

Impulsando una transición energética sostenible: los electrolizadores de baja temperatura y sus materiales constructivos



Temario

01

Introducción

02

Generalidades

03

**Materiales
constructivos**

04

Vida útil

05

Desafíos

06

Agradecimientos

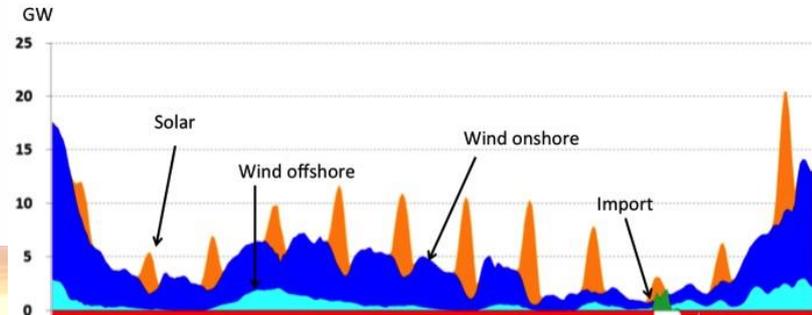




Introduction

Energías renovables
Tecnologías Power to "X"

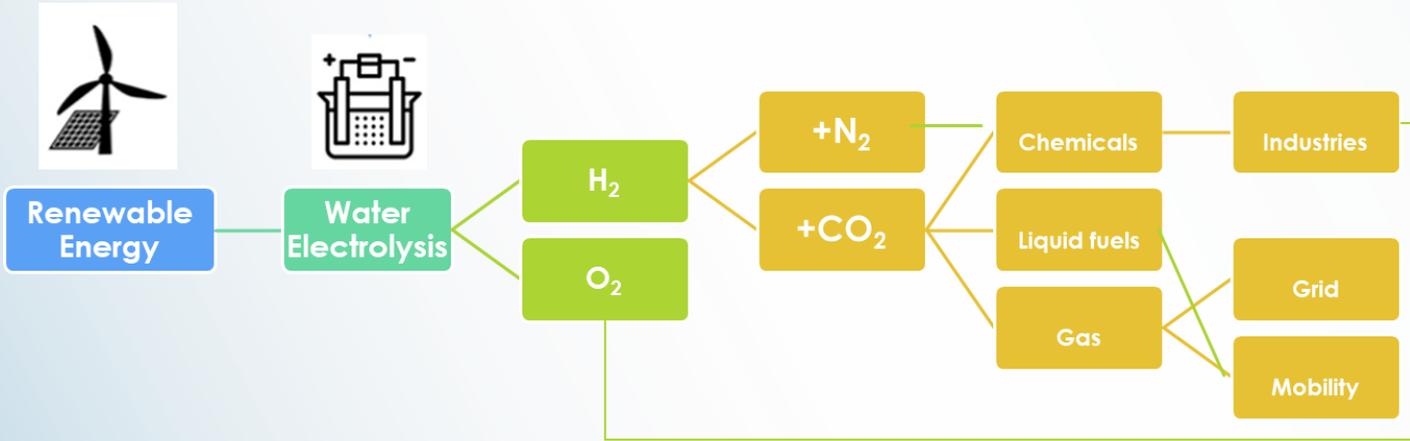
Energías Renovables



<https://www.wind-watch.org/documents/hidden-consequences-of-intermittent-electricity-production/>

