

Distrito de energía casi nula mediante la integración de energías renovables: caso de estudio en Valladolid (España)



Achieving a nearly zero energy district through integration of renewable energy: a case study in Valladolid (Spain)



Cristina de-Torre-Minguela¹, Javier Antolín-Gutiérrez¹, Miguel García-Fuentes¹, Inés Fernández-Mielgo², Jaime Gómez-Tribeño² y Aralar Irigoyen-Tineo³

¹ Fundación CARTIF. Parque Tecnológico de Boecillo, parcela 205 - 47151 Boecillo, Valladolid (España).

² Veolia. Servicios Lecam. Avenida del Euro 7, Edificio C Of.102 - 47009 Valladolid (España).

³ Acciona Ingeniería. Avda. Europa 18. Parque Empresarial, La Moraleja - 28108 Alcobendas, Madrid (España).

DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/9694> | Recibido: 27/01/2020 • Inicio Evaluación: 17/05/2020 • Aceptado: 17/10/2020

ABSTRACT

- Recently the EU established the new obligations of the member states towards 2030, which are the reduction of CO₂ emissions in 40% with regards to the values in 1990, the integration of 32% of renewable energy production, the improvement of energy efficiency in 32.5% and the establishment of 15% of electric interconnection among member states. Beyond 2030, the EU establishes also as global target the decarbonisation of the economy by 2050. While for new buildings the principles to achieve nearly zero or very efficient buildings are well established and technically and economically viable, these principles are less clear in large scale renovations of existing buildings. It is precisely in renovation where the focus should be to reach climate neutrality in the coming 30 years due to the high amount of existing building stock in Europe and the potential that consequently these urban areas offer. The strategies to achieve nearly zero retrofitted buildings have to balance technical solutions, economic viability and integration of renewable sources. Also, the issue of scale becomes essential, where districts can be considered as a system of complex interconnections, interactions, relationships and flows that offer greater flexibility to integrate certain Energy Conservation Measures (ECMs) or to implement specific business models. Therefore a comprehensive approach is essential for effective decision-making with regards to energy efficiency improvement. Thus, approaches for a comprehensive and integrated renovation of districts are needed to unlock the full potential existing on retrofitting the building stock. This paper builds on this element and presents the energy retrofitting of a residential neighborhood in Spain under the EU funded project REMOURBAN that has followed an integrated approach to design the appropriate combination of ECMs leading to 40% of energy consumption reduction and 85% of CO₂ emissions avoided to the atmosphere.
- Key Words:** energy efficiency, retrofitting, nearly zero energy district, renewable energy, biomass, building integrated photovoltaics.

RESUMEN

Recientemente, la UE ha establecido las nuevas obligaciones que los Estados miembros deben de cumplir para el 2030 y que son la reducción de las emisiones de CO₂ en un 40% con respecto a los valores en 1990, la integración del 32% de la producción de energía renovable, la mejora de la eficiencia energética en un 32,5% y el establecimiento del 15% de la interconexión eléctrica entre los estados miembros. Más allá de 2030, la UE establece también como objetivo global la descarbonización de la economía para 2050.

Mientras que para los edificios nuevos, los principios para lograr edificios de energía casi nula o muy eficientes están bien establecidos y son viables técnica y económicamente, estos principios son menos claros en la rehabilitación a gran escala de edificios existen-

tes. Es precisamente en la rehabilitación, donde el enfoque debería ser alcanzar la neutralidad climática en los próximos 30 años debido a la gran cantidad de edificios existentes en Europa y el potencial que en consecuencia ofrecen estas áreas urbanas. Las estrategias para lograr edificios rehabilitados de energía casi nula tienen que equilibrar soluciones técnicas, viabilidad económica e integración de fuentes renovables. Además, la escala se vuelve un tema esencial, donde los distritos pueden considerarse como un sistema de interconexiones, interacciones, relaciones y flujos complejos que ofrecen una mayor flexibilidad para integrar ciertas Medidas de Conservación de Energía o para implementar modelos de negocio específicos. Por lo tanto, un enfoque integral es esencial para una toma de decisiones efectiva con respecto a la mejora de la eficiencia energética y es necesario plantear una renovación integral de los distritos para desbloquear el potencial existente en la rehabilitación del actual parque inmobiliario. Tomando como base esta necesidad, este artículo presenta los resultados de una rehabilitación energética de un barrio residencial en España bajo el proyecto REMOURBAN, financiado por la UE, que mediante un enfoque integrado ha diseñado la combinación adecuada de Medidas de Conservación de Energía que conducen a una reducción del consumo de energía del 40% y del 85% de las emisiones de CO₂.

