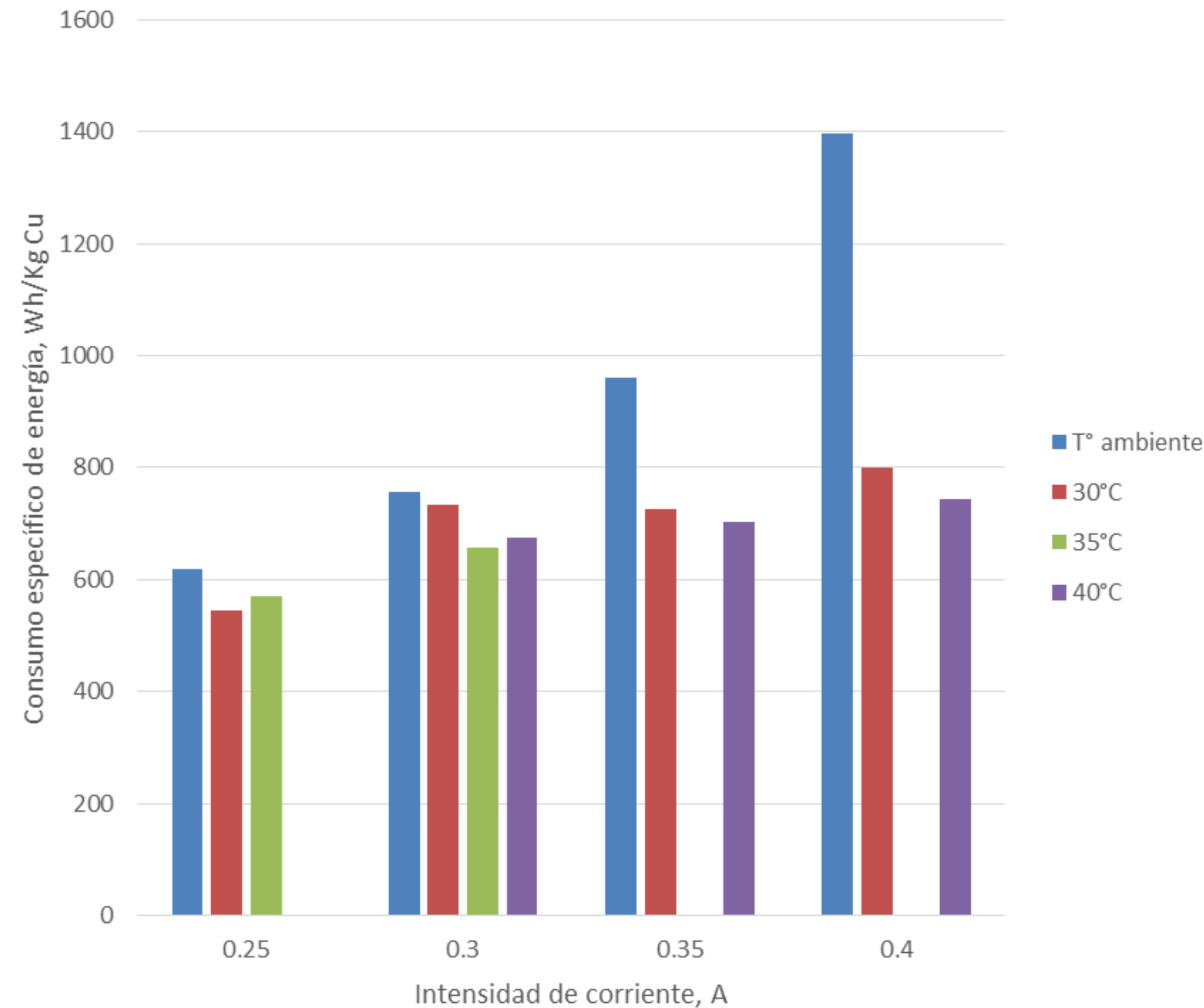
Equipamiento y materiales:

- Circuito de bombeo
- Circuito de calefacción
- Sistema de medición de caídas de Voltaje
- Celda de 3 compartimentos
- Fuente de poder
- Termómetro



Resultados: Caso del ión cúprico

- Consumo específico de energía: El consumo de energía específico es el parámetro que permite comparar el costo energético de obtener un cátodo a través de un proceso electroquímico.
- En las plantas de electrorrefinación conocidas, el costo específico para obtener un cátodo de cobre es alrededor de 250 kWh/t Cu . La mayoría de las pruebas obtuvieron un consumo específico de energía dentro del rango de $600\text{-}800 \frac{\text{kWh}}{\text{ton.Cu}}$. Esto significa que es un costo energético entre 3 y 4 veces el valor de la electrorrefinación normal.



