

Proyecto Erasmus+ ID: 2023-1-ES01-KA220-HED-000156652

Este proyecto Erasmus+ ha sido financiado con el apoyo de la Comisión Europea. Esta publicación refleja únicamente las opiniones de los autores, y la Comisión Europea y las agencias nacionales Erasmus+ no se hacen responsables del uso que pueda hacerse de la información contenida en ella.

## Caso de estudio lituano

### Parte I: Enfoque del caso de estudio lituano y análisis de la situación inicial del edificio

#### 1. Enfoque del caso de estudio

El caso de estudio de Lituania consiste en analizar la demanda energética, el consumo de energía y las emisiones de CO<sub>2</sub> de la situación actual del edificio, así como en proponer alternativas que mejoren su eficiencia energética, de un edificio de dormitorios de varias plantas situado en Vilna, Lituania.

Se estudiará el coste económico de las mejoras propuestas, así como la reducción del consumo energético y de las emisiones de CO<sub>2</sub> equivalentes que estas mejoras supondrán.

Las mejoras propuestas serán de tres tipos:

- Mejora de las propiedades térmicas de la envolvente térmica del edificio.
- Mejoras en el sistema de climatización
- Instalación de sistemas locales de generación de energía renovable

#### 2. Descripción del edificio dormitorio

##### 2.1. Introducción

El edificio de la residencia se encuentra en Staneviciaus g. 108, Vilna, Lituania.

Las coordenadas geográficas de este edificio son:

Latitud: 54°43'52.7"N

Longitud: 25°15'14.8"E

Se trata de un edificio de 5 plantas destinado a uso residencial. La entrada principal (fachada frontal) de la residencia se encuentra en el lado este del edificio, frente a la calle Stanevičiaus. El edificio ocupa una superficie de 600 m<sup>2</sup> (40 m x 15 m).



Figura 1: Edificio de la residencia en Vilna



2.2. Planos del edificio

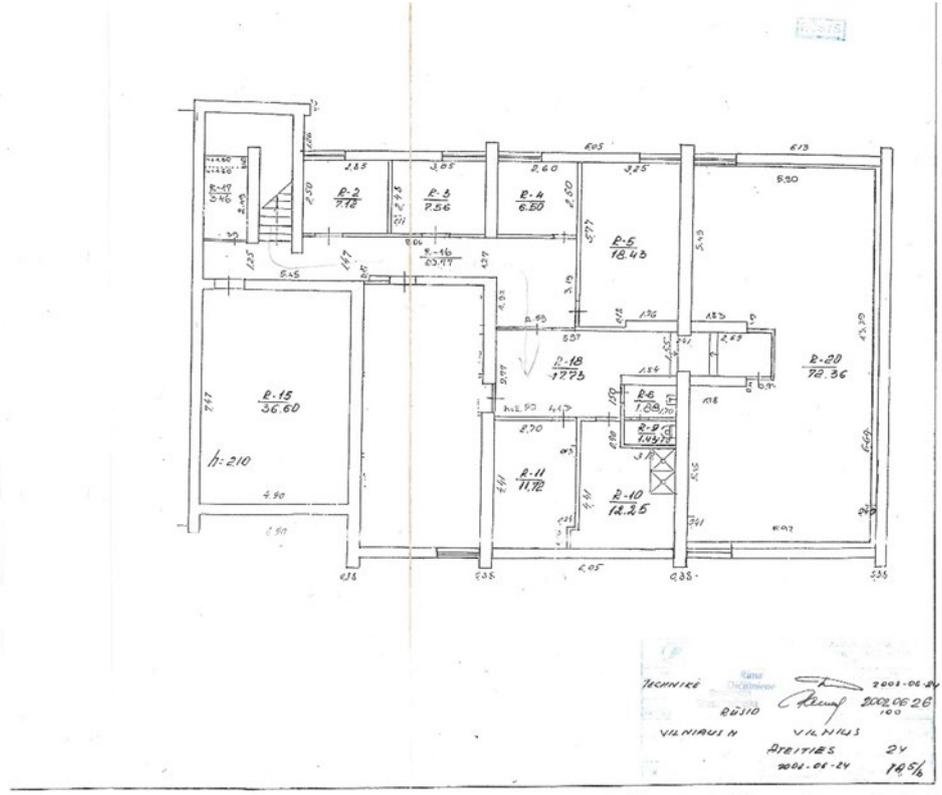


Figura 2 Plano del sótano.

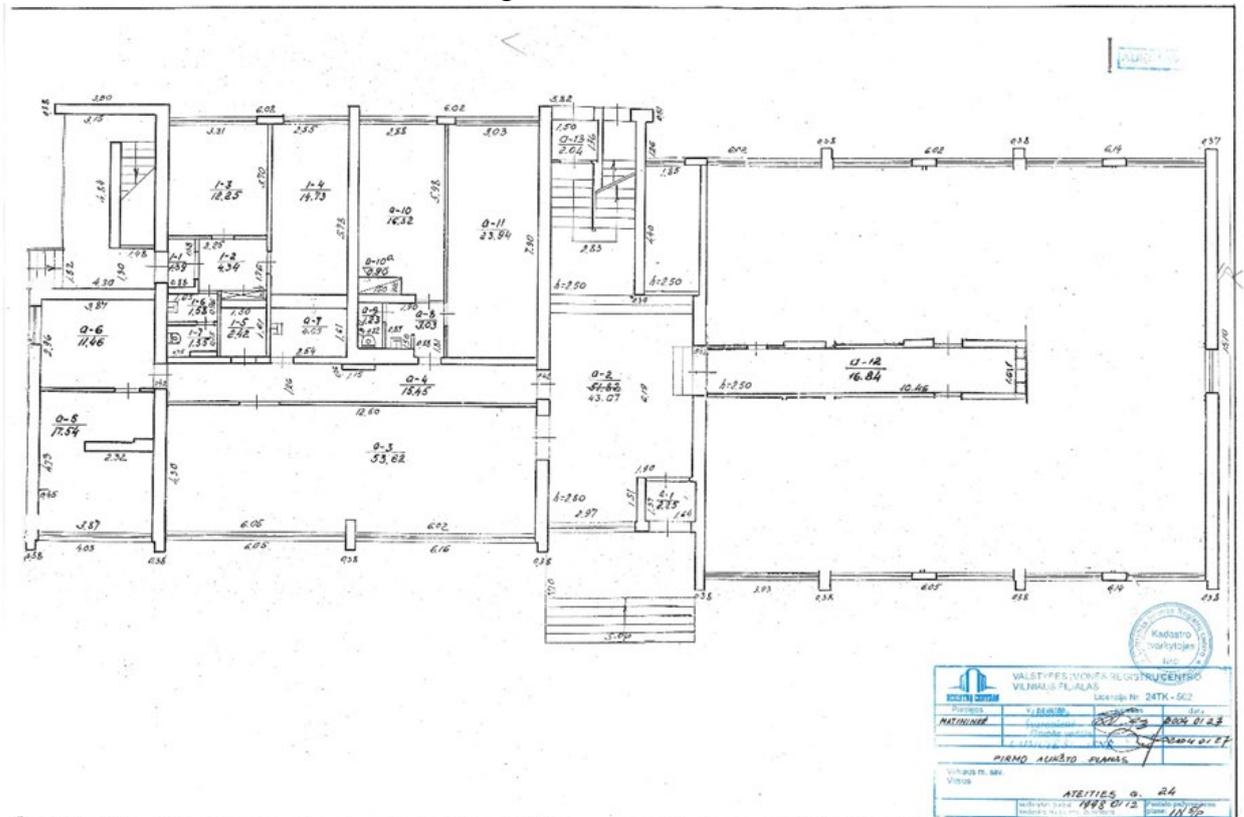


Figura 3: Plano de la primera planta (planta baja).

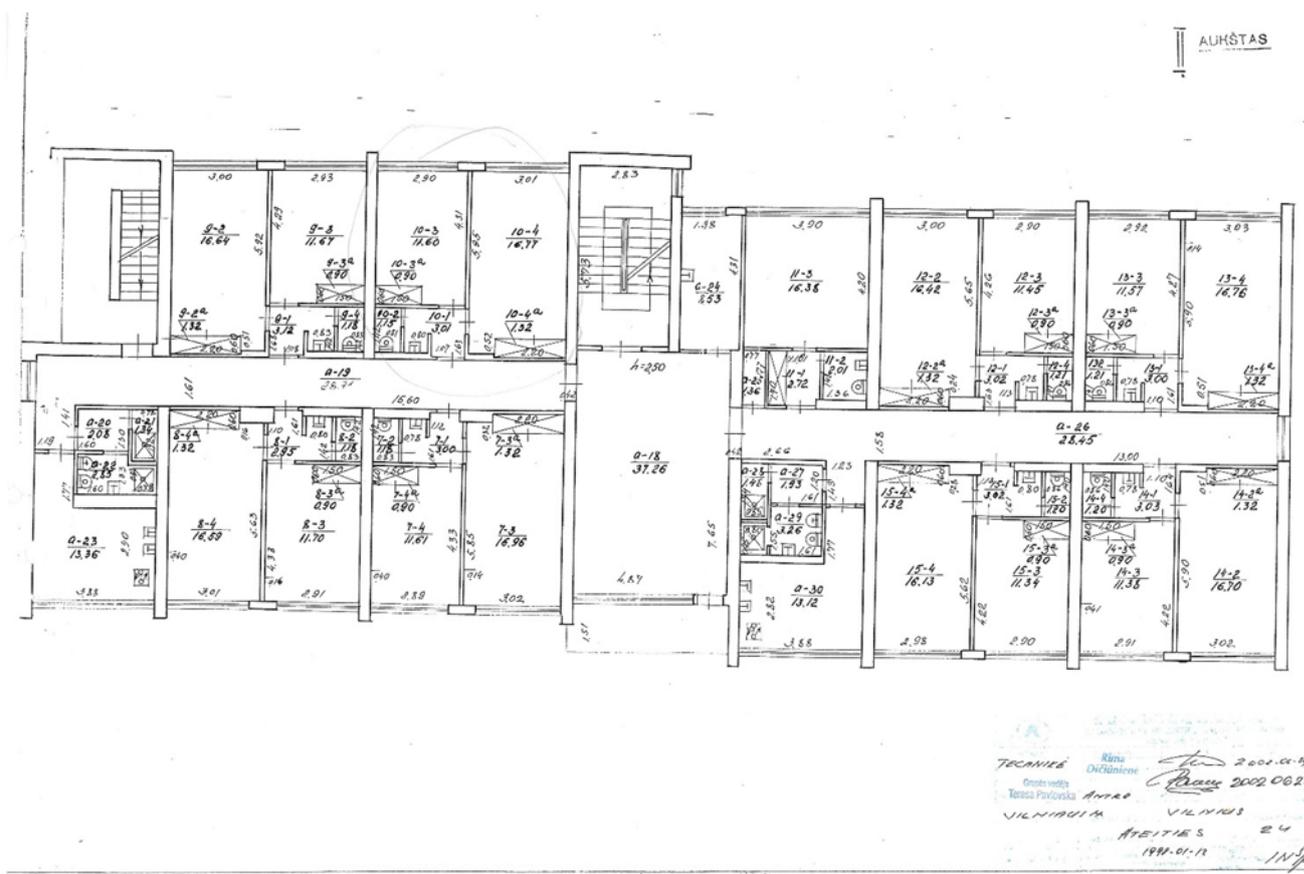


Figura 4: Plano de la segunda planta (primer piso).

### 2.3. Materiales de la envolvente térmica

La envolvente térmica de un edificio se refiere al sistema colectivo de elementos que separan los espacios interiores acondicionados del entorno exterior no acondicionado. Incluye las paredes exteriores, los techos, los suelos (en particular los que están en contacto con zonas no acondicionadas o con el suelo), así como las ventanas y las puertas exteriores.

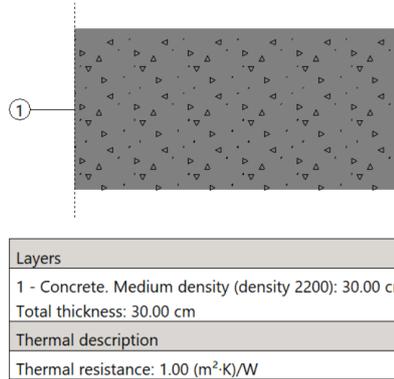
La función principal de la envolvente térmica es regular el flujo de calor, aire y humedad, minimizando así la pérdida de calor durante las estaciones frías y la ganancia de calor durante las estaciones cálidas. También reduce la infiltración y la exfiltración de aire, lo que contribuye de manera significativa al confort térmico de los ocupantes y a la eficiencia energética global del edificio.

El rendimiento de la envolvente térmica se evalúa normalmente a través de su resistencia térmica (valor R), transmitancia térmica (valor U) y estanqueidad al aire.

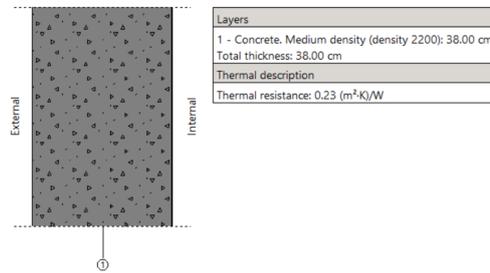
Una envolvente térmica bien diseñada y construida es esencial para alcanzar altos estándares de rendimiento energético, reducir los costes operativos de energía y mantener la calidad del ambiente interior.

A continuación se describen las características de los elementos que pertenecen a la envolvente térmica del edificio estudiado.

