



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

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE**

**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y 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 SUPERVISORIO PARA LA GESTIÓN EFICIENTE DE UN SISTEMA DE ENERGÍA HÍBRIDO SOLAR BATERÍA."**

**Autores:**

Moya Quispe, Alexander Paul

Pazmiño Barbosa, Polo Josue

**Tutor.** Ing. Ortiz , Diego PhD

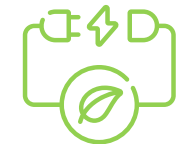
**Co-Tutor.** Ing. Llanos Proaño, Jacqueline del Rosario MSc. PhD

**Colaborador externo.** Ing. Burgos, Claudio PhD





an Open Access Journal by MDPI



# CERTIFICATE OF ACCEPTANCE

Certificate of acceptance for the manuscript (energies-1979935) titled:  
Distributed Secondary Control for Battery Management in a DC Microgrid

Authored by:

Alexander Paul Moya; Polo Josue Pazmiño; Jacqueline Rosario Llanos; Diego Ortiz-Villalba; Claudio Burgos

has been accepted in *Energies* (ISSN 1996-1073) on 09 November 2022

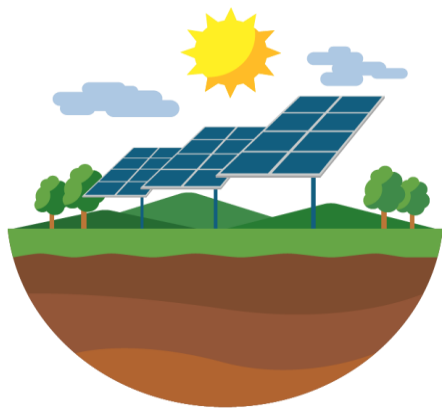


Basel, November 2022



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

# Tabla de Contenidos



**1** Introducción

**2** Funcionamiento del Proceso

**3** Diseño de Controladores

**4** Resultados

**5** Conclusiones

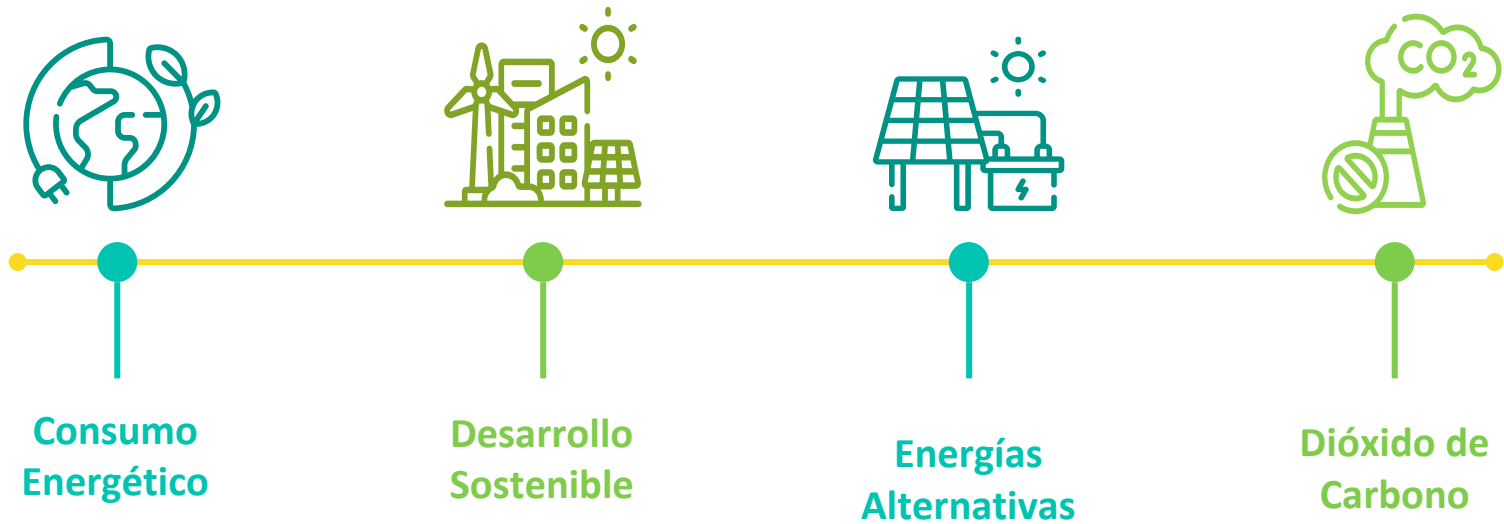
01.

# INTRODUCCIÓN



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

## Plantiamiento del Problema



# Introducción



IEA



50%

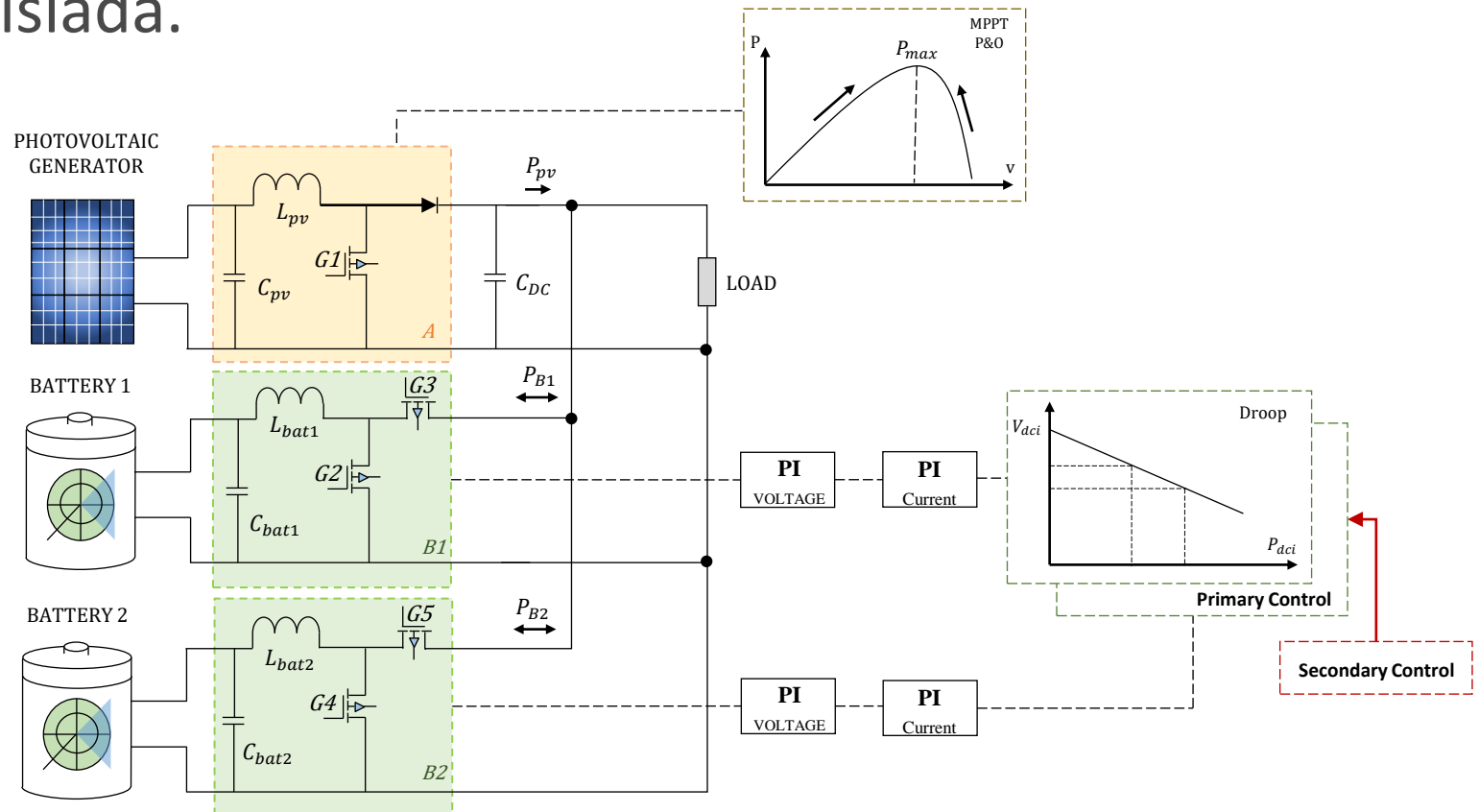
# 777 millones



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

# Introducción

## Esquema de una microrred DC aislada.



## OBJETIVO GENERAL.

- Diseñar y simular un control supervisorio para la gestión eficiente de un sistema de energía híbrido solar batería.

## OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- Investigar el funcionamiento de sistemas híbridos sol y batería.
- Modelar y controlar el sistema de almacenamiento (Baterías).
- Modelar y controlar el sistema fotovoltaico.
- Crear el simulador que integrará el sistema de almacenamiento con el sistema fotovoltaico, que mediante su acoplamiento se genere un simulador del sistema híbrido.
- Diseñar y validar un sistema de gestión tradicional.
- Proponer diseñar e implementar una estrategia de control supervisorio para la gestión de la energía eficiente.





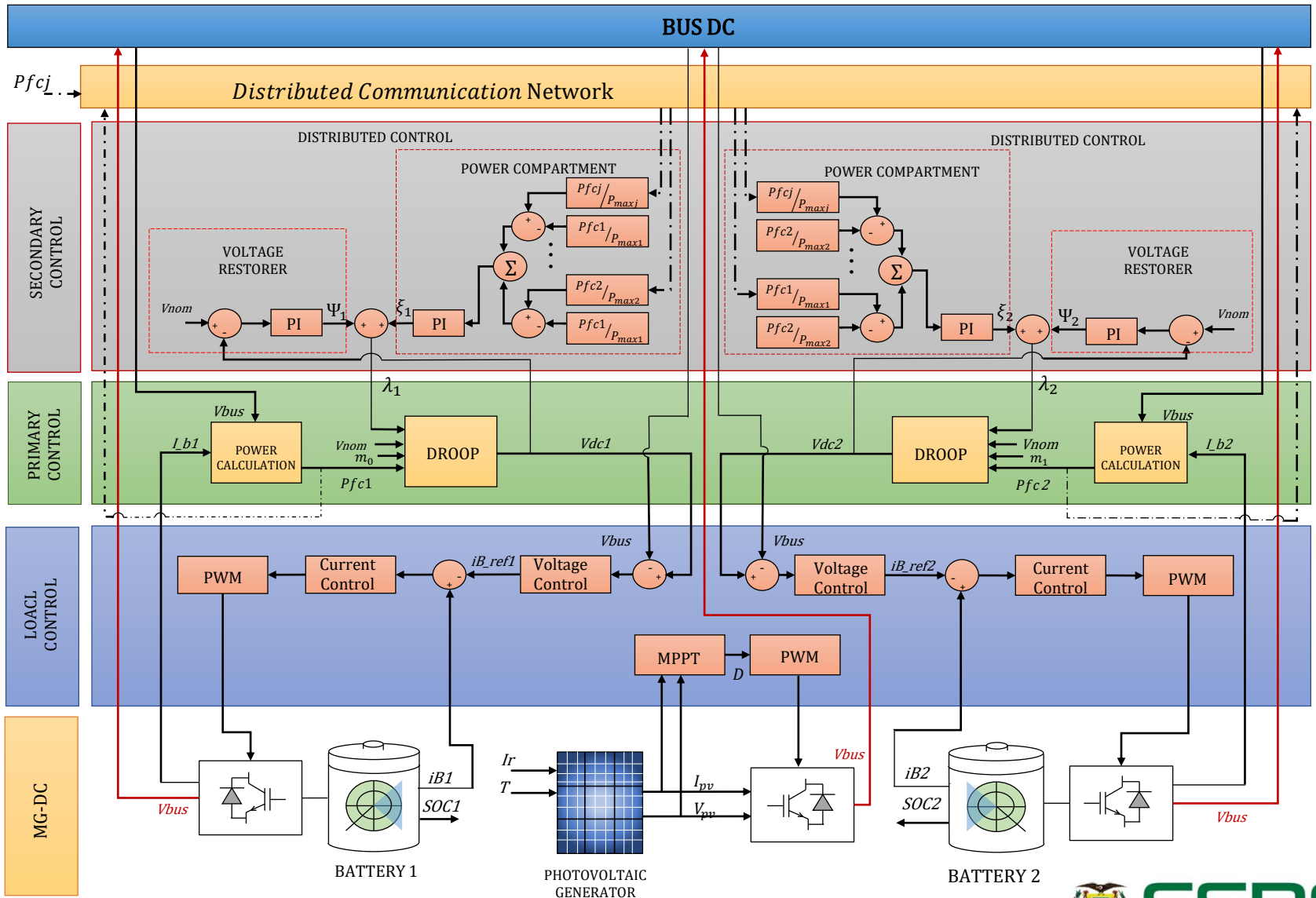
02.

# FUNCIONAMIENTO DEL PROCESO



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

# Funcionamiento Del Proceso



03.

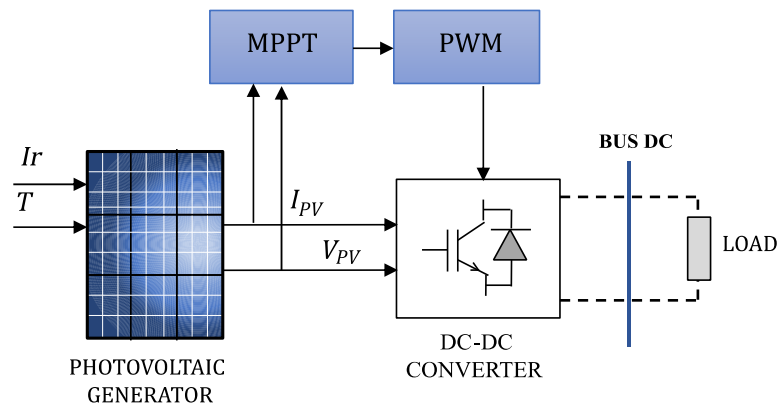
# DISEÑO DE CONTROLADORES



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

# Diseño de Controladores

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



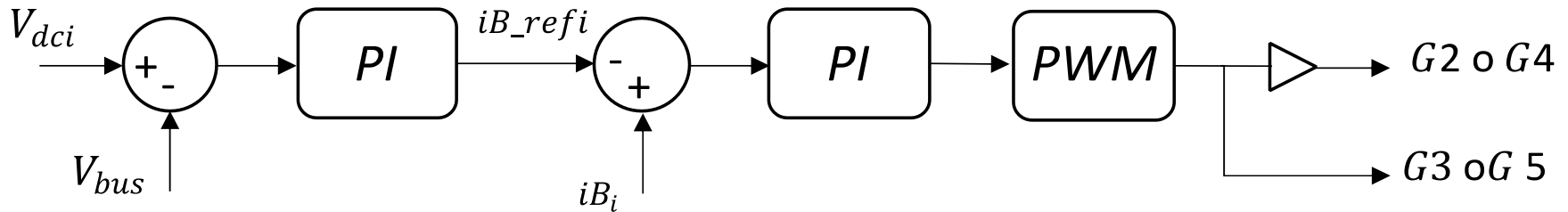
$$P_{pv}(k) = V_{pv}(k) \cdot I_{pv}(k)$$

$$D(k) = D(k-1) + \Delta D$$

**Figure 1.** Control MPPT para PV.

# Diseño de Controladores

Diseño de una estrategia de control local para el sistema de almacenamiento



**Figure 2.** Diagrama de control Bidireccional DC-DC (Buck Boost).

## Diseño de controladores Droop (V-P) en las Baterías

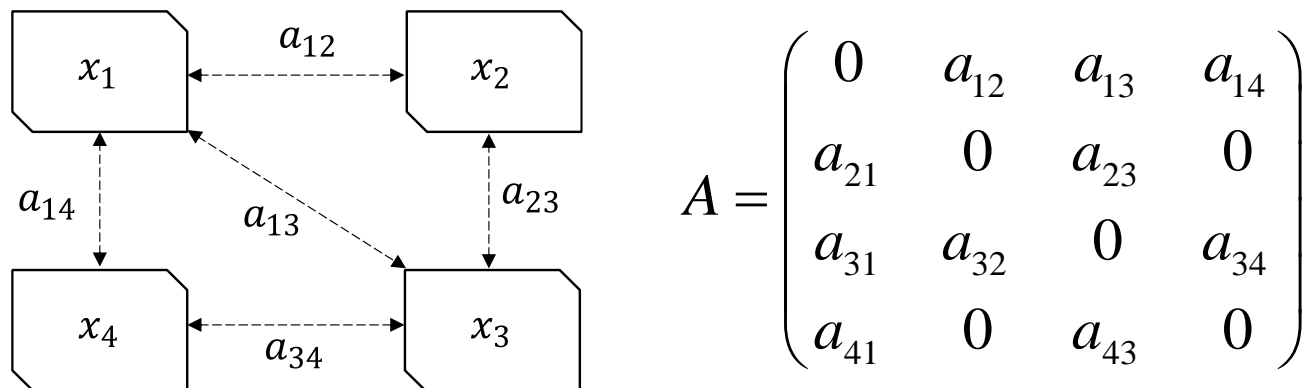
$$V_{dci} = V_{nom} - m_p \cdot P_{fci}$$

$$m_p = \frac{\Delta V_{max}}{P_{Bmax}}$$

$$\Delta V_{max} = V_{nom} - V_{min}$$

## Controlador Secundario Distribuido para Gestión eficiente de las Baterías

$$\dot{x}_i = -\sum_{j \in N_j \neq i} a_{ij} (x_i - x_j)$$



**Figure 3.** Ejemplo de un gráfico de cuatro agentes y su adyacencia.

# Diseño de Controladores

Diseño de control distribuido

$$\begin{matrix} (\Psi_i) \\ (\xi_i) \end{matrix} \begin{matrix} / \\ \backslash \end{matrix} \lambda_i = \Psi_i + \xi_i$$

$$V_{dci} = V_{nom} - m_p \cdot P_{fci} + \lambda_i$$

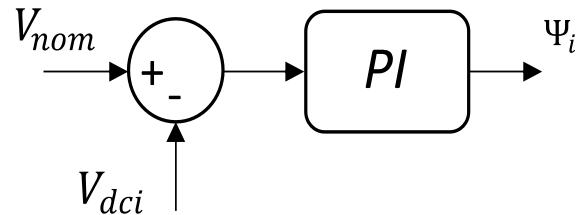


# Diseño de Controladores

Diseño de control distribuido

$$\Psi_i = K_p (V_{nom} - V_{dci}) + K_i \int (V_{nom} - V_{dci})$$

$$\dot{\Psi}_i = K_T (V_{nom} - V_{dci})$$



**Figure 4.** Diagrama de control secundario distribuido para restaurar el voltaje.

# Diseño de Controladores

## Diseño de control distribuido

$$\xi_i = -K_p \sum_{j \in N, j \neq i} a_{ij} \left( \frac{P_{fci}}{P_{\max i}} - \frac{P_{fcj}}{P_{\max j}} \right) - K_i \int \sum_{j \in N, j \neq i} a_{ij} \left( \frac{P_{fci}}{P_{\max i}} - \frac{P_{fcj}}{P_{\max j}} \right)$$

$$\dot{\xi}_i = - \sum_{j \in N, j \neq i} a_{ij} \left( \frac{P_{fci}}{P_{\max i}} - \frac{P_{fcj}}{P_{\max j}} \right) (K_t)$$

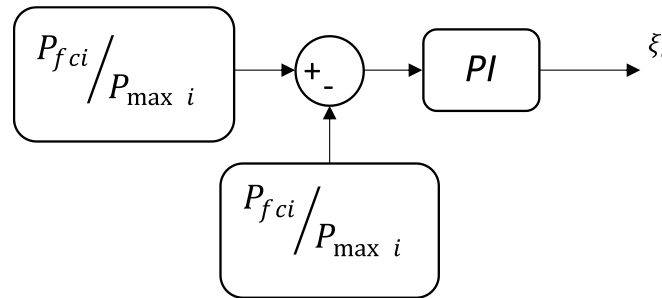


Figure 5. Diagrama de control secundario centralizado.

04.

# RESULTADOS



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

# Resultados

**Table 1.** Parámetros de la Batería 1 y 2.

Descripción	Parámetros	Batería 1	Batería 2
Voltaje nominal	$V$	36 V	36 V
Capacidad nominal	$Ah$	50 Ah	6.5 Ah
Estado inicial de carga	SOC (%)	50 %	50 %

**Table 2.** Parámetros del panel fotovoltaico.

Descripción	Parámetros	Valor
Tensión del arreglo de paneles	$V_{oc}$	36.3 V
Corriente del arreglo de paneles	$I_{sc}$	7.84 A
Tensión del arreglo a máx. potencia	$V_{mpp}$	29 V
Corriente del arreglo a máx. potencia	$I_{mpp}$	7.35 A

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

Descripción	Parámetros	Valor
Bonina en PV	$L_{pv}$	$5x10^{-3} H$
Bobina Batería 1	$L_{bat1}$	$5x10^{-3} H$
Bobina en Batería 2	$L_{bat2}$	$5x10^{-3} H$
Capacitor PV	$C_{pv}$	$100x10^{-6} H$
Capacitor DC	$C_{DC}$	$3300x10^{-6} H$
Capacitor Batería 1	$C_{bat1}$	$1000x10^{-6} H$
Capacitor Batería 2	$C_{bat2}$	$1000x10^{-6} H$
Carga	Voltaje nominal	48 V
	Potencia activa	1000 W

# Resultados

## Perfil de irradiancia

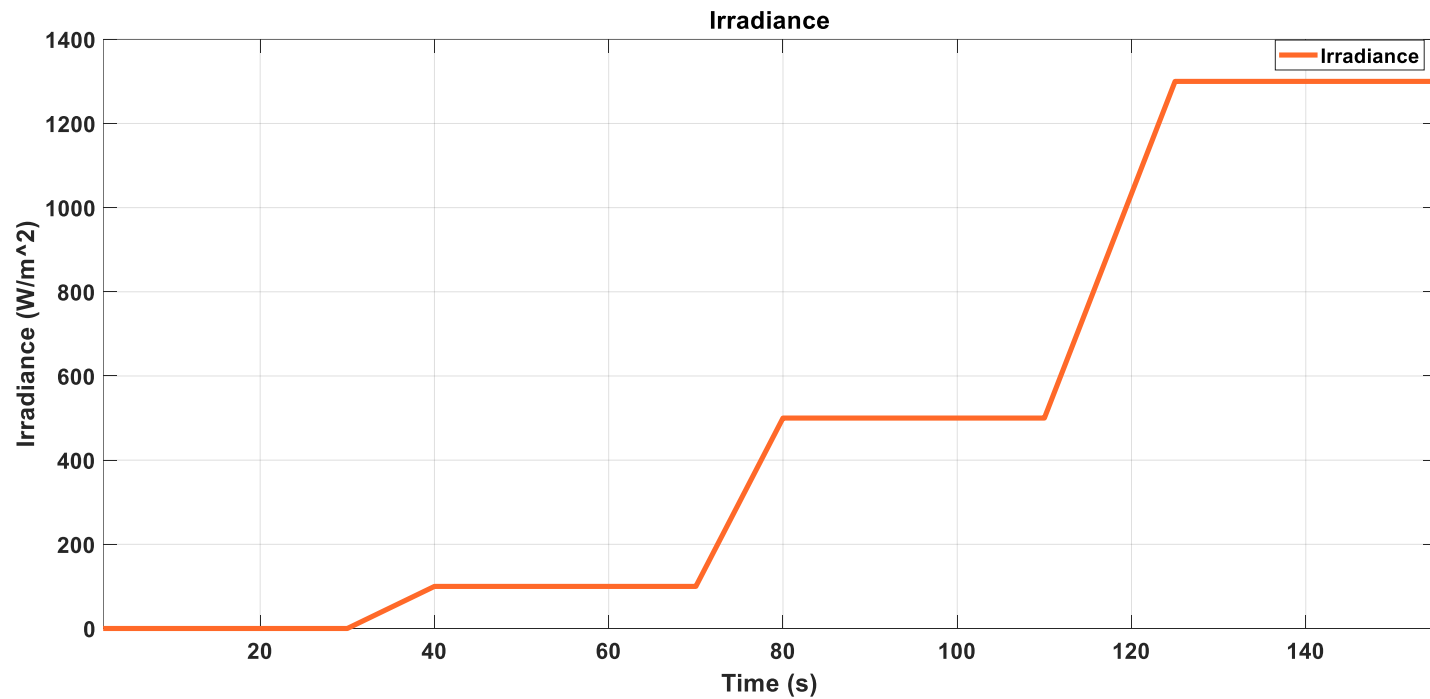


Figure . Perfil de irradiancia

# Resultados

## Control de caída convencional

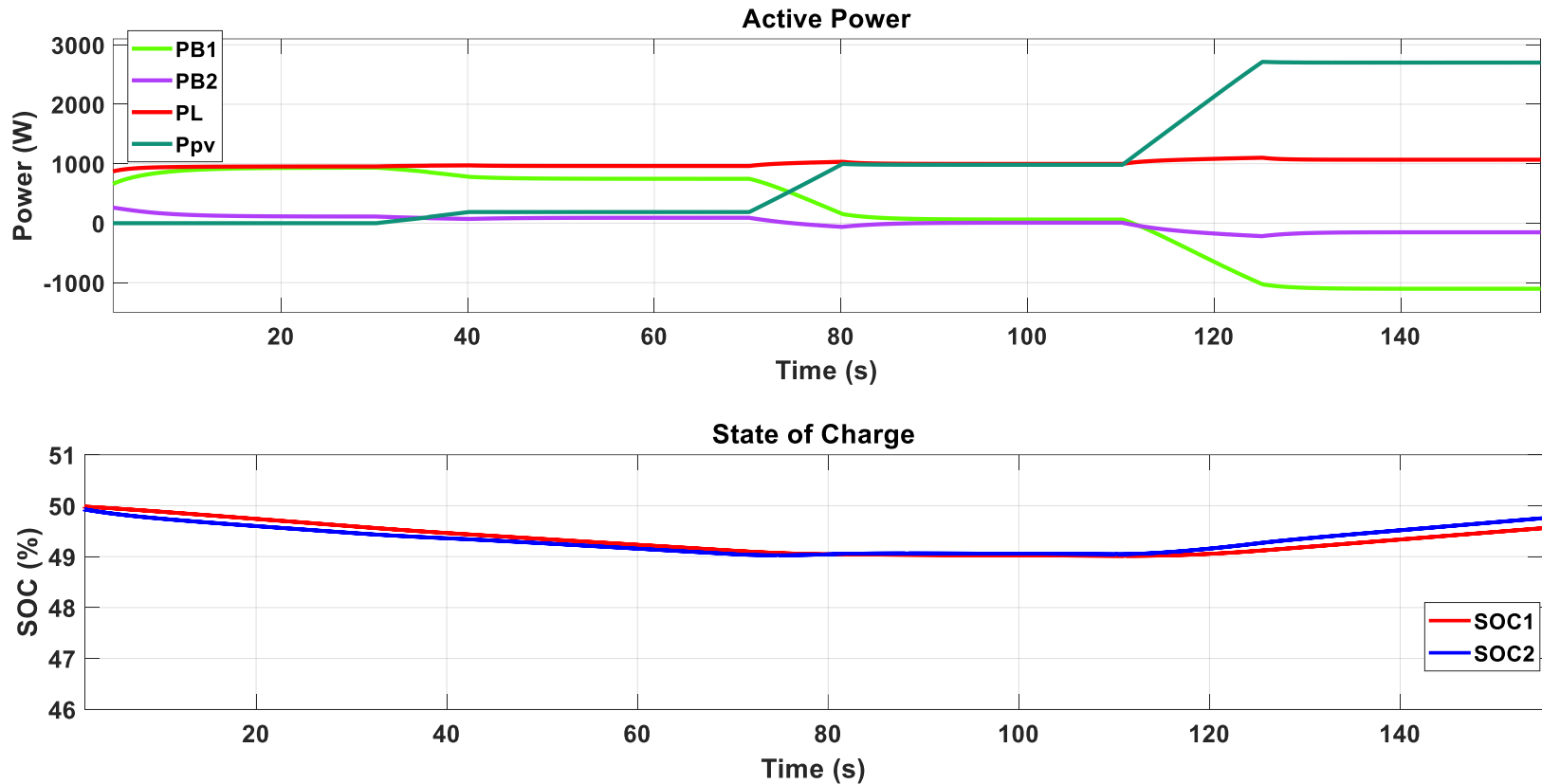
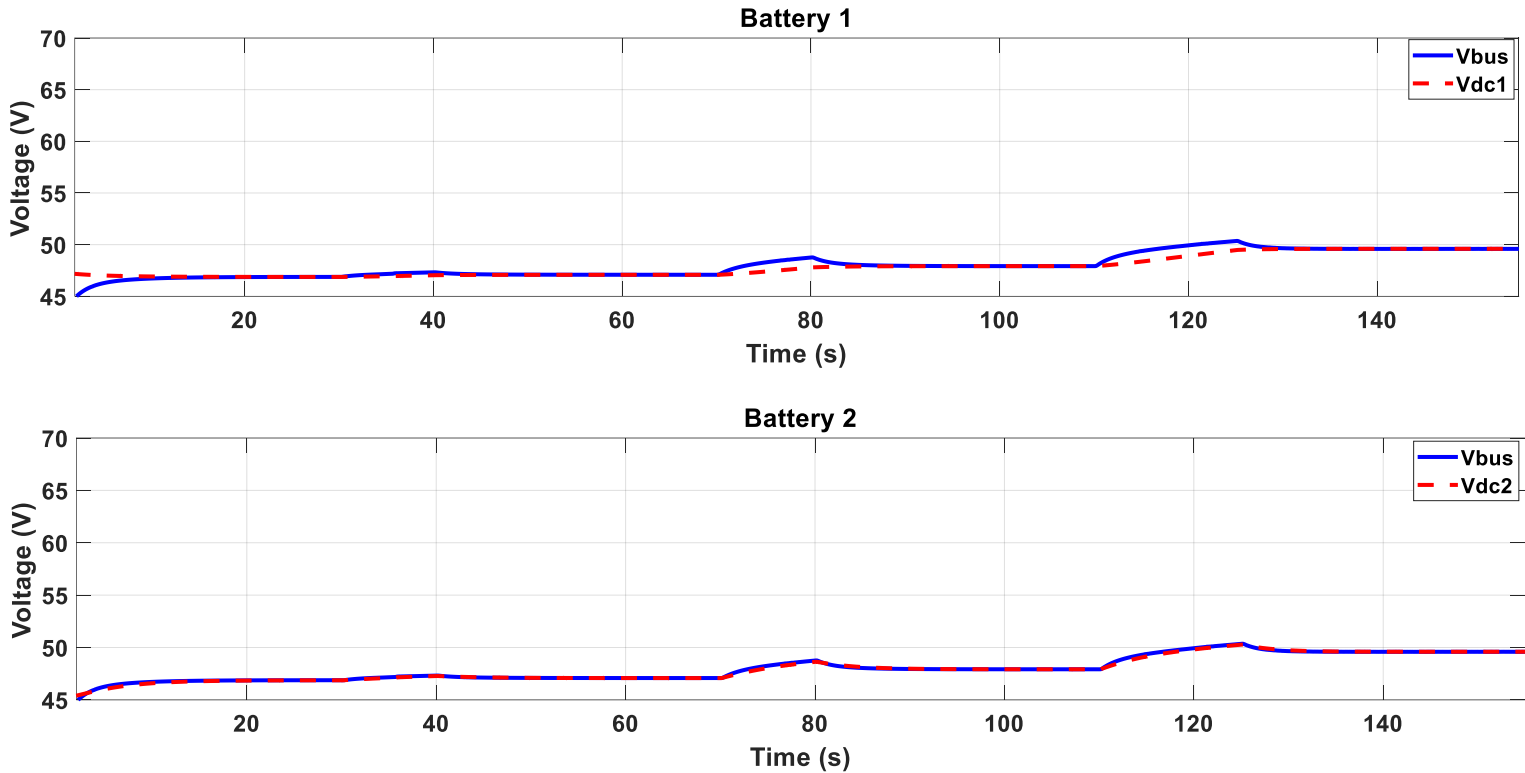


Figure 7. Control de caída convencional, (a) reparto de potencias del sistema y (b) SOC en las baterías 1 y 2 en un tiempo de 120seg.

# Resultados

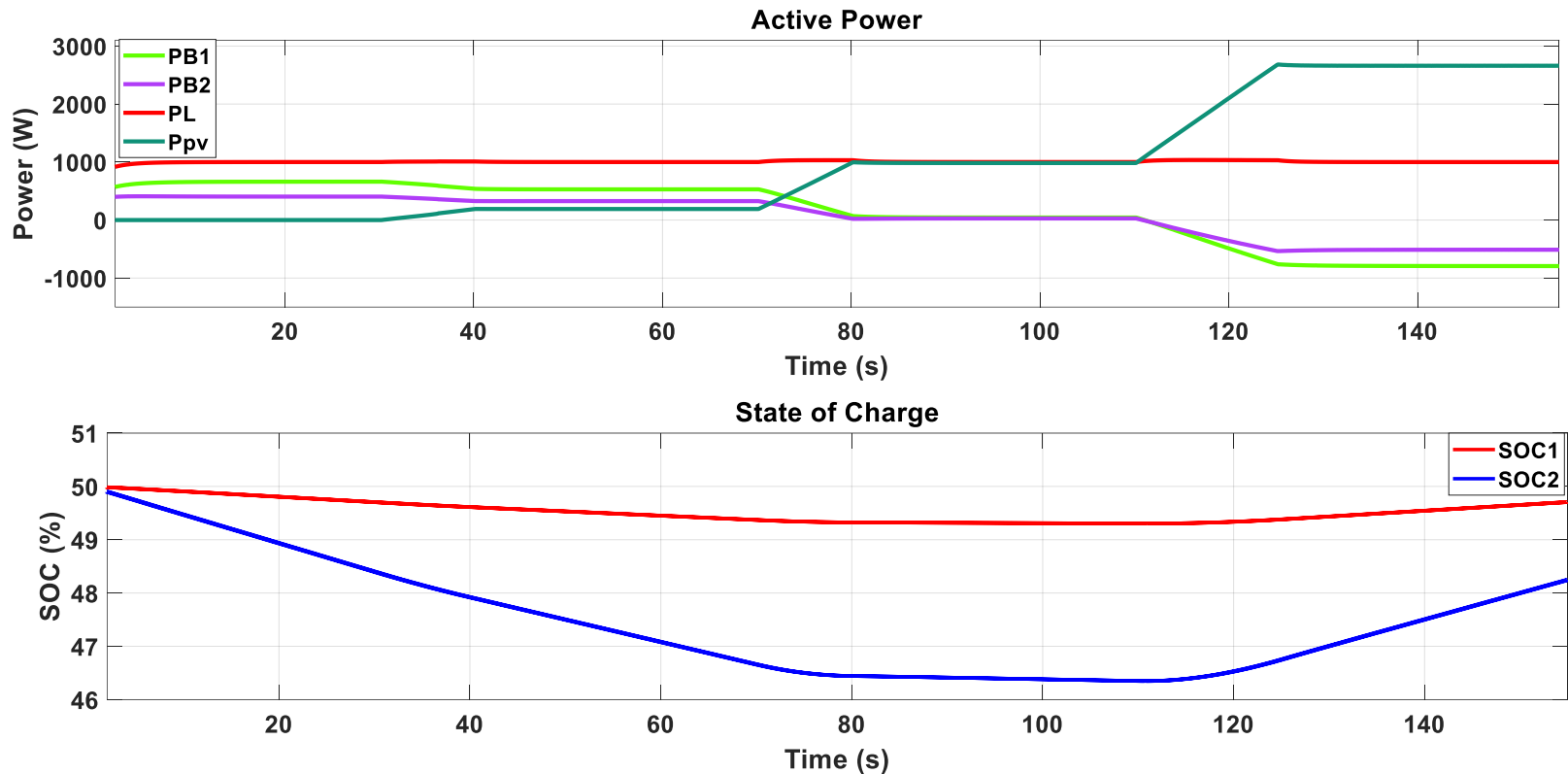
## Control de voltaje en el bus DC con caída convencional



**Figure 8.** Control de voltaje en el bus DC con caída convencional para (a) batería 1 y (b) batería 2, en un tiempo de 120seg.

# Resultados

## Control secundario distribuido para restauración de voltaje

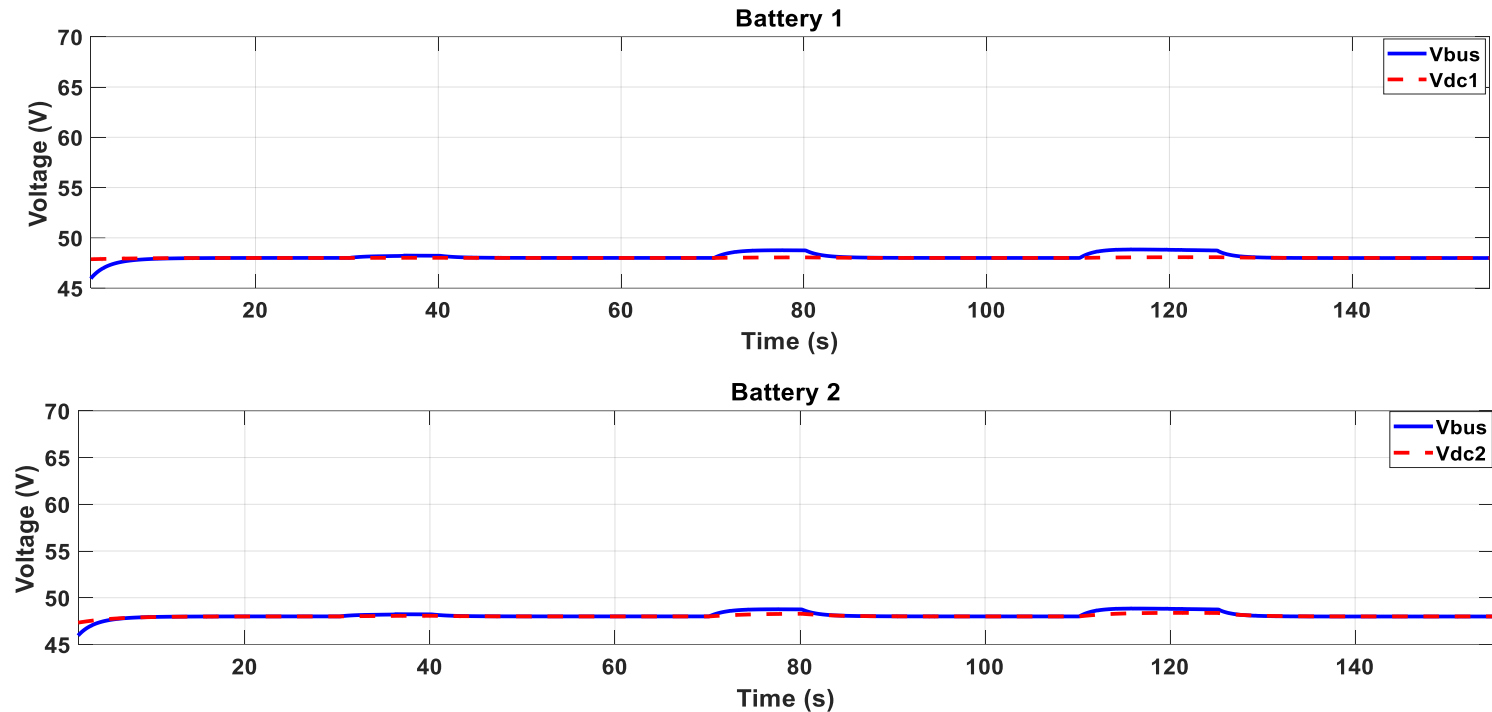


**Figure 9.** Control secundario distribuido para restauración de voltaje, (a) reparto de potencias del sistema y (b) SOC en batería 1,2 en un tiempo de 120seg.



# Resultados

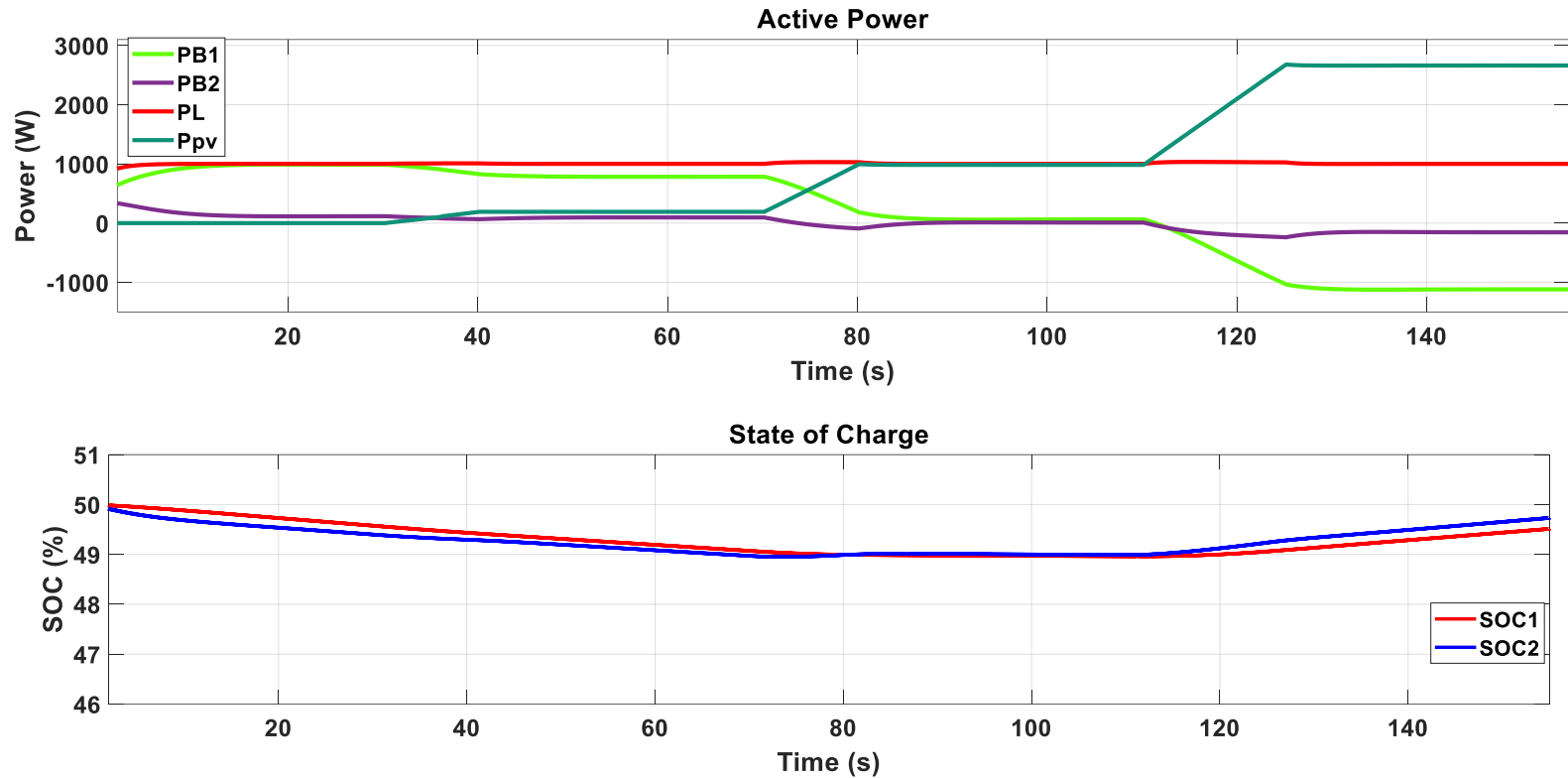
## Control de voltaje en el bus DC con secundario distribuido



**Figure 10.** Control de voltaje en el bus DC con secundario distribuido para restauración de voltaje, para (a) batería 1 y (b) batería 2 en un tiempo de 120 seg.

# Resultados

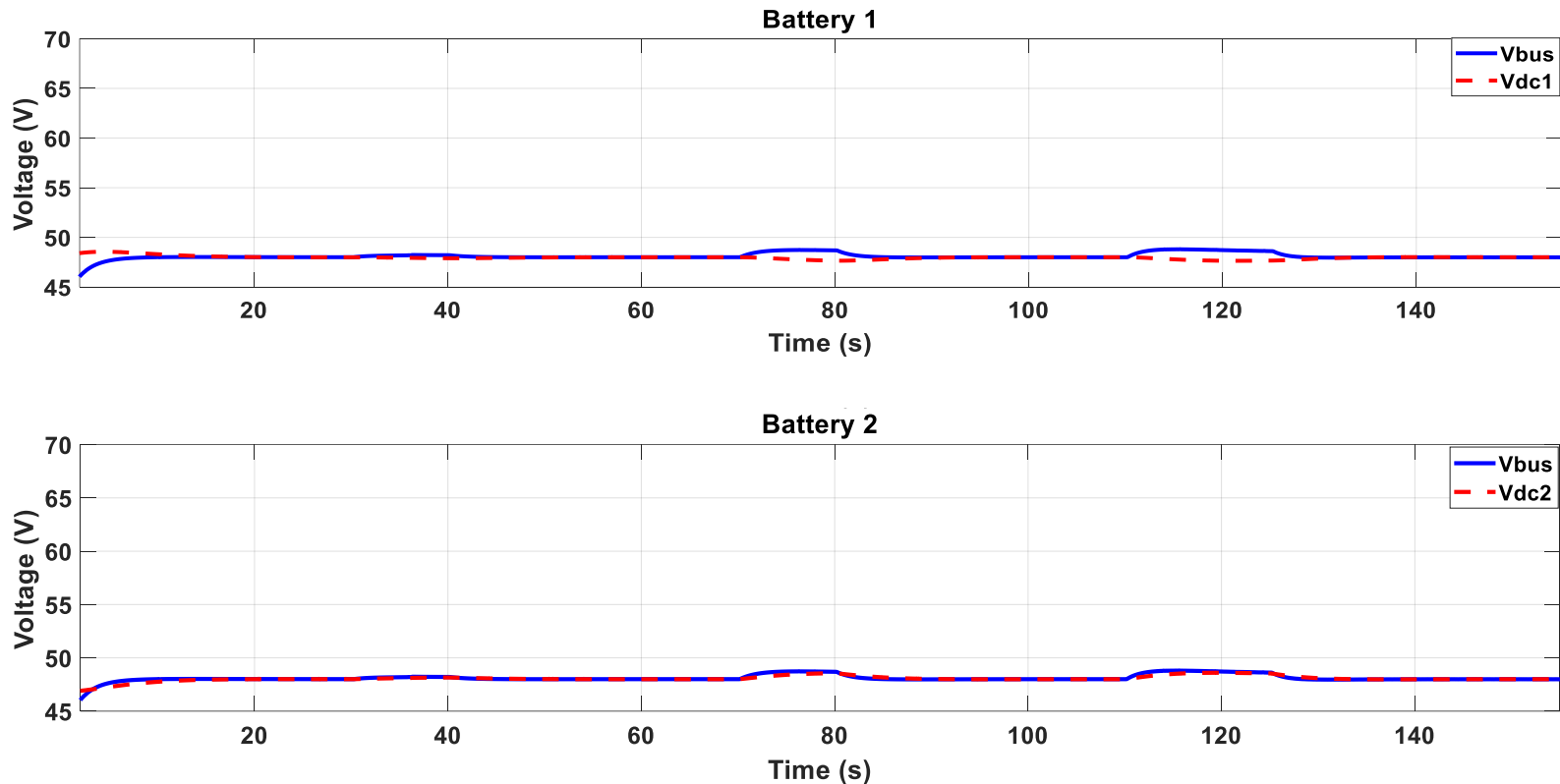
Control secundario distribuido basado en algoritmo de consenso



**Figure 11.** Control secundario distribuido basado en algoritmo de consenso, (a) reparto de potencias del sistema y (b) SOC en las baterías 1 y 2.

# Resultados

Control de voltaje en el bus DC con secundario distribuido basado en algoritmo de consenso



**Figure 12.** Control de voltaje en el bus DC con secundario distribuido basado en algoritmo de consenso para (a) batería 1 y (b) batería 2.

05.

# CONCLUSIONES



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

# Conclusiones

1

Las ventajas e impacto de los niveles de control propuesto son el correcto control de voltaje en el bus DC reduciendo significativamente las variaciones de tensión presentadas en el control primario y el reparto de potencias es acorde a las características que presenta cada batería es así que una batería de menor capacidad entregara menor potencia frente a una batería con mayor capacidad evidenciando una descarga simultánea en las dos unidades, esta relación se muestra en el comportamiento eficiente del SOC atribuyendo una gestión eficiente en la MG la cual preserva la vida útil de las baterías.

2

3

