



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA E INSTRUMENTACIÓN**

Artículo académico previo a la obtención del título de Ingeniero en Electrónica e Instrumentación

"Comparison of Control Strategies for AC/DC Converter for a Wind Energy System with Permanent Magnet Synchronous Generator"

**Autores:**

Gallo Tibanquiza, Alberto Enrique  
Taco Chuquitarco, Darwin Rodrigo

**Tutora.** Ing. Velasco Sánchez, Paola Maritza Mgtr.

**Co-Tutora.** Ing. Llanos Proaño, Jacqueline del Rosario PhD.

**Colaborador externo.** Ing. Jorge Vega



# 5th International Conference on Electrical, Control and Instrumentation engineering (ICECIE)

"Comparison of Control Strategies for AC/DC Converter for a Wind Energy System with Permanent Magnet Synchronous Generator"  
PAPER ID #1570972658 has been ACCEPTED

**Conference:** December 22–24, 2023



# Tabla de Contenidos



- 1 Introducción
- 2 Descripción del Sistema
- 3 Diseño del sistema para controlar el convertidor AC/DC
- 4 Resultados
- 5 Conclusiones

01.

# INTRODUCCIÓN



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

# Introducción

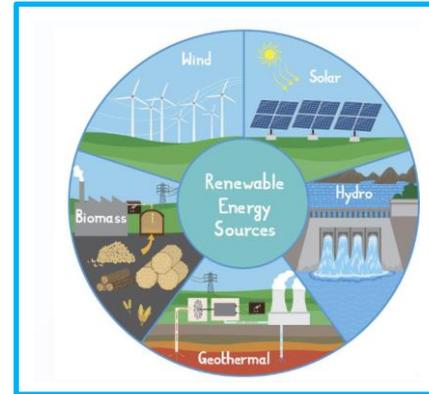
## Planteamiento del Problema



**Consumo Energético**

Existe el 23,7 %  
energía renovable  
en el mundo  
10% eólica

**Energía eólica**



**Variación de viento en sistemas eólicos**

**Energías renovables**



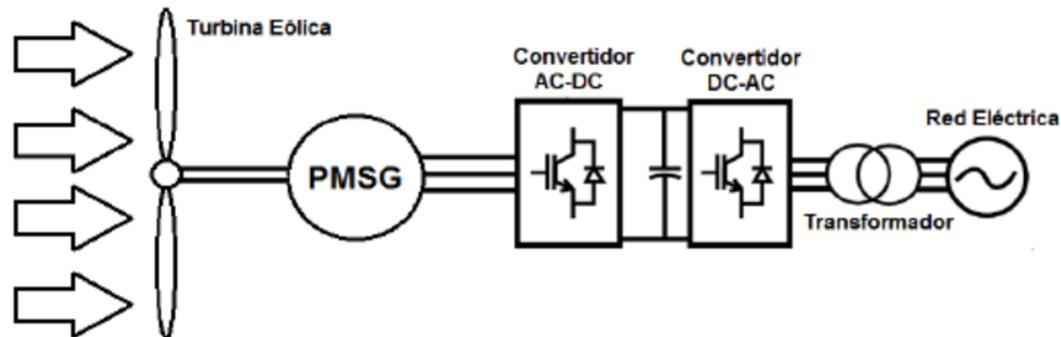
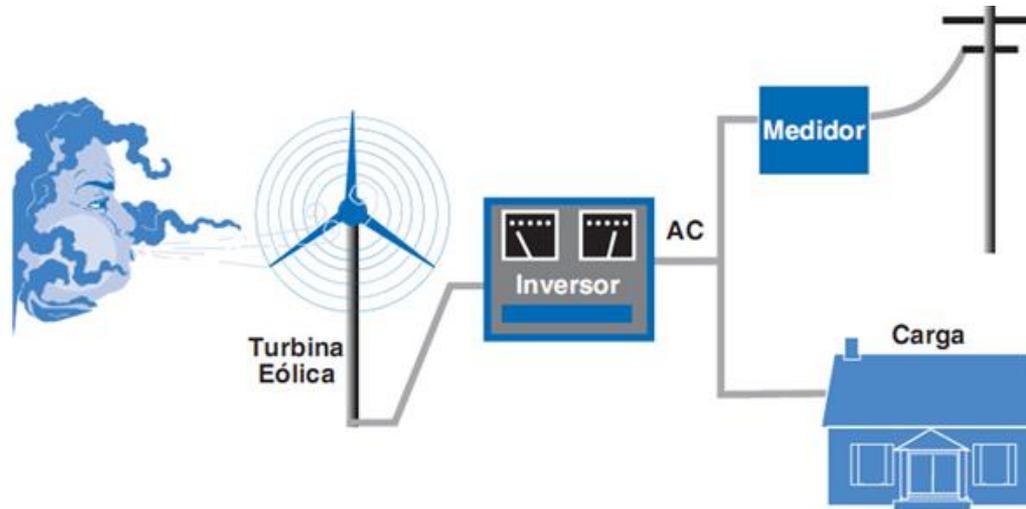
# FALLAS DE ENERGÍA EÓLICA

