



INFORME TÉCNICO

MOdelado Digital Energético para fomentar el uso racional de la energía en Comunidades Energéticas Locales (ModeCEL)



E8.1- Conclusiones alcanzadas en los pilotos del proyecto



Financiado por:



Cofinanciado por
la Unión Europea

Fecha informe: 29/09/2023

Responsable del entregable: ITE

Participantes: AIDIMME

ÍNDICE

1	RESUMEN EJECUTIVO	3
2	NOMENCLATURA	4
3	OBJETO DEL DOCUMENTO	5
4	DEFINICIÓN DE LOS PILOTOS.....	6
4.1	Piloto 1: Mejora de aislamiento térmico en fachada de edificio de ITE.....	6
4.2	Piloto 2: CEMS	25
5	PUESTA EN MARCHA DE LAS PRUEBAS DE VALIDACIÓN	30
5.1	Validación recubrimiento aislante.....	30
5.2	Validación metodología mejora energética	33
5.3	Validación CEMS.....	36
5.3.1	Validación Algoritmia	36
5.3.2	Cálculo de indicadores.....	42
5.3.3	Recomendaciones.....	44
5.3.4	Cálculo de coeficientes de reparto.....	45
5.3.5	Validación API y BBDD	46
5.3.6	Validación WEB.....	47
5.3.7	Validación APP	52
6	CONCLUSIONES.....	57
7	BIBLIOGRAFÍA.....	57

1 RESUMEN EJECUTIVO

Este documento se enfoca en la fase piloto de preparación dentro del proyecto MODECEL, destacando la validación de las soluciones propuestas como su principal objetivo. El proyecto busca evaluar estas soluciones en entornos de prueba que imiten fielmente la implementación real del proyecto. Para ello, se realizaron dos pilotos exitosos, uno centrado en la evaluación de revestimientos y otro en la validación del sistema de gestión energética (CEMS).

El piloto de revestimiento se orientó a validar la modelización y caracterización del comportamiento térmico de edificios después de la colocación de revestimientos naturales. Esto se logró al instalar los revestimientos analizados en la fachada de uno de los edificios seleccionados y al sensorizar la climatización y la temperatura de la zona piloto. Gracias a esta información detallada, el piloto permitió cuantificar los beneficios de la implementación de estos revestimientos, además de validar el escenario de modelado energético desarrollado.

Para llevar a cabo la evaluación precisa del sistema de gestión energética (CEMS), se utilizó un enfoque integral. Se comenzó validando los desarrollos a través de datos históricos de consumo y generación proporcionados por usuarios de una comunidad energética local (CEL). Esta validación abarcó varios módulos, incluyendo el cálculo de indicadores, la predicción de consumo y generación, las recomendaciones y el cálculo de coeficiente de reparto, todos ellos ejecutados de manera automatizada mediante tareas programadas.

Además, se procedió a la validación de las bases de datos (BBDD) del CEMS y su interfaz de programación de aplicaciones (API) diseñada para interactuar con las BBDD. Esta API permitió la escritura, lectura y actualización de datos, facilitando el registro de suministros e instalaciones. Durante este proceso, se verificó que los módulos de algoritmia desarrollados realizaran cálculos apropiados y almacenaran los resultados en la base de datos de manera precisa.

Adicionalmente, se realizó una validación exhaustiva de las herramientas del CEMS, incluyendo la WEB para la creación y seguimiento de CEL y la APP de usuarios pertenecientes a la CEL. Esto involucró la creación de una CEL desde cero, el registro de gestores, usuarios e instalaciones, y la confirmación del funcionamiento adecuado tanto de la WEB como de la APP. Esta validación permitió a los usuarios y gestores acceder y visualizar los indicadores de la CEL de manera eficaz.

El proceso completo de validación se llevó a cabo con el propósito fundamental de garantizar la eficacia y precisión de las soluciones propuestas en el contexto del proyecto MODECEL. Estos pilotos exitosos representan un hito importante en el desarrollo del proyecto y sientan las bases para su implementación efectiva en entornos reales.

2 NOMENCLATURA

Nomenclatura	Descripción
CEL	Comunidad Energética Local
BBDD	Bases de datos
VE	Vehículo Eléctrico
ER	Estación de recarga de VE
FV	Fotovoltaica
KPI	Key Performance Indicator
PK	Primary Key
CUPS	Código único identificador del punto de suministro
CAU	Código de Autoconsumo
API	Application Programming Interface
CEMS	Sistema de gestión energética colectiva
MODECEL	MOdelado Digital Energético para fomentar el uso racional de la energía en Comunidades Energéticas Locales
APP	Aplicación móvil
GAMMA	Gestión digitalizada de la energía, Autoconsumo, Movilidad eléctrica y Almacenamiento
DNI	Documento nacional de identidad

Tabla 1. Nomenclatura

3 OBJETO DEL DOCUMENTO

El objeto de este documento es proporcionar una visión detallada y completa de la fase piloto de preparación llevada a cabo en el marco del proyecto MODECEL. Su enfoque principal es destacar la importancia y el propósito de la validación de las soluciones propuestas como objetivo central de esta etapa.

En concreto, este documento tiene como objetivo:

- I. Describir en detalle los dos pilotos que se llevaron a cabo como parte de la fase piloto de preparación del proyecto MODECEL, con un enfoque específico en el piloto de revestimiento y el piloto del sistema de gestión energética (CEMS).
- II. Explorar cómo se implementaron estos pilotos, incluyendo la metodología utilizada y los procedimientos de validación aplicados.
- III. Resaltar los logros y resultados obtenidos durante la ejecución de los pilotos, con especial atención a la validación de la modelización energética, el comportamiento térmico de edificios y el rendimiento del CEMS.
- IV. Detallar la importancia de las pruebas de validación en la garantía de la calidad y la eficacia de las soluciones propuestas, así como en la preparación para la implementación en entornos reales.
- V. Proporcionar una visión general de cómo estos pilotos exitosos sientan las bases para la implementación efectiva de las soluciones en el contexto del proyecto MODECEL y cómo contribuyen al logro de sus objetivos finales.

En resumen, este documento busca proporcionar una comprensión completa de la fase piloto de preparación y su papel fundamental en la validación de soluciones energéticas innovadoras, destacando su relevancia en el contexto del proyecto MODECEL.

4 DEFINICIÓN DE LOS PILOTOS

Dentro del proyecto, se plantean dos tipos de pilotos, uno orientado a validar los recubrimientos para mejora del aislamiento térmico, y la metodología para la mejora del comportamiento térmico de edificios, y otro a validar el funcionamiento de la herramienta de gestión energética colectiva, los pilotos se explican a continuación.

4.1 Piloto 1: Mejora de aislamiento térmico en fachada de edificio de ITE

Este primer piloto tiene la finalidad de validar la solución de revestimiento en un entorno real y evaluar parcialmente el desempeño de la metodología de evaluación energética.

4.1.1. Estudio previo de posibles ubicaciones

En un inicio se había elegido un sitio con las características necesarias para la instalación del sistema SATE en las instalaciones del ITE, pero al tener en cuenta la frecuencia de uso de las salas internas del muro pensado para la “reforma” se decidió elegir otro lugar que no fuera tan invasivo en la etapa constructiva.

El sitio elegido finalmente para la instalación de los sistemas SATE y SATI se encuentra en las instalaciones del ITE, específicamente en el laboratorio de grados IP, este laboratorio se eligió porque tiene facilidad de trabajar por sus muros planos y se encuentra en una planta baja, lo que facilitaba el acceso y reducía las necesidades de medios auxiliares. Una característica requerida, fue que se pudiera disponer de dos partes equiparables geométricamente y constructivamente, para comparar entre el sistema SATE a instalar y la fachada existente. Constructivamente la envolvente existente tiene las características adecuadas, pues es un cerramiento tradicionalmente empleado en edificios de oficinas de los edificios del siglo pasado y con la superficie necesaria para recibir el elemento exterior SATE, pudiendo así mejorar la eficiencia energética de la fachada de forma sustancial.

Por otro lado, el sistema SATI se decidió instalar en la parte interior del laboratorio de grados IP en la zona donde no se va a instalar el sistema SATE para no tener un muro con ambos sistemas aislantes continuos y poder monitorizar cada sistema por separado.

Otra ventaja, ha sido que el sitio está próximo a AIDIMME, lo cual facilita la logística en términos de instalación, supervisión y construcción del muro, y por otro lado como se ha comentado anteriormente este laboratorio es solo utilizado por unas pocas personas, lo cual hacía poco invasivo para las actividades diarias del ITE.

La siguiente imagen muestra el estado inicial de la fachada del sitio elegido para la prueba piloto donde se observan las características mencionadas anteriormente. Siendo la zona de la ventana derecha la zona de montaje del sistema SATE y el interior a un costado de las dos ventanas donde se propuso instalar el sistema SATI entre el ducto de ventilación y las ventanas.



Figura 1. Laboratorio de grados IP. Fachada para prueba piloto.

4.1.2. Descripción de piloto

El piloto está ideado con respecto a experiencias e instalaciones previas para ser un muro dividido en dos secciones, una con el sistema SATE instalado y la otra con las características actuales para evaluar y monitorizar durante un año las mejoras que el sistema SATE otorga frente a un sistema de fachada común, en los siguientes planos se observan los detalles de cómo se procedió a la construcción de este.

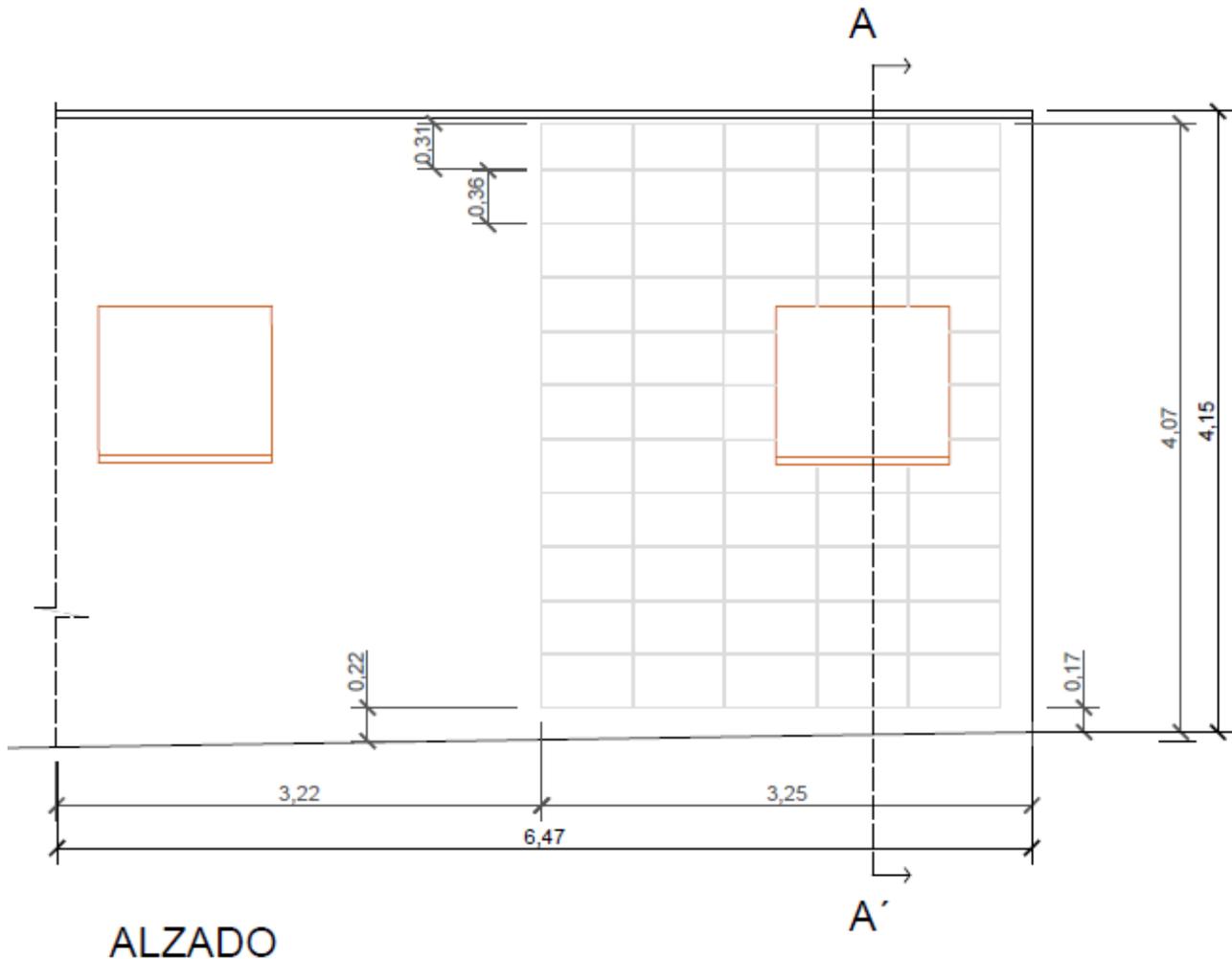


Figura 2. Plano de alzado muro monitorización.

Para la monitorización se instaló un ordenador junto con un equipo de adquisición y registro de datos dentro de un armario protegido, donde fueron conectados los sensores que fueron enviando directamente al ordenador los valores para obtener las temperaturas.

Los sensores fueron colocados en las distintas capas de ambos sistemas, tanto el existente como el sistema SATE desarrollado por AIDIMME, de esta manera se pudo analizar el efecto que cada una de las capas tiene sobre la temperatura y su evolución a lo largo del tiempo, así como con las variaciones de las temperaturas ambientales que se llegan a dar durante todo el año.

Los datos de las temperaturas del exterior y del interior fueron tomados por una estación meteorológica, la cual consta de una estación exterior que fue instalada en la cubierta del recinto, obteniendo datos de la meteorología exterior: radiación solar, viento y dirección del viento, lluvia, humedad relativa, temperatura y presión atmosférica y una segunda parte en el interior de la sala de ensayos donde se registraron humedad relativa y temperatura y se mostraban en tiempo real todos los valores de las variables a analizar.

En el interior de la sala piloto se instalaron asimismo un sensor de temperatura y humedad y un sensor de presencia, para poder analizar la evolución de la temperatura ambiente del interior de la sala así como llevar seguimiento de factores

influyentes, como puede es la apertura de puertas, presencia de personas en la zona y posibles ensayos/trabajos realizados.



Figura 3. Equipo de monitorización.

Las capas que se monitorizaron fueron las propias del sistema de fachada existente (mortero exterior, enlucido interior y bloques de hormigón), así como las capas de ambos sistemas (SATE y SATI) a instalar por AIDIMME, las cuales se pueden observar gráficamente en los siguientes croquis de sección de los elementos, como ya se mencionó se hizo una monitorización con el sistema y una sin el sistema para tener un punto de comparación con las mismas características de orientación y ubicación.

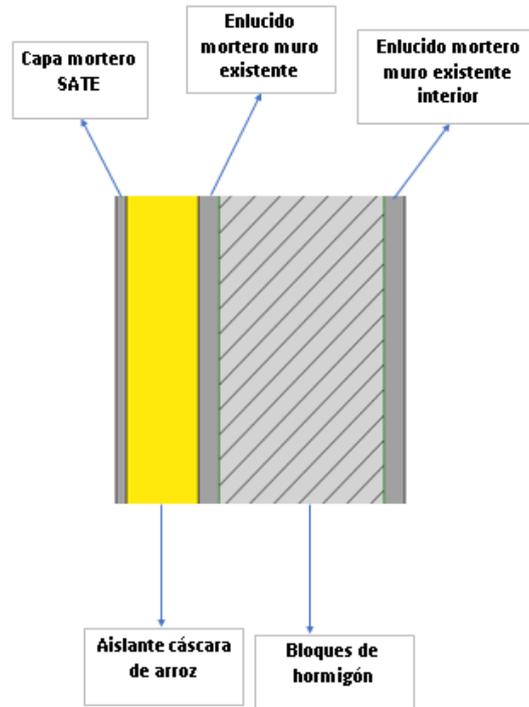


Figura 4. Capas sistema SATE.

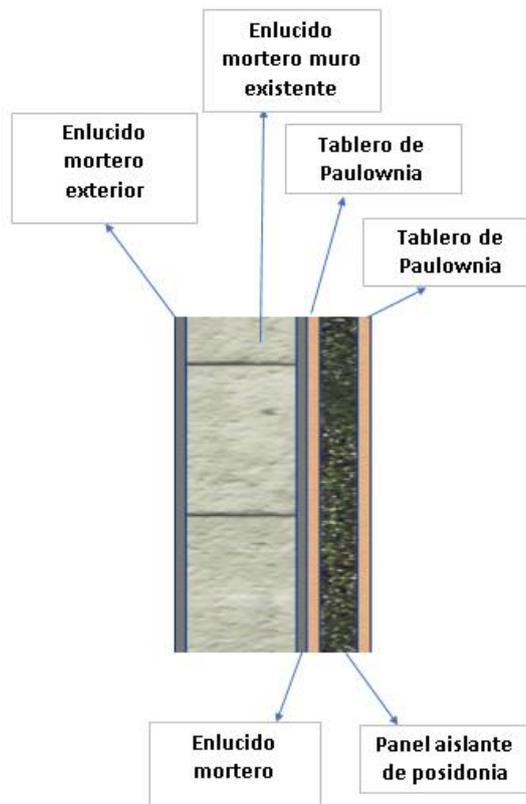


Figura 5. Capas sistema SATE.

Se han determinado dos zonas de medición en el muro con el SATE instalado y otro punto de medición en la zona del muro con las condiciones iniciales, con el fin de comparar resultados y obtener conclusiones. El punto de medición se ha elegido cerca de la ventana de cada uno de los dos tramos del muro.

En la siguiente imagen se muestra en un plano de alzado el muro con los paneles instalados y el otro tramo del muro con las características iniciales, donde se han colocado los puntos de lectura en sus diversas capas de cada sistema para la monitorización, las condiciones son similares ya que se colocaron puntos cercanos a cada una de las ventanas que se encontraban a la misma altura con relación al nivel del suelo.

