

Modelado dinámico de celdas de combustible

Alumnos: Alberto Zamora Campos
Enrique Escobedo Hernández

Asesores: Ma. Guadalupe López López
Víctor Manuel Alvarado Martínez

Coordinación de
Ingeniería Mecatrónica

Resumen

Este trabajo consiste en modelar y simular dos monoceldas tipo PEM, caracterizando las celdas y validando los modelos experimentalmente.

En estado estable, el comportamiento de una celda PEM se representa por medio de una curva de polarización (Voltaje de salida vs densidad de corriente). Esta curva está formada por tres zonas que representan los sobrepotenciales de ACTIVACIÓN, ÓHMICO y de CONCENTRACIÓN.

Para el análisis transitorio, se considera la dinámica del sistema que se produce mediante el efecto de la CAPACITANCIA DE DOBLE CAPA.

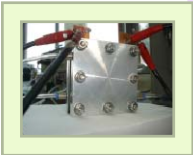
Objetivos. Desarrollar un modelo matemático para predecir el comportamiento en estado estable y dinámico de celdas de combustible tipo PEM.

Metodología

1. Caracterización de dos monoceldas tipo PEM.

Presión de 1 atm, temperatura de 30 a 70 °C, alimentación de gases secos y membrana 100% hidratada.

(Laboratorio de energías no convencionales del Instituto de Investigaciones Eléctricas)



Celda PEM Electrochem Inc. de 5 cm²



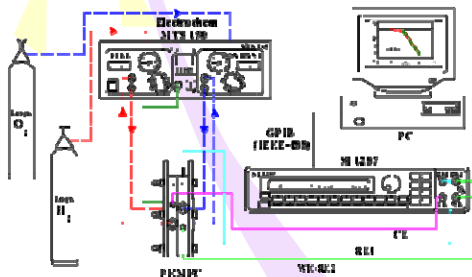
Celda PEM de 25 cm²

a. Técnica potenciométrica en estado de equilibrio.

- Determinación del sobrepotencial de circuito abierto

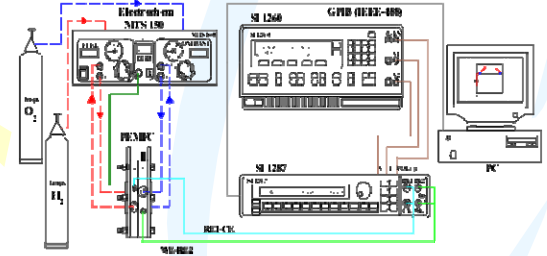
b. Técnica de barrido de potencial

- Configuración de tres electrodos: Determinación de parámetros del sobrepotencial de activación (definidos por la cinética de las reacciones electroquímicas).
- Configuración de dos electrodos: Determinación de parámetros de concentración (definidos por la difusividad de los materiales)



c. Técnica de Espectroscopía de Impedancia Electroquímica (EIS)

- Determinación de los parámetros que definen el sobrepotencial ohmico y capacitancia de doble capa.



2. Formulación de modelos matemáticos

a. Un modelo **semi-empírico** para predecir el estado estable – curva de polarización

$$V_{FC} = E_{Nerst} - \eta_{act} - \eta_{ohmic} - \eta_{con}$$

$$\eta_{con} = -B \cdot \ln \left(1 - \frac{j + j_c}{j_{max}} \right)$$

$$V_{FC} = \text{Voltaje de salida} = f(\text{parámetros físicos, densidad de corriente, } j \text{ y temperatura, } T)$$

$$E_{Nerst} = \text{Potencial ideal}$$

$$\eta_{act} = \text{Sobrepotencial de activación}$$

$$\eta_{ohm} = \text{Sobrepotencial óhmico}$$

$$\eta_{con} = \text{Sobrepotencial por concentración}$$

$$E_{Nerst} = 1.229 - 8.456 \times 10^{-5} (T - 298.15) + 4.308 \times 10^{-5} \cdot T \cdot \left[\ln(p_{H_2}^*) + \frac{1}{2} \ln(p_{O_2}^*) \right]$$

$$j_{max}(T) = 0.002 - 0.3363 \cdot T$$

$$B(T) = 3.8527 - 0.6387 \cdot \ln(T)$$

$$\eta_{ohmic} = (j + j_c) \cdot R_r$$

$$R_r = R_m + R_H$$

$$R_m(T) = \frac{\rho_m(T) \cdot \ell}{A}$$

$$\rho_m(T) = \frac{1}{\sigma_m(T)}$$

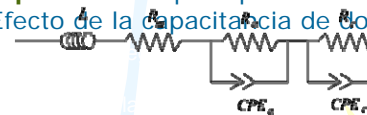
$$\sigma_m(T) = 3.3 \times 10^{-3} \cdot \exp(5.5 \times 10^{-3} \cdot T)$$

$$\eta_{act} = \frac{2.3RT}{\alpha z F} \log \left(\frac{j + j_n}{j_0} \right)$$

$$\alpha(T) = 4.141 \times 10^{-5} \cdot T^{1.642}$$

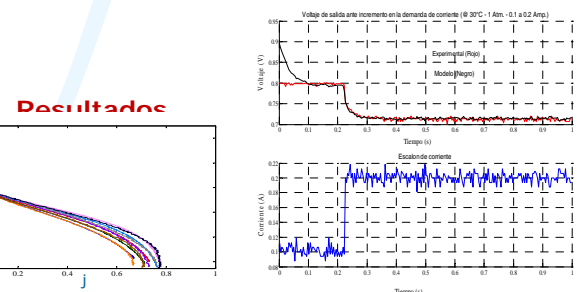
$$j_0 = 2.752 \times 10^{-5} \exp(2.863 \times 10^{-3} \cdot T)$$

a. Un Modelo empírico basado en **circuitos equivalentes** para predecir la dinámica – Efecto de la capacitancia de doble capa



3. Validación de Modelos

a. Validación experimental y análisis estadístico de errores para monocelda y stack de N celdas.



Estado estable
Error promedio: 2.5% Estado dinámico
Error promedio: