

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 I: Caso de estudio rumano: enfoque y análisis de la situación inicial del edificio

1. Enfoque del caso de estudio

El caso de estudio rumano se centra en un edificio educativo. Implica el análisis de la demanda y el consumo de energía, así como la propuesta de alternativas para mejorar la eficiencia energética del edificio.

2. Descripción del edificio educativo

2.1. Introducción

El estudio de caso rumano es una escuela de primaria y secundaria, construida en 1962 y situada en el pueblo de Petrindu/Cuzăplac, en el condado de Sălaj, Rumanía (véanse las figuras 1 y 2).

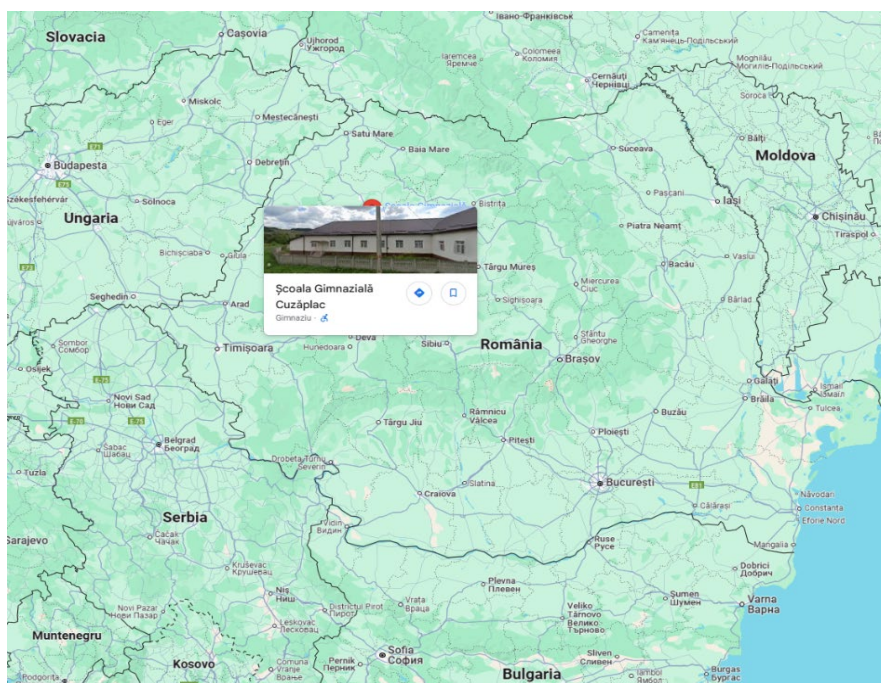


Figura 1. Escuela de Rumanía: ubicación en el mapa



Figura 2. Escuela de Rumanía: fotografías

2.2. Planos del edificio

La superficie total del terreno es de 3861 m² (véase la fig. 3).

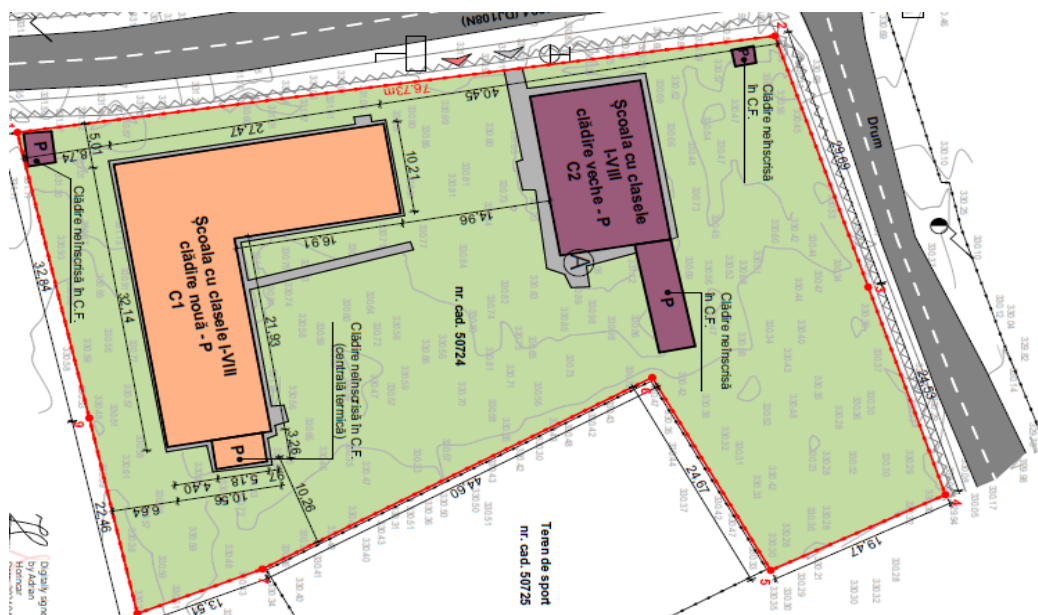
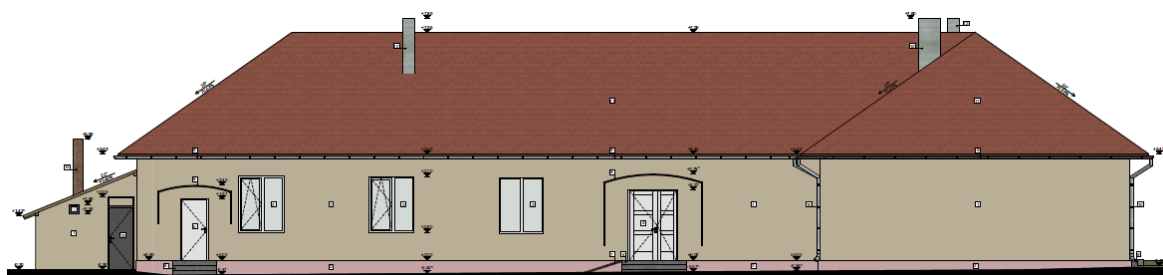


Figura 3. Escuela de Rumanía: plano de situación

El edificio (C1) tiene una planta baja y una superficie construida total de 512 metros cuadrados, con una superficie útil total de 413,8 metros cuadrados (véase la fig. 4).