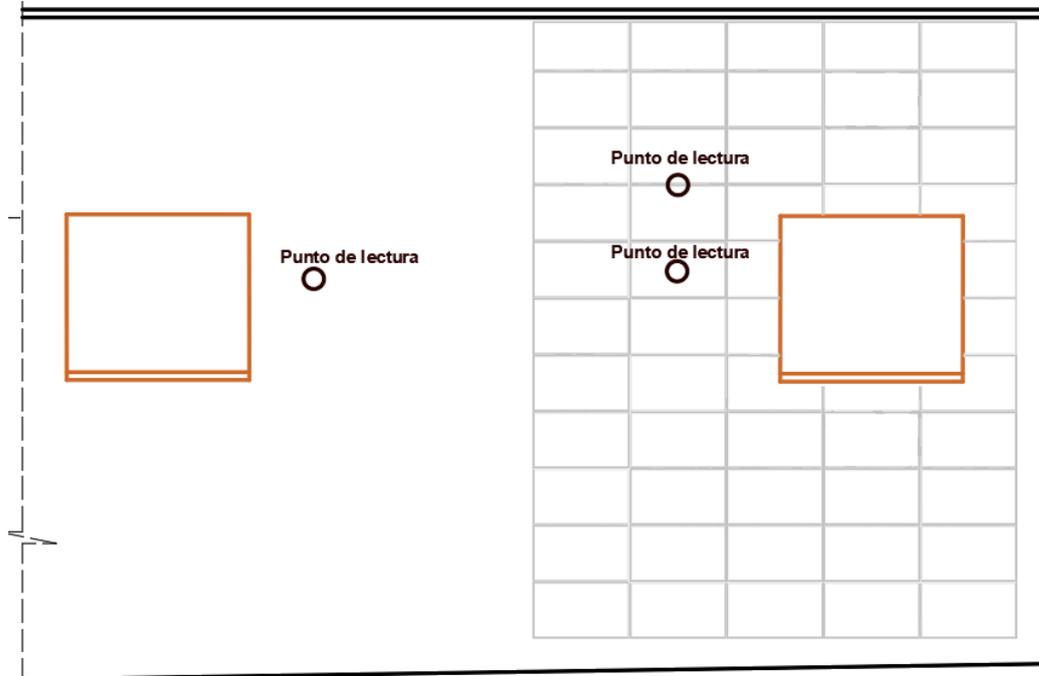


Figura 6. Puntos de lectura para monitorización. Elaboración propia

Por un lado, en el sistema SATE se han elegido dos puntos con respecto al punto elegido en la fachada inicial ya que se busca observar la diferencia entre las lecturas de un punto en la junta de los paneles con respecto al desempeño que tiene en el centro de uno de los paneles, con el fin de observar y analizar los puentes térmicos que esta junta crea en el sistema.

4.1.2.1. Procedimiento de instalación

- Recubrimientos para mejorar el aislamiento térmico:

Ya definidos los equipos para realizar la monitorización del funcionamiento de los sistemas SATE y SATI instalados se procedió a la construcción del sistema sobre el muro existente, la cual fue realizada por la empresa Construcciones AGLAIA con supervisión y participación de AIDIMME.

En el caso del proyecto MODECEL y después de la experiencia previa que AIDIMME ha tenido en la instalación de estos sistemas previamente, se optó por ahorrar material en perfiles siguiendo con la idea de la circularidad, eficiencia de materiales y reducción de costes de los sistemas constructivos, y se decidió colocar perfiles más pequeños únicamente en la zona de uniones de piezas prefabricadas adyacentes como se observa en las siguientes imágenes.



Figura 7. Proceso constructivo envolvente. Propia

Se puede observar que el proceso constructivo es relativamente sencillo ya que se requiere de equipo mínimo in situ para su construcción, herramienta menor, taladro para colocar los tacos donde se montarán los perfiles y una fuente eléctrica. Al desarrollar un sistema prefabricado de estas características se buscaba que el proceso constructivo in situ sea sencillo, rápido y que con un par de trabajadores pudiera ser montado. En el caso de la instalación de paneles en alto se utiliza un andamio.

Al finalizar la colocación de paneles se les coloca en las juntas un sellador acrílico ignífugo para evitar las filtraciones de agua, así mismo se coloca en el perímetro del montaje revestimiento de mortero para evitar exposición directa al ambiente del material aislante.



Figura 8. Colocación de sellador.



Figura 9. Terminado lateral con enlucido de mortero.

Para el sistema de aislamiento interior (SATI) se ha decidido instalar únicamente un panel de 2,40 m x 0,60 m trasdosado al interior del muro por medio de tacos y tornillos a diferencia de los sistemas comunes que son con marcos metálicos o adhesivos de poliuretano.



Figura 10. Montaje de trasdosado SATI

Resumen etapas proceso de instalación solución recubrimiento aislante:

1. Replanteo de la superficie de instalación
2. Colocación de perfilería y paneles nivel por nivel



Figura 11. Montaje paneles SATE.

3. Sellado de juntas entre paneles.
4. Colocación de sensores en capas durante la construcción del muro.



Figura 12. Muro SATE montado.

5. Acabado en perímetro de SATE



Figura 13. Enlucido lateral de mortero.

6. Detalles de antepechos, vierteaguas y marcos en ventana



Figura 14. Detalles constructivos ventana.

7. Pintura y acabado final del muro



Figura 1511. Pintura y acabado final.

- Sensórica integrada en fachada (sondas de temperatura)

La adquisición de datos se realizó a partir de 3 sistemas de lectura, el principal es un equipo de registro constante con sensores tipo pt100, que como ya se ha mencionado se han instalado en distintas capas del sistema para ir observando la evolución del comportamiento de ambos sistemas constructivos. Otro equipo que ha sido instalado es una estación meteorológica que nos aportará los datos de temperatura externo al sistema tanto del exterior del espacio a analizar como del interior.



Figura 1612. Instalación equipo de monitorización.

El equipo de adquisición de datos se ha conectado a sensores PT100 distribuidos en varios puntos del muro y en diferentes secciones de este, se estarán recabando datos de temperatura desde la capa exterior del muro hasta la capa interior donde se estarán monitorizando estas temperaturas, que irán siendo registradas por un amplificador y almacenadas por el ordenador. Estos datos son accesibles a través de conexión wifi.

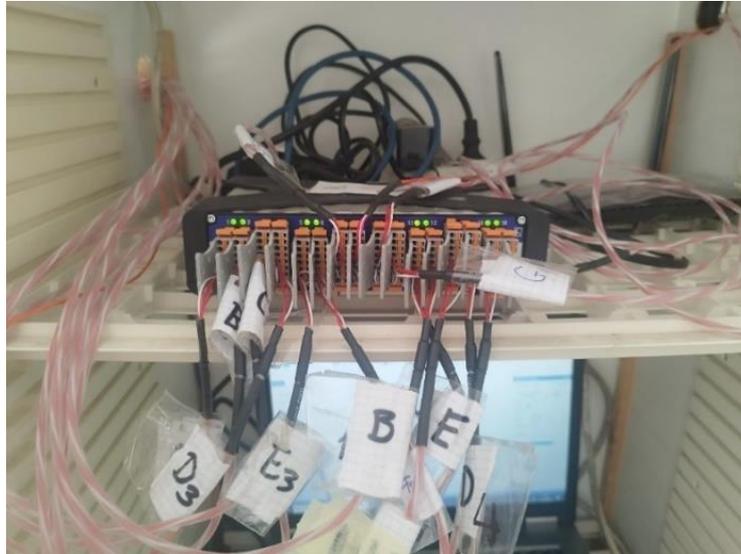


Figura 17. Amplificador, equipo de adquisición de datos.

Para el análisis de temperaturas también se contaba con un equipo de cámara termográfica para visualizar antes y después de haber instalado los paneles y llevar un control de los cambios, y de las irregularidades de temperatura que tiene el muro.

En la siguiente imagen obtenida con la cámara termográfica se observa la diferencia del muro con los paneles SATE y la otra parte con el sistema existente, se llega a observar la perfilería colocada en el sistema SATE que nos da una percepción de la existencia de ciertos puentes térmicos pero que se han reducido al disminuir la longitud de la perfilería.



Figura 1813. Imagen de cámara termográfica del muro SATE. Propia

En cuanto al sistema SATI se colocó únicamente un panel trasdosado en la parte interna del espacio otorgado dentro del ITE para el proyecto, en este punto se colocaron un par de sensores uno entre la pared existente y el módulo trasdosado

y otro en el tablero vista, los cuales están conectado a un medidor datalogger que cuenta con una memoria SD para ir almacenando los datos de las temperaturas de ambos sensores.



Figura 14. Sensor PT100 para SATI.



Figura 15. Datalogger para obtención de datos de temperatura SATI

- Estación meteorológica

Para obtener datos del ambiente como es el exterior y el interior del recinto elegido para la prueba piloto se ha instalado una estación meteorológica que nos aporta datos de temperaturas, humedades, puntos de rocío entre otros datos que se tendrán en cuenta al evaluar la evolución de las propiedades del sistema y sus beneficios frente a una fachada común, en la siguiente imagen se observa la localización de la estación meteorológica que igualmente cuenta con un sensor al interior que por medio de un software online podemos extraer las mediciones puntuales que necesitemos en cualquier momento, simplemente teniendo una conexión a internet.



Figura 21. Instalación de estación meteorológica.

Adicionalmente, se ha realizado la conexión de la estación meteorológica con la infraestructura GAMMA. Para ello, una vez la estación meteorológica ha sido instalada y conectada a la red para comunicarse se procedió a crear un servicio desarrollado en Python, para obtener los datos de la estación meteorológica y enviar dichos datos a Nexus para ir almacenándolos en la Base de Datos y poder visualizarlos a través de una vista de variables. Para obtener los datos de la estación meteorológica se ha hecho uso de la API de ecowitt.net con la MAC de la estación meteorológica y junto a la API Key y la APP Key generadas por la plataforma. Con esto se obtenían los datos de la estación meteorológica a través de la API y una vez obtenidos todos los datos se comunicaba con la API de Nexus para enviar estos datos y almacenarlos en la Base de Datos. Este servicio se va ejecutando cada 30 minutos y se encarga de recopilar los datos en un histórico de cada 5 minutos. Si no se pudiera comunicar con la API de la estación meteorológica o con la API de Nexus para guardar los datos de un periodo de tiempo a los 30 minutos lo volvería a intentar con los datos de los últimos 30 minutos más los datos que no haya podido recoger anteriormente. Este servicio se encuentra ejecutándose en el equipo de GAMMA01 como servicio de Windows cada 30 minutos.

Parámetros de la consulta

Fecha inicio: 26/10/2023 0:00:00 | Fecha fin: 26/10/2023 12:51:36 | Modo de consulta avanzado

Origen de los datos: Datos brutos | Agrupar datos cada: 5 minutos

Gráfico Tabla

T5	indoor_humidity	indoor_temperature	outdoor_dew_point	outdoor_feels_like	outdoor_humidity	outdoor_temperature	pressure_absolute	pressure_relat
26/10/2023 8:00:00	56	22.2	14.3	20.9	66	20.9	747.2	
26/10/2023 8:05:00	56	22.1	14.3	20.8	66	20.8	747.3	
26/10/2023 8:10:00	56	22.1	14.2	20.8	66	20.8	747.4	7
26/10/2023 8:15:00	56	22.2	14.2	20.8	66	20.8	747.3	7
26/10/2023 8:20:00	56	22.2	14.2	20.8	66	20.8	747.3	
26/10/2023 8:25:00	56	22.2	14.2	20.9	66	20.9	747.2	
26/10/2023 8:30:00	56	22.2	14.3	21	66	21	747.3	
26/10/2023 8:35:00	56	22.2	14.4	20.9	66	20.9	747.3	7
26/10/2023 8:40:00	56	22.1	14.4	21	66	21	747.4	7
26/10/2023 8:45:00	56	22.1	14.3	20.9	66	20.9	747.4	7
26/10/2023 8:50:00	56	22.2	14.4	21	66	21	747.5	7
-----	---	---	---	---	---	---	---	---

Figura 22. Visualización de lista de variables de estación meteorológica en GAMMA

- Sensórica ambiental: T, ocupación y conexión con GAMMA

Se realizó el estudio de la ubicación de la planta piloto, realización del cuadro eléctrico a medida y la puesta en marcha/instalación, siendo la ubicación finalmente seleccionada la sala de “Grados IP”, en la cual se llevó a cabo la instalación de un sensor de presencia y uno de temperatura/humedad en el interior de la sala.



Figura 23: Realización del cuadro eléctrico tanto en componentes como en instalación en la sala, seguimiento y mantenimiento en las instalaciones realizadas con AIDIMME.



Figura 24: Cuadro eléctrico + sensor de temperatura/humedad.

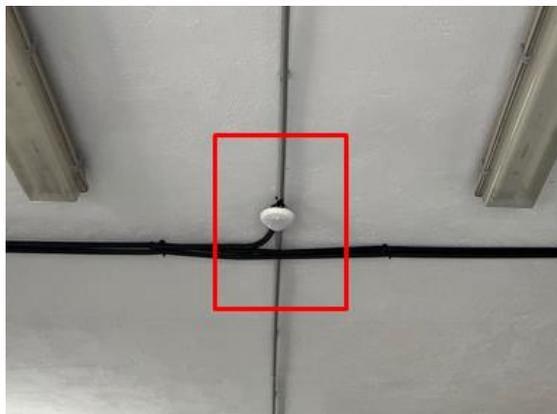


Figura 25: Sensor de presencia.

Una vez se realizó la instalación y la conexión con la red de GAMMA se procedió a realizar la comunicación de los sensores para poder almacenar en la Base de Datos de Nexus los datos leídos de los sensores de temperatura/humedad y de presencia. La comunicación se realizó a través de Modbus TCP comunicando con el Módulo TCW241 con dirección IP **172.25.147.117**. Se utilizó la herramienta **Industrial Gateway OPC Server 7** para comunicar con el módulo para poder leer los valores de los sensores, siendo el primer paso el registro del módulo en la plataforma.

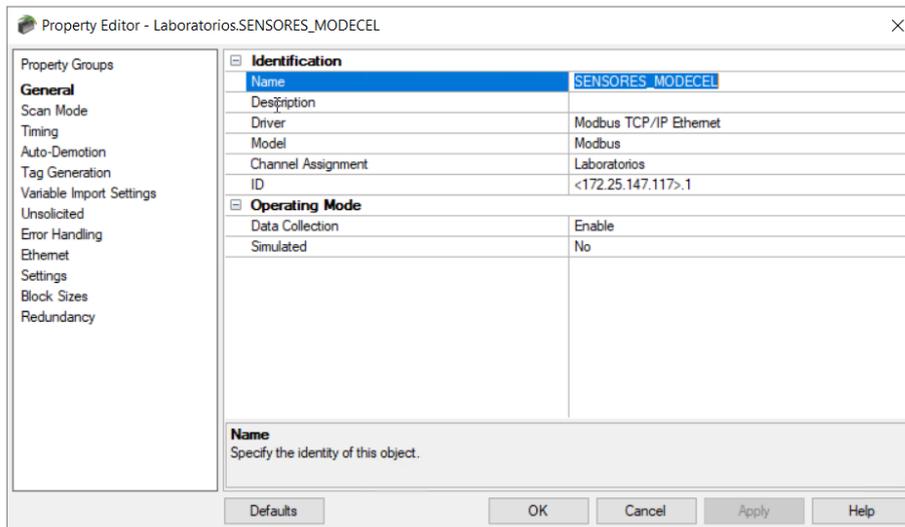


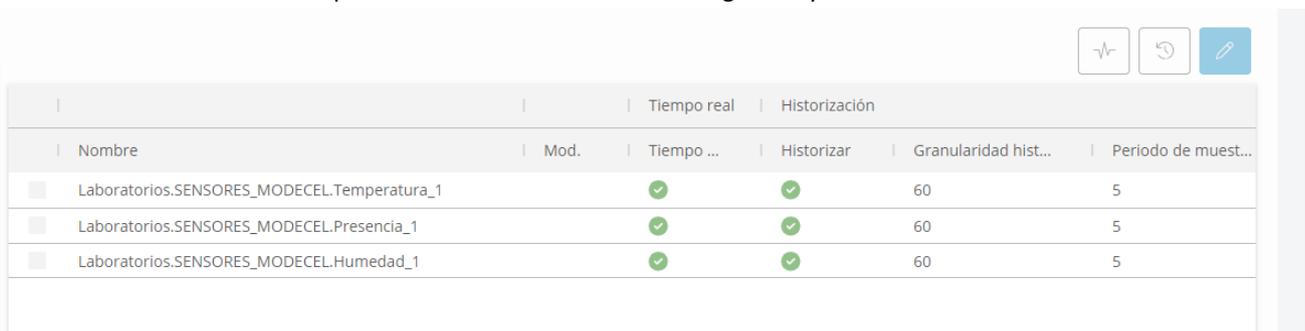
Figura 26: Registro de sensores en plataforma Nexus – GAMMA.

Una vez registrado se añadieron las variables deseadas indicando sus registros Modbus correspondientes.

Tag Name	Address	Data Type	Scan Rate	Scaling
Presencia_1	100101	Boolean	5000	None
Temperatura_1	400101	Float	5000	None
Humedad_1	400103	Float	5000	None

Figura 27: Captura variables sensores en plataforma Nexus – GAMMA.

Seguidamente, se enviaron los datos a Nexus para almacenarlos en la Base de Datos y se procedió a configurar los datos de los sensores que recibe a través del servicio de Windows, indicándose lectura en tiempo real y almacenamiento de históricos en base de datos. El periodo de muestreo será cada 5 segundos y el almacenamiento minutil.



Nombre	Mod.	Tiempo real	Historización	Granularidad hist...	Periodo de muest...
Laboratorios.SENSORES_MODECEL.Temperatura_1		✓	✓	60	5
Laboratorios.SENSORES_MODECEL.Presencia_1		✓	✓	60	5
Laboratorios.SENSORES_MODECEL.Humedad_1		✓	✓	60	5

Figura 28: Configuración lectura y almacenamiento de datos de sensores en plataforma Nexus - GAMMA.

Parámetros de la consulta

Fecha inicio: 26/10/2023 0:00:00 | Fecha fin: 26/10/2023 13:09:14 | Modo de consulta avanzado

Origen de los datos: Datos brutos | Agrupar datos cada: 1 minuto

Gráfico Tabla

TS	Laboratorios_SENSORES_MODECEL_Temperatura_1	Laboratorios_SENSORES_MODECEL_Presencia_1	Laboratorios_SENSORES_MODECEL_Humedad_1
26/10/2023 12:43:00	22,9375	1	57,4375
26/10/2023 12:44:00	22,9375	1	57,375
26/10/2023 12:45:00	22,9375	1	57,375
26/10/2023 12:46:00	22,9375	1	57,375
26/10/2023 12:47:00	22,9375	1	57,375
26/10/2023 12:48:00	22,9375	1	57,375
26/10/2023 12:49:00	22,9375	1	57,4375
26/10/2023 12:50:00	22,9375	1	57,3125
26/10/2023 12:51:00	22,9375	1	57,375
26/10/2023 12:52:00	22,9375	1	57,375
26/10/2023 12:53:00	23	1	57,3125

Figura 27: Ejemplo visualización de variables registradas en plataforma Nexus – GAMMA.

