



# DOSSIER DEL PROTOTIPO

## Tecnología Frío Calor

### Proyecto INNOINVEST

ROBOLAB

Escuela Politécnica de Cáceres

Universidad de Extremadura

03 de marzo de 2023

# ÍNDICE

<b>1. ANTECEDENTES</b>	<b>3</b>
1.1. Caso de uso	3
<b>2. OBJETO</b>	<b>6</b>
2.1. Objetivo del dossier	6
2.2. Descripción del prototipo	6
A. Sistema de ventilación	8
B. Sistema de calefacción	9
C. Persianas motorizadas	9
D. Sensores ambientales: temperatura, humedad y CO2	10
E. Sensores de apertura de ventana	10
F. Cámaras de control de presencia	10
<b>3. DESARROLLO DE LOS TRABAJOS</b>	<b>11</b>
A. Sistema de ventilación	11
B. Sistema de calefacción	11
C. Persianas motorizadas	12
D. Sensores ambientales: temperatura, humedad y CO2	12
E. Sensores de apertura de ventana	12
F. Cámaras de control de presencia	12
<b>4. OPERACIÓN</b>	<b>13</b>
A. Sistema de ventilación	13
B. Sistema de calefacción	13
C. Persianas motorizadas	13
D. Sensores ambientales: temperatura, humedad y CO2	13
E. Sensores de apertura de ventana	13
F. Cámaras de control de presencia	14
4.1. Configuración y programación del sistema resultante	14
<b>5. VALIDACIÓN</b>	<b>16</b>
<b>ANEXO 1. Video prototipo</b>	<b>19</b>
<b>ANEXO 2. Listado de empresas participantes y trabajos realizados</b>	<b>20</b>

# 1. ANTECEDENTES

Los edificios públicos existentes carecen de una discretización en sus instalaciones, suelen ser edificaciones de grandes dimensiones, en la mayoría de los casos se desconoce el trazado y tamaño de las redes, los materiales están obsoletos y su mantenimiento no ha sido el correcto. Estas circunstancias hacen que sea complicado y antieconómico la intervención integral en las instalaciones existentes. La principal actuación de renovación de las instalaciones de calefacción se basa en la sustitución de los equipos existentes por equipos nuevos que mejoren sus rendimientos M. de T. M. A. U. G. de España, “ERESEE 2020. Actualización 2020 de la estrategia a largo plazo para la rehabilitación energética en el sector de la edificación en España”.

Sin embargo, estas inversiones son, en algunos casos, técnica o económicamente inviables, debido a las condiciones físicas de la instalación existentes o a que la actual filosofía de intervención entiende que el periodo de retorno de la inversión es demasiado elevado para que sea rentable. Es por esto por lo que se debe estudiar el impacto que tiene sobre la instalación la aplicación de medidas aisladas que permitan obtener indicadores de funcionamiento que faciliten la toma de decisiones. La sensorización de los edificios existentes se plantea como una estrategia de intervención destinada a controlar el funcionamiento eficiente de las instalaciones de los edificios públicos. El tamaño de los edificios y sus instalaciones plantean problemas de densidad de información que ha de ser discretizada e interpretada para poder ser usada como base de las instrucciones a enviar a los actuadores de las instalaciones. Se plantean algoritmos destinados a transformar los datos de los sensores en instancias de programación que a su vez han de ser reinterpretados. Sin embargo, de esta manera se pierde el control sobre el sistema.

La propia atomización del diseminado de sensores en el contexto del edificio plantea en sí mismo un problema de suministro de energía a los propios sensores que es estudiado mediante algoritmos que reducen la frecuencia de emisión de datos emitidos por ellos, mejorando la vida útil de la red de datos. Por otra parte, aunque el mercado de los sensores de parámetros como humedad, temperatura, nivel de CO<sub>2</sub>... está suficientemente desarrollado, ciertos aspectos como la monitorización a partir de la visión artificial en interiores no está tan desarrollada como la existente en exteriores; para ello se establecen sistemas equivalentes que estiman valores a partir de los parámetros ofrecidos por otros sensores que tiene dudosa eficacia, la literatura propone un abanico de puntos de vista y sistemas basados en la visión artificial con ciertas limitaciones técnicas que conjugando datos con otras tecnologías permite mejorar los resultados. El tratamiento de todos los datos suministrados por el entramado de sensorización es un reto al que se enfrenta el desarrollo de sistemas basados en la inteligencia artificial AI, que afronta todos los datos desde un punto de vista holístico del cual pueda aprender y a su vez ofrecer nuevas directrices de diseño de monitorización y tratamiento de datos.

## 1.1. Caso de uso

Se ha construido un prototipo de sistema de frío y calor, como parte del Proyecto INNOINVEST (Promoción de la inversión empresarial en innovación de productos energéticos para edificación, del Programa INTERREG V-A España y Portugal (POCTEP) por parte del grupo de investigación ROBO LAB (en su sector de sustainable and smart construction) de la Escuela Politécnica de Cáceres (EPCC), Universidad de Extremadura.

El prototipo se ha instalado en el Pabellón de Informática de la EPCC (Figura 1), debido a que es el de mayor actividad y ocupación y sus características constructivas son similares a los edificios públicos del mismo período (construido en 1989). Tiene una morfología rectangular con una superficie útil de unos 3600 m<sup>2</sup>, la orientación predominante de sus fachadas longitudinales es este y oeste, con tres accesos exteriores, y consta de 2 plantas sobre rasante con un semisótano. Contiene aulas, laboratorios, despachos destinados a actividades docentes o de investigación, así como consejería, aseos y zonas comunes y de comunicación; el semisótano se utiliza para almacén y cuartos de instalaciones y máquinas.



*Figura 1. Situación del Pabellón de Informática en la EPCC*

El edificio cuenta con un gran lucernario de policarbonato y tiene un sistema constructivo tradicional, con estructura de hormigón armado compuesta de pilares y vigas y forjados unidireccionales, cerramientos verticales de 1/2 pie de ladrillo, aislamiento de 5 cm, trasdosado interior de ladrillo de 7 cm y particiones interiores también de fábrica de ladrillo; y cubierta plana no transitable, con aislamiento de 5 cm y acabada con grava. La carpintería exterior es de aluminio sin rotura de puente térmico, con vidrios dobles con cámara, y obsoletas cajas de persianas de altos puentes térmicos; mientras que la interior es en su mayoría de madera.

Sobre las instalaciones presentes, la EPCC tiene un sistema de clima mediante dos calderas centralizadas de gas natural instaladas en el sótano del propio pabellón, tubería de reparto que discurren enterradas a una profundidad de entre 20 y 70 cm, ramales internos sin aislar ni sectorizar y radiadores de agua. Esta instalación es similar a la de muchos edificios públicos a los que el sistema puede ser extrapolado y, además, presenta el problema de que varios edificios en diferentes situaciones reciben la misma carga de calor, sea cual sea la situación de partida, sin que exista control de flujo de calor según necesidad.

