

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



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

CONICET

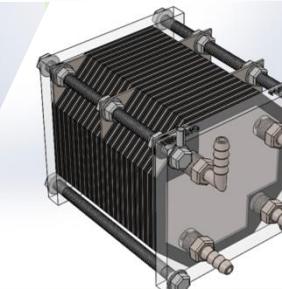
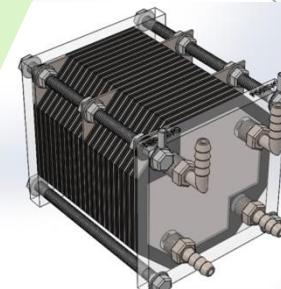
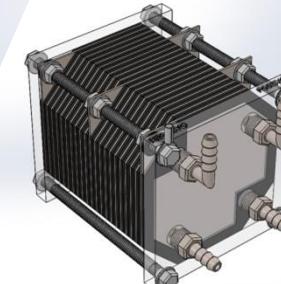
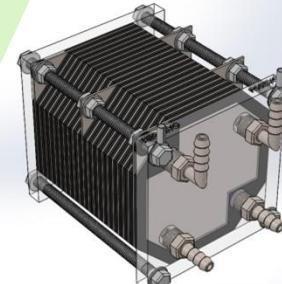


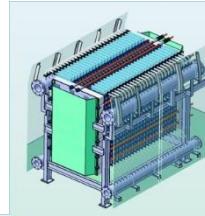
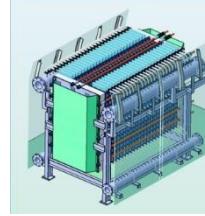
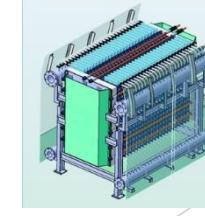
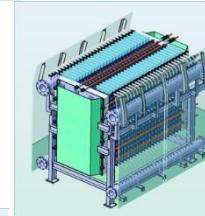
María Angélica Gallo

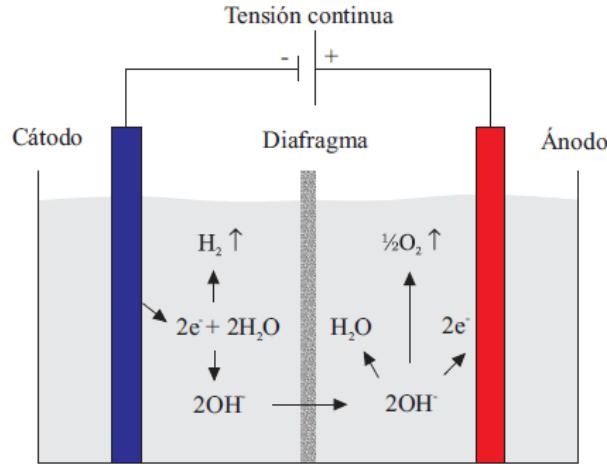
Dpto. de Ingeniería Química,
Facultad de Ingeniería,
Universidad Nacional de La Plata
angelica.gallo@ing.unlp.edu.ar



Congreso AADECA
26 al 28 de agosto de 2025
UNC, Córdoba



- *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.*
- 
- 
- 
- 
- 
- 

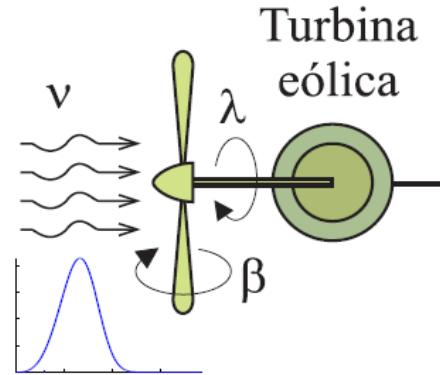


Celda de electrólisis

- 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.