Resultados: Caso del ión cúprico

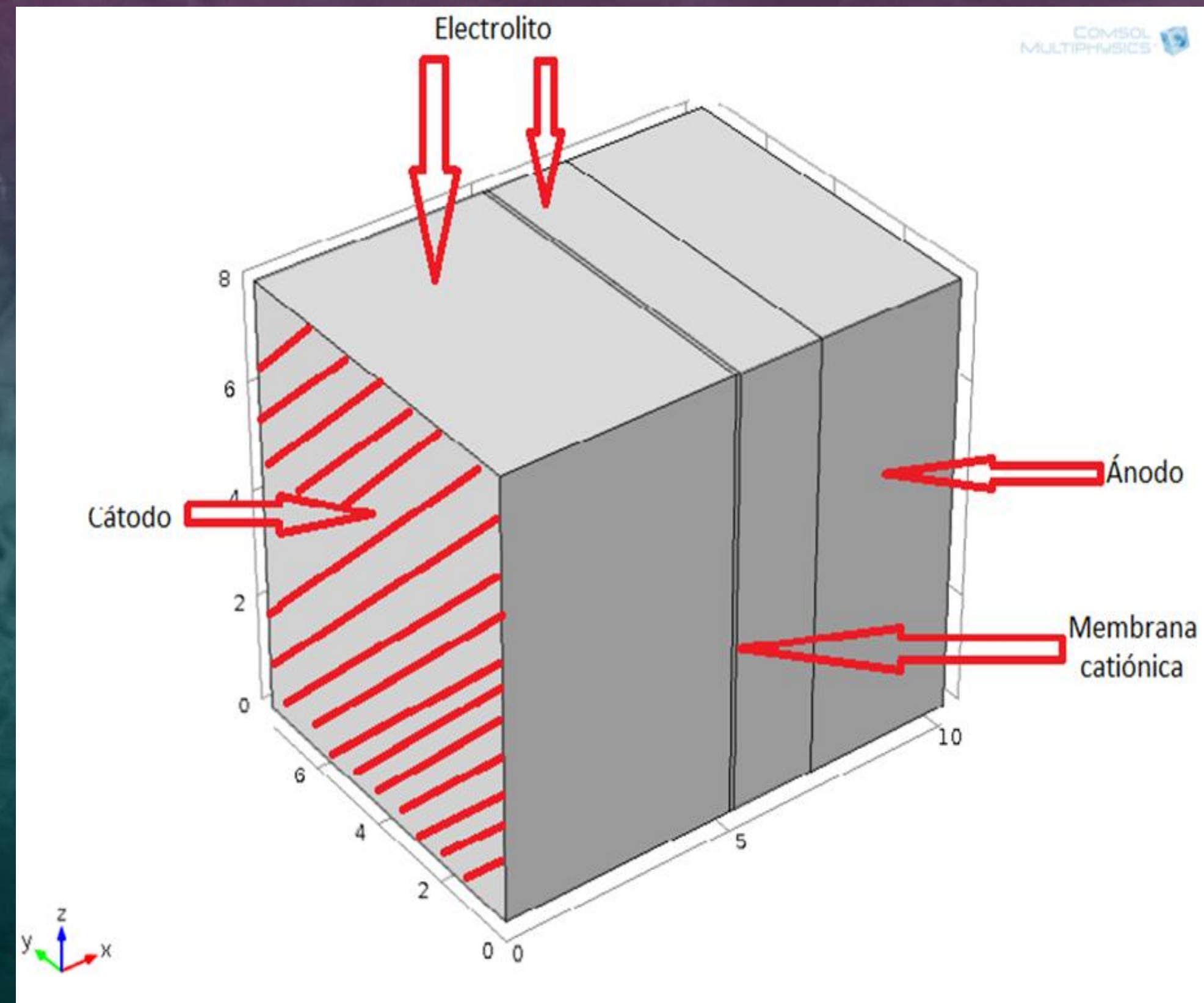
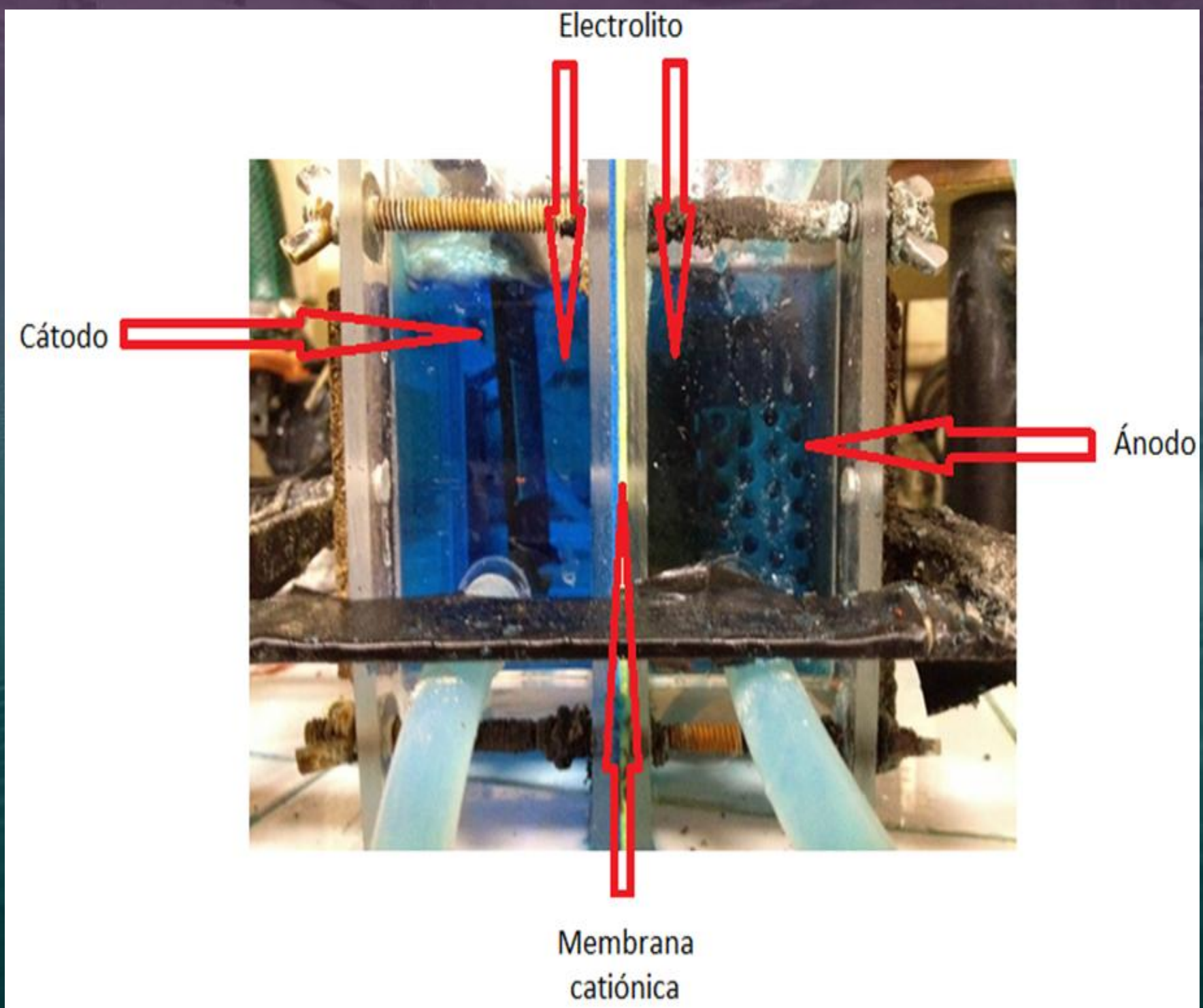
- En primer lugar, se deben elegir las ecuaciones que representarán el comportamiento del sistema de trabajo, en este caso, el flujo de iones a través de la solución. El caso general que representa el flujo de iones en un sistema electroquímica es la ecuación de Nernst-Planck:

$$N_i = -D_i \cdot \left[\frac{dc_i}{dx} + z_i \cdot c_i \cdot \frac{F}{R \cdot T} \cdot \frac{d\varphi}{dx} \right] + c_i \cdot v$$