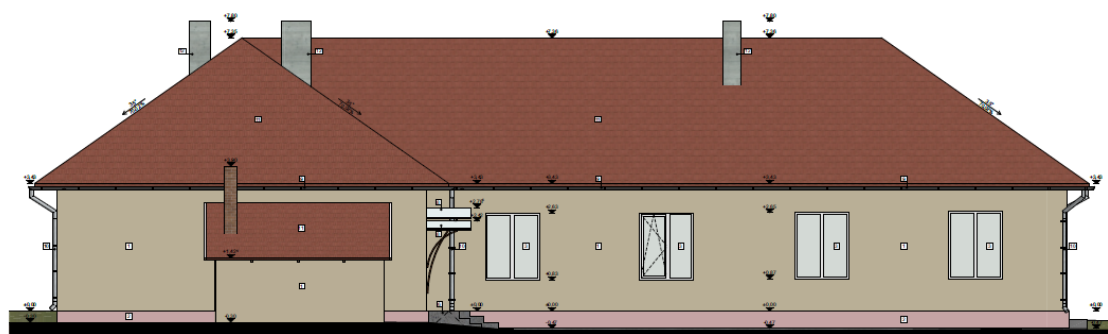
Norte



Oeste



Sur



Este

Figura 4. Escuela de Rumanía: fachadas

El edificio consta de tres aulas, una sala de preescolar, dos pasillos, un almacén de material didáctico, una oficina, tres trasteros, un aseo y una sala técnica (véase la figura 5).

El suministro de agua fría proviene de la red local. El edificio se calienta mediante una planta térmica de combustible sólido y una caldera, conectadas a radiadores de acero. El sistema de iluminación está



compuesto principalmente por tubos fluorescentes de neón. El edificio no dispone de sistema de ventilación ni aire acondicionado.

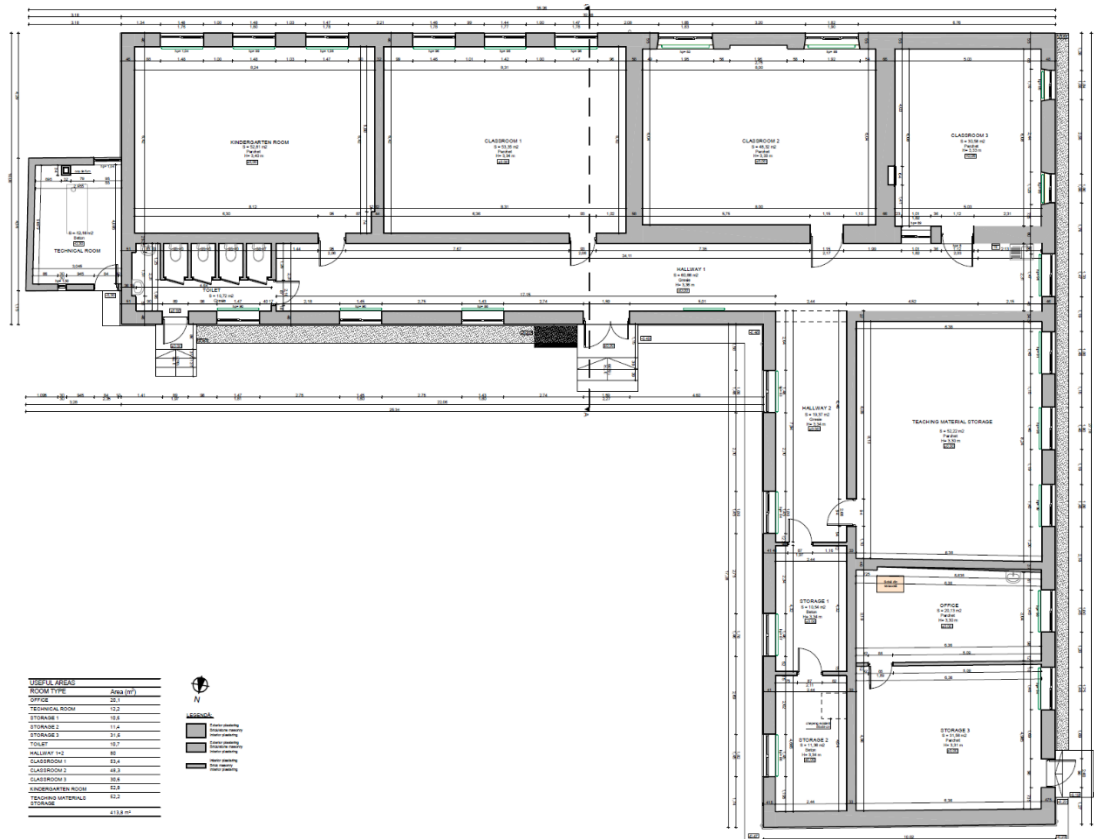


Figura 5. Escuela de Rumanía: plano de la planta baja

2.3. Ubicación

Las coordenadas geográficas de este edificio son:

- Latitud: 46°57'56"N
- Longitud: 23°11'24"E
- Altitud: 293,2 m

Location data	
City	Cuzapla
Altitude	293.200 m
Latitude	46.0 degrees
Longitude	23.0 degrees
Time zone	2.0
SCOP climatic conditions	Cold climate

2.4. Zona climática

Según el sistema de clasificación de Koeppen-Geiger, Rumanía se caracteriza por seis tipos de clima distintos. La zona climática predominante es un clima continental húmedo con veranos cálidos (Dfb), que abarca la mayor parte del país (incluida la zona del edificio de nuestro estudio de caso). Durante el mes

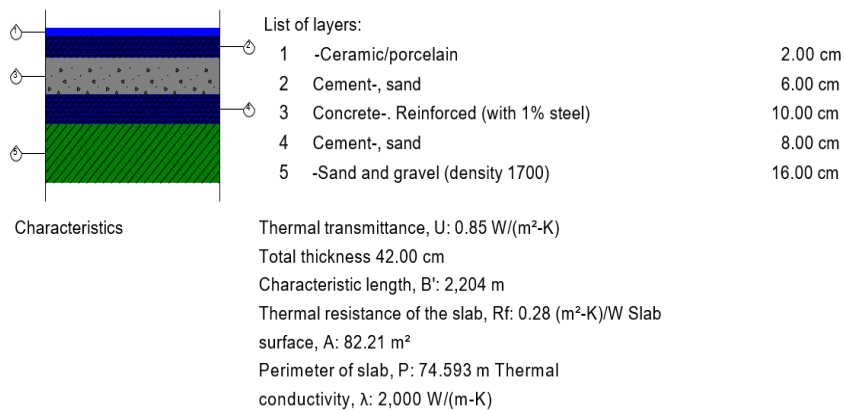
más cálido del año, la temperatura media no supera los 22 °C. Por el contrario, las temperaturas medias durante el mes más frío suelen ser mucho más bajas, a menudo muy por debajo de los -3 °C.