4.1.2. Estructura para validación de metodología para la mejora del comportamiento energético de edificios.

Con el objetivo de validar parcialmente la metodología desarrollada se llevó a cabo la modelización y caracterización del comportamiento energético del edificio antes y después de la puesta en marcha de una medida real de mejora energética, concretamente, la instalación de revestimientos naturales para mejorar el aislamiento térmico.

Para llevar a cabo este procedimiento de validación se aprovecha la infraestructura “piloto 1” definida en apartados anteriores, y que consta de sensores de temperatura y presencia, estación meteorológica, revestimientos sostenibles y termopares integrados en la fachada, aprovechándose asimismo la adquisición de datos energéticos y ambientales del edificio de ITE que posibilita la infraestructura GAMMA (*descrita en apartado 4.2.*).

El piloto usado para testear el efecto de aislamiento de los módulos diseñados y desarrollados por AIDIMME consiste en una edificación sencilla de ITE, de una altura junto al edificio principal pero físicamente separada, con diversas salas para la realización de distintos ensayos dentro de las actividades desarrolladas por ITE.

En esta edificación separada se encuentran las salas: Sala Bobinas, Laboratorio de interoperabilidad, Sala Resistencias y Laboratorio Grados IP. En este último laboratorio, en su muro externo con orientación hacia el Este, es donde se han instalado los paneles de aislamiento desarrollados por AIDIMME.



Figura 28. Paneles instalados en la fachada Este del edificio piloto.

Esta sala no está climatizada, y tampoco consta de ninguna ganancia interna apreciable, por lo que resulta una buena localización para analizar la evolución libre de las temperaturas en las capas del muro externo sin estar influenciadas por ganancias internas o aportes de calor a la zona, solamente en base a la variación de las condiciones externas y la masa de inercia térmica del interior de la sala. Debido al uso de la sala en las actividades de ITE, la puerta hacia el exterior de esta sala puede ser abierta en ciertas ocasiones. Por este motivo se ha equipado a la sala con un sensor para detectar cuando entra alguna persona.

En el estado inicial del edificio, el muro externo está compuesto por un bloque de hormigón con un acabado de enfoscado de mortero en ambas caras interna y externa. Sobre este muro inicial se han añadido los paneles de aislamiento desarrollados por AIDIMME sin eliminar ninguna de las capas ya existentes en el estado anterior del muro.

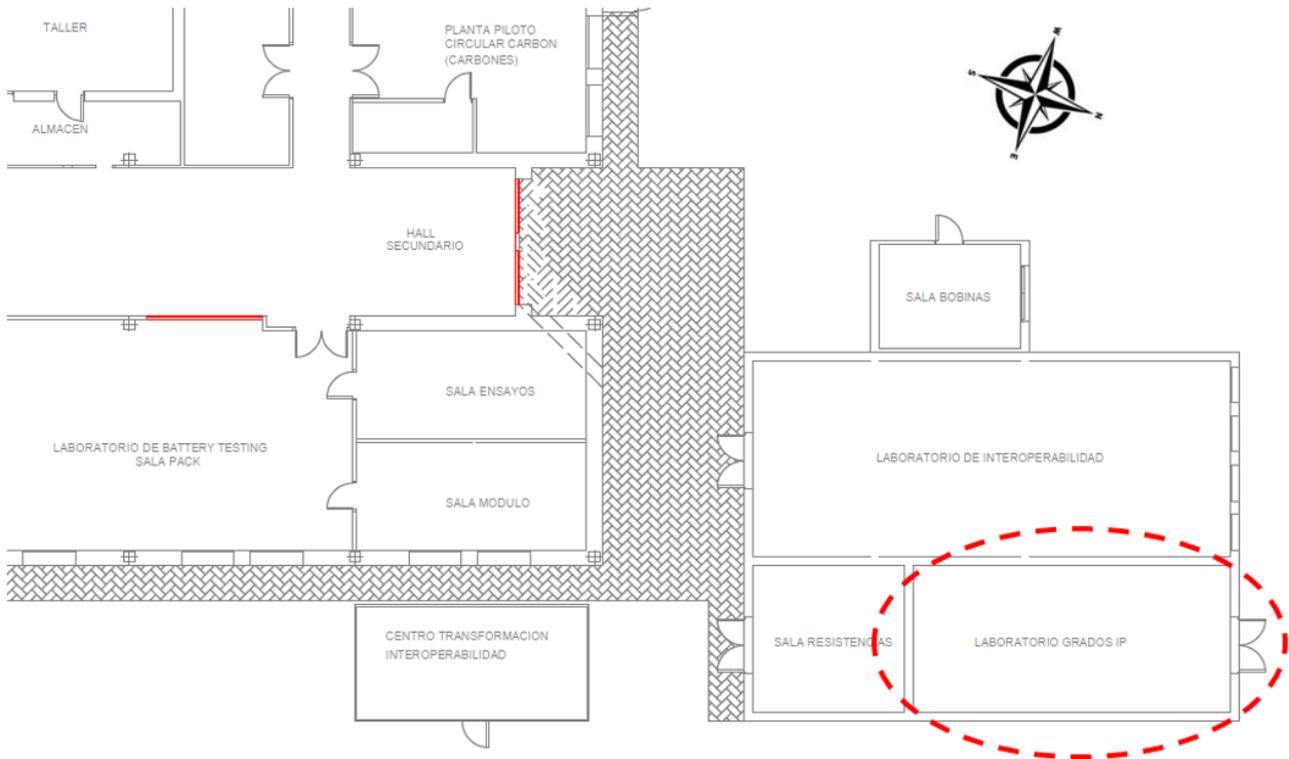


Figura 29. Plano de la sala utilizada como piloto de los paneles de aislamiento.

Por tanto, se va a utilizar toda la monitorización desplegada para el estudio y valoración de los paneles aislantes para evaluar también la fiabilidad de los resultados de los modelos de simulación para el escenario con los paneles de fachada comparándolos con los resultados sucedidos realmente.

4.2 Piloto 2: CEMS

Por otro lado, para verificar el funcionamiento de la aplicación de gestión energética colectiva (CEMS), se propone el uso de la planta piloto GAMMA de ITE. Esta planta piloto se ha diseñado como un entorno demostrativo para comunidades energéticas y cuenta con generación fotovoltaica, además de recopilar datos reales de consumo residencial. A continuación, se muestra en **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** el esquema de jerarquía del Piloto CEMS:

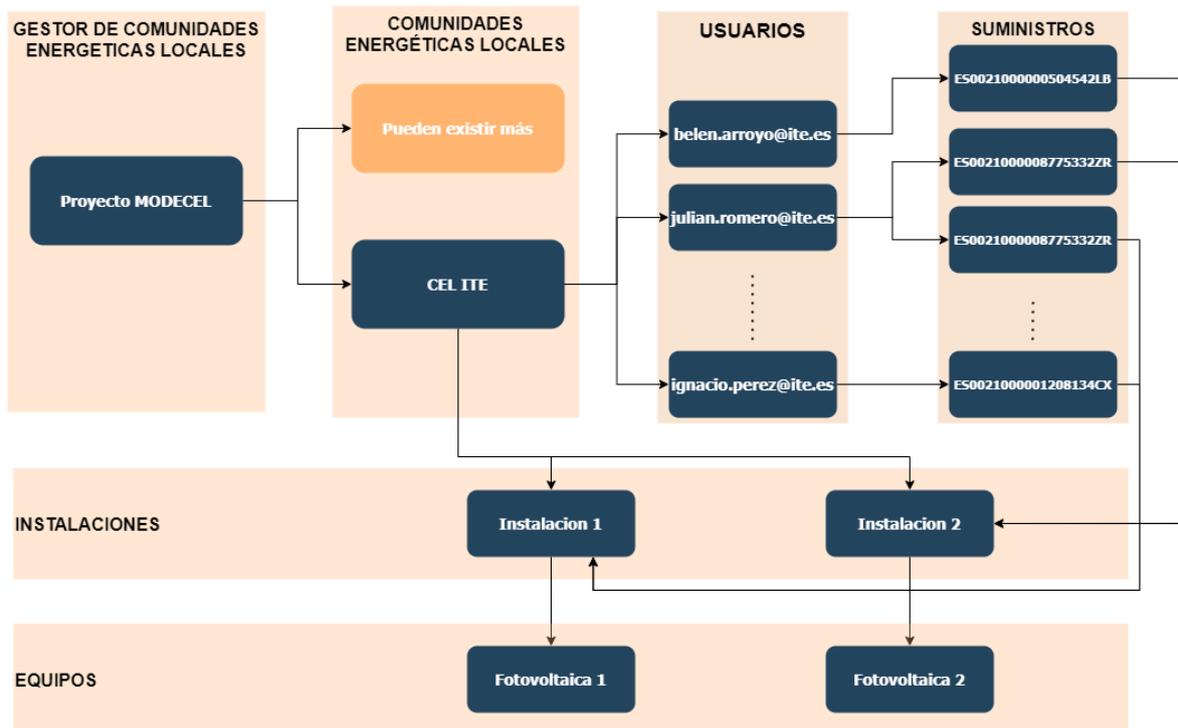


Figura 30: Esquema de Jerarquía del CEMS en el piloto

El piloto de CEMS implementado costa de:

- I. **Gestor de CELs:** En primer lugar, se da de alta el gestor de la CEL, para ello se debe registrar (/register) el gestor aportando la información de la **Figura** , una vez registrado el gestor accede desde la página de inicio de la Web.

Figura 31: Registro de un nuevo gestor de comunidades energéticas locales (CELs)

- II. **Dar de alta la CEL:** se da de alta la CEL que se encuentra en la provincia de Valencia, específicamente en las instalaciones de ITE, para ello se completó la información de la **Figura** para crear la CEL.

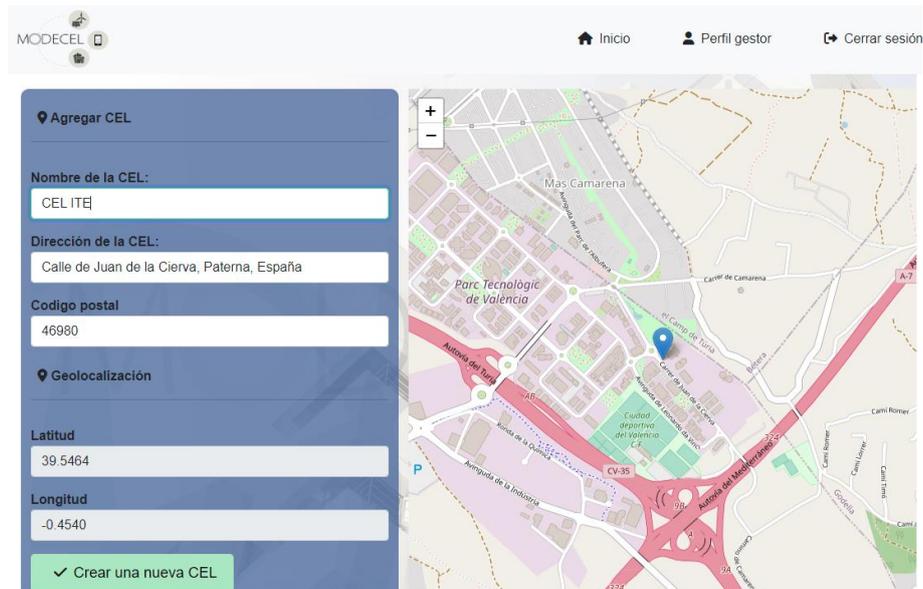


Figura 32: Creación de la comunidad energética local (CELs)

Una vez creada la CEL, el gestor la visualiza en la página de inicio (ver Figura) y puede entrar y añadir los usuarios, e instalaciones pertenecientes en la CEL. Además, el gestor, si lo necesitara, puede dar de alta todas las CELs que gestione.

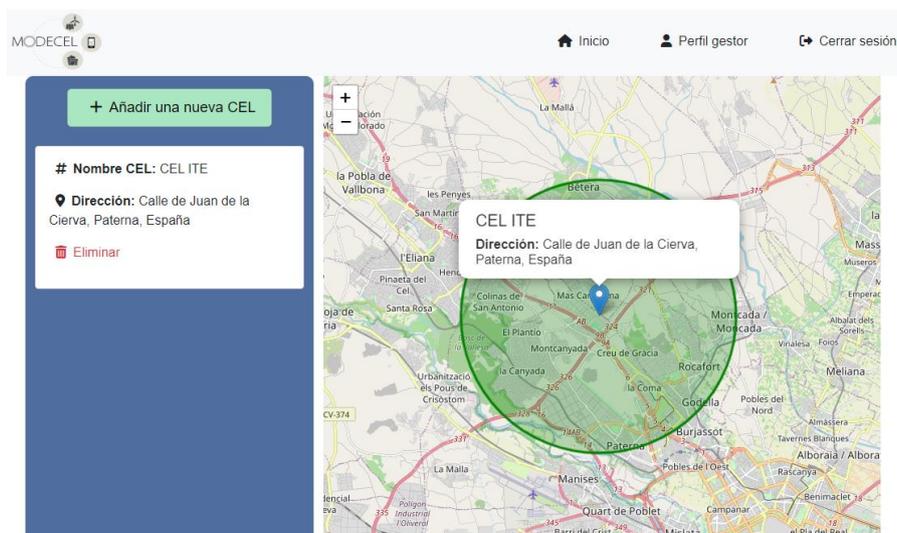


Figura 33: Comunidad energética local (CELs) creada

- III. **Usuarios de las CELs:** El gestor debe ingresar a la CEL y añadir todos los usuarios que pertenecen a la CEL, para ello aporta los email de los usuarios. Con esta información, la plataforma Web envía un email a cada usuario con las credenciales para ingresar en la APP Modecel.

Los usuarios añadidos para el piloto se muestran en la Figura, en total se dieron de alta 10 usuarios los cuales tienen 12 suministros.

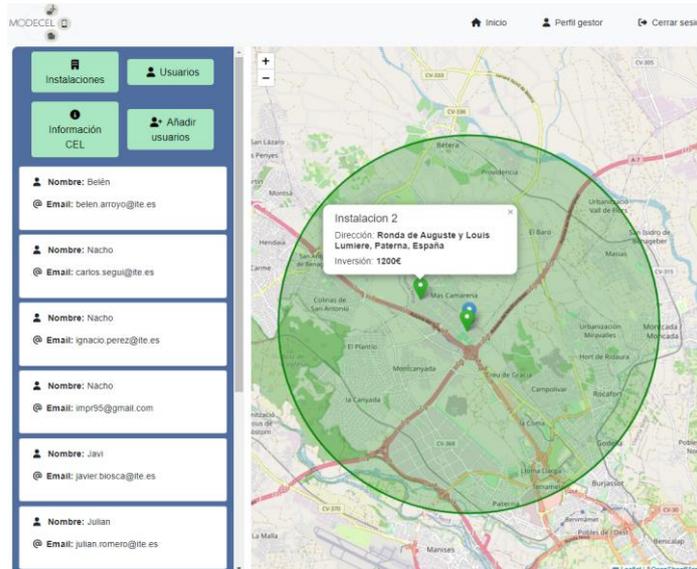


Figura 34: Usuarios pertenecientes a la CEL piloto

IV. **Suministros:** entendemos por suministro de energía, toda vivienda o negocio que tiene asociado un Código Universal de Punto de Suministro (CUPS) y que pertenece a la CEL.

Para dar de alta un suministro es el propietario del suministro (usuario) el encargado de realizarlo desde la APP, para ello, accede al apartado de “Crear Suministro” y aporta la información de dicho suministro: CUPS, Demanda eléctrica, mes de la demanda, tipo (residencial, industria, oficina, pyme, etc) y la tarifa eléctrica asociada. Los datos que debe completar el usuario para dar de alta un suministro en la CEL se muestran en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**



Figura 35: Alta de un suministro por parte del usuario

En el piloto se encuentran **12 suministros**, los cuales tienen una potencia contratada en cada periodo y una tarifa asociada, Los datos detallados de cada suministro del piloto se muestran en la siguiente tabla:

CUPs	Demanda mensual (Jul)	P1 (kW)	Precio P1	P2(kW)	Precio P2	Tarifa
ES002100000504542LB	115..15	3	0.09	3	0.09	PVPC
ES0021000008775332ZR	235.03	4.4	0.09	4.4	0.09	PVPC
ES0021000001208134CX	459.56	5.5	0.11	5.5	0.11	PVPC
ES0021000008728823SK	444.5	5.75	0.10	5.75	0.10	PVPC
ES0021000011733188TB	396.77	4.4	0.09	4.4	0.09	PVPC
ES0021000008603136WY	265.14	3.45	0.11	3.45	0.11	PVPC
ES0021000008760801AY	314.2	3.5	0.09	3.5	0.10	PVPC
ES0021000008733757TX	214.66	5.75	0.10	5.75	0.10	PVPC
ES0021000013929980VG	158.75	3.45	0.12	3.45	0.11	PVPC
ES0021000017779449ZD	388.87	3.45	0.11	3.45	0.10	PVPC
ES0021000011799340RS	236.45	4.6	0.07	4.6	0.08	PVPC
ES0021000013543340LV	210.75	3.2	0.07	3.2	0.08	PVPC

Tabla 2: Suministros de la CEL

- V. **Instalaciones:** En el piloto se han desplegado **2 instalaciones** y en cada una de las instalaciones hay se han asociado suministros de la siguiente manera:

CUPs	Inst.	% inversión
ES002100000504542LB	1	12.15
ES0021000008775332ZR	1	15.65
ES0021000001208134CX	2	23.07
ES0021000008728823SK	2	34.26
ES0021000011733188TB	2	13.08
ES0021000008603136WY	2	8.53
ES0021000008760801AY	2	7.72
ES0021000008733757TX	1	30.38
ES0021000013929980VG	1	16.43
ES0021000017779449ZD	1	25.39
ES0021000011799340RS	2	9.84
ES0021000013543340LV	2	3.50

Tabla 3: Suministros en cada instalación

A cada suministro se la asocia un porcentaje de inversión basándose en el coste de la instalación y la cantidad invertida. Para el piloto CEMS, se estableció que cada suministro realiza una inversión que corresponde al porcentaje de la demanda total de ese CUP respecto a la demanda total de la instalación

El alta de una instalación la realiza el Gestor desde la web y para ello todos los usuarios debieron de dar previamente el alta de los suministros, ya que el gestor debe indicar donde se encuentra la instalación, la inversión de la instalación, los suministros asociados y el porcentaje de inversión de cada suministro.

VI. Equipos: En cada se encuentran un equipo o mas asociados, los equipos pueden ser Fotovoltaicos (FV), baterías o puntos de recarga. En el caso del piloto, el Gestor desde la Web ha dado de alta en una de las instalaciones un equipo FV de la siguiente manera:

- Instalación 1: un equipo FV de 15 kWp. Tiene 7 suministros asociados.
- Instalación 2: un equipo FV de 5 kWp. Tiene 5 suministros asociados.