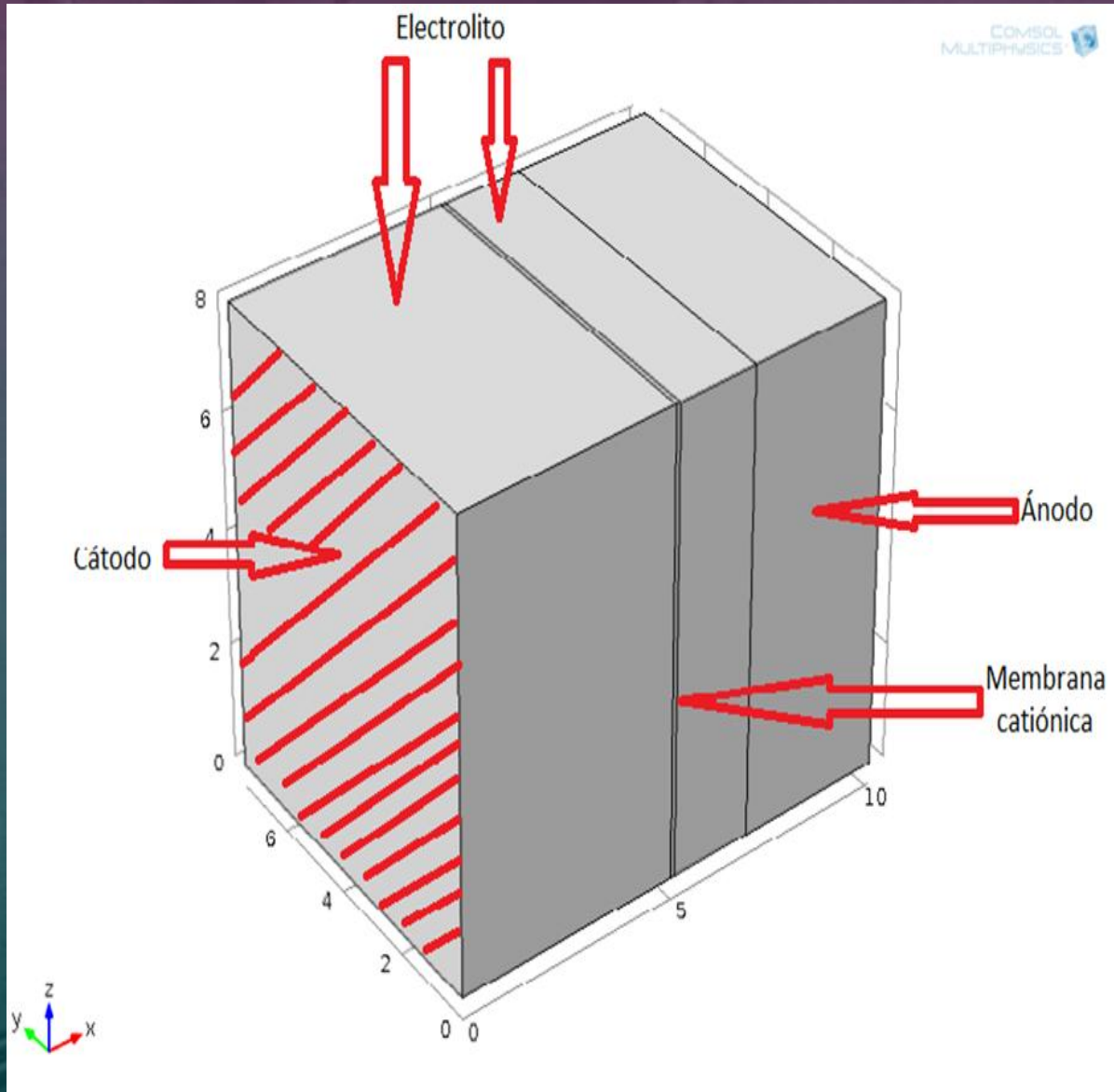
- Sin embargo, para la modelación del este sistema, se puede asumir que el flujo de iones estará dado prácticamente en su totalidad por la migración, de manera que la ecuación anterior quedará definida como:

- $N_i = -D_i \cdot z_i \cdot c_i \cdot \frac{F}{R \cdot T} \cdot \frac{d\varphi}{dx}$
- Esta ecuación es idéntica a la ley de Ohm:
 $i = \sigma \cdot \nabla \varphi$
- Donde σ es la conductividad iónica de la solución, i es la densidad de corriente que atraviesa la celda, y $\nabla \varphi$ es la diferencia de potencial aplicada utilizando la fuente de poder DC. Esta ecuación será válida para todos los subdominios en que haya movimiento de iones.

Resultados: Caso del ión cúprico



Resultados: Caso del ión cúprico



Celda de acrílico:
Aislación eléctrica

$$-n \cdot i = 0$$

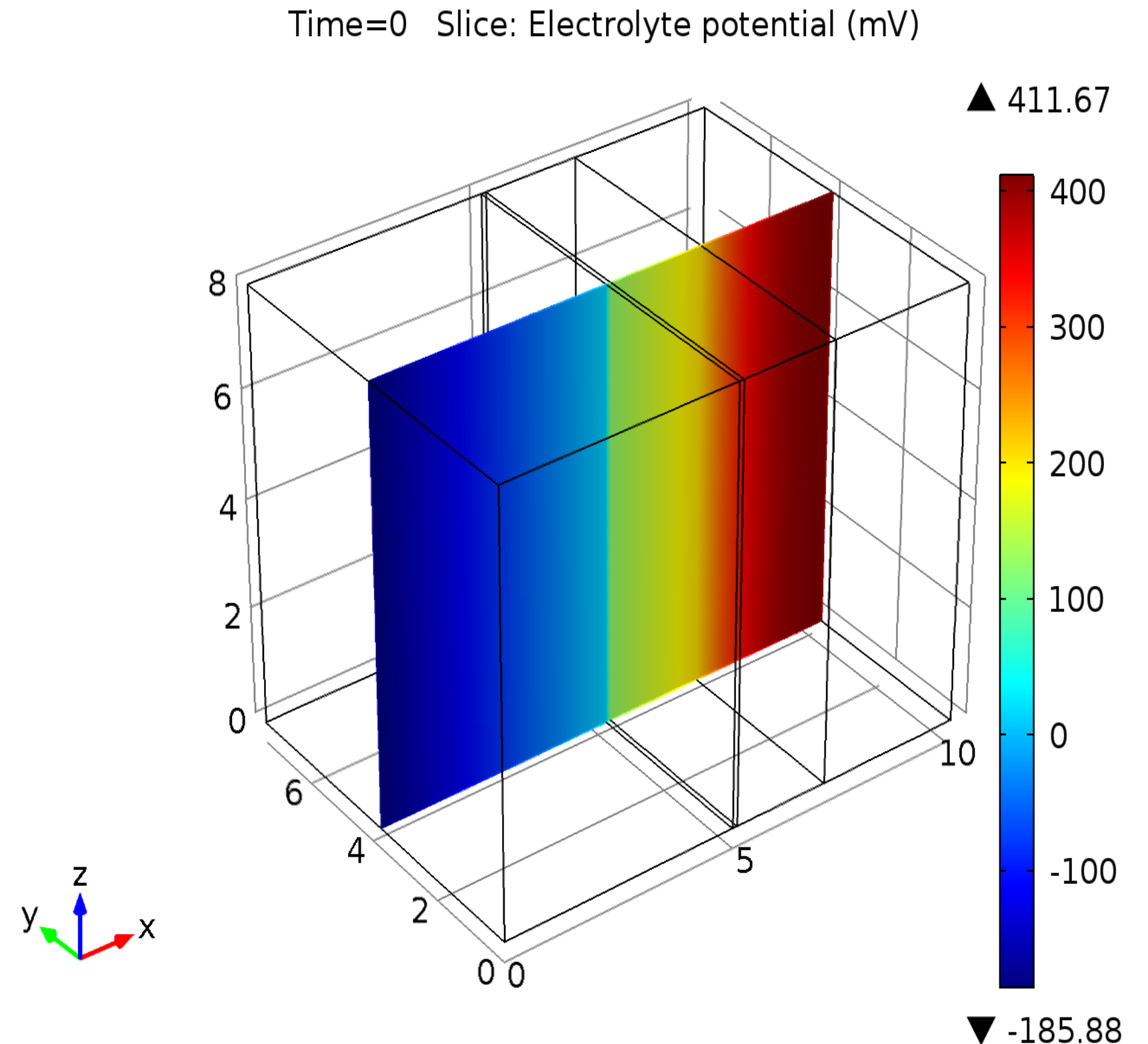
Electrolito	Conductividad (S/m)
Catolito	50
Anolito	50
Membrana	1,8

