



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 rumano

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

1. Presupuesto de las alternativas de mejora

Mejora 1: Mejora de la envolvente (aislamiento de las paredes exteriores con 15 cm de lana mineral, del piso superior con 30 cm de lana mineral y de los forjados con 10 cm de poliestireno extruido, ventanas de triple acristalamiento ($U=0,8 \text{ W/m}^2 \text{ K}$), bomba de calor aire-agua, ventilación mecánica, calefacción por suelo radiante

- Descripción del precio

Partida	Coste (€ / m ²)
Aislamiento de poliestireno extruido de 10 cm	12,4
Aislamiento de lana mineral de 30 cm	7,5
Aislamiento de lana mineral de 15 cm para paredes	20,4
Ventanas de triple acristalamiento	290
Coste total estimado (instalación incluida)	330 €/m²

Presupuesto de mejora 1:

Unidad	Descripción	n.	medida	Precio €	cantidad €
m ²	Aislamiento de poliestireno extruido de 10 cm para los suelos de losas.	1	407	12.4	5050
m	30 cm de lana mineral para el piso superior	1	460	7.5	3450
m	15 cm de lana mineral para aislar las paredes exteriores	1	260	20.4	5300
m	Ventanas de PVC con triple acristalamiento ($U=0,8 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$)	1	63	290	18400
m	Puertas de aluminio	1	12	350	4200
	Bomba de calor aire-agua 23 kW	1	1	11000	11000



Caldera 100 l	1	1	300	300
Sistema de calefacción completo (sistema de suelo radiante)	1	1	28000	28000
Sistema de ventilación (3 unidades de ventilación)	1	3	3200	9600
			Total	85300 €

Mejora 2: Mejora de la envolvente (aislamiento de las paredes exteriores con 10 cm de lana mineral, la planta superior con 20 cm de lana mineral y aislamiento de los forjados con 8 cm de poliestireno extruido, ventanas de triple acristalamiento), bomba de calor aire-agua, ventilación mecánica, calefacción por suelo radiante

- Descripción del precio

Partida	Coste (€ / m ²)
Aislamiento de poliestireno extruido de 8 cm	9,92
Aislamiento de lana mineral de 20 cm	5
Aislamiento de lana mineral de 10 cm para paredes	€13
Ventanas con triple acristalamiento	290
Coste total estimado (instalado)	319 €/ m²

Presupuesto de mejora 1:

Unidad	Descripción	n.	medida	Precio €	cantidad €
m ²	Aislamiento de poliestireno extruido de 8 cm para los suelos de losas.	1	407	9,92	4040
m	20 cm de lana mineral para el piso superior	1	460	5	2300
m	10 cm de lana mineral para aislar las paredes exteriores	1	260	13.5	3550
m	Ventanas de PVC con triple acristalamiento (U= 0,8 W/m ² ·K)	1	63	290	18400
m	Puertas de aluminio	1	12	350	4200
	Bomba de calor aire-agua 23 kW	1	1	11000	11000
	Caldera 100 l	1	1	300	300
	Sistema de calefacción completo (sistema de suelo radiante)	1	1	28000	28000



Sistema de ventilación (3 unidades de ventilación)	1	3	3200	9600
			Total	81390 €

Mejora 3: Mejora de la envolvente (aislamiento de las paredes exteriores con 15 cm de lana mineral, la planta superior con 30 cm de lana mineral y aislamiento de los forjados con 10 cm de poliestireno extruido, ventanas de triple acristalamiento ($U=0,8 \text{ W/m}^2 \text{ K}$), bomba de calor agua-agua, ventilación mecánica, calefacción por suelo radiante)

- Descripción del precio

Partida	Coste (€ / m ²)
Aislamiento de poliestireno extruido de 10 cm	12,4
Aislamiento de lana mineral de 30 cm	7,5
Aislamiento de lana mineral de 15 cm para paredes	20,4
Ventanas de triple acristalamiento	290
Coste total estimado (instalación incluida)	330 €/m²

Presupuesto de mejora 1:

Unidad	Descripción	n.	medida	Precio €	cantidad €
m2	Aislamiento de poliestireno extruido de 10 cm para los suelos de losas.	1	407	12.4 €	5050 €
m	30 cm de lana mineral para el piso superior	1	460	7.5	3450
m	15 cm de lana mineral para aislar las paredes exteriores	1	260	20.4	5300
m2	Ventanas de PVC con triple acristalamiento ($U=0,8 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$)	1	63	290	18400
m	Puertas de aluminio	1	12	350	4200
	Bomba de calor agua-agua 24 kW	1	1	13900	13900
	Caldera 100 l	1	1	300	300
	Sistema de calefacción completo (sistema de suelo radiante)	1	1	28000	28000
	Sistema de ventilación (3 unidades de ventilación)	1	3	3200	9600
				Total	88200 €