2.5. Materiales de la envolvente térmica

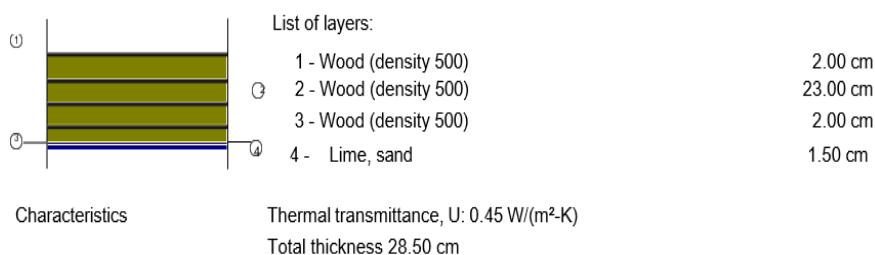
El edificio tiene una estructura de piedra y hormigón, paredes de ladrillo, un ático con suelo de madera y un tejado de madera con placas onduladas bituminosas. Las paredes interiores se acabaron con pintura lavable o azulejos, mientras que el exterior se realizó con enlucido decorativo. Los suelos de hormigón están cubiertos con parquet o baldosas. El edificio no está aislado. Las ventanas tienen marcos de PVC y doble acristalamiento.

En este estudio de caso se han utilizado los siguientes datos:

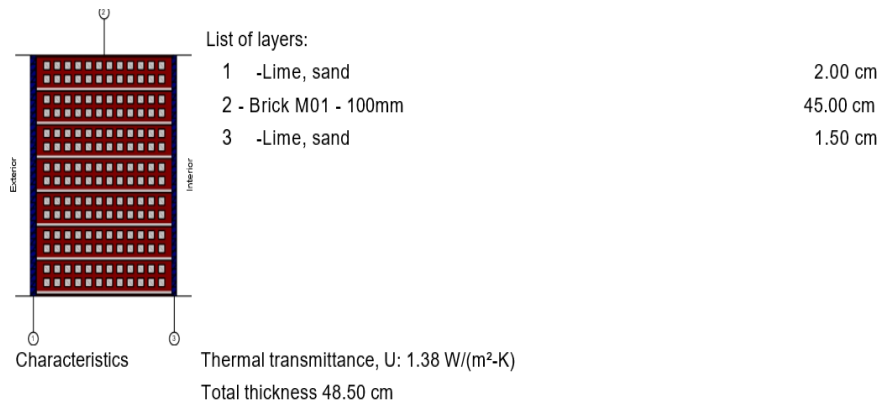
Losa del suelo



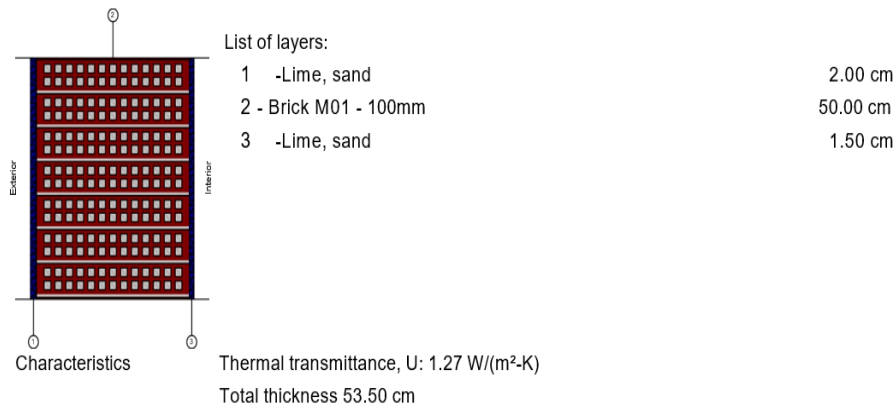
Cubierta



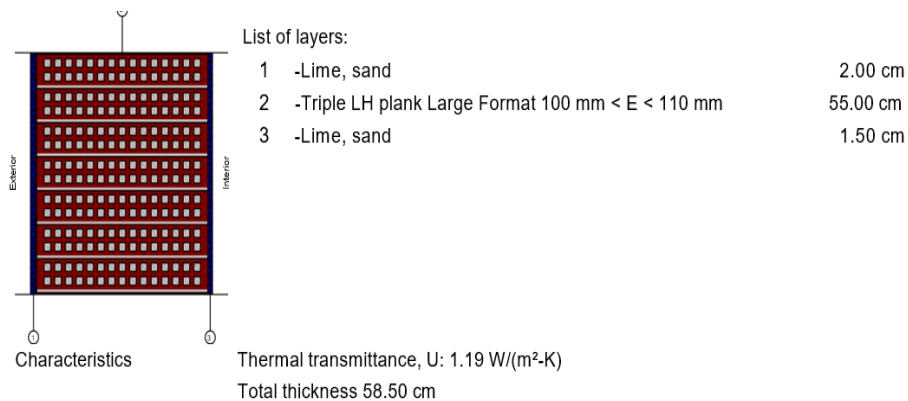
Pared exterior 45



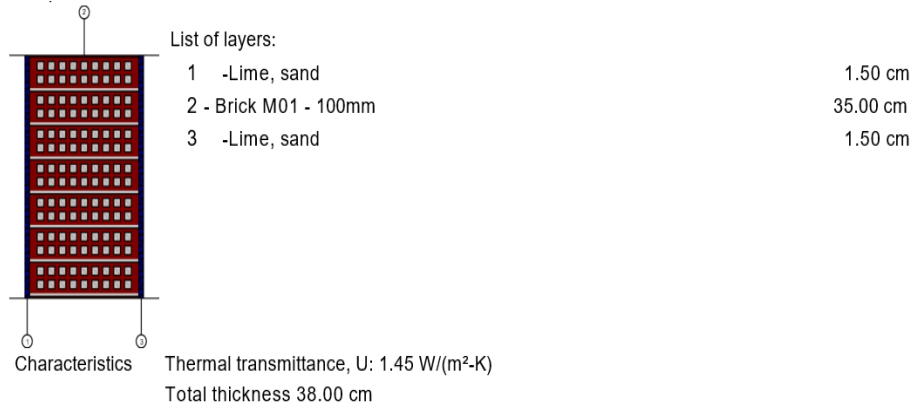
Pared exterior 50



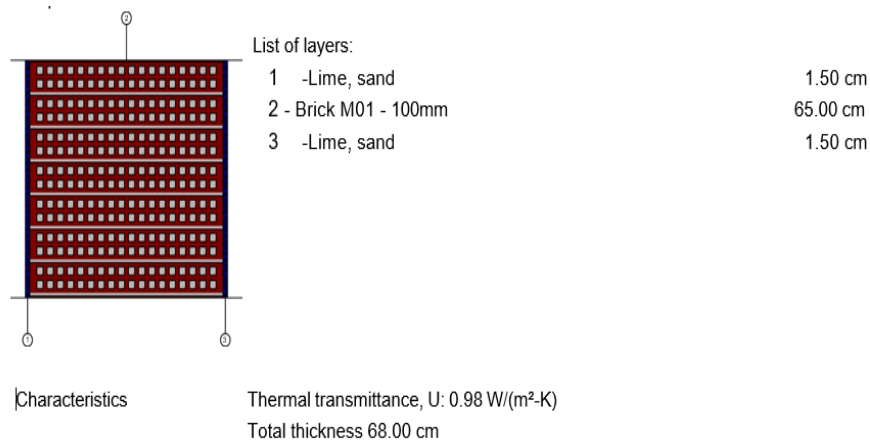
Pared exterior 55



Pared divisoria 35



Pared divisoria 65



Puertas

Heat transfer coefficient (U)	2.10	W/(m ² ·K)
Absorptance	0.60	

Ventanas

Heat transfer coefficient (U)	2.10	W/(m ² ·K)
Solar heat gain coefficient	0.70	

2.6. Sistemas de agua caliente sanitaria, calefacción y aire acondicionado

El agua se calienta mediante una planta térmica que utiliza biomasa como combustible. La planta de leña no es muy eficiente.

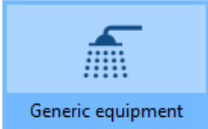
El edificio se calienta mediante radiadores de acero que utilizan una planta de calefacción de combustible sólido (leña) y una caldera.

Tampoco hay sistema de ventilación ni aire acondicionado en el edificio.

Reference DHW equipment

Covered DHW demand percentage

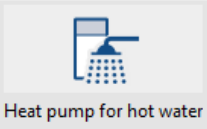
100 %



Generic equipment



Air-source heat pump



Heat pump for hot water



Geothermal

Production set

Overview

Thermal Plant

Type of energy vector

Biomass

Rated capacity

32000.00 W

Average seasonal efficiency

0.55

Storage tank

Reference

Storage tank

Global loss coefficient, UA

1.20 W/K

Average storage temperature

60.0 °C

Ambient temperature

10.0 °C

Global loss coefficient (UA)

Capacity

100 l

Outside diameter

0.500 m

Insulation thickness

0.040 m

Thermal conductivity of the insulation

0.040 W/(m·K)

Global loss coefficient, UA: 1.20 W/K

Figura 6. Sistema de ACS

Reference Heating











Hot-water system

Hot water production equipment

+     

Name

1 Thermal plant

Hot water distribution

Design parameters

Design setpoint temperature 82.0 °C

Design delta temperature 10.0 °C

Fluid type Water

Circulating pump

Operating parameters

Piping system configuration

Production set

Reference Thermal plant




Boiler

Heating

☐ Rated capacity Sizing factor 1.00

Rated efficiency 0.55

Fuel type Biomass

Operating parameters

Performance curves

Performance curves By default

Boiler type Hot water boiler

Figura 7. Sistema de calefacción

3. Desarrollo del caso de estudio del edificio educativo rumano.

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.

