

# Reunión del subcomité científico Presentación de avances

25 de abril de 2022

Grupo GCSP-UC3M

Web: [geiser.depeca.uah.es/promint](http://geiser.depeca.uah.es/promint)

## Objetivo 4: Diseño e implementación de un sistema de gestión de energía para sistemas híbridos de generación renovable y almacenamiento en baterías.

**H4.1.** Desarrollo de una herramienta de planificación para el dimensionado óptimo del BEES.

**H4.2.** Diseño y simulación del sistema de gestión de energía para la operación del sistema híbrido.

**H4.3.** Implementación y validación experimental del EMS.

**PROMINT-CM**

PROgrama Microrredes INTeligentes Comunidad de Madrid

UNIÓN EUROPEA  
Fondos Estructurales  
Invertimos en tu futuro



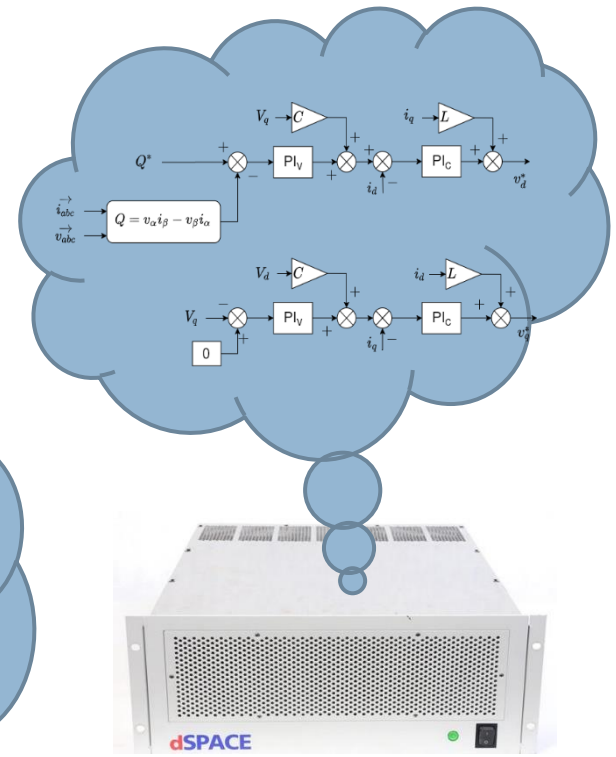
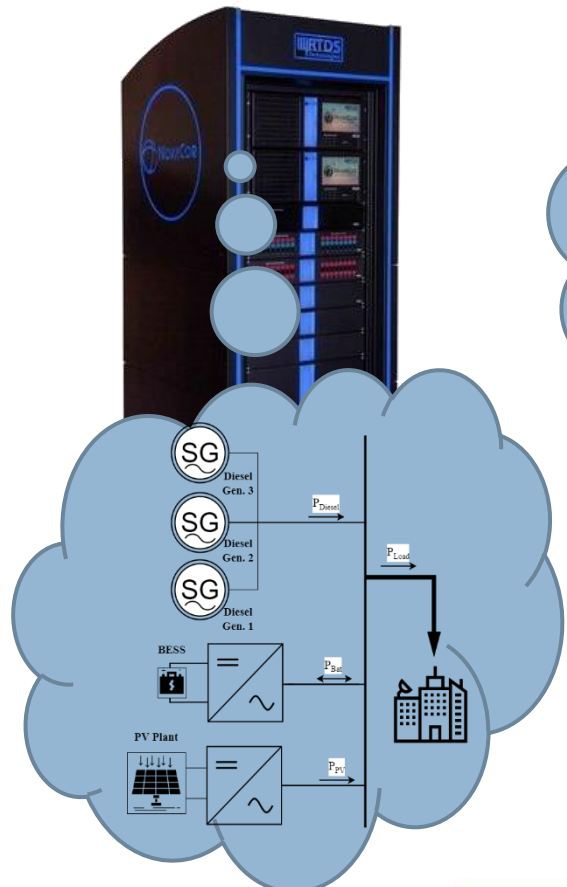
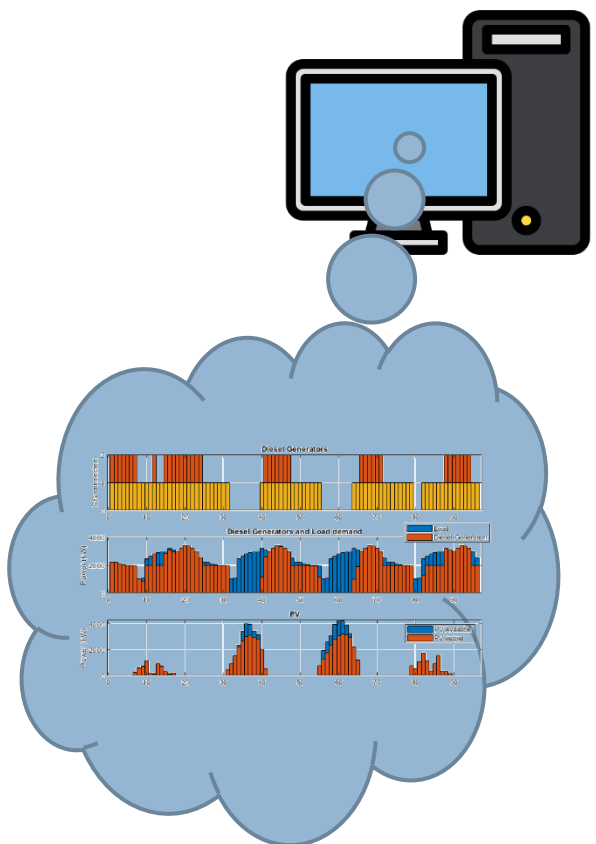
UNIÓN EUROPEA  
Fondo Social Europeo  
El FSE invierte en tu futuro