Palabras Clave: eficiencia energética, rehabilitación, distrito de energía casi nula, energía renovable, biomasa, fotovoltaica integrada.

1. INTRODUCCIÓN

Aproximadamente el 40% del consumo energético y el 36% de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en la Unión Europea están relacionados con el sector de la construcción [1]. Entre los edificios existentes, alrededor del 30% del parque inmobiliario tiene más de 50 años [2] y casi el 75% es energéticamente ineficiente [3]. Por tanto, la rehabilitación energética de los edificios existentes es un elemento clave para contribuir a la descarbonización establecida por la UE [4]. Para lograr este objetivo, las ciudades juegan un papel clave, y la transformación de sus distritos para que sean energéticamente eficientes es esencial [5].

En este contexto, REMOURBAN es un proyecto de demostración a gran escala, cuyo propósito es acelerar la transformación urbana hacia el concepto de ciudad inteligente teniendo en cuenta todos los aspectos de la sostenibilidad [6]. Se han alcanzado varios objetivos, siendo el más relevante el desarrollo de un modelo de regeneración urbana sostenible y replicable, con un enfoque conjunto en los sectores de energía, movilidad y TIC (Tecnologías de la Información y la Comunicación).

Este Modelo de Regeneración Urbana (MRU) ha sido desarrollado y validado en tres ciudades faro (Valladolid-España, Nottingham-Reino Unido y Tepebaşı-Turquía) acelerando el despliegue de tecnologías innovadoras, soluciones organizativas y económicas para aumentar la eficiencia energética, mejorar la sostenibilidad del transporte urbano y reducir las emisiones de GEI.

Una gran parte de la demanda de calor en las ciudades se concentra en áreas con suficiente densidad como para implementar redes de distrito. La implementación de este tipo de instalaciones tiene el potencial de disminuir las emisiones de CO₂ vinculadas a servicios de energía como calefacción, refrigeración, electricidad y agua caliente sanitaria (ACS), particularmente cuando se consideran tecnologías a gran escala conectadas a un grupo de edificios a través de una red de distrito.

Por lo tanto, la consideración de los edificios como parte de una unidad más grande (el distrito) permite la implementación de medidas que, de lo contrario, no podrían implementarse a escala individual. Sin embargo, esto no está exento de nuevas barreras que son específicas de la escala del distrito, generalmente económicas y legales.

Desde el punto de vista energético, REMOURBAN se centra en la demostración de la rehabilitación a gran escala de edificios existentes que presentan una gran oportunidad para mejorar su eficiencia energética y disminuir su demanda de energía. REMOURBAN ha demostrado que mediante la combinación de medidas pasivas y activas junto con estrategias de control, es posible lograr una gran reducción del consumo de energía y de emisiones de CO₂, siendo este el primer paso para alcanzar la neutralidad climática.

Centrándose en Valladolid, el distrito FASA se ha sometido a un proceso integral de rehabilitación basado en la aplicación de un conjunto de intervenciones diseñadas para transformar el vecindario en un distrito de energía casi nula. El distrito FASA fue construido durante los años 60 para los trabajadores de la fábrica Renault en Valladolid, y consta de 19 bloques residenciales (seis plantas con 18 viviendas cada uno), una torre (dieciséis plantas con 56 vivien-

das) y un edificio de instalaciones donde se ubica la planta térmica. La Tabla 1 muestra de manera resumida el estado del distrito FASA antes y después de la implementación de las intervenciones.

