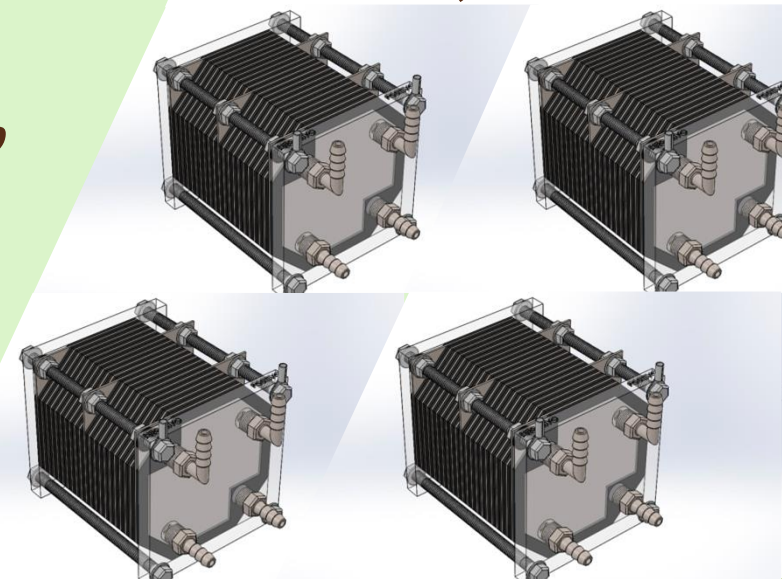


“Diseño óptimo de sistema de producción de hidrógeno con múltiples pilas electrolíticas y suministro eólico asistido por red”

Congreso **AADECA**

26 al 28 de agosto de 2025

UNC, Córdoba



José Gabriel García Clúa

Grupo de Control Aplicado,
Instituto LEICI (UNLP-CONICET),
Facultad de Ingeniería,
Universidad Nacional de La Plata

jose.garciaclua@ing.unlp.edu.ar



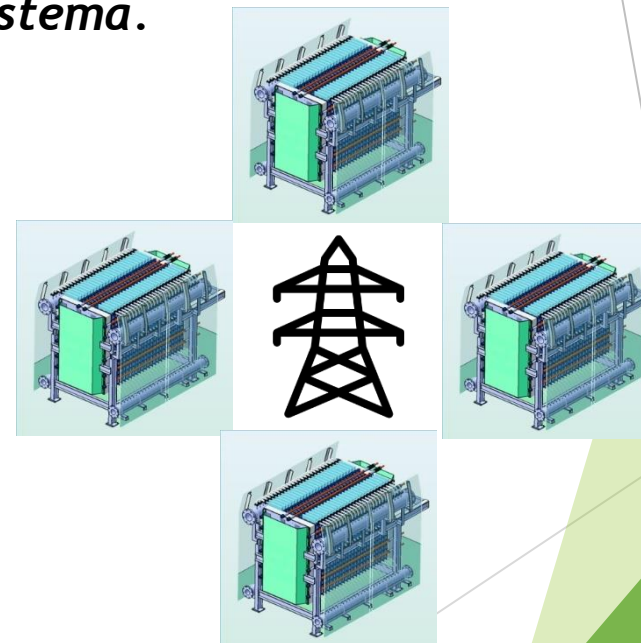
María Angélica Gallo

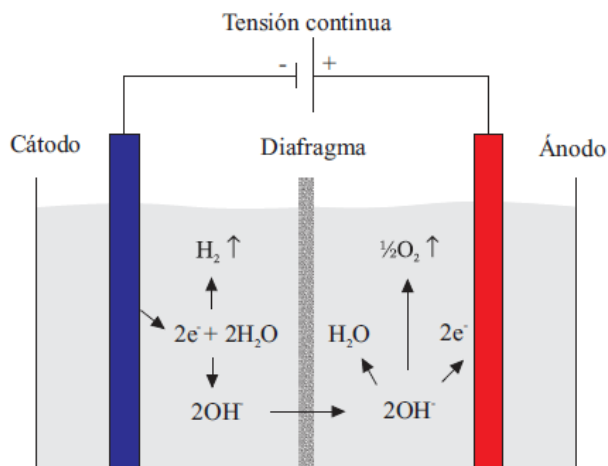
Dpto. de Ingeniería Química,
Facultad de Ingeniería,
Universidad Nacional de La Plata