Además de por las razones anteriormente mencionadas, se ha elegido este edificio por contar con un sistema preexistente de monitorización, que cuenta con suficientes sensores que pueden ser integrados para el éxito del prototipo. El sistema inmótico existente, monitoriza las variables de funcionamiento del centro mediante los datos de consumos, uso, ambientales, etc. obtenidos a través de diversos sensores repartidos por el pabellón (Tabla 1). Los sensores utilizados son de bajo coste, algunos fabricados en la EPCC, mayoritariamente inalámbricos y funcionan con baterías (dado que no existía una preinstalación inmótica previa de red eléctrica o de datos). Cuentan con diferentes protocolos de comunicación. La gestión de todos estos datos se realiza a través de un único bus de servicios empresarial (ESB) Zato ESB, dando lugar a un único sistema

de monitorización de datos que permite analizar y comparar diferente información. Asimismo, se obtienen datos de fuentes externas, como pueden ser webs de climatología o las facturas de consumo de gas, agua o electricidad.

Marca/ modelo	Comunicación	Alimentación	Parámetro	Precisión	Imagen
<b>RAY STH</b>	WiFi	2 pilas LR14	Temperatura y humedad	+/- 0.5 °C +/- 3% RH	
<b>RAY STC</b>	WiFi	2 pilas LR14	Temperatura, humedad y CO <sub>2</sub>	+/- 0.5 °C +/- 3% RH +/- 3% ppm	
<b>EcoWin (propio)</b>	WiFi	Batería recargable de litio 18650	Temperatura y humedad Carpintería abierta	+/- 0.5 °C +/- 3% RH On/Off	
<b>Circutor CVM-B150</b>	ModBus Rs-485 con pasarela ModBus/TPC	85...265 Vc.a./ 120...300 Vc.c.	Analizador de red trifásico de panel con transformadores de intensidad.	En tensión, corriente clase 0,2 En energías clase 0,5S	
<b>Circutor Wibeec</b>	WiFi	M/ T: 85...265 Vc.a. 3P: 95...440 (Directo del PIA)	Consumo eléctrico	Tensión 1%. Corriente 1%.	
<b>B-Meters GMDM-I IWM-PL3</b>	Por pulsos	Sin alimentación	Consumo de agua	10 l/pulso	
<b>Itrón</b>	Por pulsos	Sin alimentación	Consumo de gas	0,1 m <sup>3</sup> /pulso	
<b>EcoCounter (propio)</b>	WiFi	5 Vcc. / 230 Vc.a.	Contador de impulsos mediante Arduino Yun	1 pulso	
<b>Circutor LM25-M</b>	ModBus Rs-485 con pasarela ModBus/TPC	85...265 Vc.a./ 120...300 Vc.c.	Centralizador de impulsos ModBus	1 pulso	

Tabla 1. EPCC red de sensores

Respecto a la ocupación, en la siguiente tabla (Tabla 2) se muestran los valores de ocupación y densidad de ocupación. Cabe destacar sobre la ocupación, que existen tres estados: periodo lectivo, periodo no lectivo y cierre de instalaciones; esto no se ha tenido en cuenta para los análisis, por carecer de datos precisos.

	2014	2015	2016	2017
<b>Ocupación</b>	360	312	299	350
<b>Densidad de ocupación</b>	7.68	9.14	10.21	11.29

Tabla 2. Valores anuales de ocupación y densidad de ocupación en el pabellón de informática

## 2. OBJETO

### 2.1. Objetivo del dossier

El objetivo del presente dossier es documentar el proceso de desarrollo del prototipo de sistema de frío y calor, como parte del Proyecto Interreg INNOINVEST, construido por la Universidad de Extremadura, en la Escuela Politécnica de Cáceres, dejando constancia de los trabajos realizados en su creación, durante sus diferentes fases.

### 2.2. Descripción del prototipo

Los prototipos, tal y como explica el Formulario de Candidatura, deben cumplir los siguientes requisitos iniciales:

- Ser innovador y totalmente funcional
- Mejorar la eficiencia energética y el ahorro
- Utilizar tecnologías energéticas innovadoras para la edificación
- Cubrir necesidades tecnológicas de empresas, industrias y/o usuarios finales
- Implantarse en edificio público

Además, el equipo del proyecto añadió otros requisitos fundamentales como son:

- sistema no propietario (open data),
- escalable,
- de bajo coste y
- replicable

Asimismo, se apoyará en la metodología de optimización iterativa ya desarrollada por el equipo.

En este caso consiste en un sistema inmótico para la automatización de los equipos de climatización de los edificios públicos y el control del clima, que debe ser capaz de interactuar con los datos dinámicos recibidos mediante sensorización de variables (como presencia, temperatura interior y exterior, humedad relativa, consumos, concentración de CO2...), con las respuestas de los usuarios a través de su sensación de confort, con los datos estáticos del edificio (indicadores energéticos, usos, configuración constructiva y arquitectónica, ocupación, clima...), con consignas introducidas en el sistema para mejorar su eficiencia energética, se podrán integrar sistemas predictivos, e involucra la participación de los usuarios. También se contempla la prueba de diferentes sensores y automatismos relacionados con estas variables como son la domotización de persianas, sistemas de avisos de ventanas abiertas/ cerradas, válvulas termostáticas, variadores de frecuencia, sistemas de ventilación, etc.

El prototipo se montará en las instalaciones de la EPCC, ya que también está actualmente desarrollando una herramienta que permite la adquisición de datos, monitorización de los mismos y sistemas de avisos que será integrada al prototipo.

El presupuesto máximo son 80 mil euros que debe distribuirse entre otros conceptos en:

- instalación de sistemas de ventilación
- instalación de actuadores inteligentes en la instalación de calefacción
- adquisición de actuadores: persianas motorizadas
- adquisición de sensores: CO2, estado de las ventanas, y cámaras de presencia.

