

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        |
|                |                                                                                                        |    |        | <b>Total</b> | <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 m³/s en total, 750 W/(m³/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   | 14.000,00          |
| Aislamiento para conductos                                          | Térmico + acústico (obligatorio para sistemas HRV)     | 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  $NPV < 0 \rightarrow$  La inversión no es viable desde el punto de vista financiero

Coste energético considerado:

| 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:

|                                                                                                                                                                                       |          |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| <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/m²) | Emisiones (kg CO <sub>2</sub> /m²) |
|-----------------------------------------------------------|----------------------------------|------------------------------|-------------------------|---------------------|------------|---------------------------------------------------------|------------------------------------|
| 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:<br>Imp 1<br>Envolverte térmica                          | 223425,80                  | 0,00               | 223425,80                   | 223425,80        | 44773,87                   | 12 203,86                   | 0,00                    | 12 203,86             | 18,31                                          |
| Caso 3:<br>Imp 2<br>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:<br>Imp 3<br>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:<br>Imp 4<br>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 simulaban 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.