Cátodo	
Cinética del electrodo	Ecuación de B-V modificada
Densidad de corriente de intercambio	278,57 A/m ²
alfa	0,5
Beta	1,5
Densidad de corriente límite	800 A/m ²
Densidad del cobre	8,96 g/cm ³
Peso molar del cobre	63,54 g/mol
Estado de oxidación del cobre (n)	2

Ánodo	
Cinética del electrodo	Ecuación de B-V modificada
Densidad de corriente de intercambio	278,57 A/m ²
alfa	0,5
Beta	1,5
Densidad de corriente límite	800 A/m ²
Volumen electrodo soporte	2%
Volumen Scrap de cobre	40%
Superficie por unidad de volumen	11,56

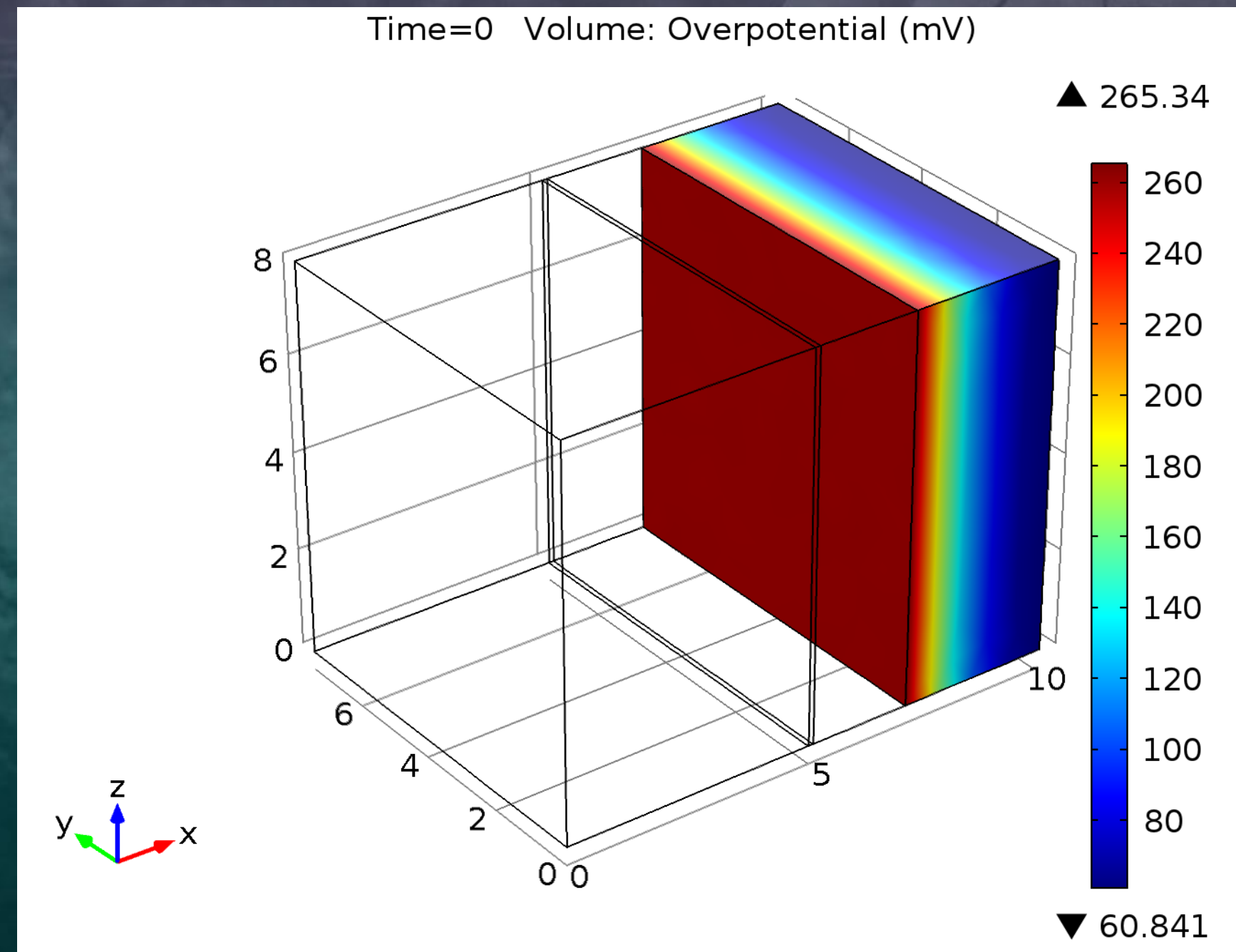
Resultados: Caso del ión cúprico

- Se puede ver como cae el potencial de la celda a medida que se va acortando la distancia hacia el cátodo. De este punto se deben realizar una observación importante: En general, se puede ver que la caída de potencial es constante a lo largo de la celda, con 2 excepciones: la primera de ellas se da al interior del electrodo poroso. La razón para esto es la dificultad que posee el electrolito para desplazarse al interior de este último. El segundo punto donde se produce una brusca caída de potencial es en el dominio de la membrana. Como ya se vio, la única diferencia entre ésta y el electrolito es la conductividad de cada una. Como esta propiedad es mucho menor en la membrana, es necesario aplicar una cantidad de energía mayor en comparación al resto del electrolito

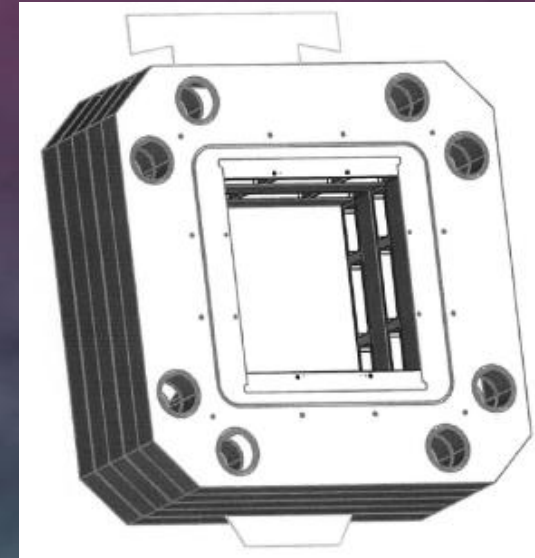


Resultados: Caso del ión cúprico

- El sobrepotencial anódico aumenta a medida que se aleja del punto donde fue realizada la conexión eléctrica. Esto es debido a la naturaleza del flujo de corriente, el cual es constante a lo largo del área transversal. En el caso del ánodo, el sistema debe aportar energía a medida que fluye la corriente desde el área sobre la cual existe la conexión eléctrica, debido a la caída de potencial producto de la tortuosidad que el electrodo poroso produce al flujo de electrolito en su interior.



