



Desarrollo de servicios, herramientas y materiales para adaptación de ambientes contruidos tradicionales y patrimoniales

Desenvolvimento de serviços, ferramentas e materiais para a adaptação de ambientes construídos tradicionais e patrimoniais

Índice

1. Introducción	13
1.1. El proyecto FEEnERT y el programa de cooperación Interreg V-A España-Portugal	13
1.2. Acción A.2.3 Guía metodológica de diagnóstico e intervención de rehabilitaciones energéticas en construcciones tradicionales y propuesta de escenarios de mejora	14
2. Alcance y Objetivos.....	17
2.1. Objetivo General	17
i) Objetivos específicos	17
3. Metodología.....	18
3.1. Fase 1 HBIM: Métodos de caracterización en elementos constructivos. (Heritage Building Information Modeling).....	19
i) Captura de datos en campo	20
ii) Obtención de nube de puntos	23
iii) Generación del modelo HBIM.....	25
(1) BIM	25
(2) Aplicación de HBIM en arquitectura tradicional.....	26
(3) Scan to BIM	26
(4) Obtención del modelo HBIM.....	27
3.2. Fase 2 BEM: Modelo analítico (Building Energy Modeling).....	30
i) Recepción del modelo	30
ii) Análisis y ajustes geométricos	32
iii) Exportación IFC.....	36
iv) Caracterización del modelo	38
v) Espacios y configuración energética	40

vi)	Modelo analítico.....	42
vii)	Simulaciones-Cálculo energético.....	45
3.3.	Pasaporte energético	54
i)	Adquisición de datos y modelado conceptual.....	54
(1)	Levantamiento Topográfico y Geométrico.....	54
(2)	Caracterización del Modelo para Análisis Energético.....	56
(3)	Gestión del entorno colaborativo.....	59
(4)	Simulaciones del comportamiento energético.....	60
(5)	Análisis de costes y ciclo de vida (ACV)	64
(6)	Comparativa de escenarios y elaboración del pasaporte energético.....	69
4.	Resultados	70
4.1.	Caso de estudio Casa de pescadores (Herrera de Alcántara).....	71
i)	Simulación energética	76
(1)	Revit.....	76
(2)	Cype.....	82
4.2.	Caso de estudio CEIP-General Navarro (Badajoz).....	85
i)	Simulación energética	89
(1)	Revit.....	89
(2)	Cype.....	90
4.3.	Caso de estudio Palacio de Carvajal (Cáceres)	93
i)	Simulación energética	96
(1)	Revit.....	96
(1)	Cype.....	98
5.	Discusión de resultados.....	102
6.	Conclusiones y futuras líneas	103

7. Bibliografía.....106

Listado de figuras

Figura 1. Fase 1: HBIM. Métodos de caracterización en elementos constructivos. Proceso de levantamiento de datos y generación de modelo	18
Figura 2. Fase 2 BEM: Modelo analítico Proceso de análisis, configuración y simulación energética del modelo HBIM	19
Figura 3. panorámica de muestra en zona interior del edificio de arquitectura tradicional Palacio Carvajal ubicado en Cáceres. Fuente: Anexo 1 levantamiento aplicando láser escáner 3d para generación de nube de puntos y modelado BIM.	22
Figura 4. panorámica de muestra en zona exterior del edificio de arquitectura tradicional Palacio Carvajal ubicado en Cáceres. Fuente: Anexo 1 levantamiento aplicando láser escáner 3d para generación de nube de puntos y modelado BIM	22
Figura 5. Nube de puntos de muestra al exterior del edificio de arquitectura tradicional Palacio Carvajal ubicado en Cáceres. Fuente: Anexo 1 levantamiento aplicando láser escáner 3d para generación de nube de puntos y modelado BIM	24
Figura 6. Esquema de muestra de la metodología Scan To BIM en el edificio de arquitectura tradicional Palacio Carvajal ubicado en Cáceres. Fuente: Anexo 1 levantamiento aplicando láser escáner 3d para generación de nube de puntos y modelado BIM	27
Figura 7. Corte en planta de distribución edificio palacio Carvajal a unir las nubes de puntos generadas. Fuente: Anexo 1 levantamiento aplicando láser escáner 3d para generación de nube de puntos y modelado BIM	28
Figura 8. Verificación en planta de espesor de muros modelados vs levantamiento de nubes de puntos. Fuente: Anexo 1 levantamiento aplicando láser escáner 3d para generación de nube de puntos y modelado BIM	28
Figura 9. Sección múltiple para verificación de espesor de muros, Palacio Carvajal. Fuente: Anexo 1 levantamiento aplicando láser escáner 3d para generación de nube de puntos y modelado BIM	29
Figura 10. Transposición modelo completo con nube de puntos levantada, Palacio Carvajal. Fuente: Anexo 1 levantamiento aplicando láser escáner 3d para generación de nube de puntos y modelado BIM	29

