



Technology Innovation for the Local Scale
Optimum Integration of Battery Energy Storage

PLANTAS HÍBRIDAS DE GENERACIÓN RENOVABLE
CON ALMACENAMIENTO ENERGÉTICO Y MICRORREDES

TECNOLOGÍAS, PROYECTOS PILOTO Y REGULACIÓN

PROYECTO TILOS

Plataforma de Operación de Microrredes y Sistemas Híbridos



Santiago Díaz Ruano
Técnico de proyectos.
Dpto. Energías Renovables
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CANARIAS S.A.
Consejería de Economía, Industria, Comercio y Conocimiento
del Gobierno de Canarias

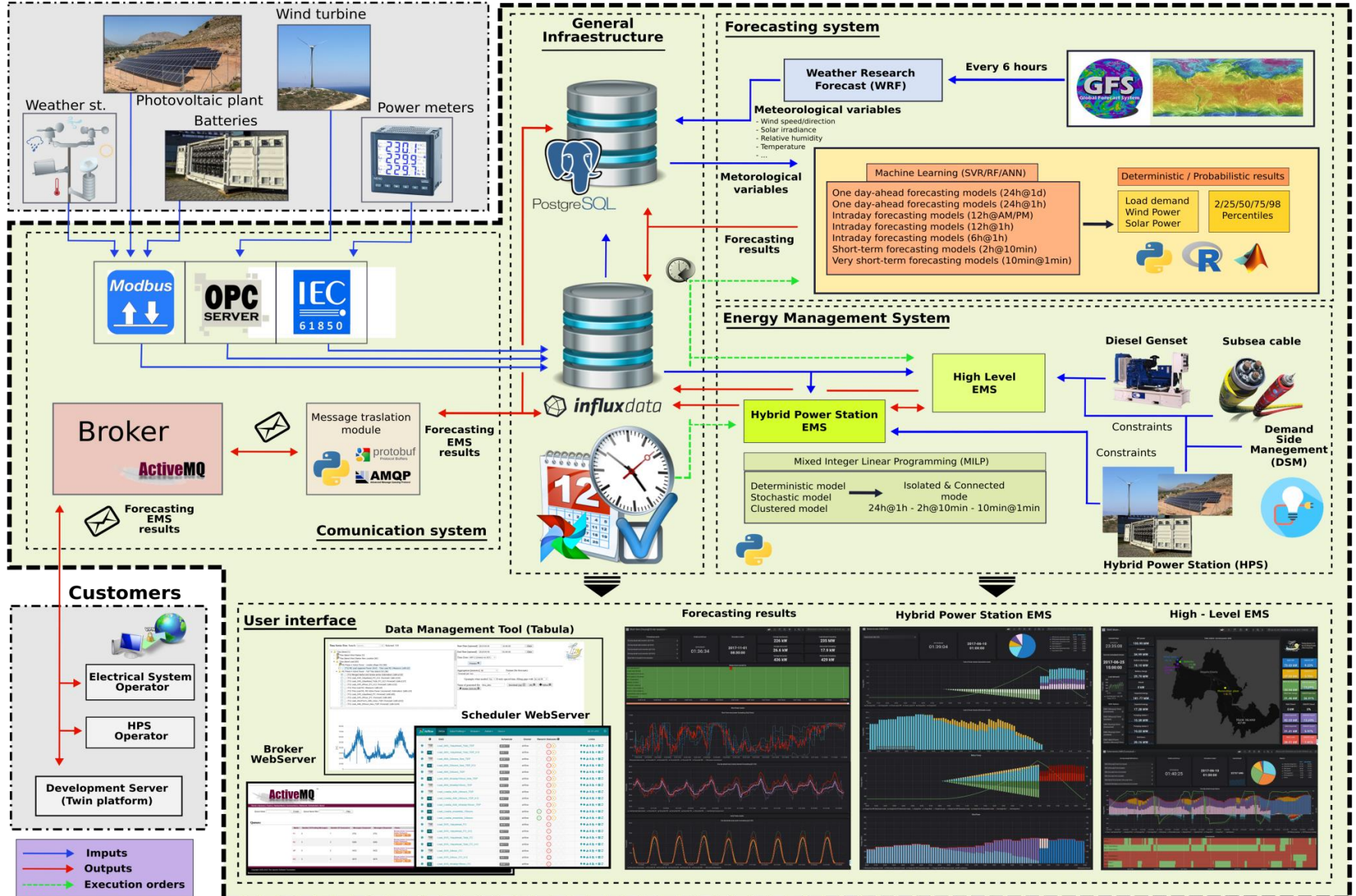


Plataforma de Operación de Microrredes y Sistemas Híbridos

Proyecto TILOS

Tilos Island Microgrid

Microgrid Management Platform (MMP)



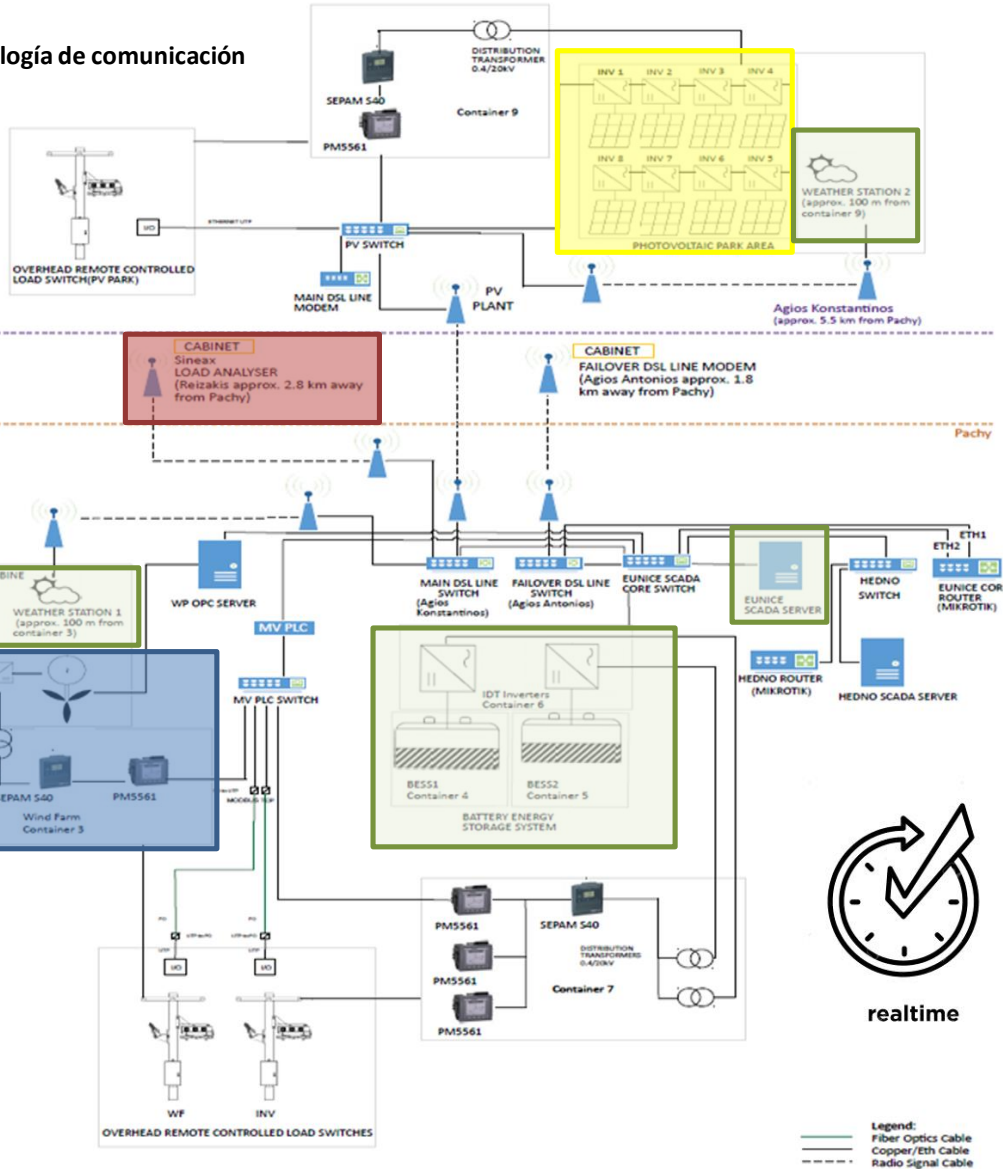
Plataforma de Operación de Microrredes y Sistemas Híbridos