  
**Comunidad  
de Madrid**

# Implementación y validación experimental del EMS

- Capas de Control de la microrred en tiempo REAL



**PROMINT-CM**

PROgrama Microrredes INTeligentes Comunidad de Madrid

UNIÓN EUROPEA  
Fondos Estructurales  
Invertimos en tu futuro

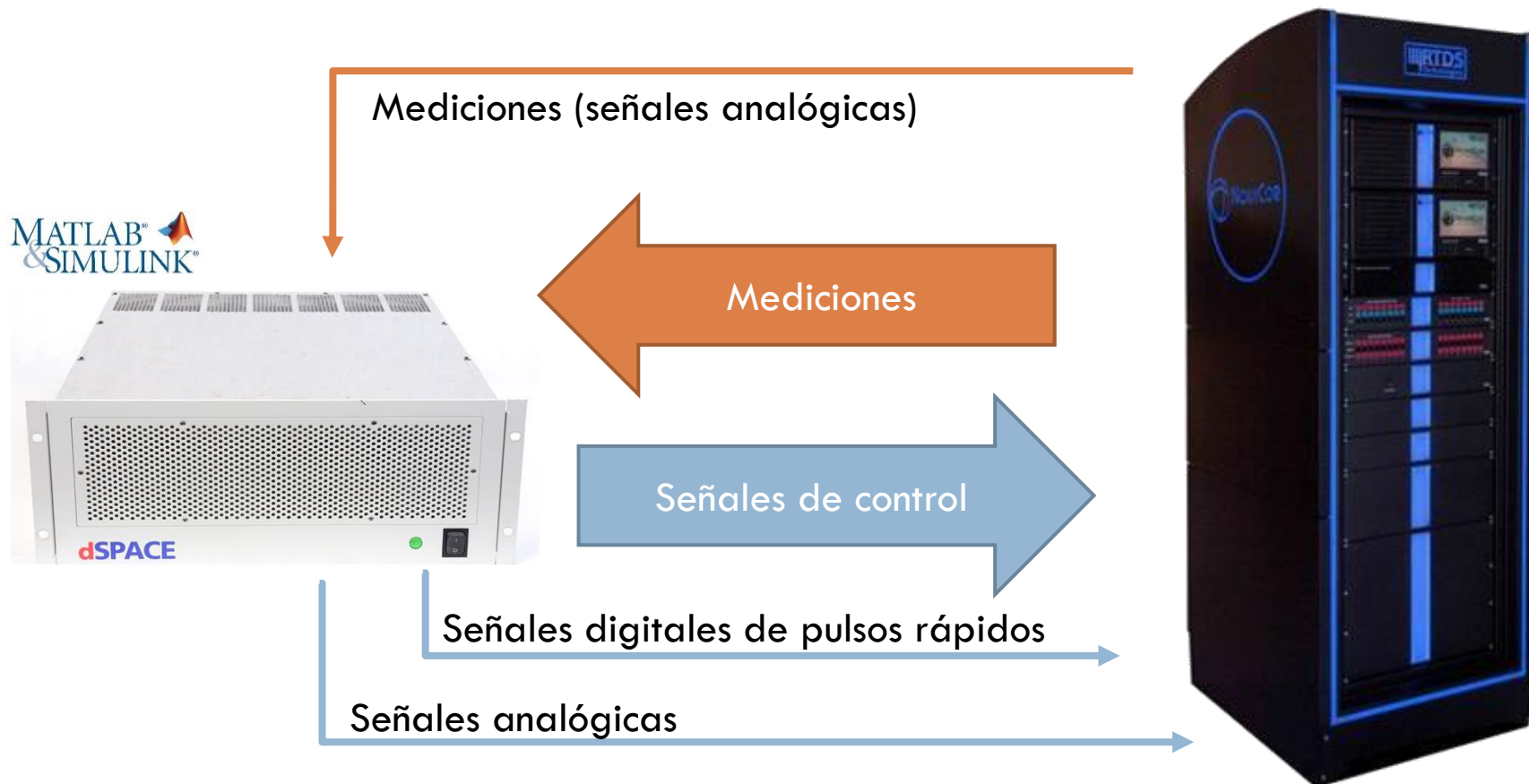


UNIÓN EUROPEA  
Fondo Social Europeo  
El FSE invierte en tu futuro



# Implementación y validación experimental del EMS

- Sistema Hardware in the Loop (HIL)