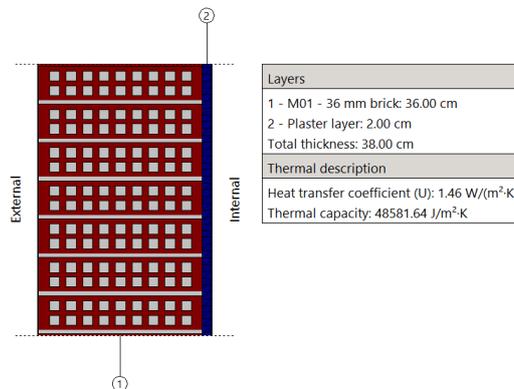
### Suelos en contacto con el terreno (solera)



### Paredes en contacto con el suelo



### Fachadas



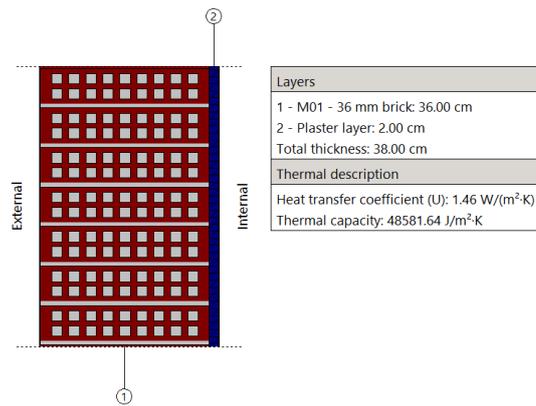
### Aberturas de la fachada

Ventanas con marco de PVC y doble acristalamiento

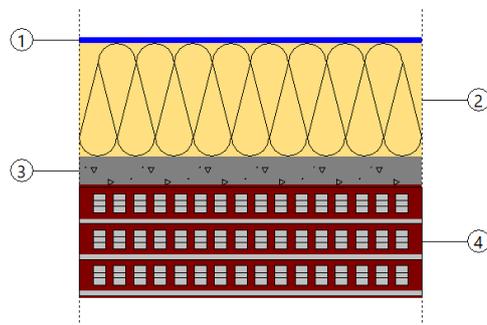
Heat transfer coefficient (U)  W/(m<sup>2</sup>·K)

Solar heat gain coefficient

**Paredes medianeras**

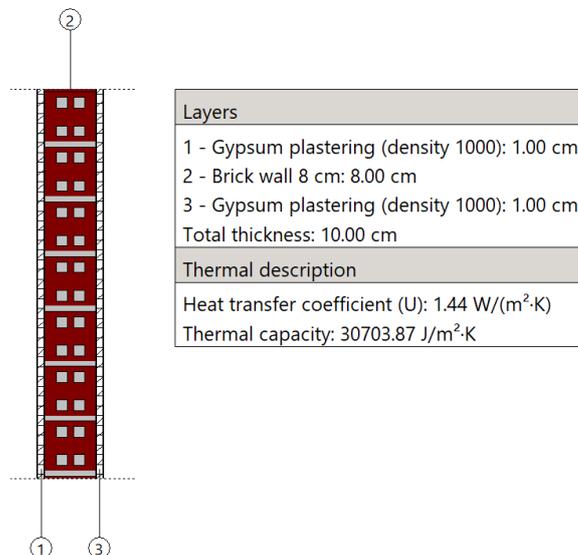


**Techos**

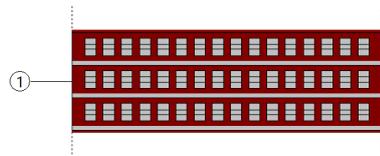


Layers	
1 - Bitumen. Pure:	1.00 cm
2 - Mineral Wood Panel:	20.00 cm
3 - Concrete. Reinforced (with 2% of steel):	5.00 cm
4 - Hollow core concrete panels:	20.00 cm
Total thickness: 46.00 cm	
Thermal description	
Heat transfer coefficient (cooling): 0.15 W/(m <sup>2</sup> ·K)	
Heat transfer coefficient (heating): 0.15 W/(m <sup>2</sup> ·K)	
Thermal capacity: 11466.66 J/m <sup>2</sup> ·K	

**Tabiques interiores**



### Losa intermedia



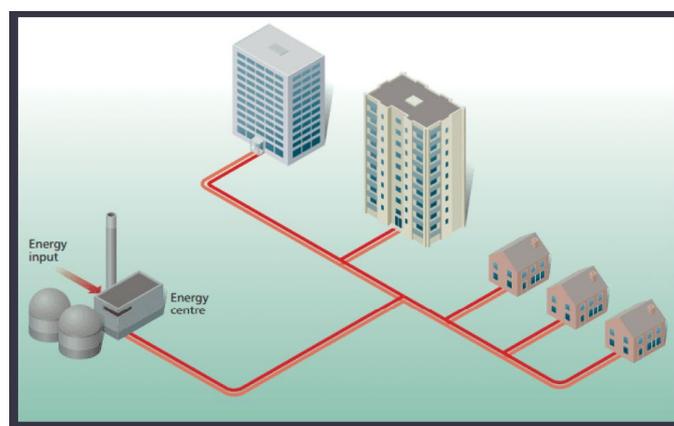
Layers
1 - Hollow core concrete panels -Height 200 mm: 20.00 cm Total thickness: 20.00 cm
Thermal description
Ceiling slab Heat transfer coefficient (cooling): 2.08 W/(m <sup>2</sup> ·K) Heat transfer coefficient (heating): 2.94 W/(m <sup>2</sup> ·K)
Floor slab Heat transfer coefficient (cooling): 2.94 W/(m <sup>2</sup> ·K) Heat transfer coefficient (heating): 2.08 W/(m <sup>2</sup> ·K)
Floor slab exposed to open air Heat transfer coefficient (cooling): 3.57 W/(m <sup>2</sup> ·K) Heat transfer coefficient (heating): 2.86 W/(m <sup>2</sup> ·K) Thermal capacity: 143863.88 J/m <sup>2</sup> ·K

## 2.4. Sistemas de calefacción y aire acondicionado

El dormitorio recibe el calor a través de un sistema centralizado de calefacción urbana. El calor se suministra al dormitorio a través de una unidad de calefacción automatizada (sistema de control de calefacción), que mide automáticamente la temperatura exterior (el sensor de temperatura exterior se encuentra en la pared exterior del edificio del dormitorio) y la temperatura interior. La calefacción urbana se enciende en toda Lituania cuando la temperatura media diaria del aire exterior es igual o inferior a 10 °C durante 3 días consecutivos. De forma análoga, se apaga cuando la temperatura media diaria exterior es superior a 10 °C durante tres días consecutivos.

En Lituania, el aire acondicionado no es relevante y no es obligatorio según el marco normativo.

El equipo de generación/producción de calefacción urbana se encuentra a cierta distancia del edificio del dormitorio (no hay generación de energía dentro del edificio del dormitorio), y el suministro de calor se canaliza bajo tierra a través de un fluido caloportador\* (thermofix). La regulación del consumo de calor en cada residencia (bloque de apartamentos) se organiza y ejecuta mediante una regulación automática en la subestación (situada en el sótano de la residencia). La subestación regula el consumo de calor en función de la temperatura exterior y el caudal de la bomba de consumo de calor.



**Figura 5:** Sistema de calefacción urbana «

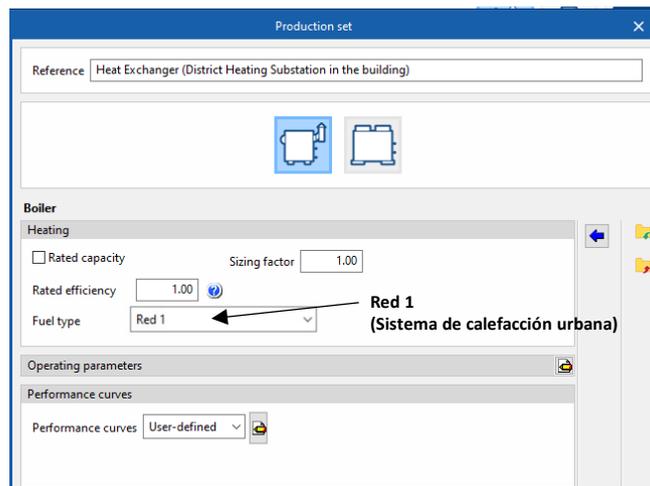
El módulo automático de la subestación térmica regula el consumo de calor mediante dos opciones:



- aumentando o disminuyendo la cantidad de fluido caloportador\* que llega al sistema de calefacción interno del dormitorio.
- aumentando o disminuyendo el caudal del sistema de calefacción interno del dormitorio.



**Figura 6:** Placa del intercambiador de calor en la subestación (en el sótano del edificio)



Energy conversion factors			
	Primary energy / Final energy	% Non-renewable	kg-CO2 / kWh Final energy
<b>Electricity</b>	2.368	82.517	0.331
<b>Natural gas</b>	1.195	99.582	0.252
<b>Diesel</b>	1.182	99.746	0.331
<b>LPG</b>	1.204	99.751	0.254
<b>Coal</b>	1.084	99.815	0.472
<b>Densified biomass (pellets)</b>	1.113	7.637	0.018
<b>Biomass</b>	1.037	3.279	0.018
<b>Environment</b>	1.000	0.000	0.000
<b>Red 1 (Sistema de calefacción urbana)</b>	1.300	46.730	0.140

**Figura 7:** Parámetros de rendimiento del intercambiador de calor y del sistema de calefacción urbana

### 2.5. Sistema de agua caliente sanitaria

El sistema de agua caliente sanitaria consiste en un sistema centralizado de calefacción de agua comunitario del mismo tipo que el sistema de calefacción urbana. En el modelo energético del edificio, se ha considerado



que el agua caliente sanitaria es suministrada por la misma red que el sistema de calefacción urbana, pero con **un porcentaje de pérdidas en la distribución del 50 %**.

En este estudio del edificio lituano, se ha supuesto que la temperatura del agua para uso doméstico en la red, antes de calentarla, es de 9 °C.

La ocupación considerada en el edificio a efectos del cálculo de las necesidades de agua caliente sanitaria ha sido de **180 personas** en este caso práctico. Necesidades de agua caliente sanitaria: **28 litros por persona y día**.

### 3. Desarrollo del caso de estudio del edificio de dormitorios lituano.

#### 3.1. Modelo BIM del edificio

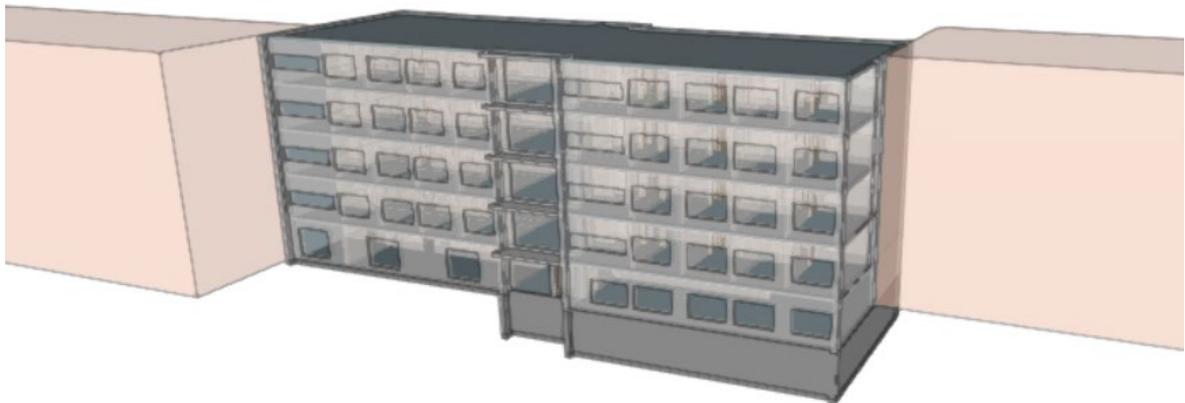
Un **modelo de información de construcción** (BIM) para el análisis energético es una representación digital de un edificio que integra datos geométricos y semánticos, lo que permite realizar simulaciones detalladas del rendimiento energético del edificio. A diferencia de un modelo 3D estándar, un BIM incluye información sobre los materiales, las propiedades térmicas, los horarios de ocupación, los sistemas de iluminación, los equipos de climatización y mucho más.

Cuando se utiliza para el análisis energético, el BIM sirve como base rica en datos que puede exportarse a un software de simulación energética (EnergyPlus en este caso práctico). Esto permite a los consultores energéticos evaluar las cargas de calefacción y refrigeración, la iluminación natural, el confort térmico y el consumo energético global.

Las principales ventajas son:

- **Transferencia automatizada de datos** desde el diseño a la simulación
- **Mayor precisión** gracias a entradas coherentes y detalladas
- **Flujos de trabajo de diseño integrados** entre arquitectos, ingenieros y analistas energéticos

Las siguientes figuras muestran varias vistas del modelo BIM geométrico del edificio.

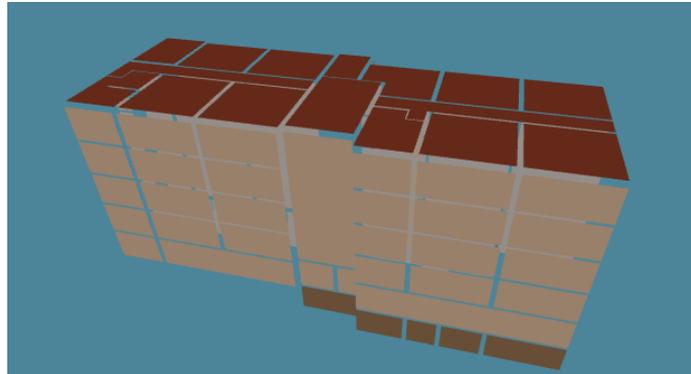


**Figura 8** Modelo BIM



### 3.2. Modelo analítico del edificio.

El **modelo analítico del edificio** está compuesto por los espacios interiores del edificio en los que se divide el volumen interior del edificio con sus características (volumen de espacio, superficies que eliminan el espacio...).



**Figura 12.** Modelo analítico del edificio

En este trabajo, los espacios interiores del edificio se han agrupado en 16 zonas diferentes.