angelica.gallo@ing.unlp.edu.ar



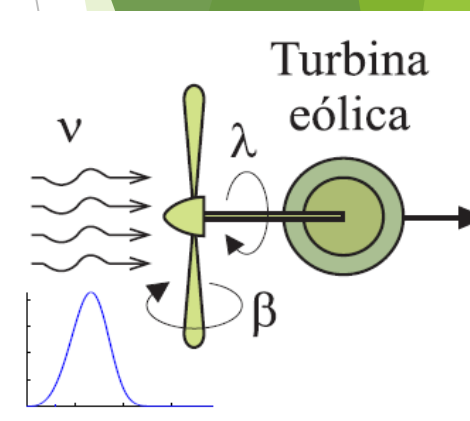
- ➔ *Introducción.*
- ➔ *Modelo determinístico del balance de potencias del sistema.*
- ➔ *Modelo estocástico de asistencia de la red.*
- ➔ *Diseño óptimo de modos asistidos por red.*
- ➔ *Resultados numéricos.*
- ➔ *Conclusiones.*





Celda de electrólisis

- La electrólisis alcalina es la tecnología comercial que más se destaca por la **pureza y sustentabilidad** del H_2 producido, si la energía eléctrica empleada es de origen **renovable**;
- La desventaja son los efectos adversos en la pureza y seguridad asociados a la variabilidad del recurso (**eólico en este caso**);
- Se requiere fuente auxiliar de energía para asistir esta alternativa limpia (**la red eléctrica en este caso**);



- Para no afectar tanto el carácter verde del H_2 se propusieron, desde el punto de vista del diseño, modos de **optimización del suministro** del electrolizador, en **operación nominal y variable**;
- En este trabajo se extiende la propuesta a electrolizadores conformados por **múltiples pilas** de idénticas especificaciones.



Obtener la cantidad y potencia nominal que minimice la asistencia de la red

- Modelo determinístico del balance de potencias

- Potencia óptima de generación de la turbina

$$P_T(\nu) = \begin{cases} \frac{1}{2} \rho A_T C_{P,max} \nu^3, & \text{si } \nu_T^{\min} \leq \nu \leq \nu_T^N \\ P_T^N, & \text{si } \nu_T^N \leq \nu \leq \nu_T^{\max} \\ 0, & \text{c.o.c.} \end{cases}$$