Proyecto TILOS

SISTEMA DE COMUNICACIÓN

COMUNICACIÓN CON LA CENTRAL HÍBRIDA

Topología de comunicación



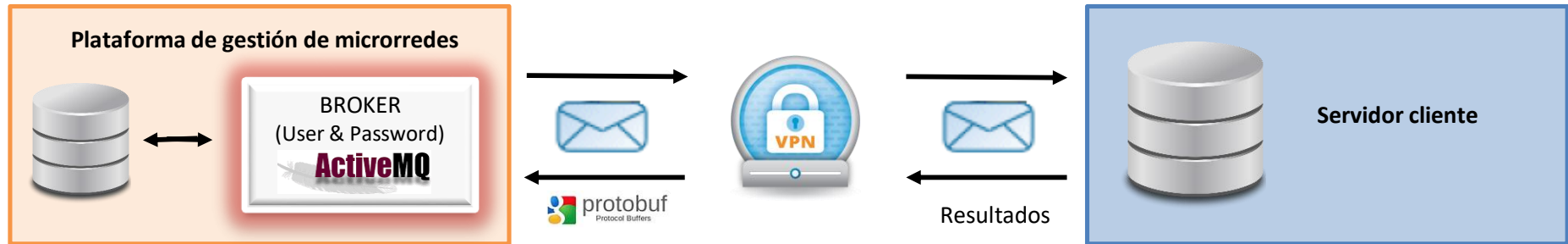
Protocolos:

- **Modbus TCP:** Ampliamente soportado por inversores y dispositivos de medición genéricos. Tilos: Acceso a datos de generadores fotovoltaicos.
- **OPC XML-DA:** Protocolo estándar para el intercambio de datos entre aplicaciones. Tecnología usada por los aerogeneradores Enercon. Tilos: Acceso a datos de aerogenerador.
- **OPC XML-UA:** No requiere la conexión COM/DCOM. Tilos: Acceso a datos de baterías y transmisión de resultados al operador de la central.
- **IEC 61850:** Protocolo estandarizado para la automatización de subestaciones (protección, control, medición y supervisión). Tilos: Acceso a datos de demanda de la isla.

SISTEMA DE COMUNICACIÓN

COMUNICACIÓN CON CLIENTES EXTERNOS

Comunicación asíncrona:



Características:

- **Alta seguridad:** Envío a través de una conexión segura VPN con mensajes codificados mediante Google Protobuf.
- **Asíncrono:** El bróker instalado en el servidor almacena los mensajes hasta que el cliente esté preparado.
- **Protocolos:** Permite la conexión a través de protocolos AMQP, MQTT, OpenWire y Stomp.
- **Multiplataforma:** El cliente puede conectarse usando distintos programas (Python, Java, C++, Perl, PHP).

Comunicación síncrona:



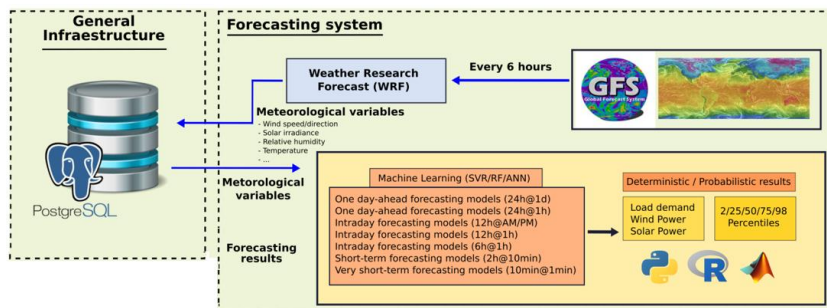
Características:

- **Fácil conexión:** No requiere el uso de medidas de seguridad distintas a la VPN.
- **Síncrono:** El emisor y el receptor del mensaje deben estar conectados.
- **Protocolos:** OPC XML-UA, Modbus y IEC61850.

Plataforma de Operación de Microrredes y Sistemas Híbridos

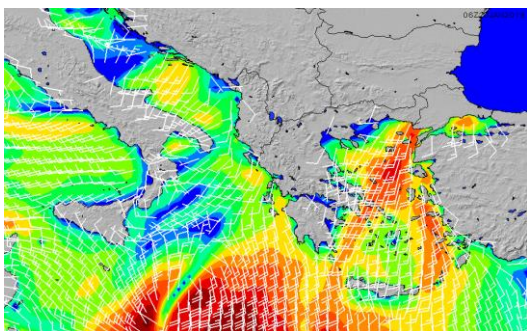
Proyecto TILOS

SISTEMA DE PREDICCIÓN



Modelos desarrollados:

Global Forecast System (GFS) - Grecia



Datos de la central híbrida



- ✓ Modelos “One day-ahead”:
 - Predicción para el día D+1 ejecutado a las 12:00 del día D.
 - Resolución horaria y total diario.
- ✓ Modelos “Intraday – 12h”:
 - Predicción del periodo 12:00 – 24:00 ejecutado a las 8:00
 - Resolución horaria y total PM.
- ✓ Modelos “Intraday – 6h”:
 - Predicción cada 6 horas,
 - Resolución horaria.
- ✓ Modelos “Short-Term– 2h”:
 - Predicción cada dos horas.
 - Resolución diezminutal.
- ✓ Modelos “Now-casting”:
 - Predicción cada 10 minutos.
 - Resolución minutal.





Plataforma de Operación de Microrredes y Sistemas Híbridos

Proyecto TILOS

SISTEMA DE PREDICCIÓN

Resultados (Métricas)

Validación de los modelos

- **Periodo de validación:**
Diciembre 2016 – Enero 2019 (2 años).
- **Puesta en marcha en fase de operación:**
Octubre 2018.
- **Métricas:**
Análisis de la evolución mensual.