Celdas Piloto Vertical

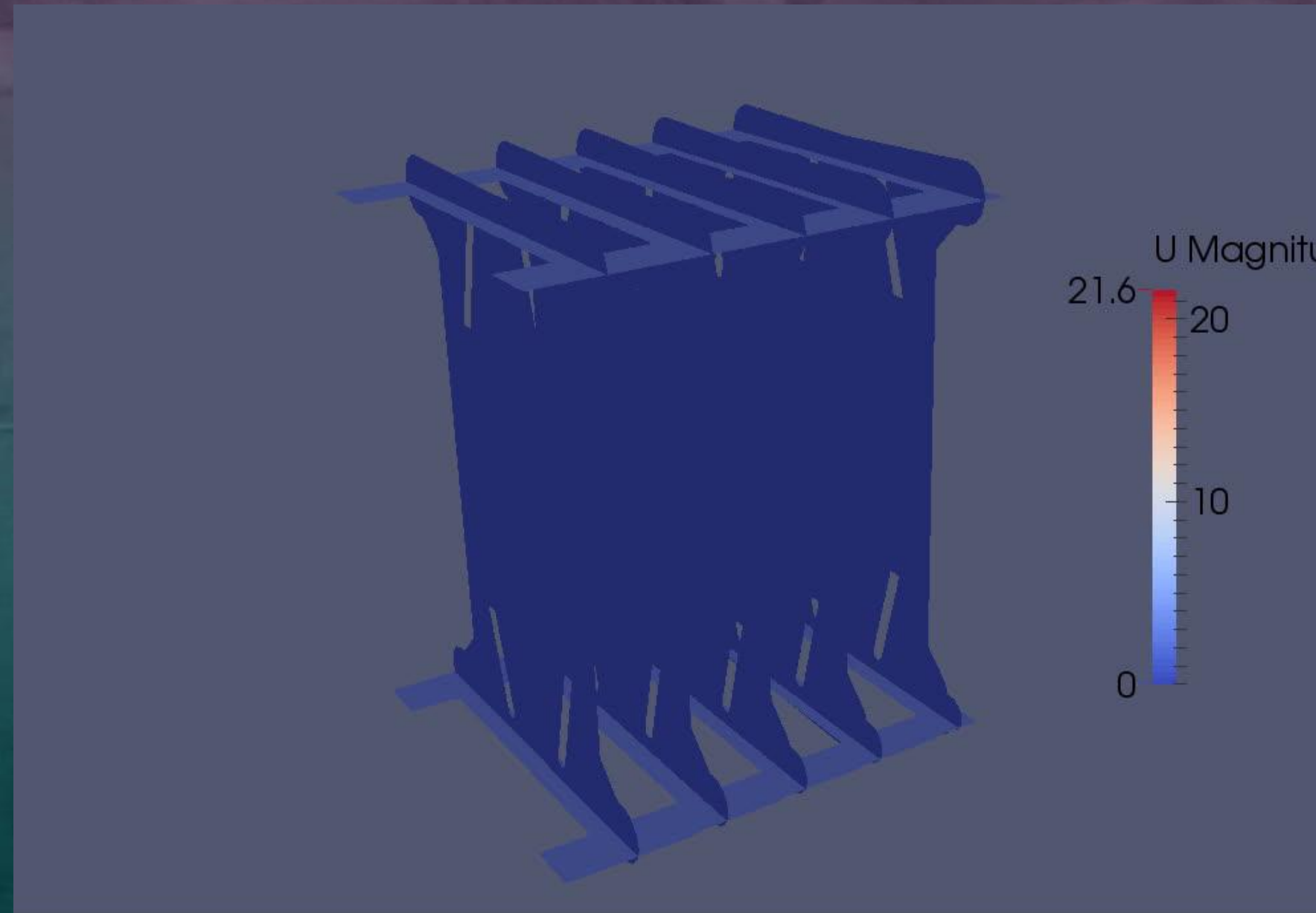


Celda BL100 EDR



Celda BL300 EDR

Celda Industrial
Modelo ABL



Electro obtención de Cobre CELDAS Y COSECHA HOY

DOM TEC®
STACK DE 8 CELDAS



Electrodos y Celda: Vertical

v/s



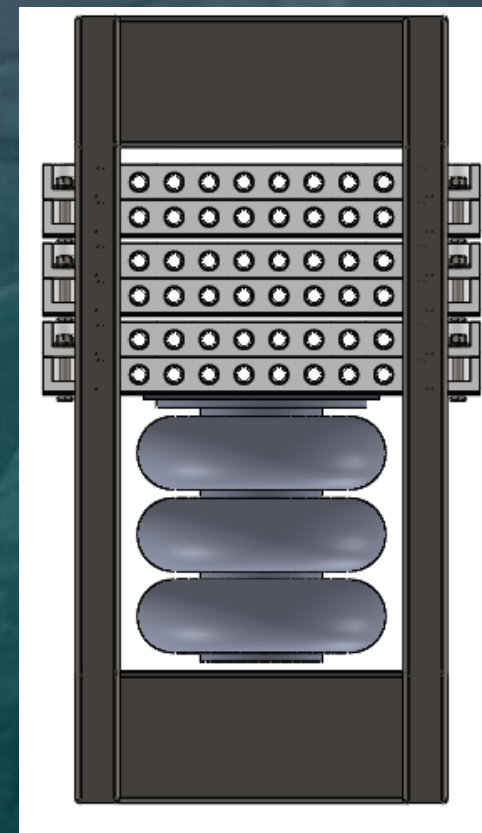
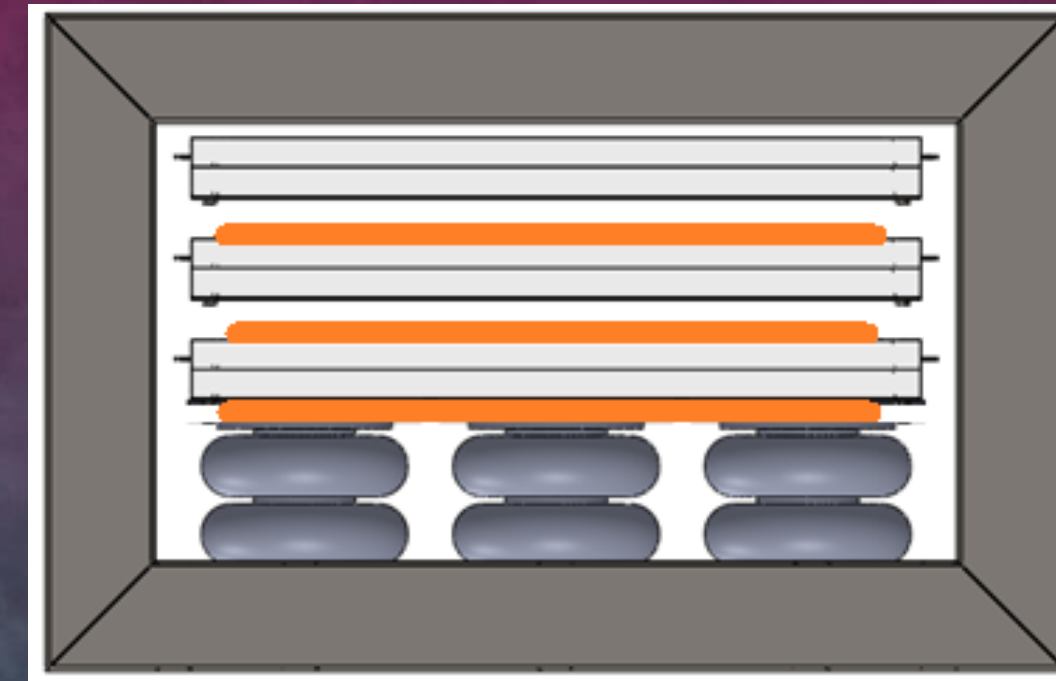
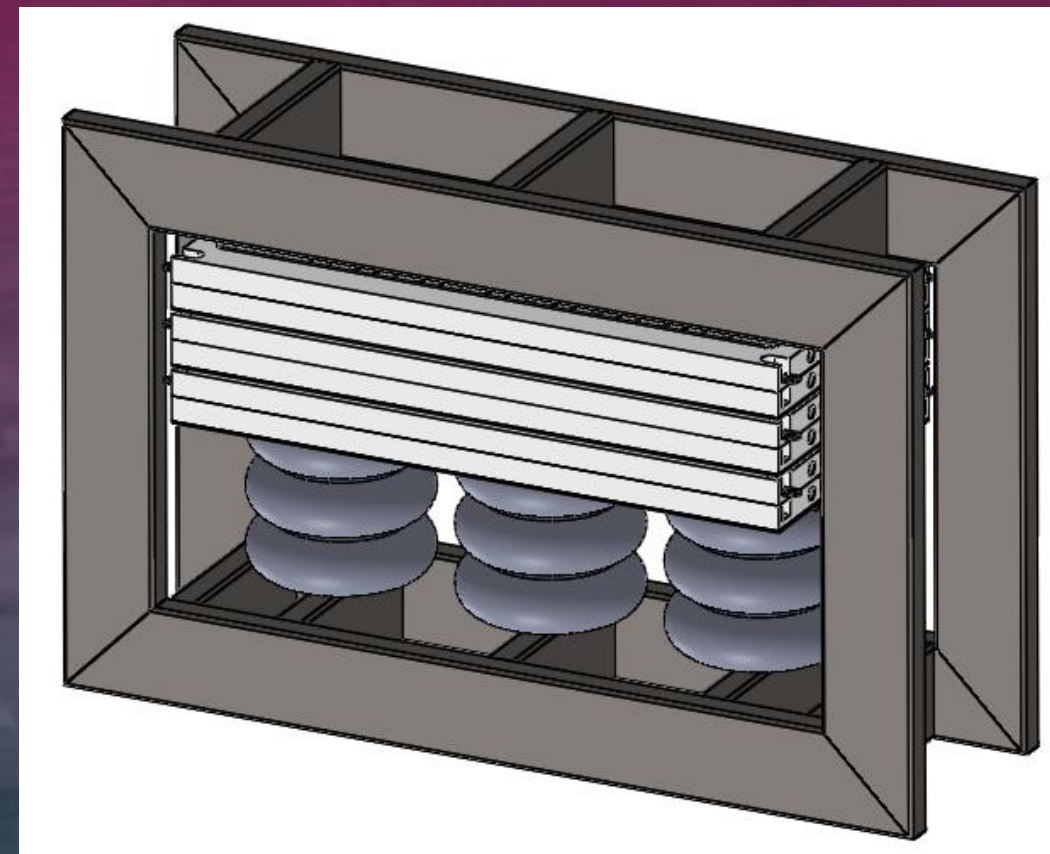
Electrodos y Celda: Horizontal

