

Red Teleférico El Teide: Una isla dentro de una isla



Consejería Insular de Industria, Comercio,
Sector Primario y Bienestar Animal
Consejería de Industria



Orlando Javier Viera Curbelo

Ingeniero Industrial.
R7 Servicios (Grupo SISCOCAN)

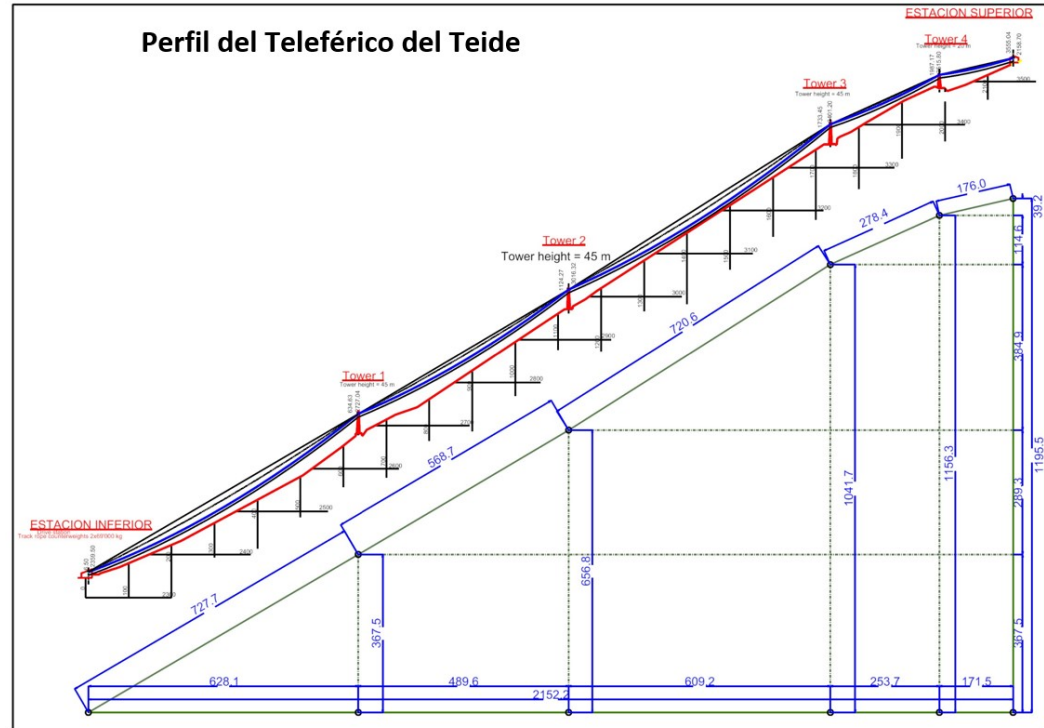
El reto energético del Teleférico del Teide

- ❑ Instalación **sin conexión a la red eléctrica**.
- ❑ **Cuatro edificaciones existentes** conectadas entre ellas mediante red de AT, **distantes entre 450 y 2500 metros** y a diferentes **altitudes entre 2200 y 3500 metros**)
- ❑ **Emplazamiento** a más de 2.300 metros de altitud (**menor densidad del aire** y sus efectos sobre aparamenta, refrigeración de electrónica)
- ❑ **Condiciones climáticas** y ambientales extremas (**temperatura, humedad, tormentas, nevadas y viento extremo**)

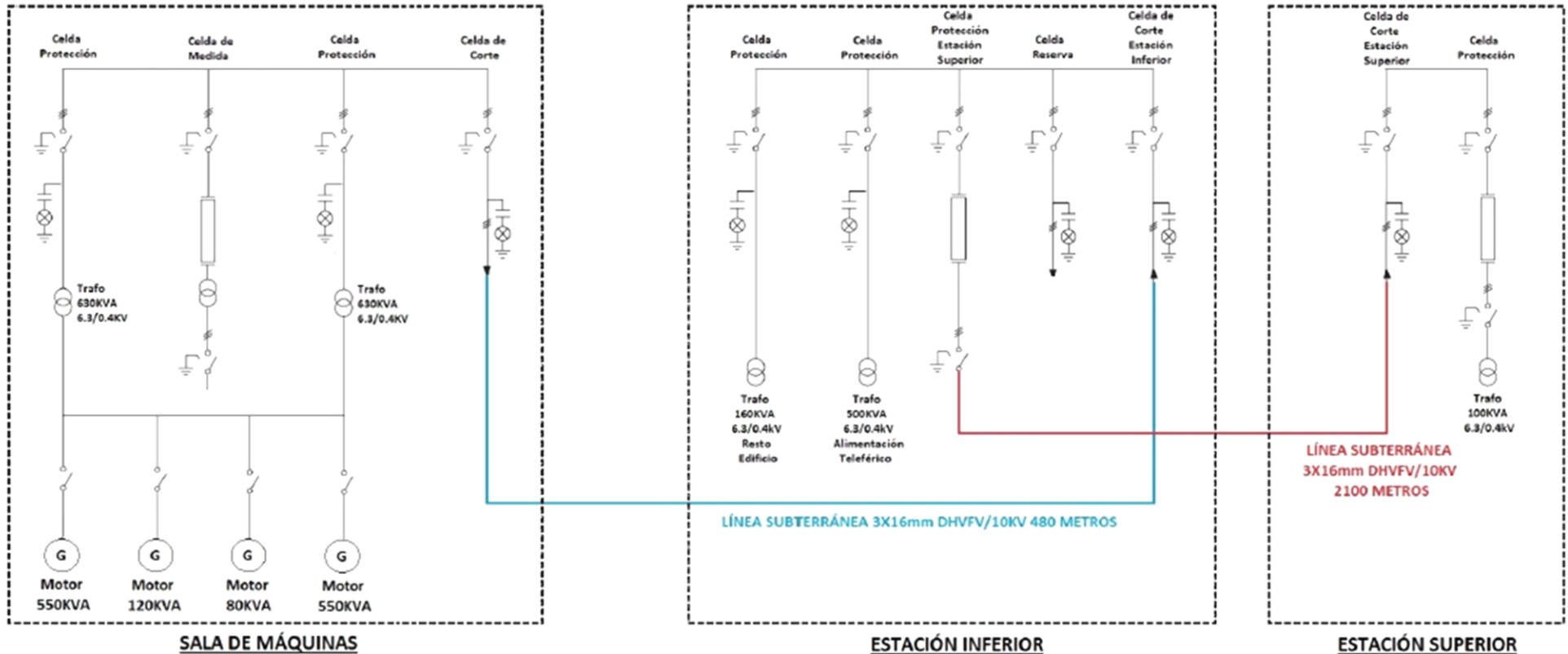


El reto energético del Teleférico del Teide

- ❑ **Carga crítica**, dinámica y parcialmente regenerativa..
- ❑ Ubicación en un **Parque Nacional** próximo al **Observatorio del Teide**. **Imposibilidad de nueva construcción** o mejorar las **inclinaciones**, así como especial atención a **índice de reflexión**.
- ❑ **Ejecución del proyecto no debía interferir** en la **operación** del teleférico
- ❑ Necesidad de sustituir la generación convencional y reducir emisiones.



Esquema eléctrico de la microred existente (6,3/0,4 kV)



Limitaciones técnicas en el diseño

Altitud y baterías:

- Temperatura / humedad
- Presión atmosférica
- Rendimiento de las celdas de Litio
- Control de gradientes térmicos entre módulos.
- Prevención de condensación y pérdidas de aislamiento.
- Reducción del riesgo electrostático durante el mantenimiento

Altitud e inversores fotovoltaicos:

- Temperatura y refrigeración
- Radiación solar
- Disipación de calor
- Protección contra sobretensiones
- Derating en el rendimiento por altitud (1% / 100 m)

Altitud y paneles fotovoltaicos:

- Mayor irradiación y menor temperatura
- Riesgo de vientos de alta velocidad y carga de nieve (dimensiones panel y estructuras)
- Índice de reflexión por la proximidad del IAC

Limitaciones técnicas en el diseño

Puesta a tierra en terreno volcánico:

- Terreno potencialmente resistivo y heterogéneo.
- Dificultad de ejecución de electrodos en sustrato rocoso.
- Necesidad de mediciones reales de resistividad.
- Equipotencialidad de estructuras y equipos.
- Control de tensiones de paso y contacto.
- Protección frente a defectos y descargas atmosféricas.
- Condicionantes constructivos dentro del Parque Nacional.

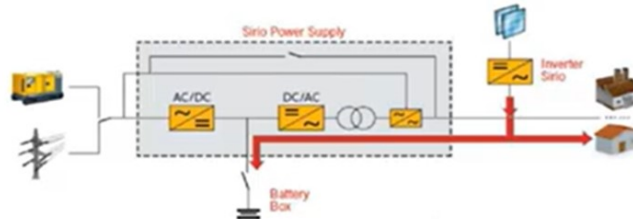
Calidad del suministro eléctrico:

- Potencia de cortocircuito limitada.
- Armónicos generados por los convertidores y ESFOR.
- Corrientes de modo común y homopolares.
- Desequilibrios y variaciones rápidas de potencia.
- Estabilidad de tensión y frecuencia.
- Coordinación de protecciones en una red formada por inversores.

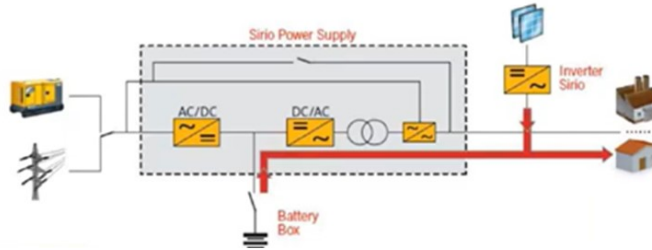
Limitaciones técnicas en el diseño

Seguridad: 10 Opciones Suministro, 2 Suministros de emergencia y desplazamiento mecánico

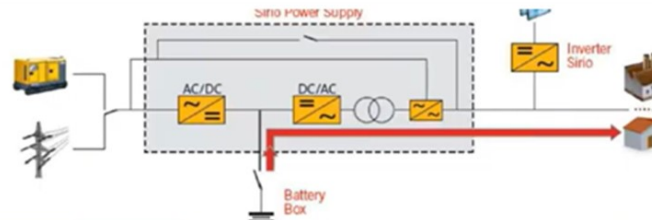
Modo de funcionamiento 1:
con irradiación solar adecuada, el sistema alimenta la carga y recarga las baterías.



Modo de funcionamiento 2:
con irradiación solar insuficiente la carga es alimentada utilizando la energía del campo fotovoltaico y de las baterías.

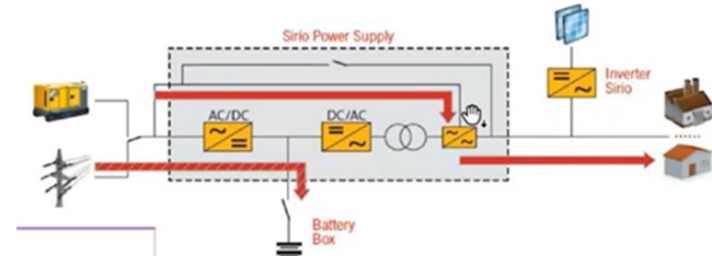


Modo de funcionamiento 3:
con irradiación solar ausente la carga es alimentada utilizando la energía de las baterías.



10 modos de operación garantizan el suministro de la microred

Modo de funcionamiento 4:
con irradiación solar ausente y batería descargada la carga es alimentada por la red eléctrica o por un Grupo Electrónico. En esta modalidad es posible recargar también la batería.



Primera intervención: se actúa sobre la demanda de energía

- ☐ Elevada potencia durante el arranque y la aceleración.
- ☐ Variaciones rápidas de demanda.
- ☐ Frenado y funcionamiento regenerativo.
- ☐ Servicios auxiliares permanentes.
- ☐ Exigencia de continuidad, seguridad y calidad del suministro.
- ☐ Posible coincidencia entre generación solar y regeneración del accionamiento.

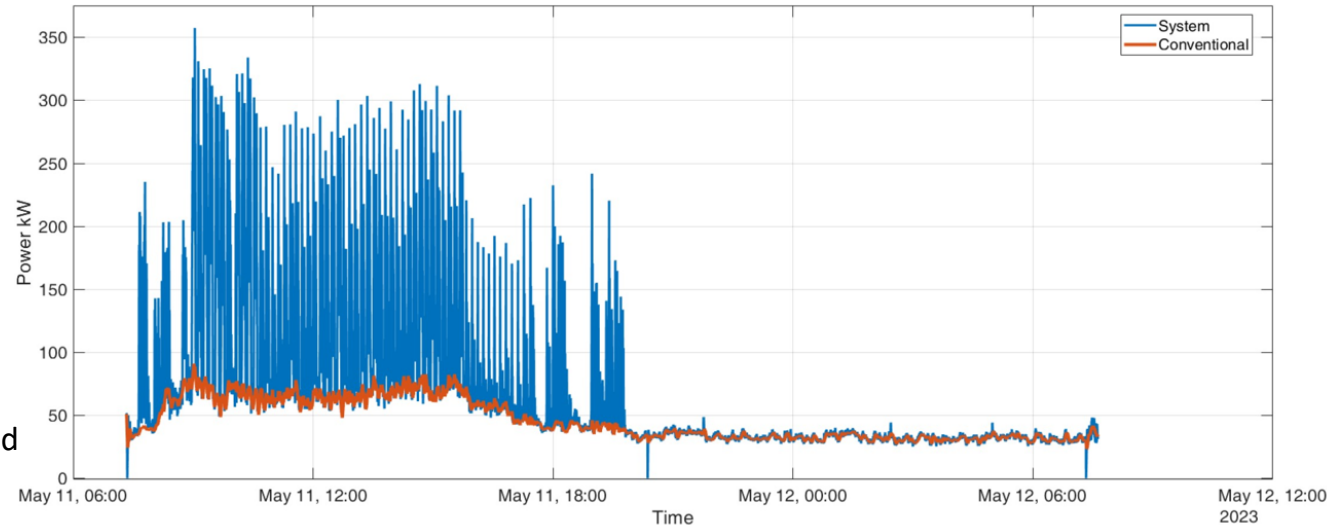


Fig1. Situación de partida del proyecto. Problemática de la demanda energética del teleférico

Pregunta técnica: ¿cómo mantener tensión y frecuencia sin el respaldo de una red exterior?

Primera intervención: se actúa sobre la demanda de energía

Se realiza la **instalación del sistema ESFOR** (Energy Storage System for Ropeways)

- ❑ Sistema desarrollado específicamente para teleféricos por **Frey Stans-Doppelmayer**.
- ❑ **Baterías ABB** de tecnología **LTO**: **60 kWh** de capacidad.
- ❑ **Potencia de 120 kW** continuos y hasta **345 kW** de pico.
- ❑ **Conexión directa al bus DC** del variador mediante **convertidor DC/DC**.
- ❑ **Recupera la energía de frenado y la reutiliza en el siguiente arranque**.
- ❑ **Reduce las puntas** de demanda sobre el BESS principal y **estabiliza la microrred**.
- ❑ Diseñado para más de 20.000 ciclos completos.

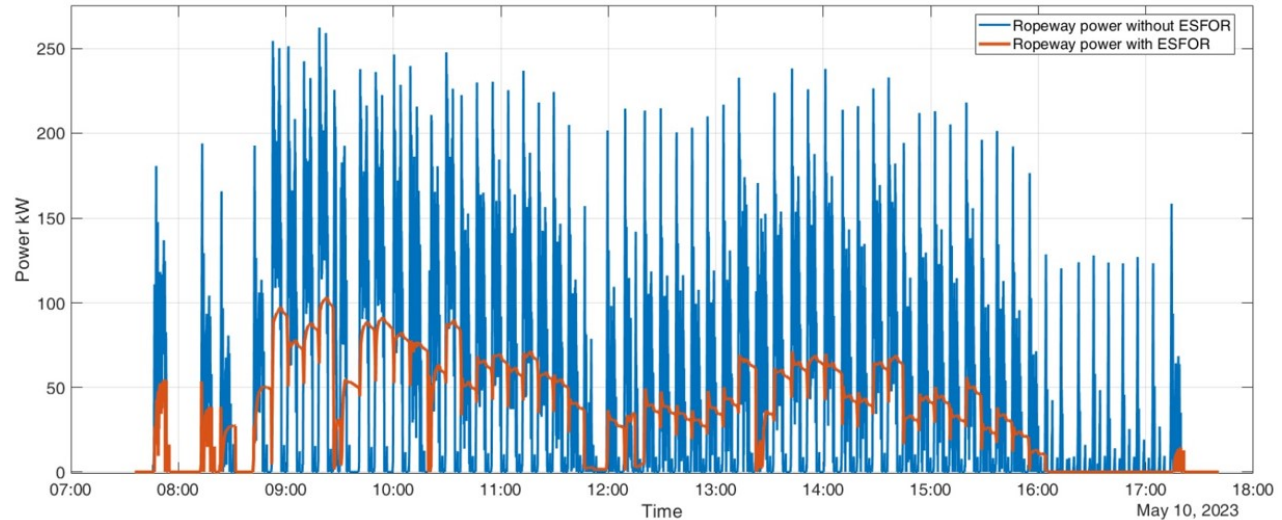
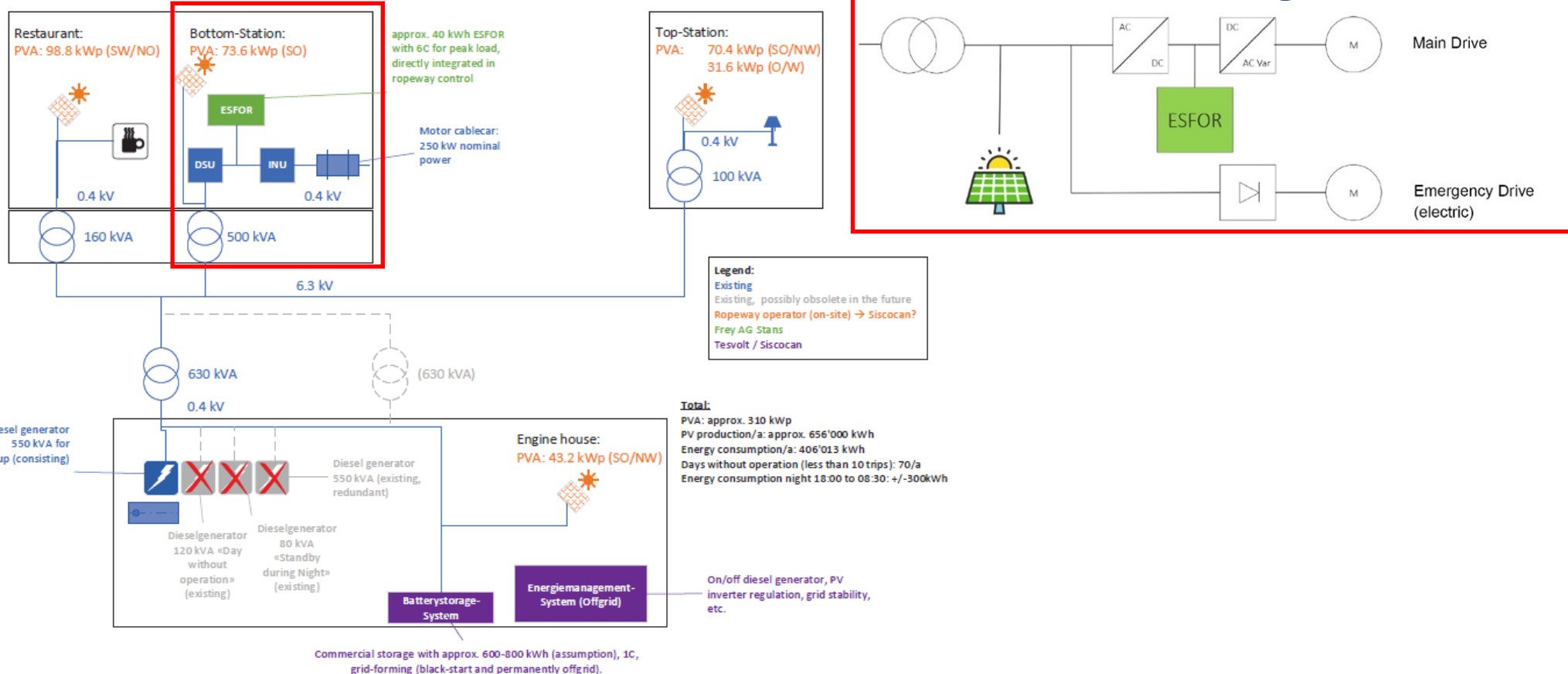


Fig 3. Demanda de energía accionamiento teleférico con y sin sistema ESFOR

Se logra reducir los efectos en la red (tensión / frecuencia) de una demanda de energía que en cuestión de segundos requería o cedía a la red potencias superiores a tres veces la nominal

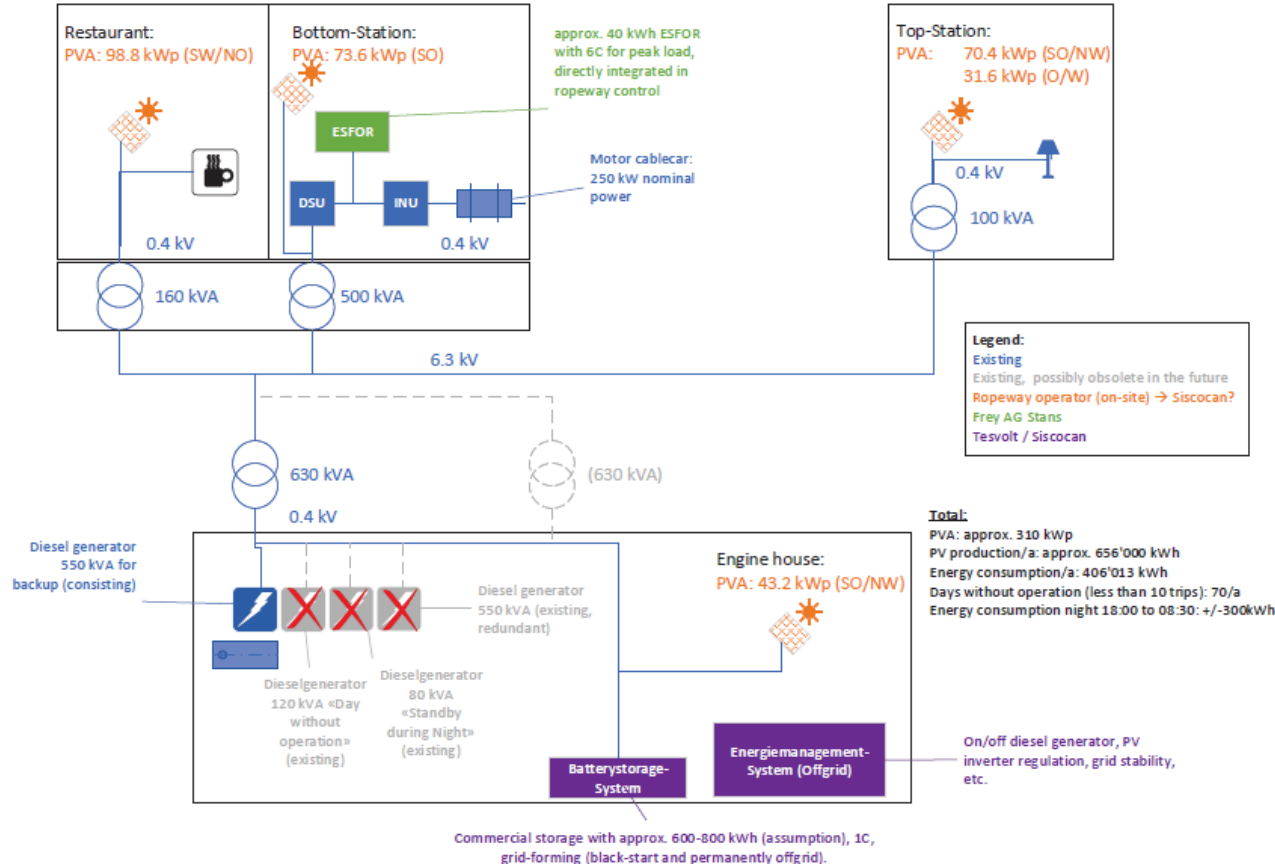
Primera intervención: se actúa sobre la demanda de energía



Primera intervención: se actúa sobre la demanda de energía



Segunda intervención: se actúa sobre la red / generación



Arquitectura general de la microrred

- ☐ Generación fotovoltaica distribuida entre cuatro edificios.
- ☐ BESS Cegasa.
- ☐ Inversor cargador y gestor energético Riello.
- ☐ Accionamiento y sistema ESFOR.
- ☐ Red interior de distribución (AT 6, kV).
- ☐ Intranet industrial de supervisión.
- ☐ Generación auxiliar para situaciones excepcionales.

Segunda intervención: se actúa sobre la red / generación

Generación fotovoltaica distribuida

- ☐ Módulos instalados sobre cubiertas existentes.
- ☐ Distribución en cuatro emplazamientos.
- ☐ Diferentes orientaciones y condiciones de producción.
- ☐ Conexión de los inversores a la red AC común de cada edificio.
- ☐ Integración arquitectónica y ambiental.
- ☐ Generación próxima a los puntos de consumo.



La generación fotovoltaica satisface en primera medida el consumo de cada edificio sobre la que se dispone y el excedente de energía lo vuelca a la línea de AT para suministro de otros edificios deficitarios de energía.

Segunda intervención: se actúa sobre la red / generación

Sistema de almacenamiento Cegasa

- ☐ 77 módulos Cegasa eBick 280 Pro con tecnología LFP.
- ☐ Siete strings en paralelo.
- ☐ Once módulos en serie por string.
- ☐ Tensión nominal: 528 Vdc.
- ☐ Capacidad nominal total: 1.036 kWh.
- ☐ BMS para supervisión y protección del almacenamiento.



Segunda intervención: se actúa sobre la red / generación

Control primario mediante acoplamiento AC

El **inversor de baterías HBS (600 W)** forma la red aislada y establece las **referencias de tensión y frecuencia**.

Los **inversores fotovoltaicos** se **sincronizan** localmente **con la red AC**.

El **BESS** **compensa rápidamente** los **desequilibrios** entre **generación y demanda**.

La **respuesta primaria** **no depende** exclusivamente de una **comunicación de datos**.

La **generación distribuida** puede operar **coordinadamente** desde **distintos edificios**



Segunda intervención: se actúa sobre la red / generación

BESS

1.036 kWh

Almacenamiento de energía de larga duración

Sostiene la microrred general

Alimenta teleférico y servicios auxiliares

Tecnología LFP

Conectado mediante el sistema Riello

Gestiona el balance energético diario

ESFOR

60 kWh

Almacenamiento de potencia y ciclos rápidos

Actúa directamente sobre el accionamiento

Absorbe frenadas y apoya arranques

Tecnología LTO

Conectado al bus DC del variador

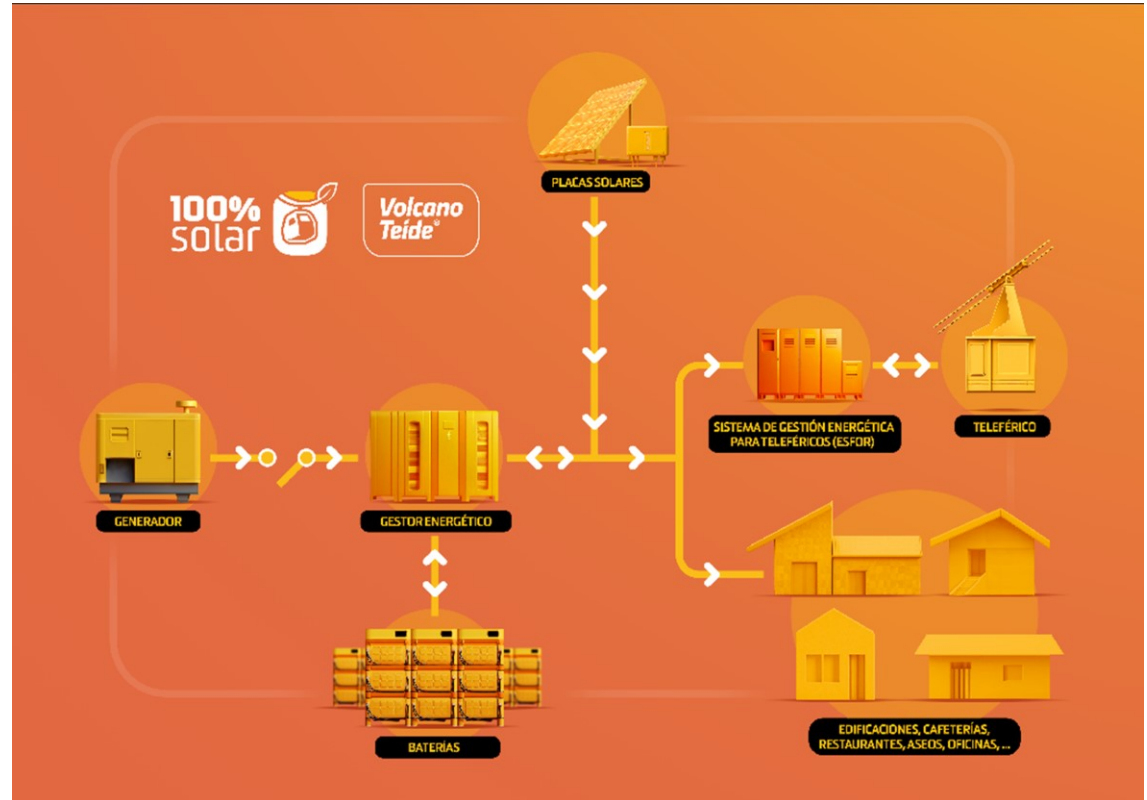
Gestiona transitorios de segundos o minutos

BESS LFP: aporta energía, autonomía y estabilidad a la microrred. **ESFOR LTO:** aporta potencia instantánea, absorbe la regeneración y cubre los picos del accionamiento.

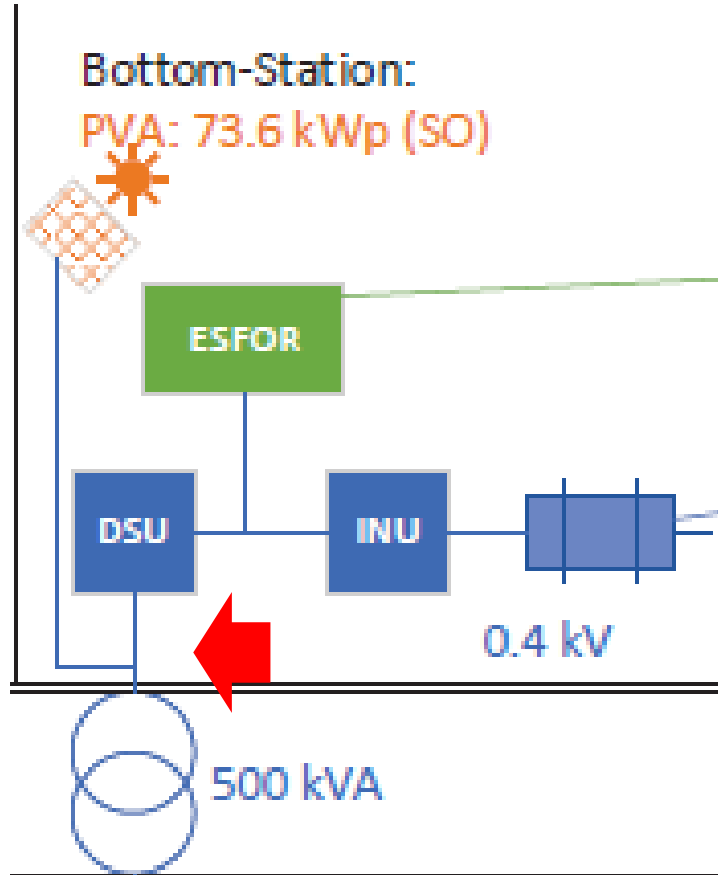
Segunda intervención: se actúa sobre la red / generación

Intranet industrial, supervisión y estado seguro

- ☐ Comunicación entre inversores, BMS y gestor de la microrred.
- ☐ Transmisión de medidas, estados, alarmas y consignas.
- ☐ Supervisión del balance energético y del estado de carga.
- ☐ Detección de pérdida o incoherencia de comunicaciones.
- ☐ Desconexión controlada de inversores afectados.
- ☐ Enclavamientos con contactores de potencia para impedir estados de operación no autorizados.



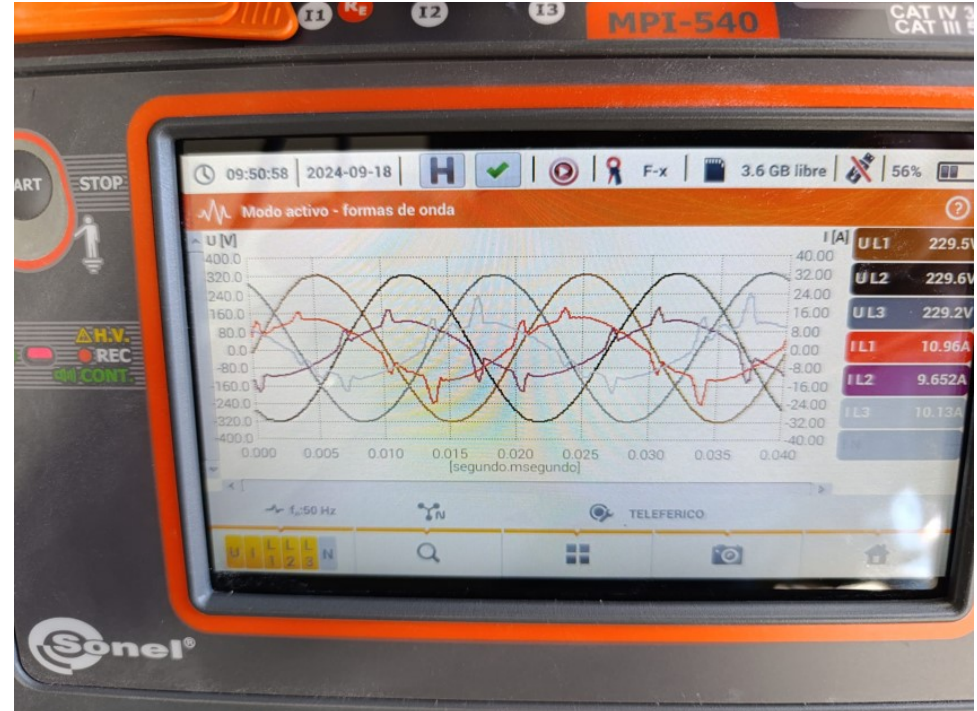
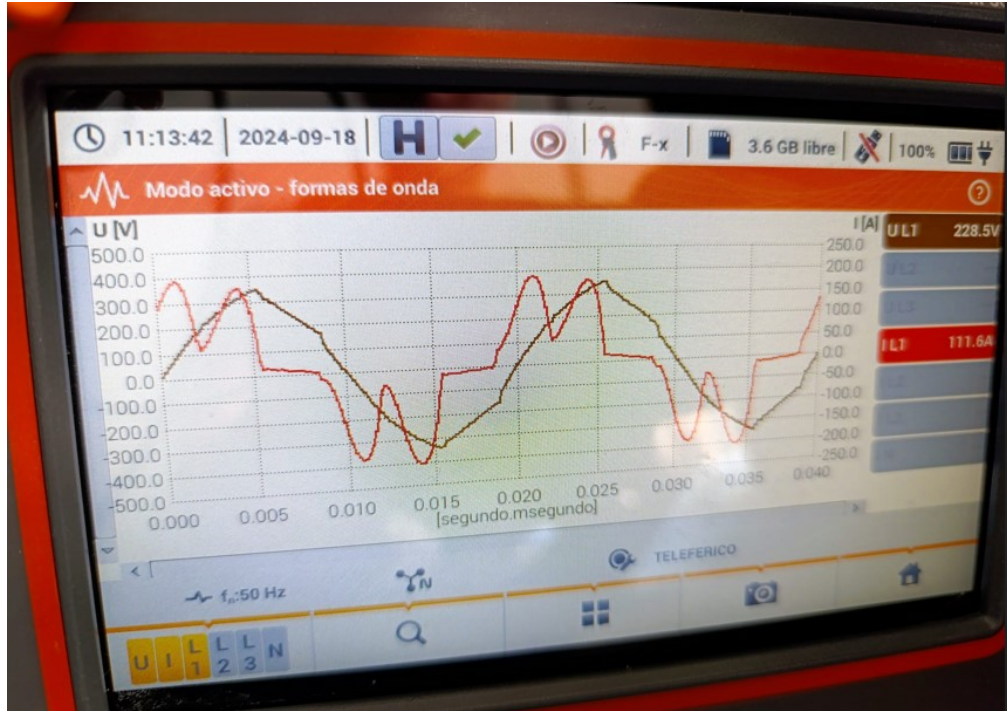
Tercera intervención: lecciones aprendidas (1/4)



La DSU rectifica la alimentación AC del teleférico y la INU controla el motor desde el bus DC. ESFOR intercambia energía con ese bus para absorber el frenado y apoyar el arranque.

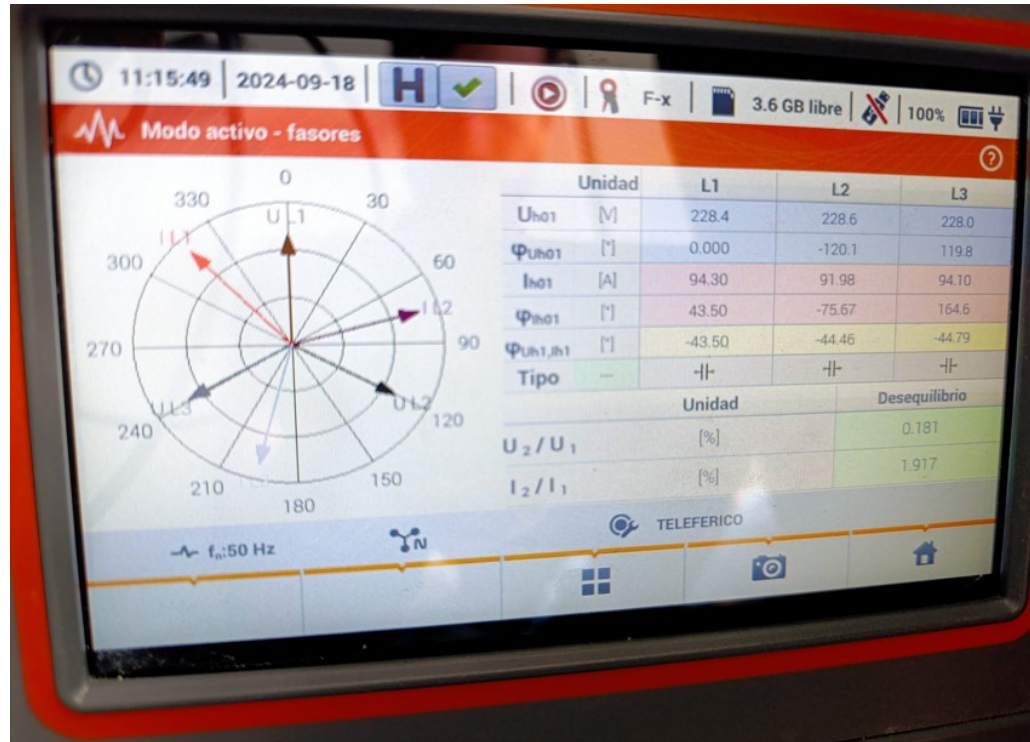
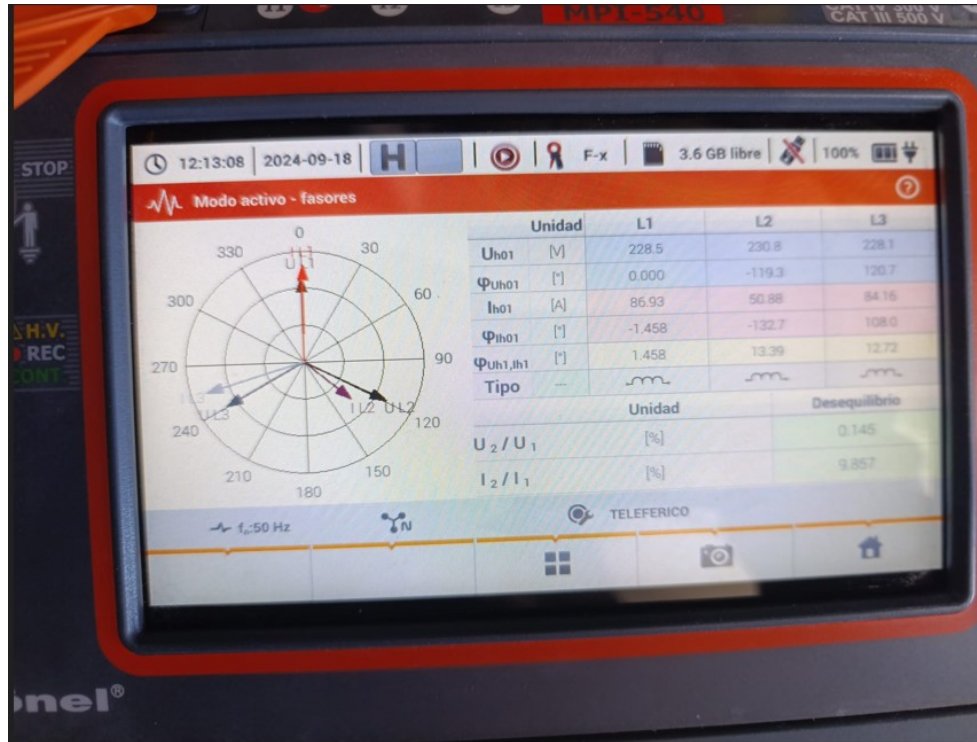
La forma de corriente absorbida por la DSU fue un condicionante para integrar el accionamiento en la microrred aislada.

Tercera intervención: lecciones aprendidas (1/4)



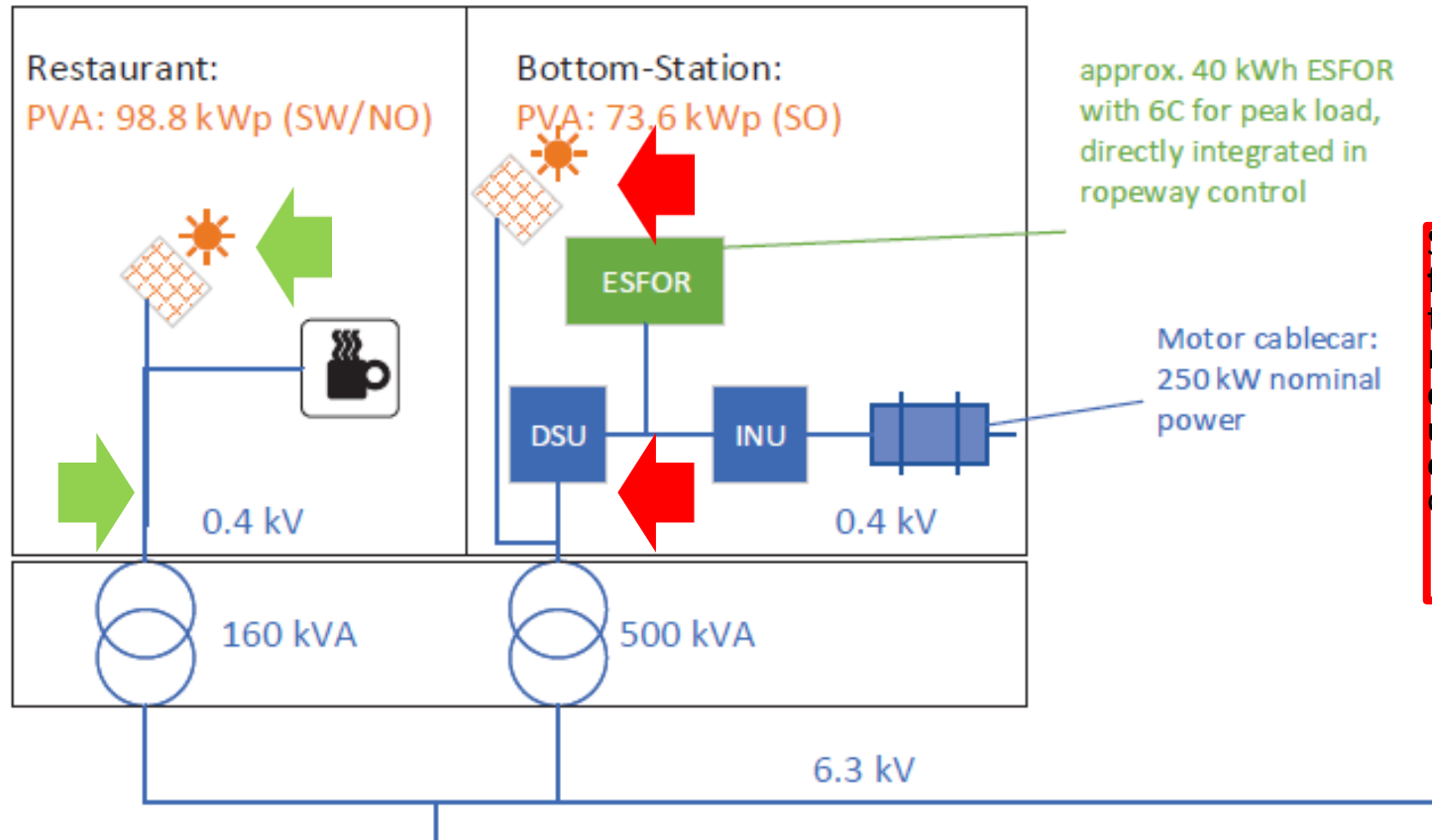
Curvas de tensión de intensidad no senoidales perfectas

Tercera intervención: lecciones aprendidas (1/4)



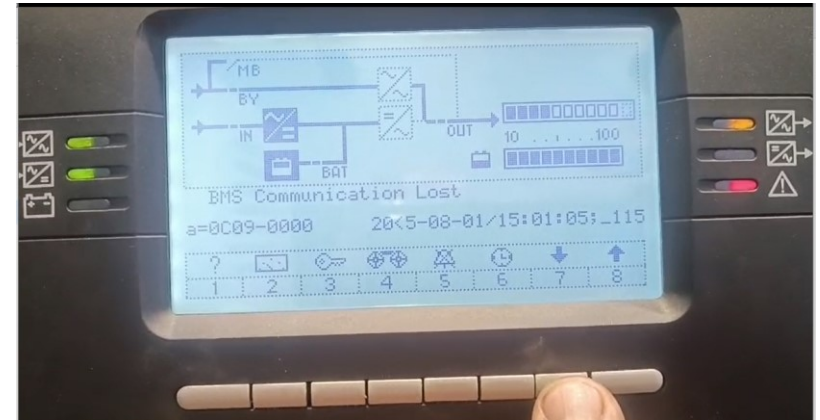
Las corrientes son inductivas o capacitivas en función de remonte o descenso de la cabina

Tercera intervención: lecciones aprendidas (1/4)



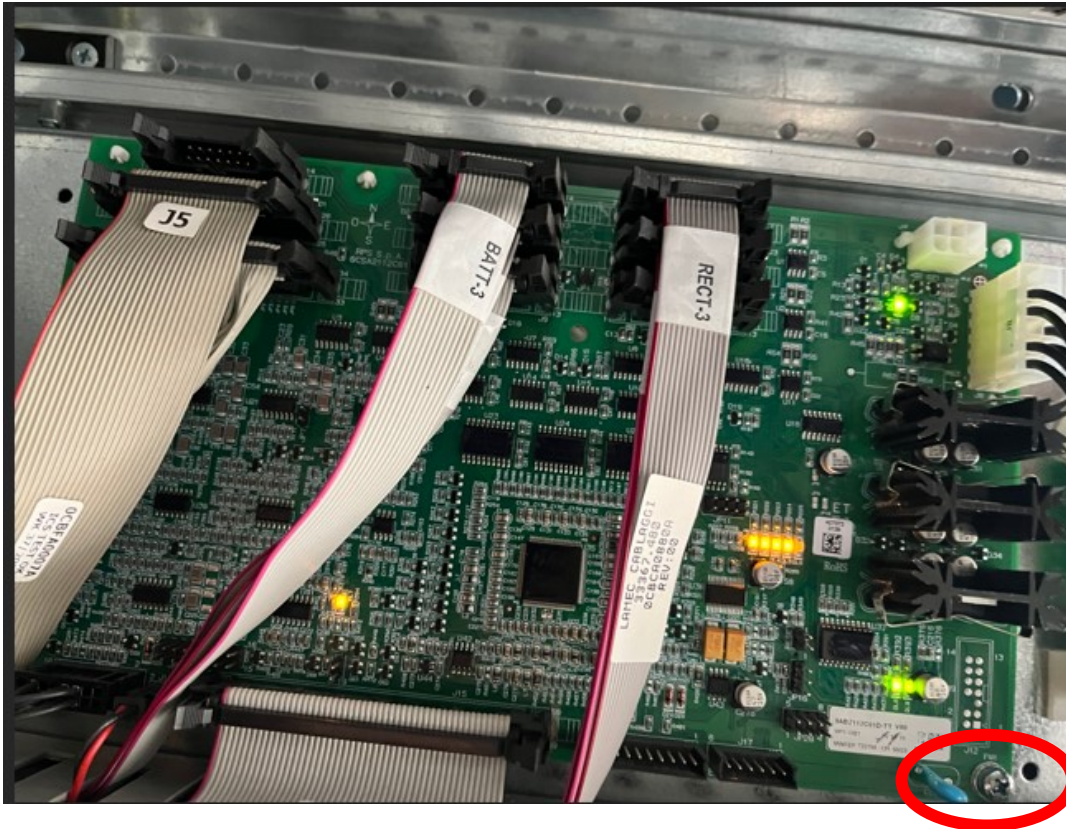
Se trasladó la inyección fotovoltaica al secundario del transformador que alimenta restaurante y oficinas. Esta configuración permitió operar con una referencia de tensión más estable y resolvió los disparos observados por sobretensión.

Tercera intervención: lecciones aprendidas (2/4)



Los primeros meses de operación se produjeron paradas intempestivas del sistema por pérdida de comunicaciones entre el sistema BESS y el HBS (Inversor/rectificador de 600 kW gestor de la red)

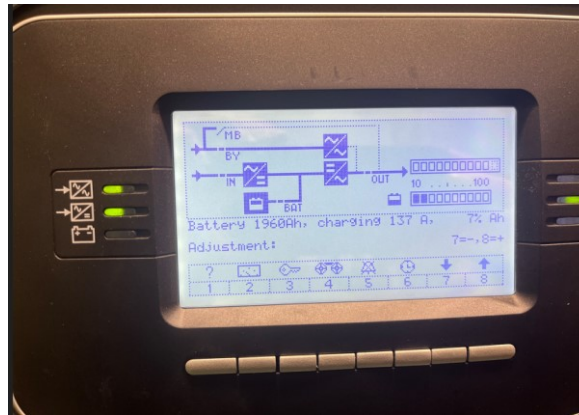
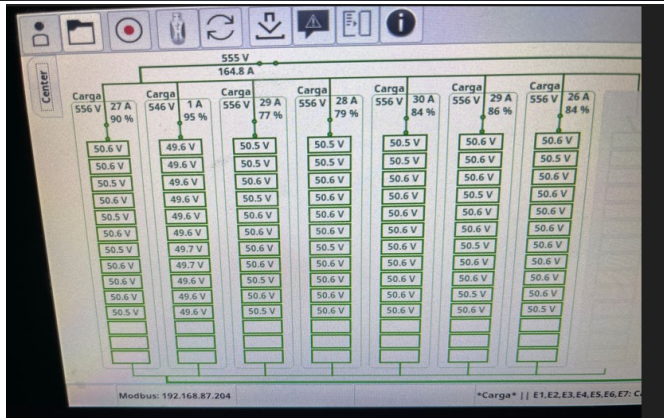
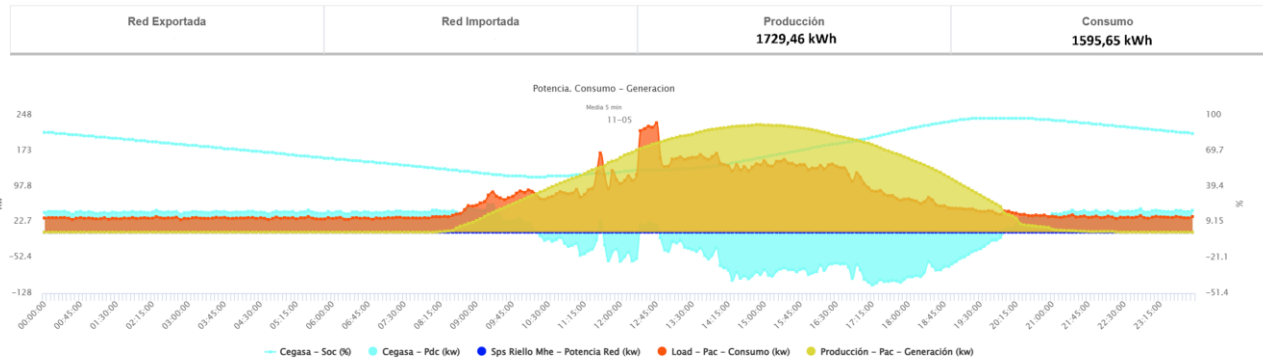
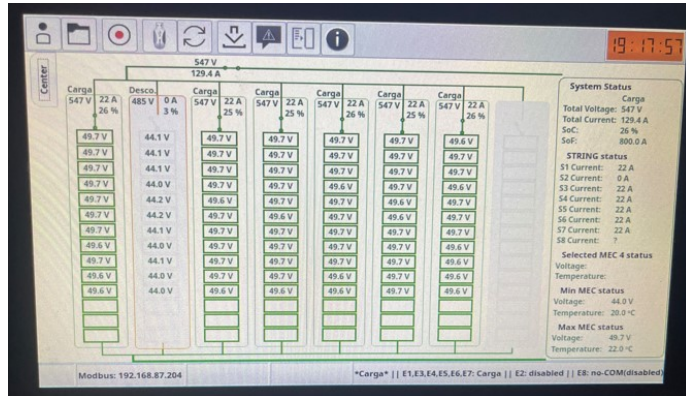
Tercera intervención: lecciones aprendidas (2/4)



Actuaciones:

- ☐ Se mejoró la red de tierras
- ☐ Se sustituyó el tornillo de acero
- ☐ Se instaló filtro electrónico de corrientes parásitas

Tercera intervención: lecciones aprendidas (3/4)



Ecuación de baterías

- ☐ Inicialmente manual y de manera periódica
- ☐ La estimación del % de la carga indujo a errores operativos por ser estimada
- ☐ Actualmente más automatizada y con mejor control

Tercera intervención: lecciones aprendidas (4/4)



Dentro de su microrred, el Teleférico del Teide integra y **coordina** las funciones técnicas de generación, almacenamiento, distribución interior, consumo y operación. Esto contribuyó a **rapidez** en la **planificación, prescripción técnica, instalación y puesta en marcha**.

Tercera intervención: lecciones aprendidas (4/4)



La **coordinación** se tradujo en **integración** de diferentes equipos de trabajo en búsqueda de **un único interés común**, el éxito del proyecto y hacerlo sin accidentes e incidentes.

MUCHAS GRACIAS



Paralelismos técnicos con Canarias

- ☐ Una elevada penetración renovable introduce variabilidad.
- ☐ El sistema necesita almacenamiento y reserva operativa.
- ☐ La potencia de cortocircuito es limitada.
- ☐ La estabilidad de frecuencia depende del control de los convertidores.
- ☐ Deben coordinarse generación, demanda y capacidad de almacenamiento.
- ☐ La pérdida de una unidad tiene un impacto proporcionalmente elevado.
- ☐ Las comunicaciones son importantes, pero la estabilidad inmediata no puede depender exclusivamente de ellas.
- ☐ El sistema debe conservar márgenes para absorber excedentes y responder a aumentos de demanda.