**Tabla 1.** Beneficios e Inconvenientes de la Energía Eólica.

Beneficios	Es una energía renovable y limpia
	La energía eólica es autóctona
	Es adaptable a casi cualquier espacio
	Cuenta con una rápida instalación
	Permite la autoalimentación de viviendas
	Se considera una energía barata
Inconvenientes	Falta de seguridad en la existencia de viento
	La velocidad no puede exceder un límite
	Es preciso construir líneas de alta tensión
	Implica un impacto medioambiental
	Los parques eólicos ocupan grandes áreas
	Dificultad en la planificación de obtención de energía.

# Introducción

## Descripción del Sistema eólico a la red



02.

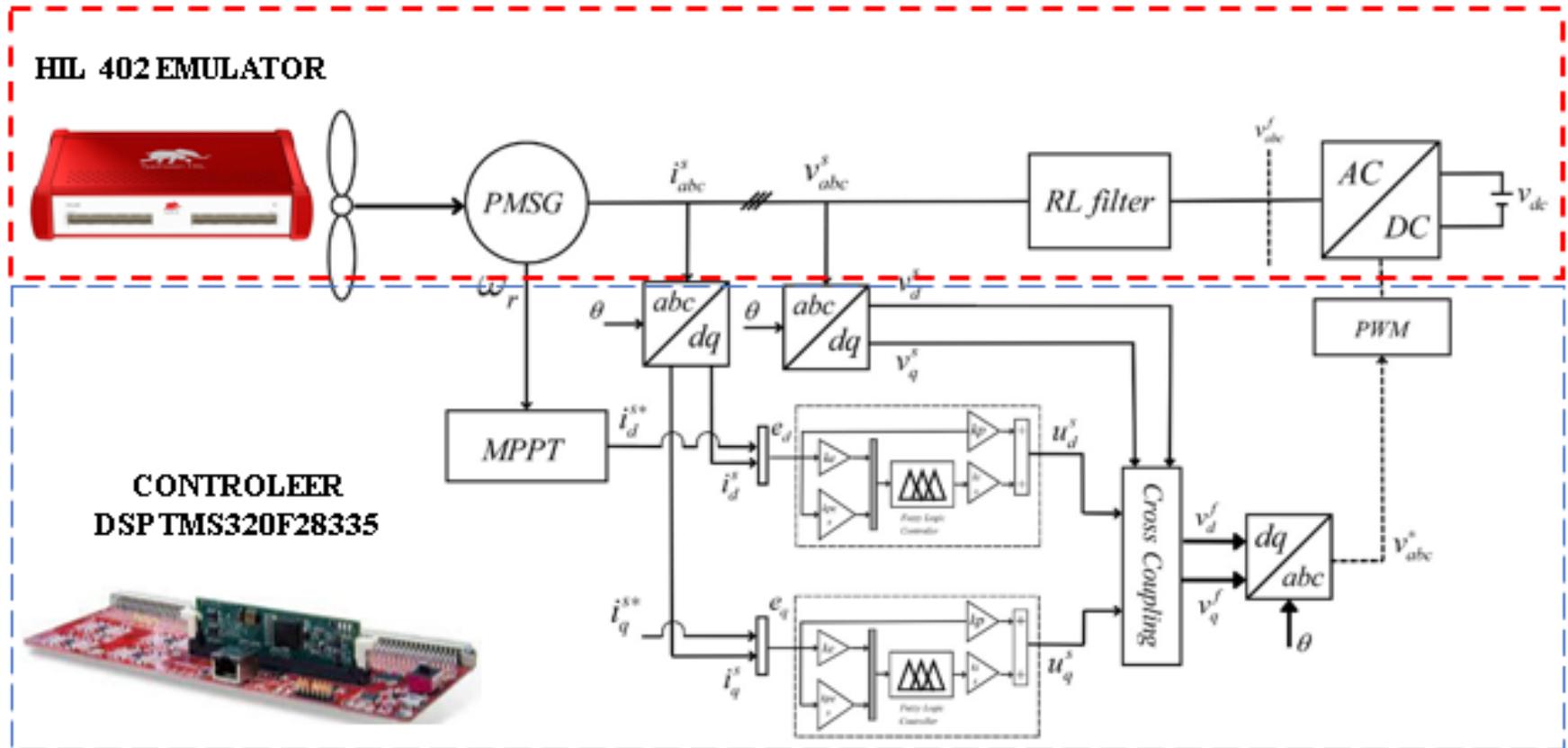
# DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