Con el alta de toda la información anterior tenemos en marcha el piloto sobre el cual se realizan las validaciones.

5 PUESTA EN MARCHA DE LAS PRUEBAS DE VALIDACIÓN

En la puesta en marcha de las pruebas de validación se llevan a cabo una serie de evaluaciones sobre los pilotos delegados con el objetivo de confirmar la efectividad y la funcionalidad de las soluciones propuestas. Las validaciones realizadas se muestran a continuación.

5.1 Validación recubrimiento aislante

A partir de los sistemas instalados para la monitorización que ya se han descrito en el apartado anterior se han obtenido una serie de resultados con las lecturas procesadas en cada una de las capas del sistema que se definieron anteriormente.

Para tener una rápida interpretación de los resultados, se ha decidido crear una gráfica con temperaturas a una misma hora específica en cada una de las capas del sistema, que se ve reflejada en el fondo de la gráfica, posteriormente se extraen conclusiones de las lecturas analizadas, con el fin de definir si el sistema aislante está realizando su función.

En la siguiente imagen se observan 2 gráficos: una es la lectura de temperaturas en las capas del sistema incluido el elemento SATE desarrollado por AIDIMME, la gráfica inferior de la imagen representa las lecturas tomadas a la misma hora del día, pero en el muro existente sin el sistema SATE. Los valores destacados en color anaranjado/rojizo son los valores del exterior y del interior de la sala, obtenidos por medio de la estación meteorológica.

	Outdoor	A	B	C	D	E	F	Indoor
ESPESOR (cm)	-0,5	0,00	0,60	2,50	5,00	11,00	16,00	17,00
SATE 2	21,10	21,27	21,73	24,68	26,20	27,06	27,14	26,40
EXISTENTE (°C)	21,10				22,40	24,68	25,75	26,40

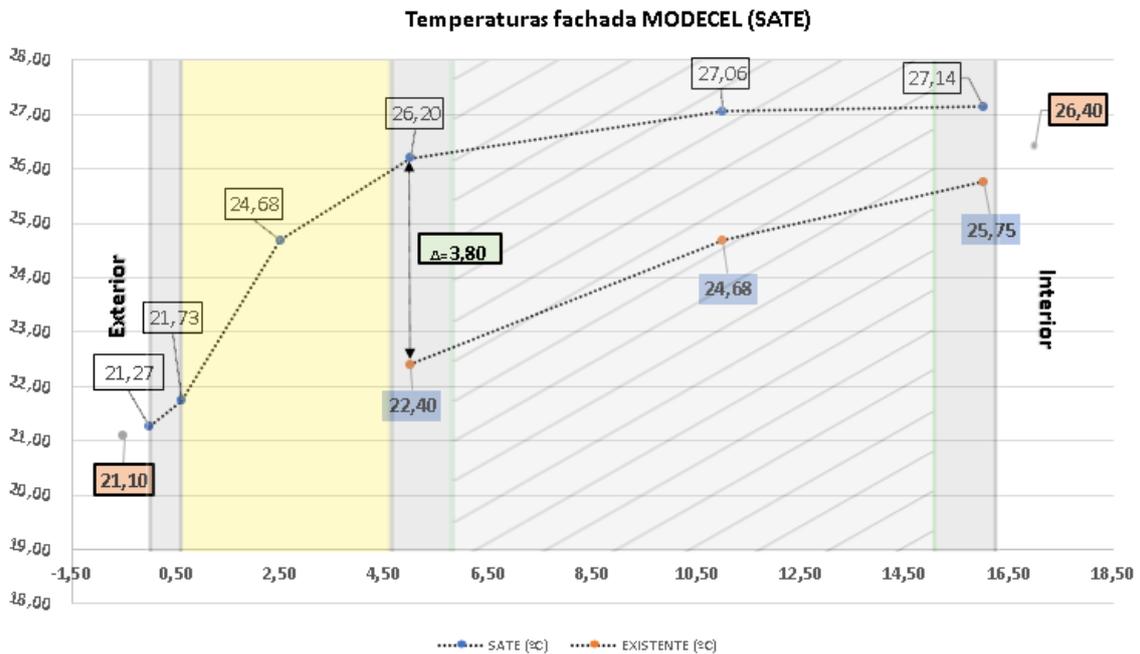


Gráfico 1. Comparativa sistema SATE vs fachada existente

Se puede observar como el sistema está realizando un trabajo de aumento de temperaturas en sus capas con respecto al sistema existente, manteniendo de esta forma un confort interno.

En las siguientes gráficas se observa como el sistema trabaja a distintas horas del día, como puede ser a altas o bajas temperaturas y como el sistema SATE beneficia a los usuarios.

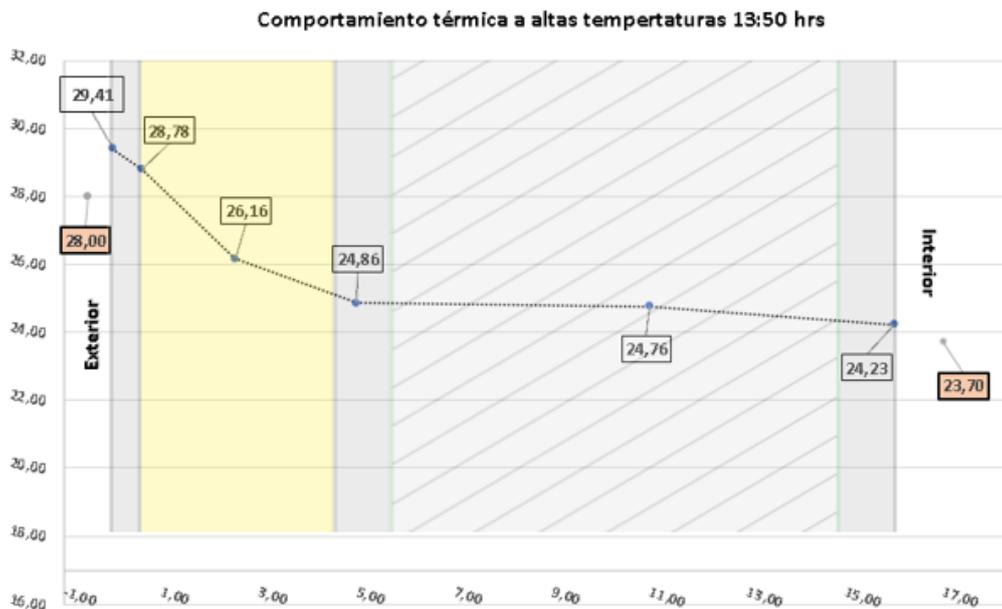


Gráfico 2. Comportamiento térmico SATE a altas temperaturas.

En la siguiente gráfica se observa la inercia térmica que provoca el sistema SATE, el cual de alguna forma almacena el calor obtenido en las horas de mayor calor y con sus capas no permite su salida en momentos en que la temperatura exterior es menor y mantiene una temperatura confortable para sus usuarios en el interior, observan de esta manera que el sistema está realizando su función de manera adecuada.

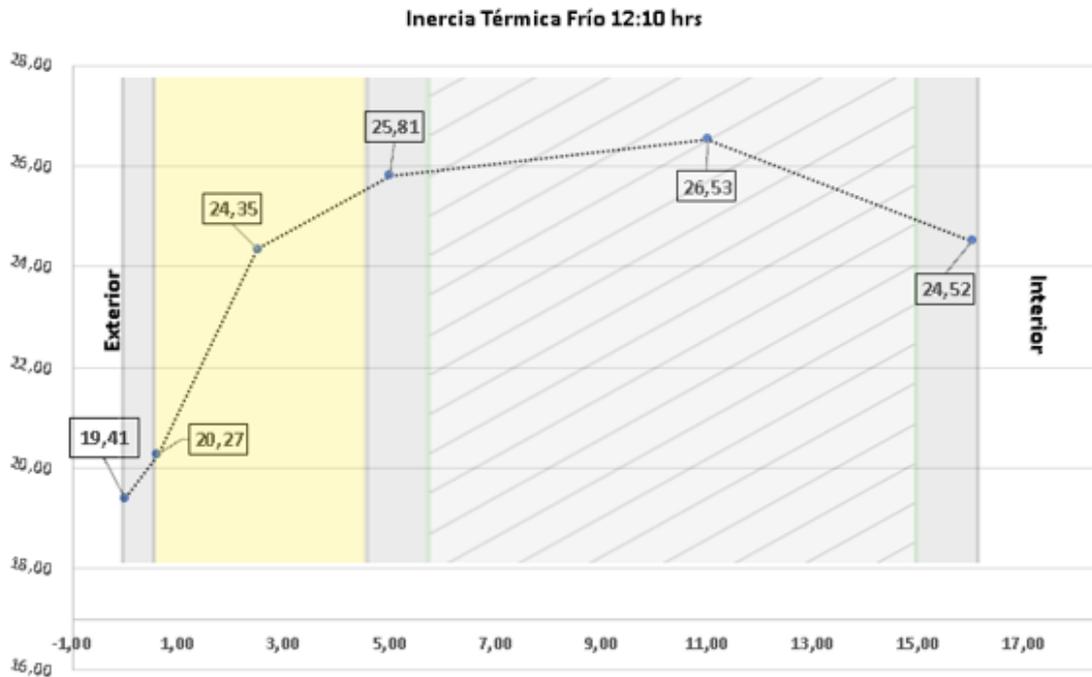


Gráfico 3. Inercia térmica en sistema SATE en clima frío.

Finalmente, en el siguiente gráfico se observa como las temperaturas del sistema SATE instalado por AIDIMME para el proyecto MODECEL tienen una menor variación en el tiempo que el sistema original de la fachada del laboratorio de grados IP del ITE. El gráfico naranja muestra la tendencia de temperaturas a lo largo de un día con el sistema SATE, en este gráfico se observa que las variaciones entre las altas y bajas temperaturas son muy bajas, provocado por la inercia térmica que provoca el sistema SATE.

En cambio, en el gráfico azul (fachada inicial) se observan fluctuaciones más bruscas en el tiempo lo cual evita tener el confort necesario para los usuarios de las instalaciones.

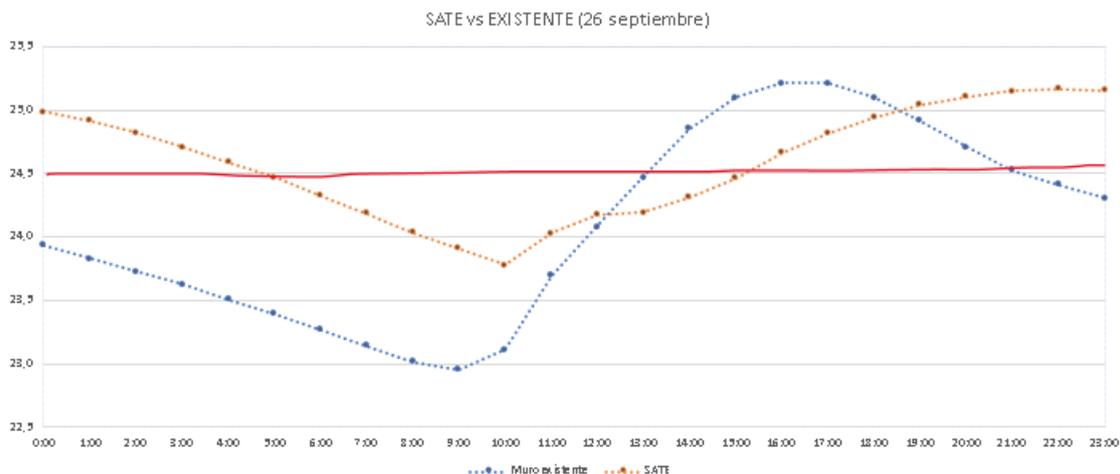


Gráfico 4. Variación de temperaturas SATE vs Existente durante un día.

La monitorización del sistema SATI se realizó de la misma forma que en el SATE, con la diferencia que en este caso se monitorizan por separado el sistema propiamente SATI y por otro la fachada original del sitio, en la siguiente gráfica

podemos observar su comportamiento, donde observamos un cambio de temperaturas del revestimiento interior de cerca de 2.5°C, con lo cual podemos determinar que está realizando su función con gran eficacia para mantener el confort interno del espacio estudiado.

	Outdoor	A	B	C	D	E	F	Indoor
ESPESOR (cm)	-0,5	0,00	0,60	1,50	6,00	11,00	16,00	17,00
SATI (°C)	28,00					21,60	23,50	23,50
EXISTENTE (°C)	18,00			24,51	26,28	23,89		25,50

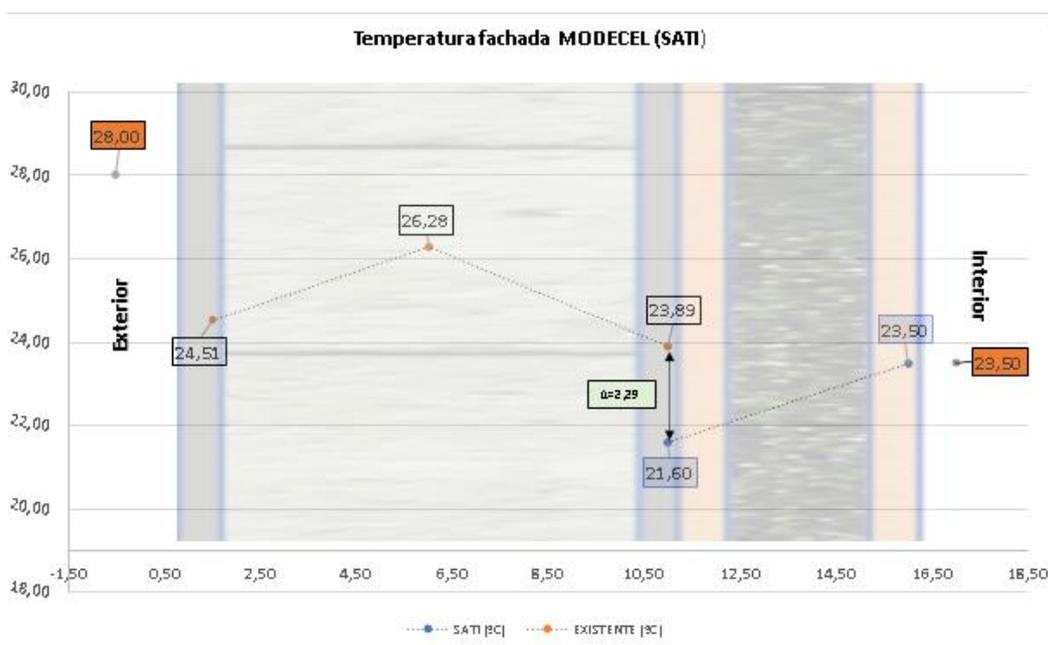
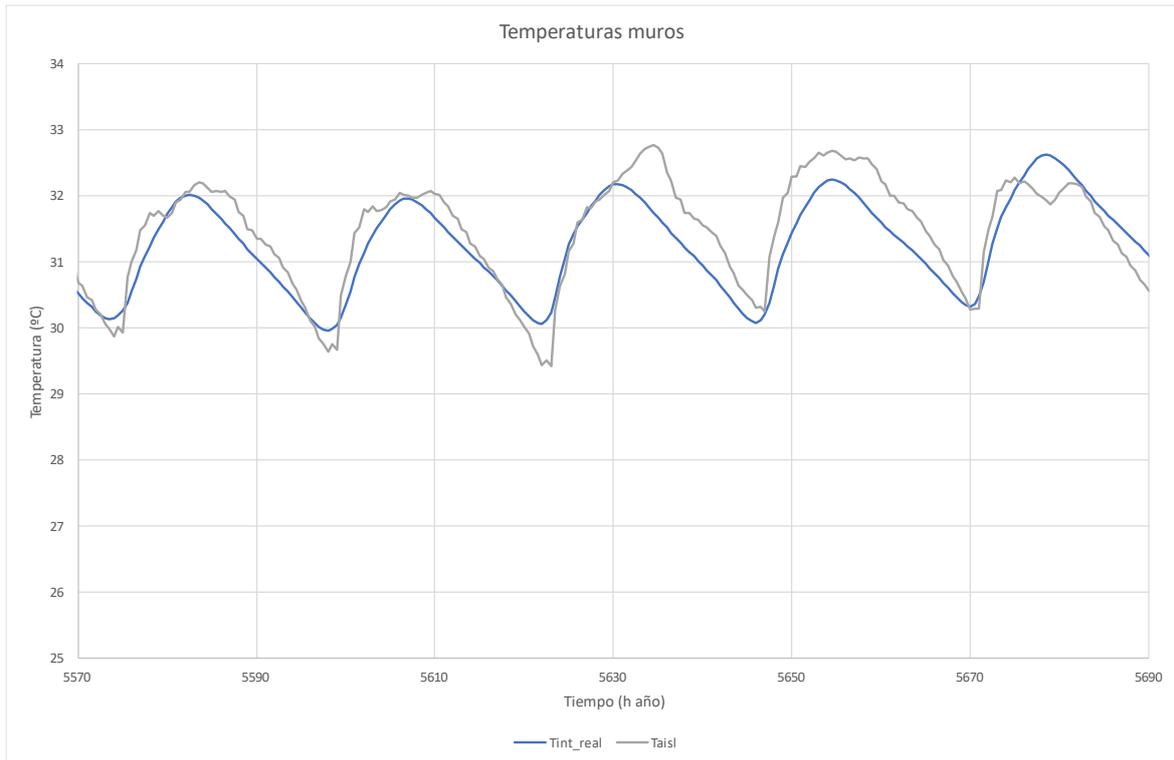


Gráfico 5. Sistema SATI vs existente

5.2 Validación metodología mejora energética

Dado que en el proyecto se ha realizado un piloto físico real para comprobar y demostrar las características y beneficios de los paneles de fachada diseñados y producidos por Aidimme con aislamientos en base a cáscara de arroz y poseidonea revalorizadas (descrito en el apartado anterior **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia. ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**), se va a hacer uso de toda la monitorización desplegada para realizar también una validación de los efectos estimados por la metodología sobre la eficiencia energética del edificio para la selección de las medidas de eficiencia energética más convenientes, para comprobar así que efectivamente los resultados estimados por la metodología realmente se aproximan a los comportamientos energéticos en la realidad.

Esta validación se realiza a través de la comparación de los valores estimados por la simulación con los valores reales sucedidos para la evolución de la temperatura ambiente en la sala donde se han implementado estos paneles, dadas las condiciones externas sucedidas y las características de la envolvente, y para la evolución de las temperaturas en la superficie interna del muro de fachada.