2. METODOLOGÍA PARA CONSEGUIR UN DISTRITO DE ENERGÍA CASI NULA

El MRU desarrollado en REMOURBAN guía a las ciudades en su proceso de transformación hacia un entorno más sostenible e inteligente y proporciona soluciones técnicas y no técnicas en las áreas clave del proyecto: energía, movilidad y TIC.

El distrito FASA fue seleccionado para transformarlo en un distrito de energía casi nula con el objetivo de poder replicar la solución en otros distritos de Valladolid y reducir la demanda energética de la ciudad. Teniendo en cuenta las condiciones iniciales de los edificios, sus características y los requisitos definidos, se eligieron las soluciones técnicas más adecuadas siguiendo las cuatro fases del MRU.

Estas fases comienzan con la identificación y el análisis de las necesidades de la ciudad, junto con una evaluación de sus planes y los objetivos ("Diseño de la estrategia"). En segundo lugar, la fase de "Diseño del plan de acción" se centra en proporcionar soluciones a esas necesidades a nivel estratégico, donde la visión a largo plazo de la ciudad debe transformarse en estrategias vinculadas a modelos financieros. En una tercera fase ("Plan de implementación"), se deben proporcionar soluciones específicas para lograr los objetivos estratégicos definidos en la fase anterior, donde los modelos de negocio vinculados deben garantizar su rentabilidad para promover la replicabilidad de esas soluciones y en la última fase ("Evaluación"), se evalúa el impacto de cada una de las soluciones específicas permitiendo conocer el grado de cumplimiento de los objetivos estratégicos definidos. Se trata de un proceso iterativo en el que la estrategia definida en la primera fase se revisará periódicamente con el apoyo de un marco de evaluación de niveles múltiples que permite caracterizar y evaluar la sostenibilidad y la inteligencia de la ciudad, así como los impactos directos e indirectos asociados a la implementación de proyectos tecnológicos.

Las soluciones seleccionadas se describen en las siguientes subsecciones. La Figura 1 muestra la vista general del distrito, incluyendo los edificios que se sometieron al proceso de rehabilitación.

2.1. ESTRATEGIAS PARA LA REDUCCIÓN DE LA DEMANDA ENERGÉTICA

Una de las medidas esenciales implementadas con el objetivo de disminuir la demanda energética del distrito fue la mejora del aislamiento térmico de la envolvente de sus edificios, incluyendo tejados y fachadas.

Al rehabilitar un edificio existente y habitado, es necesario evaluar el alcance de las intervenciones para minimizar las molestias ocasionadas a los ocupantes de la vivienda. Es importante evitar desplazamientos y operaciones que puedan afectar su comodidad. Este factor se tuvo en cuenta durante el análisis de las opciones de aislamiento disponibles.

2.1.1 Aislamiento de fachadas y balcones

Para el aislamiento térmico de las fachadas se estudiaron tres opciones: aislamiento interior, in-

Alcance	Antes	Después
Intervenciones para la reducción de demanda energética		
Envolvente de los bloques Valor-U [W/m²·K]	Fachada: 1.52 Balcones: 2.38 Tejado: 1.65	Fachada: 0.41 Balcones: 0.48 Tejado: 0.36
Envolvente de la torre Valor-U [W/m²·K]	Fachada: 1.52 Balcones: 2.38 Tejado: 1.63	Fachada: 0.41 Balcones: 0.48 Tejado: 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. Sistema de apoyo: Caldera existente de combustible fósil
Agua Caliente Sanitaria	Calderas individuales en cada vivienda alimentadas con gas natural, butano y electricidad	
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.

Tabla 1: Estado del distrito FASA antes y después de las intervenciones

termedio y exterior. Se eligió el aislamiento por el exterior porque es el menos intrusivo permitiendo resolver completamente el problema de los puentes térmicos. Consiste en fijar paneles de aislamiento a la fachada exterior y aplicar un acabado sobre dichos paneles.