El prototipo se fundamenta en la tecnología enmarcada en el Sistema Frío Calor y consistente en un sistema de actuación y control que monitoriza, mediante válvulas termostáticas, la instalación de calefacción existente a la vez que se implanta una instalación de ventilación también inteligente y un sistema de persianas motorizadas. Estas actuaciones están apoyadas por un grupo de sensores de temperatura, humedad y CO2, sensores del estado de las ventanas y varios métodos de conteo de la ocupación de los espacios, ya sea mediante cámaras de presencias o listados de ocupación según horarios. Así, el sistema de actuación y control queda formado por tres grupos de actuadores y tres sensores, tal y como muestra la siguiente imagen (Figura 2):

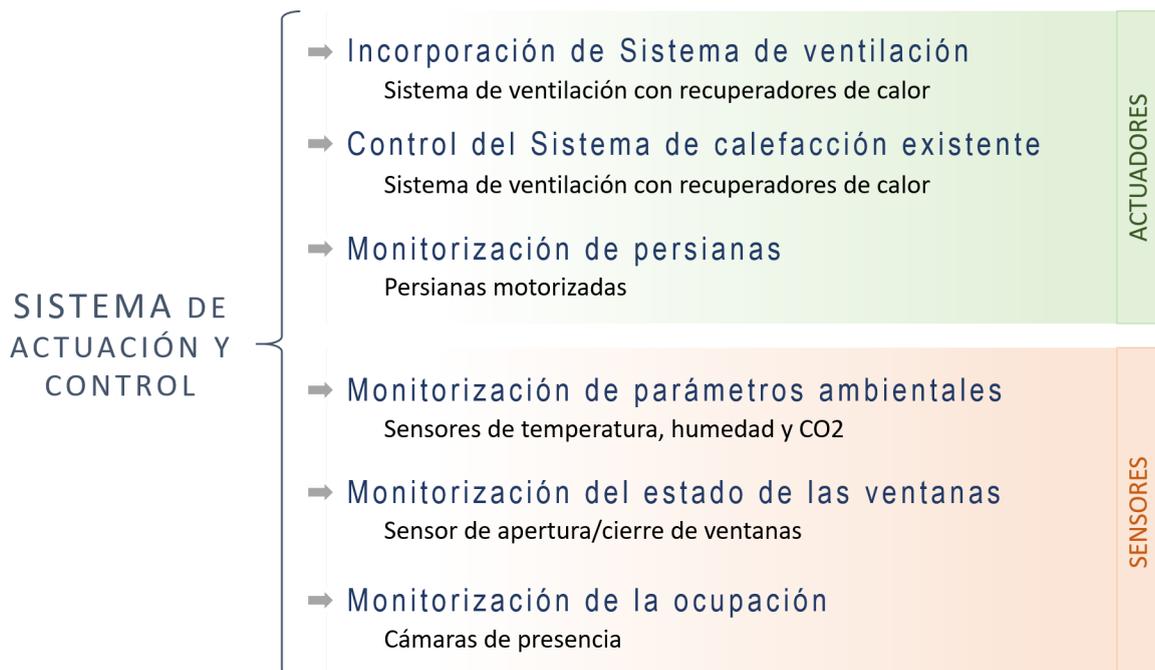


Figura 2. Esquema del prototipo: sistema de actuación y control

De este modo, se consigue obtener y centralizar multitud de datos ambientales y de calidad de aire, estado de los elementos del edificio y ocupación, en un mismo sistema que, además, proporciona la capacidad de actuar sobre las persianas y las instalaciones de calefacción y ventilación, de manera inteligente y automática mediante consignas previamente establecidas según los datos captados.

A continuación se describen de manera más detallada las diferentes partes que forman el prototipo:

### A. Sistema de ventilación

Consiste en varios sistemas descentralizados de ventilación con recuperador de calor, dos industriales y dos domésticos. Cuyo objetivo es conseguir un control absoluto de la calidad del aire de los espacios en los que se instala sin gran pérdida de calor y de una manera automatizada, sin la necesidad de intervención de los ocupantes, ni apertura de ventanas, así como poder llevar a cabo el refrescamiento nocturno de las estancias.

Los requerimientos que se le piden al sistema son:

- Aporte de aire exterior filtrado y extracción de aire interior
- Capacidad de intercambiar temperatura en función de las necesidades detectadas por el sistema
- Funcionamiento en modo bypass o similar
- Muy bajo consumo
- Comunicación Bus
- Optimización de peso y facilidad de montaje en espacios existentes

El sistema industrial se ha instalado únicamente en dos aulas: Novell y Norba; ya que cuentan con un gran uso y sus características físicas hacen que la instalación sea sencilla, ahorrando costes de albañilería e instalación. En cambio, los sistemas domésticos se han instalado en la sala Sun (aula de pequeñas dimensiones) y en la sala Robolab (laboratorio de trabajo).

Tras calcular los caudales de ventilación a través de los parámetros establecidos por el RITE se selecciona dos recuperadores que se ajuste a las necesidades de la instalación, el industrial seleccionado es un recuperador de la marca PRANA, modelo 340-S y el doméstico un modelo 200C ERP, también de la misma marca. (Tabla 3)

Espacio	Superficie m <sup>2</sup>	Ocupación teórica (2,5 m <sup>2</sup> por persona)	Caudal total l/s (12,5 litros por persona)	Caudal total l/s	Caudal con coeficiente corrector m <sup>3</sup> /h	Modelo recuperador de calor
NOVELL	138.05	55	690.3	483.2	1.739	PRANA 340-S
NORBA	135.73	54	678.7	475.1	1.710	
SUN	38.75	16	193,65	135,6	488,00	PRANA 200C ERP
ROBOLAB	57,99	23	289.95	203,0	730,67	

Tabla 3. Caudales de ventilación de espacios y equipos seleccionados

El equipo puede funcionar tanto de manera manual como de manera automática en función de la concentración de CO<sub>2</sub> que el mismo detecta. Para su encendido, apagado y control dispone de un mando a distancia y también de conexión bluetooth que permite controlarlo desde cualquier

teléfono móvil a través de una app. En este caso, el sistema es controlado mediante un software de control de fuentes abiertas diseñado por los propios investigadores de la UEx.

## B. Sistema de calefacción

A la hora de actuar sobre el sistema de calefacción existen distintos niveles de control, pero la norma UNE-EN 15232-1, sobre automatización, control y gestión, plantea 3 posibilidades iniciales de intervención: sobre las calderas del edificio, sobre los ramales de distribución o sobre los radiadores a través de válvulas. Tras un análisis comparativo de todas ellas, en el que se ha tenido en cuenta la disposición actual de la red de tuberías y su falta de individualización de espacios, se observa que la más adecuada es la tercera, puesto que, al actuar directamente sobre cada radiador de manera individualizada, podría adaptarse a cualquier modificación posterior de espacios. Además, a través de este sistema es posible programar el control de todos los demás: por estancias, sectores, plantas, fachadas, pabellones en general. En ellos se proyecta la instalación de un cabezal automático, termostático e inteligente, que actúa sobre la válvula para controlar y supervisar radiadores. Este cabezal debe cumplir los siguientes requisitos:

- Realizar la comunicación con el sistema por medio de red LoRa y permitir que se controlen de manera remota, mediante radiofrecuencia.
- Tener un sistema de funcionamiento termostático, que es capaz de fijar parámetros de temperatura máximos y mínimos.
- Ser capaces de monitorizar y recoger datos de diferentes parámetros ambientales, tales como la temperatura y la humedad de los espacios, latitud y longitud, nivel de batería, aviso de ventana abierta, etc

Los requerimientos que se le piden al sistema son controlar la entrada de agua caliente en los radiadores en función de las condiciones operativas de los espacios interiores y ambientales exteriores, arrancar y apagar a tiempo la instalación en la temporada, y adecuar el consumo al confort de las estancias.