# Descripción del Sistema

## Implementation of the plant and control.



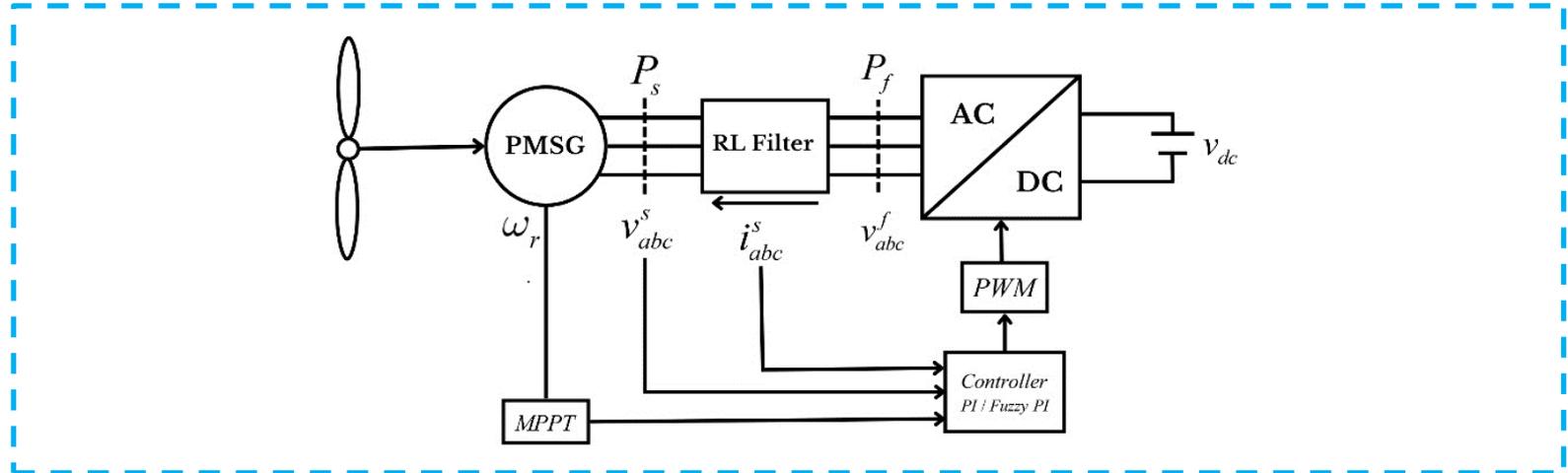
03.