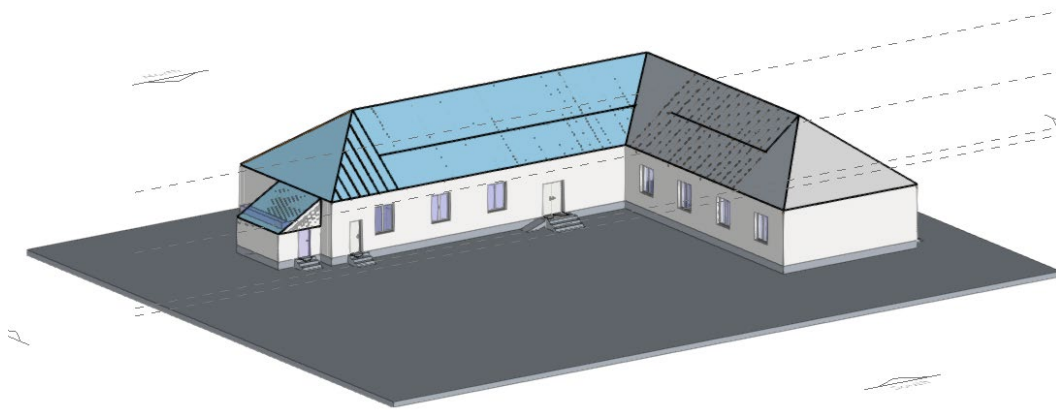


Figura 8. Modelo BIM

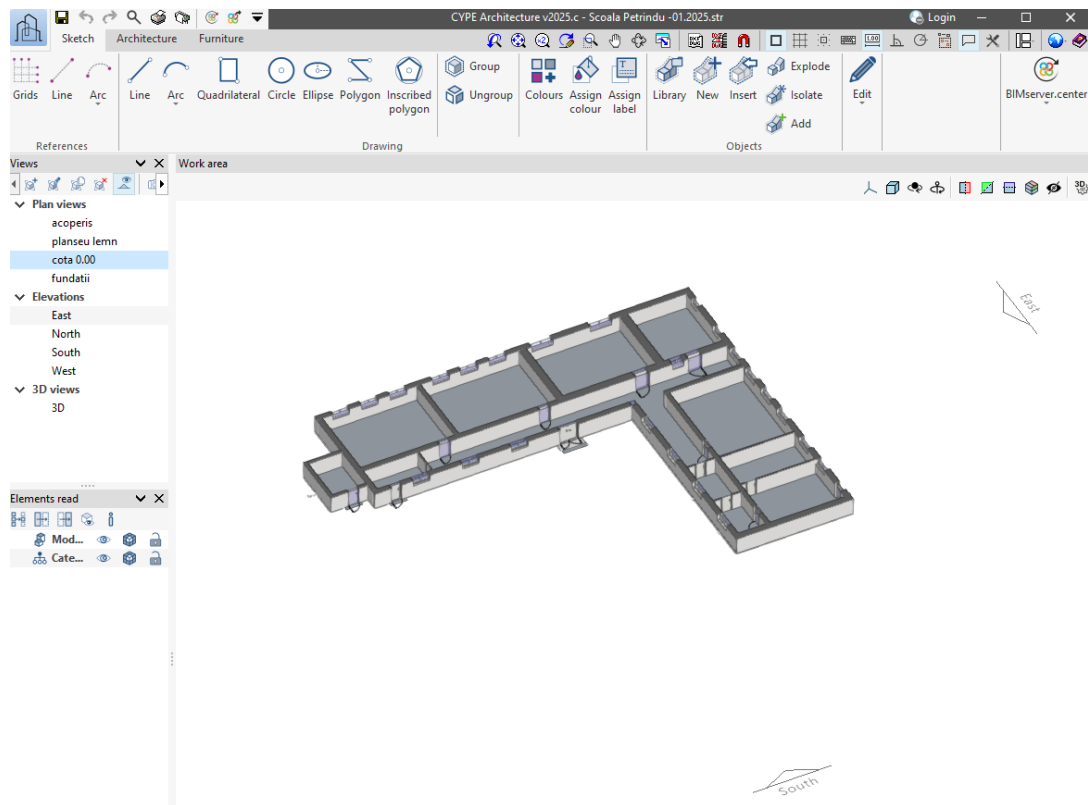


Figura 9. Plano de la escuela en el modelo BIM

3.2. Modelo BIM 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 del espacio, superficies que eliminan el espacio...).

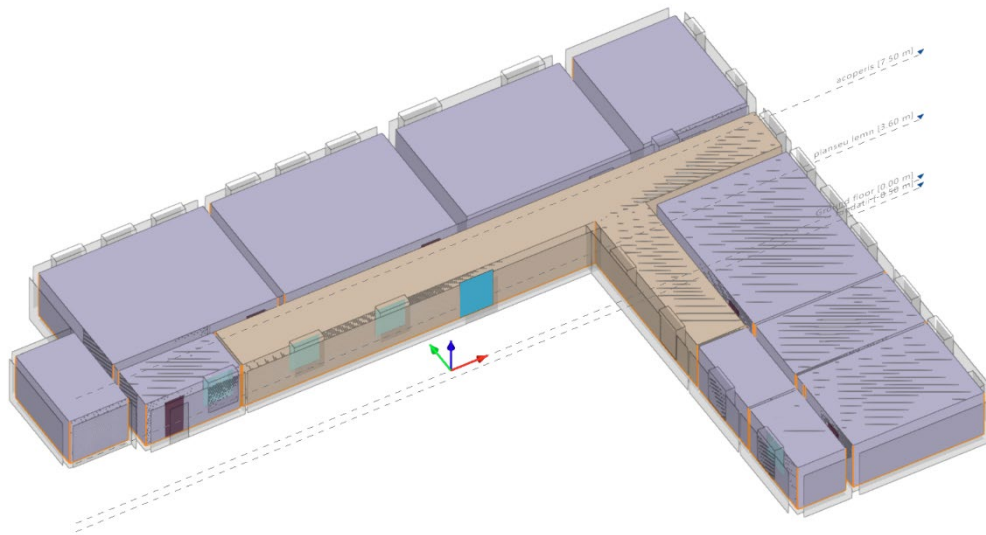


Figura 10. Modelo analítico del edificio

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

Estas zonas son:

La planta baja es la zona acondicionada del edificio.

La zona común no es habitable.

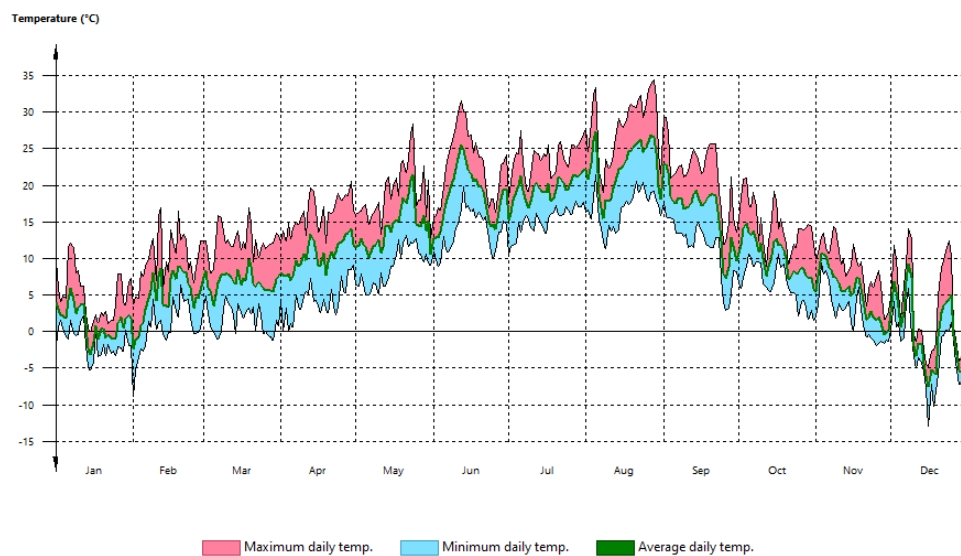
La **ventilación** del edificio existente consiste en ventilación natural.

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.