Así, el modelo seleccionado es Vicki LoRaWAN de la marca MClimate. El cual tiene un tamaño de 54 x 78 x 50 mm y peso de 107 g, están provistos de alimentación por baterías no recargables tipo 2xAA, con una vida media de 10 años, dependiendo de la configuración de los mismos. Las condiciones ambientales de funcionamiento son de - 20 a 60 °C para la temperatura, y de 0 a 80 % en el caso de la humedad.

## C. Persianas motorizadas

Una persiana motorizada conectada permite controlar, mediante una programación, la subida y bajada de manera automática. Esto puede hacerse en horas fijas o siguiendo el movimiento/ritmo del sol para controlar la radiación o contribuir con el aislamiento de un espacio, ya que las persianas bajadas añaden una cámara de aire extra que actúa como aislante entre la ventana y el exterior. Así, para controlar su estado, se instalan persianas motorizadas cuyos motores se accionan a través de un controlador que dispondrá de conexión Wifi.

Los requerimientos que se le piden al sistema son: disminuir los gastos de climatización y aumentar el confort impidiendo la captación solar en épocas cálidas y favoreciendo la protección en épocas frías.

Las persianas motorizadas serán activadas mediante interruptores táctiles inteligentes, en este caso se ha utilizado el modelo SONOFT0EU2C SONOFF. El cual tiene dos canales, que permiten controlar dos luces independientemente. Se puede controlar por WiFi o dispositivos SMART (smartphone, Amazon Alexa, Google Home).

#### D. Sensores ambientales: temperatura, humedad y CO2

Para la correcta configuración de las válvulas termostáticas de calefacción y los recuperadores de calor, es necesario conocer en tiempo real los datos ambientales de temperatura, humedad y concentración de CO2. Para ello se han instalado un total de 10 sensores ambientales en las aulas con mayor uso y ocupación y donde se encuentren los recuperadores de calor y servirán para monitorizar las condiciones de confort y tomar decisiones sobre el resto de sistemas.

El sensor seleccionado es el 'Sensor tecnología LoRa, temperatura, humedad, CO2, luz y presión atmosférica' del fabricante y suministrador Ray-ie. Este sensor ambiental LoRaTH permite monitorizar parámetros de temperatura, humedad, CO2, presión atmosférica y luz ambiente en entornos interiores a través de las redes IoT (Internet de las Cosas).

LoRaTH incorpora un microcontrolador ATmega328P a 16Mhz y el diseño de la electrónica está basado en arquitectura Arduino UNO lo cual nos permite fácilmente modificar el firmware en cualquiera de los entornos de programación compatibles con esta plataforma.

#### E. Sensores de apertura de ventana

Se instalarán sensores magnéticos de apertura de ventanas con comunicaciones LoRaWAN que enviarán alertas al sistema cuando detecten que la ventana está abierta. El sensor seleccionado es el EM300-MCS del fabricante Milesight, que, además de detectar si la ventana está abierta o cerrada, cuenta también con un sensor de temperatura y humedad integrado en el dispositivo.

Este sensor se instala en todas las ventanas del pabellón de Informática de la EPCC, con el fin de implementar al sistema de monitorización existente los datos de estado de las ventanas y así poder actuar en consecuencia los demás dispositivos.

#### F. Cámaras de control de presencia

Se han utilizado cámaras de control de presencia para monitorizar la ocupación de distintos espacios a través de un software de análisis de imágenes. En total se han instalado 19 cámaras, coincidiendo con los espacios de mayor uso y ocupación y con la ubicación de los mismos de otros sensores, como en las aulas donde se encuentran los sistemas de ventilación con recuperador de calor. El modelo seleccionado es el FOSCAM D2EP - Cámara IP POE antivandálica IK10, Slot Micro SD, 2,0 mpx, HD 1080P, AI Detección humana.

### 3. DESARROLLO DE LOS TRABAJOS

A continuación se describen de manera más detallada el desarrollo de los trabajos de instalación de cada una de las diferentes partes que forman el prototipo:

#### A. Sistema de ventilación

El montaje de ambos dispositivos requiere obras de construcción, pues es necesario taladrar el muro exterior para la impulsación y extracción de aire a través de esos orificios.

Para la instalación del sistema de ventilación con recuperador de calor industrial se sigue un trazado muy sencillo (Figura 3). En este, se colocan los recuperadores visto, bajo el falso techo, al igual que los conductos circulares que integra el sistema. Para la conexión eléctrica de los aparatos se instala un cuadro de protección secundario independiente que permite encenderlo, apagarlo y cortar la alimentación eléctrica en caso de ser necesario.

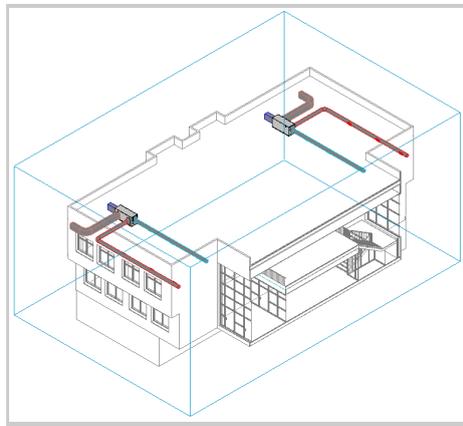


Figura 3. Representación 3D del sistema de ventilación

El recuperador doméstico no dispone de conductos, simplemente se debe pasar el recuperador de un lado al otro del cerramiento y conectarlo apropiadamente., e instala directamente empotrado en la pared de cualquier espacio mediante un taladro de diámetro suficiente.

#### B. Sistema de calefacción

Para realizar el montaje del cabezal termostático inteligente Vicki LoRaWAN se debe contar con una válvula compatible con el mismo, por lo que ha sido necesario cambiar algunas de las presentes en el edificio. El montaje del cabezal termostático inteligente es bastante sencillo, una vez cambiada la válvula solo hay que enroscar firmemente la placa trasera a la válvula e insertar el cabezal en la placa trasera aplicando presión con la palma de la mano, tal y como se muestran en las siguientes imágenes (Figura 4).



Figura 4. Esquema de montaje del cabezal termostático inteligente

### C. Persianas motorizadas

La instalación comienza con el montaje de un motor tubular con fin de carrera electrónico y detección de bloqueo en el mismo eje de la persiana, que suele ser un eje tubular octogonal de acero. Previamente hay que verificar que el eje metálico encaje en el espacio donde irá la ventana, es decir se puede montar fácilmente en los cojinetes. A continuación, hay que introducir el motor en el eje metálico hasta que haga tope con la corona o tope del eje. Posteriormente, se colocarán los nuevos soportes, situando el soporte del eje de la cabeza del motor y el del mismo eje del motor con el cojín para que gire el eje. El motor puede montarse a la izquierda o a la derecha del eje de la persiana, en el hueco del cajón dentro de los soportes laterales. Hay que prestar atención a la posición en donde irá el interruptor del control remoto y verificar que los dispositivos de subida y bajada queden siempre a la vista.