<https://unsplash.com/es/s/fotos/renewable-energy>

Tecnologías Power to X



storage



industry



buildings



transport

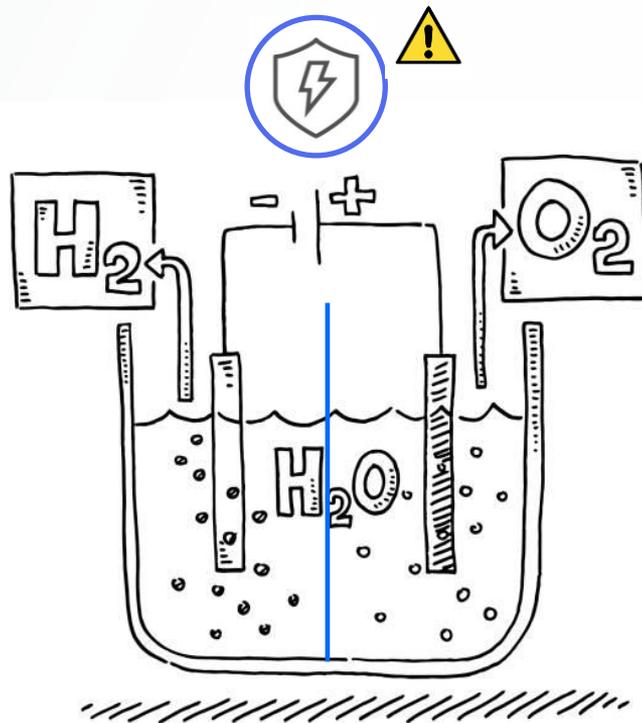


Schematic representation of "power to X" conversion pathways

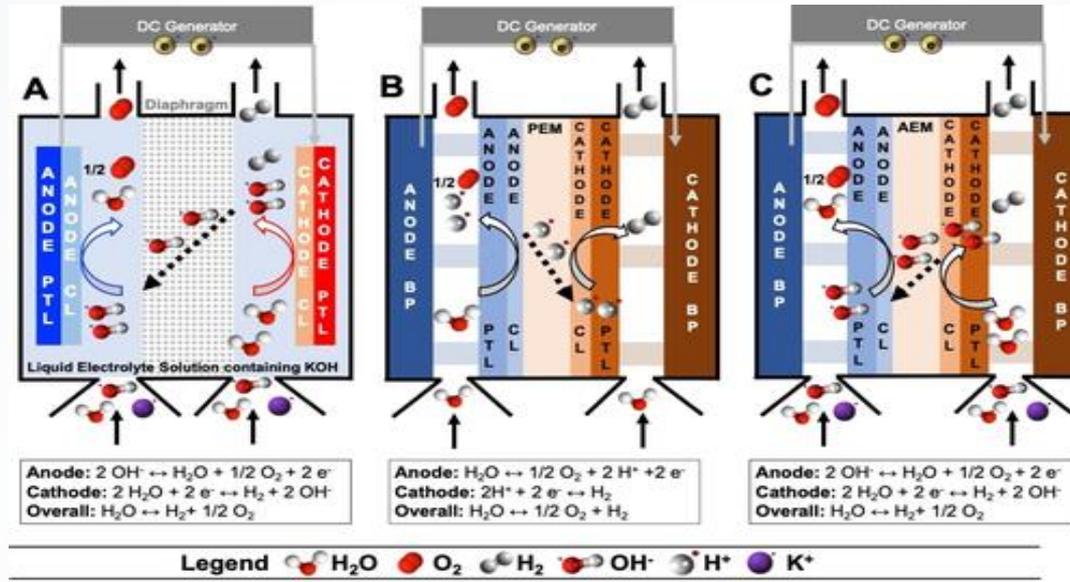
Recent development in Power-to-X: Part I - A review on techno-economic analysis Ahmed Rufai Dahiru, Ari Vuokila, Mika Huuhtanen (2022) Journal of Energy Storage 56.

<http://power-to-x-energy-of-the-future/>

Electrólisis



Tecnologías de electrólisis de baja temperatura



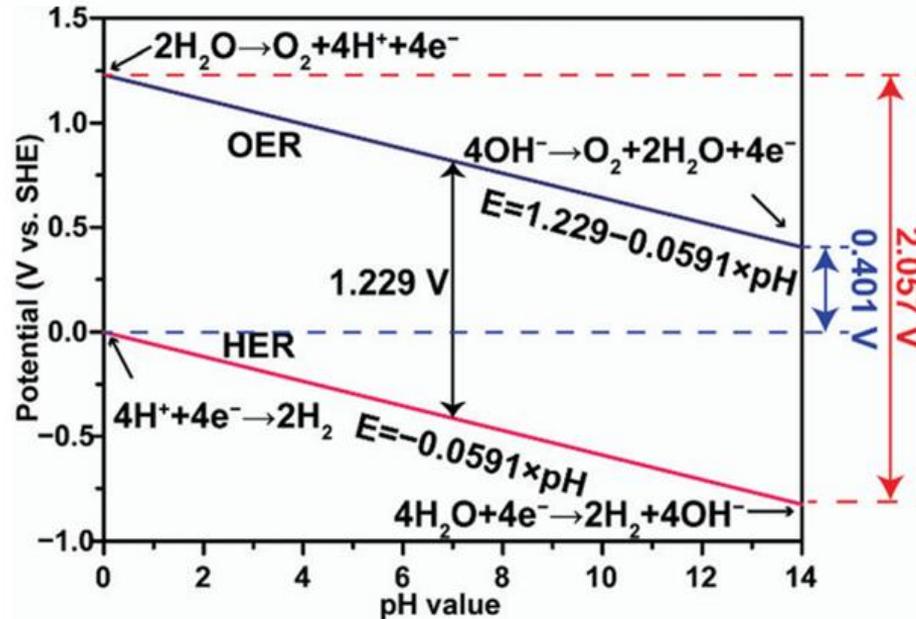
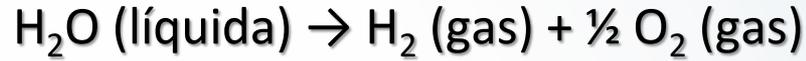
Electrólisis de agua: A) Alcalina; B) Membrana de electrolito polimérico y C) Membrana de intercambio de aniones.

Generalidades

Hemireacciones
Potenciales
Sobrepotenciales



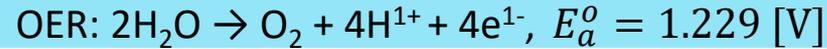
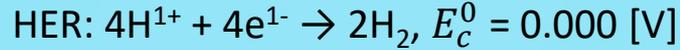
Descomposición electroquímica del agua



Potenciales termodinámicos de la reacción de evolución de hidrógeno (HER) y de oxígeno (OER) en electrolitos acuosos con diferentes valores de pH bajo condiciones estándar

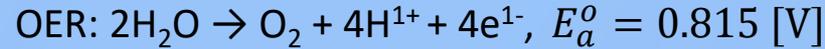
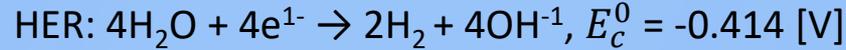
Condiciones estándar: 298.15 K, 1 atm

Electrolitos ácidos



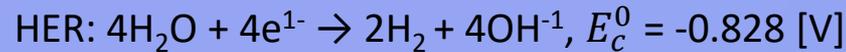
pH = 0

Electrolitos neutros



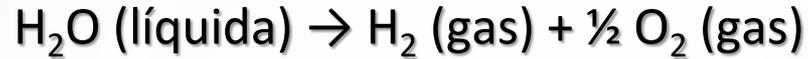
pH = 7

Electrolitos alcalinos



pH = 14

Descomposición del agua

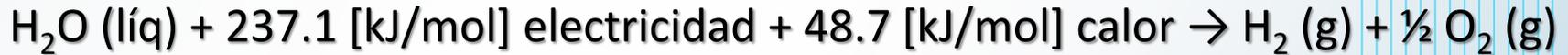


$$\Delta H^0 = \Delta G^0 + T\Delta S^0$$

↓ ↓ ↓

285.8	237.1	48.7
[kJ/mol]	[kJ/mol]	[kJ/mol]

Condiciones Estándar
(298,15 K, 1 atm)

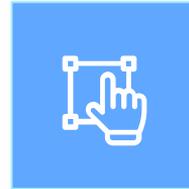


Potencial: termodinámico reversible, termoneutral



E_{RE}

$$E_{RE} = - \frac{\Delta G^0}{nF} = 1.23 \text{ [V]}$$



E_{TN}

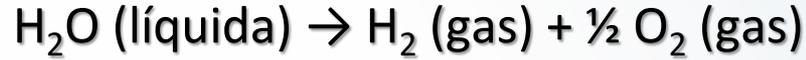
$$E_{TN} = - \frac{\Delta H^0}{nF} = 1.48 \text{ [V]}$$

$$n = 2$$

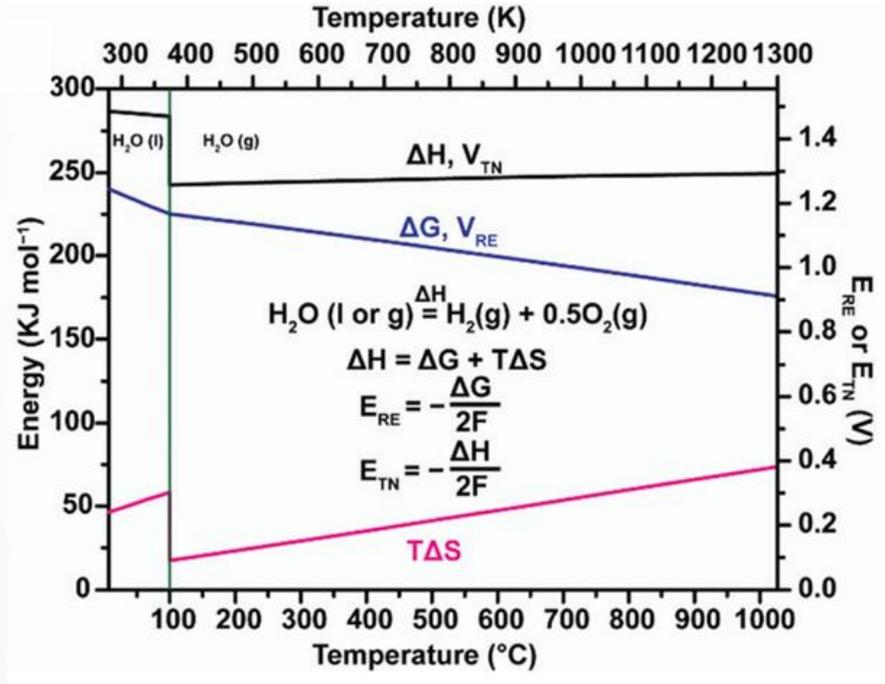
$$F = 96\,485 \text{ [C/mol]}$$



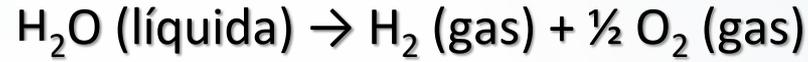
Descomposición electroquímica del agua



Termodinámica de la separación del agua en función de la temperatura a 0,1 MPa.



Descomposición electroquímica del agua



$$\Delta G^0 = -nFE_{RE}$$

$$n = 2$$

$$F = 96\,485 \text{ [C/mol]}$$

$$E_{RE} = E_{OER}^0 - E_{HER}^0$$

E_{eq} se determina E_{cel}

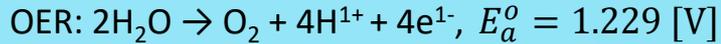
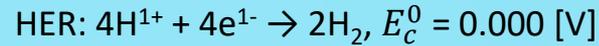
$$E_{cel} > E_{eq}$$

Descomposición electroquímica del agua

$$\eta_{OER} = E_{OER} - E_{eq,OER}$$

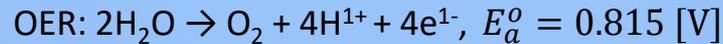
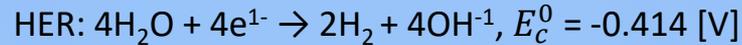
$$\eta_{HER} = E_{HER} - E_{eq,HER}$$