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |\hat{\theta}_i - o_i|$$

$$SMAPE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{|o_i - \hat{\theta}_i|}{(|o_i| + |\hat{\theta}_i|)/2}$$

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (o_i - \hat{\theta}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (o_i - \bar{o})^2}$$

$$BS = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^K n_k (f_k - \bar{o}_k)^2 - \frac{1}{N} \sum_{k=1}^K n_k (\bar{o}_k - \bar{o})^2 + \bar{o}(1 - \bar{o})$$

Forecasting model	MAE	SMAPE	R ²	BS
Solar power forecasting models				
One day-ahead [Resolución horaria]	8129	7.01%	80.4%	0.177
One day-ahead [Total diario]	185005	6.79%	82.8%	-
Intraday day-ahead [Resolución horaria]	12756	7.82%	79.7%	0.324
6h@1h short-term	11509	7.04%	80.5%	0.392
2h@10min short-term	12781	5.24%	85.3%	0.167
10min@1min short-term	3409	4.67%	86.9%	0.156

Forecasting model	MAE	SMAPE	R ²	BS
Wind power forecasting models				
One day-ahead [Resolución horaria]	123301	12.33%	84.3%	0.188
One day-ahead [Total diario]	1514592	9.69%	82.4%	-
Intraday day-ahead [Resolución horaria]	85995	13.38%	79.7%	0.195
6h@1h short-term	62437	12.67%	76.6%	0.221
2h@10min short-term	79587	8.83%	78.9%	0.151
10min@1min short-term	53133	6.32%	83.54%	0.092

Forecasting model	MAE	SMAPE	R ²	BS
Load demand forecasting models				
One day-ahead [Resolución horaria]	23144	1.90%	87.3%	0.129
One day-ahead [Total diario]	2775903	0.80%	91.2%	-
Intraday day-ahead [Resolución horaria]	26872	2.00%	85.7%	0.155
6h@1h short-term	18773	1.40%	81.3%	0.094
2h@10min short-term	11641	0.90%	90.0%	0.072
10min@1min short-term	9641	0.90%	92.7%	0.049

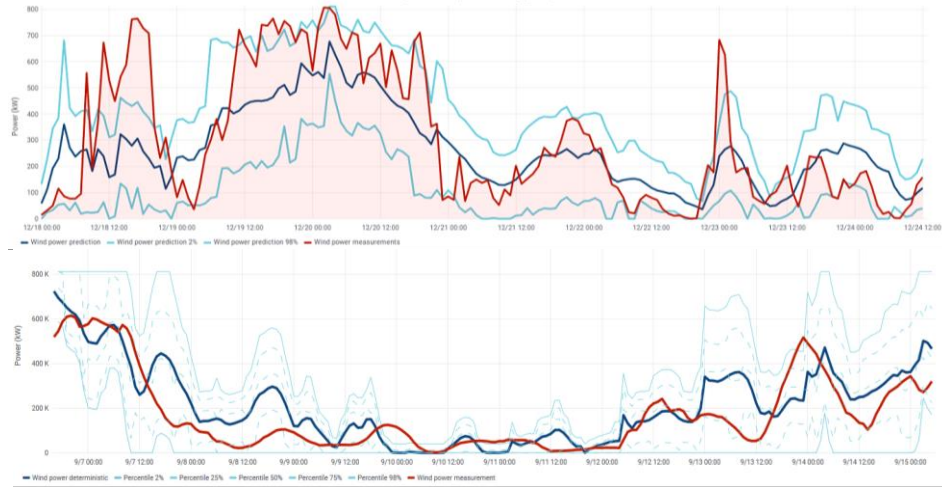


Plataforma de Operación de Microrredes y Sistemas Híbridos

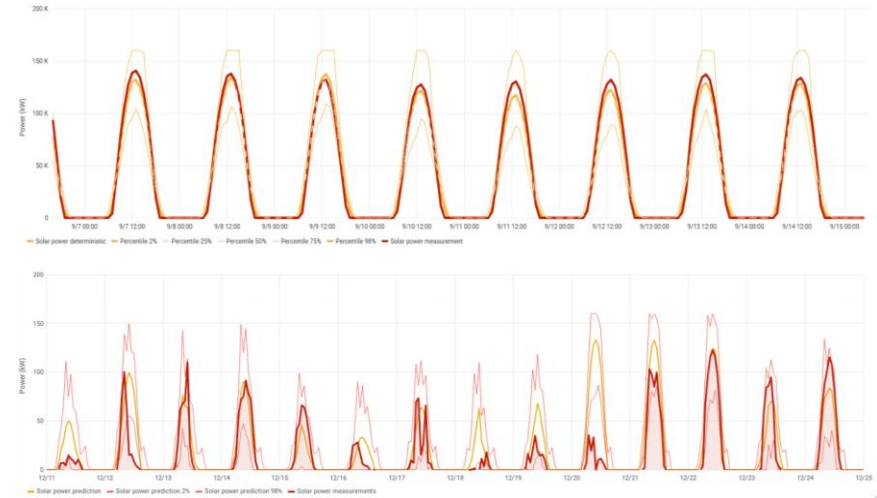
Proyecto TILOS

SISTEMA DE PREDICCIÓN

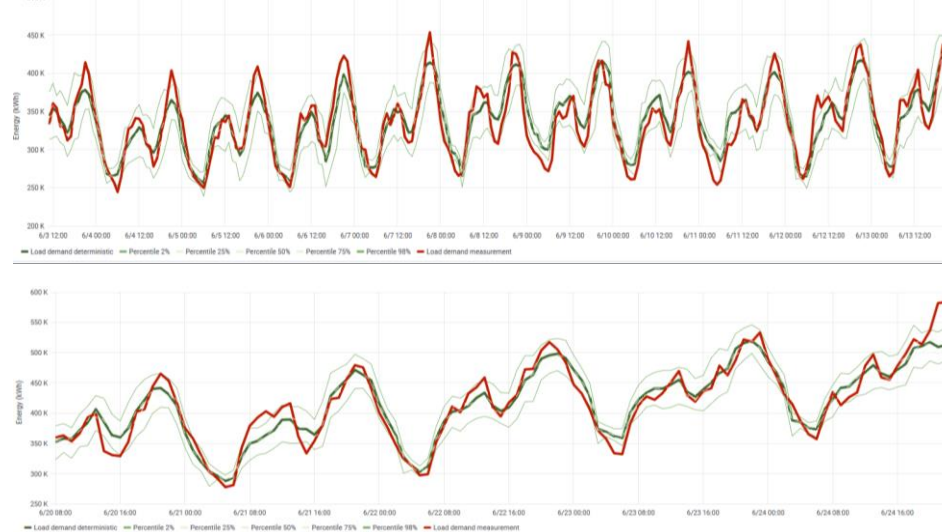
Wind power one day-ahead [resolución horaria]



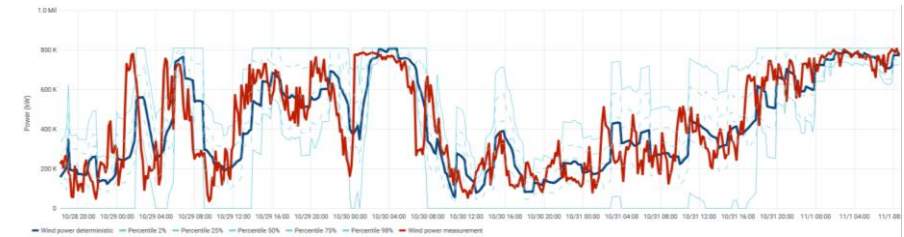
Solar power one day-ahead [resolución horaria]



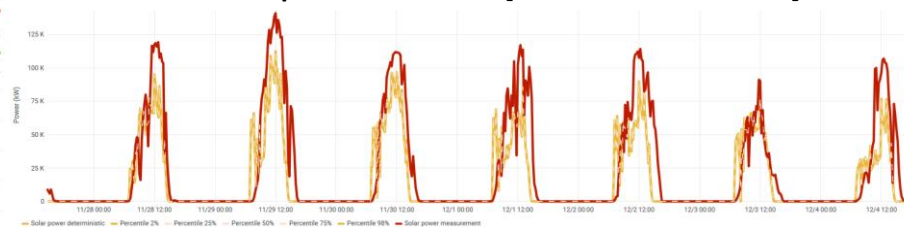
Load demand one day-ahead [resolución horaria]



Wind power short-term [resolución diezminutal]



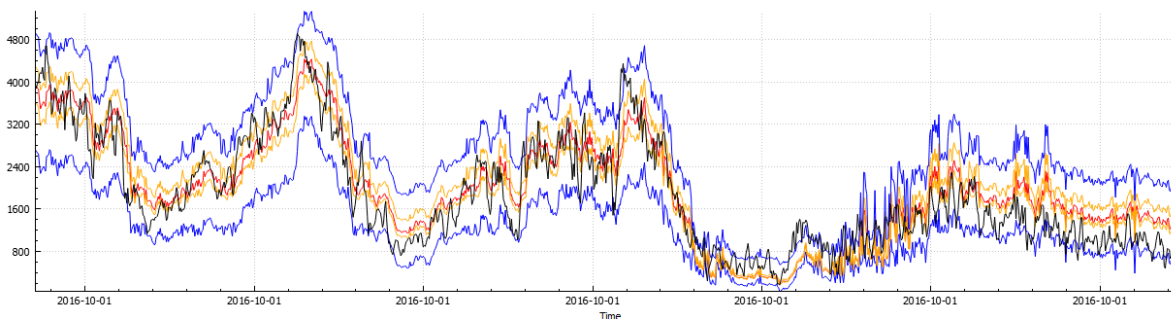
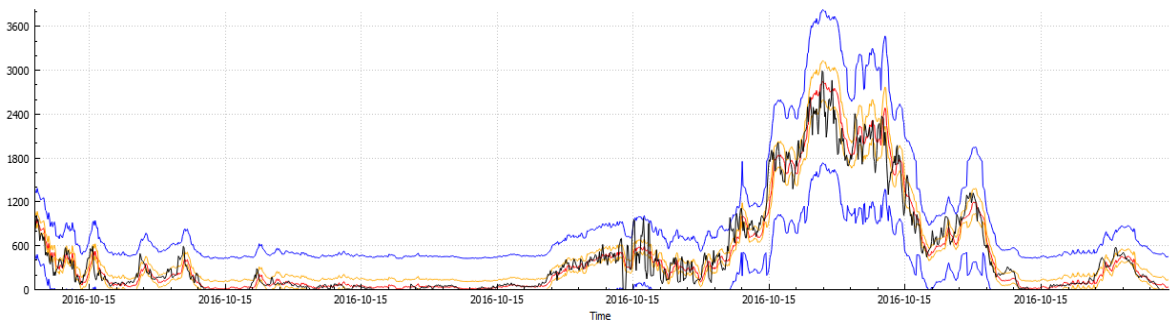
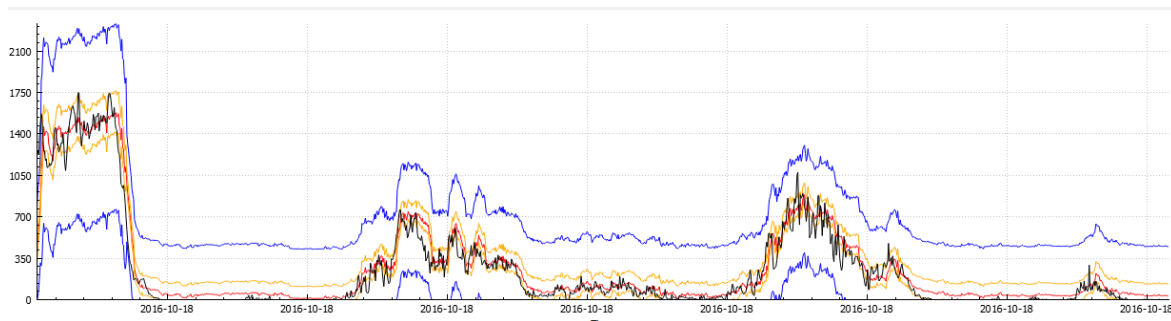
Solar power short-term [resolución diezminutal]



SISTEMA DE PREDICCIÓN

APLICACIÓN EN CANARIAS – GORONA DEL VIENTO

Now-casting [resolución 1min]



Características:

- **Utilidad:** Modelo especialmente diseñado para la predicción de rampas de caída de la producción en el corto plazo (10 – 30 minutos).
- **Inputs:** Datos recabados del propio sistema RTU-C de los aerogeneradores.
- **Desarrollo:** Modelo desarrollado en cooperación con Gorona del Viento en el marco del proyecto INTERREG ENERMAC.
- **Validación:** Modelo validado con datos de dos años 2016 - 2017.

Resultados	
Modelo	Métrica
MAE	408 kW
sMAPE	5,97%
R2	93,7%
IoA	98,3%



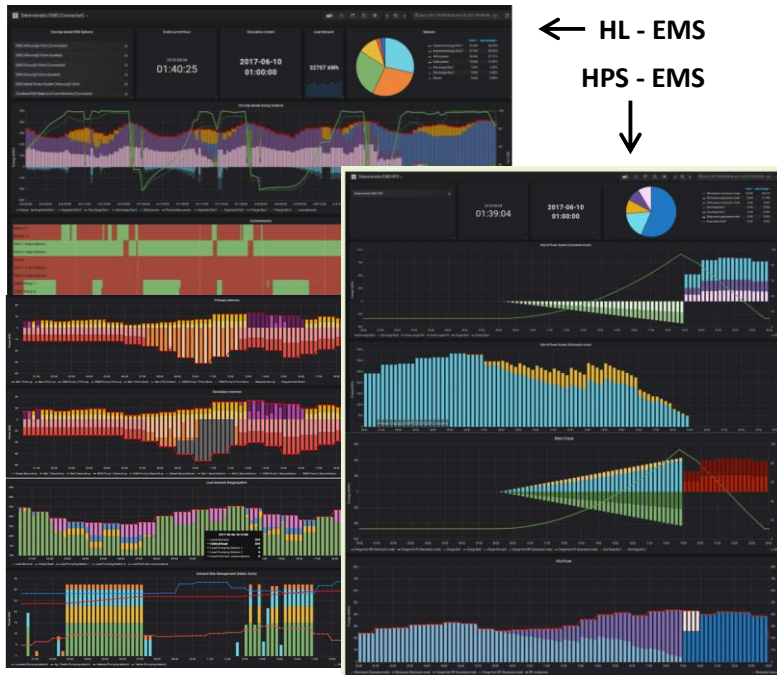
Plataforma de Operación de Microrredes y Sistemas Híbridos

Proyecto TILOS

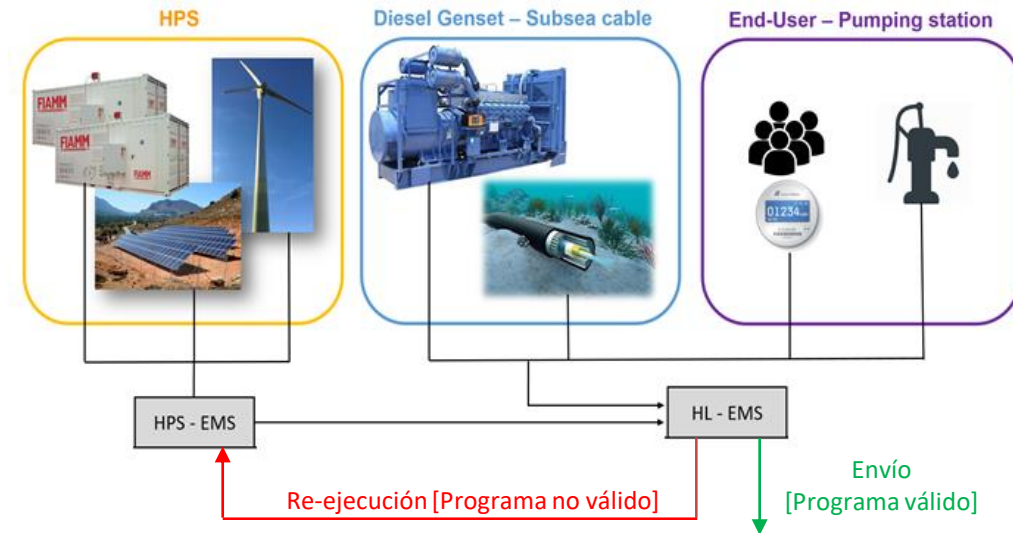
SISTEMA DE GESTIÓN ENERGÉTICA

Modelos:

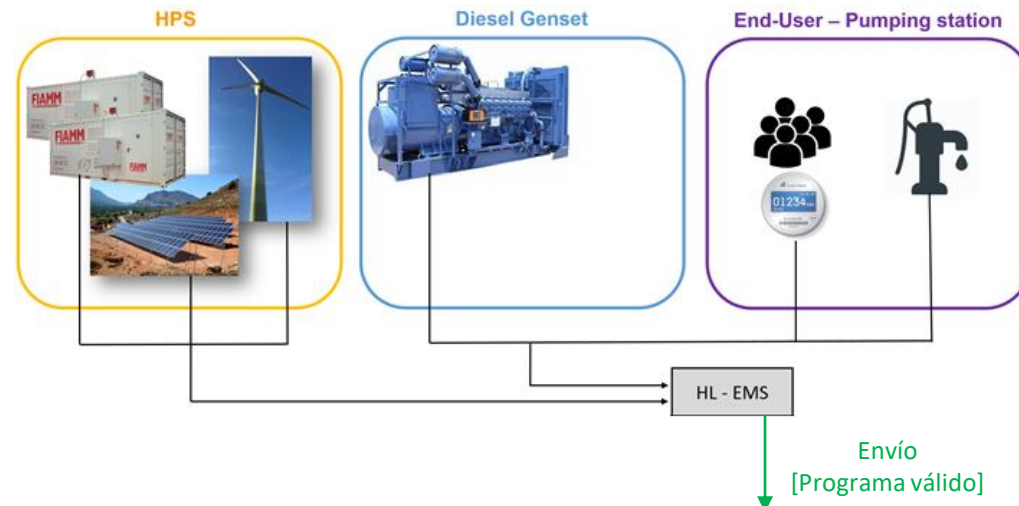
- ✓ **Hybrid Power Station – Energy Management System (HPS – EMS):**
 - Versión determinista.
 - Maximización del beneficio de la central híbrida.
- ✓ **High Level - Energy Management System (HL-EMS):**
 - Versiones determinista y estocástico.
 - Modos aislado y conectado.
 - Estrategia de minimización de costes de operación del sistema.



Modo conectado



Modo aislado



Plataforma de Operación de Microrredes y Sistemas Híbridos

Proyecto TILOS

SISTEMA DE GESTIÓN ENERGÉTICA

HPS – EMS

Utilidad:

Modelo desarrollado para el despacho de las unidades de producción de la central híbrida (parque eólico, planta fotovoltaica y baterías).

Estrategia:

Maximización del beneficio.

Características generales:

- Restricciones definidas conforme a principios estipulados en el Power Purchased Agreement (PPA):
 - ✓ “Garantizado”: Programa firme de generación/consumo.
 - Durante al menos 5 horas al día (óptimo económico).
 - Potencia entre 400 – 800 kW.
 - Al menos el 50% debe provenir de la batería.
 - Retribución entre un 30 – 40% mayor (depende de la hora).
 - ✓ “Estocástico”: Operación normal.
 - Facilidad aunque menor retribución.
 - Prioriza el uso de WP/PV al uso de batería.
 - ✓ Absorción:
 - Prioriza la carga de batería con excedentes WP/PV
 - Carga de batería de red (sólo en condiciones extraordinarias).
- Resultados:
 - ✓ Set-points
 - ✓ Reservas (batería).
- Modos de operación:
 - ✓ Load following.
 - ✓ Programa firme de generación/consumo.



Plataforma de Operación de Microrredes y Sistemas Híbridos

Proyecto TILOS

SISTEMA DE GESTIÓN ENERGÉTICA

HL – EMS

Utilidad:

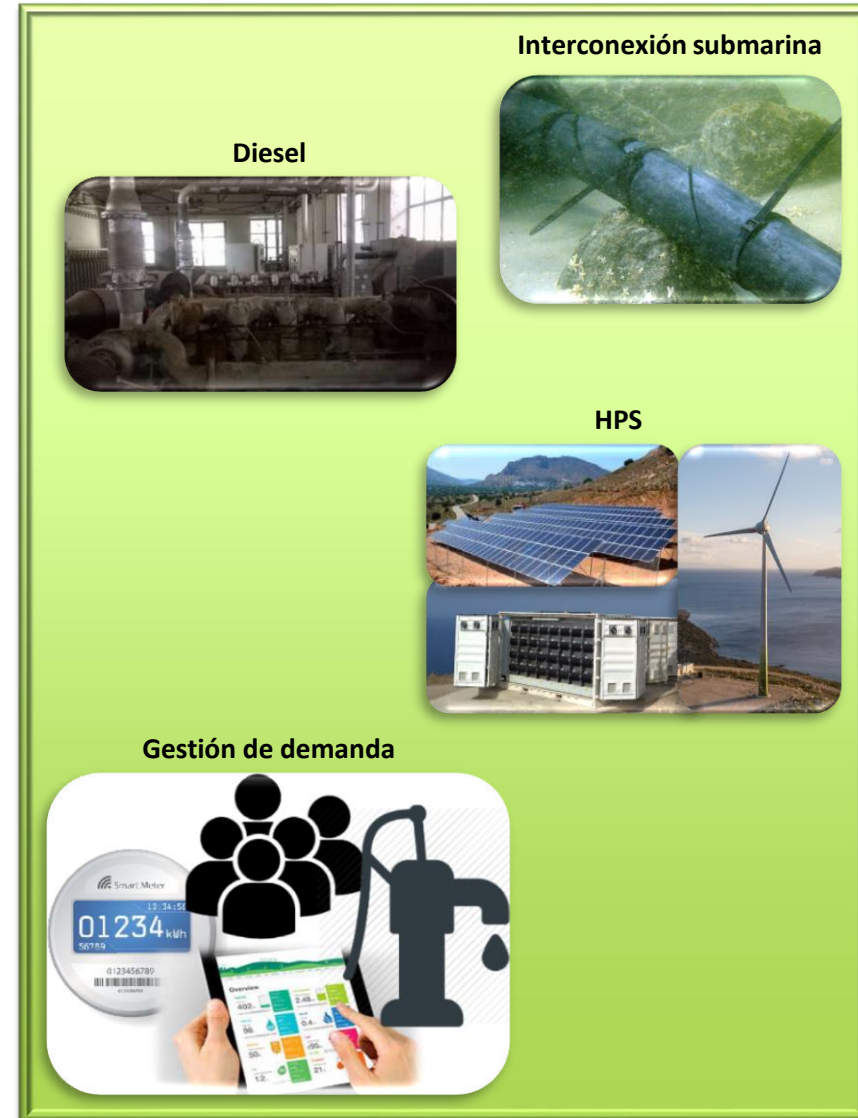
Incorpora el resto de elementos del sistema eléctrico (grupo diésel, interconexión y gestión de demanda), evaluando la viabilidad del programa HPS-EMS.

Estrategia:

Minimización de costes de operación del sistema eléctrico.

Características generales:

- Grupo diésel e interconexión:
 - ✓ Simula las distintas fases de operación del grupo diésel (caldeado, sincronización, despacho y desincronización).
 - ✓ Considera el criterio N-1.
 - ✓ Define las reservas primarias, secundarias y terciarias.
 - ✓ Incorpora las reglas de mercado griego (retribución por operación y reservas).
- HPS:
 - ✓ Comprueba la viabilidad del programa HPS – EMS.
 - ✓ Incorpora las características particulares de la batería NaNiCl2.
- Gestión de demanda:
 - Aplicada sobre sistemas de bombeo y termos eléctricos.
 - Prioriza su uso en horas de bajo coste y altos excedentes.
- Resultados:
 - ✓ Set-points.
 - ✓ Reservas (convencional y batería).



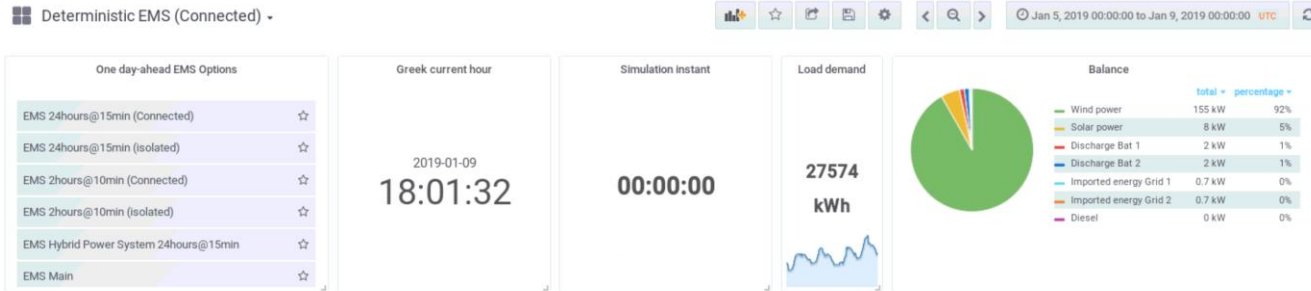


Plataforma de Operación de Microrredes y Sistemas Híbridos

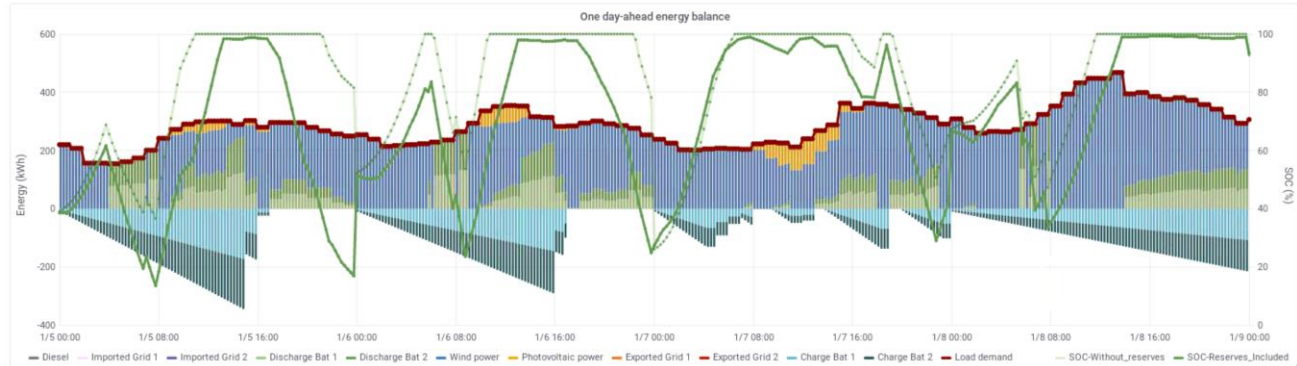
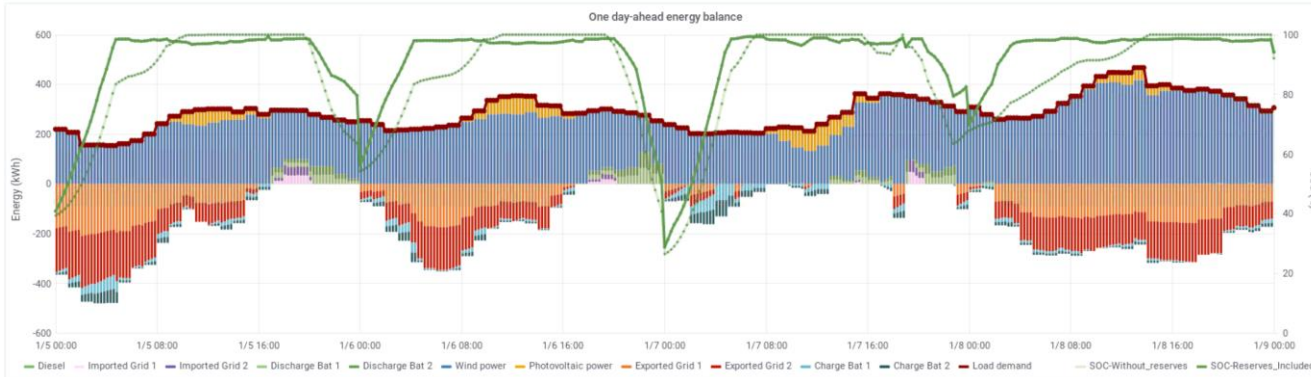
Proyecto TILOS

SISTEMA DE GESTIÓN ENERGÉTICA

HL- EMS (Conectado) [Resultados 06/01/2019]



HL- EMS (Aislado) [Resultados 06/01/2019]



Plataforma de Operación de Microrredes y Sistemas Híbridos

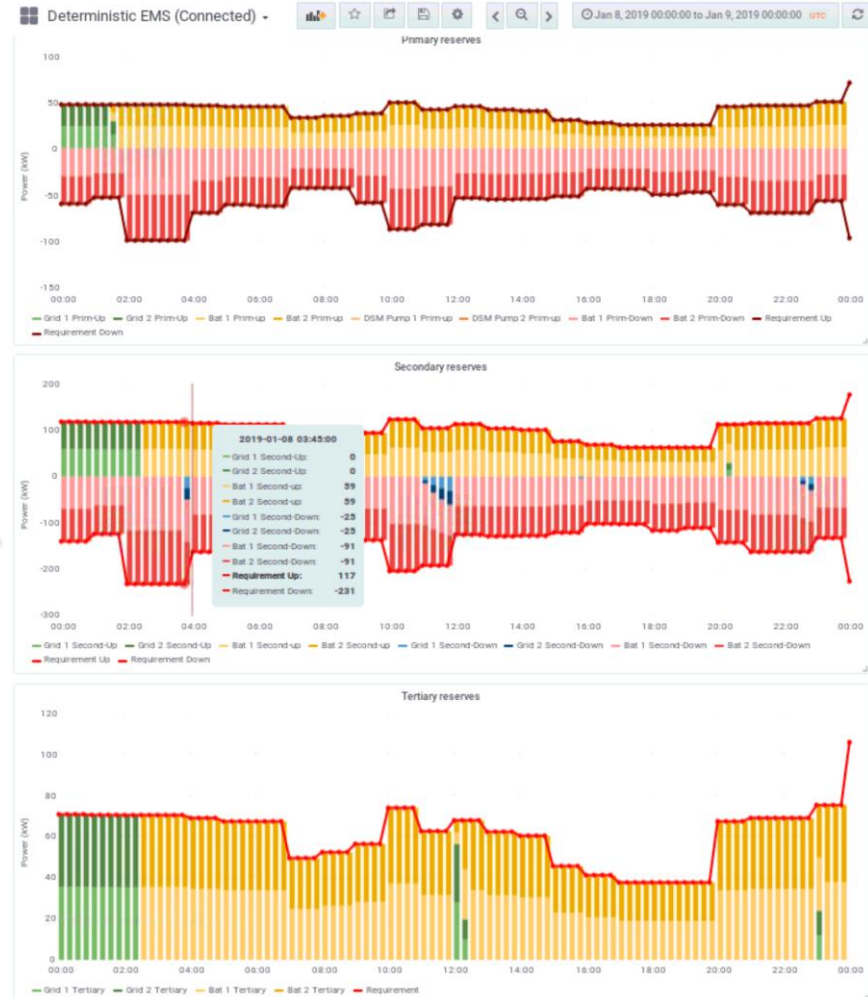
Proyecto TILOS

SISTEMA DE GESTIÓN ENERGÉTICA

Modelo estocásticos [Escenarios 08/01/2019]



Previsión de reservas



Clusterización de resultados [Determinista y escenarios extremos]



Plataforma de Operación de Microrredes y Sistemas Híbridos

Proyecto TILOS

SISTEMA DE GESTIÓN ENERGÉTICA

HPS – EMS [Resultados 07/01/2019]

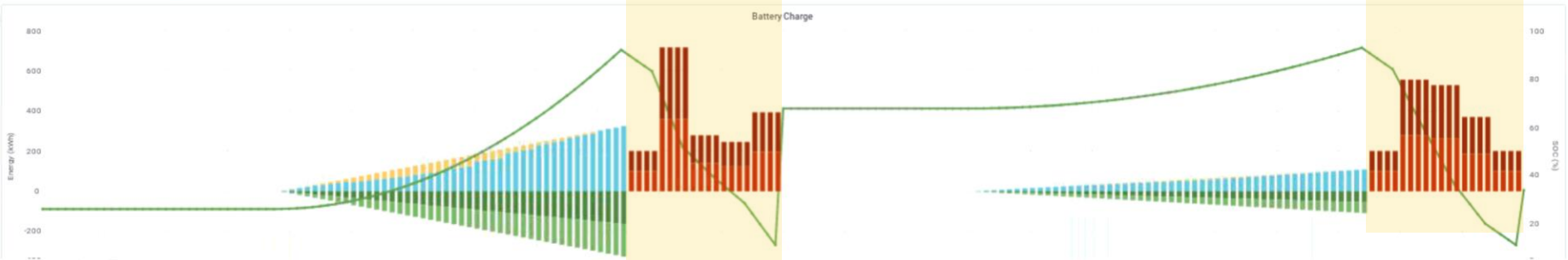
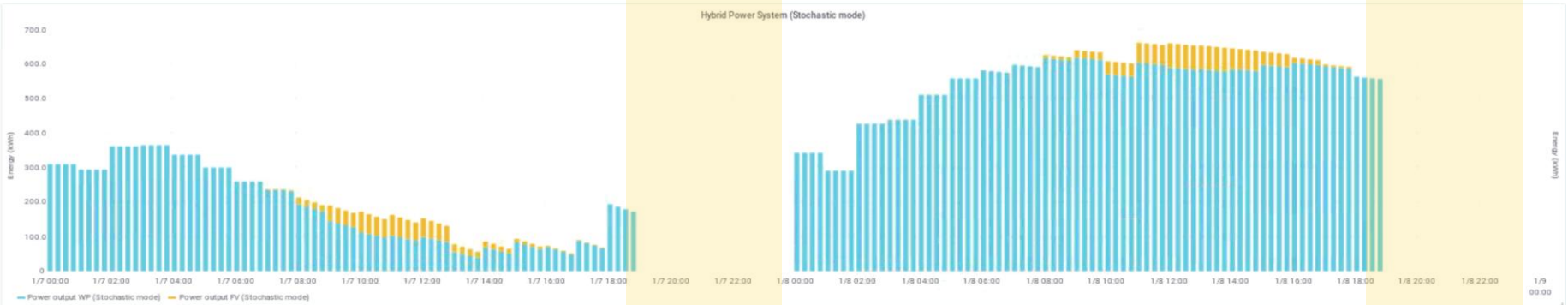
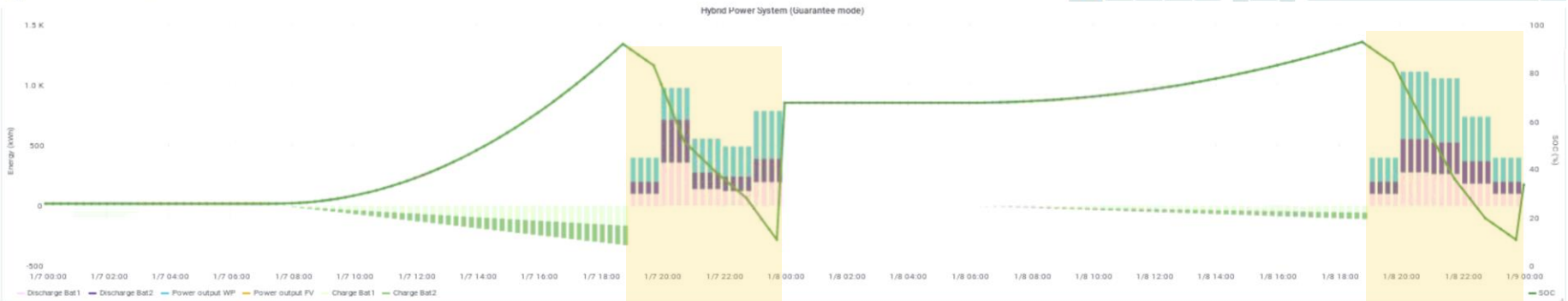
Stochastic

Guaranteed

Stochastic

Guaranteed

Deterministic EMS HPS -





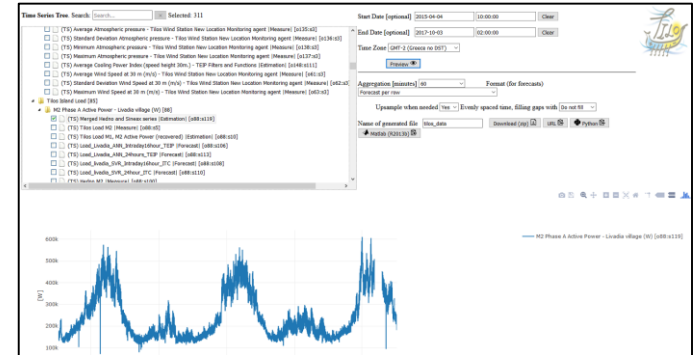
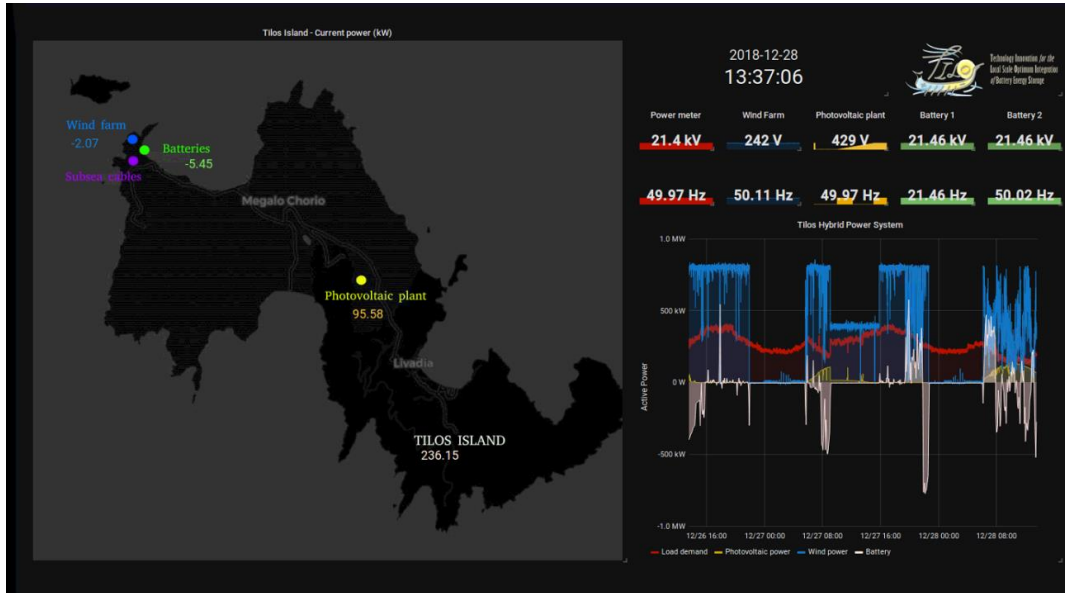
Plataforma de Operación de Microrredes y Sistemas Híbridos

Proyecto TILOS

INTERFACES DE USUARIO E INFRAESTRUCTURAS GENERALES

Visualización de datos a tiempo real y resultados (Predicción/EMS)

Descarga de datos/resultados



Control de ejecución de modelos



Control del tráfico de información con clientes

ActiveMQ

Queue Name	Number of Pending Messages	Number of Consumers	Messages Enqueued	Messages Dequeued	Options
TILOS_EMR_Producer	3	0	3	0	Reverse Active Consumers Active Producers
TILOS_EMR_Storage	2	0	2	0	Reverse Active Consumers Active Producers
TILOS_Storage_Battery	0	0	3	3	Reverse Active Consumers Active Producers
TILOS_Load_M1	2	0	2	0	Reverse Active Consumers Active Producers
TILOS_Load_M2	2	0	2	0	Reverse Active Consumers Active Producers
TILOS_Storage_M1	2	0	2	0	Reverse Active Consumers Active Producers
TILOS_Load_M3	2	0	2	0	Reverse Active Consumers Active Producers
TILOS_M02	0	0	2	2	Reverse Active Consumers Active Producers
TILOS_M03	0	0	2	0	Reverse Active Consumers Active Producers



CONCLUSIONES



Uso **independiente o coordinado** de comunicación, predicción y gestión energética.



Estructura de servicio permite la **ejecución automática** de la plataforma.



Plataforma en servicio en isla de **Tilos** (Grecia).



Puesta en operación en la **microrred de Pozo Izquierdo**.



Permite la incorporación de **nuevos modelos** en distintos lenguajes (Python, R Statistics, Matlab, C++, Java).



Acceso a resultados desde servicios web y envío a través de otros protocolos de comunicación estandarizados.



Technology Innovation for the Local Scale
Optimum Integration of Battery Energy Storage

PLANTAS HÍBRIDAS DE GENERACIÓN RENOVABLE
CON ALMACENAMIENTO ENERGÉTICO Y MICRORREDES

TECNOLOGÍAS, PROYECTOS PILOTO Y REGULACIÓN

PROYECTO TILOS

Plataforma de Operación de Microrredes y Sistemas Híbridos



INSTITUTO TECNOLÓGICO
DE CANARIAS



Gobierno
de Canarias

Santiago Díaz Ruano
Técnico de proyectos. Doctor Ing. Industrial
Dpto. Energías Renovables
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CANARIAS S.A.
Consejería de Economía, Industria, Comercio y Conocimiento
del Gobierno de Canarias

www.tiloshorizon.eu



This project has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreement No 646529.