

UrbanITA: Un modelo de referencia de servicios IoT abiertos dirigidos a estrategias de eficiencia energética de edificios públicos inteligentes

Financiado por la Dirección General de Investigación y Transferencia del Conocimiento de la Junta de Andalucía a través de la Convocatoria de Subvenciones a proyectos de I+D+i en universidades y entidades públicas de investigación con referencia P20_00809

Investigador principal: Dr. Luis Iribarne

Informe técnico 2:

Estado del arte, análisis de procedimientos y métodos para la transformación de edificios existentes en Edificios de Energía Casi Nula

Autores:

Joaquín Alonso Montesinos, UAL
Miguel Ángel García Fuentes, CARTIF
Manuel Pérez García, UAL

Tabla de contenidos

1	Introducción (UAL, CARTIF).....	4
2	La Directiva de EECN y su implementación en España (CARTIF)	5
3	Barreras relativas a la consecución de EECN en edificios existentes (CARTIF)	7
4	Metodología para la rehabilitación energética de edificios con criterios de EECN (CARTIF)	9
5	Tecnologías para EECN en edificios existentes (CIESOL)	11
6	Caso 1: Rehabilitación del distrito residencial FASA-Delicias (Valladolid) (CARTIF) 14	
6.1	Contexto.....	14
6.2	Medidas para reducir la demanda energética.....	14
6.2.1	Rehabilitación de la envolvente de los edificios	14
6.3	Medidas para la mejora de la eficiencia energética	14
6.3.1	Renovación de la red de distribución de calor y generación con biomasa	15
6.3.2	Integración de un sistema fotovoltaico en fachada	15
6.3.3	Iluminación	15
6.4	Sistema de control y gestión de la energía.....	15
6.5	Comparativa de la situación antes y después de las intervenciones.....	16
6.6	Evaluación de los resultados de las intervenciones	16
6.6.1	Descripción del sistema de monitorización	16
6.6.2	Resultados obtenidos.....	18
7	Caso 2: Centro de Investigación en Energía Solar (CIESOL).....	20
7.1	Campo solar.....	20
7.2	Sistema de acumulación.....	21
7.3	Caldera de gas natural.....	21
7.4	Máquina de absorción.....	22
7.5	Sistema de enfriamiento	23
7.6	Instalación de un sistema de evacuación del calor utilizando agua del subsuelo	23
7.7	Sistemas de ventilación por Fan-coil	24
7.8	Sistema de acumulación en frío.....	24
7.9	Simulador de Carga	25
7.10	Intercambiador de calor	25
7.11	Sistema de control	25

7.12	Instalación de bomba de calor acoplada a intercambiadores geotérmicos mediante tubos enterados	27
7.13	Instalación fotovoltaica.....	28
7.14	Estación meteorológica.....	29
7.15	Sistema de monitorización del edificio CIESOL.....	30
8	Conclusiones (UAL).....	32
9	Referencias.....	33

1 Introducción (UAL, CARTIF)

Los Edificios de Energía Casi Nula (EECN) se definen como aquellos que presentan una demanda energética muy baja y que cubren esta demanda con un nivel de eficiencia muy alto y, en muy amplia medida, con energía proveniente de fuentes renovables en el propio edificio o en el entorno. A nivel normativo, el Código Técnico de la Edificación (CTE) en su Documento Básico de Ahorro de Energía (HE) recoge las exigencias de eficiencia energética que deben cumplir los edificios para garantizar que sean de consumo casi nulo. Así, mediante un correcto diseño de los elementos de la envolvente con unas prestaciones de aislamiento, control solar y estanqueidad muy elevadas, la integración de sistemas de alta eficiencia y el despliegue de renovables en el edificio junto con el uso de las Tecnologías de la Información y la Comunicación, es posible lograr un balance energético nulo en el edificio y contribuir así a la consecución de los compromisos de descarbonización de nuestras ciudades en el horizonte temporal 2050.

Sin embargo, mientras que para nuevos edificios estos criterios forman parte del diseño y son, por tanto, más fácilmente integrables, para aquellos existentes el problema se vuelve más complejo debido a las condiciones del edificio existente donde el grado de libertad es mucho menor. Así, en muchas ocasiones, medidas como actuar sobre los sistemas pasivos (mejora de envolvente térmica) o sobre ciertos sistemas activos resulta complejo, y su coste económico elevado, provocando retornos de la inversión difícilmente asumibles. Y es precisamente en la rehabilitación de edificios existentes donde se encuentra el mayor potencial a nivel Europeo, con una tasa de nueva construcción muy baja y una necesidad de intervenir sobre el parque edificado muy acuciada. En este sentido, el Código Técnico establece para los edificios existentes una mejora sustancial de su eficiencia para contribuir a la descarbonización del parque edificatorio, aunque no se alcancen las exigencias de los Edificios de Energía Casi Nula.

Por tanto, resulta necesario identificar métodos, técnicas y tecnologías que permitan abordar las barreras inherentes al proceso de rehabilitación de edificios para convertirlos en Edificios de Energía Casi Nula de manera factible desde el punto de vista técnico, económico y social.

El presente informe técnico se enmarca en los objetivos 2 y 4 del proyecto UrbanITA, siendo los alcances los siguientes:

- **Objetivo 2: Estado del arte sobre estrategias de Edificios de Energía Casi Nula (EECN) en edificios existentes.** Se ha evaluado el marco normativo en el ámbito de EECN y las barreras que existen asociadas a la transformación de edificios existentes en EECN (capítulos 2 y 3).
- **Objetivo 4: Análisis de procedimientos y métodos para la transformación de edificios existentes en EECN.** Se analizan tanto los métodos (capítulo 4) como las tecnologías (capítulo 5) que permiten transformación edificios existentes en EECN.

Se presentan además dos casos de éxito, uno de ellos de carácter residencial y que explota las economías de escala para intervenir a nivel de barrio, y un segundo de carácter terciario con un uso destinado a investigación.

2 La Directiva de EECN y su implementación en España (CARTIF)

Existe un amplio número de planes y estrategias desarrollados e implementados en los últimos años para dar respuesta a los retos de la descarbonización de la economía y la transición energética. Muchos de ellos se recogen dentro del denominado “Paquete de Invierno: Energía Limpia para todos los europeos” [01]. Este paquete estableció en mayo de 2016 una serie de medidas para lograr los compromisos del Acuerdo de París [02] y vino a reescribir el marco político energético de la UE. Dentro de su estrategia proponía una serie de medidas y directivas para estimular y reforzar los derechos de los consumidores, colocándoles en el centro de la transición energética. Su estructura incluye las 5 dimensiones de la Unión Energética [03]: la (1) seguridad energética, (2) el mercado energético interno, (3) la eficiencia energética, (4) la descarbonización de la economía y, (5) la investigación, innovación y competitividad [04].

Este nuevo marco normativo y político, enmarcado dentro del Paquete de Invierno, fija además los objetivos vinculantes para la UE en el marco temporal hasta 2030. Estos objetivos son: la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en un 40% respecto a los valores de 1990, la incorporación del 32% de renovables sobre el consumo total de energía bruta, la mejora de la eficiencia energética en un 32,5%, y establecer un 15% de interconexión eléctrica de los Estados Miembros [05] tal y como refleja la Figura 2. Por otro lado, el *European Green Deal* [06] propone incrementar el objetivo de reducción de emisiones hasta al menos un 50% y buscando alcanzar de manera responsable un 55%.

Más allá de los objetivos establecidos para 2030, aparece un nuevo marco temporal que establece como objetivo la descarbonización total de la economía para 2050, buscando que la Unión Europea alcance la neutralidad climática en ese año. Este objetivo, que aparece dentro de la Comunicación de la Comisión Europea “Un planeta limpio para todos. La visión estratégica europea a largo plazo de una economía próspera, moderna, competitiva y climáticamente neutra” [05], requiere un cambio drástico en todos los sectores que están relacionados con la economía energética y climática. Este cambio, además, no es posible sin una profunda transformación social que convierta en parte activa de la transición energética a todos los miembros de la sociedad.

A nivel nacional, en 2019 el Ministerio para la Transición Ecológica, junto con el Instituto para la Diversificación de la Energía (IDAE), lanzan el Plan Nacional Integrado de Energía y Clima 2021-2030 (PNIEC) [07], que establece la estrategia en España para alcanzar la contribución necesaria a los objetivos establecidos a nivel europeo.

El sector de la edificación juega un papel fundamental en esta transición, puesto que representa aproximadamente el 40% del consumo energético, y para el que ya se han establecido objetivos cuantificables a nivel nacional e internacional. El PNIEC establece para los edificios residenciales una reducción esperada de su consumo de energía final en aproximadamente 6700 ktep acumuladas en los próximos 10 años.

Los mecanismos para lograr este objetivo pasan por aumentar progresivamente el número de viviendas rehabilitadas de 30.000 viviendas/año en 2021 a 300.000 en 2030 así como la renovación de las instalaciones térmicas (individuales y centralizadas) en más de 300.000 viviendas/año y la sustitución de 2.443.000 electrodomésticos al año por otros

pertencientes a la clase más alta de eficiencia energética. Esto supone la reducción del consumo en el sector residencial del 18% [07]. Para lograr este objetivo y sentar las bases para garantizar la descarbonización de la economía en 2050, es necesaria una profunda transformación del sector, técnica, económica y socialmente.