# DISEÑO DEL SISTEMA PARA CONTROLAR EL CONVERTIDOR AC/DC



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

# Diseño del Modelo del PMSG



$$v_d^s = -R_s i_{sd} - \frac{d\psi_{sd}}{dt} - \omega_e \psi_{sq} \quad (1)$$

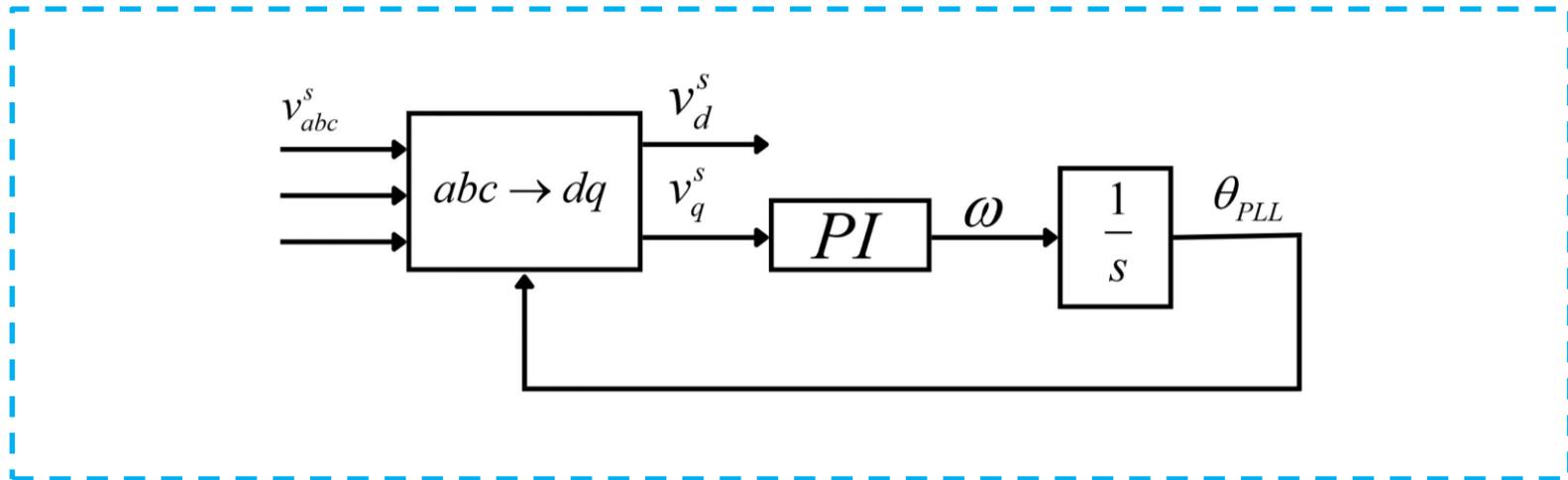
$$v_d^s = -\omega_e \psi_{fq} \quad (3)$$