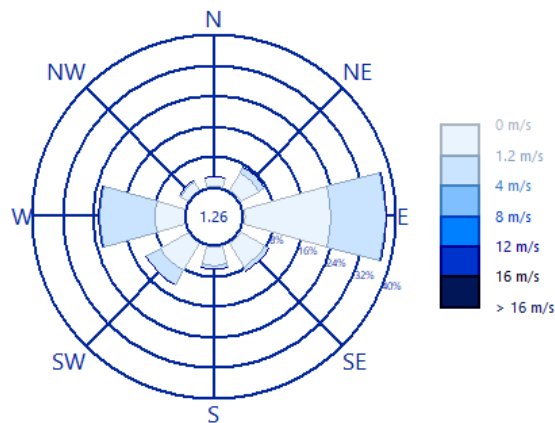
3.3. Zona climática

En este estudio de caso se han utilizado los siguientes datos:

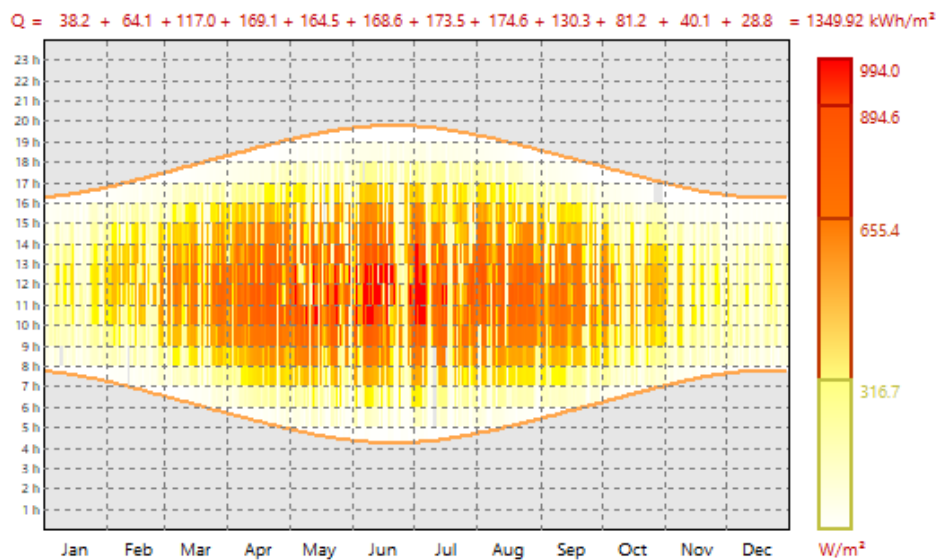
Temperaturas exteriores



Distribución del viento



Irradiación global sobre una superficie horizontal



3.4. Condiciones de funcionamiento de los espacios acondicionados del edificio

Para el análisis energético del edificio se han utilizado las condiciones de funcionamiento de los espacios acondicionados del edificio, teniendo en cuenta un horario escolar típico de 8 a 16 horas, de lunes a viernes.

3.5. Modelo energético del edificio

Un modelo energético de un edificio 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:

- Evaluar alternativas de diseño.
- Estimar el ahorro energético.
- Cumplir con los códigos de construcción
- Apoyar las certificaciones de edificios ecológicos (por ejemplo, LEED, BREEAM)
- Realizar análisis de coste-beneficio de medidas de eficiencia energética

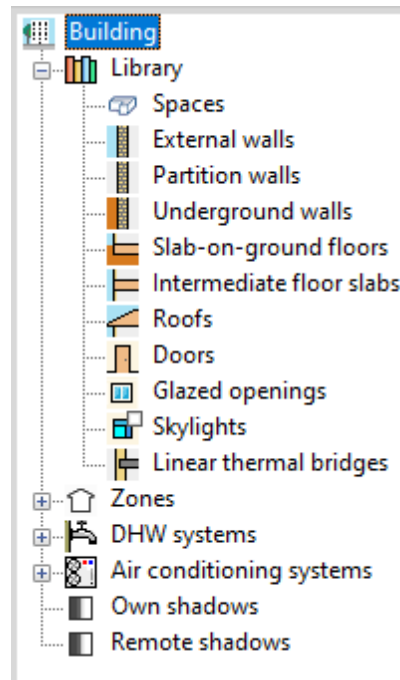
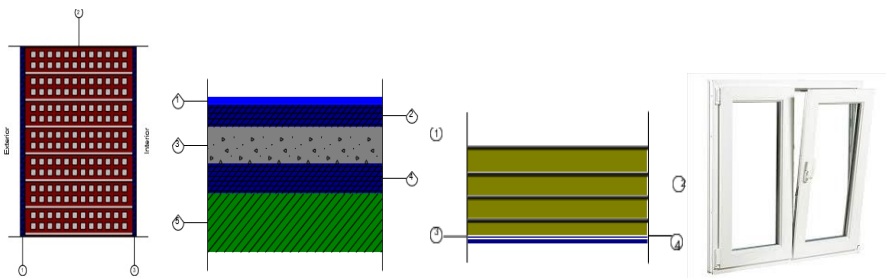


Figura 11. Algunos componentes del modelo energético de edificios

3.6. Casos analizados. Descripción

- **Caso 0: Situación actual/inicial:** envolvente sin aislamiento, ventanas de doble acristalamiento ($U=2,1$ W/m² K), planta térmica de combustible sólido (leña) de baja eficiencia, radiadores



Reference Heating











Hot-water system

Hot water production equipment

+    

Name

1 Thermal plant

Hot water distribution

Design parameters

Design setpoint temperature 82.0 °C

Design delta temperature 10.0 °C

Fluid type Water

Circulating pump

Operating parameters

Piping system configuration

Production set

Reference Thermal plant




Boiler

Heating

☐ Rated capacity Sizing factor 1.00

Rated efficiency 0.55

Fuel type Biomass

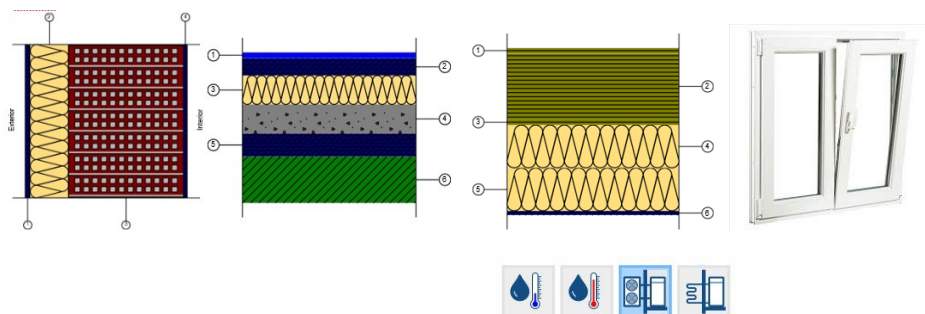
Operating parameters

Performance curves

Performance curves By default

Boiler type Hot water boiler

- Caso 1: Envoltente mejorada** (aislamiento de las paredes exteriores con 15 cm de lana mineral, del piso 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 aire-agua, ventilación mecánica, calefacción por suelo radiante