El aislamiento instalado consistió en un conjunto de cuatro capas: un tablero de poliestireno expandido (EPS) de 60 mm fijado en la pared de ladrillo, una primera capa de mortero, seguida de una malla de fibra de vidrio y una segunda capa de mortero. Finalmente, se aplicó un acabado superficial por razones estéticas.

En algunos casos, los propietarios de las viviendas habían llevado a cabo un cerramiento de balcón que consistía en un solo panel acristalado y un parapeto de ladrillo de 11,5 cm detrás del riel del balcón, lo que condujo a un aislamiento térmico muy pobre de esta área. En estas zonas se fijó mecánicamente un panel sándwich con tornillos en los tubos del riel.

2.1.2 Aislamiento de cubiertas

En cuanto al aislamiento de los tejados, las opciones fueron nuevamente aislamiento interior, intermedio y exterior. En este caso se eligió el aislamiento intermedio para los bloques, ya que ofrecía la mejor combinación entre rendimiento, facilidad de instalación y sin molestias para los inquilinos. Se colocaron 60 mm de aislamiento de espuma pulverizada (SPF) debajo del tejado y sobre la última losa del edificio.

El aislamiento del tejado de la torre se mejoró agregando un aislamiento externo sobre la capa asfáltica existente. Se trata de un sistema de techo invertido que consiste en 60 mm de aislamiento de poliestireno extruido (XPS), una capa de geotextil y grava.

2.2. ESTRATEGIAS DE MEJORA DE EFICIENCIA ENERGÉTICA

El proyecto REMOURBAN tenía como objetivo no solo reducir la demanda energética de los edificios en el distrito FASA mediante medidas pasivas, sino también intervenir con soluciones activas introduciendo fuentes de energía renovables en el distrito para reducir su dependencia de los combustibles fósiles. La ambiciosa propuesta consta de varias partes: renovación del sistema de calefacción de distrito, mejora de la eficiencia de la iluminación en las zonas comunes e integración de un sistema fotovoltaico en la fachada sur de la torre, todas estas medidas respaldadas por eficientes sistemas de control.

2.2.1. Integración de una calefacción de distrito basada en biomasa

La planta térmica consistía en dos calderas de combustibles fósiles y el objetivo era reemplazarlas para que la demanda de calor del distrito se cubriera principalmente con biomasa, con el apoyo puntual de gas natural. Esta intervención incluyó la instalación de dos nuevas calderas de biomasa Herz, modelo Firematic 501 T-Control, para la producción de calefacción y ACS con una potencia de 499kW cada una. Una de las calderas de gas natural existentes (SADECA Eurobloc 2 – 3.720,09kW) se mantuvo para proporcionar soporte durante los picos de demanda. Además, se instalaron nuevas bombas de doble cabezal para la caldera de gas natural y para las calderas de biomasa, así como un grupo de bombeo formado por tres bombas en el sistema de distribución para suministrar agua caliente desde la planta de producción a las subestaciones. La intervención en la planta térmica se completó con válvulas de tres vías para las calderas de biomasa que evitan la condensación y aseguran una temperatura de retorno por encima de 65°C, un tanque de inercia de 1.000 litros y una chimenea de doble pared para cada una de las calderas de biomasa, mientras que el sistema de expansión existente y la chimenea de la caldera de gas natural se mantuvieron.



Fig. 1: Vista aérea de la rehabilitación del distrito FASA

Para que el sistema de calefacción de distrito se comportase eficientemente en su conjunto, se renovaron tanto las 20 subestaciones localizadas en los edificios como la red de distribución, la cual se sustituyó por completo utilizando tuberías preaisladas para minimizar las pérdidas de calor.

El objetivo del proyecto era proporcionar el 80% de la energía térmica demandada con biomasa y el 20% restante con gas natural. La biomasa seleccionada para el funcionamiento de las nuevas calderas es astilla de madera forestal con un tamaño G100. Se estima que el distrito consume entre 20 y 24 toneladas de astilla de madera cada semana. La autosuficiencia o autonomía del silo depende de las condiciones climáticas, pero en el peor de los casos, es de una semana. Los productos no quemados que resultan de la combustión de astilla de biomasa son recolectados por un sistema ciclónico, evitando la emisión al medio ambiente.