- Potencia de suministro requerido para la electrólisis de cada pila

$$\dot{n}_{H_2} = N \frac{\eta_F}{2F} i_E,$$

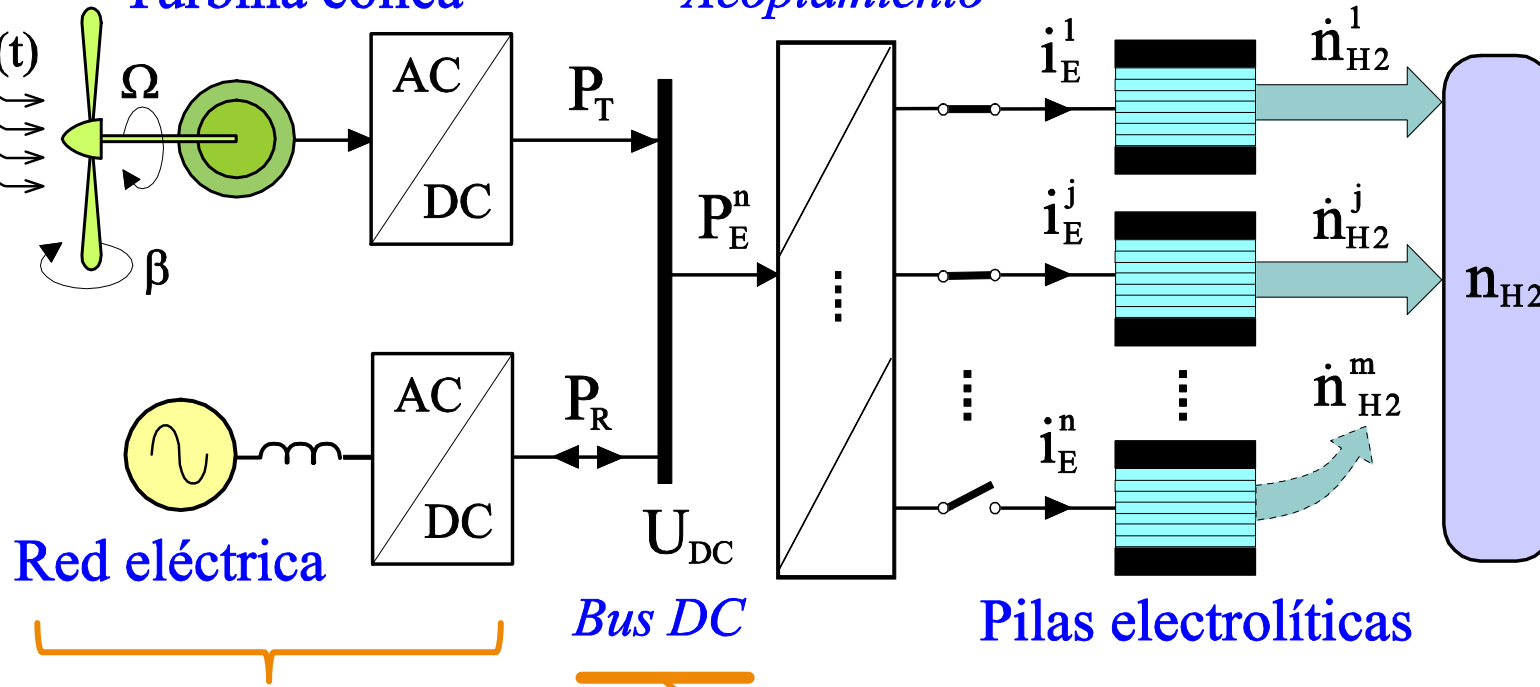
Turbina eólica

Acoplamiento

Pilas electrolíticas

Red eléctrica

Bus DC



I_E^N → corriente nominal, máxima cantidad y calidad de H_2 ;

I_E^{min} → corriente mínima de operación variable; corriente de

I_E^m → mantenimiento, modo de espera;

$$P_E^n = \sum_{j=1}^n p_E(i_E^j) = \sum_{j=1}^n i_E^j u_E(i_E^j)$$

Asistencia de red requerida:

$$P_R(\nu) = P_E^n - P_T(\nu)$$

Objetivo de diseño: optimizar en base a la probabilidad del viento y el número de pilas conectadas al bus

- Modelo estocástico de asistencia de la red

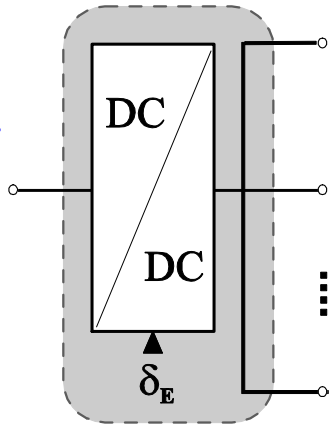
Energía entregada por la red estimada en período T $\left\{ E_R = T \int_0^\infty P_R(\nu) F'(\nu) d\nu \right\}$ Con probabilidad acumulada de Weibull $F(\nu) = 1 - \exp(-(\nu/c)^k)$, k factor de forma y c coeficiente de escala (prop. viento medio)

«Condición de diseño óptimo»

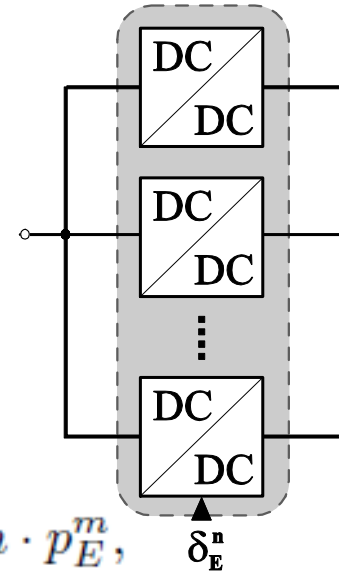
Que la potencia excedente enviada a la red coincida con la suministrada por ésta (=0)

$$\int_0^\infty P_E^n(\nu) F'(\nu) d\nu \equiv \int_0^\infty P_T(\nu) F'(\nu) d\nu,$$