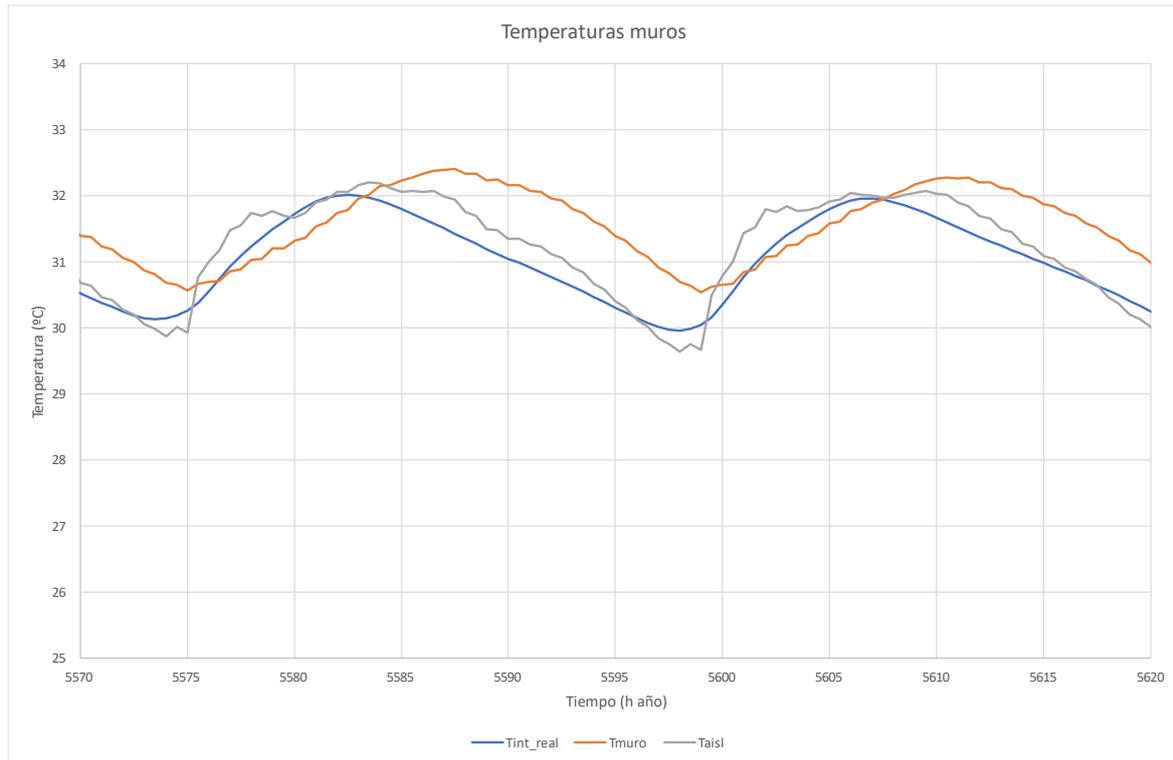


Gráfica 6. Comparación entre la evolución real de la superficie interna del muro exterior y la estimación en la metodología para la valoración de medidas de eficiencia energética.

La **Gráfica** muestra esta comparación entre la evolución real sucedida entre el 21 y el 25 de agosto de la temperatura de la superficie interna del muro externo con aislamiento y la evolución estimada por el programa utilizado en la metodología para la evaluación de las medidas de eficiencia energética.

Esta gráfica muestra una evolución muy aproximada de esta temperatura de la superficie interna, y la validación de esta estimación cobra más valor si además se tiene en cuenta que la sala no ha sido climatizada en ningún momento y que se ha dejado a la libre evolución de la temperatura interna en función de las condiciones externas.

Para poder evaluar la cuantificación del efecto introducido por el aislamiento, se representa en la **Gráfica** tanto esta evolución de la superficie interna del muro con aislamiento como la que habría sido la evolución de esta superficie sin el aislamiento.



Gráfica 7. Comparación de la evolución de la temperatura real de la superficie interna y la estimación con y sin aislamiento.

Se puede comprobar en esta **Gráfica** cómo la evolución del muro sin el aislamiento sí que realmente habría sido más diferente a la evolución real sucedida, pero el modelo ha podido estimar correctamente el efecto del aislamiento sobre la evolución térmica del muro, modulando bastante bien la estimación de la evolución de la temperatura hacia la forma en que ha sucedido en la realidad.

Y una buena estimación de la evolución térmica de la envolvente implica por tanto una estimación bastante precisa de las necesidades térmicas para la climatización.

Al analizar con detalle esta gráfica se constata la buena estimación del efecto de la transmitancia térmica, reflejado en el rango de la amplitud de la variación de temperaturas, y también una buena estimación del efecto de su inercia térmica, reflejado en el desfase temporal que se puede observar entre la estimación de la evolución de la temperatura del muro sin aislamiento y la temperatura real de la superficie interna del muro con aislamiento.

De esta manera se comprueba que las estimaciones de la metodología para la valoración del impacto de las medidas de eficiencia energética sobre el comportamiento térmico del edificio son bastante precisas y proporcionan por tanto una estimación admisible de su posible efecto.

5.3 Validación CEMS

5.3.1 Validación Algorítmica

La primera validación realizada en el proyecto se enfoca en varios módulos, que incluyen el cálculo de indicadores, la predicción de consumo y generación a corto plazo, la caracterización del consumo a largo plazo, las recomendaciones y el cálculo de coeficiente de reparto. Para ellos, se hizo uso de datos históricos de consumo y generación, datos reales de consumos de viviendas residenciales y datos reales de generación de dos plantas fotovoltaica.

5.3.1.1 Obtención de datos

Los datos históricos de consumo se obtienen por medio de la API de DATADIS. Para ello se ha desarrollado un algoritmo propio que está incluido en una tarea programada que se ejecuta de forma automática todos los días a 18h. Si se produce algún error al ejecutarlo, se envía un correo electrónico para notificarlo. Los pasos seguidos en dicho algoritmo son los siguientes:

- Obtención de la demanda de los suministros autorizados por medio de la API de DATADIS
- Pretratamiento de los datos:
 - o Se eliminan los datos repetidos
 - o Se eliminan los datos anómalos
 - o Se completan los huecos existentes por medio datos promediados o una regresión lineal, dependiendo del número de datos seguidos que falten. La metodología en detalle se explica en el entregable E7
- Se guarda los datos pretratados en nuestra base de datos (Inlux).

Para validar que este algoritmo funciona correctamente se han hecho varias pruebas. Cada una de ellas se ha utilizado para validar las diferentes formas de completar los huecos en función de la extensión de estos. La validación se ha hecho eliminando manualmente datos con una extensión correspondiente a la prueba que se estaba haciendo, aplicando el algoritmo y luego comparando los valores resultantes con los valores reales. A continuación, se muestran los resultados para cada una de las pruebas realizadas. En naranja se muestran los datos originales y en azul los pretratados:

- Test 1: Se elimina un mes de datos entre 01/05/2021 y 01/06/2021, puesto que es una región donde se dispone de datos de años anteriores. El completado de huecos se hace utilizando el promedio de los datos de esas fechas del año anterior.

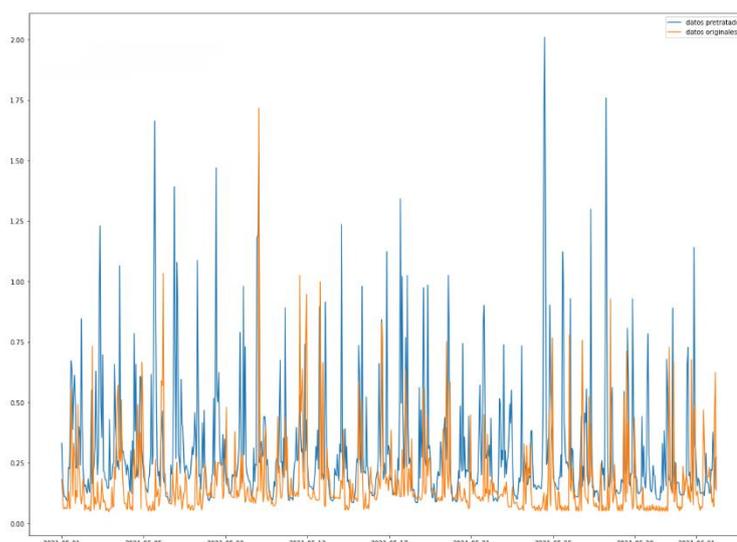


Figura 36: ejemplo validación completado de huecos, test 1

- Test 2: Se eliminan dos meses de datos entre 01/04/2021 y 01/06/2021, de tal forma que se tenga más de una semana de la que no se dispone de datos de años anteriores. Los datos se completan en dos partes, de los que se dispone de datos del año anterior, usando el promedio de esos datos. Para el resto, se utilizan los promedios de los dos meses anteriores y posteriores.

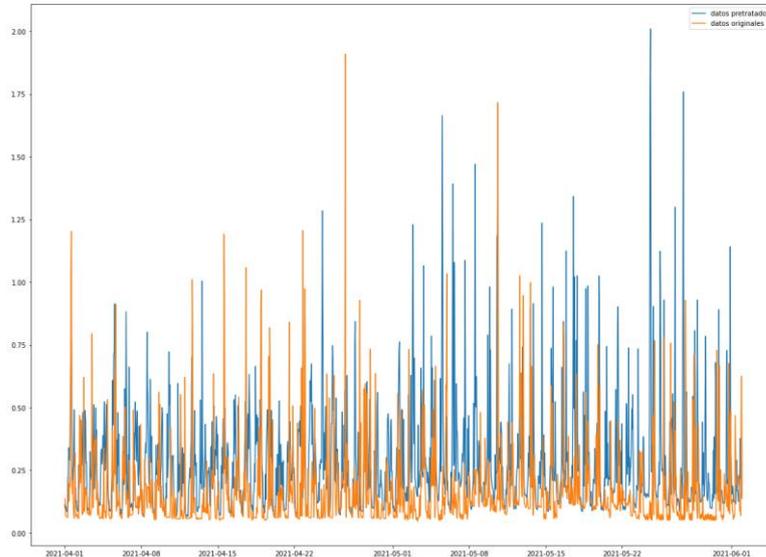


Figura 37: ejemplo validación completado de huecos, test 2

- Test 3: Se eliminan datos de más de dos meses entre el 27/04/2021 y el 01/06/2021, de tal forma que no haya más de una semana sin datos del año anterior. Igual que en el caso anterior, el rango del que se dispone de datos de años anteriores se utiliza el promedio de esos datos, y para el resto el promedio de las dos semanas anteriores y posteriores.

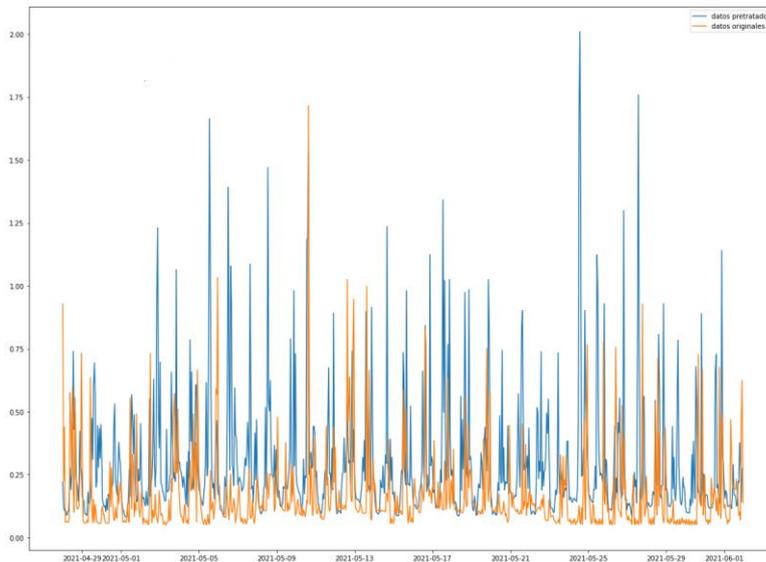


Figura 38: ejemplo validación completado de huecos, test 3

- Test 4: Se eliminan datos de 1 mes entre el 01/04/2021 y el 01/05/2021, de tal forma que no se tenga ningún dato del año anterior. Los datos se completan con los promedios de los 2 meses anteriores y posteriores.

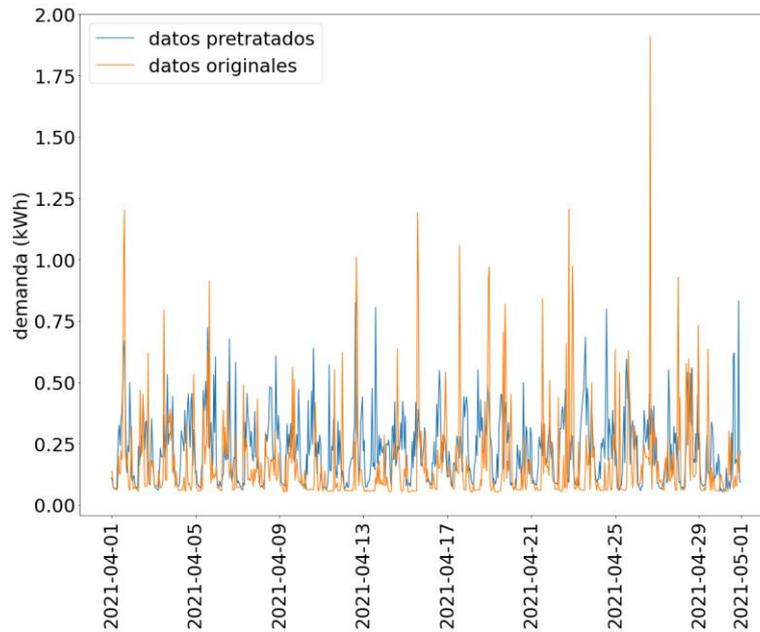


Figura 39: ejemplo validación completado de huecos, test 4

- Test 5: Se eliminan datos de menos de una semana entre el 01/05/2021 y el 05/05/2021. Para completar los huecos se utiliza el promedio de las dos semanas anteriores y posteriores.

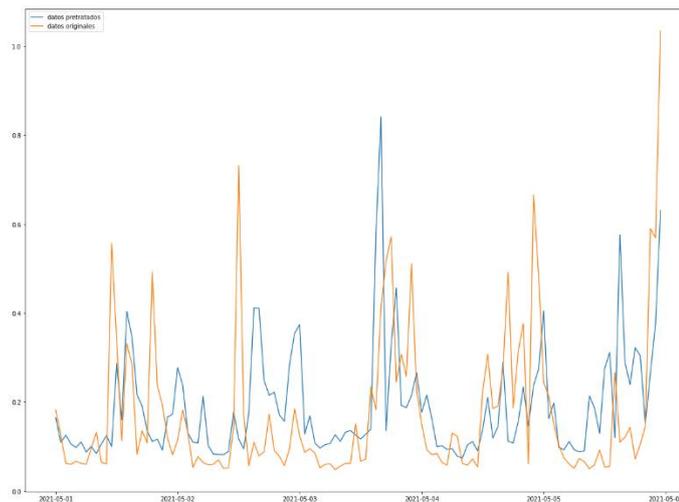


Figura 40: ejemplo validación completado de huecos, test 5

5.3.1.2 Predicción de consumo y generación

La predicción del consumo se realiza para largo plazo (4 meses) y corto plazo (3 días). En el caso de largo plazo se decidió, tras probar varios tipos de modelos diferentes, que los que mejores resultados aportaban eran los de caracterización (modelos explicados en detalle en el entregable E7). En cambio, para corto plazo se optó por utilizar un modelo de predicciones de series temporales autorregresivo.

Para la caracterización de la demanda a largo plazo se han desarrollado dos algoritmos. El primero en el que se entrenan todos los modelos (y se guardan en local) y otro en el que se hacen las predicciones usando dichos modelos. Ambos algoritmos se ejecutan de diariamente por medio de una tarea programada, en ambos casos se comprueba la fecha del

último coeficiente de reparto estimado y si faltan menos de 16 días, se realiza el entrenamiento y la posterior predicción. Si el algoritmo falla, se envía un correo electrónico notificando el error, para que quede constancia de ello.

Para validar el funcionamiento de este algoritmo y de los modelos se seleccionaron 4 meses de los que se disponía datos de demanda reales y se realizó la predicción de esas fechas como si no los tuviéramos, de forma que se pudieran comparar posteriormente los valores predichos y los valores reales y obtener una métrica del modelo.

En la siguiente figura se muestra los resultados obtenidos para uno de los suministros estudiados (en azul las predicciones y en naranja los datos originales). En la siguiente tabla se muestran los errores de cada modelo usando diferentes métricas.

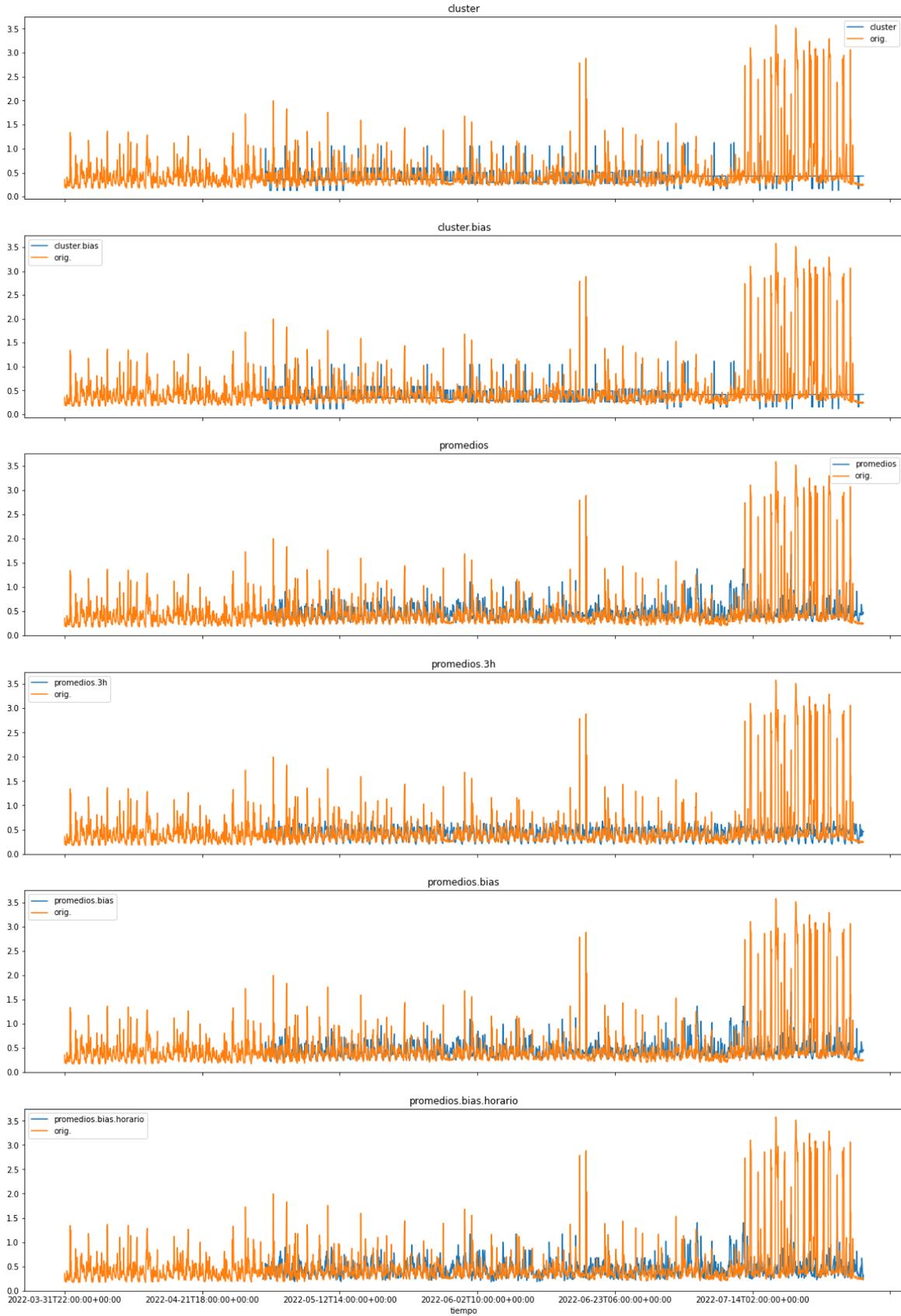


Figura 41: resultados predicción a largo plazo de todos los modelos implementados

	sMAPE	MAE	MSE
Clúster	17.32	0.22	0.25
Clúster bias	17.32	0.21	0.25
Promedios	16.58	0.22	0.23
Promedios 3h	16.30	0.21	0.23
Promedios bias	16.17	0.21	0.23
Promedios bias horario	17.55	0.23	0.25

Tabla 4: métricas de los modelos de predicción de la demanda

Para la estimación de las predicciones de demanda a corto plazo se ha creado un algoritmo en el cual se entrena el modelo buscando los mejores hiperparámetros (usando el grid search) y posteriormente se estiman las predicciones. Dicho algoritmo se encuentra dentro de una tarea programada que se ejecuta diariamente a las 19h. De tal forma, que cada día se realiza la predicción de la demanda de cada suministro para los siguientes días. Si se produce algún error durante la ejecución del algoritmo, se envía un correo electrónico indicando dicho error.