El uso de biomasa en el sistema de calefacción de distrito tiene varias ventajas en diferentes aspectos. El resultado más inmediato es la disminución de la dependencia de combustibles fósiles, dado que ahora el sistema depende fundamentalmente de una fuente de energía renovable. El segundo resultado es la disminución de las emisiones de CO₂ al medio ambiente porque el factor de emisiones de CO₂ para la biomasa es significativamente menor que el de los combustibles fósiles.

2.2.2. Sustitución de lámparas incandescentes

Otra intervención del proyecto cuyo objetivo es mejorar la eficiencia energética del distrito FASA fue la sustitución de las lámparas incandescentes existentes por iluminación LED en las zonas comunes de todos los edificios. Antes de la intervención, la capacidad de iluminación total en el distrito FASA ascendía a 24,28 kW y ha sido reducida a 4,156 kW gracias al uso de tecnología LED.

La activación de la iluminación es diferente en función de la tipología del edificio. En los bloques había detectores de presencia que limitaban la activación del sistema de iluminación, mientras que en la torre la iluminación responde a la activación manual.

2.2.3. Instalación de módulos fotovoltaicos

En la etapa de definición técnica se consideraron tres tecnologías: silicio monocristalino, policristalino y amorfo (a-Si). A partir de los datos obtenidos de los proveedores, se estimó que los módulos cristalinos tenían un rendimiento mucho más alto que la tecnología de película delgada a-Si, con un rango de 140-160 W/m² frente a 65 W/m² en el caso de a-Si. Sin embargo, esta pérdida de eficiencia se compensa por unos costes mucho más bajos. Teniendo en cuenta el efecto visual que tendría la fachada sobre el edificio, se eligió silicio amorfo debido a su aspecto estético uniforme, lo que facilita la integración arquitectónica en el entorno del edificio.

Descripción de la inversión	Gasto total [€]	Vida útil [años]
Sistema de aislamiento térmico	2.108.157	30
Instalación fotovoltaica	81.093	25
Iluminación LED en zonas comunes	16.450	15
Sala de calderas, subestaciones, viviendas, Sistema de ACS centralizado y red de calor.	1.892.602 €	20
TOTAL	4.098.302	

Tabla 2: Resumen del plan de inversión

El sistema fotovoltaico se instaló en la fachada sur de la torre, que tiene una desviación de 12° y sin obstáculos de sombreado. El efecto de ventilación reduce el sobrecalentamiento durante el verano mejorando la eficiencia de los módulos. Los módulos fotovoltaicos seleccionados fueron CALYXO (CX3 77) de dimensiones 1.200 mm x 600 mm que tienen una potencia nominal de 77,5 Wp. Se instalaron en dos filas en el área plana de la fachada evitando interferencias con las ventanas existentes con una capacidad total agregada de 27,435 kWp.

En el momento del diseño también se consideró el impacto y el riesgo de la legislación de autoconsumo [8] existente. Debido al impuesto existente sobre las instalaciones fotovoltaicas por encima de 10 kW y la incertidumbre sobre posibles cambios en la legislación, se decidió evitar la conexión directa del sistema de generación distribuida con la red y, por lo tanto, evitar costos adicionales. En cambio, se instaló un sistema que consiste en un tanque termo eléctrico con el objetivo de convertir la producción eléctrica en energía térmica por efecto Joule. La energía fotovoltaica alimenta un circuito con 8 resistencias eléctricas que calientan el tanque de agua, que actúa como amortiguador. El agua caliente del tanque se usa para precalentar el ACS y, por lo tanto, reducir el consumo de biomasa. El tanque utilizado para esta aplicación tiene una capacidad de 500 litros y puede soportar una temperatura máxima de 90 °C.

2.2.4. Integración del Sistema de Gestión Energética (SGE)
El SGE se estructura en tres niveles diferentes, dependiendo de la zona cubierta:

Sistema de Gestión Energética de Distrito
Este sistema es responsable de gestionar la calefacción de distrito en conjunto. Para cumplir con esta tarea, Veolia creó un SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) junto con TREND. El controlador utiliza la temperatura del tanque de inercia para gestionar la instalación, aunque las calderas de biomasa se controlan por sí mismas, ya que cuentan con su propio controlador. El controlador principal envía una consigna a las calderas y estas pueden autogestionarse para alcanzar la temperatura establecida. Las válvulas de 3 vías acopladas a cada caldera de biomasa también están controladas por el controlador de las calderas. En cuanto a la caldera de gas, el controlador activa el quemador de gas cuando la temperatura del tanque de inercia es inferior a la temperatura establecida con una histéresis específica y modula el quemador hasta que se alcanza el punto más alto de la histéresis, que es cuando el controlador lo desactiva.

Sistema de Gestión Energética de Edificios
Este sistema de gestión se encarga de monitorizar y controlar las instalaciones de calefacción y ACS en cada edificio. Cada edificio tiene su propia subestación donde el agua caliente de la red de calefacción de distrito genera agua caliente para la calefacción y el ACS. El SCADA que monitoriza las instalaciones a nivel de distrito también puede controlar el equipo a nivel de edificio.
El sistema de gestión energética de edificios integra los dispositivos de monitorización instalados en los 20 edificios. El sistema

también controla la generación de ACS, dependiendo de la cantidad de agua consumida y la temperatura del tanque de inter acumulación. La generación de ACS es controlada por la válvula de dos vías colocada antes del tanque de ACS, variando el flujo de agua según las necesidades.

Sistema de Gestión Energética de Viviendas
Este equipo de monitorización se ha instalado en las 398 viviendas del distrito. En este nivel hay dos tipos diferentes de dispositivos: repartidores de costes instalados en cada radiador para medir el consumo individual de las viviendas y válvulas termostáticas para permitir a los inquilinos ajustar la temperatura dentro de cada habitación. Se instalaron dos modelos de válvulas termostáticas diferentes: uno para la cocina y los baños y otro, que permite controlar la temperatura de la habitación de forma manual o con un teléfono inteligente, para el resto de las habitaciones.

3. RESULTADOS

3.1. ANÁLISIS ENERGÉTICO
3.1.1 Consumo de calefacción y ACS

Durante el período monitorizado (Octubre de 2018 - Diciembre de 2019), el consumo energético de calefacción ha sido de 3.452 MWh, mientras que el consumo energético previsto para el cumplimiento de la normativa española sería de alrededor de 4.550 MWh. Este consumo previsto se obtuvo con un modelo de regresión creado a partir de una línea base de cinco años que incluye los consumos de la instalación, los grados día de calefacción medidos para el distrito durante el período de línea base y los requisitos de la regulación española. Por lo tanto, los ahorros obtenidos para el consumo energético de calefacción durante este primer período de la instalación renovada son superiores al 31%.

Inicialmente el ACS era individual para cada vivienda y tras la rehabilitación se centralizó. Los ahorros para el ACS son de alrededor del -20% debido a las pérdidas de la red de calor. Sin embargo, es importante considerar que ahora la mayor parte del ACS es cubierto por las calderas de biomasa en lugar de los calentadores eléctricos y de butano originales.

Las emisiones de CO₂ disminuyeron como consecuencia de la reducción en el consumo de energía, pero la principal reducción en las emisiones de CO₂ proviene de la sustitución de una de las calderas de gas de 3,7 MW por dos nuevas calderas de biomasa de 0,499 MW. La reducción de la demanda debida a la nueva envolvente permite esta reducción de la potencia instalada. El objetivo en términos de reducción de emisiones de CO₂ y coste consiste en cubrir la mayor cantidad posible de demanda con las calderas de biomasa. Siguiendo esta estrategia, el consumo de las calderas de biomasa durante el primer período estudiado ha sido de 3.110 MWh, alrededor del 80% del consumo total, lo que implica una reducción

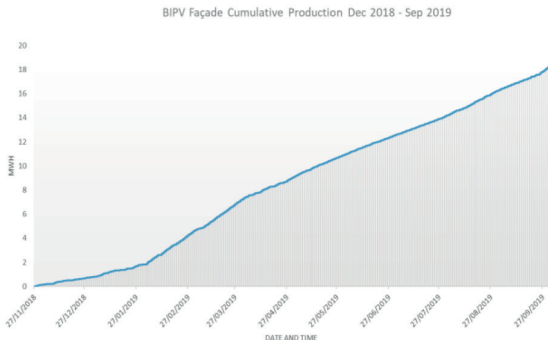


Fig. 2: Producción acumulada de la fachada fotovoltaica [MWh]

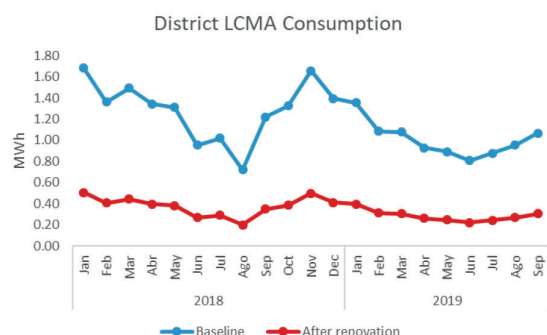


Fig. 3: Consumo de iluminación en áreas comunes [MWh]

significativa de las emisiones de CO₂.

3.1.2 Producción fotovoltaica

Al precalentar la entrada de agua a la caldera de biomasa con energía fotovoltaica, se logran ahorros adicionales de emisiones de CO₂. De Diciembre de 2018 a Septiembre de 2019 se generaron un total de 17,87 MWh, que debido a la alta eficiencia de la transformación en energía térmica por efecto Joule son equivalentes a 17,87 MWhth. En la Fig. 2 se muestra la generación acumulativa en la fachada ventilada. Esta figura muestra la variación en la pendiente durante las estaciones, que viene a mostrar la tasa de producción en cada época del año. Debido a la posición vertical de los paneles, las tasas de producción más altas se alcanzan durante la temporada de invierno, contribuyendo así de manera más activa cuando la demanda térmica está en los niveles más altos.

3.1.3 Consumo de iluminación

La Figura 3 muestra la comparación entre el consumo de referencia (Baseline) de la demanda de electricidad de la iluminación en las áreas comunes de los edificios y el consumo real después de la implementación de la acción. En este caso, los ahorros son sustanciales, llegando hasta 9,56 MWh en el periodo comprendido entre Octubre de 2018 y Septiembre de 2019 y 17,43 MWh durante el periodo de monitorización completo, que representa el 71% del consumo de referencia. Este valor denota la eficacia de la tecnología LED, que en general es la acción más simple y económica. Aunque los bloques ya contaban con detectores de presencia que disminuyen significativamente la demanda de energía, hasta el momento no existía un sistema de este tipo en la torre, lo que denota la oportunidad de nuevas mejoras.

3.2. ANÁLISIS ECONÓMICO

Las intervenciones descritas en secciones anteriores se han llevado a cabo en el marco de REMOURBAN, por lo que fueron subvencionadas por la UE en un alto porcentaje, € 2.310.625,00. Por otro lado, el Ayuntamiento de Valladolid contribuyó al desarrollo del proyecto otorgando € 617.500,00. Por lo tanto, el esquema financiero de la inversión para la rehabilitación del distrito ha sido altamente subvencionado alcanzando el 71,44% de la inversión necesaria para las obras. Este escenario financiero difícilmente podría repetirse fuera de un proyecto colaborativo, por lo tanto, en las acciones replicables, los propietarios de los edificios deben considerar un esfuerzo económico mayor. En la Tabla 2 se muestra un resumen del plan de inversión.

Para el cálculo del payback, las intervenciones se han dividido en dos grupos. La razón principal de esta división ha sido que las acciones relacionadas con la renovación de la red de calefacción de distrito y los sistemas de energía se han llevado a cabo por una Empresa de Servicios Energéticos que ha firmado un contrato con

la comunidad de propietarios para financiar estas intervenciones. Por otro lado, se han agrupado las acciones relacionadas con la rehabilitación de fachadas, incluyendo el aislamiento de fachadas y cubiertas, el sistema fotovoltaico y la intervención de cambio de iluminación a LED.