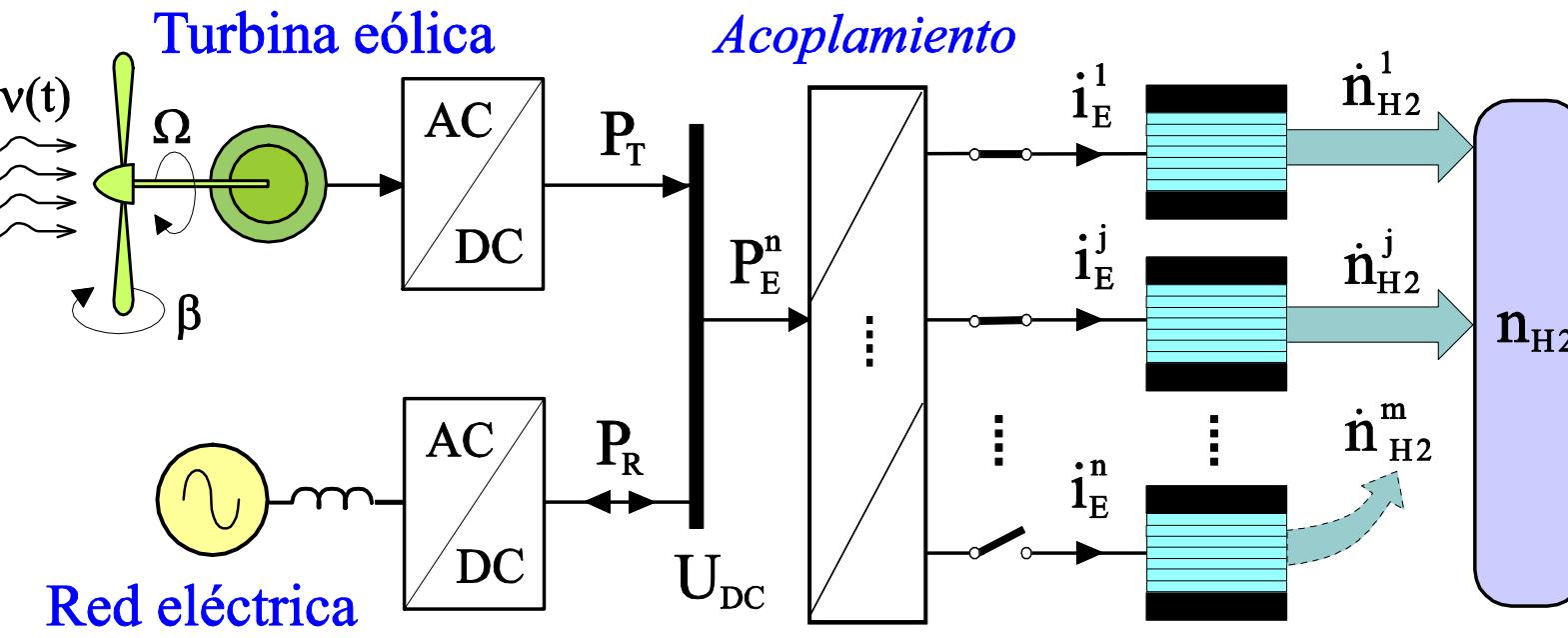
Obtener la cantidad y potencia nominal que minimice la asistencia de la red



- Modelo determinístico del balance de potencias

- Potencia óptima de generación de la turbina

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



Asistencia de red requerida:

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

- Potencia de suministro requerido para la electrólisis de cada pila

$$\dot{n}_{H2} = N \frac{\eta_F}{2F} i_E,$$

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;

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

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

$$E_R = T \int_0^{\infty} P_R(\nu) F'(\nu) d\nu$$

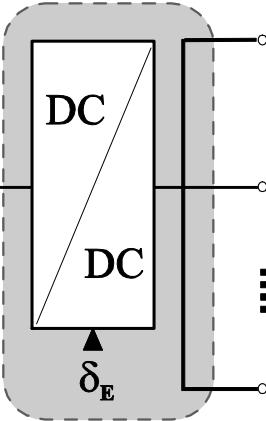
Con probabilidad acumulada de Weibull
 $F(\nu) = 1 - \exp(-(\nu/c)^k)$, k factor de forma
 y c coeficiente de escala
 (prop. viento medio)

«Condición de diseño óptimo»

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

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

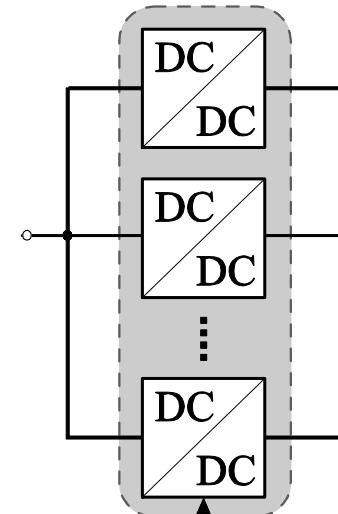
Único convertidor buck de mayor potencia