La validación se ha realizado de la misma manera que en el caso anterior. Se realiza la predicción para una fecha de la que se dispone de datos reales y se compara la predicción con ellos. En la siguiente figura se muestra los resultados obtenidos para uno de los suministros y las métricas asociadas a ellos.

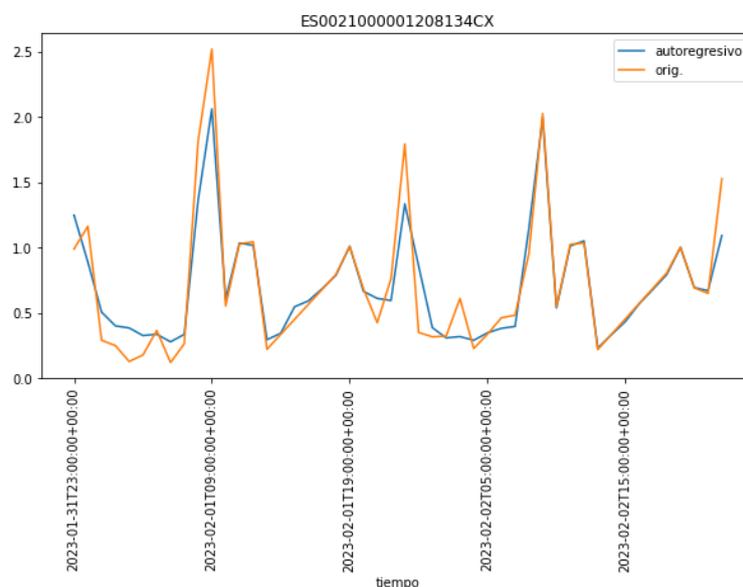


Figura 42: ejemplo predicción de la demanda a corto plazo

	sMAPE	MAE	MSE
autoregresivo	9.84	0.11	0.03

Tabla 5: métricas predicción de la demanda a corto plazo

La predicción de la generación es a corto plazo y se optó por utilizar un modelo de máquinas de soporte vectorial en cascada. Como variables de entrada se han usado:

- Datos históricos de la generación del equipo fotovoltaico. Para la validación se ha utilizado los datos que se tienen de uno de los equipos fv que hay en la planta piloto GAMMA de ITE. Por medio de una tarea programa se guardan los datos en nuestra base de datos
- Datos históricos y predicción de radiación (ghi, dni y dhi). Se obtienen de la API de Tomorrow.io. Se ha creado un algoritmo que consulta los datos de cada una de las localizaciones de las CELs y los guarda en base de datos. Si es la primera vez que se obtiene datos de esa CEL los datos históricos se obtienen de la API de Open-Meteo, ya que proporciona datos de más días en el pasado. Este algoritmo se ejecuta por medio de una tarea programada todos los días a las 17h. Si se produce algún error se envía un correo electrónico para notificarlo.

Para estimar la predicción de la generación se ha creado un algoritmo en el que en primer lugar entrena el modelo haciendo uso de las variables de entrada que se acaban de comentar y un algoritmo de optimización meta-heurístico (PSO) para buscar los mejores hiperparámetros. Y a continuación, estima las predicciones. Al igual que en los casos anteriores el algoritmo se ejecuta diariamente a las 20h por medio de una tarea programada. Si hay algún error se notifica por medio de correo electrónico.

La validación se ha realizado comparando los datos predichos con los datos reales. En la siguiente figura se muestra los resultados de 3 días de predicción, junto con su métrica.

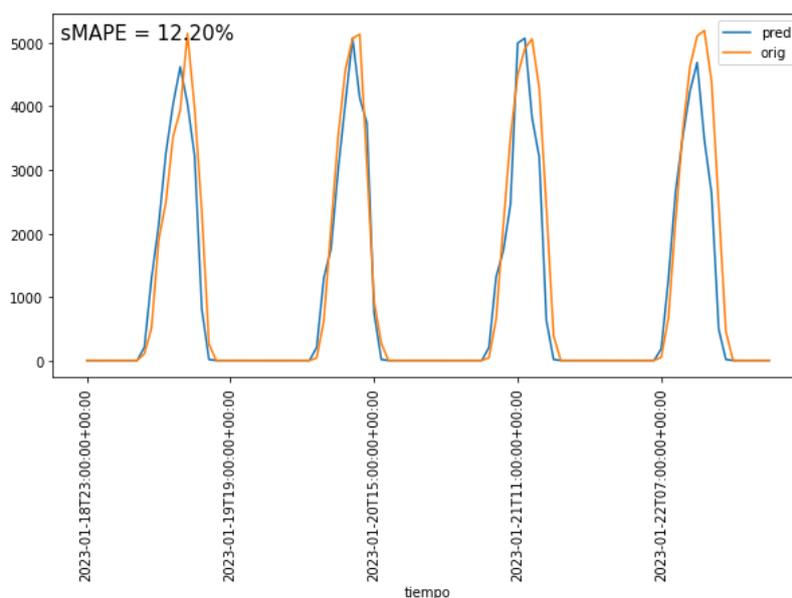


Figura 43: ejemplo predicción de la generación a corto plazo

Una vez estimada la predicción de generación, se ha creado otro algoritmo en el cual se calcula cuanta generación le corresponde a cada usuario según los coeficientes de reparto dinámicos que se han calculado, y se almacena en nuestra base de datos. Se ejecuta diariamente a las 23h por medio de una tarea programada. Si se produce algún error se notifica por correo electrónico.

5.3.2 Cálculo de indicadores

Se calculan indicadores a 3 niveles: suministro, instalación y CEL. Además, se calculan indicadores diarios, mensuales y anuales. Los indicadores calculados a nivel de suministro son:

- **Demanda:** el consumo total de electricidad durante el periodo abarcado por el indicador (diario/mensual/anual). [kWh]



- **Consumo red:** del consumo total, cuanta energía fue consumida de la red eléctrica. [kWh]
- **Fotovoltaica generada:** energía fotovoltaica total asignada a ese suministro durante el periodo abarcado por el indicador (diario/mensual/anual). [kWh]
- **Fotovoltaica autoconsumida:** energía fotovoltaica autoconsumida por el suministro durante el periodo abarcado por el indicador (diario/mensual/anual). [kWh]
- **Excedentes:** energía fotovoltaica asignada a un suministro que no se ha consumido y se ha vertido a red. [kWh]
- **Ratio de consumo de red:** porcentaje de la energía demandada que proviene de la red eléctrica. [%]
- **Ratio de autoconsumo:** porcentaje de la energía demandada que proviene de la instalación fotovoltaica compartida. [%]
- **Ratio fotovoltaico de autoconsumo:** porcentaje de la energía fotovoltaica asignada que ha sido autoconsumida por el suministro. [%]
- **Ratio excedentes:** porcentaje de la energía fotovoltaica asignada que ha sido vertida a red como excedentes. [%]
- **Ingresos fotovoltaica:** ingresos percibidos por el suministro como resultado de vender excedentes a la red eléctrica. [€]
- **Ahorro fotovoltaica:** ahorros económicos conseguidos por tener fotovoltaica, autoconsumir parte de su generación y verter a red los excedentes. [€]
- **Ahorro fotovoltaico acumulado:** ahorro fotovoltaico acumulado por un suministro desde el inicio de la monitorización de la instalación. [€]
- **Ahorro fotovoltaico relativo:** porcentaje de la inversión realizada para instalar fotovoltaica por el suministro que se ha cubierto con el ahorro fotovoltaico conseguido durante el periodo abarcado por el indicador (diario/mensual/anual). [%]
- **Ahorro emisiones:** ahorro de emisiones conseguido con la energía fotovoltaica generada, comparado con las emisiones asociadas a la generación de energía de la red (promedio: 200 gCO₂/kWh). [kgCO₂]
- **Ahorro emisiones acumulado:** ahorro de emisiones acumulado desde el inicio de la monitorización de las instalaciones. [kgCO₂]
- **Ahorro CRD:** ahorro económico conseguido por usar coeficientes de reparto dinámicos respecto a usar coeficientes de reparto fijos. [€]

Una vez calculados los indicadores a nivel de suministro, se agregan a nivel de instalación y CEL para obtener los indicadores a tres niveles diferentes.

La siguiente figura muestra un ejemplo de los indicadores calculados, agregados a nivel de CEL. En la parte superior de fondo azul, se muestra el balance de energía autoconsumo relativo a la energía total generada (izquierda) y relativo a la demanda (derecha). Se muestran los indicadores tanto en porcentaje como en valores absolutos. Por otra parte, en la gráfica de fondo blanco, se muestra la energía fotovoltaica generada (rojo), la demanda eléctrica (azul), la energía autoconsumida (verde) y los excedentes vertidos a red (morado). Agrupados a nivel mensual. Por último, en la parte superior se muestra el ahorro de emisiones acumulado durante el periodo seleccionado.

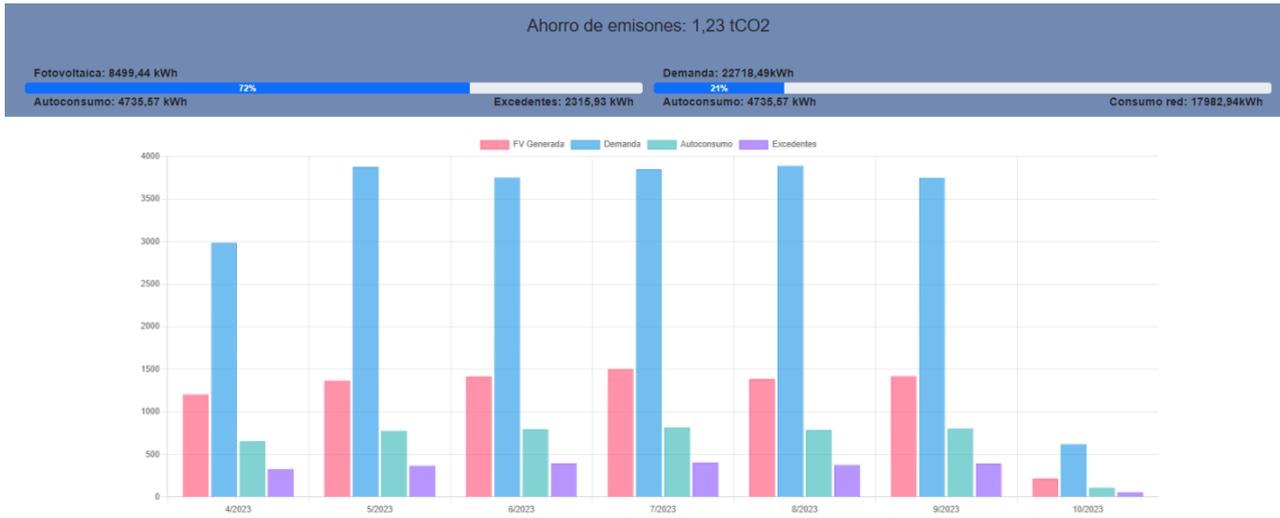


Figura 44: Gráfica indicadores

5.3.3 Recomendaciones

Para estimar las recomendaciones de cada suministro se ha creado un algoritmo en el cual se lee de base de datos la generación que se predice que va a tener ese suministro y la estimación que se ha hecho de lo que va a consumir al día siguiente. Por otro lado, se obtiene el precio al que ese usuario va a pagar la electricidad al día siguiente según la tarifa que ha indicado. Teniendo en cuenta todo esto, se crean recomendaciones sobre cuándo sería mejor consumir más ya que va a sobrar generación o al contrario cuándo es mejor consumir menos ya que la generación va a ser menor. También sobre cuando van a ser las horas más baratas para consumir y cuales las más caras.

Dicho algoritmo se ejecuta diariamente a las 23h por medio de una tarea programada. Si se ha producido algún error durante el cálculo de las recomendaciones, se notifica por medio de correo electrónico.

Para validar hemos cogido como ejemplo uno de los suministros. En la siguiente gráfica se muestra en azul la predicción de consumo, en naranja la predicción de la generación que le corresponde a ese suministro y en verde la diferencia entre lo que consume y lo que se genera. También se han obtenido las recomendaciones para ese suministro. En los recuadros rojos, se muestran los rangos de tiempo para los cuales se realizan recomendaciones, como observa coincide con los momentos en los que las diferencias son mayores, lo cual concuerda con las recomendaciones dadas ya que en este caso se está indicando que se está consumiendo mucho de red.

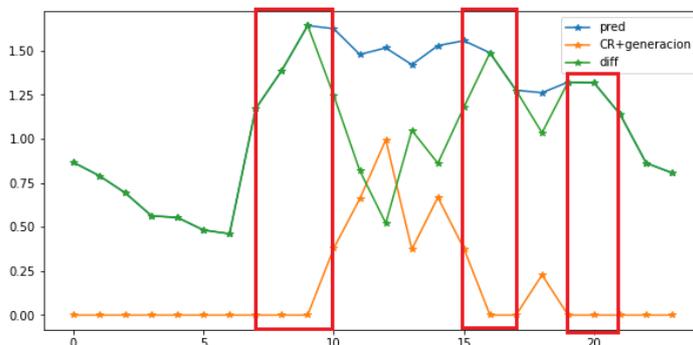


Figura 1: Ejemplo recomendación de un suministro

Recomendaciones de autoconsumo dadas:

- Se prevé que entre las 07:00:00 y las 10:00:00, tengas mucho consumo de red. Te recomendamos intentar consumir menos en este rango de tiempo
- Se prevé que entre las 15:00:00 y las 17:00:00, tengas mucho consumo de red. Te recomendamos intentar consumir menos en este rango de tiempo
- Se prevé que entre las 19:00:00 y las 21:00:00, tengas mucho consumo de red. Te recomendamos intentar consumir menos en este rango de tiempo

5.3.4 Cálculo de coeficientes de reparto

Los coeficientes de reparto dinámicos se calcularon mediante un modelo de optimización lineal de enteros mixtos (MILP) que calcula la energía fotovoltaica asignada a cada suministro para maximizar el mínimo ahorro relativo conseguido en cada instalación compartida y así conseguir equilibrar el periodo de retorno de todos los usuarios de la CEL y que todos ahorren al mismo ritmo.

Para validar el correcto funcionamiento del modelo de optimización, se comparó el reparto fotovoltaico con coeficientes fijos y el reparto fotovoltaico con coeficientes dinámicos. La



Figura muestra el perfil horario de potencias de tres suministros de la CEL. A la izquierda, el reparto fotovoltaico con coeficientes fijos y a la derecha el reparto fotovoltaico con los coeficientes de reparto dinámicos calculado por el modelo de optimización. Se muestra en azul el consumo de la red eléctrica, en naranja la energía fotovoltaica autoconsumida y en amarillo los excedentes vertidos a red. Por último, la línea negra indicada la potencia demandada en cada periodo de tiempo.

En primer lugar, resaltar que se cumple el balance energético, ya que la suma de energía consumida de la red (azul) y la energía fotovoltaica autoconsumida (naranja) cubren la demanda en todos los periodos de tiempo. Por otra parte, se puede comprobar como el reparto dinámico (derecha) conlleva un mayor autoconsumo para los tres suministros. Especialmente, para el suministro mostrado en las gráficas del medio de la figura, se reducen notablemente los excedentes vertidos a red durante las horas centrales del día y se aumenta la energía autoconsumida durante otras horas del día, ajustándose a su perfil de demanda. Todo esto es posible, gracias a los coeficientes de reparto dinámicos y valida el correcto funcionamiento del modelo de optimización.



Figura 46: Comparación de reparto fotovoltaico de coeficientes fijos frente a coeficientes dinámicos

5.3.5 Validación API y BBDD

Para la comunicación entre la parte cliente y los distintos servicios, y bases de datos, se ha desarrollado un API que controla y administra el flujo de información entre estos distintos componentes.

Haciendo uso los diferentes métodos de petición HTTP se han creado distintos controladores para poder manejar los modelos que pertenecen al proyecto.

Se ha implementado como capa de seguridad el uso de un Token que debe ser incluido en todas las cabeceras de las peticiones. Se manejan un común de respuestas HTTP para contestar a las peticiones, junto con el contenido, o la ausencia de él, en su devolución.