Mejora 4: Mejora de la envolvente (aislamiento de las paredes exteriores con 10 cm de lana mineral, el piso superior con 20 cm de lana mineral y aislamiento de los forjados con 8 cm de poliestireno extruido, ventanas de triple acristalamiento), bomba de calor agua-agua, ventilación mecánica, calefacción por suelo radiante

- Descripción del precio

Partida	Coste (€ / m ²)
Aislamiento de poliestireno extruido de 8 cm	9,92
Aislamiento de lana mineral de 20 cm	5
Aislamiento de lana mineral de 10 cm	13,5
Ventanas de triple acristalamiento	290
Coste total estimado (instalación incluida)	319 €/m²

Presupuesto para la mejora 1:

Unidad	Descripción	n.	medida	Precio €	cantidad €
m2	Aislamiento de poliestireno extruido de 8 cm para los suelos de losas.	1	407	9,92	4040
m	20 cm de lana mineral para el piso superior	1	460	5	2300
m	10 cm de lana mineral para aislar las paredes exteriores	1	260	13.5	3550
m	Ventanas de PVC con triple acristalamiento (U= 0,8 W/m ² ·K)	1	63	290	18400
m	Puertas de aluminio	1	12	350	4200
	Bomba de calor agua-agua 24 kW	1	1	13900	13900
	Caldera 100 l	1	1	300	300
	Sistema de calefacción completo (sistema de suelo radiante)	1	1	28000	28000
	Sistema de ventilación (3 unidades de ventilación)	1	3	3200	9600
				Total	84290 €



2. Estudio de coste-beneficio de 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 (PAS)
- Valor actual neto (VAN)

Método 1: El **periodo de recuperación 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 (tipo 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 $VAN < 0 \rightarrow$ La inversión no es viable financieramente

Coste energético considerado:



Energy cost		
Energy vector		
Electrical network energy	0.26	EUR/kWh
Natural gas	0.06	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	<input type="text" value="3.00"/> %
<input checked="" type="checkbox"/> Discount fee	<input type="text" value="4.50"/> %
Foreseen inflation	<input type="text" value="1.20"/> %
Nominal interest type	<input type="text" value="0.00"/> %
Analysis period	<input type="text" value="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 ²)	Emisiones (kg CO ₂ /m ²)
Caso 0 (situación inicial)	0	16504,43	0	0	0	187,96	34,70
Caso 1	85300,00	9757,83	6746,60	12,64	13,72	264,23	55,38
Caso 2	81390,00	9694,97	6809,46	11,95	12,93	261,92	54,76
Caja 3	88 200,00	9392,78	7111,64	12,40	13,44	250,75	51,82
Caso 4	84290,00	9694,97	6809,46	12,38	13,42	261,92	54,76

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)	
Caso 0 (situación inicial)	0	0	0	0	16504,43	0,00	0,00	0,00	0,00
Caso 1	85300,00	0,00	85300,00	85300,00	9757,83	6746,60	0,00	6746,60	12,64
Caso 2	81390,00	0,00	81390,00	81390,00	9694,97	6809,46	0,00	6809,46	11,95
Caso 3	88200,00	0,00	88200,00	88200,00	9392,78	7111,64	0,00	7111,64	12,40
Caso 4	84290,00	0,00	84290,00	84290,00	9694,97	6809,46	0,00	6809,46	12,38

3. 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 educativo en Rumanía, utilizando tecnologías BIM, e identificó las principales ineficiencias en el aislamiento de la envolvente, el rendimiento de las ventanas, los sistemas de calefacción 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, tejados y forjados.
 - Sustitución de ventanas por otras de triple acristalamiento.
 - Modernización del sistema de calefacción (mediante un sistema de bomba de calor de aire o agua y un sistema de calefacción por suelo radiante).
 - Ventilación mecánica con recuperación de calor.
- **Potencial de ahorro energético sustancial.** El análisis demostró que la implementación de una combinación de medidas pasivas y activas podría reducir el consumo de energía primaria para calefacción en un 70 %. Estos ahorros son especialmente significativos dado el clima frío de Rumanía 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 calefacción y la nueva ventilación mecánica reducen el consumo de energía.
 - Si se aplican todas las medidas consideradas en el estudio, el periodo de amortización se reduce considerablemente (12 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 (sistema de calefacción moderno y sistema de ventilación). 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 el edificio. Utilizando métricas como el VAN y el SPP, todas las medidas muestran un rendimiento económico aceptable, especialmente si se implementan 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.