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

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

-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



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

- Diseño óptimo de modos asistidos por red

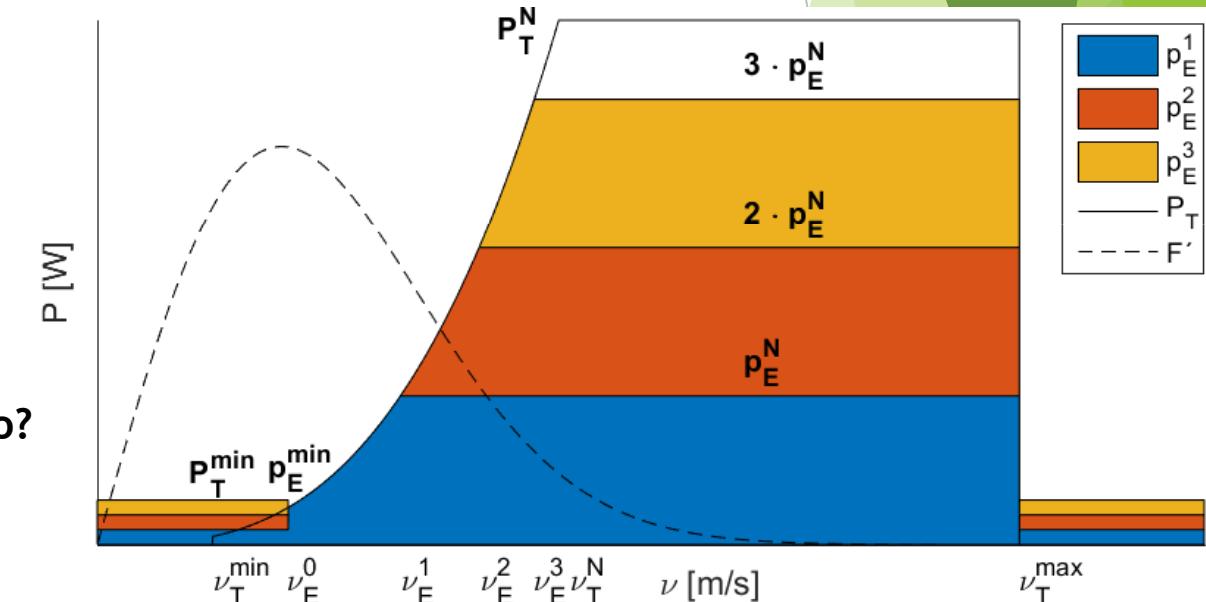
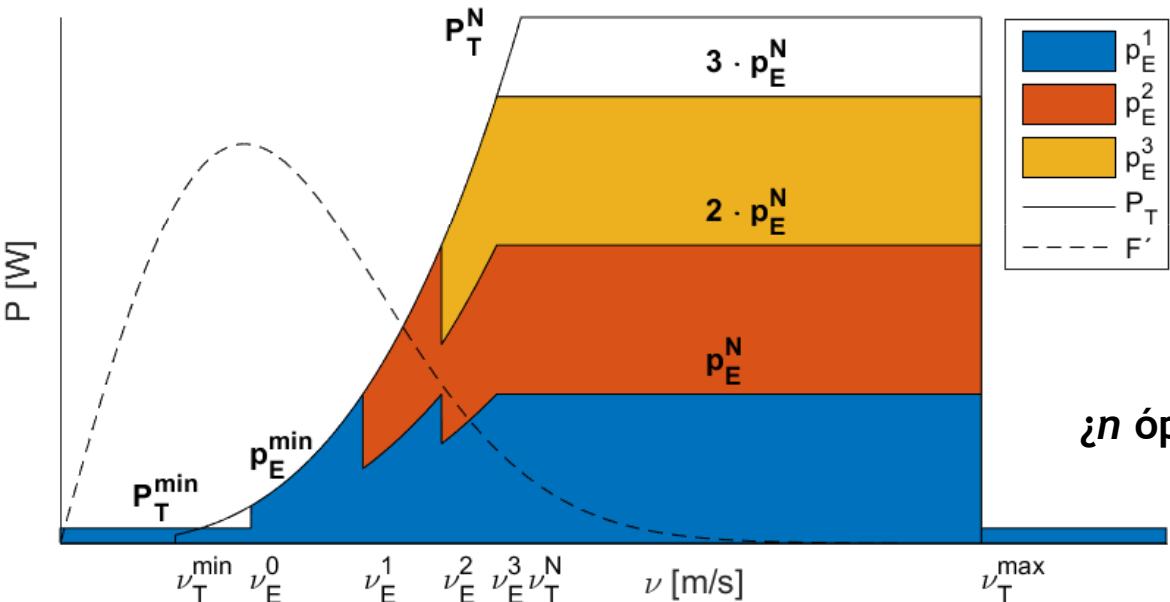
¿potencia de «l» pilas en función de la velocidad del viento?