$$\eta_{OER} > \eta_{HER}$$



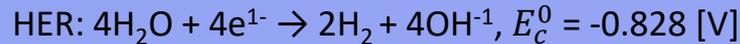
pH = 0

$$\eta_{OER}, \eta_{HER}$$



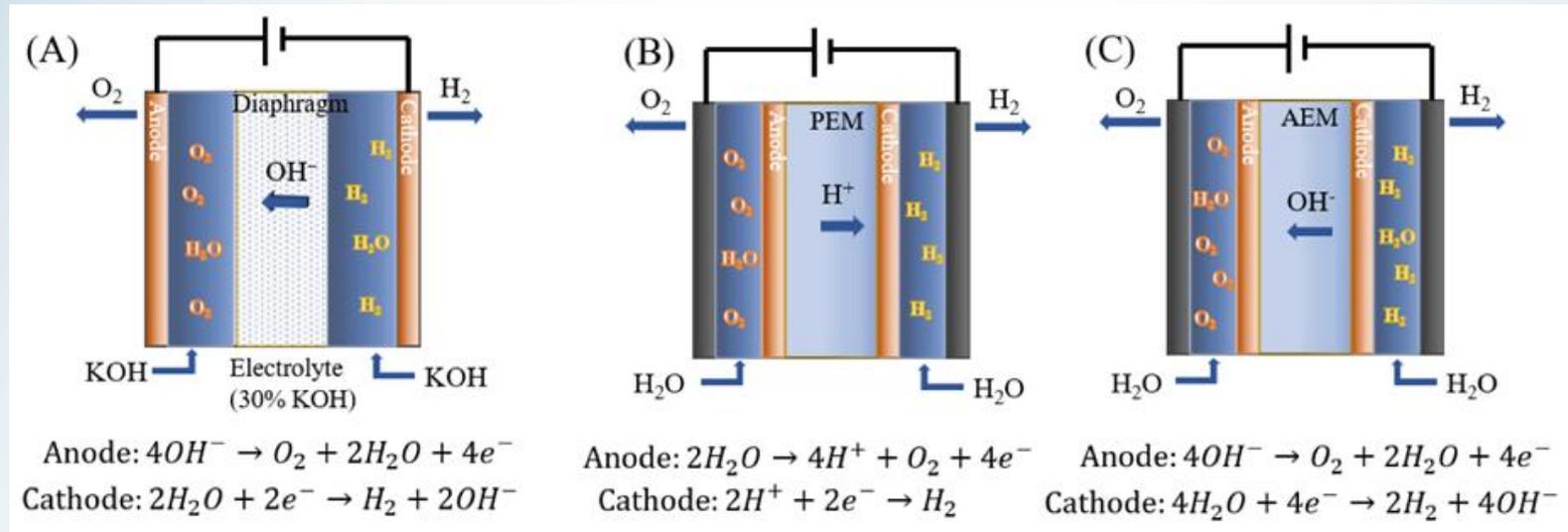
pH = 7

$$\eta_{HER} > \eta_{OER}$$



pH = 14

Descomposición electroquímica del agua



Diagramas esquemáticos de celdas de electrólisis: a) AWE, b) AEM y c) PEM

<https://doi.org/10.3390/membranes14040085>



Material para su construcción

Material Crítico

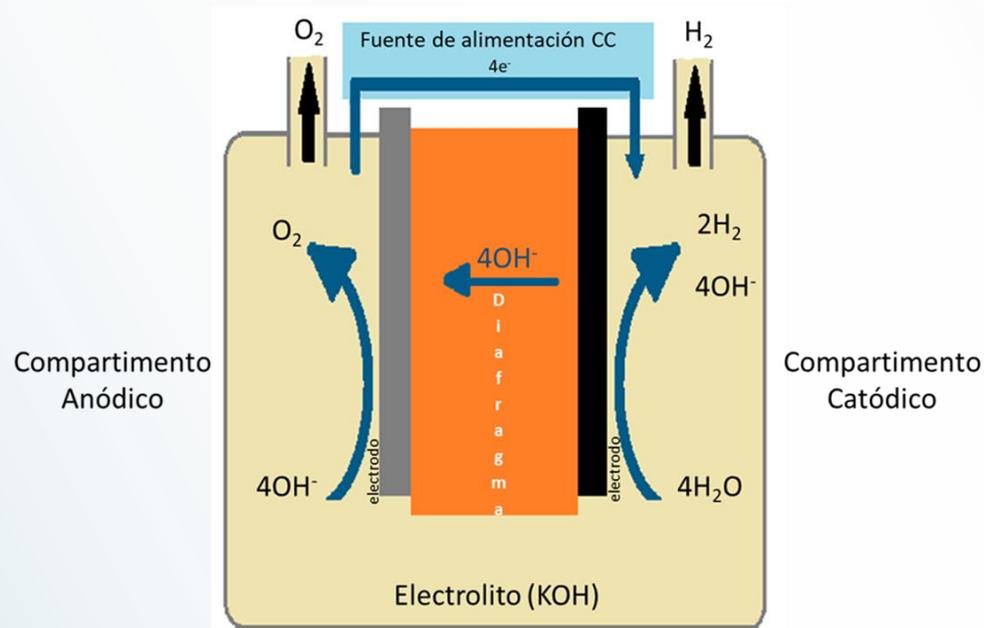
Comparación de las tecnologías de electrólisis de agua de baja temperatura en cuanto a materiales

DVB = divinilbenceno
 EPDM = etileno-propileno-dieno-metileno
 ETFE = etileno tetrafluoroetileno
 PFSA = ácido perfluorosulfónico
 PPS = polifenileno
 PSU = polisulfona
 PTFE = politetrafluoroetileno

Tipo de electrolizador	Alcalino (AWE)	Membrana de electrolito polimérico (PEM)	Membrana de intercambio de aniones (AEM)
Electrolito	KOH	Membranas de PFSA	Polímero de DVB soportado con KOH o NaHCO_3
Separador	ZrO_2 estabilizado con PPS	Membranas de PFSA	Polímero de DVB soportado con KOH o NaHCO_3
Ánodo/electrocatalizadores	Acero inoxidable perforado niquelado	IrO_2	Ni o aleaciones de NiFeCo
Cátodo/electrocatalizadores	Acero inoxidable perforado niquelado	Nanopartículas de platino sobre negro de humo	Espuma de Ni
Marcos y sellos	PSU, PTFE, EPDM	PTFE, PSU, ETFE	PTFE, silicio

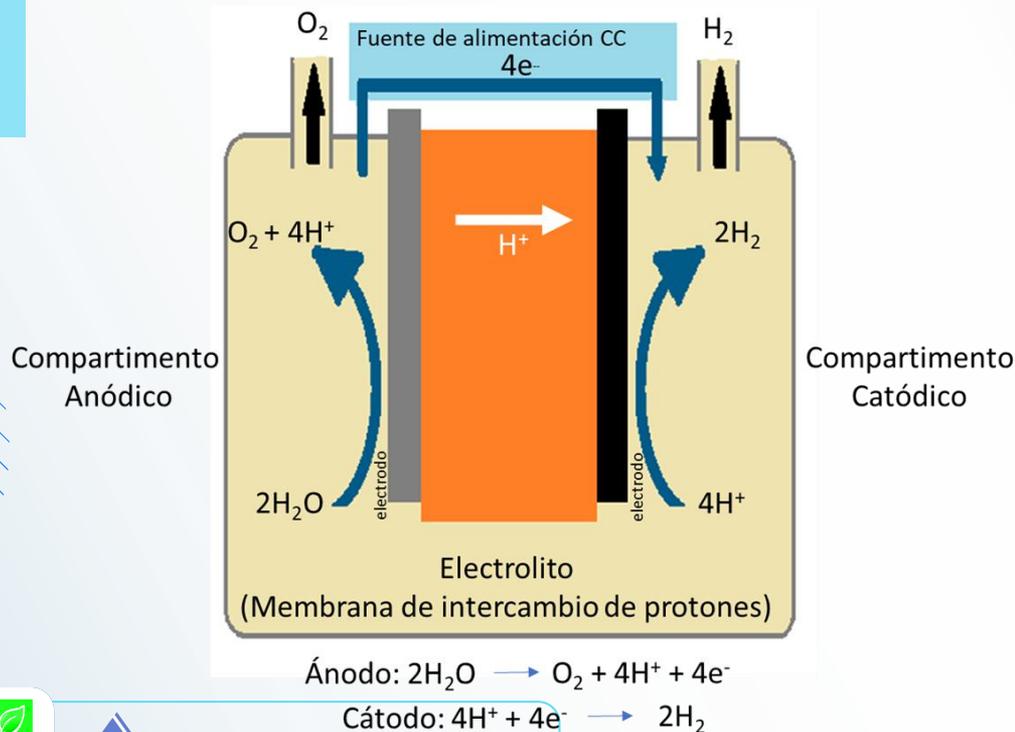


Electrolizadores alcalinos



Electrolizador	Alcalino (AWE)
Separador	Dióxido de zirconio estabilizado con sulfuro de polifenileno (PPS)
Electrolito	Hidróxido de potasio
Electrodo/catalizador (ánodo)	Acero inoxidable perforado niquelado
Electrodo/catalizador (cátodo)	Acero inoxidable perforado niquelado