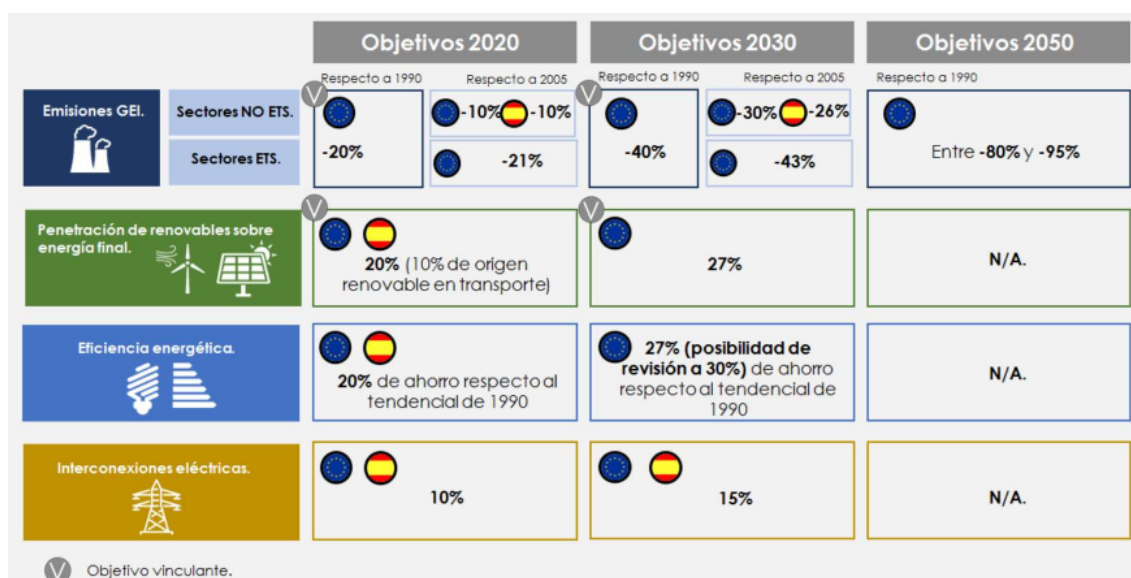


Figura 2. Objetivos de la UE en materia de cambio climático para los años 2020, 2030 y 2050 [08].

En línea con los objetivos establecidos y mencionados anteriormente, el Ministerio de Fomento establece en 2019 un Proyecto de Real Decreto para la modificación del Real Decreto 314/2006 por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación (CTE) [09], y, además, comienza la revisión del Real Decreto 564/2017 que establece el procedimiento básico para la certificación de la eficiencia energética de los edificios [10].

Esta modificación del CTE, en lo referente al DB-HE, establece los criterios exigibles a los edificios para lograr los objetivos referentes al sector de la construcción, y actualiza el concepto de Edificio de Consumo de Energía Casi Nulo (EECN), que se definió reglamentariamente en la Orden FOM/588/2017, y que es de aplicación obligatoria a partir de 2019.

Esta modificación del CTE, así como el concepto de los EECN, están enfocados esencialmente a los nuevos edificios, donde los retos tecnológicos o económicos son relativamente sencillos de asumir. Las tecnologías existentes hacen viable lograr el balance neutro de los edificios nuevos, mientras que en edificios anteriores al CTE la inversión necesaria para integrarlas resulta en un modelo muchas veces económicamente inviable.

Sin embargo, para lograr los objetivos establecidos por el Paquete de Invierno, el PNIEC a nivel nacional, o la meta de lograr la neutralidad climática en 2050, el foco debe estar necesariamente en el parque edificado. En este aspecto, las tasas de renovación en el sector residencial todavía son muy bajas, alcanzando aproximadamente el 1% de media a nivel europeo mientras que en España (entre el 0.3% con intervenciones profundas y el 2.1% con intervenciones ligeras) [11] se evidencia un ritmo rehabilitador muy escaso que “acelera y agrava procesos de degradación a menudo iniciados por otras razones de tipo social y económico” [12].

3 Barreras relativas a la consecución de EECN en edificios existentes (CARTIF)

El ámbito de la rehabilitación energética presenta ciertas dificultades no presentes en los nuevos edificios, lo que hace que sean necesarios cambios tanto en el proceso como en otros aspectos como en el desarrollo de nuevas tecnologías o modelos de negocio. Existe cierto consenso acerca de que la descarbonización del sector de la construcción (así como de otros sectores como el transporte) pasa por la electrificación de los edificios y su combinación con otras tecnologías que permitan centralizar los servicios, como redes de calor o frío, donde la penetración de fuentes de energía renovable es más sencilla.

La electrificación de los edificios necesariamente debe basarse en una integración masiva de energías renovables en la producción de la electricidad necesaria, además de una descentralización de esta, pasando de modelos donde los edificios sean únicamente consumidores a otros escenarios donde sean además productores de energía y contribuyan a la red. Este proceso, sin embargo, requiere de nuevas soluciones y tecnologías, como nuevos equipos de bomba de calor que ofrezcan mejores rendimientos a temperaturas de impulsión necesarias para compatibilizarlos con los sistemas de distribución existentes en los edificios ya construidos, o nuevos sistemas de gestión para la integración en red o garantizar la flexibilidad de la demanda para optimizar la producción y evitar un sobredimensionamiento innecesario de la infraestructura.

Además de estos retos tecnológicos, donde se están realizando grandes avances, existen otros retos y barreras que dificultan todavía el desbloqueo del potencial existente en la rehabilitación energética de edificios. Barreras, por ejemplo, financieras, como los costes de la rehabilitación o el acceso a la financiación; técnicas, como el desconocimiento de algunas soluciones tecnológicas y su comportamiento; de concienciación, como la falta de información sobre los beneficios y de compromiso con la necesidad de contribuir a la transición energética; o, barreras asociadas al proceso, donde entran en juego aspectos relacionados con la interacción entre los agentes que intervienen en la rehabilitación o los flujos de información entre ellos.

La siguiente tabla recoge algunas de estas barreras así como mecanismos que pueden contribuir a su mitigación:

Tabla 1. Barreras asociadas a los procesos de rehabilitación energética y mecanismos de mitigación.

Tipo	Barrera	Mecanismos de mitigación
Financieras	Costes de la rehabilitación.	Reducción de costes a través de economías de escala.
	Acceso a financiación.	Soporte mediante instrumentos de financiación a través de contratos de servicios energéticos, créditos blandos, mercados energéticos, etc.
	Variabilidad en los precios de la energía.	Reducción de la dependencia energética de fuentes fósiles e integración de energías renovables in situ.

Técnicas	Falta de conocimiento sobre algunas soluciones tecnológicas y su comportamiento.	Generación de información validada con datos contrastables y difusión de los mismos a los técnicos del sector.
Sociales	Falta de concienciación sobre la necesidad de la rehabilitación energética.	Formación y difusión de información sobre casos de éxito con información validada y contrastable. Refuerzo de la participación social en los procesos de rehabilitación a través de mecanismos de co-creación.
Proceso	Fragmentación de la cadena de valor.	Implementación de nuevos métodos basados en la participación de todos los agentes del proceso desde las etapas iniciales y refuerzo de las relaciones contractuales, la compartición de riesgos y el reparto de beneficios.
	Escasa colaboración entre los agentes involucrados en el proceso.	Refuerzo de los métodos de colaboración mediante participación temprana y establecimiento de responsabilidades, riesgos y beneficios de cada una de las partes a través de nuevos modelos integrados.
	Falta de interoperabilidad entre herramientas.	Desarrollo de nuevas herramientas que permitan explotar el potencial existente entre las herramientas de diseño, toma de decisión o simulación y que fomenten los flujos de colaboración entre agentes para reducir errores y costes.
	Falta de credibilidad en los ahorros energéticos.	Reducción de la diferencia entre el comportamiento previsto y el comportamiento real y amplia difusión de resultados sobre casos de éxito con información validada mediante protocolos de validación de ahorros y contrastable.

4 Metodología para la rehabilitación energética de edificios con criterios de EECN (CARTIF)

De cara a afrontar y mitigar las barreras anteriores, es necesario el trabajo sobre metodologías que permitan mejorar e integrar de manera correcta a todos los agentes del proceso, flujos de información, tecnologías, procesos, etc., para reducir la incertidumbre inherente al proceso de intervención sobre edificios existentes.

Un ejemplo de estas metodologías es la desarrollada en el marco del proyecto R2CITIES, financiado por la Comisión Europea, que capturaba en un proceso de 4 fases el conocimiento adquirido a través del análisis de los procesos de rehabilitación en entornos urbanos en 3 ciudades europeas: Valladolid, en España, Genova, en Italia y Kartal en Turquía.

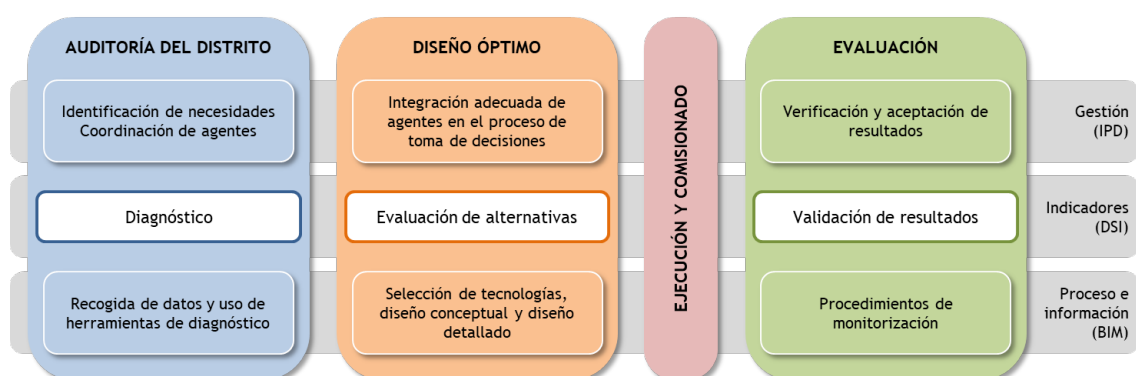


Figura 3. Metodología desarrollada en el marco del proyecto R2CITIES [13].

Esta metodología se estructuraba en una primera fase de diagnóstico, una segunda de evaluación de las diferentes alternativas y diseño de la intervención, una tercera fase relativa a la ejecución y, finalmente, una cuarta fase de validación y verificación de los resultados. Estas cuatro fases se articulan sobre 3 marcos habilitadores del proceso:

- **Gestión:** el marco de gestión define procedimientos para la mejora de la interacción entre los agentes de la rehabilitación, asegurando la participación temprana de todos ellos y el establecimiento de las relaciones contractuales que permitan identificar responsabilidades, riesgos y beneficios asociados a cada uno de ellos con mayor transparencia y con mecanismos de resolución de conflictos que reduzcan tiempos e incertidumbre en la toma de decisiones.
- **Evaluación:** la evaluación es fundamental en el acompañamiento de las fases a través de un sistema de indicadores que permita de manera fiable evaluar el estado previo y el estado posterior a la intervención, así como dar soporte a la comparación de alternativas.
- **Información:** los flujos de información a través del uso de herramientas y de la explotación de la interoperabilidad entre ellas permite mejorar la comunicación entre los agentes, centralizar la información del proceso y anticipar y evitar errores que generalmente en fases posteriores incrementan considerablemente el coste del proceso.

Así, este enfoque introduce mejoras en toda la cadena de valor del proceso lo que permite reducir costes, tiempos, y superar varias de las barreras que existen asociadas a la rehabilitación energética.

5 Tecnologías para EECN en edificios existentes (CIESOL)

Desde hace siglos los edificios se han construido con materiales que maximizan la comodidad dentro de un entorno determinado. Hoy en día, las tecnologías innovadoras y los materiales de construcción están ampliamente disponibles, aunque están ausentes en una gran parte de los edificios existentes de Europa. Más del 40% de las viviendas existentes en Europa, por ejemplo, fueron construidas antes de la década de 1960, cuando no había unos requisitos de eficiencia energética, lo que lleva a unos muy bajos niveles de aislamiento. A nivel mundial, la calefacción y la refrigeración representan un tercio de toda la energía consumida en los edificios. En 2013, sólo la calefacción contribuyó con el 62% del consumo de energía en los edificios de Europa.

En el caso español, en junio de 2014 se adoptó la “Estrategia a largo plazo para la rehabilitación energética en el sector de la edificación en España”. Las medidas concretas se reflejaron a su vez en el “Plan nacional de acción de eficiencia energética 2014-2020” [10], que recoge un sistema de obligaciones de eficiencia energética aplicable en base a un mecanismo estandarizado de certificados de ahorro energético negociables suficientemente flexible y sencillo para que la carga administrativa no sea elevada. En el plan se incluyen igualmente medidas referidas a la información sobre facturación y contadores, así como la función ejemplarizante de los edificios de los organismos públicos. Mediante Real Decreto-Ley 8/2014 se creó el Fondo Nacional de eficiencia energética, que define las líneas de desarrollo para garantizar el cumplimiento de los objetivos de eficiencia energética.

La estrategia española a largo plazo estableció una serie de objetivos cuantitativos específicos que se dividen, por lo que a la edificación residencial respecta, en los tres escenarios definidos a continuación [11]:

- Escenario 1, residencial alto: ahorro en el consumo de energía final para usos térmicos (calefacción, refrigeración y ACS) acumulado para el periodo 2014- 2020 igual al 32% del consumo de energía final total promedio de los años 2010-2012.
- Escenario 2, residencial medio: ahorro en el consumo de energía final para usos térmicos (calefacción refrigeración y ACS) acumulado para el periodo 2014- 2020 igual al 26% del consumo de energía final total promedio de los años 2010-2012.
- Escenario 3, residencial base: ahorro en el consumo de energía final para usos térmicos (calefacción refrigeración y ACS) acumulado para el periodo 2014- 2020 igual al 7% del consumo de energía final total promedio de los años 2010- 2012.

Por estas cuestiones, resulta necesario disponer de una calificación energética de un proyecto o edificio ya construido, y nos ayuda a determinar el nivel de eficiencia energética del que dispone la infraestructura. La mejora de calificación de un edificio debería ser el resultado de la suma de diversas medidas dirigidas, en primer lugar, a minorar las demandas de energía y, en segundo lugar, a mejorar la eficiencia energética y reducir el consumo de energía asociado a las instalaciones de cada servicio. La incorporación de energías renovables, como la solar térmica para agua caliente sanitaria (ACS), siempre se refleja en una mejora considerable de la calificación de un edificio a causa de la reducción en el consumo de energía para satisfacer los servicios afectados. Entre las acciones a llevar a cabo para tener una mejor eficiencia energética, debemos disponer de tecnologías que nos

permitan desarrollar escenarios capaces de ahorrar energéticamente en una infraestructura, además de cumplir con la función primaria de proveer cobijo y protección al ser humano, la utilización del edificio para llevar a cabo diferentes actividades implica asumir ciertas demandas, dependientes de dichas actividades, comunes a todos los edificios:

- Protección frente al frío y al exceso de calor
- Protección frente al viento
- Protección frente a la humedad, lluvia, nieve, etc.
- Creación de espacios apropiados y atractivos
- Soporte estructural para estas protecciones
- Suministro de luz natural
- Suministro auxiliar de calor y frío
- Suministro de aire fresco
- Suministro de agua fría y caliente
- Suministro de electricidad y redes de comunicación

Las primeras seis demandas son satisfechas por la envolvente del edificio, esto es, la piel que divide el espacio interior y exterior, pudiendo utilizarse los criterios de diseño bioclimáticos vistos en este manual. La demanda no conseguida de esta manera pasiva habrá de ser suplida mediante subsistemas auxiliares: sistemas de calefacción y refrigeración, sistema de ventilación, sistema de agua fría y agua caliente y las redes de electricidad y telecomunicaciones; éstos deberán estar optimizados para permitir la obtención de energía de manera activa dentro del edificio. Entre las tecnologías de energía solar activa más importantes, nos encontramos con las siguientes:

- **Captadores solares térmicos:** Los captadores solares térmicos son el verdadero motor de las instalaciones de energía solar térmica. Absorben la radiación solar y la convierten en energía térmica que se transfiere al fluido utilizado como mecanismo de transporte del calor (habitualmente este fluido caloportador es agua). Este calor es posteriormente almacenado hasta que se produce una demanda energética debida a la producción de agua caliente sanitaria, que es la aplicación más extendida, al calentamiento de piscinas y/o a la climatización de espacios (calefacción y/o refrigeración) en el edificio. La integración de estos dispositivos en una edificación puede darse en la azotea, en la fachada o en otras zonas libres de sombras. Su funcionamiento puede ser de manera natural, por convección del agua y circulación natural, o bien con circulación forzada a través de bombeos. Después, se añaden sistemas de almacenamiento e intercambio de calor, permitiendo así aprovechar el calor procedente del sol como recurso energético renovable.
- **Paneles fotovoltaicos:** son una tecnología de captación de energía que convierte la energía solar en electricidad útil mediante un proceso denominado efecto fotovoltaico. Existen varios tipos de células fotovoltaicas que utilizan

semiconductores para interactuar con los fotones del Sol y generar una corriente eléctrica. Disponer de una planta fotovoltaica para autoconsumo supone un ahorro energético muy importante en una edificación, pues se puede llegar a suplir el 100% de la energía demandada en la vivienda, y, además, se pueden hacer diferentes configuraciones para verter a la red, en caso incluso de disponer de sistemas de acumulación.

6 Caso 1: Rehabilitación del distrito residencial FASA-Delicias (Valladolid) (CARTIF)

6.1 Contexto

El barrio de FASA-Delicias es un barrio construido durante los años 60 para los trabajadores de la fábrica Renault en Valladolid, formado por 19 bloques de 5 plantas, una torre de 14 plantas, así como un pequeño edificio que alberga la central térmica que abastece de calefacción a las 398 viviendas que conforman el barrio.

Estos edificios se rehabilitaron en el marco del proyecto REMOURBAN, financiado por la Comisión Europea, con el objetivo de transformarlo el conjunto de edificios en un distrito de energía casi nula, integrando actuaciones para reducir la demanda de los edificios, mejora de la eficiencia de los sistemas, despliegue de energías renovables y uso de las tecnologías de la información y la comunicación para la optimización de la gestión energética. A continuación se detallan las principales medidas que se implementaron.

6.2 Medidas para reducir la demanda energética

6.2.1 Rehabilitación de la envolvente de los edificios

Las medidas pasivas persiguen reducir la demanda de calefacción mediante el aislamiento de las fachadas y las cubiertas. En el caso de las fachadas el sistema empleado ha sido el sistema SATE de 60 mm de espesor de aislamiento y para las cubiertas, en la torre se ha colocado un sistema de lana de roca con lámina asfáltica impermeable de 80 mm de espesor directamente sobre la cubierta plana existente, mientras que en el caso de los bloques se ha proyectado 60 mm de espuma de poliuretano sobre los forjados del espacio bajo cubierta, ya que en estos casos las cubiertas son inclinadas.

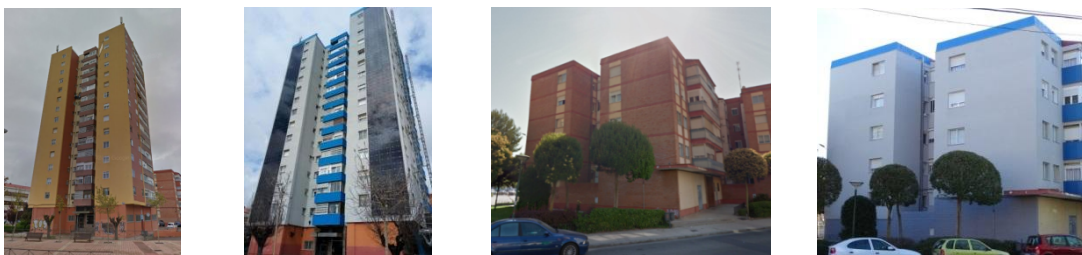


Figura 2. Aislamiento de fachadas y cubiertas (antes y después de la intervención)

6.3 Medidas para la mejora de la eficiencia energética

Las medidas activas persiguen mejorar el rendimiento de la infraestructura de calefacción y ACS e integrar energías renovables como biomasa y solar fotovoltaica.

6.3.1 Renovación de la red de distribución de calor y generación con biomasa

Se renovó la red de tuberías existente consiguiendo un importante aumento del rendimiento de la instalación, ya que al mejorar el aislamiento se han reducido las pérdidas de calor. Por otro lado, se han reducido la temperatura y presión de la red, lo que permite también reducir el consumo. Gracias a la reducción de la demanda y de las pérdidas del sistema de distribución, se reemplazó una de las dos calderas de gas existente con una potencia de 3,7 MW a dos calderas de biomasa con una potencia total de 0,5 MW cada una.

Las dos calderas de biomasa generan entre un 80-90% de la energía necesaria para el distrito, quedándose la caldera restante de gas natural como apoyo para picos de demanda y periodos de mantenimiento de las calderas de biomasa.

La nueva red de distrito de biomasa es la encargada no solamente de cubrir las necesidades de calefacción del barrio, sino que también se encarga de cubrir la demanda de ACS de aquellos usuarios que han decidido conectarse a la red. Por lo tanto, se ha pasado de un sistema individual de calderas para aportar ACS a un sistema centralizado.

6.3.2 Integración de un sistema fotovoltaico en fachada

En la fachada sur de la torre de 14 plantas instaló un sistema solar fotovoltaico de 27,4 kWp integrado en un sistema de fachada ventilada. La energía eléctrica producida se utiliza directamente en corriente continua para alimentar unas resistencias eléctricas alojadas en un depósito de inercia de 500 litros que a su vez realiza un intercambio de calor constante con la red de calor del distrito y por lo tanto reduce el aporte de combustible a las calderas.

6.3.3 Iluminación

El consumo eléctrico de los edificios se disminuyó gracias a la renovación del sistema de iluminación de las zonas comunes. Antes de la intervención, la capacidad de iluminación total en el distrito FASA ascendía a 24,28 kW y se redujo a 4,15 kW gracias al uso de tecnología LED.

6.4 Sistema de control y gestión de la energía

El sistema de gestión y control implementado está estructurado en tres niveles diferentes: distrito, edificio y vivienda. A nivel distrito el sistema se encarga de gestionar la calefacción de distrito en conjunto. En cada uno de los 20 edificios, el sistema de gestión se encarga de monitorizar y controlar las instalaciones de calefacción y ACS. El mismo SCADA que monitoriza las instalaciones a nivel de distrito también controla el equipo a nivel de edificio. Por último, se instalaron dos tipos de equipo en las 398 viviendas: repartidores de costes en cada radiador para medir el consumo individual de las viviendas y válvulas termostáticas para ajustar la temperatura dentro de cada estancia.

6.5 Comparativa de la situación antes y después de las intervenciones

En la siguiente tabla se muestra de un modo resumido el estado del distrito FASA antes y después de la implementación de las intervenciones que acaban de detallarse.

Tabla 4. Estado del distrito de FASA antes y después de las intervenciones.

Alcance	Antes	Después
Intervenciones para la reducción de demanda energética		
Envoltura de los bloques Valor-U [W/m ² ·K]	Fachada: 1,52 Balcones: 2,38 Cubierta: 1,65	Fachada: 0,41 Balcones: 0,48 Cubierta: 0,36
Envoltura de la torre Valor-U [W/m ² ·K]	Fachada: 1,52 Balcones: 2,38 Cubierta: 1,63	Fachada: 0,41 Balcones: 0,48 Cubierta: 0,41
Intervenciones para la mejora de la eficiencia energética		
Calefacción	Calefacción de distrito con 2 calderas alimentadas con combustibles fósiles	Calefacción de distrito y ACS con dos calderas de biomasa.
Agua Caliente Sanitaria	Calderas individuales en cada vivienda alimentadas con gas natural, butano y electricidad	Sistema de apoyo: Caldera existente de combustible fósil
Sistema de distribución de calor de distrito	Obsoleto y mal dimensionado	Diseño óptimo para reducir pérdidas energéticas
Subestaciones de intercambio de calor en los edificios	Intercambiadores de calor tubulares en cada bloque, intercambiador de placas en la torre	Intercambiador de calor de placas para calefacción y ACS con un mejor rendimiento
Iluminación en zonas comunes	Lámparas incandescentes	Lámparas LED
Sistemas de energía renovable	No disponible	Fachada ventilada con integración de fotovoltaica en la fachada sur de la torre + Calderas de biomasa
Sistemas de control	Sistema analógico en tres niveles: distrito, edificio y vivienda	Sistema de gestión energética en tres niveles: distrito, edificio y vivienda.

6.6 Evaluación de los resultados de las intervenciones

6.6.1 Descripción del sistema de monitorización

El sistema de monitorización para la producción de calor incluye tanto las calderas de biomasa, como la caldera de gas, así como los 20 bloques de viviendas con sus medidores cubriendo los sistemas tanto de calefacción como ACS.

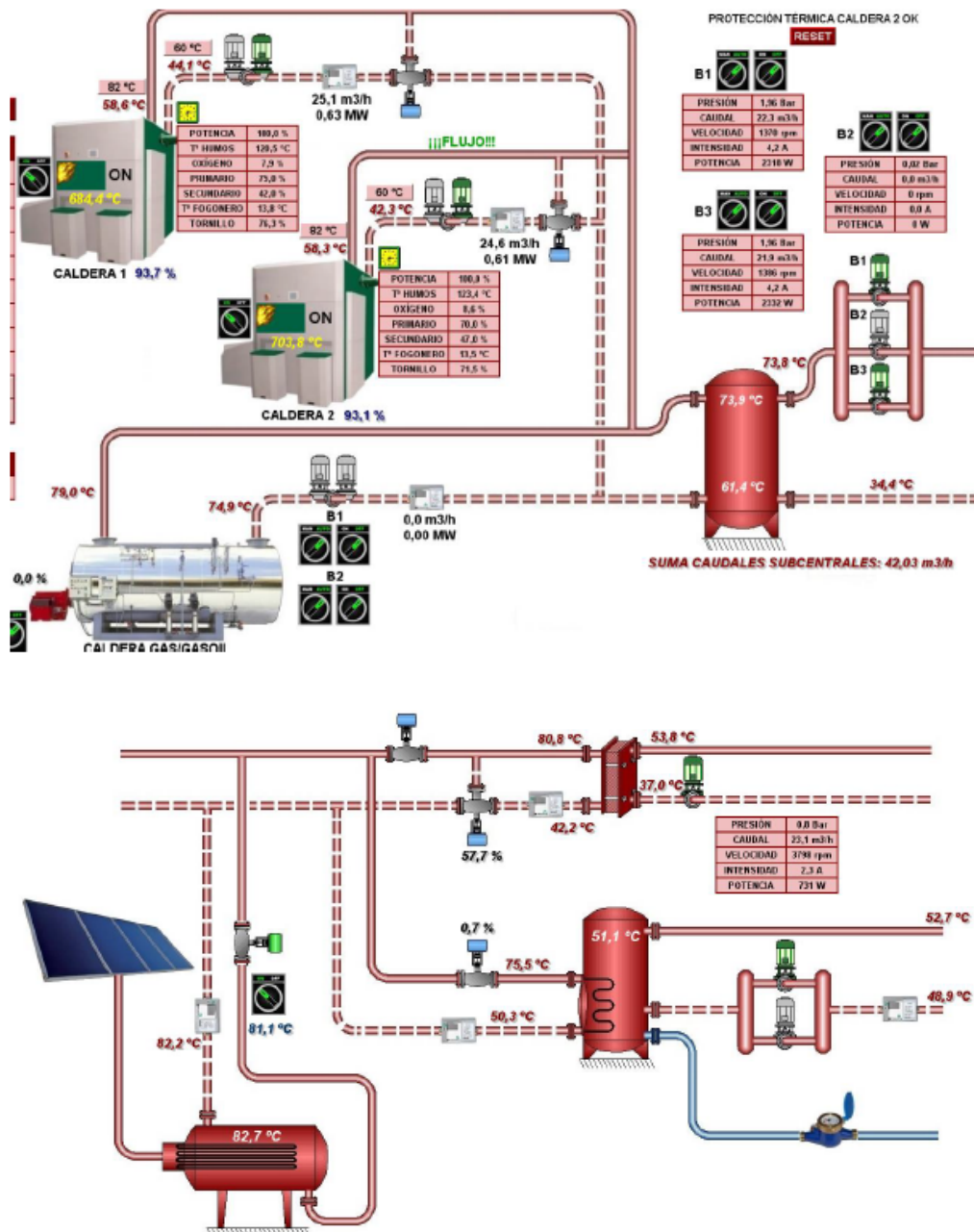


Figura 3. SCADA a nivel de sala de calderas y de subestación de la torre.

El equipamiento de monitorización instalado para medir en iluminación consiste en dos medidores eléctricos instalados en dos bloques diferentes que representan todas las tipologías existentes en el distrito (Torre y bloque).

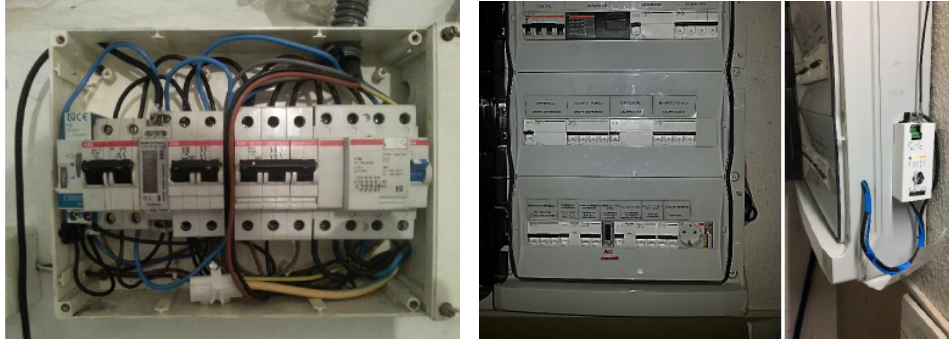


Figura 4. Medidores eléctricos en la torre y bloque para iluminación.

6.6.2 Resultados obtenidos

En la Tabla 5 y Figura 5 se muestra la comparación entre los datos de referencia (pre-intervención) y el periodo de reporte (post-intervención).

Tabla 5. Resumen de resultados.

	Unidades	Línea base	Periodo de reporte
Consumo de calefacción y ACS	kWh/m ² año	183,60	133,68
Consumo de iluminación	kWh/m ² año	1,44	0,73
Consumo eléctrico auxiliar	kWh/m ² año	5,30	1,83
Consumo total de energía	kWh/m ² año	190,34	136,23
Contribución de renovables	kWh/m ² año	0,00	99,01
Uso total de energía (no renovable)	kWh/m ² año	190,34	37,22

El consumo de energía para calefacción y ACS durante el periodo de referencia fue de 183,60 kWh/m² año, mientras que después de la implementación de las intervenciones, el consumo se redujo a 133,68 kWh/m² año, consiguiéndose 49,93 kWh/m² de ahorro energético. Estos ahorros se lograron principalmente gracias al nuevo aislamiento de los edificios, aunque el nuevo sistema de distribución y la renovación de las subestaciones tuvieron un importante papel en los ahorros conseguidos.

La centralización del ACS supuso un aumento del consumo energético, pero, considerando que el consumo de ACS ronda el 25% del consumo térmico, las mejoras obtenidas para la calefacción suponen una mejora generalizada del consumo térmico.

El consumo en iluminación también se redujo gracias a la implementación de iluminación LED de 1,44 kWh/m² año a 0,73 kWh/m² año.

Con la instalación de las nuevas calderas de biomasa y la instalación fotovoltaica integrada en fachada, se han conseguido, en el periodo de reporte, un total de 99,01 kWh/m² año de producción con energías renovables. Alrededor del 99% del aporte de renovables se produjo en las calderas de biomasa, ya que la capacidad energética de la instalación es mucho mayor. Este aporte significó que más del 70% del total de energía consumida en el distrito provino de fuentes de energía renovable, reduciendo el uso total de energía no

renovable en 153,12 kWh/m² año, pasando de 190,34 kWh/m² año durante el período de referencia a 37,22 kWh/m² año durante el período de reporte.

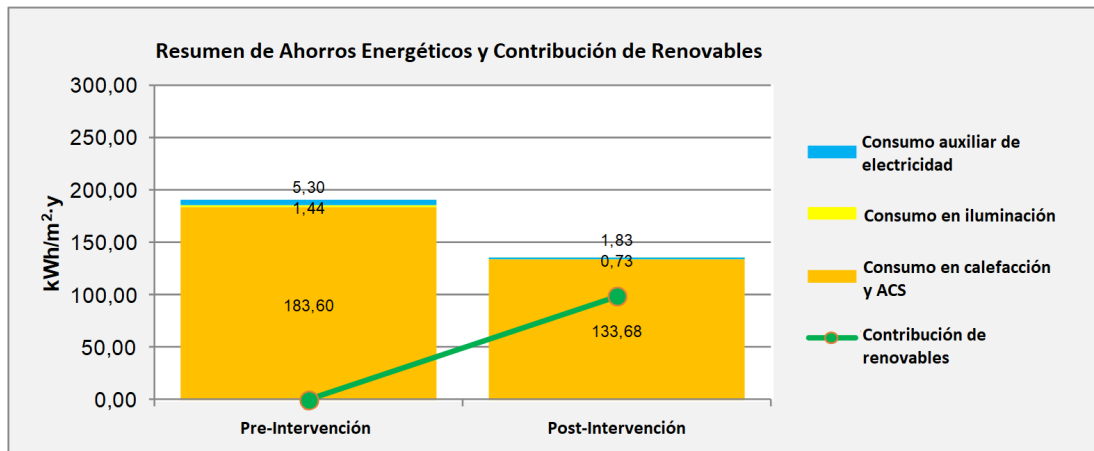


Figura 5. Resumen de los ahorros energéticos y contribución de renovables en el distrito FASA.

7 Caso 2: Centro de Investigación en Energía Solar (CIESOL)

El edificio CIESOL es uno de los cinco C-Ddl (contenedor demostrador de investigación) del Proyecto Singular Estratégico sobre Arquitectura Bioclimática y Frío Solar (PSE-ARFRISOL). Dicho proyecto tenía como el objetivo principal demostrar que es posible ahorrar de un 80 a un 90% de energía convencional a través de la correcta aplicación de las tecnologías solares activas y pasivas, adaptando el diseño del edificio al entorno y climatología. Con este objetivo en el edificio CIESOL en el año 2006 se instaló un sistema de refrigeración y calefacción solar. Dicho sistema consta fundamentalmente de un campo de captadores planos, una máquina de absorción, una torre de refrigeración, un sistema alternativo de disipación de calor utilizando agua de subsuelo, dos tanques de almacenamiento térmico, un sistema del apoyo y dos tanques de agua fría. La instalación abastece la demanda de refrigeración y calefacción del edificio CIESOL y sirve como el banco de ensayos para las investigaciones.

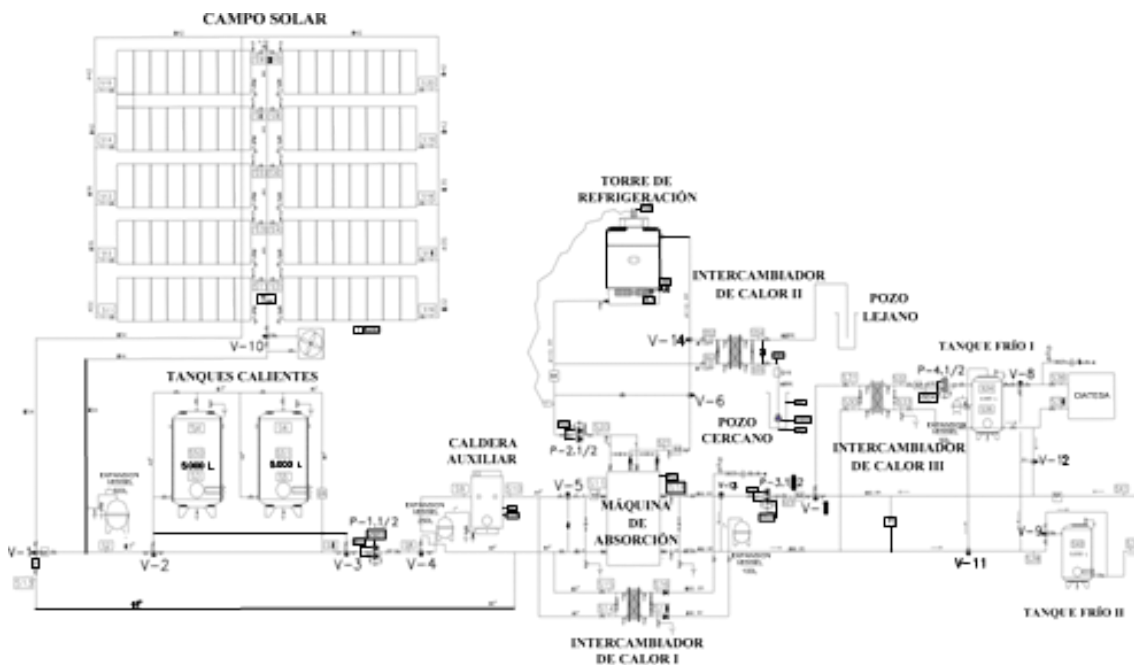


Figura 6. Esquema general del sistema de refrigeración y calefacción solar

Se cuenta con una instalación que incluye los siguientes componentes, conectados de acuerdo con el esquema de la figura 6.

7.1 Campo solar

El campo solar está dispuesto sobre la cubierta inclinada del edificio y orientado al sur. Los captadores están ubicados con un ángulo de incidencia de 30° con objetivo de favorecer la captación térmica del campo solar durante los meses estivales, cuando la necesidad de aporte térmico es mayor. El campo solar está constituido por un total de 80 captadores Solaris CP1, con una superficie total de 160 m², organizados en 10 filas de 8 captadores cada una (ver figura 7).



Figura 7. El campo solar constituido por 80 captadores Solaris CP1 y 42 módulos fotovoltaicos. Sistema de acumulación.

7.2 Sistema de acumulación

La instalación está formada por dos depósitos acumuladores de agua caliente, de 5000 litros cada uno, que permitirán amortiguar las variaciones de la temperatura de la salida del campo solar hacia la máquina de absorción, así como almacenar la energía sobrante que se obtenga en los captadores (ver figura 8).



Figura 8. Dos tanques de acumulación de agua caliente de 5000 litros cada uno.

7.3 Caldera de gas natural

Para los períodos en los que la radiación solar sea insuficiente y no se disponga de energía acumulada para cubrir la demanda tanto de refrigeración en verano como calefacción en invierno, se ha instalado una caldera de gas natural de 100 kW de potencia, conectada en serie con la máquina de absorción. Dicha caldera aporta la energía que pueda faltar a la máquina de absorción para la producción de agua fría, o directamente pasa a un intercambiador de calor a la instalación para calefacción (ver figura 9).



Figura 9. Caldera de gas natural.

7.4 Máquina de absorción

Es una máquina de absorción de simple efecto de potencia frigorífica de 70 kW de la marca Yazaki (serie WFC SC 20), que funciona gracias al calor aportado por un circuito de agua caliente procedente del campo solar. La máquina está alimentada mediante un caudal de 17,28 m³/h de agua caliente, siendo el rango de temperaturas de entrada al generador 70-88°C y la producción de agua fría entre 7 y 12°C. Como fluido de trabajo se utiliza una solución de agua y de bromuro de litio (ver figura 10).



Figura 10. Máquina de absorción de simple efecto Yazaki WFC SC 20.

7.5 Sistema de enfriamiento

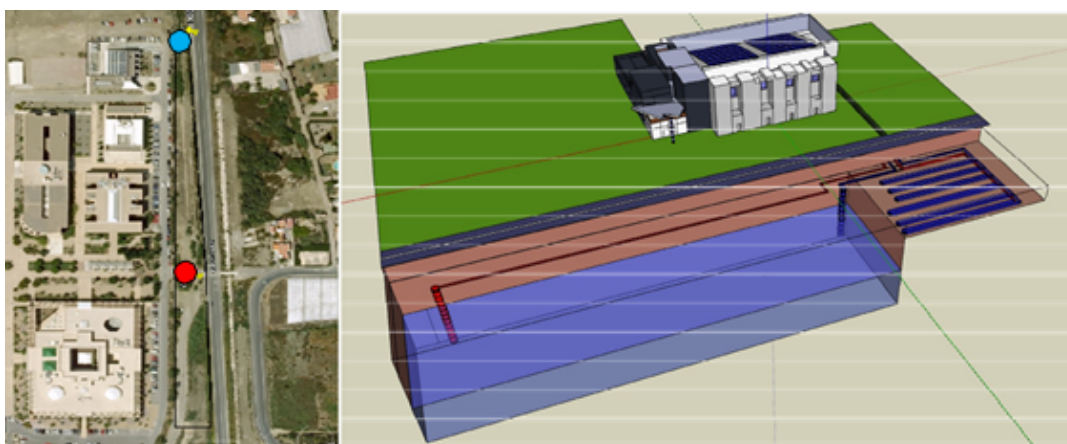
Debido a la necesidad de la máquina de absorción de ser conectada a un circuito de agua de enfriamiento para disipar el calor del absorbedor y del condensador, se instaló una torre de refrigeración que será gestionada por la máquina de absorción y por las temperaturas del circuito de condensación (ver figura 11).



Figura 11. Torre de refrigeración Sulzer EWK 100.

7.6 Instalación de un sistema de evacuación del calor utilizando agua del subsuelo

Se idea una instalación alternativa a la existente para la disipación del calor residual que se produce en la máquina de absorción. Se trata de aprovechar las posibilidades de refrigeración que nos ofrece el agua del subsuelo, sustituyendo la torre de refrigeración, que tiene un consumo de agua desmineralizada importante, además de ser una posible fuente de legionela. El objetivo es obtener agua del subsuelo de dos pozos excavados a la profundidad de 20 metros y trasegar esa agua de un pozo al otro, pasándola por un intercambiador de placas (II) contracorriente situada en el edificio CIESOL y a través del cual se produce el enfriamiento del agua procedente de la máquina de absorción. Los pozos están separados a una distancia de 100 metros y uno es llamado lejano y otro cercano, debido su ubicación y aplicación (ver figura 12).



(a)

(b)

Figura 12. a) Ubicación del pozo cercano y lejano en el campus de la Universidad de Almería, b) un modelo 3D del edificio CIESOL y los sistemas de evacuación de calor instalados durante el proyecto ARFRISOL.

7.7 Sistemas de ventilación por Fan-coil

Fan-coil es un intercambiador de calor de aire y agua. Dicho intercambiador es alimentado por agua caliente o fría procedente del sistema del frío y calor solar (ver figura 13). Durante el modo de refrigeración cuando la temperatura de agua refrigerada es inferior que 7°C , se cierra la válvula del paso de agua refrigerada y se vuelve a abrir cuando la temperatura de esta aumenta a 12°C . Como se mencionó anteriormente los fan-coils pueden ser utilizados en ambos modos de funcionamiento de la instalación. Durante el modo de calefacción la temperatura de entrada/salida de los fan-coils es $45/40^{\circ}\text{C}$.

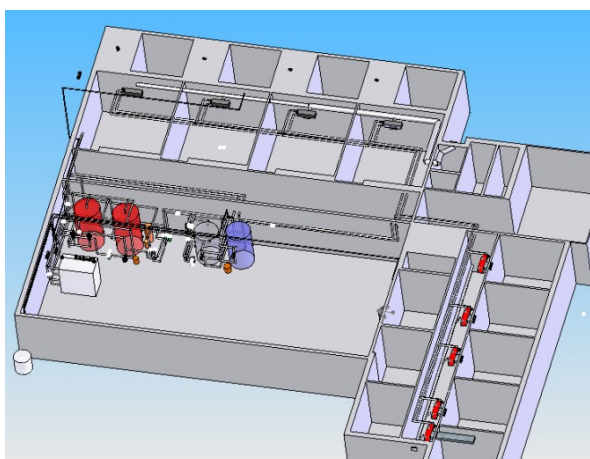


Figura 13. Esquema de la planta baja del edificio CIESOL con la red de los fan-coils (fuente A. Estrada).

7.8 Sistema de acumulación en frío

Tras analizar los ciclos de funcionamiento de la máquina de absorción, se ha puesto de manifiesto la necesidad de incorporar un sistema de almacenamiento de frío para evitar las

paradas de la misma, que tienen lugar cuando la temperatura de salida del evaporador es del orden de los 6°C. Dicho sistema de almacenamiento también nos servirá para cubrir la demanda de refrigeración en aquellos casos en los que no tenga ningún tipo de energía térmica. Se instaló dos depósitos de acumulación de capacidad de 3000l y 2000l respectivamente (ver figura 14).



Figura 14. Sistema de acumulación de agua fría.

7.9 Simulador de Carga

Hasta el verano del 2008 el consumo energético del edificio era fuera del control de los grupos de investigación, afectando directamente a la máquina de absorción, por lo que hacía difícil realizar una gran cantidad de batería de pruebas de gran interés. Por ello se instaló un sistema que simula el consumo energético, de forma que pueda fijarse a un valor concreto para realizar experimentos. El simulador de carga está formado por una máquina CIATESA IWED-360 de 75 kW de potencia (ubicada en la terraza norte del edificio) conectado en serie con un intercambiador de calor (III) de 90 kW y un sistema de acumulación de agua caliente de 2000l (ubicados en la nave del edificio).

7.10 Intercambiador de calor

Con el objetivo de abastecer la demanda de calefacción del edificio, se ha puesto un intercambiador de calor de placas, por el cual pasa el agua hasta conseguir las condiciones óptimas para los fan-coils (45°C de temperatura de impulsión al edificio).

7.11 Sistema de control

La instalación tiene un sistema de control que de forma completamente automática gestiona todas las señales monitorizadas, decidiendo cómo debe operar la instalación para maximizar en todo momento el aprovechamiento de la energía térmica recuperada por el campo solar. Dicho sistema recibe todas las temperaturas y en la base de ellas decide cómo debe actuar el sistema y también es responsable de ordenar el arranque y las paradas tanto de la máquina de absorción, como de la caldera. En la figura 15 se muestran varios tipos de

sensores usados en el sistema de refrigeración y calefacción solar instalado en el edificio CIESOL. El sistema de control tiene dos pantallas, donde están agrupadas todas las principales consignas, necesarias para el correcto funcionamiento de la instalación. Se ha establecido también un horario de funcionamiento, modificable, dentro de cual el sistema se pone en marcha automáticamente, para satisfacer cualquier demanda que se presente en el edificio. Dicho sistema nos permite también la adquisición de los datos procedentes de toda la instalación, para posteriores análisis del sistema. Se dispone de un sistema de adquisición de datos que permite registrar del orden de 650 variables en los archivos diarios con el tiempo de muestreo de 1 minuto.

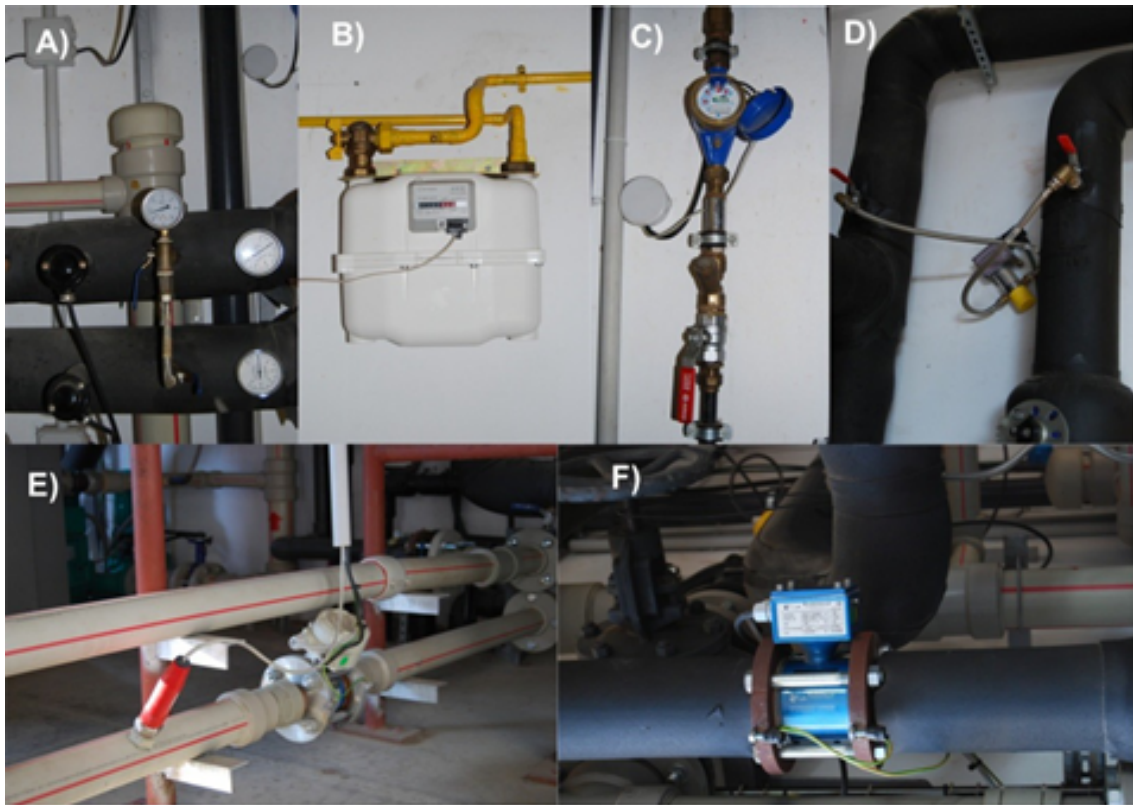


Figura 15. Ejemplos de varios tipos de sensores utilizados en el sistema de refrigeración y calefacción solar: A) sonda de temperatura PT1000, B) contador de gas Actaris G6RF1HP, C) contador de agua consumida en la torre de refrigeración, D) el sensor de diferencia de presión Sauter DSDU 106 F020, E) un conductímetro Crison CM38, F) caudalímetro MUT 1000EI.

En la figura 16 se presenta la pantalla principal del sistema de control.

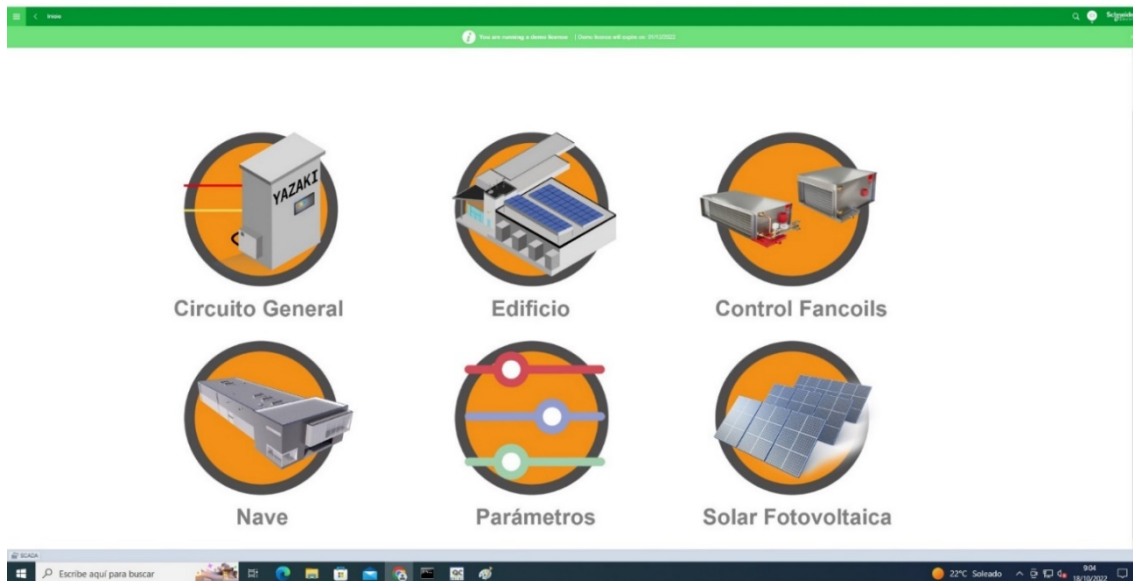


Figura 16. Pantalla principal de sistema de control de CIESOL.

7.12 Instalación de bomba de calor acoplada a intercambiadores geotérmicos mediante tubos enterados

Desde septiembre de 2009 el edificio CIESOL cuenta con una instalación de una bomba de calor acoplada a intercambiadores geotérmicos, que permite la climatización de la nave de ensayos, compartida por todos los grupos de investigación que trabajan en el centro. Dicho sistema fue desarrollado gracias al Proyecto Singular Estratégico de Arquitectura Bioclimática y Frío Solar (ARFRISOL). Se dispone una bomba de calor reversible y un intercambiador geotérmico. Se trata de una bomba de calor tipo agua-agua de compresión mecánica simple (IZE-160 CIATESA) con una capacidad calorífica de 38.5 kW y una capacidad frigorífica de 30.6 kW. El intercambiador geotérmico está compuesto por cinco lazos de 118 m cada uno, con tubos de PE y 32mm de diámetro, separados 0.35m de manera que hacen un total de 590 m de longitud máxima, enterados a un metro de profundidad en el terreno frente al edificio CIESOL. En la figura 17 se muestra la pantalla de control, visualización y monitorización del mencionado sistema.

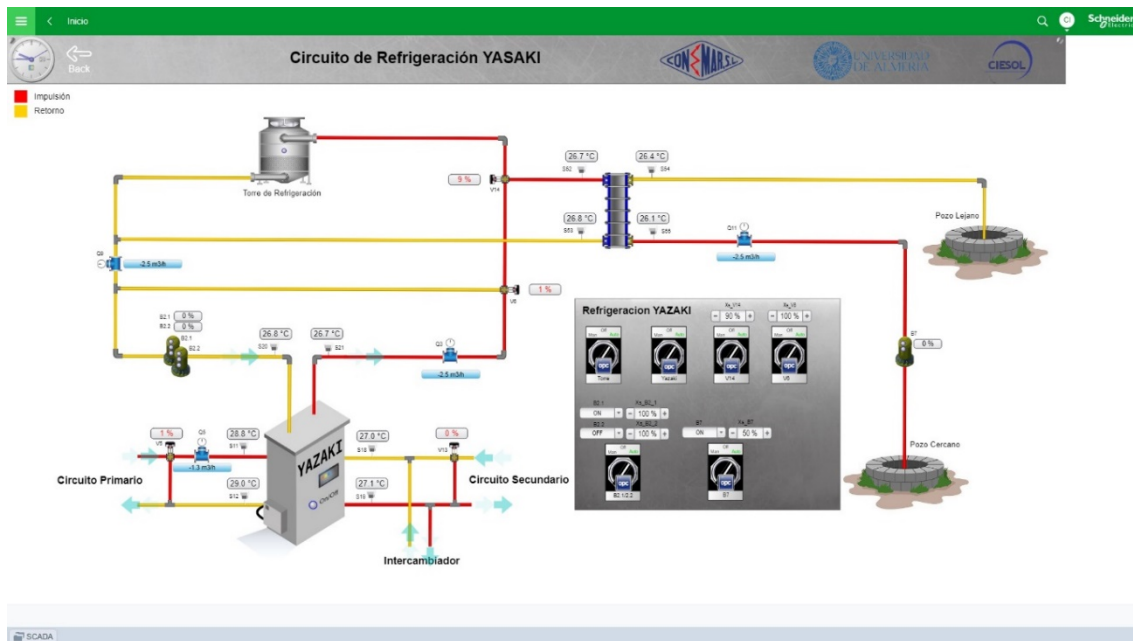


Figura 17. Pantalla de control y de visualización del sistema geotérmico.

7.13 Instalación fotovoltaica

Desde el septiembre del año 2009, el edificio CIESOL cuenta con una instalación fotovoltaica que consiste en un total de 42 módulos, asociados en 3 series de 14 paneles/serie, con una potencia unitaria de 222 Wp/panel, configurando un campo fotovoltaico de 9,324 kWp conectado a tres inversores de 2500 W de potencia nominal. Finalmente, y a la salida del inversor, en corriente alterna de 230 V, se conectan los cuadros de protección y medida de la Instalación Fotovoltaica. Dicho sistema fue desarrollado gracias al Proyecto Singular Estratégico de Arquitectura Bioclimática y Frío Solar (ARFRISOL). En la figura 4.2.14 se muestra imagen del sistema fotovoltaico y figura 4.3.15 expone un esquema general de la instalación donde se observa la conexión y distribución de los elementos. Adicionalmente, se dispone de un sistema de monitorización formado principalmente por un bus de comunicaciones que pasa a través de los tres inversores y de una célula fotovoltaica calibrada instalada junto a los paneles y que finalmente se conecta con un sistema de adquisición de datos, donde se registran del orden de 90 variables con un muestreo de 1 minuto.

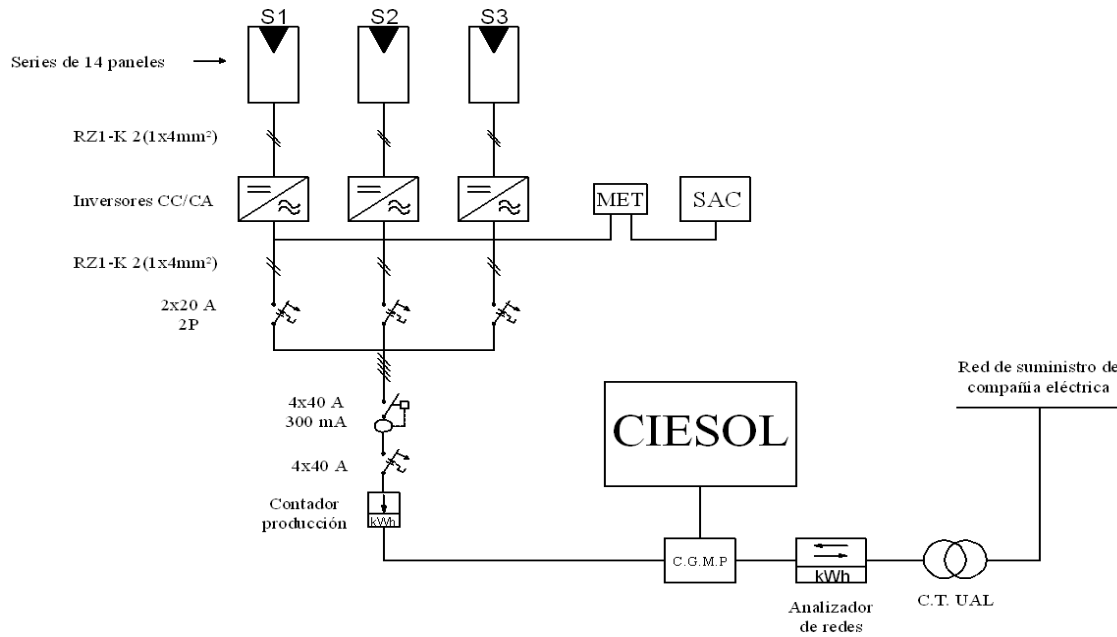


Figura 19. El esquema general de la instalación fotovoltaica.

7.14 Estación meteorológica

Desde 2007, el CIESOL cuenta con una estación meteorológica ubicada en la azotea del edificio. La figura 4.3.13 muestra los sensores instalados en la garita meteorológica. Se dispone de un seguidor solar (2AP Kipp&Zonen) sobre cual están instalados los sensores de medida de radiación solar global, directa y difusa respectivamente. En la mencionada estación se miden también otras variables meteorológicas genéricas, tales como temperatura, velocidad y dirección de viento, humedad, CO₂ y presión atmosférica. Adicionalmente, desde el año 2008 se cuenta con una cámara de cielo (Yankee) y un sistema de recepción de imágenes de satélite geoestacionario Meteosat de Segunda Generación (MSG), representados en la figura 19 y pertenecientes al grupo Recursos Energéticos Solares y Climatología (TEP165) (figuras 20-21).

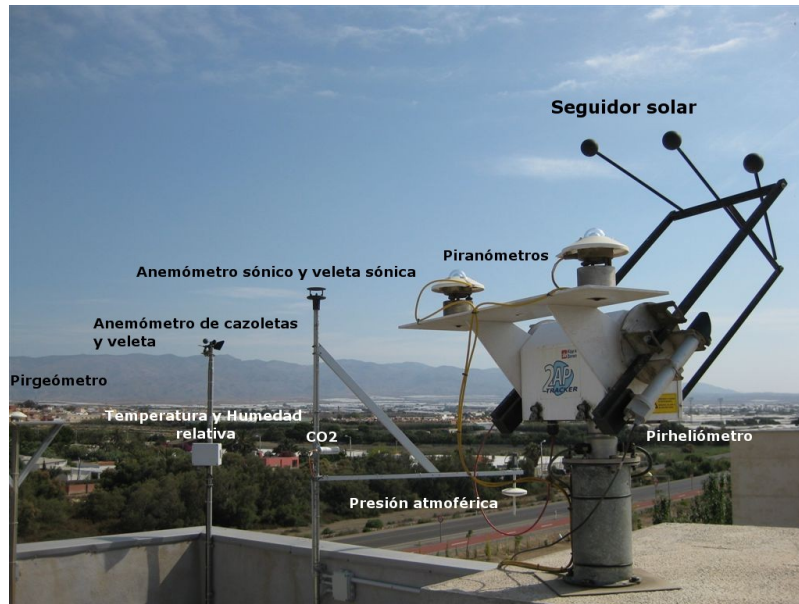


Figura 20. Parte de la estación meteorológica de CIESOL.



Figura 21. Estación meteorológica: cámara de cielo y antena parabólica encargada de establecer comunicación con el satélite geoestacionario Meteosat de Segunda Generación.

7.15 Sistema de monitorización del edificio CIESOL

El edificio CIESOL cuenta con un amplio sistema de monitorización diseñado para demostrar el cumplimiento de los objetivos del proyecto ARFRISOL. Actualmente el sistema de monitorización del edificio cuenta con 317 canales, correspondientes al conjunto de sensores instalado a lo largo de la vida del proyecto. Se dispone de una herramienta de adquisición, enfocada a almacenar datos por minuto de los sistemas hardware de National Instruments, en archivos diarios. Dicha herramienta cuenta con la posibilidad de configurar los canales mediante la manipulación de un archivo de configuración, lo que permite escalarla según las necesidades de futuras ampliaciones del sistema.

8 Conclusiones

La intervención sobre edificios existentes para transformarlos en Edificios de Energía Casi Nula requiere de la adecuada adaptación de procesos y tecnologías a los condicionantes propios del parque edificado, donde el grado de libertad para actuar sobre ciertos elementos es limitado y donde, además, aparecen barreras muy específicas como son las económicas o sociales. Es fundamental, por tanto, la adopción de metodologías que permitan integrar de manera adecuada a los agentes del proceso y establecer mecanismos adecuados de colaboración y de flujos de información que reduzcan incertidumbre y que doten de mayor fiabilidad al proceso rehabilitador de cara a desbloquear el potencial que existe de mejora energética de los edificios existentes.

El presente documento incorpora un análisis del marco regulatorio existente y de estas barreras que aparecen al afrontar el reto de una rehabilitación energética, así como un estudio desde el punto de vista metodológico o de las tecnologías existentes. Además, se presentan dos casos de éxito que ofrecen una visión de dos casos prácticos con aproximaciones diferentes en escala, uso y tecnologías empleadas.

En los casos de éxito, como son los centros CARTIF y CIESOL, se ha puesto de manifiesto la infraestructura, tipología y configuración de elementos necesarios para un aprovechamiento energético óptimo si se habla de Edificios de Energía Casi Nula. Se han destacado los elementos de energía solar activa y pasiva, tomando como relevancia el confort y unas condiciones ideales de trabajo en el interior, fundamentalmente destinados a ser edificios de oficinas.

Por tanto, en este informe técnico, se han puesto de manifiesto una gran parte de las herramientas necesarias para un ahorro energético en la edificación, tomando como referencia el uso de edificios con consumos energéticos característicos y bien definidos durante las diferentes épocas del año. Destacar que esta base de conocimiento supone un avance y mejora en la búsqueda de prototipos de edificios que se puedan considerar eficientes con el claro objetivo de una menor dependencia de aportes energéticos externos y, fundamentalmente, basados en fuentes de energía convencional.

9 Referencias

- [01] Hancher, L, Winters, B.M. (2017). The EU Winter Package. Briefing paper.
- [02] United Nations. Framework Convention on Climate Change (2016). Decision 1/CP.21. Adoption of the Paris Agreement.
- [03] European Commission. COM(2015) 080 final. A framework strategy for a Resilient Energy Union with a Forward-Looking Climate Change Policy.
- [04] European Commission. COM(2016) 860 final. Clean Energy for All Europeans.
- [05] European Commission. COM(2018) 773 final. A Clean Planet for All. A European strategic long-term vision for a prosperous, modern, competitive and climate neutral economy.
- [06] European Commission. COM(2019) 640 final. The European Green Deal.
- [07] Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Borrador actualizado del Plan Nacional Integrado de Energía y Clima 2021-2030 (20 de enero de 2020).
- [08] <http://www.minetad.gob.es/es-ES/GabinetePrensa/NotasPrensa/2018/Documents/Resumen%2020180402%20Veditado.pdf>
- [09] Ministerio de Fomento. Real Decreto 732/2019, de 20 de diciembre, por el que se modifica el Código Técnico de la Edificación, aprobado por el Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo.
- [10] Ministerio de la Presidencia y para las Administraciones Territoriales. Real Decreto 564/2017, de 2 de junio, por el que se modifica el Real Decreto 235/2013, de 5 de abril, por el que se aprueba el procedimiento básico para la certificación de la eficiencia energética de los edificios.
- [11] Hermelink, A., Chimschar, S., Offermann, M., John, A., Reiser, M., Pohl, A., Grözinger, J. (2019). Comprehensive study of building energy renovation activities and the uptake of nearly zero-energy buildings in the EU. Prepared for the European Commission.
- [12] Casanovas, X., Cuchí, A., Mas Herrero, J., Rubio del Val, J. (2018). Por un cambio en las políticas públicas de fomento de la rehabilitación residencial: los municipios, pieza clave en un marco de cooperación institucional. Iniciativa del Grupo de Trabajo sobre Rehabilitación (GTR) coordinado por GBCe y CONAMA.
- [13] García-Fuentes, M.A. (2020). Aplicación de técnicas de toma de decisión multicriterio a la rehabilitación energética de áreas urbanas residenciales. [Tesis de doctorado, Universidad de Valladolid] UVADOC: <http://uvadoc.uva.es/handle/10324/45357>