$$v_q^s = -R_s i_{sq} - \frac{d\psi_{sq}}{dt} + \omega_e \psi_{sd} \quad (2)$$

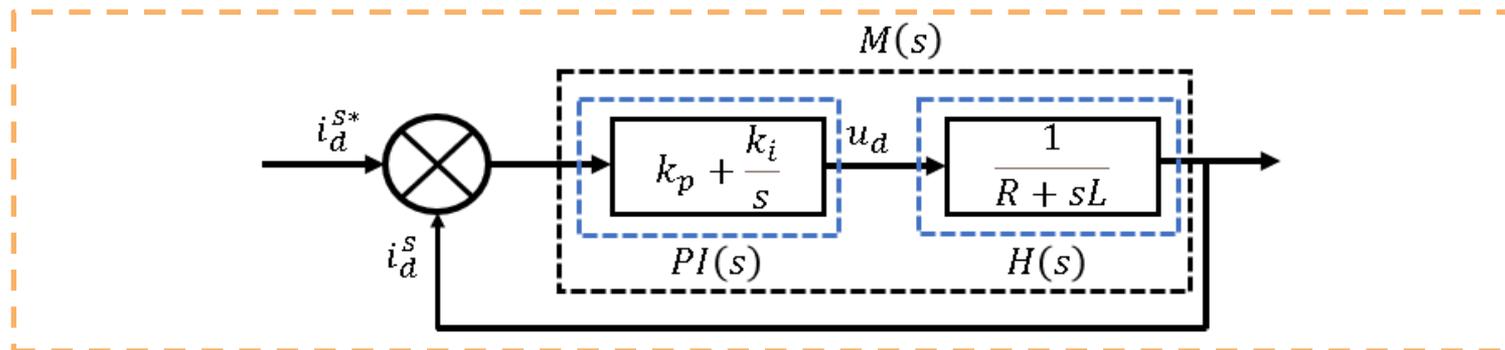
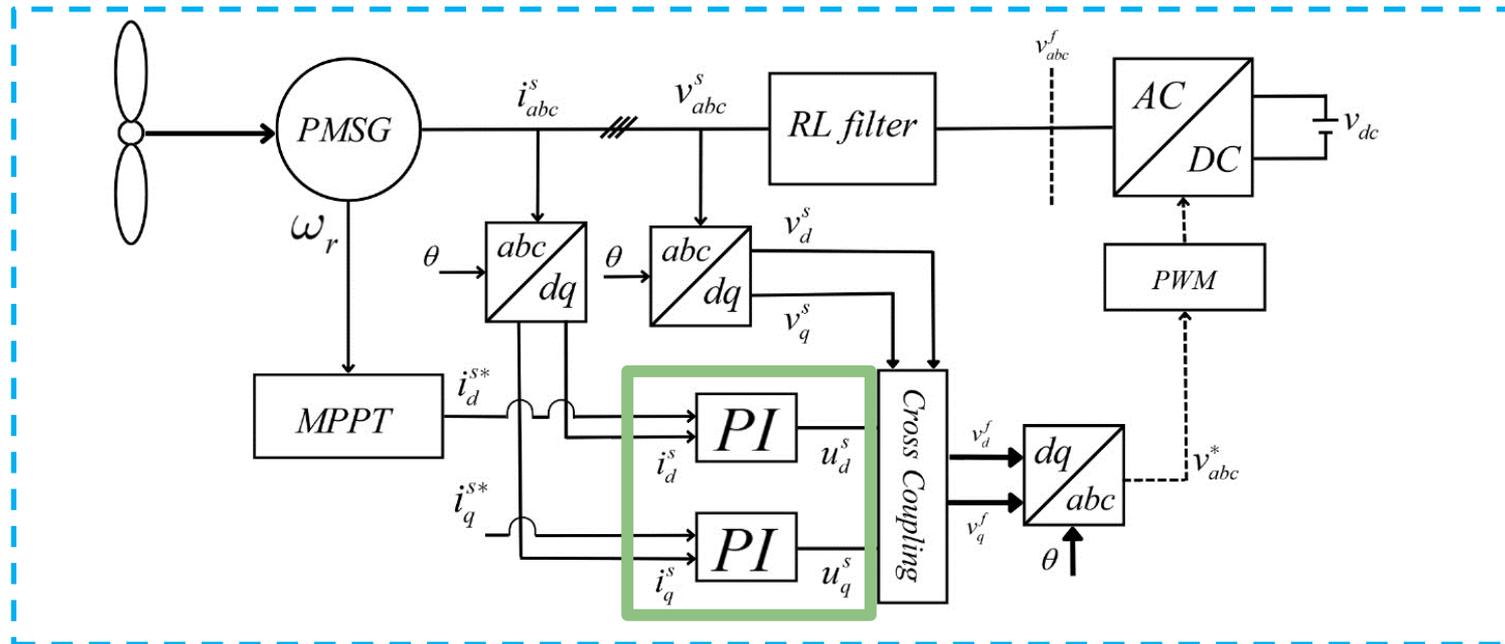
$$v_q^s = -\omega_e \psi_{fd} \quad (4)$$