Adicionalmente al motor, en las persianas que dispongan de cajón (las que no estén ocultas en el falso techo), se instalará una lámina de aislamiento térmico de poliestireno (XPS) de 4 cm de espesor que mejorará el comportamiento térmico del hueco.

### D. Sensores ambientales: temperatura, humedad y CO2

La instalación de este sensor consiste en la colocación del mismo sobre el paramento vertical mediante tornillo, a una altura aproximada de 1,5 m y preferiblemente en el centro de la sala y alejado de corrientes de aire, como puertas y ventanas, personas, fuentes de calor o elementos de combustión.

### E. Sensores de apertura de ventana

La instalación de este sensor se divide en 2 partes, por un lado, el dispositivo de comunicación EM300, que se coloca atornillado sobre un paramento vertical cerca de la ventana y, por otro, el sensor propiamente dicho, que queda unido al dispositivo EM300 mediante un cable y se coloca en la carpintería de la ventana, un imán en la parte fija y el otro en la parte móvil, ambos a la misma altura de modo que cuando la ventana quede cerrada las dos partes del sensor estén en contacto.

### F. Cámaras de control de presencia

El montaje de las cámaras comienza con la tirada de cable UTP Cat 6 por el interior del falso techo desmontable existente en el pasillo. Mediante este cable, cada una de las cámaras se conectarán directa e individual a un switch que se colocará en un rack existente en la planta baja. Desde la planta primera se bajará el cableado por un patinillo existente. En el interior de las aulas, las cámaras irán instaladas en el techo y en la pared frontal de las mismas, desde donde se imparten las clases. Al lado de cada cámara, se ha instalado una roseta con un conector RJ45, que permitirá la conexión de la cámara y además permitirá el control de la conexión por parte del departamento de infraestructuras de la UEX.

## 4. OPERACIÓN

### A. Sistema de ventilación

Puede programarse el funcionamiento del recuperador de calor a través de consignas preestablecidas. Los equipos Prana 340S disponen de un sistema de comunicaciones ModBus que permite controlar distintas funciones

### B. Sistema de calefacción

Cuando todas las válvulas están montadas en los radiadores, se procede a la configuración de las mismas, en primer lugar se activa cada una de ellas en la API del fabricante (a través de la web: <http://158.49.112.190:8081/#/organizations/1>), donde también se pueden configurar diversos parámetros de funcionamiento de las válvulas, como son la periodicidad en el envío de datos, activación o desactivación de funcionalidades, como, por ejemplo, la detección de apertura de ventanas, configuración de temperaturas de funcionamiento, etc.

### C. Persianas motorizadas

El sistema motorizado en persianas, lo podemos activar y controlar desde un interruptor, con mando a distancia, incorporando sistemas de domótica, para ello se instalará un controlador que dispondrá de conexión LoRaWAN, los interruptores táctiles inteligentes SONOFF0EU2C SONOFF

### D. Sensores ambientales: temperatura, humedad y CO2

La programación se realiza seleccionando, dentro del entorno de desarrollo, como placa el modelo Arduino UNO. Existen dos alternativas para programar o modificar el firmware del sensor. En este caso, se realiza mediante el puerto serie TTL disponible y el bootloader de Arduino UNO cargado en el microcontrolador. De este modo, solo necesitamos un puerto serie TTL en nuestro ordenador para descargar programas desde el IDE de Arduino. Antes de conectar el cable de programación hay que asegurarse de que tiene bien posicionado el conector: PIN1 = GND = Cable color negro. Este sensor se entrega con un firmware ejemplo de estándar de funcionamiento llamado "LoRa NODE RAW" que transmite paquetes LoRa cada cierto tiempo con una estructura de datos donde se encuentran las medidas de los diferentes parámetros. Además, este firmware incluye una línea de comandos para configurar parámetros y consultar medidas, a la cual se accede conectando un cable compatible SERIE-TTL al conector J8 de LoRaTH y configurando el terminal serie a 9600,N,8,1. Puede usar como terminal serie el que incluye el IDE de Arduino.

### E. Sensores de apertura de ventana

Para conectar este sensor a nuestro servidor de Chirpstack es necesario crear una nueva aplicación, un nuevo perfil de dispositivo. Primero crearemos un nuevo perfil de dispositivo. Por la documentación del sensor, sabemos que la versión LoraWan MAC es 1.0.2, el tipo de parámetro es B. También debemos implementar un decodificador para poder obtener la información de los mensajes enviados por el sensor. Para ello accedemos a:

[https://github.com/Milesight-IoT/SensorDecoders/blob/master/EM300\\_Series/EM300-MCS/EM300-MCS\\_TTN.js](https://github.com/Milesight-IoT/SensorDecoders/blob/master/EM300_Series/EM300-MCS/EM300-MCS_TTN.js). Después debemos crear una nueva aplicación para introducir los datos dentro del perfil de servicio SmartPoliTech. Introduciremos el sensor especificando el device EUI, que podemos encontrarlo en la documentación del dispositivo, también debemos conocer el

Application Key. Para activarlo debemos especificarle una dirección aleatoria, así como un Network session key y un Application session key. El sensor se conecta al Gateway Kona Micro utilizado anteriormente para hacer pruebas con un sensor Smart Room de la misma marca. Hay dos tipos de configuración, según el manual del dispositivo: mediante NFC o mediante LoRaWAN. En este caso, se ha llevado a cabo la segunda, la cual se realiza siguiendo la siguiente ruta: Dispositivo → Configuración → Configuración de LoRaWAN de la aplicación ToolBox, para configurar el tipo de unión, la aplicación EUI, la aplicación Clave y otra información. También puede mantener todas las configuraciones por defecto.

## F. Cámaras de control de presencia

Para la configuración de las cámaras, se utilizará el algoritmo You Only Look Once (YOLO), el cual es un sistema de código abierto para detectar objetos en imágenes en tiempo real, haciendo uso de una única red neuronal convolucional. Para su funcionamiento, la red neuronal divide la imagen en regiones, prediciendo cuadros de identificación y probabilidades por cada región. El algoritmo aprende representaciones generalizables de los objetos, permitiendo un bajo error de detección para entradas nuevas, diferentes al conjunto de datos de entrenamiento. De este modo, el conteo de las ocupación se realizará a través de un software de reconocimiento de imágenes, que utiliza la red YOLOv4, que detecta a las personas ya estén de pie o sentadas. Posteriormente, se utilizará otro software dedicado a introducir los datos en una página web o dashboard donde se condense la información procesada, de manera que sea fácilmente legible para usuarios finales.