Único convertidor buck de mayor potencia



-Suponiendo turbina de apropiada para el recurso del lugar, resta hallar P_E^n
-La topología de acoplamiento impone restricciones adicionales



Múltiples convertidores buck de menor potencia

$$P_{E_{cc}}^n = \begin{cases} p_E^m, & \text{si } l = 0 \\ l \cdot p_E^\nu, & \text{si } 1 \leq l \leq n \\ n \cdot p_E^N, & \text{si } l = n \end{cases}$$

(a las cond. operativas de cada pila j, ej. p_E^ν «variable»)

$$P_{E_{mc}}^n = \begin{cases} n \cdot p_E^m, & \text{si } l = 0 \\ (n-l) \cdot p_E^m + p_E^\nu + (l-1) \cdot p_E^N, & \text{si } 1 \leq l \leq n \\ n \cdot p_E^N, & \text{si } l = n \end{cases}$$

- Diseño óptimo de modos asistidos por red

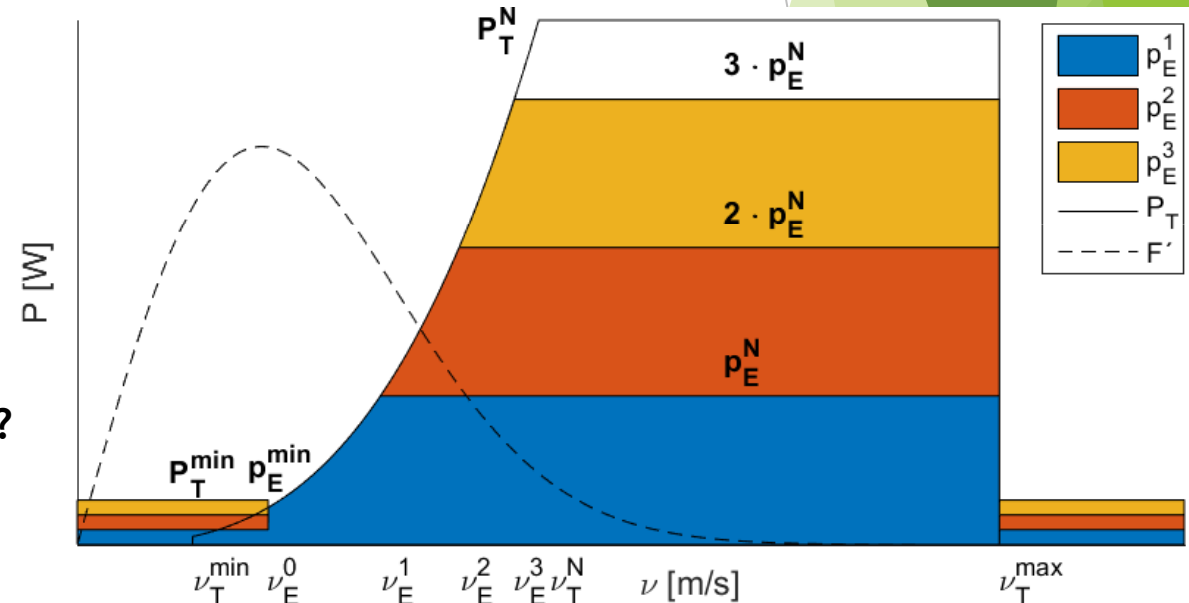
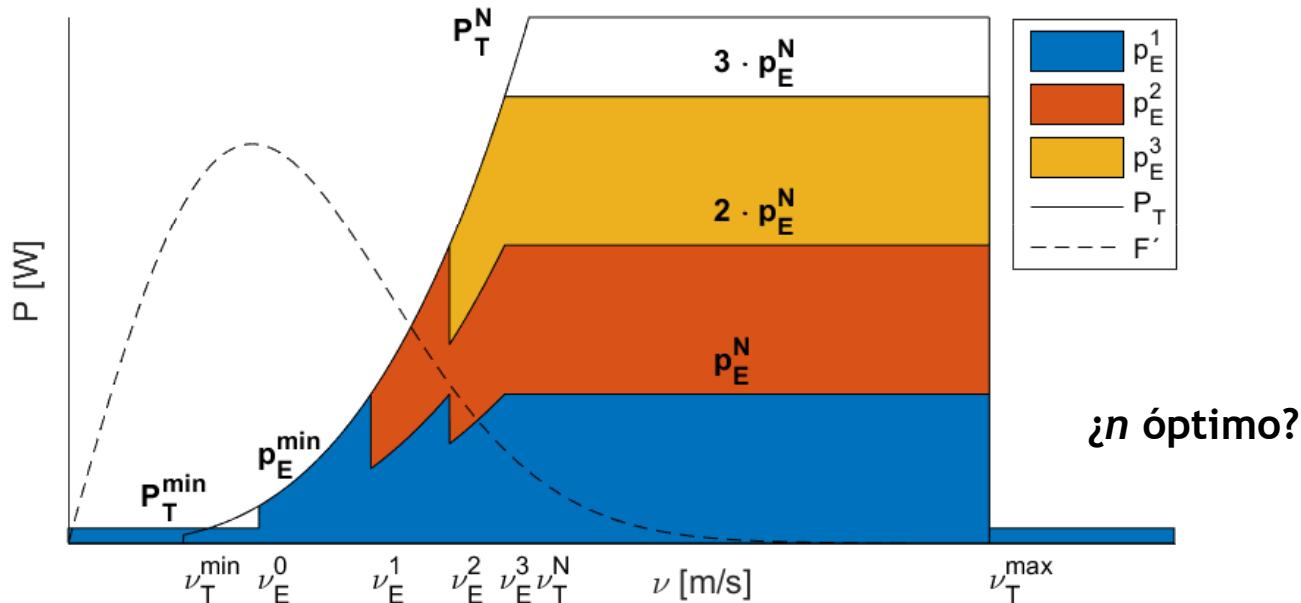
¿potencia de «l» pilas en función de la velocidad del viento?