$$P_s = K_{opt} \omega_r^3 \quad (4)$$

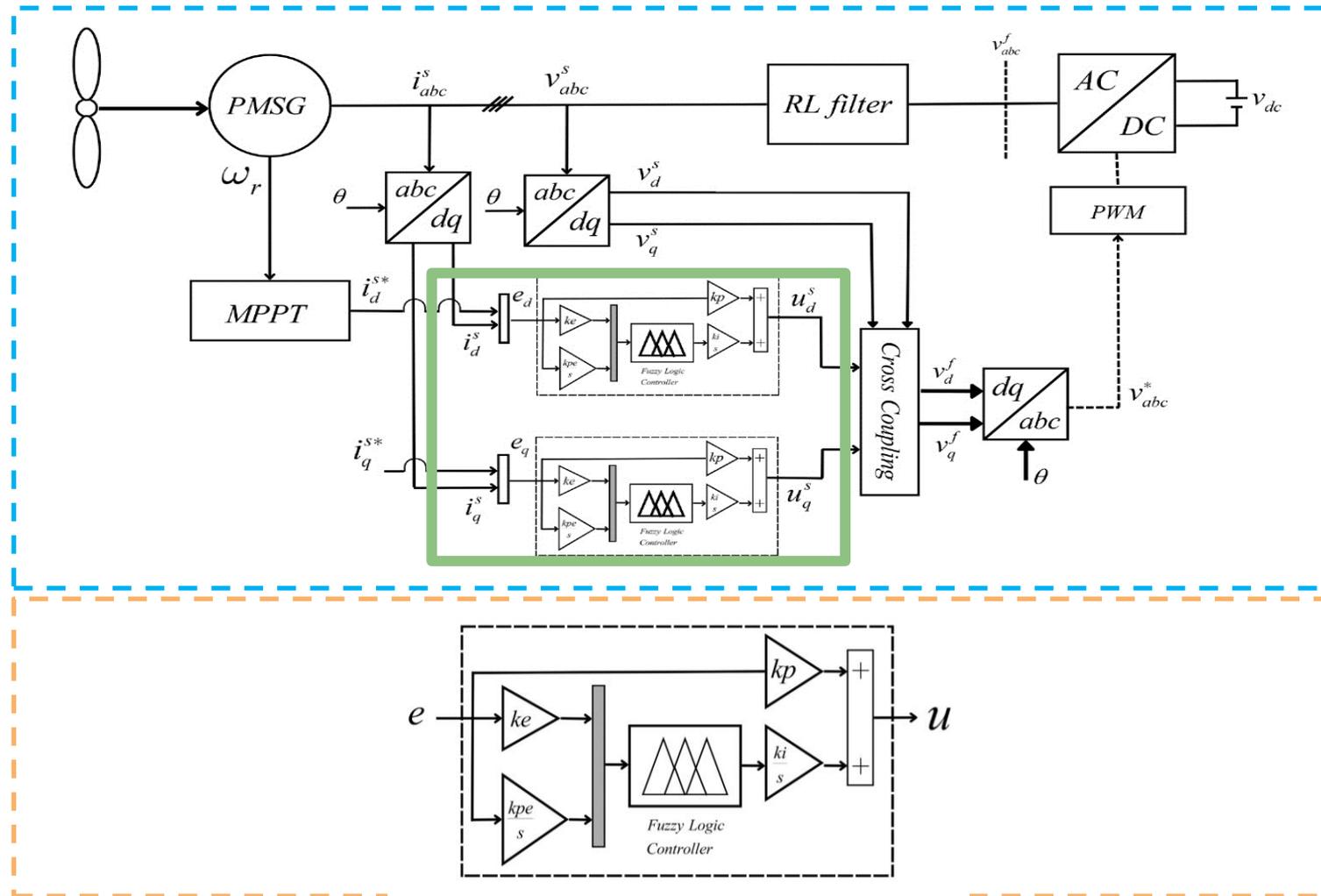
# Diseño de un Phase-Locked Loop (PLL)



# Diseño del controlador PI



# Diseño del algoritmo de control difuso



04.