- Celda sellada
 - Electrodo horizontales
- Configuración eléctrica de electrodos y celdas en serie
 - Alta fluidodinámica al interior
- Sin emisión de niebla ácida y/o gases
 - Alta densidad de corriente
- No requiere máquina despegadora de cátodos
 - Sin uso de aditivos orgánicos
- Apta para electro obtención de diferentes concentraciones de metales desde diversos medios
- Permite la recuperación y/o recirculación de electrolitos agotados
 - Uso de membranas electro iónicas



DOM TEC® ESQUEMA DE OPERACIÓN

Secuencia
esquemática de
operación en stack
de la tecnología
DOM TEC®



Cerrado



Abierto

— Cu
— Cu
— Cu

DOM TEC® COSECHA Y DESPEGUE DE COBRE CATÓDICO

PLANTA CALAMA DE 12 TON/MES DE COBRE CATÓDICO



Operación de cosecha
y despegue de cobre
catódico en Planta
Calama de Transducto
S.A. empresa
desarrolladora y
propietaria de la
tecnología DOM TEC®

DOM-TEC®

DOM TEC®

DISEÑO COMPARATIVO, EW CONVENCIONAL V/S DOM TEC®



Para 38 t Cu/mes el caso de celdas convencionales en EW trabajando a 350 A/m^2 , se debería tener aproximadamente 15 celdas en operación de 66 cátodos cada una, con un depósito catódico de aprox. 50 kg. A esto hay que agregar la Nave de EW, barras equipotenciales, atrapaniebla, etc., más la máquina despegadora de cátodos.

TECNOLOGÍA DOM-TEC®

38 TON Cu/MES

- 500 A/m² conservador
- 9 stacks
- 25 celdas/stack
- >35 g/L Cu



Amigable con el medio ambiente



Menor costo de inversión (CAPEX)



Costos bajos de operación y mantenimiento (OPEX)