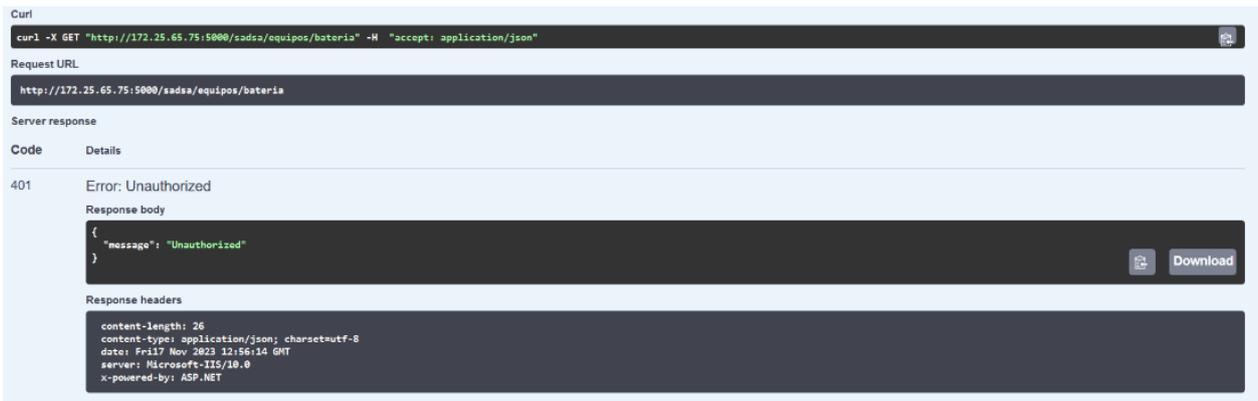


Figura 47: ejemplo API

5.3.6 Validación WEB

La primera validación que se realizó en la Web consistía en verificar que, tanto el registro del usuario como el inicio de sesión funcionaban correctamente.

Para validar el registro, se validó que la página Web no te permitiría crear un nuevo usuario, si el mail ya existía, o, por otra parte, alguno de los campos obligatorios no disponía de información.

También, cabe destacar que, si se daban los siguientes casos, aparecería una alerta alertando al usuario de que su cuenta no había sido creada.

Por otra parte, si el registro se realiza de manera exitoso, la Web también mandará una alerta de éxito y redirigirá al usuario a la pantalla de inicio de sesión.

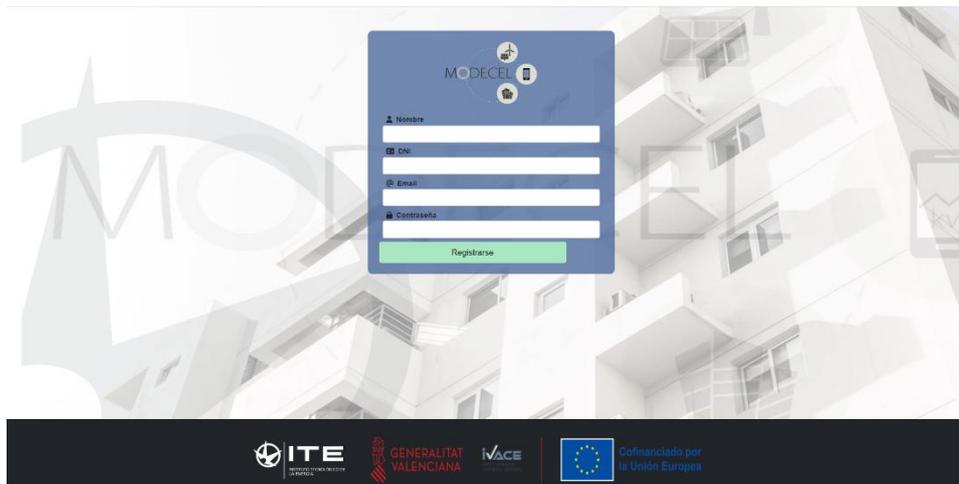


Figura 48: pantalla registro web

Para el inicio de sesión, la prueba de validación fue simple, si los datos introducidos no eran correctos, en la web, aparecería una alerta indicando que los datos eran incorrectos.

Por otra parte, si el inicio de sesión es válido, al usuario se le redirigía a la página inicial, donde podrá visualizar sus CELs

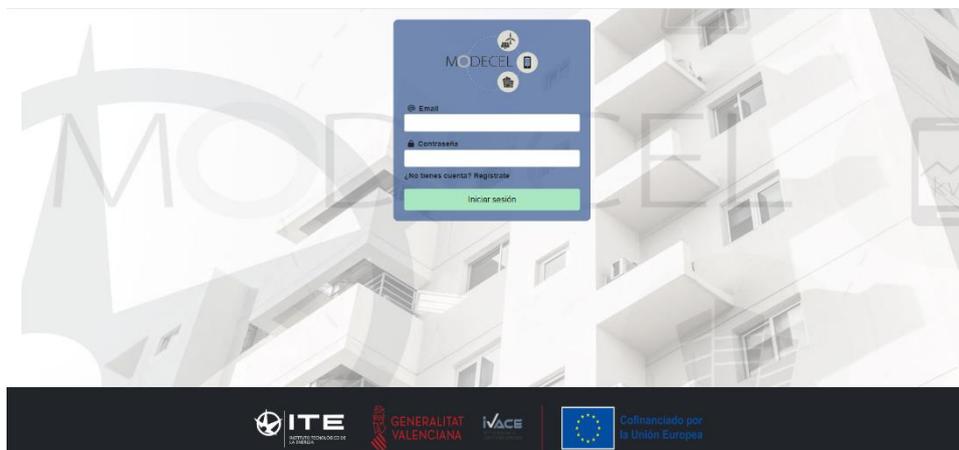


Figura 49: pantalla inicio web

La siguiente validación, sería verificar que la creación de una CEL se realiza correctamente, para ello, había que validar que todos y cada uno de los campos eran correctos y tenían información válida.

Si la información no fuera válida o faltará algún campo obligatorio, al usuario le aparecería una alerta indicando que haga una revisión del formulario.

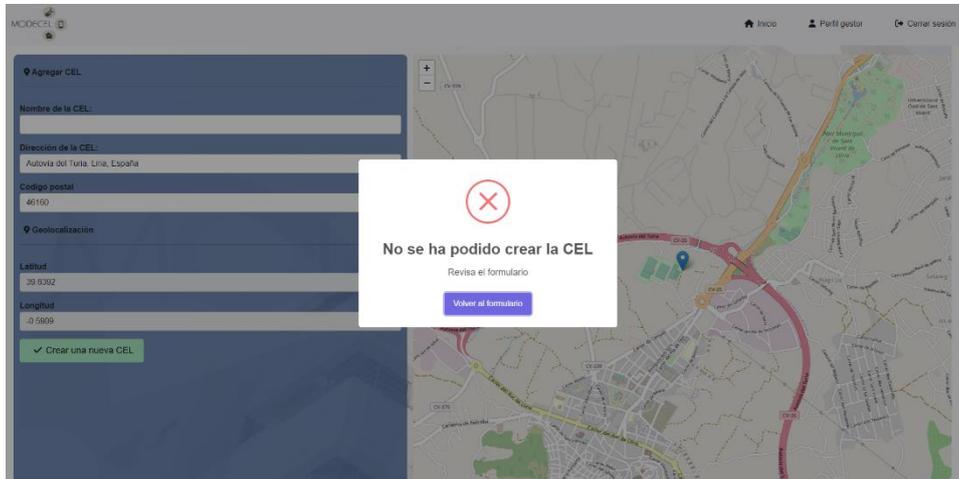


Figura 50: error creación CEL

Aquí podemos visualizar la ventana emergente que se mostrará al gestor si la CEL ha sido creada correctamente:

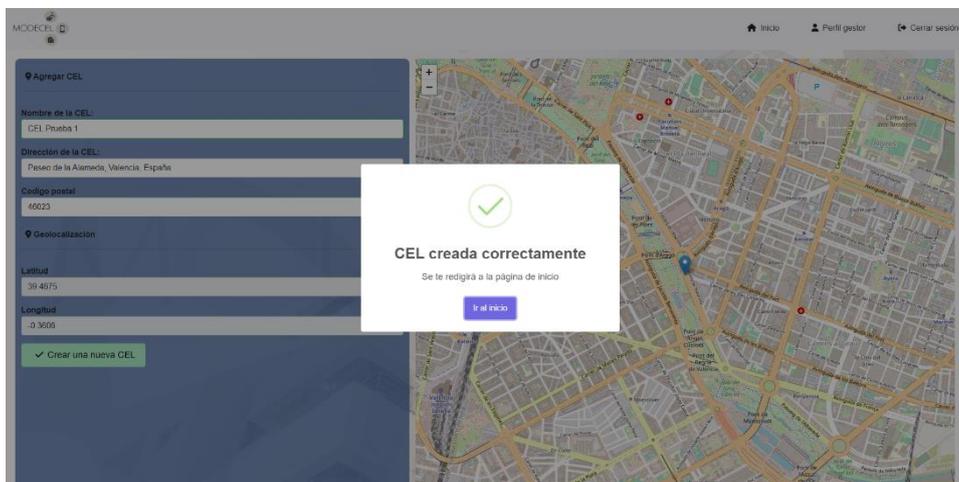


Figura 51: creación CEL correcta

Listado de cada una de las CELs a las que pertenece el gestor (Página de inicio):

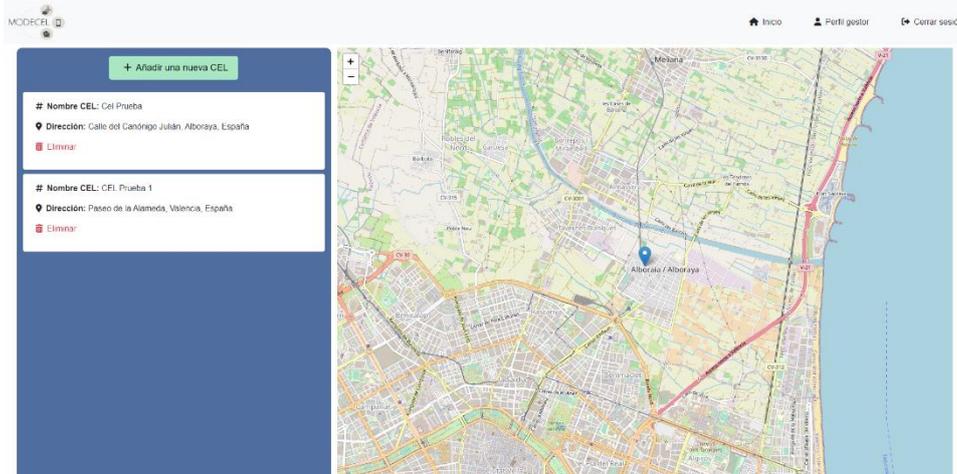


Figura 52: listado de CELs

La siguiente validación consiste en la creación de usuarios para una CEL, en este apartado, se verifica que, si un usuario ya está registrado, la web lanzará un error advirtiendo cuales de los usuarios que están en el formulario para dar de alta están ya en base de datos.

En caso de que exista un usuario que ya se haya registrado con ese correo, se le lanzará una alerta indicando que ese usuario no ha podido darse de alta.

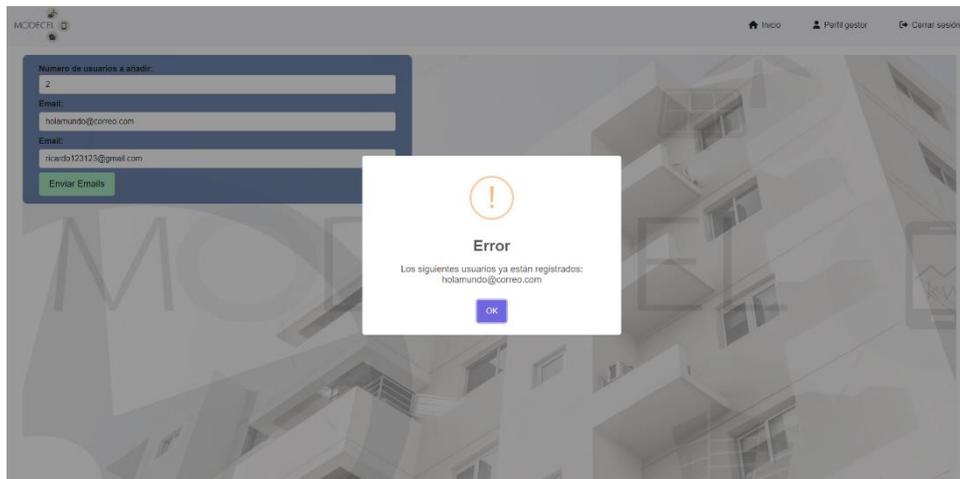


Figura 53: error registro usuario

Por otra parte, se ha verificado y validado que envío de credenciales a los usuarios que el gestor ha dado de alta

Por otra parte, se ha desarrollado un listado de usuarios que pertenecen a esta CEL, pudiendo acceder a sus datos y darles de baja en la aplicación.

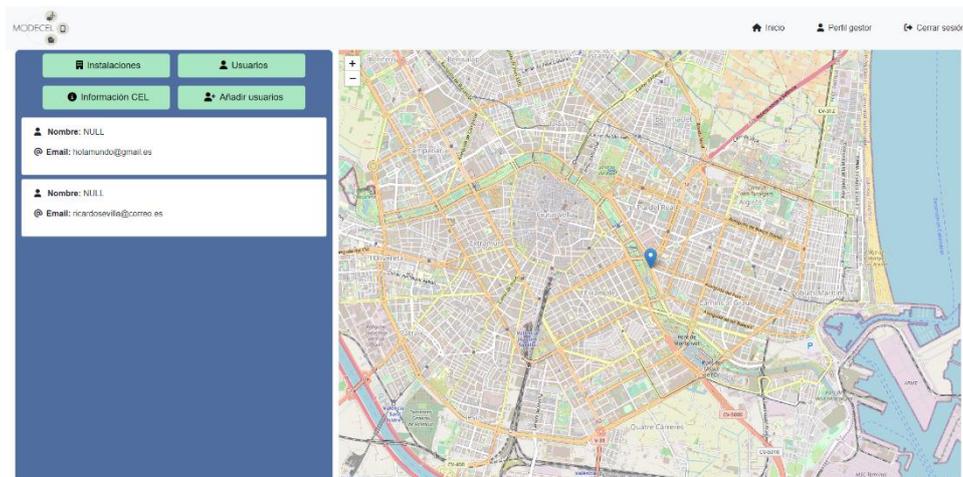


Figura 54: listado usuarios pertenecientes a una CEL

Una pantalla específica para poder visualizar los datos del usuario, como su nombre, DNI, el correo electrónico, el tipo de usuario que es y la CEL a la que pertenece, por último, un botón para poder dar de baja al usuario.



Figura 55: visualización datos del usuario

Para poder crear una instalación, es necesario que el usuario haya dado de alta sus suministros anteriormente desde la aplicación.

En el hipotético caso en el que se quisiera dar de alta una instalación sin ningún suministro asociado, la web mandará un mensaje de error en forma de ventana emergente recordándole al gestor que revise los suministros.

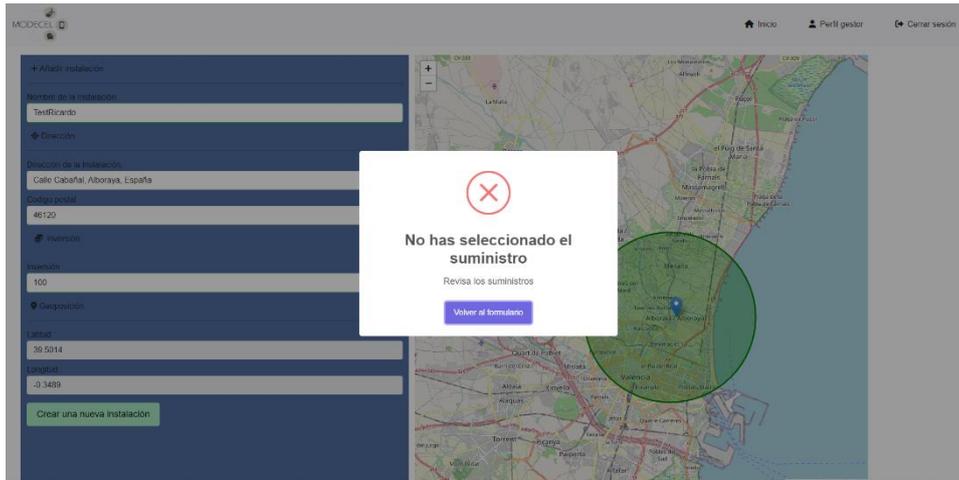


Figura 56: error alta instalación

Por otra parte, el gestor no podrá ingresar los datos de geoposicionamiento si no se encuentran dentro del radio de la CEL (circulo verde)

Finalmente, si el gestor ha seleccionado uno o más suministros y todos los datos del formulario son correctos, se creará la instalación con una relación entre suministro e instalación, además de poder indicar por cada suministro, el porcentaje de inversión que tiene sobre esa instalación.

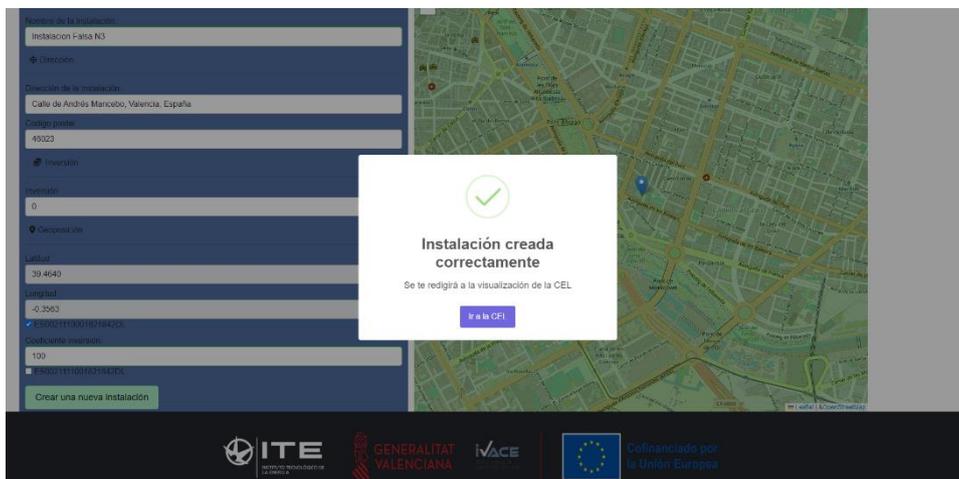


Figura 57: instalación creada correctamente

Dentro de las instalaciones, se ha verificado el correcto funcionamiento a la hora de generar equipos en las instalaciones, estos se dividen en tres apartados, fotovoltaicas, estaciones y baterías, cada una dispone de una tabla en concreto.

Por último, se ha verificado el apartado para poder visualizar datos del gestor funciona correctamente y los datos visualizados corresponden con los que están almacenados en base de datos, a continuación, se muestra como ha quedado el módulo para visualizar los datos.