# RESULTADOS



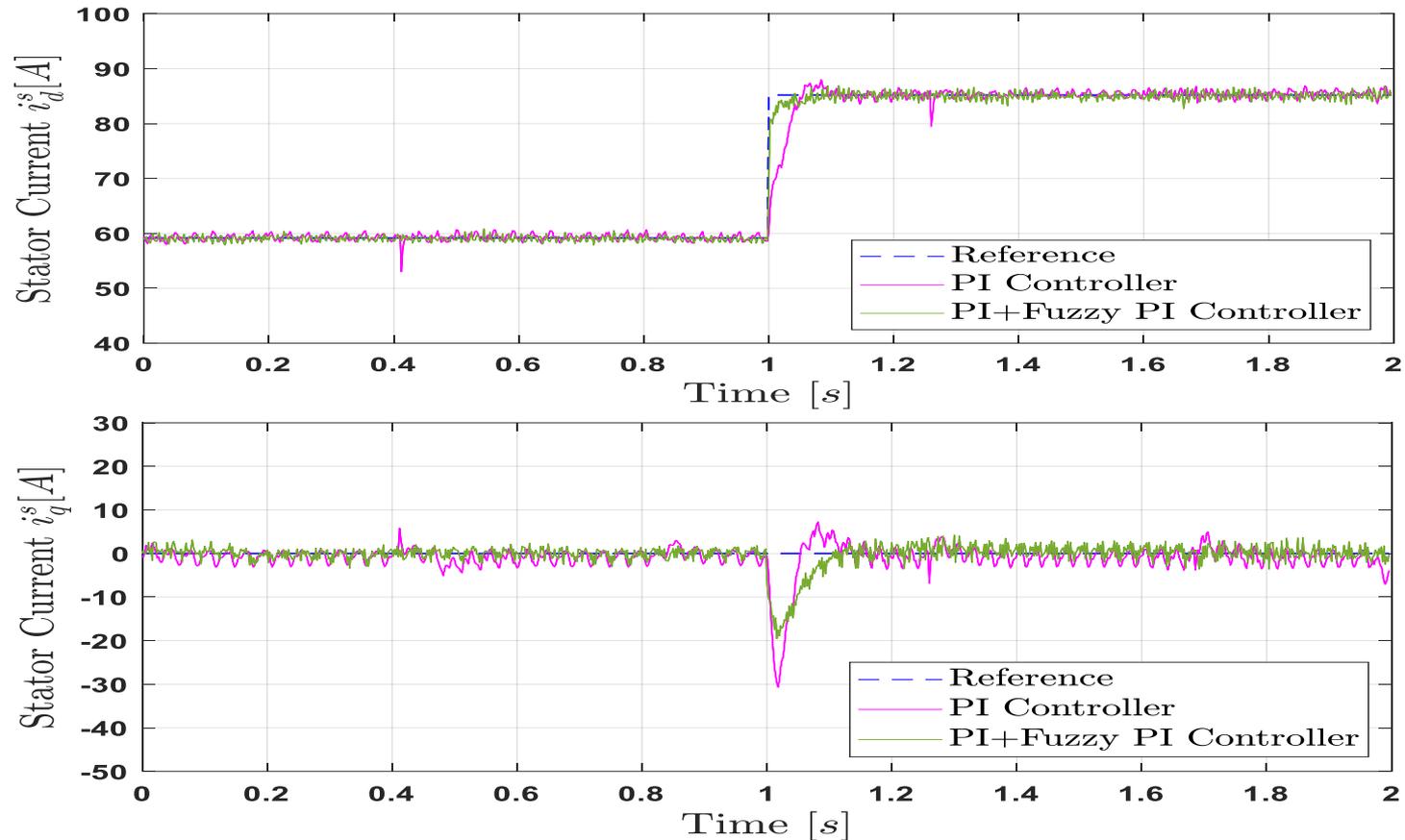
**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

# Resultados

**Tabla 1.** System parameters and controller gains

Description	Parameters	Values
Nominal power	$P_{n,PMSC}$	75 kW
Number of pole pairs	$p$	4
Resistor (Filter)	$R$	0.25 $\Omega$
Inductance (Filter)	$L$	0.007 H
Machine Constant	$k_{opt}$	0,0001778
Permanent magnetic flux	$\psi_{fq}$	1.7933 Wb
Nominal rotational speed	$w_m$	750 rpm
Nominal DC voltage	$V_{dc}$	1200 V
Current control PI	$(k_p, k_i)$	(4.398, 157.079)
Current control Fuzzy PI	$(k_e, k_{pe}, k_i, k_p)$	(0.066, 0.32, 1200, 12)
PLL control	$(k_{p,PLL}, k_{i,PLL})$	(125.66, 394784.176)