Air-source heat pump






Login

Outdoor unit

Compact: 12 kW 400V (VWL 125/6 AS3)

Hydraulic module

Equipment: MEH97/6

Gross rated heating capacity: 11600 W
 Gross rated heating COP: 4.71
 Gross rated total cooling capacity: 7900 W
 Gross rated cooling COP: 3.5

Heating

Design setpoint temperature 45.0 °C Design delta temperature 5.0 °C

☐ Cooling





Central ventilation system



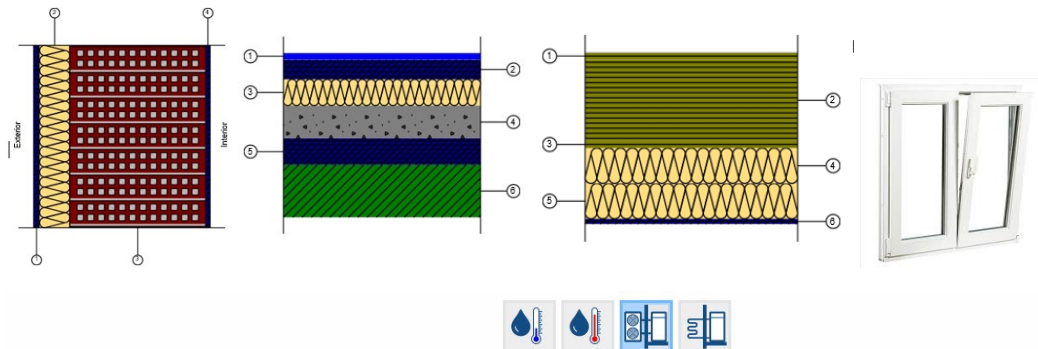
Heat recovery unit

Heat exchanger

Sensible effectiveness %

☐ Latent effectiveness

- Caso 2: Mejora** de la envolvente (aislamiento de las paredes exteriores con 10 cm de lana mineral, del 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 aire-agua, ventilación mecánica, calefacción por suelo radiante





Air-source heat pump



Outdoor unit

Compact: 12 kW 400V (VWL 125/6 AS3)

Hydraulic module

Equipment: MEH97/6

Gross rated heating capacity: 11600 W
Gross rated heating COP: 4.71
Gross rated total cooling capacity: 7900 W
Gross rated cooling COP: 3.5

Heating

Design setpoint temperature °C Design delta temperature °C

☐ Cooling



Central ventilation system



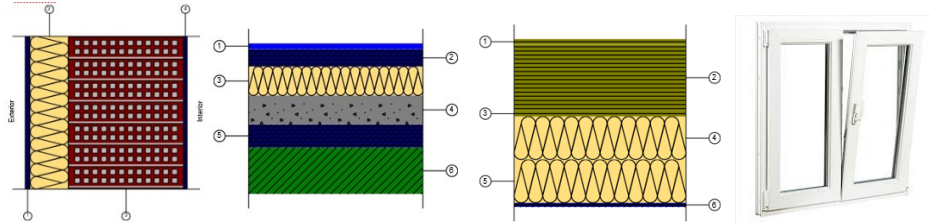
Heat recovery unit

Heat exchanger

Sensible effectiveness %

☐ Latent effectiveness

- Caso 3: Envoltente mejorada** (aislamiento de las paredes exteriores con 15 cm de lana mineral, el piso superior con 30 cm de lana mineral y aislamiento de los forjados con 10 cm de poliestireno extruido, ventanas de triple acristalamiento), bomba de calor agua/agua subterránea, ventilación mecánica, calefacción por suelo radiante








Geothermal



Water to water heat pump

Heat pump: VWS 260/3 S1

Gross rated heating capacity: 24500 W
 Gross rated heating COP: 4.4

Heating

Design setpoint temperature °C Design delta temperature °C







Central ventilation system



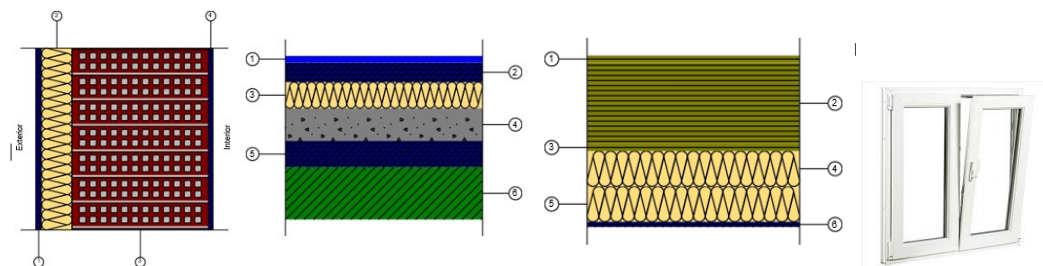

Heat recovery unit

Heat exchanger

Sensible effectiveness %

☐ Latent effectiveness

- Caso 4: Envoltente mejorada** (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 subterránea, ventilación mecánica, calefacción por suelo radiante





Geothermal

Login



Water to water heat pump

Heat pump: VWS 260/3 S1

Gross rated heating capacity: 24500 W
Gross rated heating COP: 4.4

Heating

Design setpoint temperature °C Design delta temperature °C



Central ventilation system



Heat recovery unit

Heat exchanger

Sensible effectiveness %

☐ Latent effectiveness

3.7. Resultados del caso. Consumo energético y calificación energética de los edificios existentes

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 la 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 esa 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:

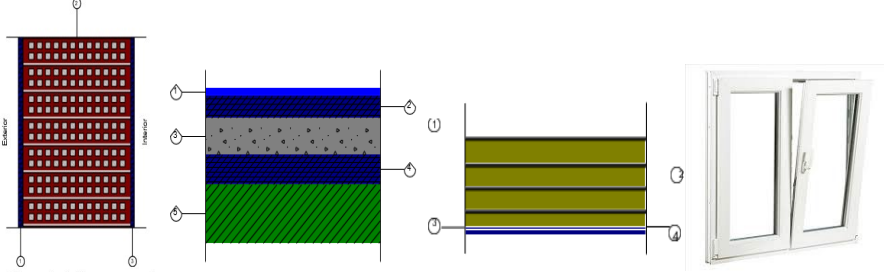
- **Calefacción**
- **Refrigeración**
- **Iluminación**
- **Agua caliente**
- **Electrodomésticos y equipos**