- 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 $P_T(v)$ con probabilidad acumulada F entre $n = 3$ pilas

Múltiples convertidores



- Resultados numéricos

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

Turbina:

$$P_T^N = 1,5 \text{ MW}, v_T^N = 10, v_T^{\min} = 2,5 \text{ y } v_T^{\max} = 20 \text{ m/s}$$

Electrolizador:

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

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

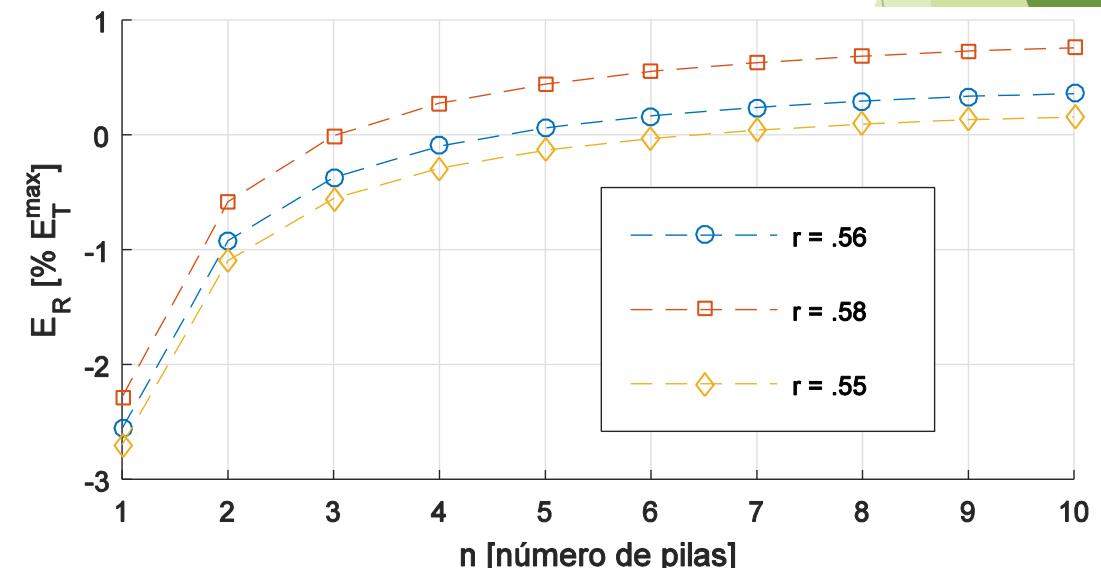
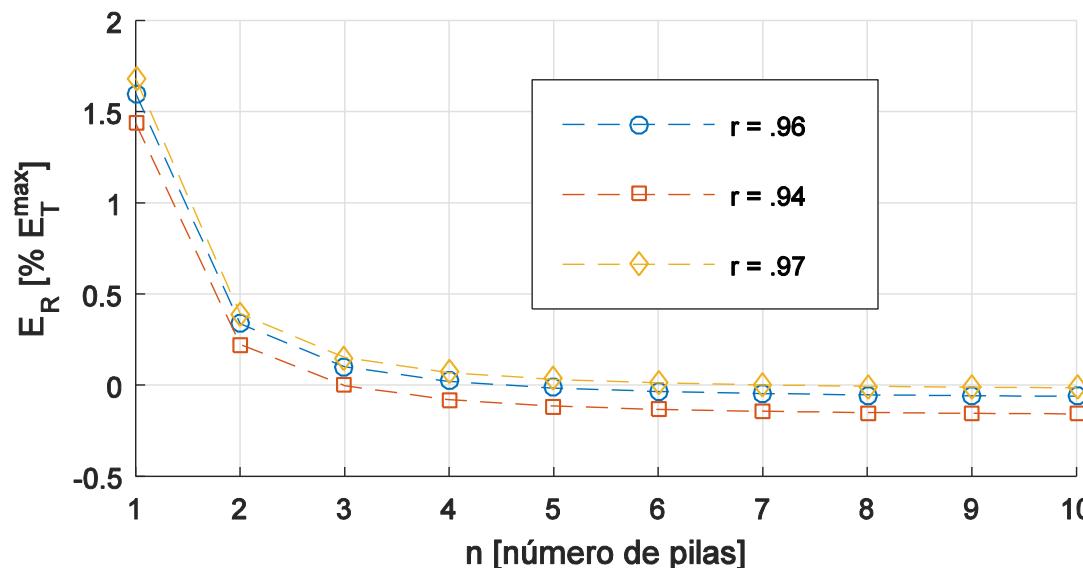
Convertidor común

$$r = 0,96$$

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

$$r = 0,56$$

Múltiples convertidores



- Conclusiones

- Se obtuvo un diseño que optimiza la producción de H₂ 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

¿PREGUNTAS?

jose.garciaclua@ing.unlp.edu.ar



*Consejo Nacional de
Investigaciones Científicas y
Técnicas de Argentina*