## Comparison of the controllers (PI, PI+Fuzzy PI)



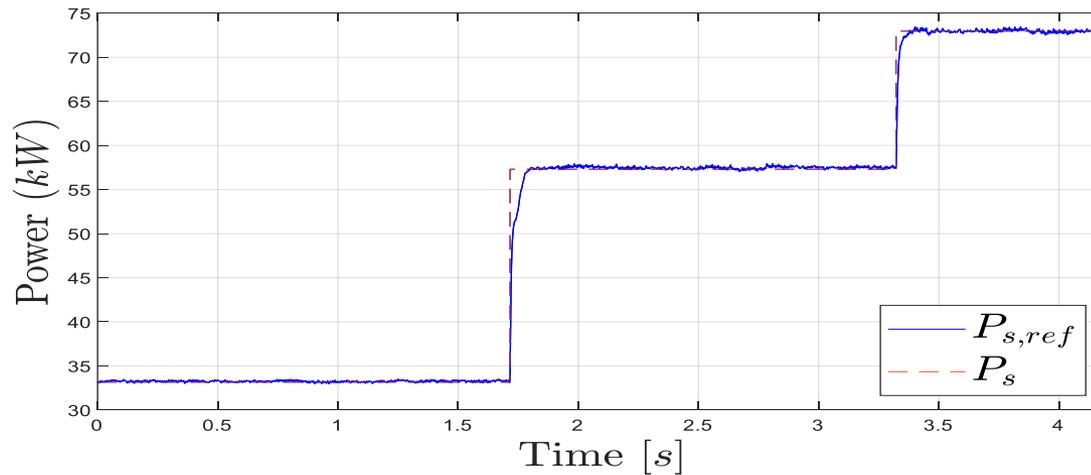
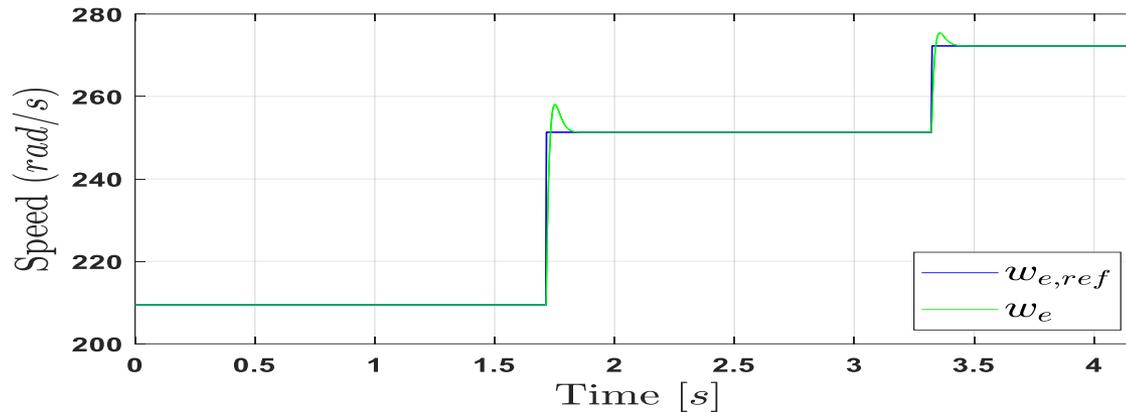
# Resultados

**Tabla 2.** Operating parameters of the controller in direct current variable

<b>Parameters</b>	<b>PI</b>	<b>PI+Fuzzy PI</b>
Overshoot	2.3%	0%
Settling time	0.116s	0.094s
Steady-state error	0.44A	0.1A

# Resultados

## PLL response on the machine side and the active power $P_s$ of the wind generator system



05.

# CONCLUSIONES



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

# Conclusiones

En resumen en este trabajo se presenta una evaluación de dos técnicas de control, PI y PI+Fuzzy-PI, dentro de un Sistema de Conversión de Energía Eólica (WECS) utilizando un Generador Síncrono de Imanes Permanentes (PMSG). El estudio involucró implementaciones experimentales en Typhoon HIL. Los hallazgos clave indicaron que ambos controladores lograron un error en estado estacionario nulo en diversos escenarios de velocidad del viento.

Se concluye que el controlador PI+Fuzzy-PI demostró un rendimiento superior en comparación con el controlador PI. Exhibió una respuesta más rápida, un tiempo de establecimiento más corto y una minimización de la oscilación de corriente estatórica. Una ventaja notable fue la ausencia de sobrepico en la corriente directa al utilizar el controlador PI+Fuzzy-PI. Estos resultados enfatizan la eficacia del controlador PI+Fuzzy-PI dentro del contexto del sistema WECS-PMSG, mostrando su capacidad para mejorar la respuesta y la estabilidad del sistema.

Typhoon HIL sirve como una plataforma valiosa que permite la emulación práctica en tiempo real de sistemas de energía eólica y electrónica de potencia. Su uso ayuda a ahorrar costos al eliminar la necesidad de prototipos físicos costosos. Además, facilita un análisis exhaustivo y la optimización de sistemas de energía eólica, lo que contribuye significativamente a los esfuerzos de investigación y desarrollo en este campo.



**GRACIAS !!**



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA