



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

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE**

**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA E INSTRUMENTACIÓN**

**Artículo Académico Previo a la Obtención del Título de Ingeniero en Electrónica e Instrumentación**

**"Diseño y simulación de un control tolerante a fallas para un panel fotovoltaico"**

**" Fault Identification System Internally Affecting Photovoltaic Panels Using Artificial Intelligence"**

**Autores:**

Mise Pillo, Víctor Hugo

Mosquera Morales, Edison Adrián

**Tutor.** Ing. Llanos Proaño, Jacqueline del Rosario PhD

**Co-Tutor.** Ing. Silva Monteros, Franklin Manuel Msc.

**Colaborador externo.** Ing. Minchala Ávila, Luis Ismael PhD



# 7<sup>th</sup> Ecuador Technical Chapters Meeting (ETCM)

"Fault Identification System for Photovoltaic Panels with Artificial Intelligence" PAPER ID # 159 ha sido ACEPTADO.

**Conference:** October 10-13th, 2023



October 10-13th, 2023

CONFERENCE SITE

<https://attend.ieee.org/etcm-2023/>

Organized by:



Co-organized with:

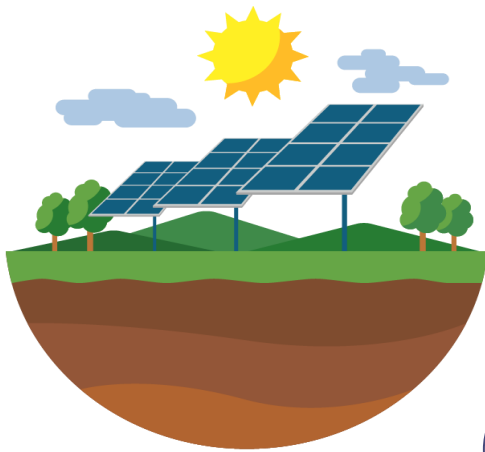


Supported by Ecuadorian chapters:



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

# Tabla de Contenidos



- 1** Introducción
- 2** Descripción del Sistema
- 3** Fallas en Paneles Fotovoltaicos
- 4** Diseño de los Métodos Incorporados
- 5** Resultados
- 6** Conclusiones

01.

# INTRODUCCIÓN



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

## Planteamiento del Problema



Consumo Energético

Energía Solar



Otras propuestas

Fallas en Paneles Fotovoltaicos



02.

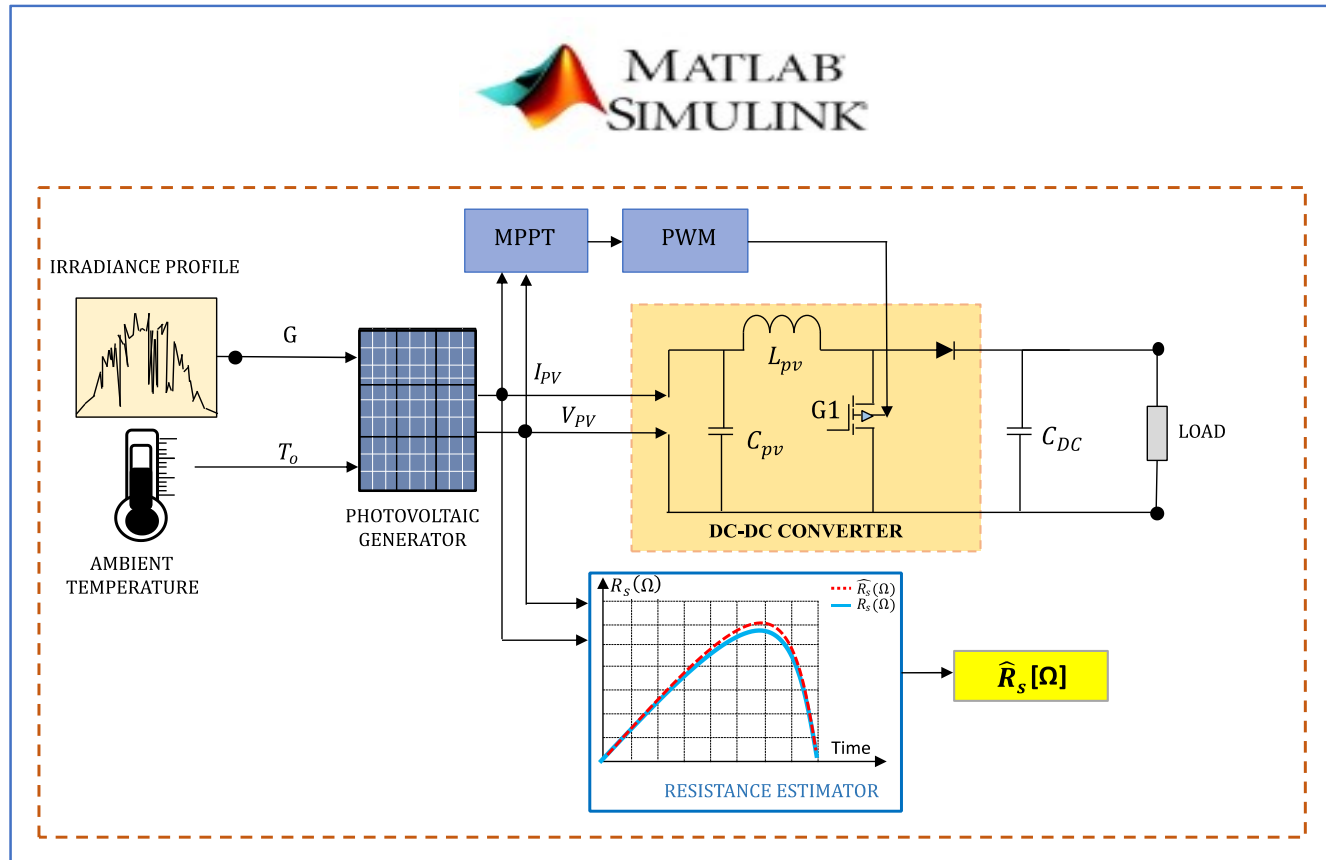
# DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA



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

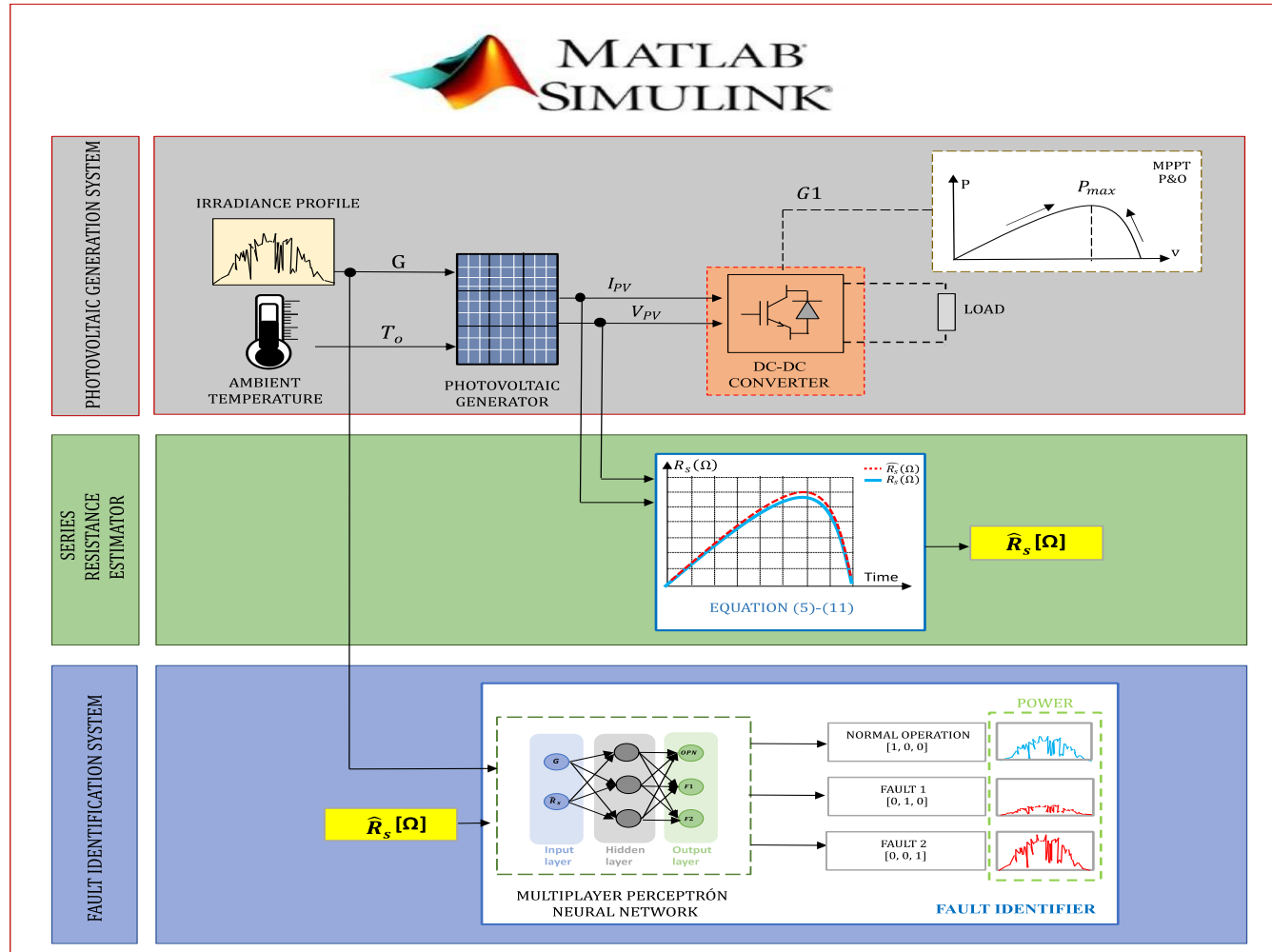
# Descripción del Sistema

Esquema del método de estimación de la resistencia interna ( $R_s$ )



# Descripción del Sistema

## Esquema del método de estimación y el método de Identificación de Fallas





03.

# FALLAS EN PANELES FOTOVOLTAICOS



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

# FALLAS DE PANELES FOTOVOLTAICOS (PV)

Orden de aparición de los fallos en PV.

Orden de Fallas		Causas
Primer Fallo	Fallos en las señales de control	Entorno
		Errores Humanos
		Otros Fallos
Segundo Fallo	Dimensionamiento	Diseño
		Instalación
		Fallos del ciclo de vida
Tercer Fallo	Condiciones de uso excesivos	Otros Componentes
		Entorno
		Errores Humanos

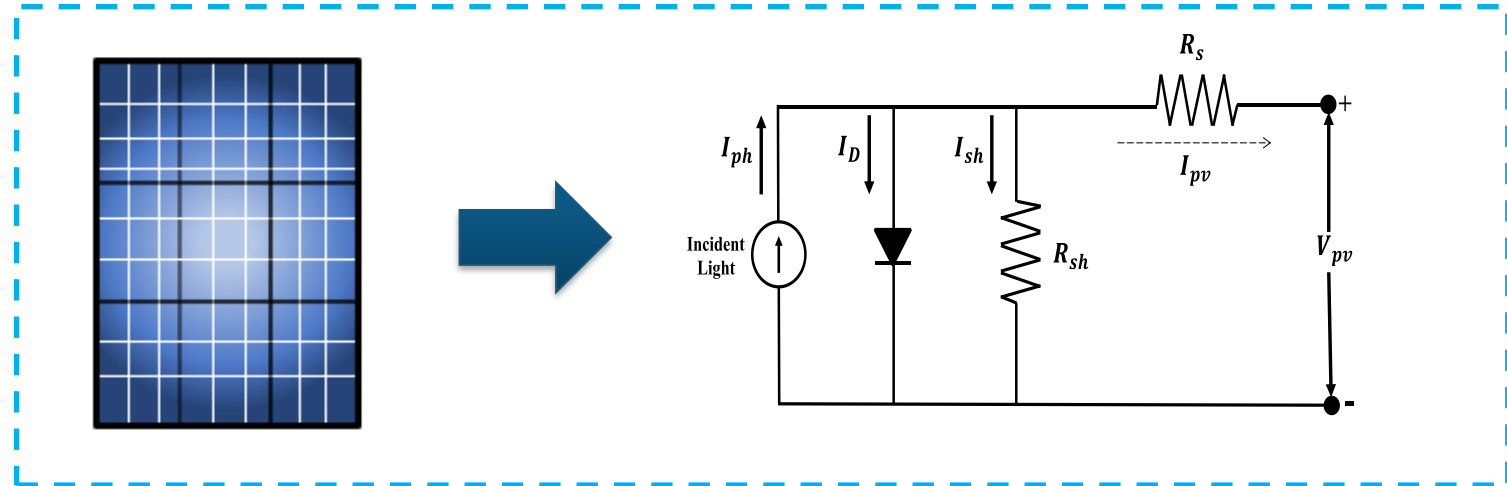
04.

# DISEÑO DE MÉTODOS INCORPORADOS



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

# Diseño del Modelo del panel fotovoltaico



$$I_{pv} = I_{ph}N_p - I_D - I_{sh} \quad (1)$$

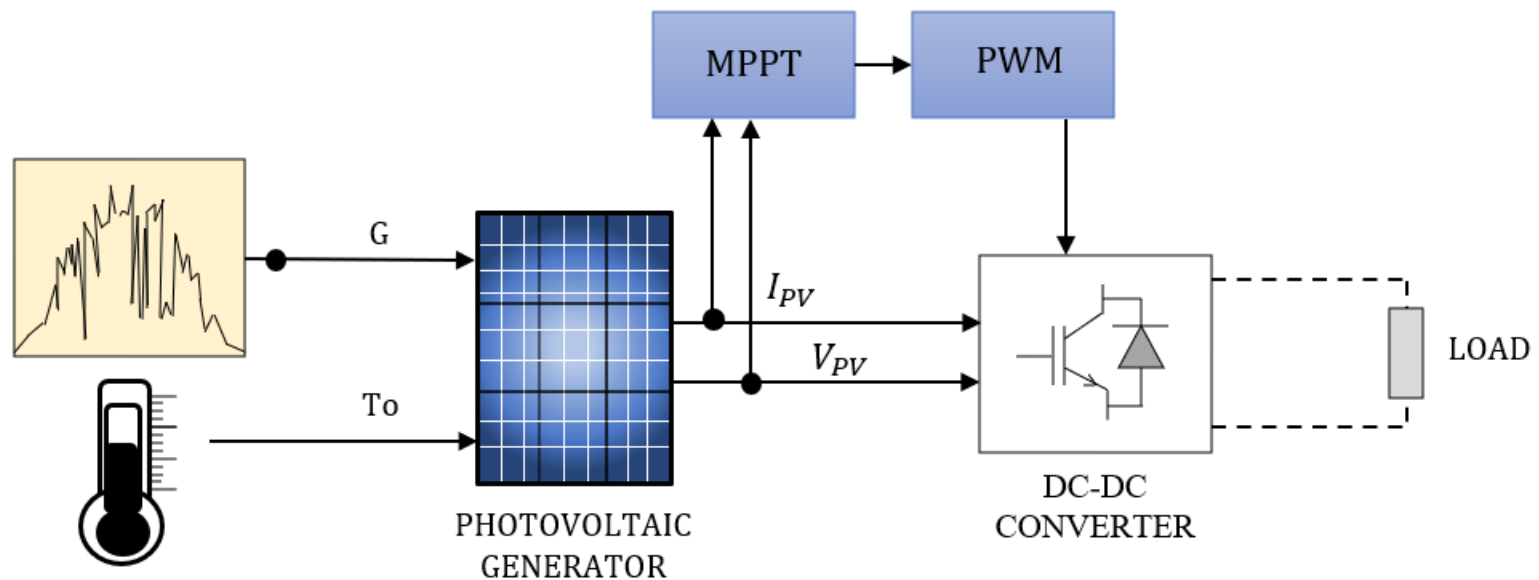
$$I_{sh} = \frac{V_{pv} + I_{pv}R_s}{R_{sh}} \quad (3)$$

$$I_D = N_p I_s \left[ e^{q \left( \frac{V_{pv} + I_{pv}R_s}{nkN_s T_o} \right)} - 1 \right] \quad (2)$$

$$I_{pv} = I_{ph}N_p - N_p I_s \left[ e^{q \left( \frac{V_{pv} + I_{pv}R_s}{nkN_s T_o} \right)} - 1 \right] - \left( \frac{V_{pv} + I_{pv}R_s}{R_{sh}} \right) \quad (4)$$

# Diseño del Controlador

## Diseño de una estrategia de control MPPT para el panel fotovoltaico



# Diseño del Estimador

## Diseño del estimador por mínimos cuadrados recursivos (RLS) con factor de olvido (FF) e intervalos de confianza

**RLS**

$$\hat{I}_{pv}(x) = \frac{V_{pv}(x)}{\hat{R}_s(x) + 0.01} \quad (1)$$

$$K(x) = \frac{P_0}{P_0 + 1} \quad (2)$$

**FF**

$$P = \left(\frac{1}{\lambda}\right) \cdot (P_0 - (K(x) \cdot P_0)) \quad (3)$$

$$\hat{R}_s(x) = \hat{R}_s(x-1) + K(x)[e(x)] \quad (4)$$

$$e(x) = I_{pv}(x) - \hat{I}_{pv}(x) \quad (5)$$

**Intervalo de Confianza**

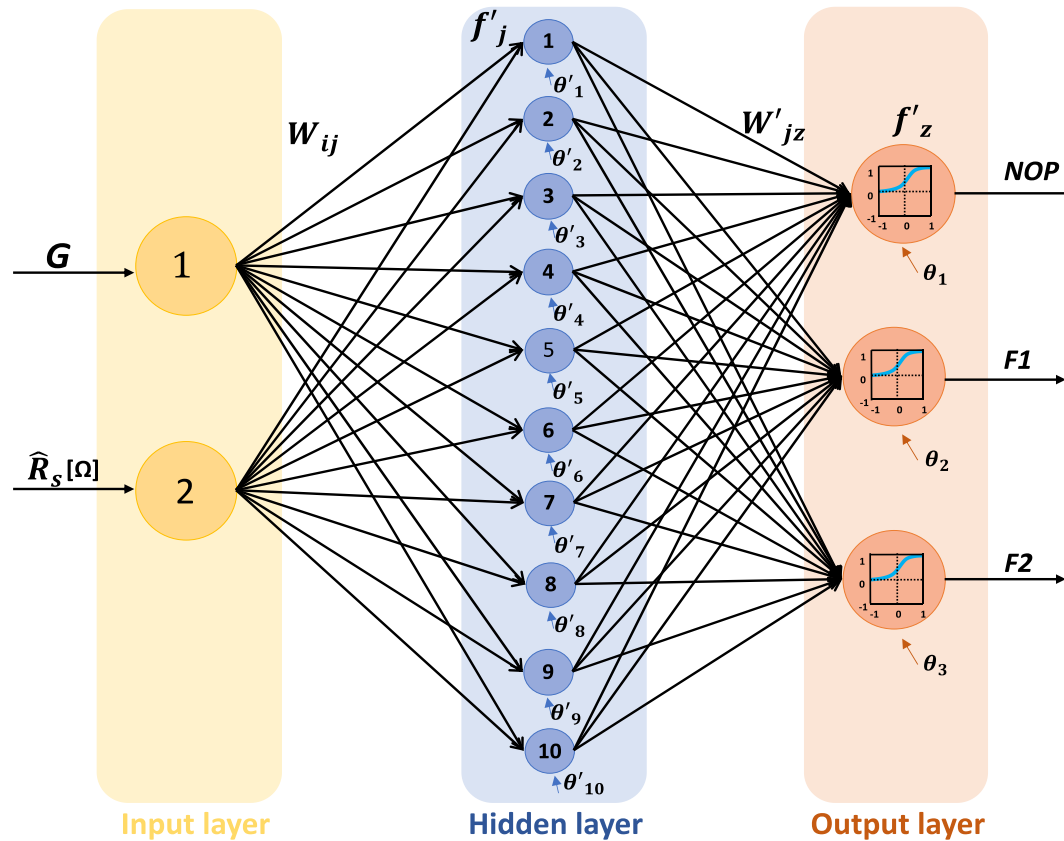
$$S = \sqrt{\sum_{s=1}^h \frac{(R_s - \hat{R}_s)^2}{h-1}} \quad (6)$$

$$\text{upper unilateral limit (UL)} = \hat{R}_s + g \cdot S \quad (7)$$

$$\text{lower unilateral limit (LL)} = \hat{R}_s - g \cdot S \quad (8)$$

# Diseño del Identificador de fallas

## Diseño del identificador mediante redes neuronales perceptrón multicapa (MLP\_RNN)



05.

# RESULTADOS



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



# Resultados

**Tabla 1.** Características del Panel Du Pont Apollo Da130 - C2

Descripción	Parámetros	Valor
Potencia de Salida	$P_{pv}$	130 [W]
Temperatura Ambiente	$T_O$	25 [C]
Temperatura nominal	$T_n$	298 [C]
Corriente de cortocircuito	$I_{SC}$	1.28 [A]
Voltaje en circuito abierto	$V_{oc}$	154.96 [V]
Corriente en el punto de máxima potencia	$I_{pm}$	1.08 [A]
Tensión en el punto de máxima potencia	$V_{pm}$	120.75 [V]
Resistencia en serie	$R_s$	15.1879 [ $\Omega$ ]
Resistencia en derivación	$R_{sh}$	807.101 [ $\Omega$ ]

# Resultados

**Tabla 2.** Fallos de resistencia en serie y salida de la red neuronal.

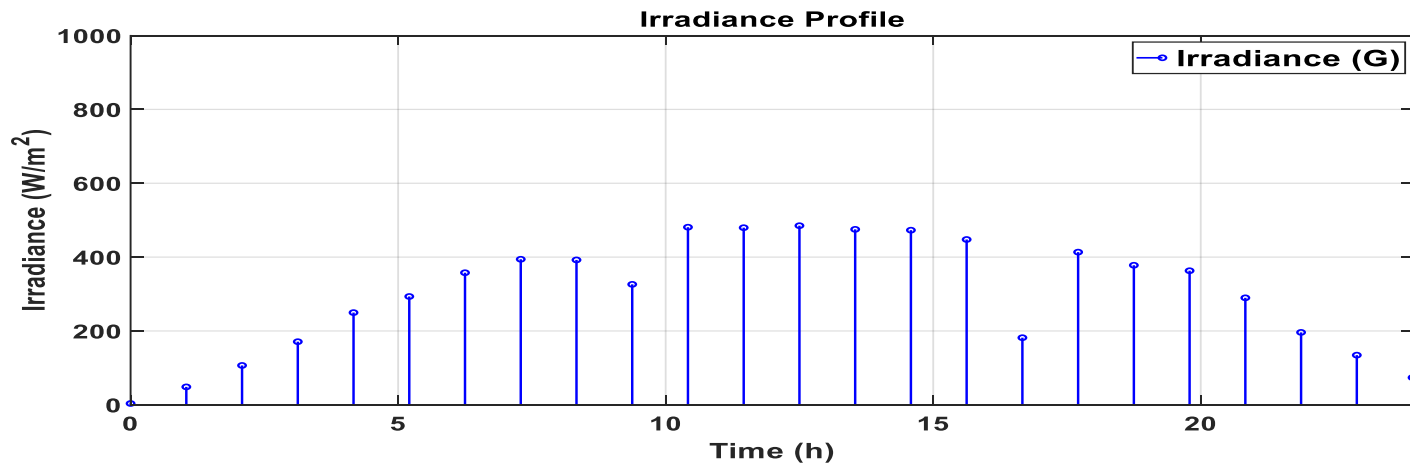
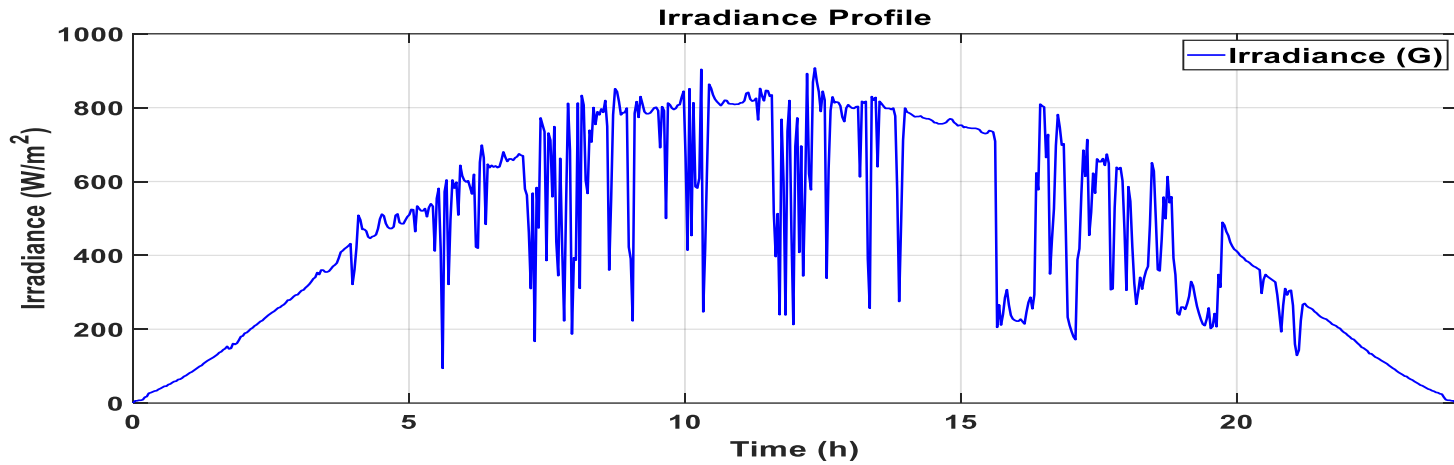
Fallas	Causas	(↑)Incremento, (↓) decremento del valor de $R_s$	Efecto	Salida de la Red neuronal
Operación Normal	Ninguna	Ninguna	Ninguna	( 1 0 0)
Falla 1	Fallas de desajuste	$R_s [\Omega] \uparrow$	Perdida de Potencia	(0 1 0)
Falla 2	Degradación por humedad	$R_s [\Omega] \downarrow$	Incremento de Potencia	( 0 0 1)

**Table 3.** Características de los convertidores.

Descripción		Parámetros	Valor
Bonina en PV		$L_{pv}$	$5x10^{-3} [H]$
Capacitor PV		$C_{pv}$	$100x10^{-6} [H]$
Capacitor DC		$C_{DC}$	$3300x10^{-6} [H]$
Carga	Voltaje nominal	$V_n$	24.6 [V]
	Potencia activa	$P_L$	20 [W]

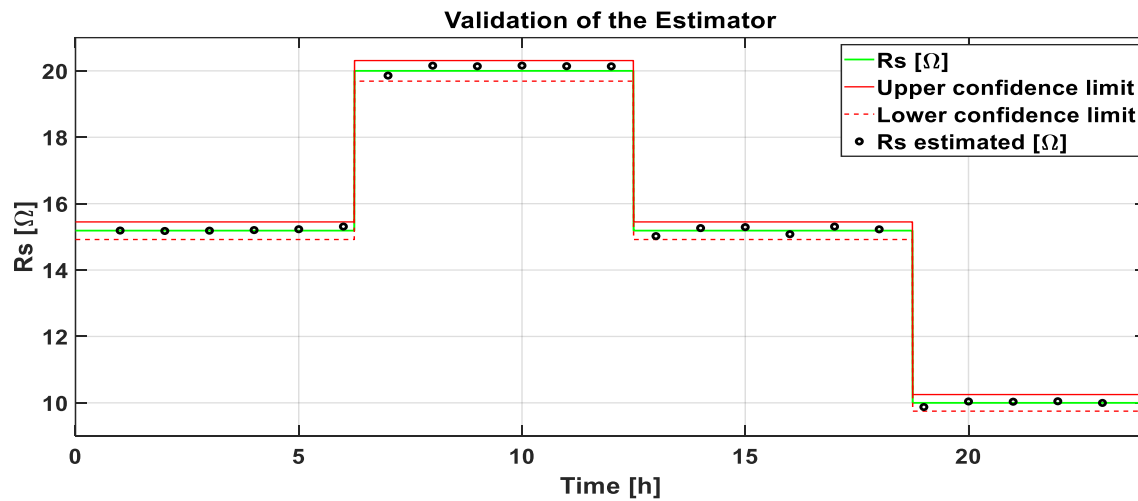
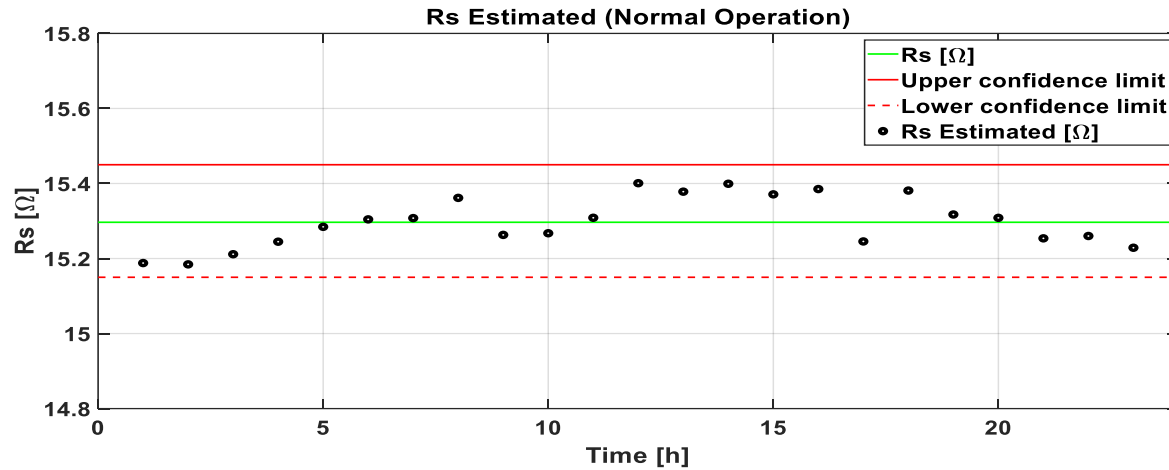
# Resultados

## Perfil de irradiancia



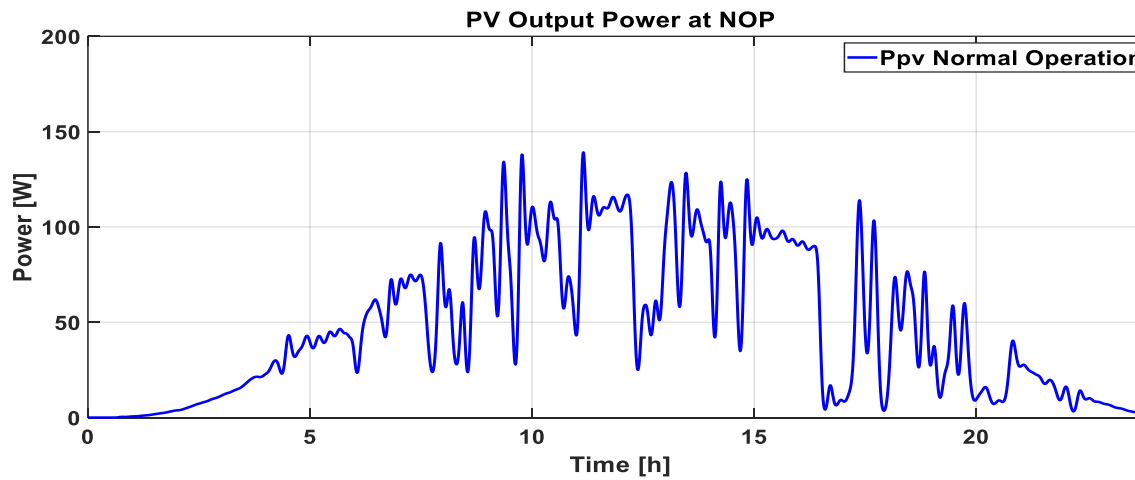
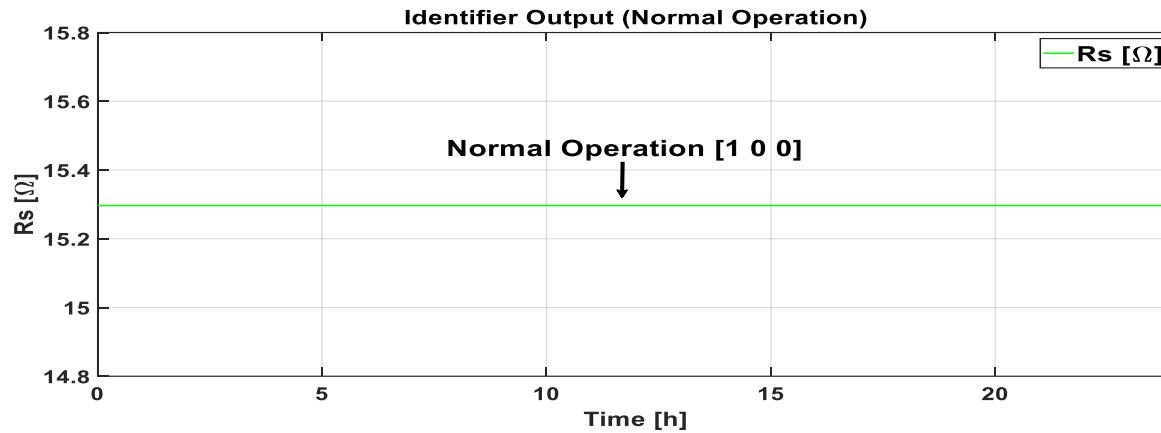
# Resultados

## Evaluación del estimador de la Resistencia $R_s$



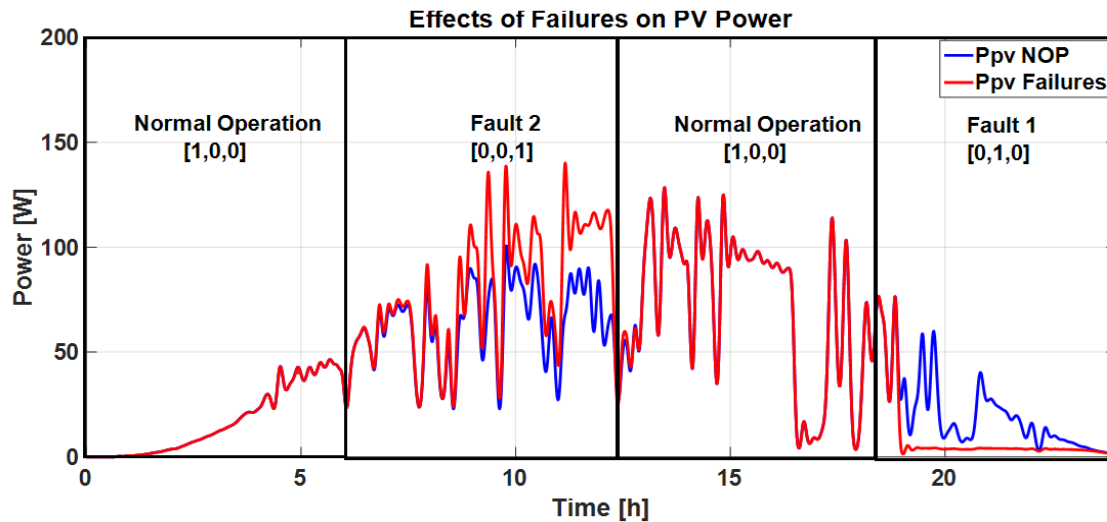
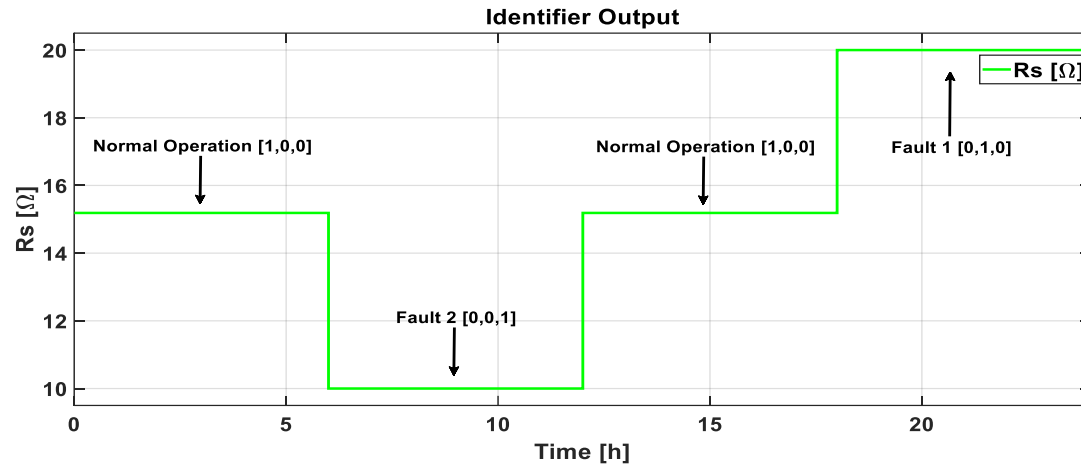
# Resultados

## Evaluación del Sistema de Identificador de Fallas



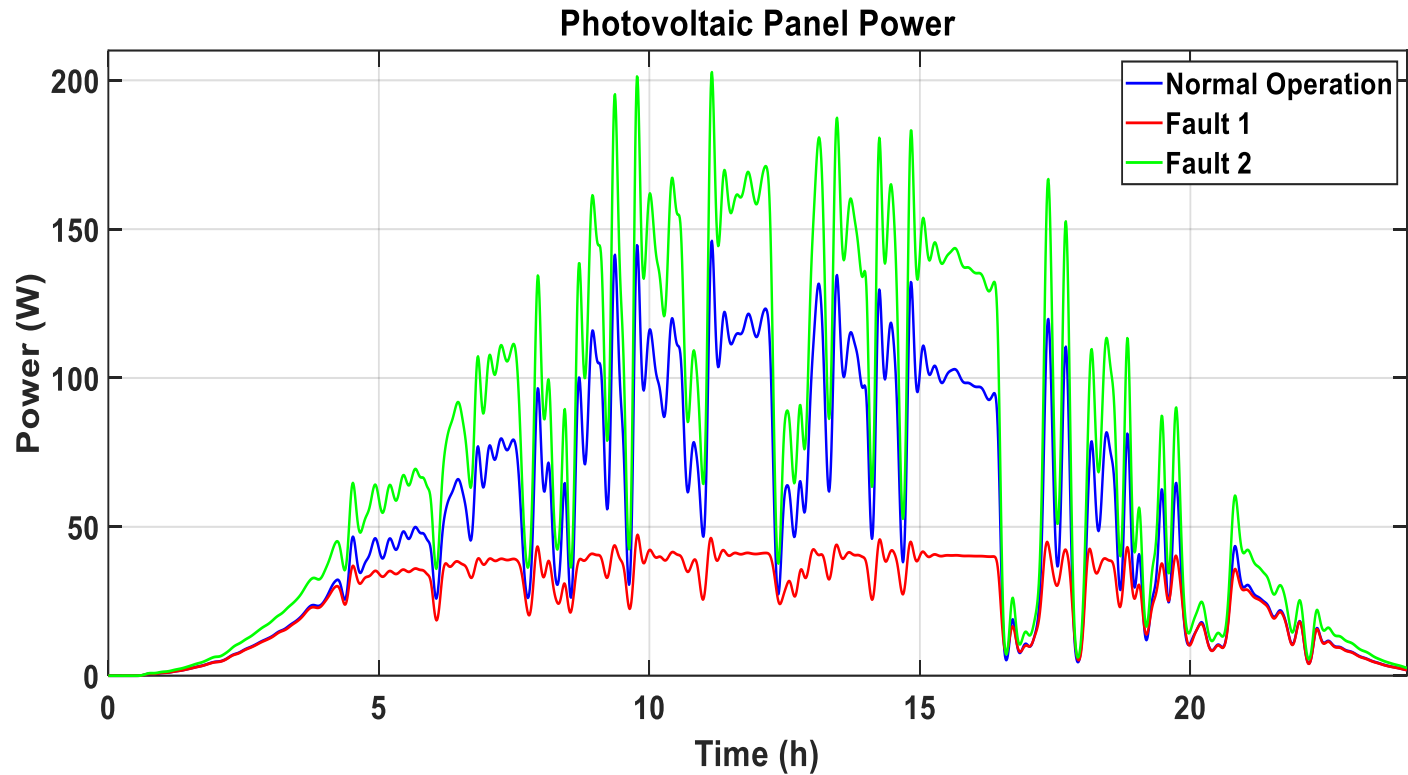
# Resultados

## Evaluación del Sistema de Identificador en distintos escenarios de fallo



# Resultados

Impacto de los fallos en la Potencia del PV.



06.

# CONCLUSIONES



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



# Conclusiones

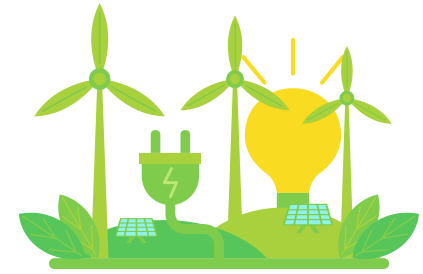
1

Con el fin de garantizar el correcto funcionamiento del PV y evitar que la generación de energía se vea afectada por el fallo de componentes internos, esta investigación propone y evalúa un sistema de identificación de fallos basado en redes neuronales MLP, específicamente diseñado para detectar fallos por desajuste y degradaciones debidas a la humedad. El sistema demuestra ser eficaz en la identificación de fallos, ya que identifica correctamente todos los fallos en 9486 puntos de funcionamiento probados bajo diferentes perfiles de irradiancia. Las pruebas se realizan con PV de distintos fabricantes, lo que demuestra su compatibilidad y capacidad de integración con cualquier sistema.

2

El sistema de identificación de fallos es capaz de distinguir entre los cambios de potencia en el PV causados por variaciones en la irradiancia y los causados por fallos, gracias al entrenamiento del MLP. Esto evita confusiones a la hora de identificar el tipo de fallo. Además, la técnica de mínimos cuadrados recursivos con un factor de olvido, que incluye intervalos de confianza, garantiza una identificación eficaz de los fallos. El estimador ha demostrado una alta fiabilidad, garantizando un nivel de confianza del 95% en la estimación. También demuestra adaptabilidad a los cambios en la PV y actualización continua de la estimación.

3



**GRACIAS !!**



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



# ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA E INSTRUMENTACIÓN

Artículo Académico Previo a la Obtención del Título de Ingeniero en Electrónica e Instrumentación

"Diseño y simulación de un control tolerante a fallas para un panel fotovoltaico"

" Fault Identification System Internally Affecting Photovoltaic Panels Using Artificial Intelligence"

**Autores:**

Mise Pillo, Víctor Hugo

Mosquera Morales, Edison Adrián

**Tutor.** Ing. Llanos Proaño, Jacqueline del Rosario PhD

**Co-Tutor.** Ing. Silva Monteros, Franklin Manuel Msc.

**Colaborador externo.** Ing. Minchala Ávila, Luis Ismael PhD