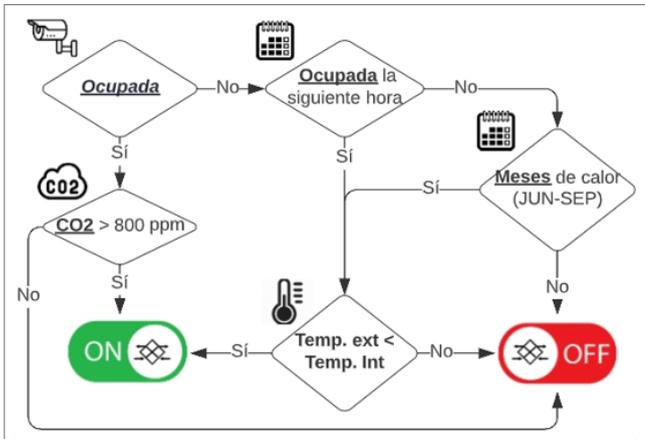
### 4.1. Configuración y programación del sistema resultante

Todos estos dispositivos nos proporcionan una información que se puede ver y analizar a través de la herramienta de visualización web Grafana. Con esta información podremos implementar algoritmos de actuación. De este modo, se crea un sistema general complejo con multitud de dispositivos que trabajan teniendo en cuenta todos los datos. La siguiente tabla (Tabla 4) muestra qué datos son los que influyen a cada uno de los tres actuadores presentes en el sistema, así como su procedencia.

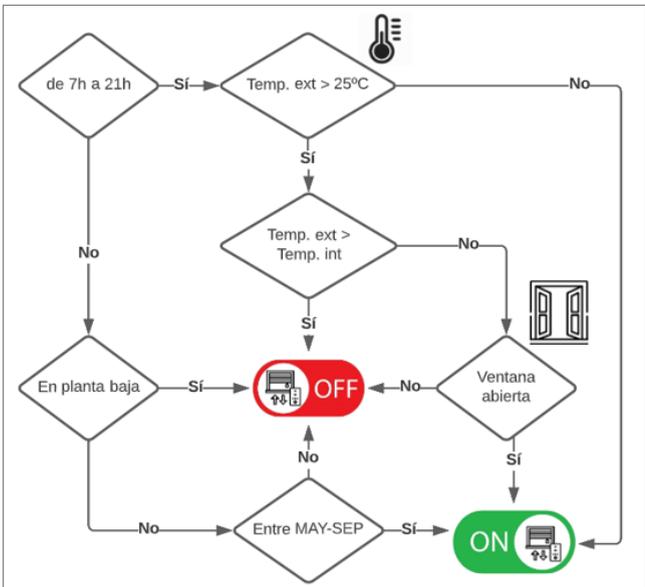
		Recuperador de calor	Válvula termostática	Persianas
-	Orientación			x
-	Fecha	x		x
-	Hora		x	x
Sensor CO2	Concentración CO2	x		
Sensor Temp. + Sensor válvula termostática	Temp. int.	x	x	x
Sensor Temp. ext. + datos AEMET	Temp. ext.	x		x
Sensor humedad	Hum. %			
Cámaras	Ocupación	x	x	x
Excel de ocupación de aulas	Horario	x	x	x
Sensor apertura ventanas + válvula termost.	Estado ventanas		x	x
Persianas motorizadas	Estado persianas		x	
Sensor calderas + s. válvulas termostáticas	Calefacción (ON/OFF)			
Sensor recuperador de calor	Ventilación (ON/OFF)			
Sensor de consumo de gas / facturas	Consumo de gas		x	

Tabla 4. Influencia de datos de sensores sobre el trabajo de los actuadores

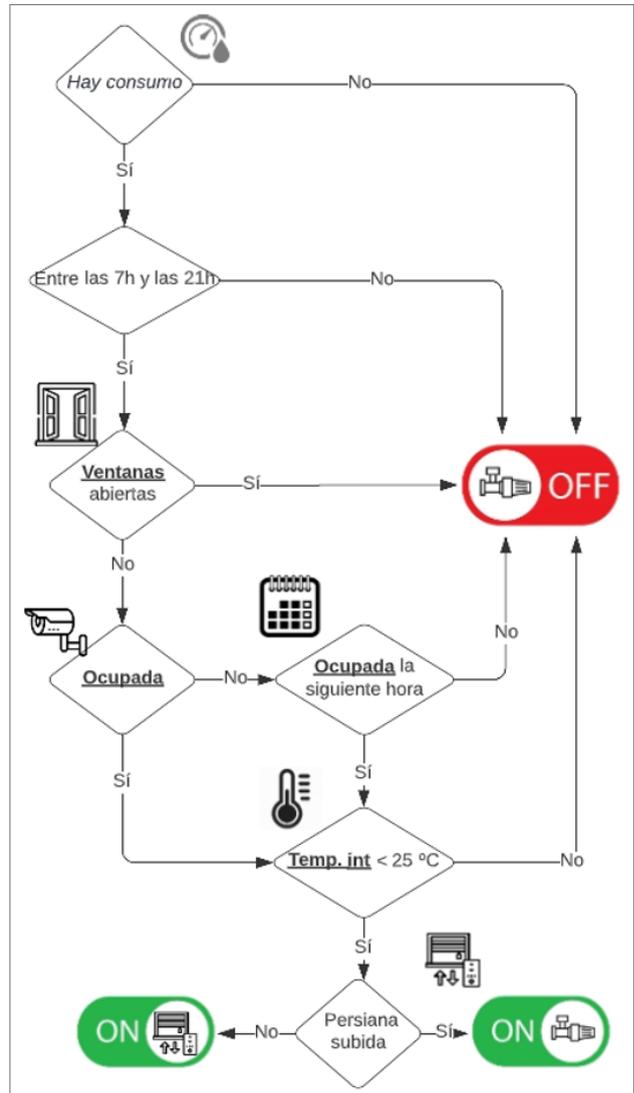
De este modo, los actuadores trabajan según comandos de programación que siguen los flujos indicados a continuación. El resultado de las posibles variaciones de los datos recogidos para poder configurar el sistema de actuación depende de cada combinación de datos, la cual traza una orden de operación que el sistema llevará a cabo (figura 5).



Grafo de configuración del sistema de actuación de los recuperadores de calor industriales



Grafo de configuración del sistema de actuación de persianas motorizadas



Grafo de configuración del sistema de actuación de las válvulas termostáticas inteligentes

Figura 5. Grafo de configuración de los sistemas de actuación

## 5. VALIDACIÓN

Se ha diseñado e implantado un sistema completo de supervisión y control para el edificio prototipo que cumple los siguientes criterios:

- código abierto o con un software de licencia permisiva
- multiprotocolo, admitiendo cualquier tipo de dispositivo IoT para publicar o recibir peticiones
- soporte para datos estáticos y dinámicos
- escalable, fácilmente ampliable y replicable en otras instalaciones
- modular, con servicios y bases de datos en contenedores para facilitar su mantenimiento y mejora
- autocontrolable y autodiagnosticable, con una infraestructura de vigilancia paralela que mantiene modelos locales de cada servicio y supervisa su correcto funcionamiento
- fácil de usar, para facilitar el desarrollo y la puesta a punto de los controladores
- acceso externo a través de microservicios para conectar software de visualización y cuadros de mando
- acceso flexible al kit de desarrollo de software para el análisis de datos codificados a medida

La arquitectura se divide verticalmente en cinco capas que van desde los puntos de acceso a dispositivos externos hasta las máquinas virtuales internas que se ejecutan en una infraestructura en la nube o local.

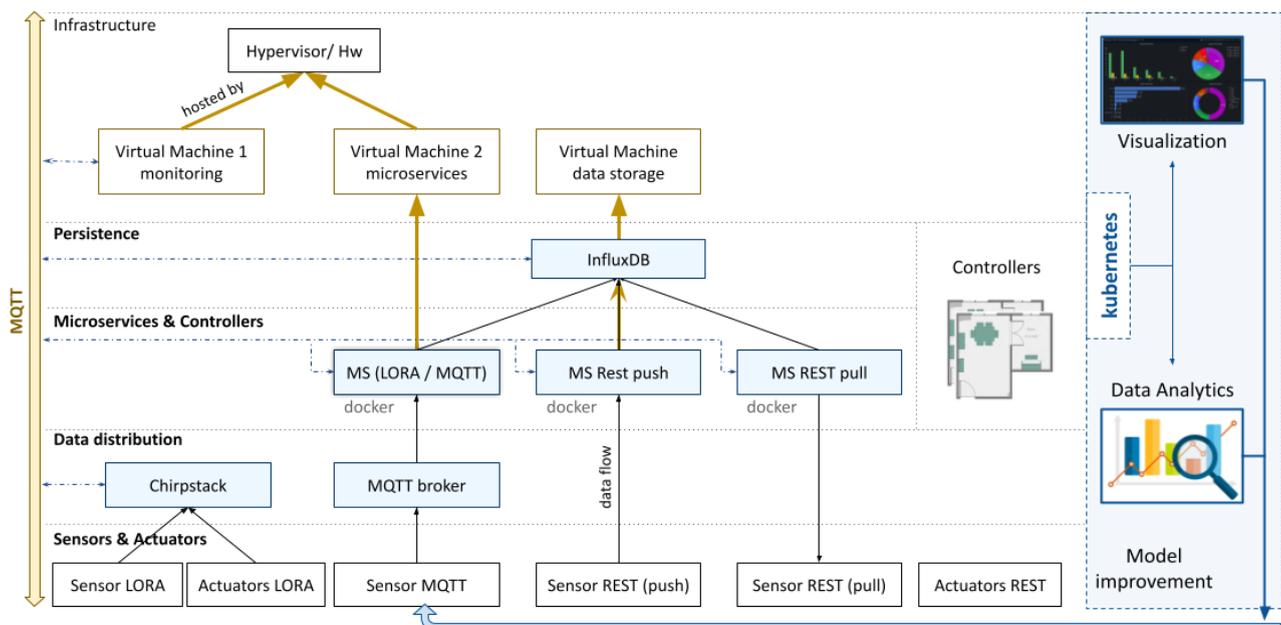


Figura 6. Arquitectura del sistema

Las dos primeras capas comprenden el transporte y la distribución de datos antes de la ingesta por parte de la capa de microservicios. Para ello se aprovecha la infraestructura existente, la red local de cable y WIFI, pero también se amplía con el despliegue de routers y antenas LoRa. Se han soportado varios protocolos, incluyendo MQTT, REST y Modbus sobre IP.

- Las comunicaciones LoRa están soportadas por dos routers situados en extremos opuestos del edificio. Estos routers están conectados a la ethernet local y configurados para enviar todos los paquetes recibidos a una instancia de Chirpstack, que los transforma en cadenas JSON y los publica a través de MQTT. En nuestro edificio, las válvulas termostáticas de los radiadores utilizan LoRa, los interruptores de apertura/cierre de las ventanas y también algunos de los sensores de temperatura y CO2.
- Los dispositivos compatibles con MQTT pueden publicar sus datos directamente. En nuestro edificio, los controladores de persianas motorizadas se conectan a la red local mediante Wifi (con ESP32) y envían y reciben datos mediante MQTT.
- Sensores de temperatura, humedad relativa del aire y concentración de CO2 envían sus datos usando REST a través de una conexión Wifi.
- Diversas fuentes externas son consultadas periódicamente para obtener datos meteorológicos, de calidad del aire y otras variables que puedan ser de interés para futuros análisis del comportamiento del edificio.

La tercera capa comprende el conjunto de microservicios que reciben o consultan las fuentes de datos, los validan, filtran y los almacenan en las bases de datos. Los servicios se codifican utilizando el lenguaje Python y se han agrupado en función de la naturaleza y precedencia de los datos. Cada grupo se ejecuta dentro de un contenedor, que a su vez se ejecuta dentro de una máquina virtual con una IP pública.

Dada la variedad de las fuentes de datos y el hecho de que muchas son dispositivos comerciales con su propio formato predefinido o sitios web externos que suelen utilizar estructuras CSV o JSON personalizadas, se descarta la posibilidad de un formato de datos común. En su lugar, se ha aprovechado la flexibilidad de los microservicios para codificar rápidamente soluciones específicas para cada caso. Una vez recibidos los datos, se validan con el modelo de datos interno y se almacenan en una base de datos, mantenida en una subred privada independiente.

La persistencia de los datos se consigue utilizando una base de datos orientada a series temporales, InfluxDB, que almacena los datos entrantes gestionados por los microservicios, representados en la tercera capa de la Figura 6.

Una característica importante de esta arquitectura es la capacidad de autocontrol. Tras varios años de funcionamiento del sistema IoT y de aumento del número de sensores, actuadores y controladores, la incidencia de fallos también ha aumentado de forma constante. En este proceso podrían subyacer patrones, ya que se trata de un aspecto de los sistemas IoT al que se ha prestado menos atención, pero que cada vez resulta más urgente. Nuestro enfoque consiste en una arquitectura paralela que vigile la nominal. Todos los procesos se monitorizan siguiendo su estado externo en términos de variables del sistema operativo (es decir, disponibilidad, memoria, uso de la CPU). Los microservicios que reciben o solicitan datos de dispositivos externos se han ampliado con código adicional que aprende y realiza un seguimiento de la identidad y la frecuencia de interacción de todos los dispositivos que llegan a ese servicio. Cuando los

dispositivos envían datos de forma autónoma, su frecuencia de escritura no se conoce a priori y podría cambiar durante la operación. Este código de monitorización construye una tabla con las frecuencias estimadas y detecta situaciones en las que un sensor deja de enviar datos o de responder a peticiones. Estas anomalías se publican utilizando un broker MQTT independiente a una máquina virtual dedicada. Un proceso en esta máquina recibe todas las notificaciones de los scripts de monitorización y ejecuta algoritmos de diagnóstico. Los eventos considerados anómalos y el resultado de su evaluación se notifican a los técnicos para que intervengan. En el estado actual, los algoritmos de diagnóstico se limitan a simples comparaciones de modelos basadas principalmente en umbrales predefinidos, pero los datos que estamos recopilando se utilizarán en algoritmos de aprendizaje automático para inducir clasificadores más complejos.