**PROMINT-CM**

PROgrama Microrredes INTeligentes Comunidad de Madrid

UNIÓN EUROPEA  
Fondos Estructurales  
Invertimos en tu futuro



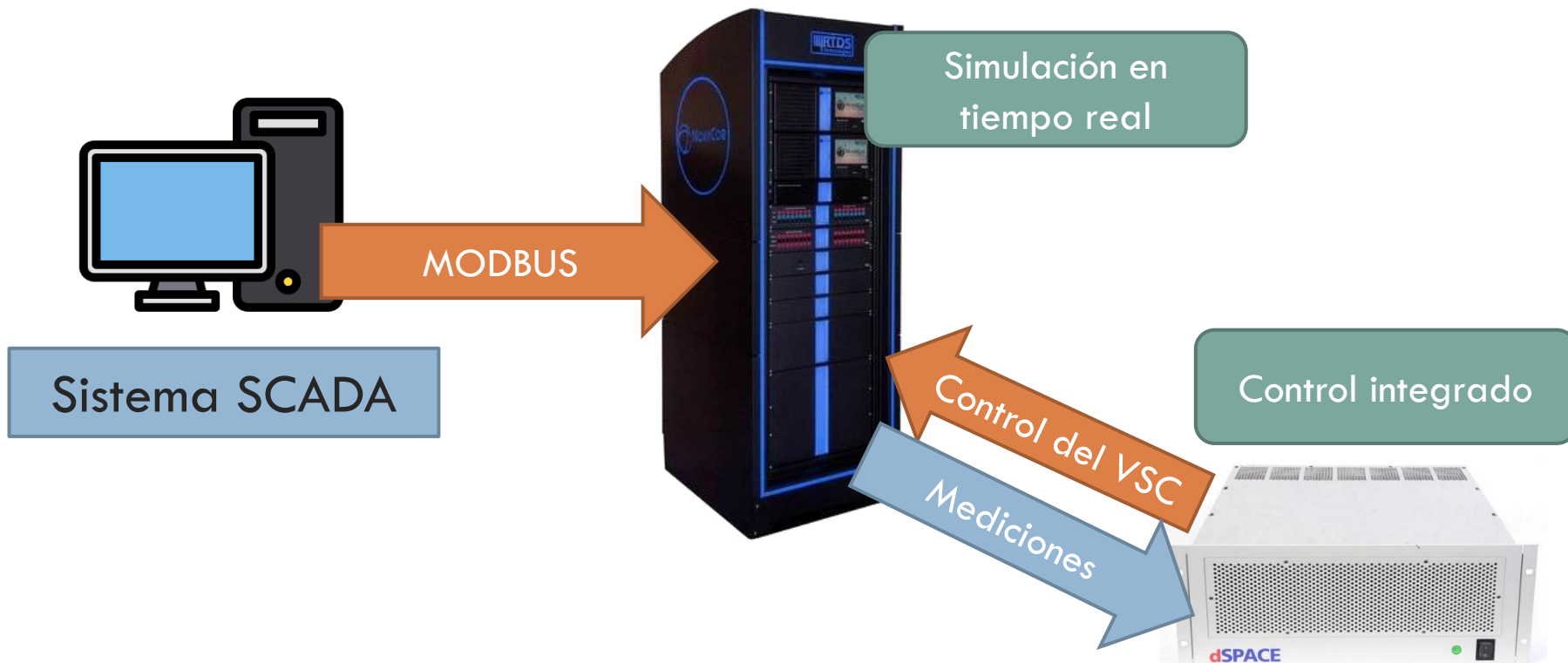
UNIÓN EUROPEA  
Fondo Social Europeo  
El FSE invierte en tu futuro



**Comunidad  
de Madrid**

# Implementación y validación experimental del EMS

- Capas de Control de la microrred en tiempo REAL



PROMINT-CM

PROgrama Microrredes INTeligentes Comunidad de Madrid

UNIÓN EUROPEA  
Fondos Estructurales  
Invertimos en tu futuro



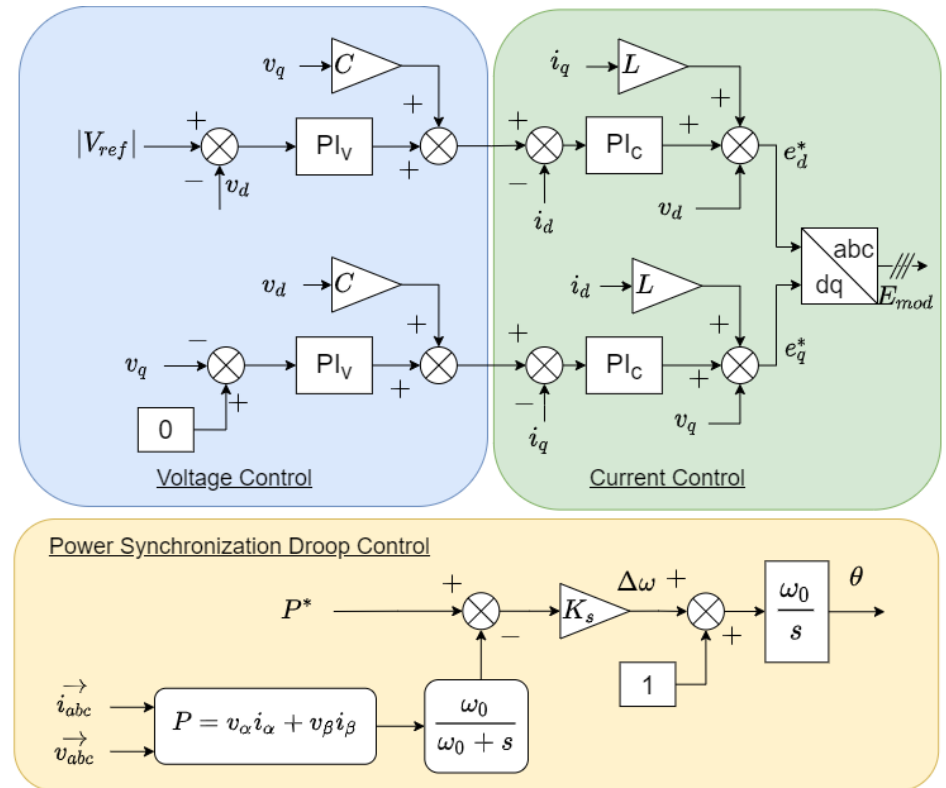
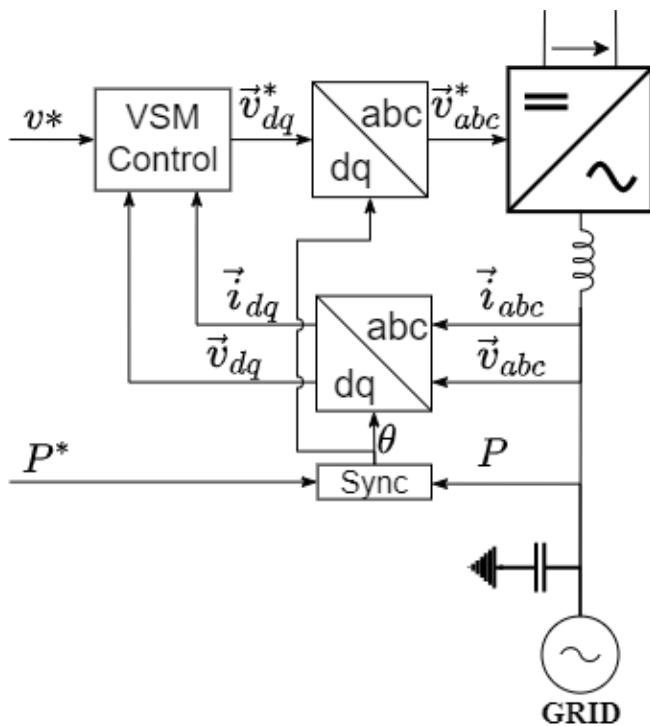
UNIÓN EUROPEA  
Fondo Social Europeo  
El FSE invierte en tu futuro