Electrolizadores membrana de electrolito polimérico



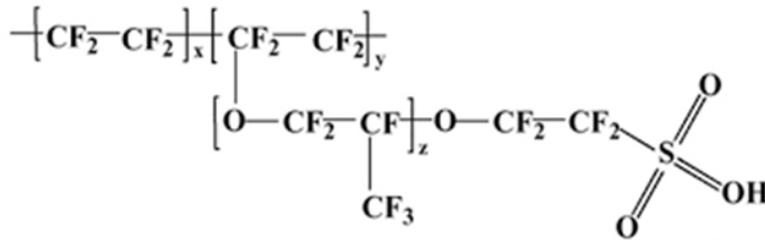
Electrolizador	Membrana de electrolito polimérico (PEM)
Separador	Electrolito sólido: membranas del ácido perfluorosulfónico (PFSA)
Electrolito	Membranas del ácido perfluorosulfónico (PFSA)
Electrodo/catalizador (ánodo)	Dióxido de iridio
Electrodo/catalizador (cátodo)	Nanopartículas de platino sobre negro de humo

Electrolizadores membrana de electrolito polimérico



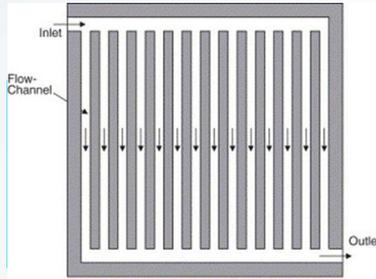
Membranas conductora de protones

Fumapem[®]
Flemion[®]
Aciplex[®]



Estructura química del Nafion[®]

Electrolizadores membrana de electrolito polimérico

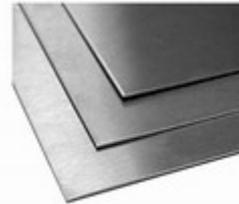


Placas bipolares

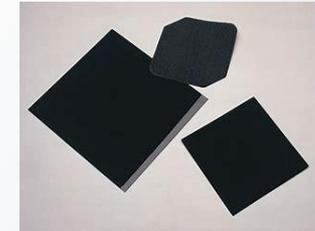


Capa difusora de gases

Titanio (Ti)



Titanio (Ti)



Grafito

Electrolizadores membrana de electrolito polimérico

Cátodo

**Platino
(Pt)**



Ánodo

**Rutenio
(Ru)**



Promover la
cinética de
transferencia de
carga

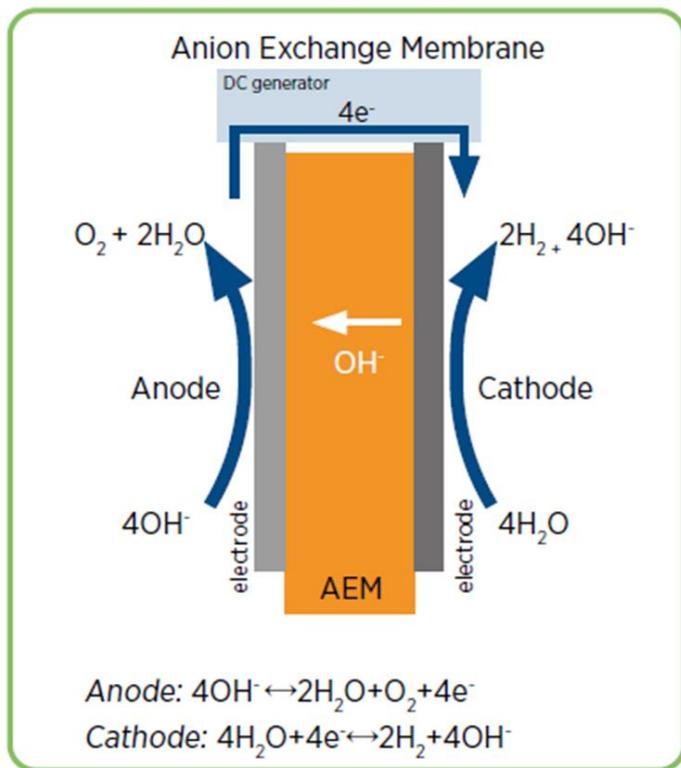
Disminuir la
energía de
activación

Electrocatalizadores

**Iridio
(Ir)**

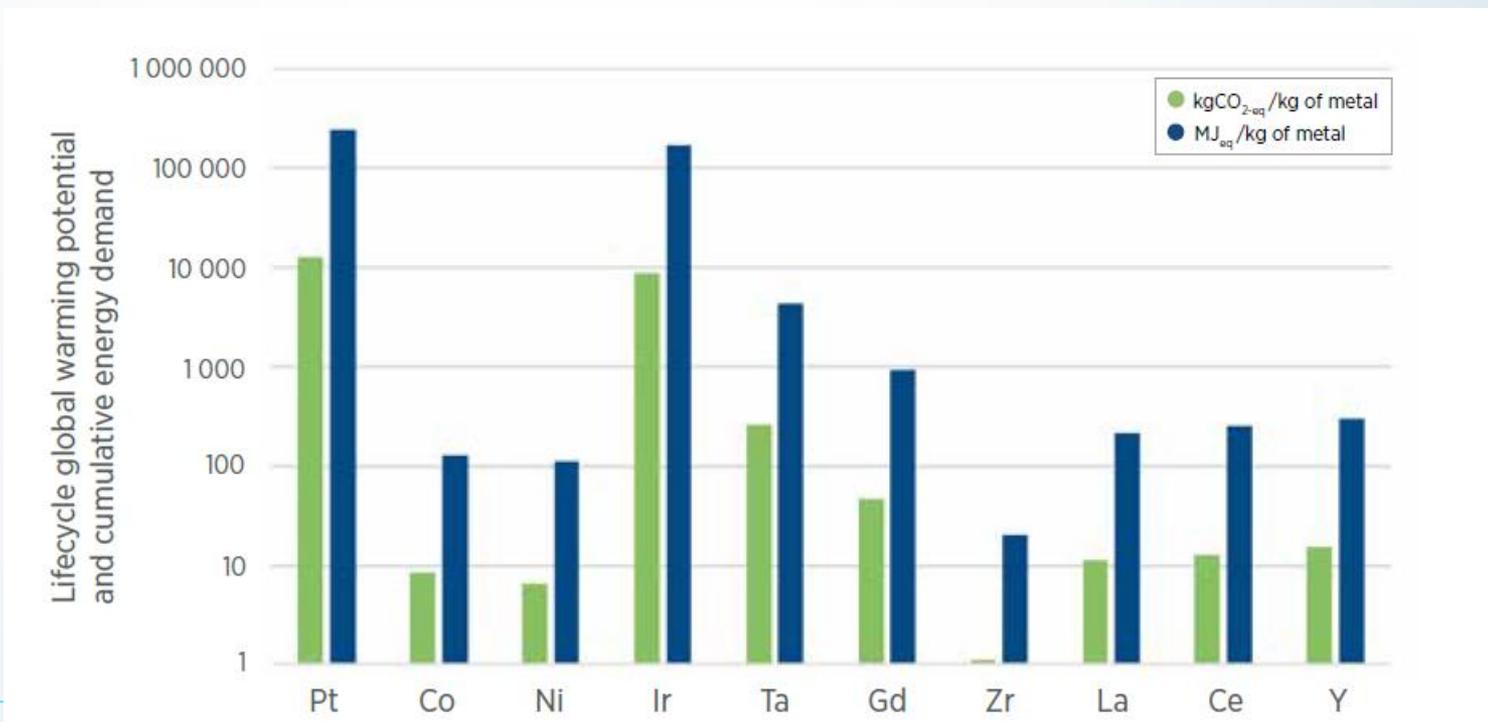


Electrolizadores membrana de intercambio de aniones



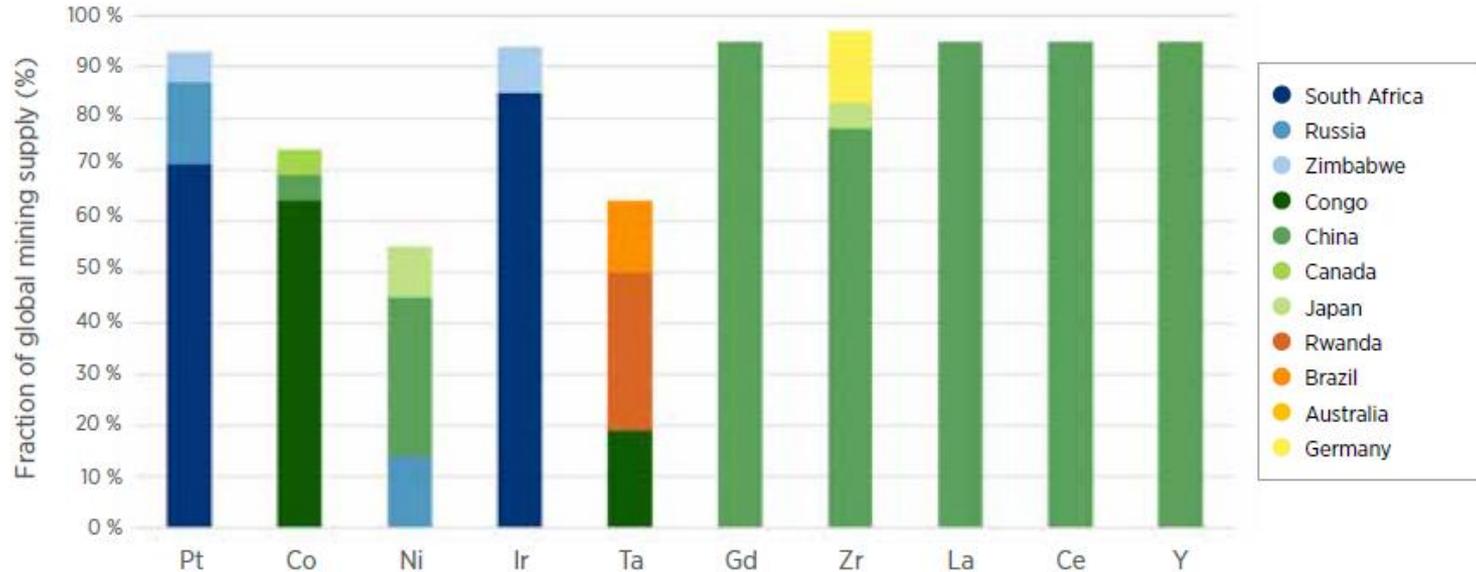
Electrolizador	Membrana de intercambio de aniones (AEM)
Separador	Electrolito sólido: polímero de divinilbenceno soportado con hidróxido de potasio o bicarbonato de sodio
Electrolito	Polímero de divinilbenceno soportado con hidróxido de potasio o bicarbonato de sodio
Electrodo/catalizador (ánodo)	Aleaciones de níquel o NiFeCo de gran área superficial
Electrodo/catalizador (cátodo)	Espuma de níquel

Materiales críticos utilizados en electrolizadores



Potencial de calentamiento global y demanda acumulada de energía para materiales críticos utilizados en electrolizadores.

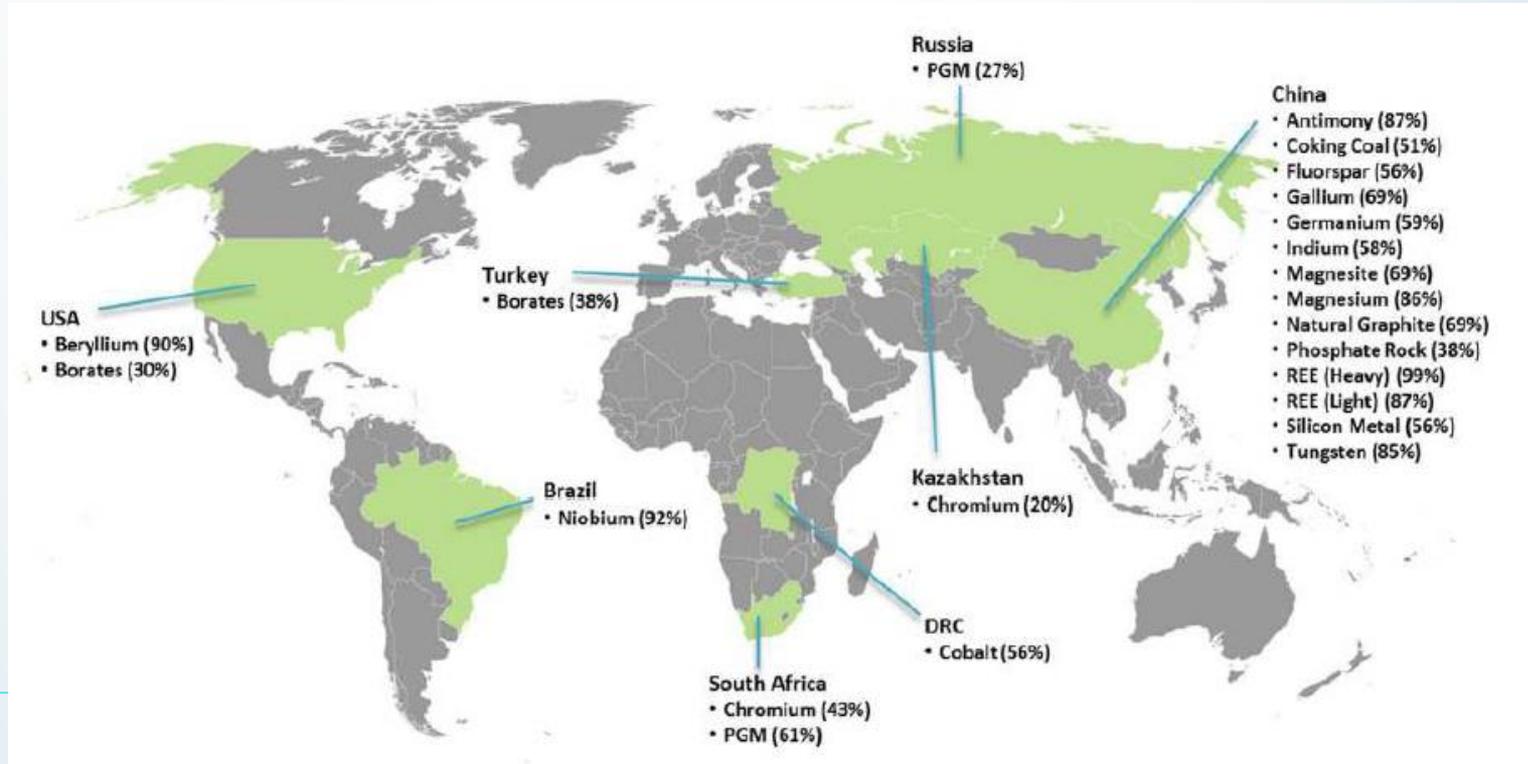
Suministro de materiales críticos



Source: European Commission, 2020.

Top producers of critical materials in electrolyzers.

Suministro de materias primas críticas por países



Estrategias



Prevencción
reducción de uso ○



Extensión del uso
de los equipos o
aumento de su
eficiencia



Reciclaje



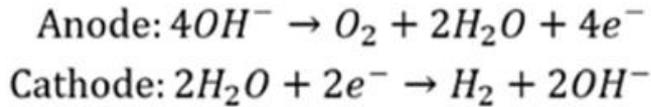
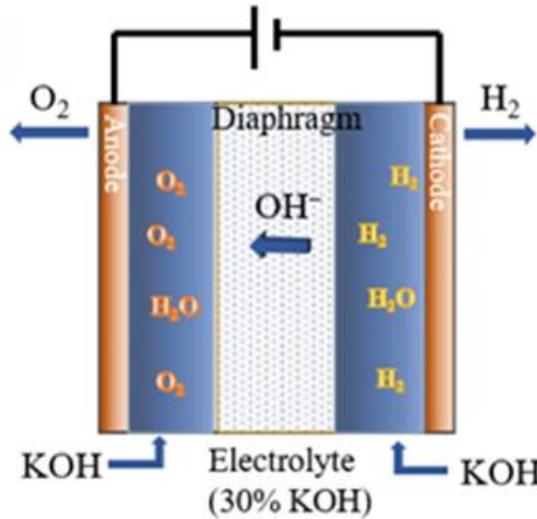
Combinación



Aspectos de la vida útil

vinculada a los materiales
constructivos

Electrolizadores alcalinos



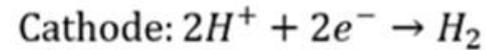
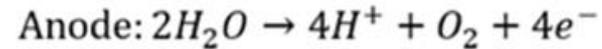
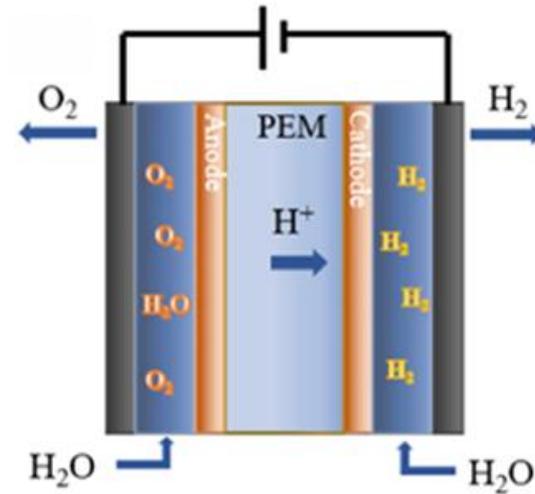
Factores que influyen en su duración:

- Permeación de gas
- Electroodos
- Diafragmas
- Impurezas en el agua

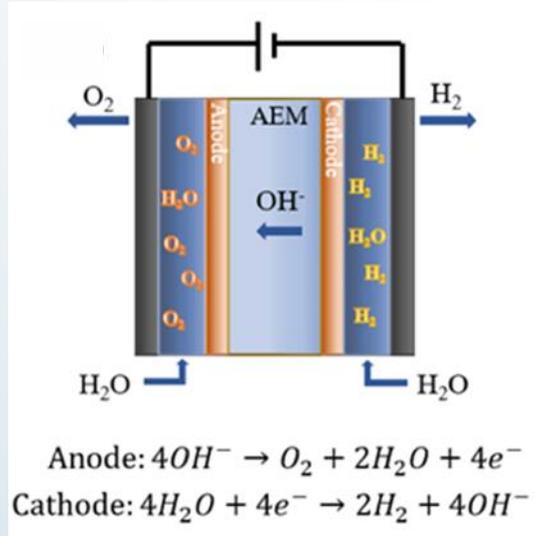
Electrolizadores de electrolito polimérico

Factores que influyen en su duración:

- Condiciones de operación
- Carga variable
- Permeación de gas
- Disolución del ánodo
- Impurezas en el agua



Electrolizadores de membrana de intercambio de aniones



Factores que influyen en su duración:

- Degradación de la membrana



Corta vida útil

Información limitada sobre:

Operación a largo plazo

Confiabilidad

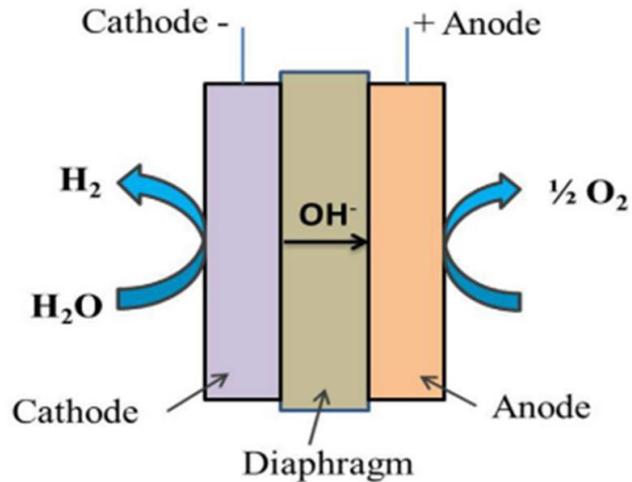
Robustez

Desafíos

de las tecnologías de electrólisis de baja temperatura



Electrolizadores alcalinos



Aumentar las densidades de corriente

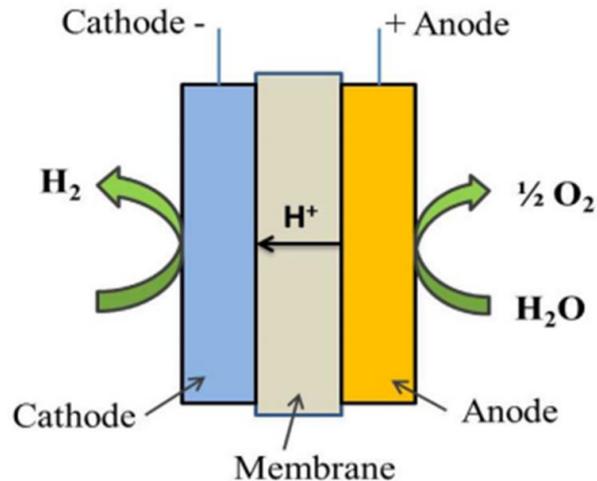
Reducir el espesor del diafragma

Rediseñar las composiciones de los catalizadores

Rediseñar las arquitecturas de los electrodos

Nuevos conceptos de capas de transporte poroso

Electrolizadores de membrana de electrolito polimérico



Reducir el espesor de la membrana

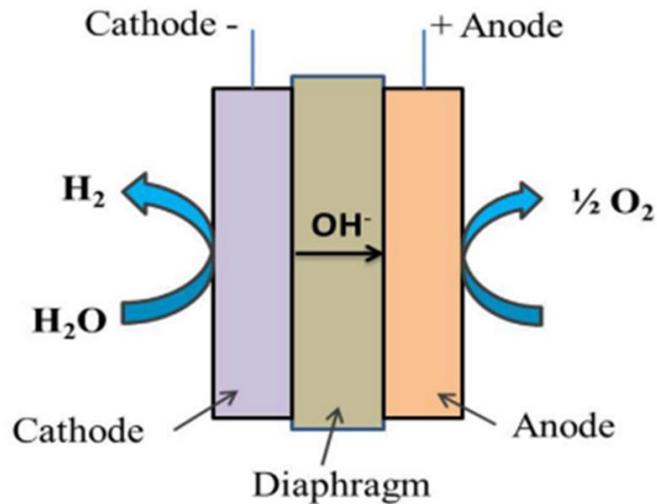
Eliminar recubrimientos costosos

Rediseñar las capas porosas de transporte

Rediseñar las placas bipolares

Rediseñar las membranas recubiertas con catalizador

Electrolizadores de membrana de intercambio de aniones



Mejorar la durabilidad

Mejorar la conductividad

Encontrar membranas con propiedades deseables

Rediseñar las arquitecturas de los electrodos

Nuevos conceptos de capas porosas de transporte

Implementación dependerá:

- Avances logrados en investigación y desarrollo
- Mejora de la eficiencia de los sistemas
- Reducción de los costos de producción
- Escalabilidad



Agradecimientos

Red Cyted H₂Transel

II Workshop INCT CAPE 2024

Instituto de Investigaciones Científicas y
Técnicas para la Defensa



Thanks

Do you have any questions?

María José Lavorante

mlavorante@citedef.gob.ar

+54 911 7098100

citedef.gob.ar