Producción de cátodos Cu de alta pureza



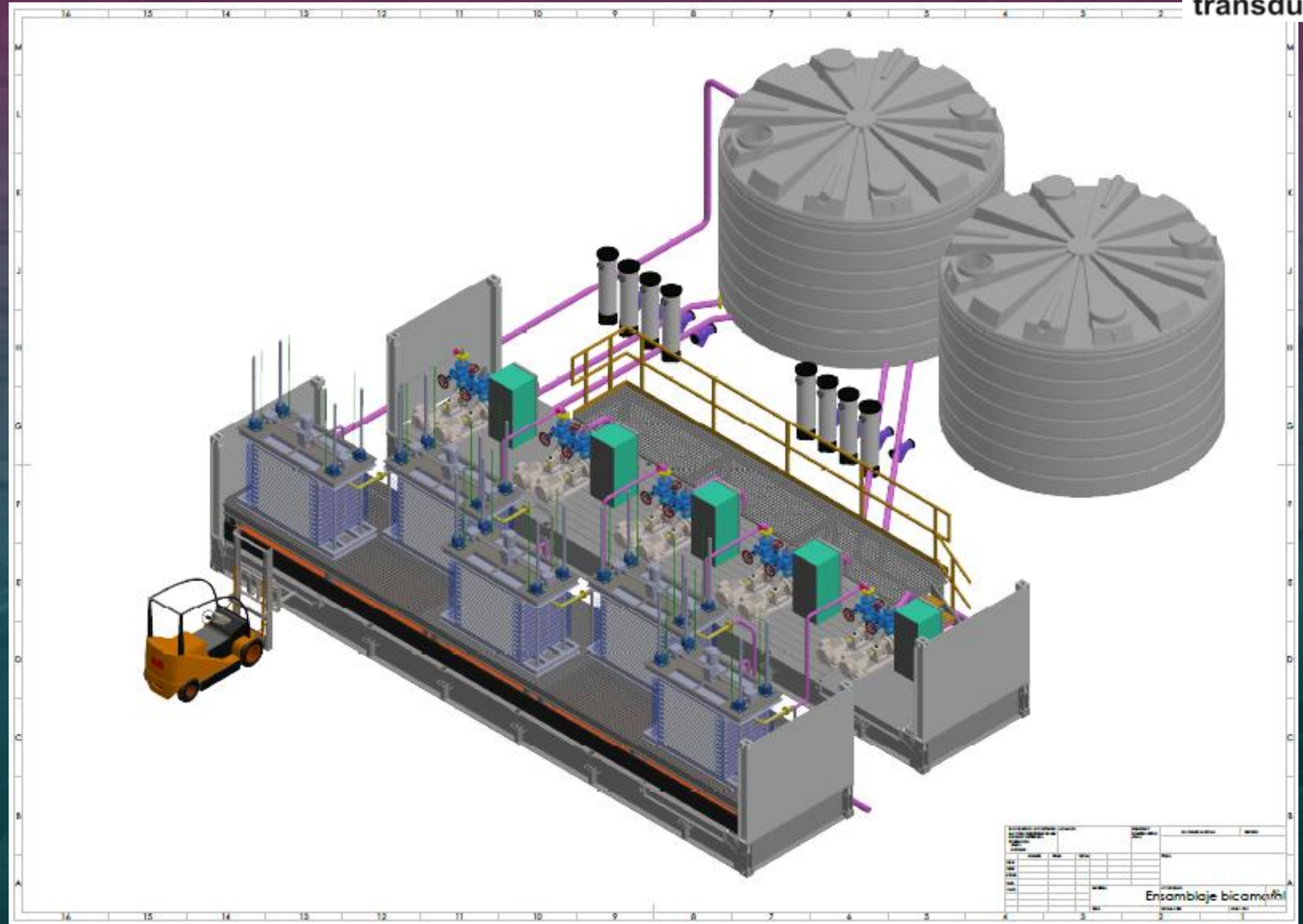
DOM TEC® DISEÑO COMPARATIVO

EW CONVENCIONAL v/s DOM TEC®

Personal:
1 Jefe de Planta
2 operadores por Stacks
1 ayudante para arranque y cosecha

Consumo:
150 kW aprox.