Comunidad  
de Madrid

# Diseño y simulación del sistema de gestión de energía para la operación del sistema híbrido

- Esquema de control implementado modo Grid Forming

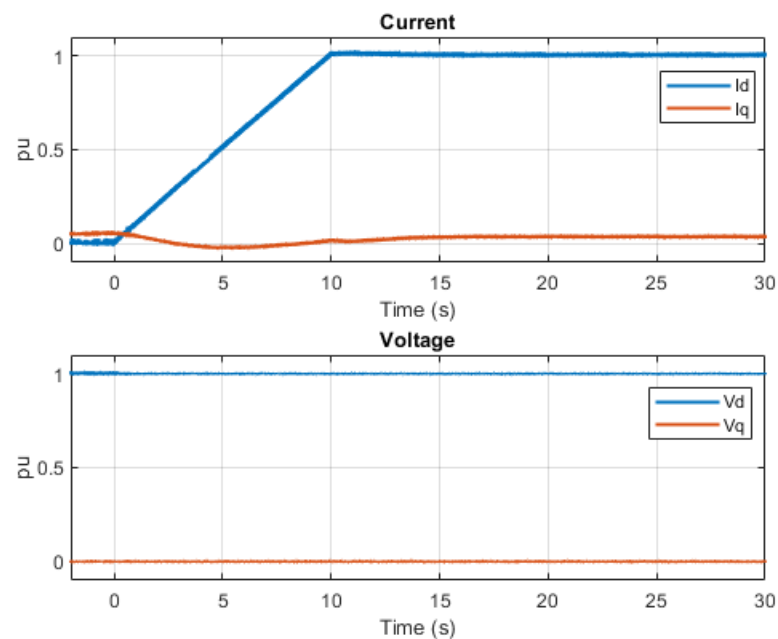
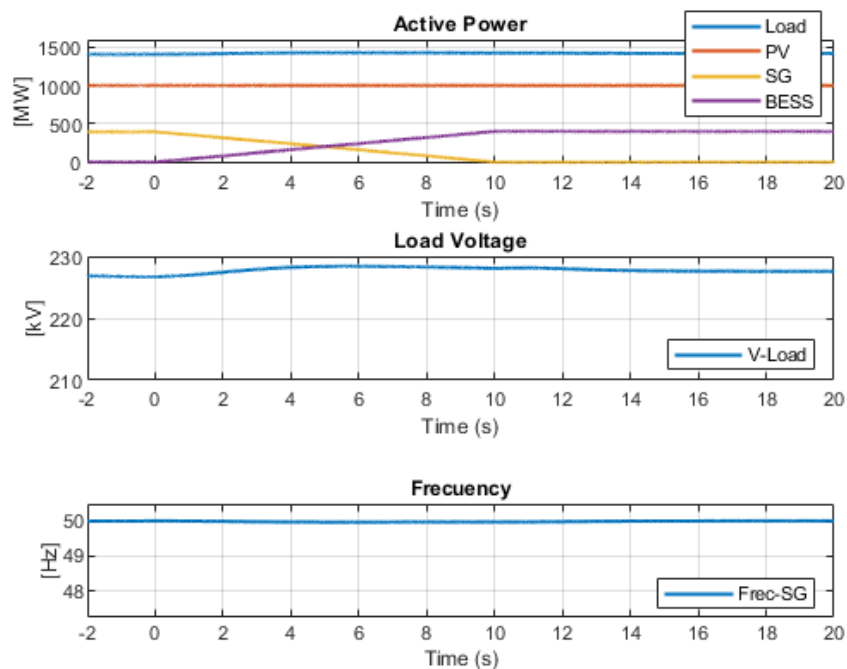


# Implementación y validación experimental del EMS

## ● Control Grid-Forming

- Permite a la microrred operar en una red sin generación convencional

## ● Prueba ante desconexión de la generación convencional



PROMINT-CM

PROgrama Microrredes INTeligentes Comunidad de Madrid

UNIÓN EUROPEA  
Fondos Estructurales  
Invertimos en tu futuro



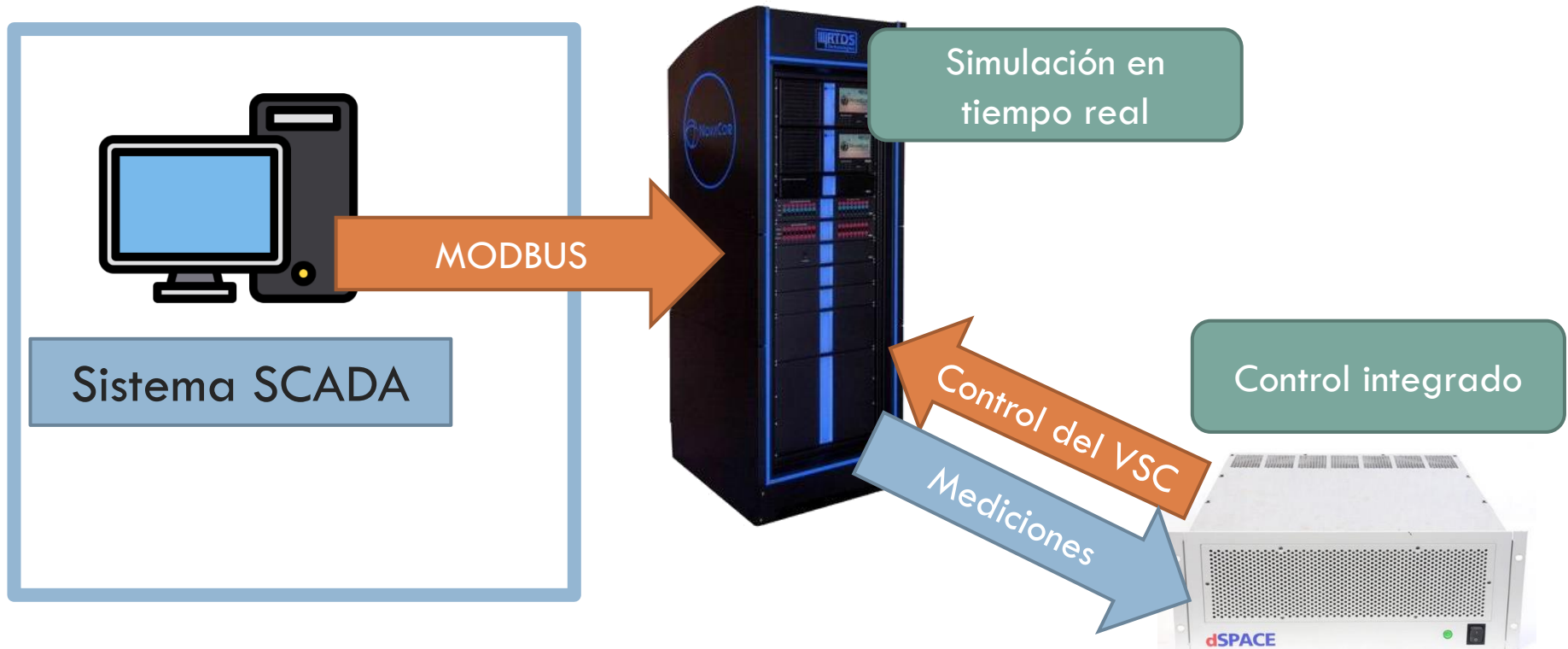
UNIÓN EUROPEA  
Fondo Social Europeo  
El FSE invierte en tu futuro





# Implementación y validación experimental del EMS

- Capas de Control de la microrred en tiempo REAL



PROMINT-CM

PROgrama Microrredes INTeligentes Comunidad de Madrid

UNIÓN EUROPEA  
Fondos Estructurales  
Invertimos en tu futuro



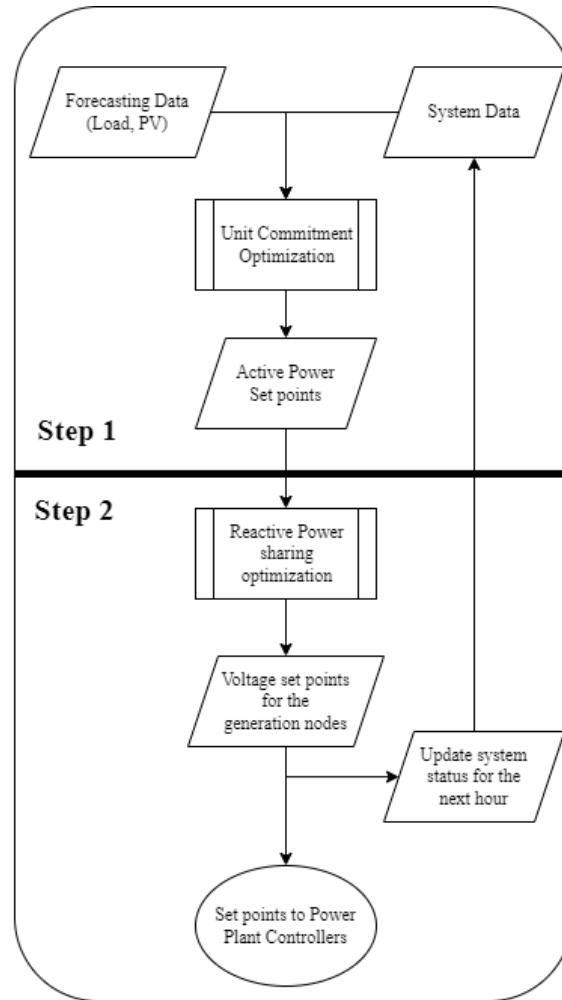
UNIÓN EUROPEA  
Fondo Social Europeo  
El FSE invierte en tu futuro



Comunidad  
de Madrid



# Desarrollo de una herramienta de planificación para el dimensionado óptimo del BEES



PROMINT-CM

PROgrama Microrredes INTeligentes Comunidad de Madrid

UNIÓN EUROPEA  
Fondos Estructurales  
Invertimos en tu futuro



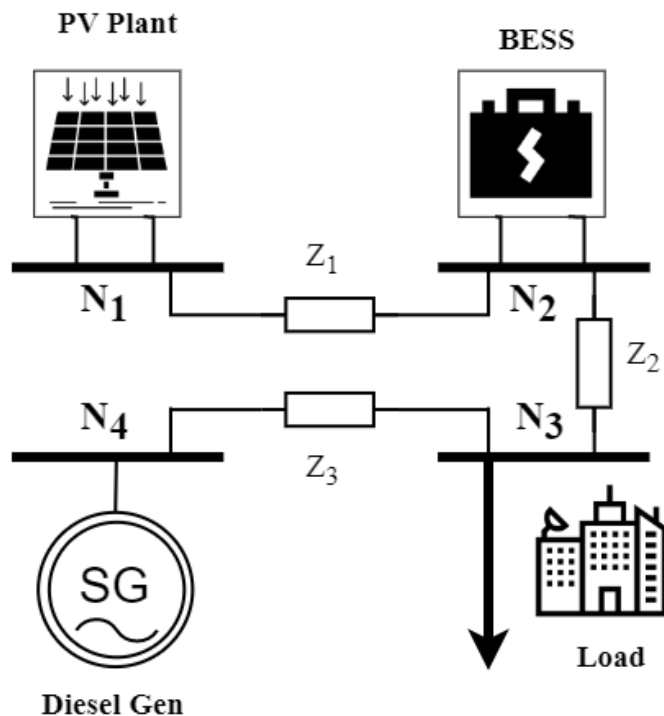
UNIÓN EUROPEA  
Fondo Social Europeo  
El FSE invierte en tu futuro



Comunidad  
de Madrid

# Desarrollo de una herramienta de planificación para el dimensionado óptimo del BEES

- Algoritmo de despacho óptimo de unidades de generación



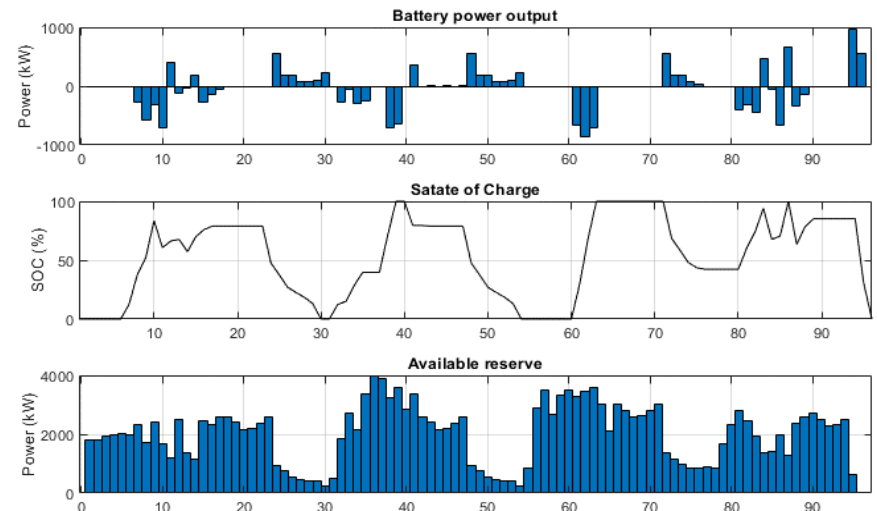
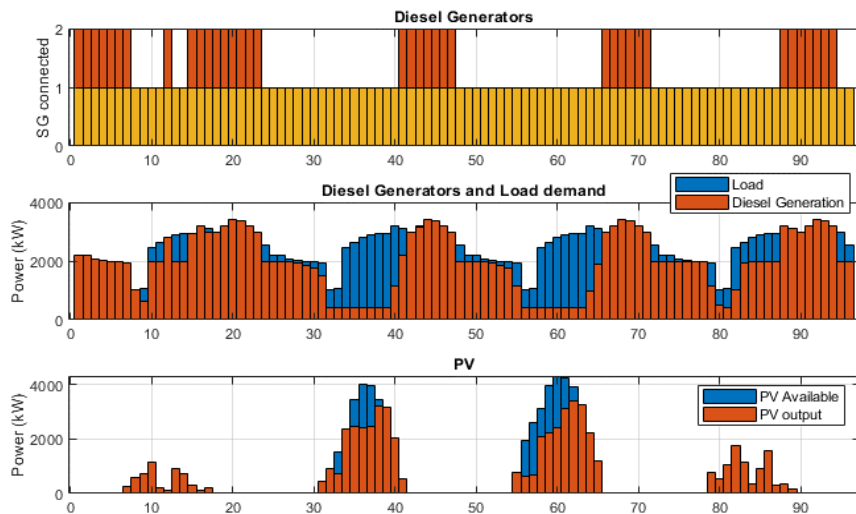
## Objective function

$$\min \sum_{t=1}^K \left( \left( (n_{1,t} + n_{2,t} + n_{3,t}) * H^{COST} \right) + \left( p_t^{GEN} * F^C \right) + \left( p_t^{BAT} * D^{COST} \right) \right)$$

$n_{i,t}$	→ Diesel generator status (ON=1, OFF=0)
$H^{COST}$	→ Hourly wearing cost of the diesel generators
$p_t^{GEN}$	→ Total power output of the diesel generators
$F^C$	→ Fuel cost
$p_t^{BAT}$	→ Absolute value of the hourly power of the battery
$D^{COST}$	→ Degradation cost of the BESS

# Diseño y simulación del sistema de gestión de energía para la operación del sistema híbrido

- Algoritmo de despacho óptimo de unidades de generación
  - Planificación de 72h con una ventana de datos de 24h, ejecutada hora a hora



PROMINT-CM

PROgrama Microrredes INTeligentes Comunidad de Madrid

UNIÓN EUROPEA  
Fondos Estructurales  
Invertimos en tu futuro



UNIÓN EUROPEA  
Fondo Social Europeo  
El FSE invierte en tu futuro



# Diseño y simulación del sistema de gestión de energía para la operación del sistema híbrido

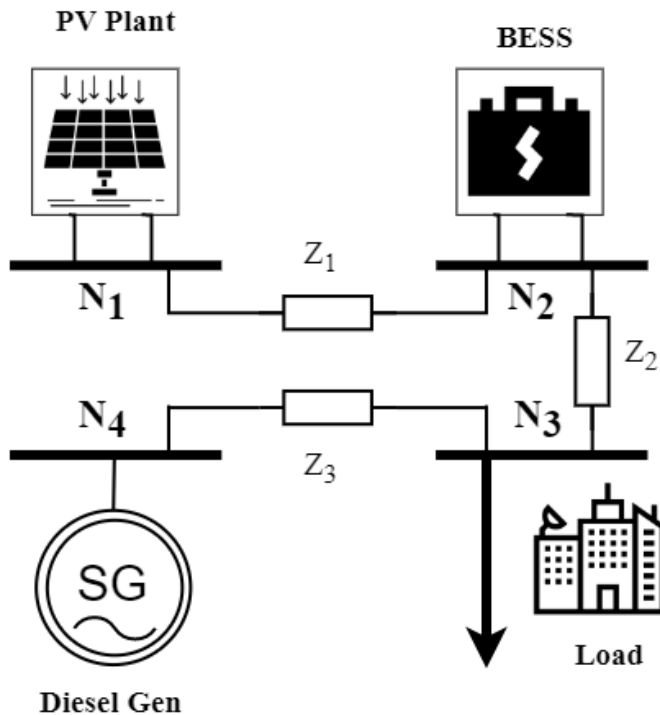
- Algoritmo de despacho óptimo de unidades de generación

1 Year Simulation	Base Case	With GFC
<b>PV Plant</b>		
Available Energy [kWh]	7,165,200	7,165,200
Final Energy [kWh]	6,231,800	6,532,800
Curtailment [kWh]	933,430	632,390
<b>Curtailment [%]</b>	<b>13.03</b>	<b>8.83</b>
<b>Diesel Generators</b>		
Total Energy [kWh]	16,164,000	15,865,000
Total Working hours [h]	11,245	9,467
<b>BESS</b>		
Discharged energy [kWh]	613,040	631,160
Charged energy [kWh]	758,110	779,210
Energy throughput [kWh]	1,371,150	1,410,370
<b>Load</b>		
Total Load [kWh]	22,250,228	22,250,228
<b>Generation Cost [€]</b>	<b>4,336,231</b>	<b>4,100,300</b>
<b>Cost of Energy [€/kWh]</b>	<b>0.195</b>	<b>0.184</b>

[1] M. Gonzalez de Armas, S. A. Gómez, F. Arredondo, and J. L. R. Amenedo, "Optimal economic dispatch of hybrid microgrids integrating Energy Storage Systems with Grid-Forming Converters," *Renewable Energy and Power Quality Journal*, vol. 20, no. 20, pp. 757–762, 2022, doi: 10.24084/repqj20.423.

# Diseño y simulación del sistema de gestión de energía para la operación del sistema híbrido

- Algoritmo de despacho óptimo de unidades de generación



**Step 1**

$$p_{Gi} - P_{Di} = v_i \sum_{k=1}^n y_{ik} v_k \cos(\delta_i - \delta_k - \theta_{ik})$$

**Step 2**

$$q_{Gi} - Q_{Di} = v_i \sum_{k=1}^n y_{ik} v_k \sin(\delta_i - \delta_k - \theta_{ik})$$

# Diseño y simulación del sistema de gestión de energía para la operación del sistema híbrido

- Algoritmo de despacho óptimo de unidades de generación

$$\min(f) = p^{LOSS}$$

$$P_k^{PV} + P_k^{GEN} + P_k^{BAT} - P_k^{LOAD} + p^{LOSS} = v_k \sum_{n=1}^N Y_{kn} v_n \cos(\delta_k - \delta_n - \theta_{kn}),$$
$$k = 1, 2, \dots, N$$

$$q_k^{PV} + q_k^{GEN} + q_k^{BAT} - Q_k^{LOAD} = v_k \sum_{n=1}^N Y_{kn} v_n \sin(\delta_k - \delta_n - \theta_{kn}),$$
$$k = 1, 2, \dots, N$$

# Diseño y simulación del sistema de gestión de energía para la operación del sistema híbrido

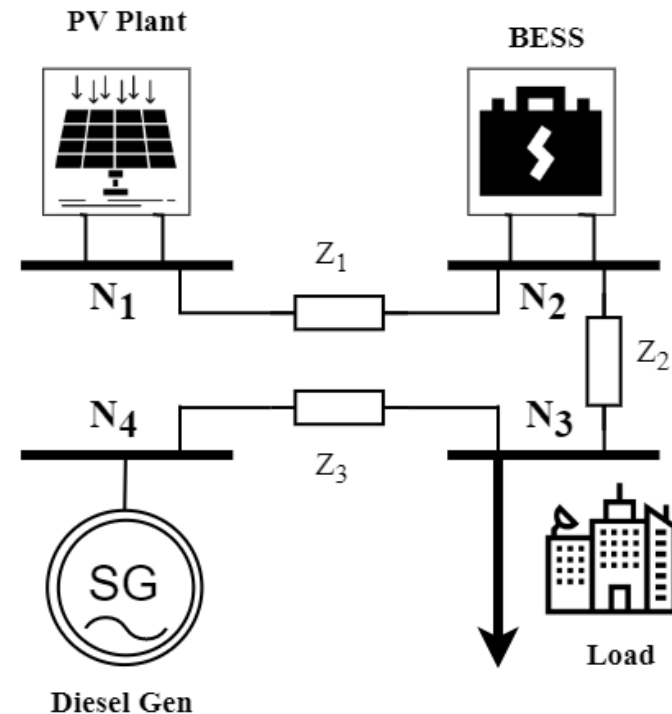
## Restricciones

- Límite de tensión en los nudos

$$V^{\text{MIN}} < v_n < V^{\text{MAX}}$$

- Restricción de ángulo (solución única)

$$-pi < \delta_n < pi$$





# Diseño y simulación del sistema de gestión de energía para la operación del sistema híbrido

## ● Estrategias comparadas

- **Strategy 1: Equal sharing of Q.** This case distributes the reactive power equally between the two generating plants of the system and the battery, maintaining the voltage limits on the system bars and emulating a decentralized strategy.
- **Strategy 2: Node-Voltage Control.** This case is based on a decentralised strategy of node-voltage control to maintain each bus voltage at  $\sim 1.0$  p.u. The power plants and BESS only have information from their node.
- **Strategy 3: Optimization strategy.** It corresponds to the proposed strategy in this paper, as the step 2 of the optimization problem. A centralised algorithm calculates the optimal reactive power setpoint for generators and BESS to minimize power transmission losses.