- Aprovechamiento máximo de la curva de potencia P_T $1 \cdot p_E^{min} > P_T^{min} \longleftrightarrow n \cdot p_E^N < P_T^N$
- Primera pila ingresa cuando ya puede operar en modo variable $\longrightarrow \nu_E^0 = \nu_T^N \sqrt[3]{p_E^{min} / P_T^N}$
- Ésta y las siguientes reciben suministro renovable hasta su valor nominal $\longrightarrow \nu_E^l = \nu_T^N \sqrt[3]{l \cdot p_E^N / P_T^N}$

Convertidor común

Distribución de $P_T(\nu)$ con probabilidad acumulada F entre $n = 3$ pilas

Múltiples convertidores



- Resultados numéricos

Congreso **AADECA**

26 al 28 de agosto de 2025

UNC, Córdoba

Valores de dimensionado: *para recurso eólico:* parámetros de Weibull $k = 2$ y $v_m = 5$ m/s

Turbina:

$P_T^N = 1,5$ MW, $v_T^N = 10$, $v_T^{mín} = 2,5$ y $v_T^{máx} = 20$ m/s

Electrolizador:

$p_E^m = 0,1p_E^N$, $p_E^{mín} = 0,25p_E^N$

$$r = \frac{n p_E^N}{P_T^N}$$

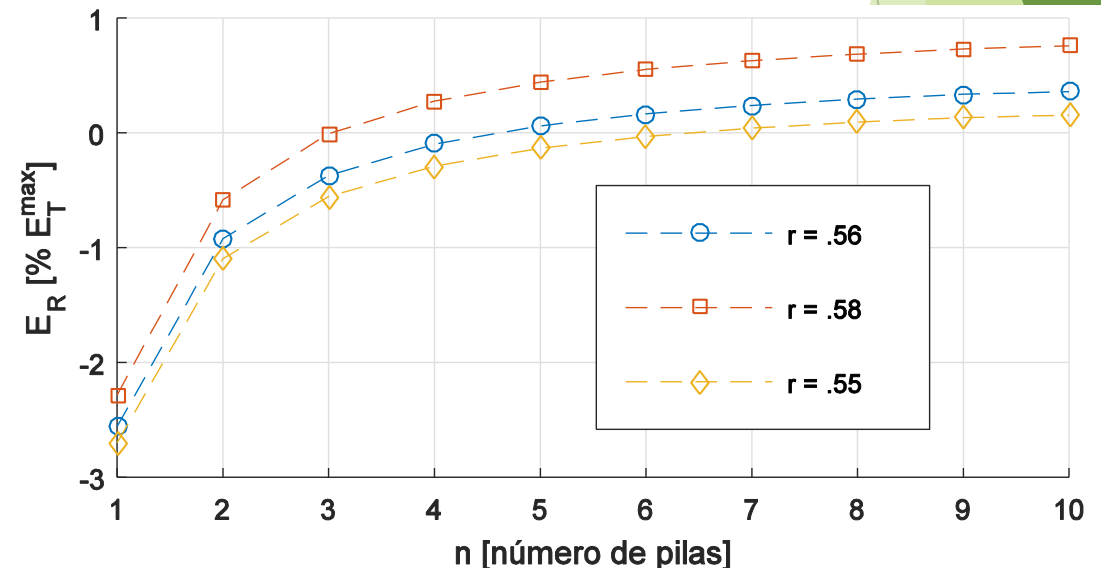
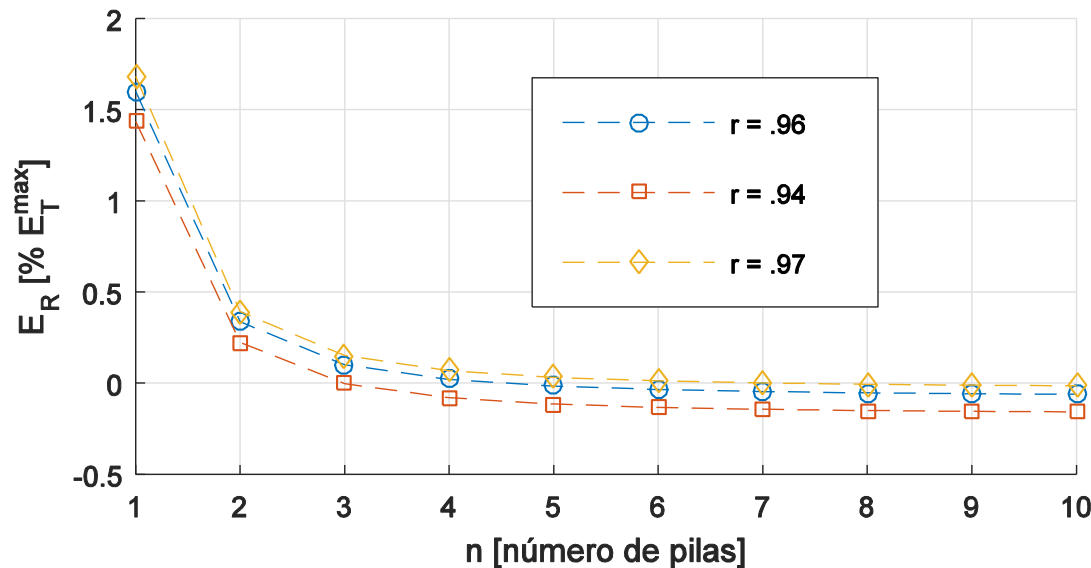
Convertidor común

$r = 0,96$

$n = 5$ resulta el óptimo en ambos acoplamientos para distintos r

$r = 0,56$

Múltiples convertidores



- Conclusiones

- Se obtuvo un diseño que optimiza la producción de H_2 verde basada en múltiples pilas electrolíticas;
- Se estimó la asistencia requerida por la red en función de la distribución de Weibull del recurso eólico;
- Se compararon los resultados correspondientes a dos modos de acoplamiento de las pilas al bus DC;
- Se concluye que el acoplamiento óptimo, mediante un convertidor común o múltiples convertidores, es sensible a la relación de potencias nominales;
- Se extenderá el estudio al control supervisor y la escalabilidad, y si es posible se validará con resultados experimentales;



¡MUCHAS GRACIAS!



**Universidad Nacional
de La Plata**

**GCA del Instituto LEICI y
Departamento de Ing. Química**



Facultad de Ingeniería, UNLP



**Consejo Nacional de
Investigaciones Científicas y
Técnicas de Argentina**

¿PREGUNTAS?

jose.garciaclua@ing.unlp.edu.ar