Producción
5 ton por stack mensual aprox.
Concentración >30 g/L Cu^{2+}

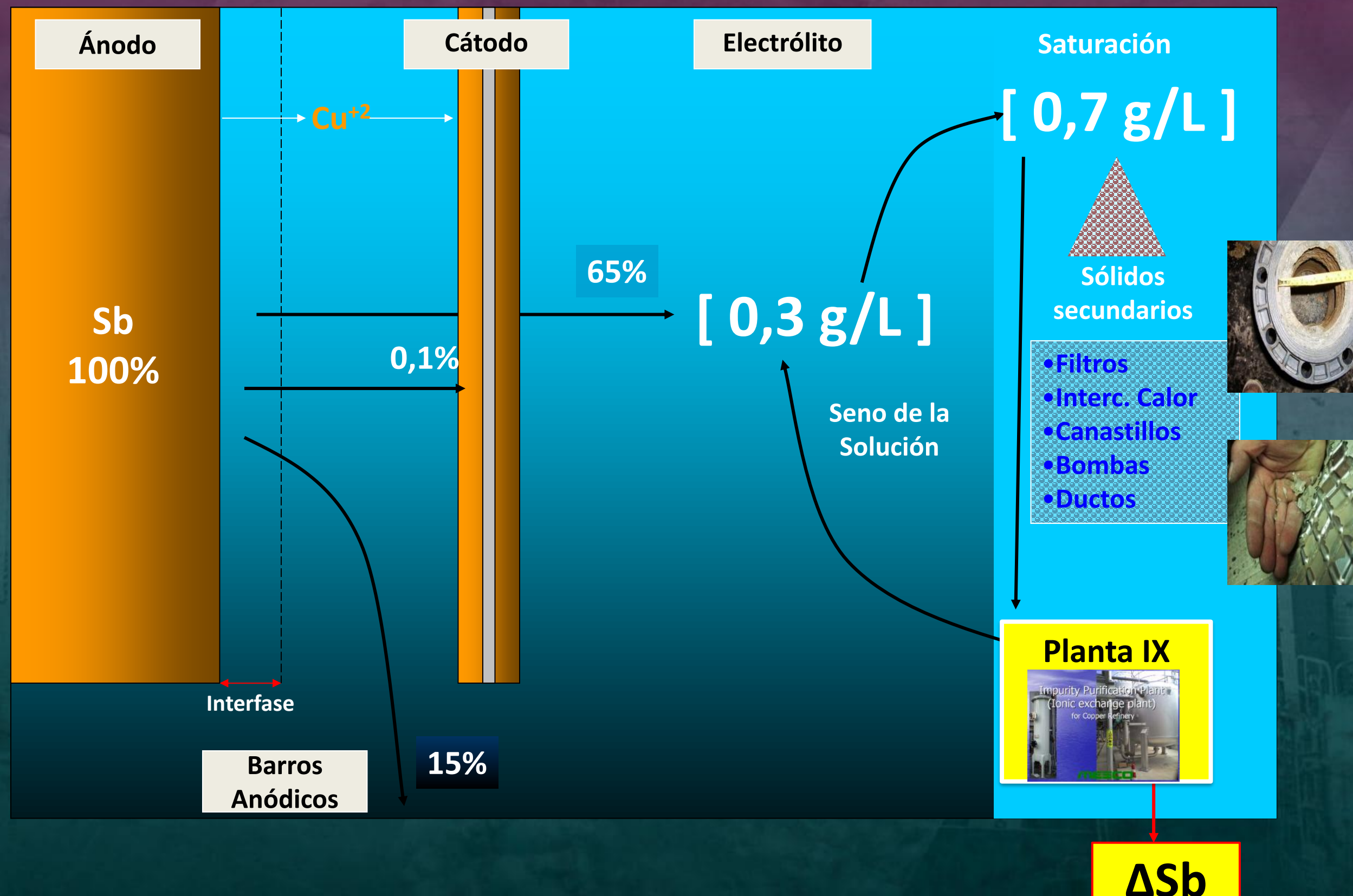


DOM TEC®

ELECTRO OBTENCIÓN DE Sb EN MEDIO CLORHÍDRICO 6N



PLANTA TRATAMIENTO IMPUREZAS (Sb) EN REFINERÍA ELECTROLÍTICA DE Cu



DOM TEC®

ELECTRO OBTENCIÓN DE Sb EN MEDIO CLORHÍDRICO 6N



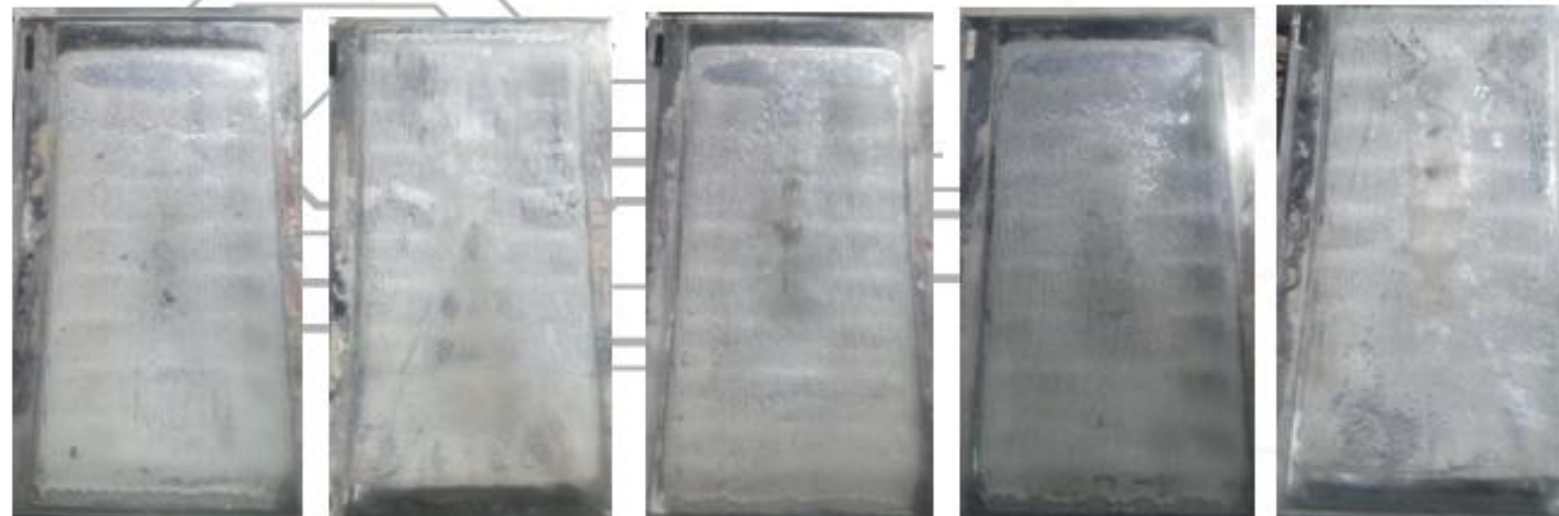
Sb inicial 15 g/L
Bi inicial 4 g/L
Electrolito HCl 6N
Densidad de corriente 500 A/m²
Voltaje de celda 4 V
Eficiencia Farádica 96,5%
Composición catódica 96,04% Sb,
4,72%Bi



ELECTRO OBTENCIÓN DE Sb EN MEDIO CLORHÍDRICO 6N



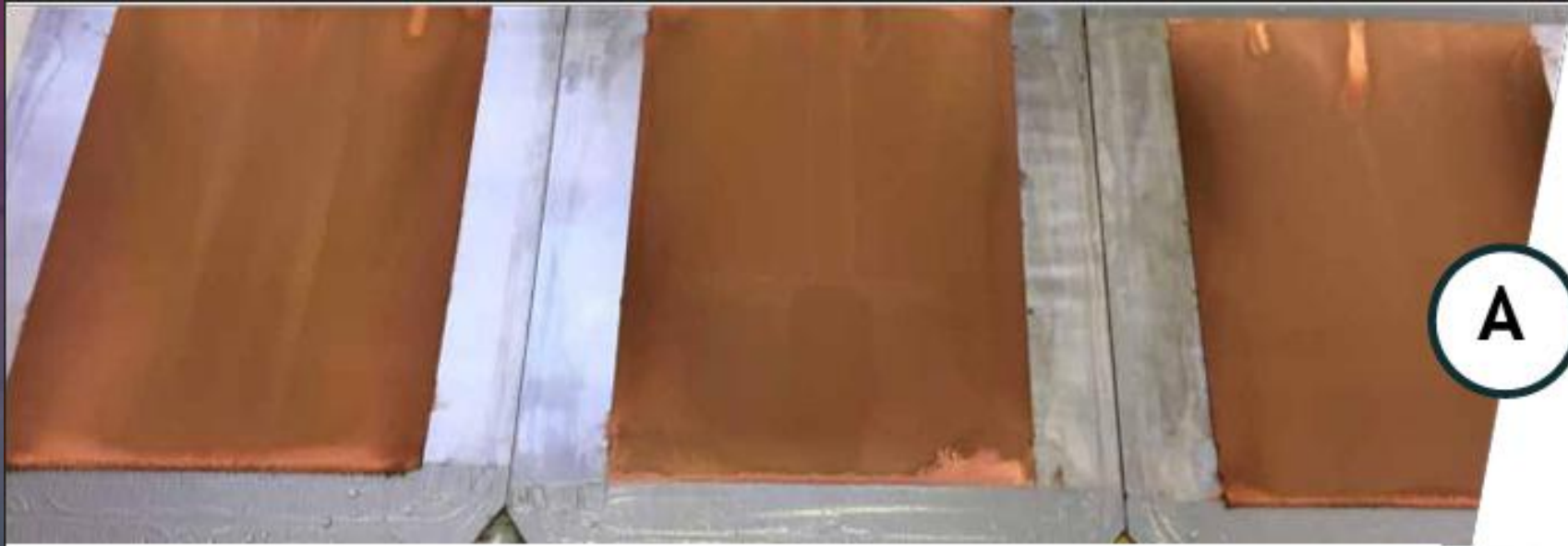
EJEMPLO DE Sb EN MEDIO HCL
PRUEBA TRATAMIENTO DE
ELECTROLITO DE Sb
REFINERÍA CHUQUICAMATA
CODELCO



DOM TEC®

ELECTRO OBTENCIÓN DE Cu y As





A

EJEMPLO DE EDR DE Cu Y
As EN MEDIO H2SO4
PRUEBA TRATAMIENTO DE
EFLUENTES DE DESCARTE CON
ALTO CONTENIDO DE As



B



C

N° Prueba	Cu final electrolito [g/L]	Densidad corriente [A/m2]	Contenido As [%]	Pureza Cu Catódico [%]
A	16,6	400	0,04	99,9X
B	8,0	160	20,8	54,7
C	0,0033	48	54,9	12,0

Elemento	% en Peso
As	54,90
O	20,70
Cu	12,00
Sb	4,46
Pb	2,49
Mg	1,42
Te	1,14
S	0,98
Mo	0,93
Cl	0,31
Bi	0,20
Ni	0,13
Si	0,12
Fe	0,11
Ca	0,05



DOM TEC®

TIPOS DE DISEÑO OPERACIONAL





transducto



PATENTES DE INVENCION

1.- "Dispositivo tipo filtro prensa para electrodepositar metal desde soluciones, el cual está compuesto por elementos separadores conformados por membranas de intercambio iónico formando una pluralidad de cámaras de anolitos y catolitos...."

– INAPI 2015-03030, fue aceptada por el INAPI con fecha 10-07-2019. Patente registrada en Europa, Perú, U.S.A., Australia, Canadá, Rusia, México, Colombia, Sudáfrica, Brasil, India.

2.- "Aparato electroquímico tubular para la electro-obtención de metal desde soluciones, conformado por una cubierta y un par de tapas terminales de material no conductor con entradas y salidas de anolito y catolito, y capas concéntricas separadas compuestas por electrodos y una membrana de intercambio iónico entre ellos"

– INAPI 2016.00638, fue aceptada por el INAPI con fecha 06-06-2019.

3.- "Celda Electrolítica de mono cámara y aparato a presión horizontal sellado para electrodepositar metal desde soluciones electrolíticas"

– INAPI 2018-01294, fue aceptada por el INAPI con fecha 15-04-2021.

TRANSDUCTO S.A.

TECNOLOGÍA

DOM-TEC®



www.transducto.com
Av. del Cóndor 600, of 12, Huechuraba, Santiago



transducto^{S.A.}

DOM TEC® en la Electro Obtención de Materiales Críticos

Dr. Gerardo Cifuentes M.

Transducto S.A.

✉ gerardo.cifuentes@transducto.com

☎ [+56 9 9870 0003](tel:+56998700003)