# Diseño y simulación del sistema de gestión de energía para la operación del sistema híbrido

- Algoritmo de despacho óptimo de unidades de generación

	Equally sharing Q	Node- Voltage Control	Optimization Strategy
<b>Reactive Power [kVAr]</b>			
PV	377	-280	36.2
BESS	377	1866	827.4
Load	900	900	900
Diesel Gen.	377	-441	215.1
<b>Voltage Profile [pu]</b>			
N1	0.9628	1.00	1.0792
N2	0.9208	1.00	1.0514
N3	0.9018	0.9630	1.0338
N4	0.9816	1.00	1.1000
<b>Losses</b>			
<b>Total [kW]</b>	<b>211</b>	<b>216</b>	<b>163</b>
<b>Diff. [%]</b>	<b>+22.2%</b>	<b>+24.5</b>	<b>-</b>

# Diseño y simulación del sistema de gestión de energía para la operación del sistema híbrido

## ● Conclusiones

- Una estrategia centralizada para el reparto de potencia reactiva entre los generadores a través de sus consignas de tensión en los nodos resulta en una disminución de las pérdidas totales de potencia activa.

## ● Resultados de simulación

- Reducción de pérdidas: 22,2% - 24,5%

[1] M. Gonzalez De Armas, S. Arnaltes Gomez, F. Arredondo, and R. J. L. Amenedo, "Two-step optimization algorithm for energy management and active-reactive power commands for real-time operation of hybrid microgrids," in *Renewable Energy and Power Quality Journal*, 2023.

**PROMINT-CM**

PROgrama Microrredes INTeligentes Comunidad de Madrid

UNIÓN EUROPEA  
Fondos Estructurales  
Invertimos en tu futuro



UNIÓN EUROPEA  
Fondo Social Europeo  
El FSE invierte en tu futuro



  
**Comunidad  
de Madrid**

# Diseño e implementación de un sistema de gestión de energía para sistemas híbridos

## ● Artículos publicados:

- M. Gonzalez De Armas, S. Arnaltes Gomez, F. Arredondo, and R. J. L. Amenedo, “Two-step optimization algorithm for energy management and active-reactive power commands for real-time operation of hybrid microgrids,” in *Renewable Energy and Power Quality Journal*, 2023.
- M. Gonzalez de Armas, S. A. Gómez, F. Arredondo, and J. L. R. Amenedo, “Optimal economic dispatch of hybrid microgrids integrating Energy Storage Systems with Grid-Forming Converters,” *Renewable Energy and Power Quality Journal*, vol. 20, no. 20, pp. 757–762, 2022, doi: 10.24084/repqj20.423.
- M. Gonzalez de Armas, J. L. Rodríguez Amenedo, S. Arnaltes Gómez, and J. Alonso Martínez, “VSM Control Strategy for Systems with High penetration of Power Electronic Converters,” *Renewable Energy and Power Quality Journal*, vol. 18, pp. 409–413, Jun. 2020, doi: 10.24084/repqj18.363.
- J. L. R. Amenedo, S. A. Gomez, J. Alonso-Martinez, and M. G. De Armas, “Grid-Forming Converters Control Based on the Reactive Power Synchronization Method for Renewable Power Plants,” *IEEE Access*, vol. 9, pp. 67989–68007, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3078078.
- M. G. de Armas, S. A. Gomez, J. L. R. Amenedo, and J. Alonso-Martinez, “Virtual Synchronous Machine fault ride through capability with Reactive Power Synchronization,” in *2020 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2020 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC / I&CPS Europe)*, IEEE, Jun. 2020, pp. 1–6. doi: 10.1109/EEEIC/ICPSEurope49358.2020.9160739.

**PROMINT-CM**

PROgrama Microrredes INTeligentes Comunidad de Madrid

UNIÓN EUROPEA  
Fondos Estructurales  
Invertimos en tu futuro



UNIÓN EUROPEA  
Fondo Social Europeo  
El FSE invierte en tu futuro



  
**Comunidad  
de Madrid**

# Diseño e implementación de un sistema de gestión de energía para sistemas híbridos

- Tesis Publicadas:
  - Marcial González de Armas. (2023)
- Estancias de investigación
  - Hitachi Energy Research, Suecia

**PROMINT-CM**

PROgrama Microrredes INTeligentes Comunidad de Madrid

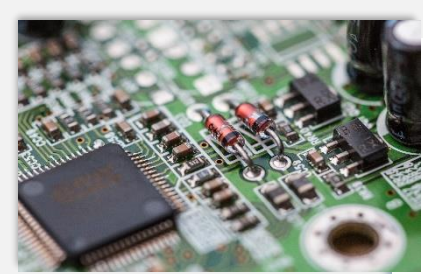
UNIÓN EUROPEA  
Fondos Estructurales  
Invertimos en tu futuro



UNIÓN EUROPEA  
Fondo Social Europeo  
El FSE invierte en tu futuro



  
**Comunidad  
de Madrid**



# Reunión del subcomité científico Presentación de avances

25 de abril de 2022

Grupo GCSP-UC3M

Web: [geiser.depeca.uah.es/promint](http://geiser.depeca.uah.es/promint)