En el caso de la red de calefacción de distrito y los sistemas de energía, es posible tener un retorno de la inversión total en 10 años. En el caso de la rehabilitación de los edificios, el retorno de la inversión total es de 16 años. Según el índice del periodo de recuperación de la inversión, la intervención con una recuperación de la inversión más corta es el cambio de iluminación a LED que tiene un retorno de la inversión en dos años que compensa el tiempo de recuperación negativo de otras inversiones como PV y aislamiento de envoltura.

4. CONCLUSIONES

Como se muestra en los resultados proporcionados, las acciones implementadas en el distrito han permitido la reducción del consumo de energía en alrededor de un 30% con una contribución del 80% de biomasa, lo que reduce drásticamente las emisiones de CO₂ en el distrito. Estas cifras, que se espera que aumenten en los próximos meses debido a la optimización del funcionamiento de los sistemas, reflejan el potencial de los distritos para ser más eficientes energéticamente y contribuir a lograr los objetivos de la UE de neutralidad de carbono en 2050, donde el sector de la construcción es esencial.

Conseguir estos ahorros ha sido posible gracias a la integración adecuada de medidas pasivas, activas y de control, donde la reducción de la demanda de energía y el aumento de las condiciones de confort ha sido un elemento clave en el diseño del proyecto de rehabilitación.

Existe un gran potencial para replicar medidas a esta escala, donde la agregación de demandas y la integración de los sistemas de energía a nivel de distrito permiten la integración de sistemas más eficientes basados en fuentes de energía renovables que, de lo contrario, no podrían implementarse.

REFERENCIAS

- [1] Building Performance Institute of Europe: Principles for Nearly Zero-Energy Buildings. Available online: http://bpie.eu/documents/BPIE/publications/LR_nZEB%20study.pdf (accessed on 03 April 2019).
- [2] Balaras, C.; Gagla, A.; Georgopoulou, E.; Mirasgedis, S.; Sarafidis, S.; Lalas, D. (2007). European residential buildings and empirical assessment of the Hellenic building stock, energy consumption, emissions and potential energy savings. Building and Environment. 2011, 42. 1298-1314. 10.1016/j.buildenv.2005.11.001.
- [3] Building Performance Institute of Europe: Europe's Buildings under the microscope. Available online: http://bpie.eu/wp-content/uploads/2015/10/HR_EU_B_under_microscope_study.pdf (accessed on 03 April 2019).
- [4] European Parliament: Boosting Building Renovation: What Potential and Value for Europe? Available online: [http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2016/587326/IPOL_STU\(2016\)587326_EN.pdf](http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2016/587326/IPOL_STU(2016)587326_EN.pdf) (accessed on 03 April 2019).
- [5] García-Fuentes, M.A.; García-Pajares, R.; Sanz, C.; Meiss, A. (2018). Novel Design Support Methodology Based on a Multi-Criteria Decision Analysis Approach for Energy Efficient District Retrofitting Projects. Energies 2018, Volume 11, 2368. <https://doi.org/10.3390/en11092368>
- [6] Martín, A.; García, M.; Sanz, S.; De Torre, C. (2015). The REMOURBAN Project: regeneration model for accelerating the Smart urban transformation. FuturENERGY magazine. Volume 18, issued March 2015. (pp. 51-54). ISSN: 2340-261X.
- [7] Real Decreto 900/2015, 9 de octubre, por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas de las modalidades de suministro de energía eléctrica con autoconsumo y de producción con autoconsumo, Madrid, 2015, pp. 94874-94917.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo de investigación ha sido parcialmente financiado por la UE a través del Programa de Investigación e Innovación Horizon 2020 de la Unión Europea en el marco del proyecto de investigación REMOURBAN con el acuerdo de subvención No 646511. Los autores desean agradecer al resto de los socios por su apoyo. Toda la información relacionada con el proyecto está disponible en www.remourban.eu.