El último elemento de la arquitectura, representado en la parte derecha de la Figura 6, muestra los procesos externos de visualización y análisis de datos que se conectan al sistema de información a través de API dedicadas. La visualización de series temporales y otras representaciones sencillas se realiza actualmente utilizando la herramienta de código abierto Grafana, aunque podría conectarse fácilmente cualquier otro software. El análisis de datos, tomado como un procedimiento más general, requiere un control de acceso más elaborado. El analista de datos necesita un conjunto muy flexible de herramientas de consulta que le permita descargar datos seleccionados de ambas bases de datos. El objetivo es ofrecer una serie de API sólidas y seguras y bibliotecas de acceso en distintos idiomas, para que el analista avanzado sea libre de elegir la herramienta que prefiera. Ambas bases de datos ofrecen una API REST lista para usar. Las hemos utilizado para proporcionar un acceso seguro que está limitado en el tamaño de los elementos devueltos y en el número de solicitudes por minuto. Es necesario seguir trabajando para completar un conjunto más expresivo de herramientas de programación.

## **ANEXO 1. Video prototipo**

Tras la realización del prototipo se ha creado un video explicativo, el cual cuenta con fines divulgativos y se puede ver a través del siguiente enlace:

[https://drive.google.com/file/d/1yIG3F\\_n\\_btHXI5g6UXNRSQ66\\_IHPH8LW/view](https://drive.google.com/file/d/1yIG3F_n_btHXI5g6UXNRSQ66_IHPH8LW/view)

[https://drive.google.com/file/d/1qTm-E0IRUtYVN3HT-yzhugCnqF4sqq2o/view?usp=share\\_link](https://drive.google.com/file/d/1qTm-E0IRUtYVN3HT-yzhugCnqF4sqq2o/view?usp=share_link)

## ANEXO 2. Listado de empresas participantes y trabajos realizados

A continuación se expone una tabla donde se indican las empresas que han participado en la realización del proyecto y los trabajos que han llevado a cabo.

	Empresa	Tarea	Localidad y Contacto
<b>Sistema de ventilación</b>			
	Prana Smart	Casa comercial de los recuperadores de calor	Vic, Barcelona 622 93 73 75 / 622 85 75 75 <a href="mailto:sale-es@prana-smart.com">sale-es@prana-smart.com</a> <a href="mailto:info-es@prana-smart.com">info-es@prana-smart.com</a>
	F&R Izquierdo 99 S.L.	Suministro e instalación Recuperador de calor industrial	Trujillo, Cáceres 927 32 15 31 - Ramón <a href="mailto:fyrizq@gmail.com">fyrizq@gmail.com</a>
	Samuel Escribano Corrales	Suministro e instalación Recuperador de calor domésticos	Cáceres, Cáceres 927 21 44 12 <a href="mailto:escribano@escribano.es">escribano@escribano.es</a>
<b>Sistema de calefacción</b>			
	MClimate	Suministro cabezales termostáticos inteligentes	Sofia, Bulgaria +359 800 3 1010 <a href="mailto:hi@mclimate.eu">hi@mclimate.eu</a>
	Lorenzo Gómez Vinagre	Instalación de válvulas y cabezales termostáticos inteligentes	Cáceres, Cáceres 655 85 44 93 <a href="mailto:titolg@hotmail.com">titolg@hotmail.com</a>
	InfoCeres S.L.	Suministro de filamento para carcasa protectora de cabezales termostáticos inteligentes	Cáceres, Cáceres 648 66 30 68 - Sergio 927 21 71 39 <a href="mailto:infoceres@gmail.com">infoceres@gmail.com</a>
	COVICASH	Tuercas y varillas para carcasa protectora de cabezales termostáticos inteligentes	Casar de Cáceres, Cáceres 927 29 02 41 <a href="mailto:covicashcentrodecompras@gmail.com">covicashcentrodecompras@gmail.com</a>
<b>Persianas motorizadas</b>			
	Industrial Roma Persianas, Toldos y Aluminios Cáceres S.L.	Suministro e instalación Persianas motorizadas	Cáceres, Cáceres 927 22 70 07 - Francisco <a href="mailto:informacion@industrialroma.com">informacion@industrialroma.com</a>
	InfoCeres S.L.	Suministro interruptores	Cáceres, Cáceres 648 66 30 68 - Sergio 927 21 71 39 <a href="mailto:infoceres@gmail.com">infoceres@gmail.com</a>
	Crema Labs Creative Manufacturing Labs	Programación e instalación Interruptores	Cáceres, Cáceres 648 24 20 78 - Bruno

	Empresa	Tarea	Localidad y Contacto
Sensores ambientales: temperatura, humedad y CO2			
	RAY Ingeniería Electrónica	Casa comercial y Suministro sensores ambientales	Mirabel, Cáceres 927 45 01 38 <a href="mailto:info@ray-ie.com">info@ray-ie.com</a>
Sensores de apertura de ventana			
	MILESIGHT	Casa comercial sensores apertura de ventana	<a href="mailto:sales@milesight.com">sales@milesight.com</a> <a href="mailto:support@milesight.com">support@milesight.com</a> <a href="mailto:iot.marketing@milesight.com">iot.marketing@milesight.com</a>
	MONOLITICS	Suministro sensores apertura de ventana	Badalon, Barcelona 93 285 92 92 - Carmen 915 72 03 28 <a href="mailto:monolitic@monolitic.com">monolitic@monolitic.com</a>
	Montajes Eléctricos INSTAME, S.L.	Instalación de sensores ventana	Cáceres, Cáceres 927 23 36 90 / 605 37 19 50 / 609 52 26 97
Cámaras de control de presencia			
	Foscam Diy Security	Casa comercial cámaras de presencia	902 75 72 27
	Montajes Eléctricos INSTAME, S.L.	Suministro e instalación de cámaras de presencia	Cáceres, Cáceres 927 23 36 90 / 605 37 19 50 / 609 52 26 97
Otras actividades			
	BLOCK LABS GROUP	Desarrollo de software de prototipo consistente en: monitorización de elementos de la arquitectura IoT, detección de anomalías en sensores, programas y servicios de la arquitectura; diseño de modelos y estrategias de diagnóstico sobre el histórico de eventos y anomalías registrado.	Las Palmas de Gran Canaria 609756526 - Samuel