Estas zonas son:

-  Z01 - Not habitable
-  Z02 - Common areas
-  Z03 - Common rooms - GF
-  Z04 - Common Kitchen and Bath - F1
-  Z05 - Common Kitchen and Bath - F2
-  Z06 - Common Kitchen and Bath - F3
-  Z07 - Common Kitchen and Bath - F4
-  Z08 - Apartments GF
-  Z09 - Apartments F1-Left
-  Z10 - Apartamente F1 Right
-  Z11 - Apartments F2 Left
-  Z12 - Apartments F2 Right
-  Z13 - Apartments F3 Left
-  Z14 - Apartments F3 Right
-  Z15 - Apartments F4 Left
-  Z16 - Apartments F4 Right

Zona 1 (no habitable) es la planta sótano

Zona 2 (zonas comunes): corresponden a los espacios de las escaleras, los pasillos y los vestíbulos de cada planta del edificio.

Zona 3 (salas comunes - planta baja): es un conjunto de salas comunes situadas en la planta baja del edificio.

El resto de las áreas corresponden a grupos de apartamentos en las diferentes plantas del edificio.

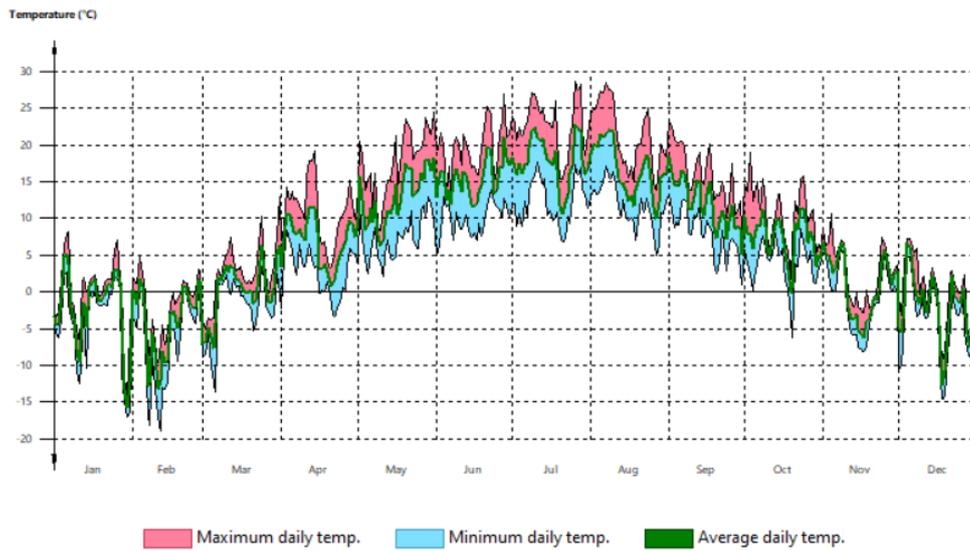
**La ventilación** del edificio existente consiste en ventilación natural.

Las necesidades de ventilación introducidas en el modelo han sido de **0,63 renovaciones de aire interior por hora** para viviendas, zonas comunes, cocinas y baños, y 1 renovación por hora para el sótano.

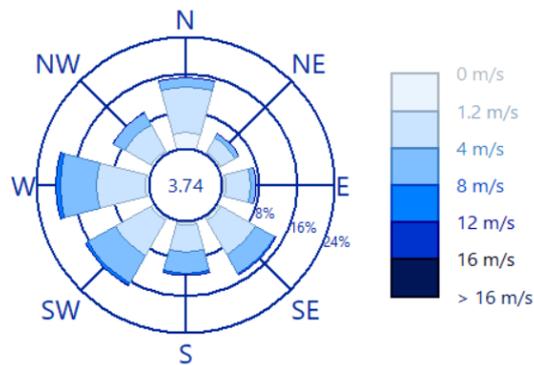
### 3.3. Datos climáticos

Los datos de la **temperatura exterior** considerados en este estudio de caso en esta zona climática son los siguientes:

Datos de: *LTU\_Kaunas.266290\_IWEC.epw*



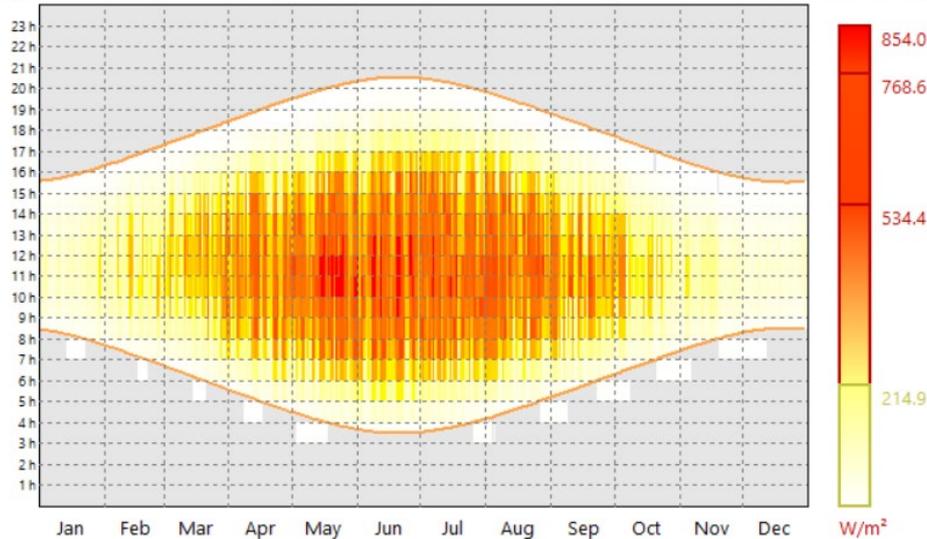
#### Distribución del viento:



#### Irradiación solar en el emplazamiento de la vivienda:

El siguiente gráfico muestra la irradiancia global sobre una superficie horizontal

$$Q = 15.8 + 30.2 + 67.1 + 105.6 + 155.2 + 163.1 + 159.3 + 136.4 + 82.5 + 44.7 + 18.5 + 9.8 = 988.33 \text{ kWh/m}^2$$



### 3.4. Condiciones de funcionamiento de los espacios acondicionados para uso residencial privado

Para el análisis energético del edificio se han utilizado las condiciones de funcionamiento de los espacios acondicionados del edificio, que se indican en la siguiente tabla.

**Tabla 1:** Condiciones de funcionamiento de los espacios acondicionados del edificio para uso residencial privado

		Horario (semana típica)			
		0:00-6:59	7:00-14:59	15:00-22:59	23:00-23:59
Temperatura de consigna alta (°C)	Enero a mayo	--	--	--	--
	De junio a septiembre	25	--	25	27
	Octubre a diciembre	--	--	--	--
Temperatura de consigna baja (°C)	Enero a mayo	17	20	20	17
	Junio a septiembre	--	--	--	--
	Octubre a diciembre	17	20	20	17

### 3.5. Modelo energético de edificios

Un modelo energético de edificios es una simulación digital detallada del consumo energético de un edificio, creada para analizar y predecir su rendimiento energético. Incluye datos como la geometría del edificio, su orientación, los materiales de construcción, los niveles de aislamiento, los sistemas de climatización, la iluminación, los patrones de ocupación y los datos climáticos locales. El modelo utiliza esta información para calcular el consumo energético para calefacción, refrigeración, iluminación, ventilación y cargas enchufables a lo largo del tiempo.

Este modelo es esencial para:

- Evaluación de alternativas de diseño
- Estimación del ahorro energético
- Cumplimiento de los códigos de construcción
- Apoyo a certificaciones de construcción ecológica (por ejemplo, LEED, BREEAM)

- Realizar análisis de coste-beneficio de las medidas de eficiencia energética

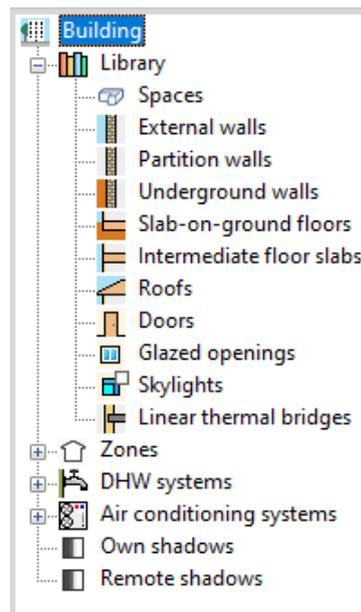


Figura 12: Algunos componentes del modelo energético de edificios

### 3.6. Proyecto de edificio de residencias universitarias en Lituania en BIMServer.center

El modelo BIM del edificio, el modelo analítico y el modelo energético de la situación actual del edificio se comparten en la **plataforma BIM BIMServer.center**.

Este proyecto se puede visitar en el siguiente enlace:

<https://bimserver.center/es/project/1007275?tab=0>

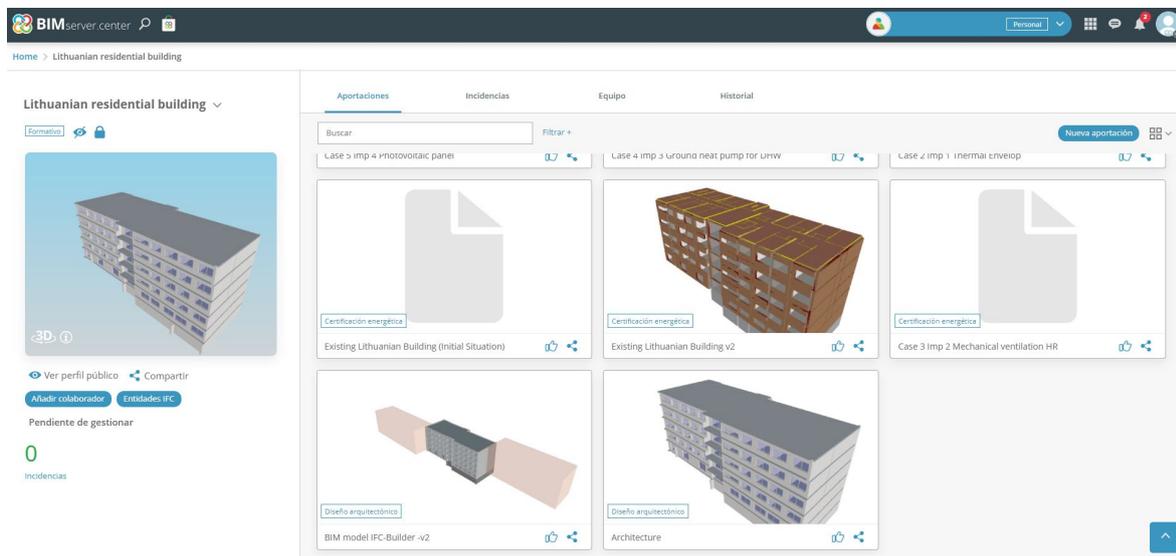
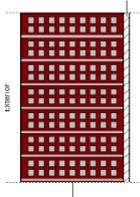


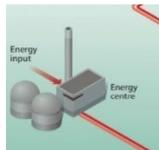
Figura 13: Proyecto de edificio de dormitorios en BIMServer.center

### 3.7. Casos analizados. Descripción

- **Caso 1: Situación inicial:** Fachada sin aislamiento + ventanas de doble acristalamiento + Calefacción centralizada y agua caliente sanitaria centralizada + ventilación natural.

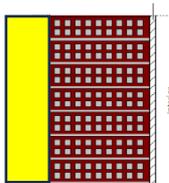


+ Calefacción y ACS

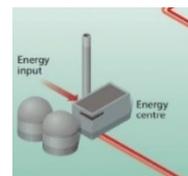


+ ventanas de doble  
acristalamiento ( $U=2,7 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ )

- **Caso 2: Mejora 1:** capa aislante de 25 cm en fachadas + ventanas de triple acristalamiento de baja emisividad con gas argón ( $U= 0,8 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ )



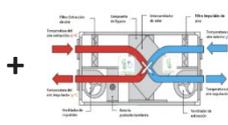
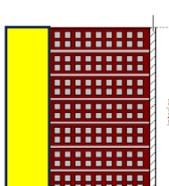
+ Calefacción y agua caliente sanitaria



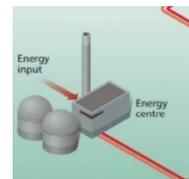
Fachada: capa de madera mineral de 20 cm.

Ventanas: ventanas de triple acristalamiento de baja emisividad con gas argón y marcos de PVC ( $U= 0,8 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ )

- **Caso 3: Mejora 2:** capa aislante de 25 cm en fachadas + ventanas de triple acristalamiento de baja emisividad con gas argón  $U= 0,8$  + **Sistema de ventilación mecánica con recuperación de calor.**

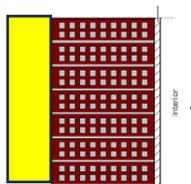


+ Calefacción y ACS

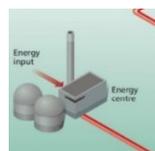


Sistema de ventilación mecánica: 2 ventiladores ( $750 \text{ W}/(\text{m}^3 / \text{s})$  cada uno).  
Eficiencia del intercambiador de calor sensible: 70 %

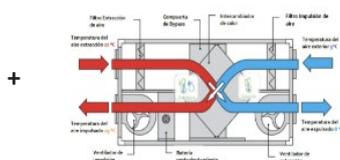
- **Caso 4: Mejora 3:** **ACS con bomba de calor geotérmica (COP 3,24)** + capa aislante de 25 cm en fachadas + ventanas de triple acristalamiento de baja emisividad con gas argón  $U= 0,8$ + Sistema de ventilación mecánica con recuperación de calor.



+ Calefacción

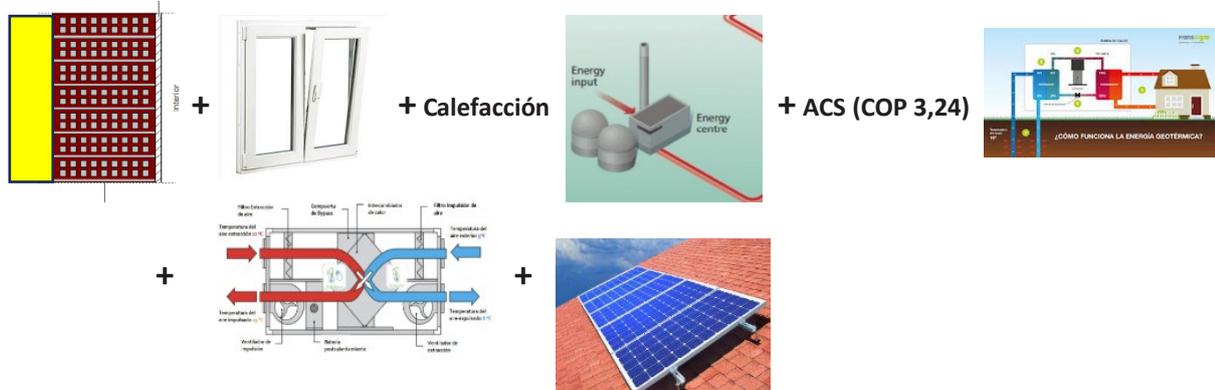


+ ACS (COP 3,24)



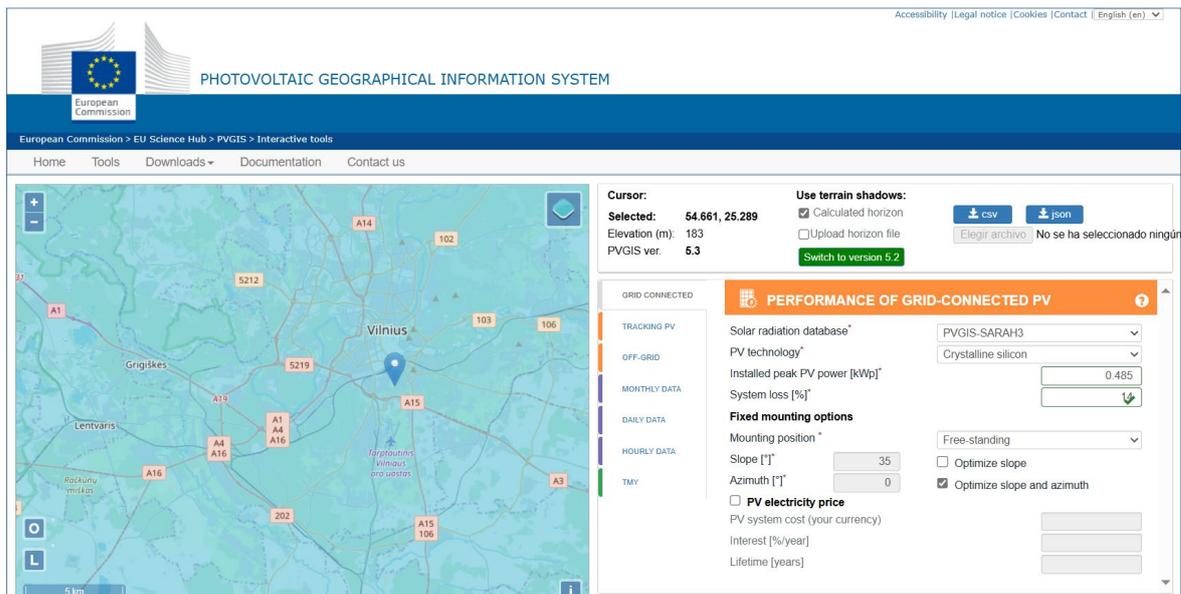


- **Caso 5: Mejora 4: Paneles fotovoltaicos (150 paneles de 480 W- 3 m<sup>2</sup> unidad) → (71250 kWh año) + ACS con bomba de calor geotérmica + capa aislante de 25 cm en fachadas + ventanas de triple acristalamiento de baja emisividad con gas argón U= 0,8 + Sistema de ventilación mecánica con recuperación de calor.**

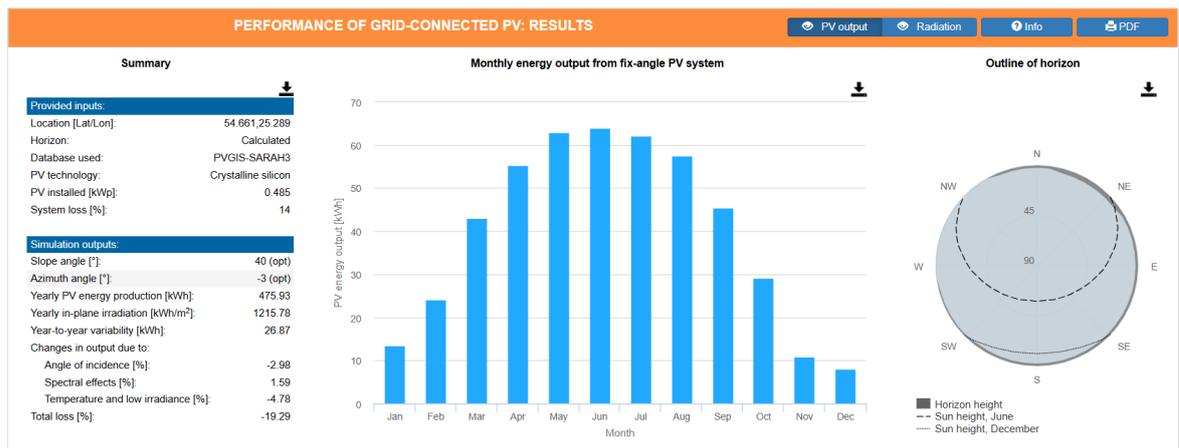


### Características de los paneles fotovoltaicos:

La potencia del módulo es de 485 W, con una eficiencia del 22,4 %.  
 Tamaño del panel (módulo): 3 m<sup>2</sup>.  
 Orientación (ángulo acimutal): -3°  
 Ángulo de inclinación: 40°



The screenshot shows the PVGIS interface. On the left is a map of Vilnius, Lithuania, with a location marker. On the right is the 'PERFORMANCE OF GRID-CONNECTED PV' settings panel. The 'Selected' location is 54.661, 25.289, with an elevation of 183m and PVGIS version 6.3. The 'Use terrain shadows' section is checked for 'Calculated horizon'. The 'Solar radiation database' is set to 'PVGIS-SARAH3' and 'PV technology' is 'Crystalline silicon'. The 'Installed peak PV power [kWp]' is 0.485 and 'System loss [%]' is 0.485. Under 'Fixed mounting options', 'Mounting position' is 'Free-standing', 'Slope [°]' is 35, and 'Azimuth [°]' is 0. The 'Optimize slope and azimuth' checkbox is checked. The 'PV electricity price' section is currently empty.



Producción energética mensual del sistema fotovoltaico en Vilna:

	Producción de energía por panel	Número de paneles	Producción de energía
	kWh		kWh
Enero	13,57	150	2035,50
Febrero	24,05	150	3607,50
marzo	42,96	150	6444,00
Abr	55,27	150	8290,50
mayo	62,92	150	9438,00
junio	64,01	150	9601,50
Julio	62,07	150	9310,50
Agosto	57,54	150	8631,00
Septiembre	45,52	150	6828,00
Octubre	29,07	150	4360,50
Noviembre	10,86	150	1629,00
Diciembre	8,08	150	1212,00
<b>Total</b>	<b>475,92</b>		<b>71388,00</b>

### 3.8. Resultados del caso. Consumo energético y calificación energética del edificio existente.

En esta sección y en la siguiente se muestra el consumo anual de energía final, energía primaria y energía primaria no renovable correspondiente a los diferentes servicios técnicos del edificio para la situación inicial del edificio y para las 4 alternativas de mejora de su rendimiento energético. El consumo de los servicios de calefacción y refrigeración incluye el consumo eléctrico de los equipos auxiliares de los sistemas de climatización.

Además, se muestra la calificación energética de los casos estudiados (situación inicial y las 4 alternativas de mejora). Esta calificación se ha calculado siguiendo la normativa española teniendo en cuenta su zona climática equivalente: E1

Para aclarar conceptos, se introducen aquí algunas definiciones:

#### Consumo total de energía primaria.

El consumo total de energía primaria en el contexto de un análisis de eficiencia energética de un edificio se refiere a la cantidad total de energía procedente de todas las fuentes (como electricidad, gas, petróleo o energías renovables) que se necesita para hacer funcionar el edificio, incluida la energía utilizada para producir y distribuir dicha energía.

Más concretamente:

- «Energía primaria» es la energía en su forma original, sin transformar, antes de ser convertida en electricidad o calor. Por ejemplo, el carbón, el gas natural, el petróleo crudo o la luz solar.
- Esto incluye la energía **utilizada in situ** (como el gas para calefacción) y **la energía convertida** (como la electricidad), pero también tiene en cuenta las **pérdidas que se producen durante la generación, el transporte y la distribución**.

Por lo tanto, el consumo total de energía primaria indica la cantidad de energía bruta que se necesita en última instancia para hacer funcionar el edificio, lo que ofrece una visión completa de su impacto medioambiental.

### Consumo de energía primaria de origen no renovable.

El consumo de energía primaria de origen no renovable se refiere a la **cantidad total de energía primaria no renovable** utilizada para el funcionamiento de un edificio, incluyendo:

- **Combustibles fósiles:** carbón, gas natural y petróleo
- **Energía nuclear**
- **Cualquier otra fuente de energía no renovable**

Esta medición incluye:

- La energía **utilizada directamente in situ**, como el gas natural para calefacción
- La energía **utilizada indirectamente**, como la electricidad generada a partir del carbón o el gas (incluidas las pérdidas derivadas de la generación y el transporte)

### Consumo de energía en el punto de consumo (energía final).

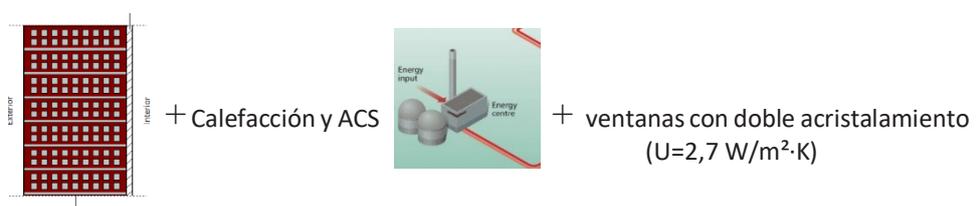
El consumo de energía en el punto de consumo, también conocido como **consumo final de energía**, se refiere a la **cantidad de energía realmente utilizada por el edificio** para sus diversas funciones, tales como:

- **Calefacción**
- **Refrigeración**
- **Iluminación**
- **Agua caliente**
- **Electrodomésticos y equipos**

Se trata de la **energía suministrada al edificio y medida en el contador**, como las facturas de electricidad o el consumo de gas. **No incluye las pérdidas de energía** que se producen durante la producción, la conversión o la transmisión (que se incluyen en *la energía primaria*).

En resumen:

- **Energía final** = Energía utilizada **dentro del edificio**, tal y como la percibe el usuario.
- **Energía primaria** = Energía final **más pérdidas en las fases previas** (por ejemplo, eficiencia de la central eléctrica, pérdidas en la red de transmisión).
- **Caso 1: Situación inicial: Fachada sin aislamiento + ventanas de doble acristalamiento + calefacción centralizada y agua caliente sanitaria centralizada + ventilación natural.**




**Consumo energético del edificio: Situación inicial.**
**Consumo energético de los servicios técnicos del edificio**
**EDIFICIO** ( $S_u = 2363,76 \text{ m}^2$ )

Servicios técnicos	EF		EP <sub>tot</sub>		EP <sub>nren</sub>	
	(kWh/año)	(kWh/m <sup>2</sup> -año)	(kWh/año)	(kWh/m <sup>2</sup> -año)	(kWh/año)	(kWh/m <sup>2</sup> -año)
Calefacción	292781,52	123,86	418 789,87	177,17	225 989,72	95,61
Refrigeración	28,09	0,01	66,19	0,03	54,37	0,02
DHW	163 407,07	69,13	212 428,82	89,87	99268,50	42,00
	456 216,68	193,00	631 284,88	267,07	325 312,59	137,63

donde:

 $S_u$  : Superficie habitable incluida en la envolvente térmica, m<sup>2</sup>.

EF: Energía final consumida por el servicio técnico en el punto de consumo.

 EP<sub>tot</sub> Consumo total de energía primaria.

;

 EP<sub>nren</sub> Consumo de energía primaria de origen no renovable.

;

**Consumo final de energía del edificio. Resultados mensuales.**

		Enero	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Año	
		(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh/año)	(kWh/m <sup>2</sup> -año)
<b>EDIFICIO</b> ( $S_u = 2363,76 \text{ m}^2$ )															
Demanda energética	Calefacción	52165	51779,7	42518,5	19344,9	5454,6	--	--	--	--	26 047,1	41740,0	52017,3	291 067,8	123,1
	Refrigeración	--	--	--	--	--	--	0,2	75,4	--	--	--	--	75,6	0,0
	DHW	13878,4	12535,3	13878,4	13 430,7	13878,4	13 430,7	13 878,4	13 878,4	13 430,7	13878,4	13 430,7	13878,4	163 407,2	69,1
	<b>TOTAL</b>	<b>66044,2</b>	<b>64315,0</b>	<b>56 396,9</b>	<b>32775,6</b>	<b>19333,0</b>	<b>13 430,7</b>	<b>13 878,6</b>	<b>13 953,8</b>	<b>13 430,7</b>	<b>39 925,5</b>	<b>55 170,7</b>	<b>65 895,7</b>	<b>454 550,6</b>	<b>192,3</b>
Red 1 (Roja 1)	Calefacción	46351,1	46018,6	37546,5	16676,3	4530,8	--	--	--	--	22 725,0	36966,8	46 224,4	257 039,5	108,7
	Refrigeración	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	DHW	13878,4	12535,3	13878,4	13 430,7	13878,4	13 430,7	13 878,4	13 878,4	13 430,7	13878,4	13 430,7	13878,4	163 407,2	69,1
Electricidad	Calefacción	6125,3	6072,3	5212,7	2780,7	976,5	--	--	--	--	3473,7	5007,3	6093,5	35741,9	15,1
	Refrigeración	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	DHW	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	Ventilación	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	Control de humedad	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	Iluminación	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	Calefacción	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Electricidad (Sistema de sustitución)	Refrigeración	--	--	--	--	--	--	--	28,1	--	--	--	--	28,1	0,0
	DHW	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	<b>C<sub>ef,tot</sub></b>	<b>66354,8</b>	<b>64626,2</b>	<b>56637,5</b>	<b>32887,7</b>	<b>19385,7</b>	<b>13 430,7</b>	<b>13 878,4</b>	<b>13 906,5</b>	<b>13 430,7</b>	<b>40077,2</b>	<b>55 404,8</b>	<b>66 196,3</b>	<b>456 216,7</b>	<b>193,0</b>

donde:

 $S_u$  : Superficie habitable incluida en la envolvente térmica, m<sup>2</sup>.

 $C_{ef,tot}$  Consumo de energía en el punto de consumo (energía final), kWh/m<sup>2</sup>-año.

;



**Clase energética del edificio: Situación inicial.**

<b>Zona climática (eq.)</b>	E1	<b>Uso</b>	Residencial privado
-----------------------------	----	------------	---------------------

**CLASIFICACIÓN ENERGÉTICA DEL EDIFICIO EN EMISIONES**

1.

INDICADOR GLOBAL	INDICADORES PARCIALES	
	CALEFACCIÓN	Aguas calientes sanitarias
 29,91 D	Emisiones de calefacción [kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> ·año]	Emisiones de ACS [kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> ·año]
	20,23	9,68
Emisiones globales [kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> ·año] <sup>(1)</sup>	REFRIGERACIÓN	ILUMINACIÓN
	Emisiones de refrigeración [kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> ·año]	Emisiones de iluminación [kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> ·año]
2.	0,00	-

La calificación global del edificio se expresa en términos de dióxido de carbono liberado a la atmósfera como resultado de su consumo energético.

	kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> ·año	kgCO <sub>2</sub> ·año
Emisiones de CO <sub>2</sub> procedentes del consumo eléctrico	5,01	11839,88
Emisiones de CO <sub>2</sub> procedentes de otros combustibles	24,9	58862,51

**CLASIFICACIÓN ENERGÉTICA DEL EDIFICIO EN CONSUMO DE ENERGÍA PRIMARIA NO RENOVABLE**

3.

La energía primaria no renovable es la energía consumida por el edificio procedente de fuentes no renovables que no ha sido sometida a ningún proceso de conversión o transformación.

4.

INDICADOR GLOBAL	INDICADORES PARCIALES	
	CALEFACCIÓN	Aguas sanitarias
 137,63 D	Energía primaria para calefacción [kWh/m <sup>2</sup> ·año]	ACS Energía primaria [kWh/m <sup>2</sup> ·año]
	95,61	42
Consumo mundial de energía primaria no renovable [kWh/m <sup>2</sup> ·año] <sup>(1)</sup>	REFRIGERACIÓN	ILUMINACIÓN
	Energía primaria para refrigeración [kWh/m <sup>2</sup> ·año]	Energía primaria para iluminación [kWh/m <sup>2</sup> ·año]
5.	0,02	-

**CALIFICACIÓN PARCIAL DE LA DEMANDA DE ENERGÍA PARA CALEFACCIÓN Y REFRIGERACIÓN**

La demanda energética para calefacción y refrigeración es la energía necesaria para mantener las condiciones de confort interior del edificio.

5.

DEMANDA DE CALEFACCIÓN	DEMANDA DE REFRIGERACIÓN
 123,14 E	No cualificable
6. Demanda de calefacción [kWh/m <sup>2</sup> ·año]	Demanda de refrigeración [kWh/m <sup>2</sup> ·año]

<sup>1</sup> El indicador global es el resultado de la suma de los indicadores parciales más el valor del indicador de consumo auxiliar, si lo hay (solo edificios terciarios, ventilación, bombeo, etc.). La electricidad autoconsumida solo se deduce del indicador global, no de los valores parciales.

## Proyecto Erasmus+ ID: 2023-1-ES01-KA220-HED-000156652

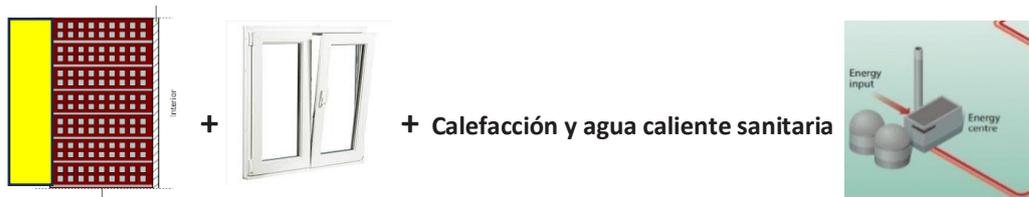
Este proyecto Erasmus+ ha sido financiado con el apoyo de la Comisión Europea. Esta publicación refleja únicamente las opiniones de los autores, y la Comisión Europea y las agencias nacionales Erasmus+ no se hacen responsables del uso que pueda hacerse de la información contenida en ella.

## Caso de estudio lituano

### Parte II: Análisis de las medidas de mejora

#### 3.9. Resultados del caso II. Consumo energético y calificación energética de las alternativas para mejorar el edificio.

- **Caso 2: Mejora 1: capa aislante de 25 cm en las fachadas + ventanas de triple acristalamiento de baja emisividad con gas argón ( $U = 0,8 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ )**



#### Consumo energético de los servicios técnicos del edificio

**EDIFICIO** ( $S_u = 2363,76 \text{ m}^2$ )

Servicios técnicos	EF		EP <sub>tot</sub>		EP <sub>nren</sub>	
	(kWh/año)	(kWh/m <sup>2</sup> ·año)	(kWh/año)	(kWh/m <sup>2</sup> ·año)	(kWh/año)	(kWh/m <sup>2</sup> ·año)
Calefacción	2008	84,96	287076,39	121,45	154795,61	65,49
Refrigeración	255,00	0,11	605,12	0,26	498,75	0,21
DHW	163 407,07	69,13	212 428,82	89,87	99268,50	42,00
<b>TOTAL</b>	<b>364 476,60</b>	<b>154,19</b>	<b>500110,34</b>	<b>211,57</b>	<b>254562,86</b>	<b>107,69</b>

donde:

$S_u$ : Superficie habitable incluida en la envolvente térmica, m<sup>2</sup>.

EF: Energía final consumida por el servicio técnico en el punto de consumo.

EP<sub>tot</sub>: Consumo total de energía primaria.

:

EP<sub>nren</sub>: Consumo de energía primaria de origen no renovable.

:

#### Consumo final de energía del edificio. Resultados mensuales.

		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Año	
		(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh/año)	(kWh/m <sup>2</sup> ·año)
<b>EDIFICIO</b> ( $S_u = 2363,76 \text{ m}^2$ )															
Demanda energética	Calefacción	30802,2	30389,4	23188,1	7188,8	892,3	--	--	--	--	14 109,0	23932,2	30858,1	161360,1	68,3
	Refrigeración	--	--	--	--	--	67,0	224,7	387,9	--	--	--	--	679,6	0,3
	DHW	13878,4	12535,3	13878,4	13430,7	13878,4	13 430,7	13 878,4	13 878,4	13 430,7	13878,4	13 430,7	13878,4	163 407,2	69,1
	<b>TOTAL</b>	<b>44680,6</b>	<b>42 924,7</b>	<b>37066,5</b>	<b>20619,5</b>	<b>14770,7</b>	<b>13 497,8</b>	<b>14 103,1</b>	<b>14 266,3</b>	<b>13 430,7</b>	<b>27 987,4</b>	<b>37 362,9</b>	<b>44 736,5</b>	<b>325 446,8</b>	<b>137,7</b>
Red 1 (Roja 1)	Calefacción	33534,1	33179,9	25740,5	8572,9	1367,9	--	--	--	--	14721,0	25809,1	33527,9	176 453,3	74,6
	Refrigeración	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--



	Ene (kWh)	Feb (kWh)	Mar (kWh)	Abr (kWh)	May (kWh)	Jun (kWh)	Jul (kWh)	Ago (kWh)	Sep (kWh)	Oct (kWh)	Nov (kWh)	Dic (kWh)	Año (kWh/año)	Año (kWh/m <sup>2</sup> ·año)
DHW	13878,4	12535,3	13878,4	13430,7	13878,4	13430,7	13878,4	13878,4	13430,7	13878,4	13430,7	13878,4	163407,2	69,1
Calefacción	4364,2	4313,9	3605,2	1567,7	385,7	--	--	--	--	2302,3	3473,6	4348,5	24361,2	10,3
Refrigeración	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Electricidad	DHW	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Electricidad	Ventilación	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Electricidad	Control de humedad	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Electricidad	Iluminación	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Electricidad (Sistema de sustitución)	Calefacción	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Electricidad (Sistema de sustitución)	Refrigeración	--	--	--	--	18,5	85,5	151,0	--	--	--	--	255,0	0,1
Electricidad (Sistema de sustitución)	DHW	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Cef <sub>total</sub>	51776,7	50029,2	43224,1	23571,3	15632,0	13449,2	13963,9	14029,4	13430,7	30901,7	42713,4	51754,8	364476,6	154,2

donde:

$S_u$  : Superficie habitable incluida en la envolvente térmica, m<sup>2</sup>.

$C_{ef,total}$  Consumo de energía en el punto de consumo (energía final), kWh/m<sup>2</sup>·año.

:

### Clase energética del edificio: Mejora 1.

Zona climática (eq.)	E1	Uso	Residencial privado
----------------------	----	-----	---------------------

### 1. CLASIFICACIÓN ENERGÉTICA DEL EDIFICIO EN EMISIONES

INDICADOR GLOBAL	INDICADORES PARCIALES	
	<b>CALEFACCIÓN</b>	<b>Aguas calientes sanitarias</b>
	Emisiones de calefacción [kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> ·año]	Emisiones de ACS [kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> ·año]
	<b>13,86</b>	<b>9,68</b>
	<b>A</b>	<b>C</b>
Emisiones globales [kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> ·año] <sup>(1)</sup>	<b>REFRIGERACIÓN</b>	<b>ILUMINACIÓN</b>
	Emisiones de refrigeración [kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> ·año]	Emisiones de iluminación [kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> ·año]
	<b>0,00</b>	<b>-</b>
	<b>A</b>	<b>-</b>

La calificación global del edificio se expresa en términos de dióxido de carbono liberado a la atmósfera como resultado de su consumo energético.

	kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> ·año	kgCO <sub>2</sub> ·año
Emisiones de CO <sub>2</sub> procedentes del consumo eléctrico	3,45	8147,96
Emisiones de CO <sub>2</sub> procedentes de otros combustibles	20,1	47580,45

### 3. CLASIFICACIÓN ENERGÉTICA DEL EDIFICIO EN CONSUMO DE ENERGÍA PRIMARIA NO RENOVABLE

La energía primaria no renovable se refiere a la energía consumida por el edificio procedente de fuentes no renovables que no ha sido sometida a ningún proceso de conversión o transformación.

4.

INDICADOR GLOBAL	INDICADORES PARCIALES	
	<b>CALEFACCIÓN</b>	<b>Aguas sanitarias</b>
	Energía primaria para calefacción [kWh/m <sup>2</sup> ·año]	ACS Energía primaria [kWh/m <sup>2</sup> ·año]
	<b>65,49</b>	<b>42</b>
	<b>A</b>	<b>E</b>
Consumo mundial de energía primaria no renovable [kWh/m <sup>2</sup> ·año] <sup>(1)</sup>	<b>REFRIGERACIÓN</b>	<b>ILUMINACIÓN</b>
	Energía primaria para refrigeración [kWh/m <sup>2</sup> ·año]	Energía primaria para iluminación [kWh/m <sup>2</sup> ·año]
	<b>0,21</b>	<b>-</b>
	<b>A</b>	<b>-</b>

## CALIFICACIÓN PARCIAL DE LA DEMANDA DE ENERGÍA PARA CALEFACCIÓN Y REFRIGERACIÓN

La demanda energética para calefacción y refrigeración es la energía necesaria para mantener las condiciones de confort interior del edificio.

5.

DEMANDA DE CALEFACCIÓN	DEMANDA DE REFRIGERACIÓN
	No cualificable
6. Demanda de calefacción [kWh/m <sup>2</sup> ·año]	Demanda de refrigeración [kWh/m <sup>2</sup> ·año]

1 El indicador global es el resultado de la suma de los indicadores parciales más el valor del indicador de consumo auxiliar, si lo hay (solo edificios terciarios, ventilación, bombeo, etc.). La electricidad autoconsumida solo se deduce del indicador global, no de los valores parciales.

- caso 3: Mejora 2: capa aislante de 25 cm en fachadas + ventanas de triple acristalamiento de baja emisividad con gas argón U= 0,8 + sistema de ventilación mecánica con recuperación de calor



### Consumo energético del edificio: Mejora 2.

### Consumo energético de los servicios técnicos del edificio

EDIFICIO ( $S_u = 2363,76 \text{ m}^2$ )

Servicios técnicos	EF		EP <sub>tot</sub>		EP <sub>nren</sub>	
	(kWh/año)	(kWh/m <sup>2</sup> ·año)	(kWh/año)	(kWh/m <sup>2</sup> ·año)	(kWh/año)	(kWh/m <sup>2</sup> ·año)
Calefacción	119584,90	50,59	170980,28	72,33	92 224,49	39,02
Refrigeración	433,93	0,18	1028,24	0,44	848,59	0,36
DHW	163 407,09	69,13	212 428,82	89,87	99268,50	42,00
Ventilación	10956,42	4,64	25944,64	10,98	21408,58	9,06
	294 382,35	124,54	410 381,98	173,61	213 750,17	90,43

donde:

$S_u$ : Superficie habitable incluida en la envolvente térmica, m<sup>2</sup>.