Figura 58: módulo de visualización de datos

5.3.7 Validación APP

Pantalla inicio de sesión

Al clicar sobre el botón de inicio de sesión se comprueba si los campos tienen contenido. Cuando no contienen información indica mediante un *Toast* que el formulario no está completo.

Si al comprobar la autenticación es correcta nos redirige a la actividad principal, en caso erróneo, nos muestra un *Toast* indicándolo.



Figura 59: pantalla inicio APP

Pantalla home

Cuando se realiza la comprobación de si la aplicación tiene almacenado un suministro, si el contenido de estas constantes está vacío, se muestra el contenido asignado a que todavía no hay ningún suministro seleccionado.

En caso contrario se activa, y siempre que el suministro esté dado de alta en DATADIS, un dialogo de carga mientras se obtienen los últimos KPIS de gestión diaria. Si estos no existen, se muestra un mensaje de que no hay KPIS disponibles. En caso contrario obtendremos la pantalla.

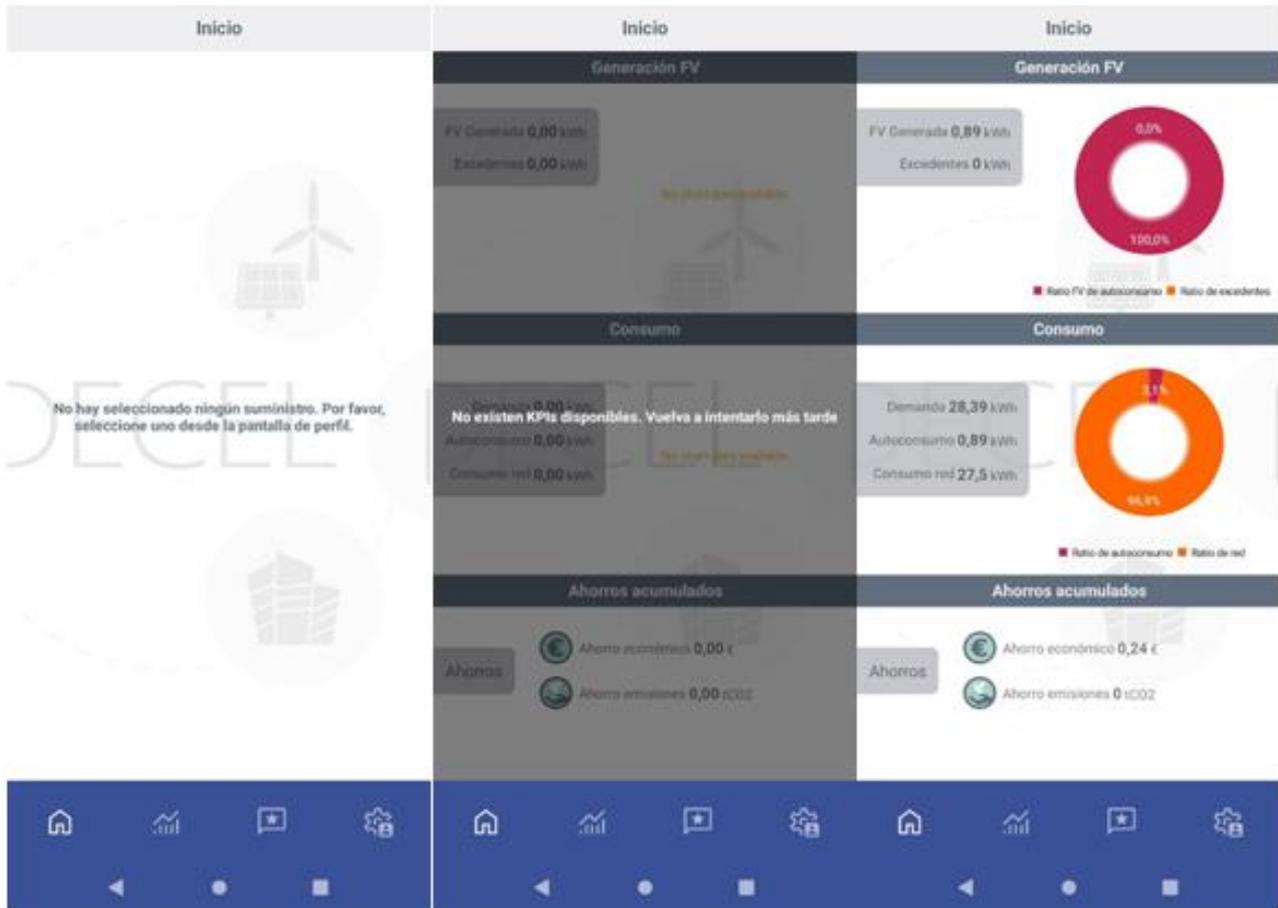


Figura 60: diferentes opciones de la pantalla home

Pantalla de monitorización

Al acceder a la sección de predicción comprobamos que nos muestra una gráfica lineal que recoge la predicción de consumo y la predicción de generación que se espera para el día actual.

Al hacer clic sobre los botones se nos permite movernos en el tiempo. Se nos muestra, siempre que sea anterior al día actual, el consumo real y la generación real junto con a los dos datos de predicción.

En la sección de agregados se nos muestra una gráfica de barras con los datos de FV generada, Autoconsumo, excedentes, demanda y consumo de red. También nos permite movernos en el tiempo para visualizar días anteriores al actual.

Por último, al acceder a la sección de línea base se nos muestra de nuevo un gráfico lineal con los datos anuales.

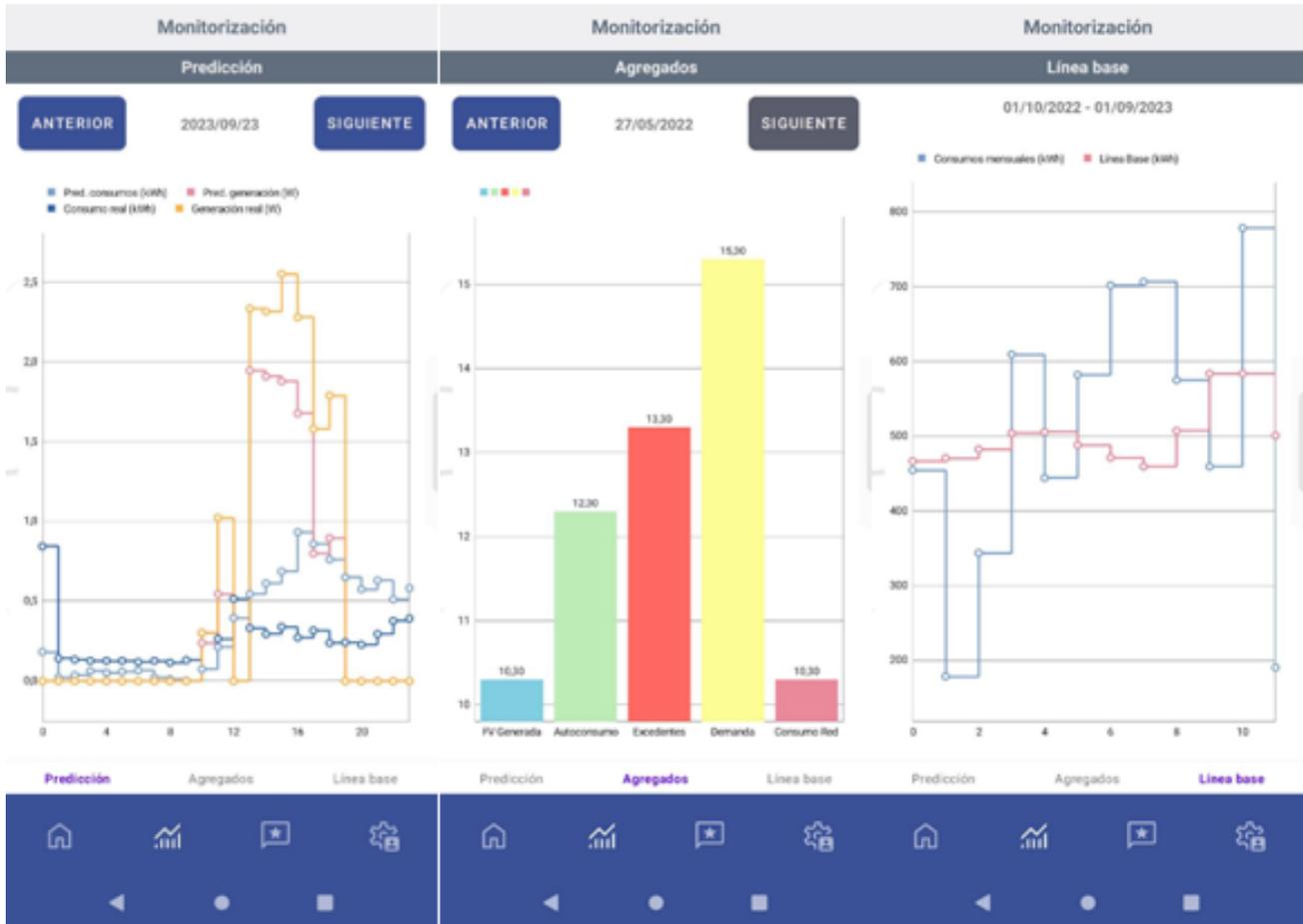


Figura 61: visualización de los datos

Pantalla perfil

Se realiza un GET de toda la información asociada al usuario que ha iniciado sesión y nos muestra su nombre y usuario.

Al presionar sobre el input de suministro se realiza un nuevo GET y se obtienen, en caso de que haya, los suministros asociados al usuario. Presionando sobre cualquiera de ellos, guarda de manera interna el CUPS e Id_suministro para evitar la necesidad de realizar este paso cada vez que se acceda a la APP.

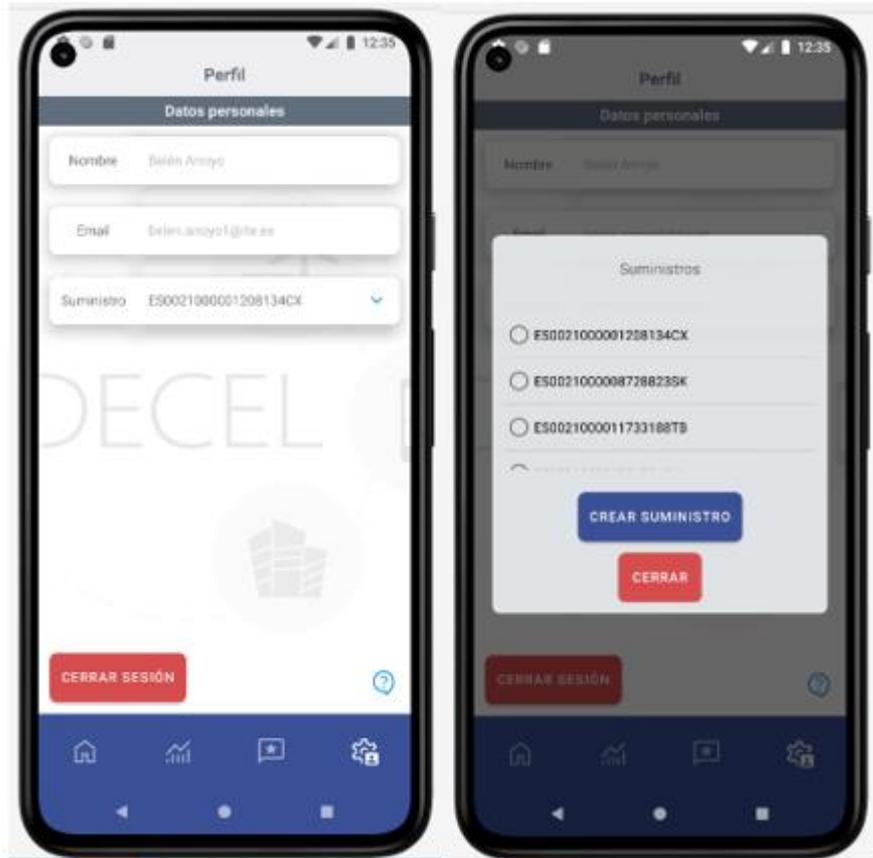


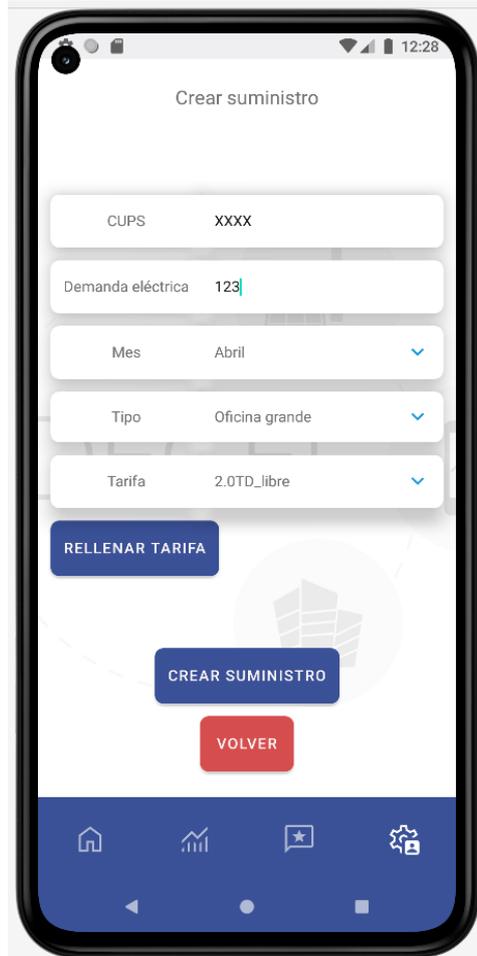
Figura 62: perfil del usuario

Crear suministro

Para poder mandar un POST para la creación del suministro se comprueba que todos los campos de la pantalla contengan información, así como que la tarifa se haya rellenado y guardado.

Si se producen los casos anteriores se activará el botón de “crear suministro” y al clicar se procederá a mandar el contenido.

Si no se produce ningún error de comunicación nos llevará de nuevo a la pantalla de perfil.



Crear suministro

CUPS XXXX

Demanda eléctrica 123

Mes Abril

Tipo Oficina grande

Tarifa 2.OTD_libre

RELLENAR TARIFA

CREAR SUMINISTRO

VOLVER

Figura 63: creación del suministro

6 CONCLUSIONES

Los pilotos planteados e implementados en el proyecto MODECEL, ha permitido poder realizar una validación exitosa de soluciones propuestas tanto en el piloto de revestimiento, como en el piloto de gestión energética (CEMS).

El enfoque integral del piloto de evaluación del sistema de gestión energética (CEMS) abarcó diversos aspectos, como el cálculo de indicadores, la predicción de consumo y generación, recomendaciones y el cálculo de coeficiente de reparto. Este método integral asegura la robustez y confiabilidad del sistema en entornos reales. Además, la validación rigurosa de bases de datos y herramientas como la interfaz de programación de aplicaciones (API) del CEMS aseguró la precisión y funcionalidad de los módulos de algoritmia desarrollados.

En resumen, la fase piloto permitirá la integración de las soluciones desarrolladas en el proyecto MODECEL con el mercado actual y podrá aportar un valor añadido a los usuarios de la comunidad energética.

En relación a la validación de los revestimientos naturales, a través de una selección de equipos de medida robustos pero económicos se han llegado a monitorizar de forma que se han podido sacar las siguiente conclusiones: (1) ahorro de un 65% en la sujeción de los prefabricados frente a los prototipos reduciendo el efecto de puente térmico de estos al mismo tiempo que los presentes en el edificio; (2) mejora del sistema de monitorización mediante sensores y estación meteorológica para evaluar el funcionamiento de la solución constructiva y la información que ofrece al usuario para modificar el resto de los parámetros en busca de la mejor eficiencia energética en SATE o SATI; (3) a partir de un cálculo de certificación energética, se estima un ahorro anual para 250 m² de oficinas del 39,5% global, lo que se traduce en un ahorro cercano a los 1 500 € al año de energía. Así se mejora en un nivel el global (C vs D) en la escala de clasificación energética de la edificación; (4) guía de respuestas del usuario frente a la información de los sensores, lo que aporta a la herramienta de gestión de CEL y a los diferentes usuarios una orientación practica de cara a mejorar la eficiencia de sus edificios

Además, en cuanto al conocimiento sobre los materiales utilizados se pueden concluir que gracias a la continuación de la monitorización del demostrador ubicado en FEVEC queda demostrada que la vida útil de estos aislantes puede superar un año en el clima mediterráneo sin necesidad de mayor mantenimiento que el del acabado de pintura. Así como que, por el estudio de lixiviación del mortero fabricado, se concluye que las sustancias que lixivian el nuevo mortero tras sus diferentes etapas de hidratación que serían liberadas bien al suelo o a aguas subterráneas, no presentarían un riesgo para el ecosistema ni para la salud humana.

Gracias a los logros alcanzados en el proyecto se están consiguiendo colaboraciones con empresas de la Comunitat Valenciana para la industrialización de los elementos aislantes, así como para la demostración y despliegue en entorno real de las herramientas para diagnóstico y gestión energética colectiva desarrolladas e implementación de servicio de coeficientes de distribución dinámicos.

7 BIBLIOGRAFÍA

[1] Schiavoni, S.; D'Alessandro, F.; Bianchi, F.; Asdrubali, F. Insulation materials for the building sector: A review and comparative analysis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 62:988-1011, 2016

[2] IDAE. (2008). Guía práctica de la energía para la rehabilitación de edificios.

[3] Tažiková, A. y Struková, Z. (2018). An Assessment and Comparative Study of Modern Thermal Insulation Systems. *TEM Journal*, 7(4):769-774



- [4] Rosa, A.D., Recca, A., Gagliano, A., Summerscales, J., Latteri, A., Cozzo, G., & Cicala, G. (2014). Environmental impacts and thermal insulation performance of innovative composite solutions for building applications. *Construction and Building Materials*, 55, 406-414.
- [5] C. Buratti, E. Belloni, E. Lascaro, F. Merli, and P. Ricciardi, "Rice husk panels for building applications: Thermal, acoustic and environmental characterization and comparison with other innovative recycled waste materials," *Constr. Build. Mater.*, vol. 171, pp. 338–349, 2018, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2018.03.089.
- [6] R. Muthuraj, C. Lacoste, P. Lacroix, and A. Bergeret, "Sustainable thermal insulation biocomposites from rice husk, wheat husk, wood fibers and textile waste fibers: Elaboration and performances evaluation," *Ind. Crops Prod.*, vol. 135, no. May, pp. 238–245, 2019, doi: 10.1016/j.indcrop.2019.04.053.
- [7] N. W. Choi, I. Mori, and Y. Ohama, "Development of rice husks-plastics composites for building materials," *Waste Manag.*, vol. 26, no. 2, pp. 189–194, 2006, doi: 10.1016/j.wasman.2005.05.008.