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 las pérdidas en las fases previas** (por ejemplo, la eficiencia de las centrales eléctricas, las pérdidas en la red de transmisión)
- **Caso 0: Escenario existente/inicial:** envolvente sin aislamiento, ventanas de doble acristalamiento ($U=2,1 \text{ W/m}^2 \text{ K}$), planta térmica de combustible sólido (leña) de baja eficiencia, radiadores



Reference Heating



Hot-water system

Hot water production equipment

+ ✎ 🗑️ ✖️ ⬆️ ⬇️

Name

1 Thermal plant

Hot water distribution

Design parameters

 Design setpoint temperature 82.0 °C
 Design delta temperature 10.0 °C
 Fluid type Water

Circulating pump

Operating parameters

Piping system configuration

Production set

Reference Thermal plant



Boiler

Heating

☐ Rated capacity Sizing factor 1.00
 Rated efficiency 0.55
 Fuel type Biomass

Operating parameters

Performance curves

 Performance curves By default
 Boiler type Hot water boiler



Consumo energético de los servicios técnicos del edificio

EDIFICIO (Su= 332,39 m²)

Technical Services	EF		EP _{tot}		EP _{nren}	
	(kWh/year)	(kWh/m ² -year)	(kWh/year)	(kWh/m ² -year)	(kWh/year)	(kWh/m ² -year)
Heating	103602.76	311.69	113279.19	340.81	11951.31	35.96
DHW	20969.03	63.09	49654.65	149.39	40973.36	123.27
Lighting	4286.70	12.90	10150.77	30.54	8376.16	25.20
	128858.49	387.68	173084.94	520.73	61301.16	184.43

donde:

Su: Superficie útil incluida en la envolvente térmica, m².

EF: Energía final consumida por los servicios técnicos en el punto de consumo.

EP_{tot}: Consumo total de energía primaria.

EP_{nren}: Consumo de energía primaria de origen no renovable.

Consumo final de energía del edificio. Resultados mensuales.

		Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Year
		(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh/year) kWh/m ² -year)
BUILDING (Su= 332.39 m ²)														
Energy demand	Heating	9963.9	8723.8	6980.1	3377.9	1389.0	571.1	816.3	530.6	2432.6	4407.4	7810.9	10240.2	57243.9
	DHW	1700.8	1536.2	1700.8	1645.9	1700.8	1645.9	1700.8	1700.8	1645.9	1700.8	1645.9	1700.8	20025.5
	TOTAL	11664.7	10260.0	8680.9	5023.9	3089.8	2217.0	2517.1	2231.4	4078.5	6108.2	9456.8	11941.0	77269.3
														232.5
Biomass	Heating	17775.8	15547.7	12259.6	5646.4	2047.6	771.2	1113.3	566.5	3827.8	7549.0	13821.7	18286.0	99212.7
	Cooling	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	296.5
	DHW	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Electricity	Heating	443.5	400.6	443.5	395.2	328.7	177.6	248.0	253.6	428.3	398.5	429.2	443.5	4390.1
	Cooling	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	13.2
	DHW	1780.9	1608.6	1780.9	1723.5	1780.9	1723.5	1780.9	1780.9	1723.5	1780.9	1723.5	1780.9	20969.1
	Ventilation	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	63.1
	Humidity control	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Lighting	503.0	437.4	481.2	459.3	503.0	459.3	—	—	—	503.0	481.2	459.3	4286.7
	Cef _{tot}	20503.3	17994.2	14965.2	8224.3	4660.3	3131.6	3142.2	2601.1	5979.6	10231.5	16455.5	20969.7	128858.6
														387.7

donde:

Su: Superficie útil incluida en la envolvente térmica, m².

Cef_{total}: Consumo de energía en el punto de consumo (energía final), kWh/m²-año.



Clasificación energética del edificio: Situación inicial/edificio existente.

Zona climática	E1	Uso	Otros usos
----------------	----	-----	------------

1. CLASIFICACIÓN ENERGÉTICA DEL EDIFICIO EN TÉRMINOS DE EMISIONES

INDICADOR GLOBAL	INDICADORES PARCIALES			
28,5 A 28,5-46,2 E 46,2-71,1 C 71,1-92,5 D 92,5-113,8 E 113,8-142,3 F ≥ 142,3 G 34,90 B	CALEFACCIÓN		AQUECIMIENTO DE AGUA	
	Emisiones s por calefacció n [kgCO ₂ /m ² -año].	A	Emisiones de ACS [kgCO ₂ /m ² - año].	E
			20,88	
	9,74	REFRIGERACIÓN		ILUMINACIÓN
Emisiones globales [kgCO ₂ /m ² -año]	Emisiones de refrigeración [kgCO ₂ /m ² -año].	A	Emisiones de iluminación [kgCO ₂ /m ² -año].	E
			4,2	

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

	kgCO ₂ /m ² -año	kgCO ₂ -año
Emisiones de CO ₂ procedentes del consumo eléctrico	29,52	9812,76
Emisiones de CO ₂ procedentes de otros combustibles	5,37	1785,83

2. CLASIFICACIÓN ENERGÉTICA DEL EDIFICIO EN TÉRMINOS DE 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.

INDICADOR GLOBAL	INDICADORES PARCIALES		
122.2 A 122.2-198.6 B 198.6-305.1 C 305.1-397.1 D 397.1-488.8 E 488.8-611.0 F ≥ 611.0 G	CALEFACCIÓN	ACS	
	Energía primaria para calefacción [kWh/m²-año]	A	Energía primaria DHW [kWh/m²-año]
	35,96		123,27
	REFRIGERACIÓN	ILUMINACIÓN	
Consumo total de energía primaria no renovable [kWh/m²-año] ⁽¹⁾	Energía primaria para refrigeración [kWh/m²-año].	A	Energía primaria para iluminación [kWh/m²-año].
	0		25,2

3. CALIFICACIÓN PARCIAL DE LA DEMANDA DE ENERGÍA PARA CALEFACCIÓN Y REFRIGERACIÓN

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

DEMANDA DE CALEFACCIÓN	DEMANDA DE REFRIGERACIÓN
Demanda de calefacción [kWh/m ² -año].	Demanda de refrigeración [kWh/m ² -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.