EF: Energía final consumida por el servicio técnico en el punto de consumo.

EP<sub>tot</sub>: Consumo total de energía primaria.

:

EP<sub>nren</sub>: Consumo de energía primaria de origen no renovable.

:

### Consumo final de energía del edificio. Resultados mensuales.

		Enero	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Año	
		(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh/año)	(kWh/m <sup>2</sup> ·año)
EDIFICIO ( $S_u = 2363,76 \text{ m}^2$ )															
Demanda energética	Calefacción	24288,4	24134,4	17534,5	3449,2	125,8	--	--	--	--	9397,8	18295,8	24 482,1	121707,9	51,5
	Refrigeración	--	--	--	--	--	55,3	444,8	631,7	--	--	--	--	1131,8	0,5
	DHW	13878,4	12535,3	13878,4	13430,7	13878,4	430,7	878,4	878,4	430,7	13878,4	430,7	13878,4	407,2	69,1
	TOTAL	38166,8	36669,7	31412,9	16 879,9	14004,2	13 486,0	14 323,2	14 510,1	13 430,7	23 276,2	31726,5	38 360,5	286 246,8	121,1



		Enero	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Año	
		(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh/año)	(kWh/m <sup>2</sup> ·año)
Red 1 (Roja 1)	<b>Calefacción</b>	21224,8	21106,8	15060,6	2564,8	41,7	--	--	--	--	7743,8	15879,6	21 412,8	105 034,9	44,4
	<b>Refrigeración</b>	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	<b>DHW</b>	13878,4	12535,3	13878,4	13 430,7	13878,4	13 430,7	13 878,4	13 878,4	13 430,7	13878,4	13 430,7	13878,4	163 407,2	69,1
Electricidad	<b>Calefacción</b>	2780,9	2777,0	2186,8	572,3	37,8	--	--	--	--	1250,5	2137,8	2790,4	14533,5	6,1
	<b>Refrigeración</b>	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	<b>DHW</b>	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Electricidad	<b>Ventilación</b>	1036,0	935,8	1036,0	1002,6	1036,0	697,2	720,4	720,4	697,2	1036,0	1002,6	1036,0	10 956,4	4,6
	<b>Control de humedad</b>	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	<b>Iluminación</b>	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	<b>Calefacción</b>	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Electricidad (Sistema de sustitución)	<b>Refrigeración</b>	--	--	--	--	--	21,3	170,0	242,7	--	--	--	--	433,9	0,2
	<b>DHW</b>	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	<b>Cef,tot</b>	<b>38920,2</b>	<b>37362,5</b>	<b>32161,8</b>	<b>17570,4</b>	<b>14994,0</b>	<b>14 149,2</b>	<b>14 768,8</b>	<b>14 841,6</b>	<b>14 127,9</b>	<b>23 917,6</b>	<b>32 450,7</b>	<b>39 117,7</b>	<b>294 382,3</b>	<b>124,5</b>

donde:

$S_u$  : Superficie habitable incluida en la envolvente térmica, m<sup>2</sup>.

$C_{ef,tot}$  Consumo de energía en el punto de consumo (energía final), kWh/m<sup>2</sup>·año.

:



**Clasificación energética del edificio: Edificio con mejora 2.**

<b>Zona climática (eq.)</b>	E1	<b>Uso</b>	Residencial privado
-----------------------------	----	------------	---------------------

**CLASIFICACIÓN ENERGÉTICA DEL EDIFICIO EN EMISIONES**

1.

INDICADOR GLOBAL	INDICADORES PARCIALES	
	<b>CALEFACCIÓN</b>	<b>Aguas calientes sanitarias</b>
	Emisiones de calefacción [kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> ·año]	Emisiones de ACS [kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> ·año]
	<b>8,26</b>	<b>9,68</b>
	<b>REFRIGERACIÓN</b>	<b>ILUMINACIÓN</b>
Emisiones globales [kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> ·año] <sup>(1)</sup>	Emisiones de refrigeración [kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> ·año]	Emisiones de iluminación [kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> ·año]
	<b>0,00</b>	-

2.

La calificación global del edificio se expresa en términos de dióxido de carbono liberado a la atmósfera como resultado de su consumo energético.

	kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> ·año	kgCO <sub>2</sub> ·año
Emisiones de CO <sub>2</sub> procedentes del consumo eléctrico	3,63	8580,79
Emisiones de CO <sub>2</sub> procedentes de otros combustibles	15,9	37586,01

**CLASIFICACIÓN ENERGÉTICA DEL EDIFICIO EN CONSUMO DE ENERGÍA PRIMARIA NO RENOVABLE**

3.

La energía primaria no renovable es la energía consumida por el edificio procedente de fuentes no renovables que no ha sido sometida a ningún proceso de conversión o transformación.

4.

INDICADOR GLOBAL	INDICADORES PARCIALES	
	<b>CALEFACCIÓN</b>	<b>Aguas sanitarias</b>
	Energía primaria para calefacción [kWh/m <sup>2</sup> ·año]	ACS Energía primaria [kWh/m <sup>2</sup> ·año]
	<b>39,02</b>	<b>42</b>
	<b>REFRIGERACIÓN</b>	<b>ILUMINACIÓN</b>
Consumo mundial de energía primaria no renovable [kWh/m <sup>2</sup> ·año] <sup>(1)</sup>	Energía primaria para refrigeración [kWh/m <sup>2</sup> ·año]	Energía primaria para iluminación [kWh/m <sup>2</sup> ·año]
	<b>0,36</b>	-

**CALIFICACIÓN PARCIAL DE LA DEMANDA DE ENERGÍA PARA CALEFACCIÓN Y REFRIGERACIÓN**

La demanda energética para calefacción y refrigeración es la energía necesaria para mantener las condiciones de confort interior del edificio.

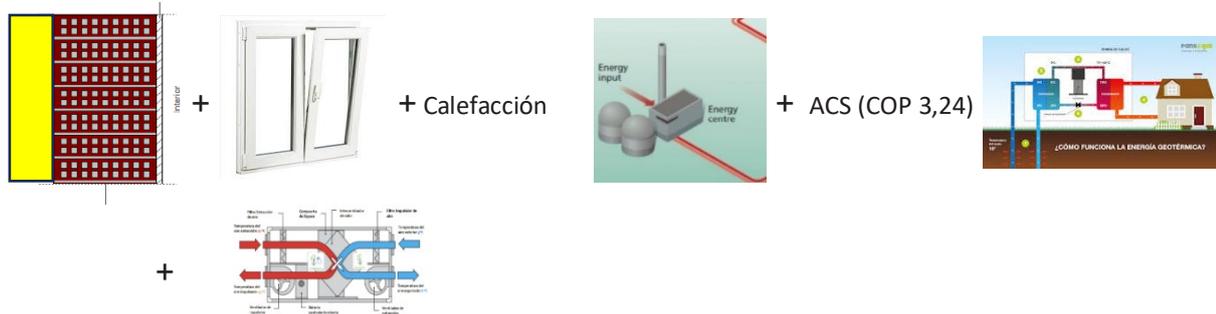
5.

DEMANDA DE CALEFACCIÓN	DEMANDA DE REFRIGERACIÓN
	<b>No cualificable</b>
Demanda de calefacción [kWh/m <sup>2</sup> ·año]	Demanda de refrigeración [kWh/m <sup>2</sup> ·año]

6.

<sup>1</sup> El indicador global es el resultado de la suma de los indicadores parciales más el valor del indicador de consumo auxiliar, si lo hay (solo edificios terciarios, ventilación, bombeo, etc.). La electricidad autoconsumida solo se deduce del indicador global, no de los valores parciales.

- **Caso 4: Mejora 3: ACS con bomba de calor geotérmica (COP 3,24) + capa aislante de 25 cm en fachadas + ventanas de triple acristalamiento de baja emisividad con gas argón U= 0,8 + sistema de ventilación mecánica con recuperación de calor.**



**Consumo energético del edificio: Mejora 3.**

**Consumo energético de los servicios técnicos del edificio**

**EDIFICIO** ( $S_u = 2363,76 \text{ m}^2$ )

Servicios técnicos	EF		EP <sub>tot</sub>		EP <sub>nren</sub>	
	(kWh/año)	(kWh/m <sup>2</sup> ·año)	(kWh/año)	(kWh/m <sup>2</sup> ·año)	(kWh/año)	(kWh/m <sup>2</sup> ·año)
Calefacción	119614,32	50,60	171037,01	72,36	92267,04	39,03
Refrigeración	434,13	0,18	1028,24	0,44	848,59	0,36
DHW	114707,05	48,53	170 904,64	72,30	80270,95	33,96
Ventilación	10956,42	4,64	25944,64	10,98	21408,58	9,06
	245 711,93	103,95	368 914,52	156,07	194 795,17	82,41

donde:

$S_u$  : Superficie habitable incluida en la envolvente térmica, m<sup>2</sup>.

EF: Energía final consumida por el servicio técnico en el punto de consumo.

EP<sub>tot</sub> Consumo total de energía primaria.

:

EP<sub>nren</sub> Consumo de energía primaria de origen no renovable.

:

**Consumo final de energía del edificio. Resultados mensuales.**

		Enero	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Año	
		(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh/año)	(kWh/m <sup>2</sup> ·año)
<b>EDIFICIO</b> ( $S_u = 2363,76 \text{ m}^2$ )															
Demanda energética	Calefacción	24283,8	24129,9	17530,4	3447,0	125,6	--	--	--	--	9395,1	18292,1	24 477,7	121681,5	51,5
	Refrigeración	--	--	--	--	--	55,4	445,0	631,9	--	--	--	--	1132,3	0,5
	DHW	9742,2	8799,4	9742,2	9428,0	9742,2	9428,0	9742,2	9742,2	9428,0	9742,2	9428,0	9742,2	114707,0	48,5
	TOTAL	34026,0	32929,3	27 12	12 874,9	9867,8	9483,4	10 187,3	10 374,2	9428,0	19 137,3	27 720,0	34 220,0	237 520,8	100,5
Red 1 (Roja 1)	Calefacción	21267,3	21100,7	15054,9	2561,9	41,6	--	--	--	--	7740,1	15874,4	21 406,9	105 047,8	44,4
	Refrigeración	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	DHW	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Electricidad	Calefacción	2788,8	2778,9	2188,5	573,2	37,8	--	--	--	--	1251,5	2139,3	2792,1	14550,1	6,2
	Refrigeración	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	DHW	3489,0	3151,4	3489,0	3376,5	3489,0	3376,5	3489,0	3489,0	3376,5	3489,0	3376,5	3489,0	41080,5	17,4
	Ventilación	1036,0	935,8	1036,0	1002,6	1036,0	697,2	720,4	720,4	697,2	1036,0	1002,6	1036,0	10 956,4	4,6
	Control de humedad	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Electricidad (Sistema de sustitución)	Iluminación	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	Calefacción	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	Refrigeración	--	--	--	--	--	21,3	170,1	242,8	--	--	--	--	434,1	0,2
	DHW	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
Medio ambiente		--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
		6253,2	5648,1	6253,2	6051,5	6253,2	6051,5	6253,2	6253,2	6051,5	6253,2	6051,5	6253,2	73626,5	31,1
	Cef,tot	34834,4	33622,4	28021,7	13565,6	10857,6	10 146,5	10 632,8	10 705,5	10 125,2	19 778,8	28 444,3	34 977,2	245 711,8	103,9

donde:

$S_u$  : Superficie habitable incluida en la envolvente térmica, m<sup>2</sup>.

C<sub>ef,tot</sub> Consumo de energía en el punto de consumo (energía final), kWh/m<sup>2</sup>·año.

:



**Clase energética del edificio: Edificio con mejora 3.**

<b>Zona climática (eq.)</b>	E1	<b>Uso</b>	Residencial privado
-----------------------------	----	------------	---------------------

**1. CLASIFICACIÓN ENERGÉTICA DEL EDIFICIO EN EMISIONES**

INDICADOR GLOBAL	INDICADORES PARCIALES	
	<b>CALEFACCIÓN</b>	<b>Aguas calientes sanitarias</b>
	Emisiones de calefacción [kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> ·año]	Emisiones de ACS [kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> ·año]
Emisiones globales [kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> ·año] <sup>(1)</sup>	8,26	5,75
	<b>REFRIGERACIÓN</b>	<b>ILUMINACIÓN</b>
2.	Emisiones de refrigeración [kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> ·año]	Emisiones de iluminación [kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> ·año]
	0,00	-

La calificación global del edificio se expresa en términos de dióxido de carbono liberado a la atmósfera como resultado de su consumo energético.

	kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> ·año	kgCO <sub>2</sub> ·año
Emisiones de CO <sub>2</sub> procedentes del consumo eléctrico	9,39	22184,00
Emisiones de CO <sub>2</sub> procedentes de otros combustibles	6,2	14710,82

**3. CLASIFICACIÓN ENERGÉTICA DEL EDIFICIO EN CONSUMO DE ENERGÍA PRIMARIA NO RENOVABLE**

4.

La energía primaria no renovable se refiere a la energía consumida por el edificio procedente de fuentes no renovables que no ha sido sometida a ningún proceso de conversión o transformación.

4.

INDICADOR GLOBAL	INDICADORES PARCIALES	
	<b>CALEFACCIÓN</b>	<b>Aguas sanitarias</b>
	Energía primaria para calefacción [kWh/m <sup>2</sup> ·año]	Energía primaria para aguas sanitarias [kWh/m <sup>2</sup> ·año]
Consumo mundial de energía primaria no renovable [kWh/m <sup>2</sup> ·año] <sup>(1)</sup>	39,03	33,96
	<b>REFRIGERACIÓN</b>	<b>ILUMINACIÓN</b>
5.	Energía primaria para refrigeración [kWh/m <sup>2</sup> ·año]	Energía primaria para iluminación [kWh/m <sup>2</sup> ·año]
	0,36	-

**CALIFICACIÓN PARCIAL DE LA DEMANDA DE ENERGÍA PARA CALEFACCIÓN Y REFRIGERACIÓN**

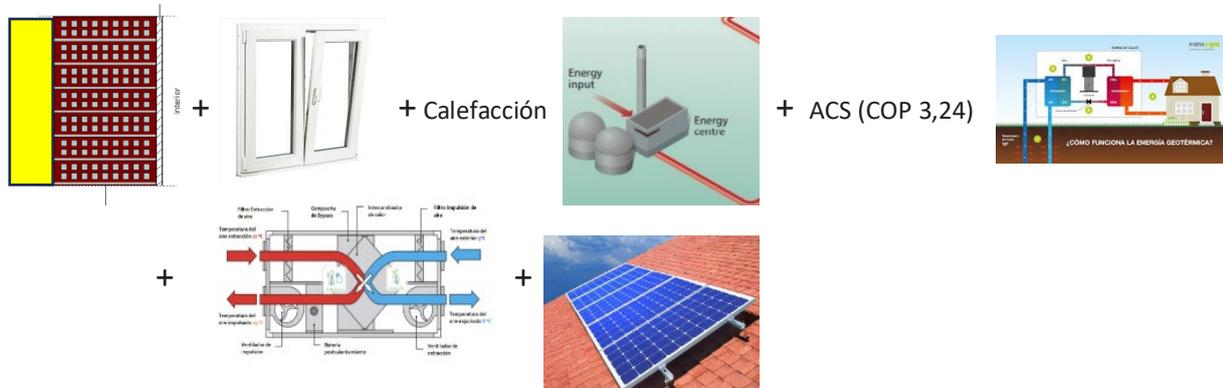
La demanda energética para calefacción y refrigeración es la energía necesaria para mantener las condiciones de confort interior del edificio.

5.

DEMANDA DE CALEFACCIÓN	DEMANDA DE REFRIGERACIÓN
	No cualificable
6. Demanda de calefacción [kWh/m <sup>2</sup> ·año]	
	Demanda de refrigeración [kWh/m <sup>2</sup> ·año]

1 El indicador global es el resultado de la suma de los indicadores parciales más el valor del indicador de consumo auxiliar, si lo hay (solo edificios terciarios, ventilación, bombeo, etc.). La electricidad autoconsumida solo se deduce del indicador global, no de los valores parciales.

- **Caso 5: Mejora 4: Paneles fotovoltaicos (150 paneles de 480 W- 3 m2 unidad) → (71250 kWh año) + ACS con bomba de calor geotérmica + 25 cm de capa aislante en fachadas + ventanas de triple acristalamiento de baja emisividad con gas argón U= 0,8 + Sistema de ventilación mecánica con recuperación de calor.**



**Consumo energético del edificio: Mejora 4.**

**Consumo energético de los servicios técnicos del edificio**

**EDIFICIO** ( $S_u = 2363,76 \text{ m}^2$ )

Servicios técnicos	EF		EP <sub>tot</sub>		EP <sub>nren</sub>	
	(kWh/año)	(kWh/m <sup>2</sup> ·año)	(kWh/año)	(kWh/m <sup>2</sup> ·año)	(kWh/año)	(kWh/m <sup>2</sup> ·año)
Calefacción	119958,96	50,75	157892,13	66,80	73054,39	30,91
Refrigeración	431,18	0,18	619,31	0,26	267,10	0,11
DHW	114707,05	48,53	132517,16	56,06	25438,79	10,76
Ventilación	10 956,42	4,64	15 704,83	6,64	6783,99	2,87
	246 053,61	104,09	306 733,43	129,77	105 544,29	44,65

donde:

$S_u$  : Superficie habitable incluida en la envolvente térmica, m<sup>2</sup>.

EF: Energía final consumida por el servicio técnico en el punto de consumo.

EP<sub>tot</sub>: Consumo total de energía primaria.

:

EP<sub>nren</sub>: Consumo de energía primaria de origen no renovable.

:

**Consumo energético final del edificio. Resultados mensuales.**

EDIFICIO ( $S_u = 2363,76 \text{ m}^2$ )	Año												(kWh/año)	(kWh/m <sup>2</sup> ·año)	
	Enero (kWh)	Feb (kWh)	Mar (kWh)	Abr (kWh)	May (kWh)	Jun (kWh)	Jul (kWh)	Ago (kWh)	Sep (kWh)	Oct (kWh)	Nov (kWh)	Dic (kWh)			
Demanda energética	Calefacción	24351,2	24196,6	17591,8	3481,9	129,0	--	--	--	9437,9	18348,5	24543,5	122 080,3	51,6	
	Refrigeración	--	--	--	--	--	54,3	441,6	628,4	--	--	--	1124,3	0,5	
	DHW	9742,2	8799,4	9742,2	9428,0	9742,2	9428,0	9742,2	9428,0	9742,2	9428,0	9742,2	114707,0	48,5	
	TOTAL	34093,4	32 996,1	27334,0	12 909,9	9871,2	9482,2	10 183,9	10 370,6	9428,0	19180,1	27 776,4	34 285,7	237 911,5	100,6
Red 1 (Roja 1)	Calefacción	21279,0	21160,5	15109,8	2591,7	43,4	--	--	--	7777,7	15 924,7	21 466,0	105 352,8	44,6	
	Refrigeración	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
	DHW	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
Electricidad	Calefacción	2790,0	2786,0	2195,1	577,9	39,6	--	--	--	1256,3	2145,5	2799,4	14589,8	6,2	
	Refrigeración	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
	DHW	3489,0	3151,4	3489,0	3376,5	3489,0	3376,5	3489,0	3489,0	3376,5	3489,0	3376,5	3489,0	41080,5	17,4
	Ventilación	1036,0	935,8	1036,0	1002,6	1036,0	697,2	720,4	720,4	697,2	1036,0	1002,6	1036,0	10 956,4	4,6
Electricidad (Sistema de sustitución)	Control de humedad	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
	Iluminación	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
	Calefacción	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
Medio ambiente	Refrigeración	--	--	--	--	--	20,9	168,8	241,5	--	--	--	431,2	0,2	
	DHW	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
		6253,2	5648,1	6253,2	6051,5	6253,2	6051,5	6253,2	6051,5	6253,2	6051,5	6253,2	73626,5	31,1	
	C <sub>ef</sub> total	34847,3	33689,2	28083,2	13600,1	10861,3	10 146,0	10 631,5	10 704,2	10125,2	19821,1	28 500,7	35043,7	246 053,5	104,1



donde:

$S_u$  : Superficie habitable incluida en la envolvente térmica,  $m^2$ .

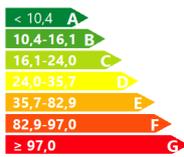
$C_{ef,total}$  Consumo de energía en el punto de consumo (energía final),  $kWh/m^2 \cdot año$ .

:

### Clase energética del edificio: Edificio con mejora 4.

Zona climática (eq.)	E1	Uso	Residencial privado
----------------------	----	-----	---------------------

#### 1. CLASIFICACIÓN ENERGÉTICA DEL EDIFICIO EN EMISIONES

INDICADOR GLOBAL	INDICADORES PARCIALES		
 9,22 A	<b>CALEFACCIÓN</b>		<b>Aguas calientes sanitarias</b>
	Emisiones de calefacción [ $kgCO_2 / m^2 \cdot año$ ]	A	Emisiones de ACS [ $kgCO_2 / m^2 \cdot año$ ]
	<b>6,89</b>		<b>1,82</b>
	<b>REFRIGERACIÓN</b>		<b>ILUMINACIÓN</b>
Emisiones globales [ $kgCO_2 / m^2 \cdot año$ ] <sup>(1)</sup>	Emisiones de refrigeración [ $kgCO_2 / m^2 \cdot año$ ]	A	Emisiones de iluminación [ $kgCO_2 / m^2 \cdot año$ ]
	<b>0,00</b>		-

La calificación global del edificio se expresa en términos de dióxido de carbono liberado a la atmósfera como resultado de su consumo energético.

	$kgCO_2 / m^2 \cdot año$	$kgCO_2 \cdot año$
Emisiones de CO2 procedentes del consumo eléctrico	2,98	7034,16
Emisiones de CO2 procedentes de otros combustibles	6,2	14753,51

#### 3. CLASIFICACIÓN ENERGÉTICA DEL EDIFICIO EN CONSUMO DE ENERGÍA PRIMARIA NO RENOVABLE

La energía primaria no renovable es la energía consumida por el edificio procedente de fuentes no renovables que no ha sido sometida a ningún proceso de conversión o transformación.

4.

INDICADOR GLOBAL	INDICADORES PARCIALES		
 44,65 A	<b>CALEFACCIÓN</b>		<b>Aguas sanitarias</b>
	Energía primaria para calefacción [ $kWh/m^2 \cdot año$ ]	A	ACS Energía primaria [ $kWh/m^2 \cdot año$ ]
	<b>30,91</b>		<b>10,76</b>
	<b>REFRIGERACIÓN</b>		<b>ILUMINACIÓN</b>
Consumo mundial de energía primaria no renovable [ $kWh/m^2 \cdot año$ ] <sup>(1)</sup>	Energía primaria para refrigeración [ $kWh/m^2 \cdot año$ ]	A	Energía primaria para iluminación [ $kWh/m^2 \cdot año$ ]
	<b>0,11</b>		-

#### CALIFICACIÓN PARCIAL DE LA DEMANDA DE ENERGÍA PARA CALEFACCIÓN Y REFRIGERACIÓN

La demanda energética para calefacción y refrigeración es la energía necesaria para mantener las condiciones de confort interior del edificio.

5.

DEMANDA DE CALEFACCIÓN	DEMANDA DE REFRIGERACIÓN
	No cualificable
6. Demanda de calefacción [kWh/m <sup>2</sup> ·año]	Demanda de refrigeración [kWh/m <sup>2</sup> ·año]

1 El indicador global es el resultado de la suma de los indicadores parciales más el valor del indicador de consumo auxiliar, si lo hubiera (solo edificios terciarios, ventilación, bombeo, etc.). La electricidad autoconsumida solo se deduce del indicador global, no de los valores parciales.

### 3.10. Análisis de los resultados. Emisiones, consumo energético y calificación energética de los casos

#### Comparación de resultados

##### Consumo energético final (kWh/m<sup>2</sup>·año)

Servicios técnicos	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4	Caso 5
	Situación inicial	Imp 1	Imp 1+Imp 2	Imp 1+Imp 2+ Imp 3	Imp 1+Imp 2+ Imp 3+ Imp 4
Calefacción	123,86	84,96	50,59	50,60	50,75
Refrigeración	0,01	0,11	0,18	0,18	0,18
DHW	69,13	69,13	69,13	48,53	48,53
Ventilación	--	--	4,64	4,64	4,64
	193,00	154,19	124,54	103,95	104,09

#### Leyenda

BIS: situación inicial del edificio

Imp 1 - Mejora 1: Mejora del cerramiento térmico + ventanas con triple acristalamiento

Imp 2 - Mejora 2: Ventilación mecánica con recuperación de calor

Imp 3 - Mejora 3: Bomba de calor geotérmica para agua caliente sanitaria

Imp 4 - Mejora 4: Paneles fotovoltaicos

##### Consumo total de energía primaria (kWh/m<sup>2</sup>·año)

Servicios técnicos	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4	Caso 5
	Situación inicial	Imp 1	Imp 1+Imp 2	Imp 1+Imp 2+ Imp 3	Imp 1+Imp 2+ Imp 3+ Imp 4
Calefacción	177,17	121,45	72,33	72,36	66,80
Refrigeración	0,03	0,26	0,44	0,44	0,26
DHW	89,87	89,87	89,87	72,30	56,06
Ventilación			10,98	10,98	6,64
	267,07	211,57	173,61	156,07	129,77

##### Consumo de energía primaria de origen no renovable (kWh/m<sup>2</sup>·año)

Servicios técnicos	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4	Caso 5
	Situación inicial	Imp 1	Imp 1+Imp 2	Imp 1+Imp 2+ Imp 3	Imp 1+Imp 2+ Imp 3+ Imp 4
Calefacción	95,61	65,49	39,02	39,03	30,91
Refrigeración	0,02	0,21	0,36	0,36	0,11
DHW	42,00	42,00	42,00	33,96	10,76
Ventilación			9,06	9,06	2,87
	137,63	107,69	90,43	82,41	44,65
<b>Clasificación energética</b>	<b>D</b>	<b>D</b>	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>A</b>


**Emisiones de los edificios (kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>·año)**

<b>Servicios técnicos</b>	<b>Caso 1 Situación inicial</b>	<b>Caso 2 Imp 1</b>	<b>Caso 3 Imp 1+Imp 2</b>	<b>Caso 4 Imp 1+Imp 2+ Imp 3</b>	<b>Caso 5 Imp 1+Imp 2+ Imp 3+ Imp 4</b>
CO <sub>2</sub> procedente de la electricidad	5,0	3,45	3,63	9,39	2,98
CO <sub>2</sub> procedente de otros combustibles	24,90	20,13	15,90	6,22	6,2
	29,91	23,58	19,53	15,61	9,22
<b>Clase energética</b>	<b>D</b>	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>B</b>	<b>A</b>

**Legenda**

BIS - Situación inicial del edificio

Imp 1 - Mejora 1: Mejora de la envolvente térmica + ventanas con triple acristalamiento

Imp 2 - Mejora 2: Ventilación mecánica con recuperación de calor

Imp 3 - Mejora 3: Bomba de calor geotérmica para agua caliente sanitaria

Imp 4 - Mejora 4: Paneles fotovoltaicos

## Proyecto Erasmus+ ID: 2023-1-ES01-KA220-HED-000156652

Este proyecto Erasmus+ ha sido financiado con el apoyo de la Comisión Europea. Esta publicación refleja únicamente las opiniones de los autores, y la Comisión Europea y las agencias nacionales Erasmus+ no se hacen responsables del uso que pueda hacerse de la información contenida en ella.

## Caso de estudio lituano

### Parte III: Estudio de coste-beneficio de las medidas de eficiencia energética

#### 3.11. Presupuesto de las alternativas de mejora

##### Mejora 1: Mejora de la envolvente térmica + ventanas con triple acristalamiento

Descripción del precio del sistema de aislamiento de las fachadas del edificio para el exterior:

Elemento	Coste (€ / m <sup>2</sup> )
Aislamiento de lana de roca (25 cm)	25
Adhesivo, anclajes, malla, perfiles	8
Acabado de yeso (multicapa)	6
Mano de obra (instalación)	15
Andamios y seguridad (edificio de 5 plantas)	4
<b>Coste total estimado (instalación)</b>	<b>58 € por m<sup>2</sup></b>

Descripción de las nuevas ventanas que se instalarán en el edificio.

- Acristalamiento: triple acristalamiento (3 paneles)
- Revestimiento: Baja emisividad (Low-E) en al menos un panel
- Relleno de gas: gas argón entre los paneles (para aislamiento térmico)
- Marco: PVC con rotura de puente térmico
- Instalación: Reacondicionamiento en abertura de pared existente (incluye sellado, molduras y eliminación de ventana antigua)

Presupuesto de la mejora 1:

##### Mejora 1: Aislamiento térmico de la envolvente y ventanas nuevas

Unidad	Descripción	n.	medida	Precio €	cantidad €
m <sup>2</sup>	Capa aislante de lana mineral de 25 cm en fachadas con acabado en yeso instalada.	1	900,8	58,00	52.246,40
m	Ventanas de PVC de triple acristalamiento con gas argón y baja emisividad (U= 0,8 W/m <sup>2</sup> ·K)	1	407,57	420,00	171.179,40
				Total	<b>223.425,80</b>

##### - Mejora 2: Ventilación mecánica con recuperación de calor

Especificaciones técnicas del sistema de ventilación:

Elemento	Descripción
Capacidad total de ventilación requerida	1,47 m <sup>3</sup> /s (5292 m <sup>3</sup> /h)
El sistema incluye	2 ventiladores, unidad de recuperación de calor del 70 %, conductos completos, aislamiento, controles
Tipo de edificio	Edificio residencial existente de 5 plantas, 600 m <sup>2</sup> /planta



Coste total estimado (Lituania)	42 500,00
Ahorro energético	~50-60 % de ahorro en energía de calefacción en comparación con un sistema de extracción simple

### Mejora 2: Sistema de ventilación mecánica con recuperación de calor

Componente	Descripción	Coste estimado (€)
2 ventiladores (1,47 m <sup>3</sup> /s en total, 750 W/(m <sup>3</sup> /s))	Ventiladores EC de alta eficiencia, velocidad variable	4.000,00
Unidad de recuperación de calor (≥70 % de eficiencia)	Placa sensible o intercambiador rotativo	6.000,00
Conductos y difusores de aire (aprox. 300 m)	Conductos de acero galvanizado, compuertas, rejillas Térmico + acústico (obligatorio para sistemas HRV)	14.000,00
Aislamiento para conductos		3.000,00
Sistema de control + sensores (CO <sub>2</sub> , temperatura, etc.)	Automatización inteligente, control de demanda	3.000,00
Instalación (complejidad de la remodelación)	Corte, trazado en el techo, mano de obra intensiva	10.000,00
Proyecto de ingeniería y permisos	Diseño, equilibrado, cumplimiento normativo	2.500,00
<b>COSTE TOTAL ESTIMADO</b>	<b>Sistema de ventilación mecánica llave en mano</b>	<b>42.500,00</b>

### Mejora 3: Bomba de calor geotérmica para ACS

#### Mejora 3: Bomba de calor geotérmica + depósitos de agua caliente + perforaciones + distribución interna

Componente	Descripción	Estimado (€)
Bomba de calor geotérmica (20 kW)	Unidad de alta eficiencia para ACS	14.000,00
Depósitos de almacenamiento de agua caliente (3000 litros)	Almacenamiento para picos de demanda	6.000,00
Perforaciones verticales (4 × 100 m)	Perforación, tuberías, anticongelante, conexión	20.000,00
Sistema hidráulico (bombas, válvulas, controladores)	Incluye depósitos de expansión, válvulas, sensores	5.000,00
Tuberías internas de agua caliente sanitaria (edificio de 5 plantas)	Tuberías aisladas, red de distribución	10.000,00
Instalación y puesta en marcha	Mano de obra, aislamiento, pruebas	10.000,00
Proyecto de ingeniería y permisos	Diseño, documentación, homologaciones locales	3.000,00
<b>COSTE TOTAL ESTIMADO</b>	<b>Sistema completo llave en mano</b>	<b>68.000,00</b>

### Mejora 4: Paneles fotovoltaicos

Especificaciones técnicas del sistema de paneles fotovoltaicos:

Ubicación: Lituania

Edificio: estructura existente de 5 plantas

Especificaciones del sistema:

- Número de paneles: 150
- Capacidad de los paneles: 480 W cada uno
- Capacidad total: 72 kWp
- Producción anual estimada: 71 250 kWh

#### Mejora 4: Paneles fotovoltaicos

Componente	Coste estimado
Capacidad total del sistema	72 kWp



#### Mejora 4: Paneles fotovoltaicos

Componente	Coste estimado
Coste por kWp	850
<b>Coste total de la instalación</b>	<b>61 200</b>

### 3.12. Estudio de coste-beneficio de las medidas de eficiencia energética

Un análisis coste-beneficio (ACB) en el contexto de la renovación energética de edificios es una evaluación estructurada que se utiliza para determinar si la inversión en la mejora del rendimiento energético de un edificio está justificada desde el punto de vista económico. Compara todos los costes previstos de la renovación con los beneficios financieros y no financieros que generará a lo largo del ciclo de vida del edificio.

En este caso práctico, se ha utilizado el software *CypeTherm Impromevent plus* para realizar este análisis. En este estudio se han utilizado dos métodos para llevar a cabo este análisis:

- Periodo de amortización simple (SPP)
- Valor actual neto (VAN)

**Método 1:** El **periodo de amortización simple** es uno de los métodos más sencillos para evaluar el rendimiento financiero de una inversión en eficiencia energética, como la renovación energética de un edificio.

El periodo de recuperación simple (SPP) es el tiempo (normalmente expresado en años) que tarda el ahorro energético acumulado generado por una inversión en igualar el coste inicial de dicha inversión.

$$SPP = \frac{\text{Initial Investment Cost}}{\text{Annual Energy Savings}}$$

**Método 2:** El método **del valor actual neto** es una de las herramientas financieras más utilizadas y sólidas para evaluar la rentabilidad de una inversión a lo largo del tiempo. En el contexto de la renovación energética de edificios, el VAN ayuda a determinar si el ahorro energético a largo plazo y otros beneficios compensan los costes iniciales de la rehabilitación.

El VAN es la suma de todos los flujos de caja futuros (como el ahorro energético, el ahorro en mantenimiento o las subvenciones), descontados a su valor actual, menos el coste de la inversión inicial.

Tiene en cuenta el valor temporal del dinero, reconociendo que el dinero recibido (o ahorrado) en el futuro vale menos que el dinero actual.

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{B_t - C_t}{(1+r)^t} - I$$

Donde:

- $B_t$  = Beneficios (por ejemplo, ahorro energético) en el año  $t$
- $C_t$  = Costes operativos o de mantenimiento en el año  $t$
- $r$  = Tasa de descuento (tasa de interés o coste del capital)
- $t$  = Año (1 a  $n$ )
- $I$  = Coste de la inversión inicial
- $n$  = Periodo de análisis (en años)

Si  $NPV > 0 \rightarrow$  La inversión es rentable

Si  $VAN = 0 \rightarrow$  La inversión alcanza el punto de equilibrio



Si NPV < 0 → La inversión no es viable desde el punto de vista financiero

Coste energético considerado:

Energy cost		
Energy vector		
Electrical grid energy	0.30	EUR/kWh
Natural gas	0.11	EUR/kWh
Diesel	0.10	EUR/kWh
LPG	0.15	EUR/kWh
Carbon	0.05	EUR/kWh
Solid biomass	0.11	EUR/kWh
Biomass	0.11	EUR/kWh
Thermal solar energy	0.00	EUR/kWh
Electrical energy produced by photovoltaic panels, small wind turbines and small hydro turbines	0.00	EUR/kWh

Parámetros para el método del valor actual neto:

Net Present Value	
<input checked="" type="checkbox"/> NCV calculation method	
The program uses the static analysis method to calculate the investment recovery period. By activating this option, the dynamic analysis will be included in the calculation process.	
Annual energy cost increase	3.00 %
<input checked="" type="checkbox"/> Discount fee	4.50 %
Foreseen inflation	1.20 %
Nominal interest type	0.00 %
Analysis period	22 Years

Resumen de los resultados del estudio de coste-beneficio de las medidas de eficiencia energética:

	Coste neto de la inversión (EUR)	Coste energético anual (EUR)	Ahorro neto anual (EUR)	Amortización (años)	NCV (años)	Consumo anual de energía primaria no renovable (kWh/m <sup>2</sup> )	Emisiones (kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )
Situación inicial	0,0	56977,73	0	0,00	0,00	137,63	29,90
Caso 2: Imp 1 Envoltura térmica	223425,80	44773,87	12203,86	18,31	20,17	107,70	23,58
Caso 3: Imp 2 Ventilación mecánica HR + caso 2	265925,80	37311,48	19666,25	13,52	14,7	90,43	19,53
Caso 4: Imp 3 Bomba de calor geotérmica para ACS + caso 3	360385,80	31668,47	25309,25	14,24	15,54	82,42	15,60
Caso 5: Imp 4 Panel fotovoltaico + caja 4	395125,80	17973,56	39004,17	10,13	10,86	44,65	9,22

En la tabla anterior, la columna NCV responde a la siguiente pregunta: ¿Cuántos años se tardará en recuperar la inversión, teniendo en cuenta el valor temporal del dinero?



	Coste neto de la inversión				Ahorro neto anual				Período de recuperación de la inversión (años)
	Coste (EUR)	Subvenciones (EUR)	Coste neto resultante (EUR)	Diferencia (EUR)	Coste energético (EUR/año)	Ahorro energético (EUR/año)	Mantenimiento (EUR/año)	Ahorro neto (EUR/año)	
Situación inicial	0	0,00	0,00	0,00	56977,73	0,00	0,00	0,00	0,00
Caso 2: Imp 1 Envolvente térmica	223425,80	0,00	223425,80	223425,80	44773,87	12 203,86	0,00	12 203,86	18,31
Caso 3: Imp 2 Ventilación mecánica HR + caso 2	265925,80	0,00	265925,80	265925,80	37311,48	19666,25	0,00	19666,25	13,52
Caso 4: Imp 3 Bomba de calor geotérmica para ACS + caso 3	360385,80	0,00	360385,80	360385,80	31668,47	25 309,25	0,00	25309,25	14,24
Caso 5: Imp 4 Panel fotovoltaico + caja 4	395125,80	0,00	395125,80	395125,80	17973,56	39004,17	0,00	39004,17	10,13

#### 4. Conclusiones

De este estudio se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- **Evaluación integral del edificio completada.** El estudio de caso evaluó exhaustivamente el rendimiento energético actual de un edificio de dormitorios de varias plantas en Lituania, utilizando tecnologías BIM, e identificó las principales ineficiencias en el aislamiento de la envolvente, el rendimiento de las ventanas, los sistemas de agua caliente sanitaria y la ventilación. El edificio se caracterizaba por un alto consumo energético y un confort térmico deficiente, especialmente durante la temporada de calefacción.
- **Medidas de eficiencia energética identificadas y modelizadas.** Se propusieron y simularon una amplia gama de medidas de renovación energética, entre las que se incluyen:
  - Aislamiento de paredes exteriores. (El techo ya se aisló en 2014)
  - Sustitución de ventanas.
  - Modernización del sistema de agua caliente sanitaria (mediante un sistema de bomba de calor geotérmica).
  - Ventilación mecánica con recuperación de calor.
  - Integración de paneles fotovoltaicos (PV) en el tejado.
- **Potencial sustancial de ahorro de energía y CO<sub>2</sub>.** El análisis mostró que la implementación de una combinación de medidas pasivas y activas podría reducir el consumo de energía primaria no renovable en más del 67 % y las emisiones de CO<sub>2</sub> en más del 70 %. Estos ahorros son especialmente significativos dado el clima frío de Lituania y la larga temporada de calefacción.



- **Los resultados de la relación coste-beneficio varían según la medida.** La evaluación financiera reveló que:
  - Las estrategias de renovación profunda (aislamiento, sustitución de ventanas) requieren una mayor inversión, pero ofrecen beneficios a largo plazo.
  - La modernización del sistema de agua caliente sanitaria y la nueva ventilación mecánica reducen las pérdidas de energía debidas a los antiguos sistemas existentes.
  - Los paneles fotovoltaicos contribuyen de manera significativa a los objetivos de descarbonización.
  - Si se aplican todas las medidas consideradas en el estudio, el periodo de amortización se reduce considerablemente (10 años), ya que se consigue un mayor ahorro energético.
- **La combinación de medidas ofrece los mejores resultados.** El resultado más equilibrado y sostenible se consigue combinando mejoras pasivas (aislamiento, hermeticidad) con sistemas activos ( e moderno del sistema de agua caliente sanitaria y sistema de ventilación, paneles fotovoltaicos). Esta sinergia maximiza el ahorro energético manteniendo el confort interior y aumenta el valor global del edificio.
- **Viabilidad técnica y económica confirmada.** A pesar de las barreras iniciales de inversión, el estudio confirma que la renovación energética es técnicamente viable y económicamente beneficiosa para la residencia. Utilizando métricas como el VAN y el SPP, todas las medidas muestran un rendimiento económico aceptable, especialmente si se aplican al mismo tiempo.
- **Apoya los objetivos nacionales y de la UE en materia de renovación.** El caso se ajusta al Pacto Verde Europeo y a la estrategia «Ola de Renovación» de la UE, contribuyendo a los objetivos de neutralidad en carbono, eficiencia energética y entornos interiores más saludables en los edificios públicos y residenciales.