Figura 11. Ruta en Shared Point de las carpetas con contenido HBIM entregados a la Universidad de Extremadura	31
Figura 12 Ruta en Shared Point del contenido por carpeta para cada modelo HBIM ..	31
Figura 13. Ruta en Shared Point del modelo HBIM en Autodesk Revit, ejemplo Casa de Pescadores ubicada en Herrera de Alcántara	32
Figura 14. Superposición de nube de puntos con modelo tridimensional en Revit para análisis geométrico.....	33
Figura 15. Ajuste geométrico de unión en planta entre muros.....	35
Figura 16. Izquierda: Ajuste en alzado de unión entre muros y forjados. Derecha: Ajuste en planta de unión entre muros	36
Figura 17. Muestra de modelo con gran cantidad de niveles a depurar.....	36
Figura 18. Proceso de exportación modelo IFC desde Revit	37
Figura 19. Interfaz de Revit donde se muestra el ajuste de propiedades de exportación a IFC	37
Figura 20. Interfaz en Revit del explorador de materiales donde se incorporan los materiales y sistemas constructivos al modelo geométrico. Ejemplo: Casa de Pescadores en Herrera de Alcántara	38
Figura 21. Interfaz en Cype Construction System del modelo BIM en IFC donde se incorporan los materiales y sistemas constructivos al modelo geométrico. Ejemplo: Casa de Pescadores en Herrera de Alcántara	39
Figura 22. Interfaz en Revit del ajuste de espacios tanto en alzado (izquierda) como en planta (Derecha). Ejemplo: Casa de Pescadores en Herrera de Alcántara	41
Figura 23. Interfaz en Cype Analytical Model del ajuste de superficies. Ejemplo: Casa de pescadores en Herrera de Alcántara.....	41
Figura 24. Ajuste de plantillas de envolventes del edificio. Ejemplo: Casa de pescadores en Herrera de Alcántara	42
Figura 25. Interfaz de Revit que muestra configuración de energía para generar modelo analítico	43
Figura 26. Interfaz de Revit, con las opciones para generar el modelo analítico por medio de la pestaña “Analizar”	43

Figura 27. Modelo analítico generado por medio de Revit. Ejemplo: Colegio General Navarro, Badajoz	44
Figura 28. Interfaz de Cype Analytical Model donde se configuran las opciones para la exportación del modelo analítico. Ejemplo: Colegio General Navarro, Badajoz.....	44
Figura 29. Interfaz de Cype Analytical Model donde se muestra el modelo analítico generado. Ejemplo: Colegio General Navarro, Badajoz.....	45
Figura 30. Muestra de resultados locales de simulación realizada desde Revit, sección gráficos por sectores.....	46
Figura 31. Muestra de resultados locales de simulación realizada desde Revit, sección Informe detallado	46
Figura 32. Muestra de Informe de “Resumen de carga de zona” para el espacio de Estar-Comedor-Cocina, en casa de Pescadores de herrera de Alcántara.....	47
Figura 33. Interfaz de plataforma Insight Carbon Analysis para la Casa de pescadores en Herrera de Alcántara	48
Figura 34. Parámetros generales ajustados en el software Cype Therm HE Plus, para la casa de Pescadores en Herrera de Alcántara.....	49
Figura 35. Interfaz en Cype Therm HE Plus que muestra la configuración de zonas del edificio verificadas, para la Casa de pescadores en Herrera de Alcántara	49
Figura 36.. Interfaz en Cype Therm HE Plus que muestra el ejemplo de las características de la cubierta verificadas de la importación desde el software Cype Open Analytical Model para la Casa de pescadores en Herrera de Alcántara.....	50
Figura 37 Barra de herramientas en Cype Therm HE Plus, donde se muestran los diferentes ficheros a extraer luego del cálculo de la simulación	51
Figura 38. Apartado 2 del informe de demanda obtenido desde Cype Therm HE plus, para el ejemplo de la casa de pescadores de Herrera de Alcántara	52
Figura 39. Apartado 1 “consumo energético de los servicios técnicos del edificio” del informe de consumo obtenido desde Cype Therm HE plus, para el ejemplo de la casa de pescadores de Herrera de Alcántara	52
Figura 40. Apartado 3 “Calificación parcial de la demanda energética de calefacción y refrigeración” del informe de calificación energética obtenido desde Cype Therm HE plus, para el ejemplo de la casa de pescadores de Herrera de Alcántara	53

Figura 41. Flujo metodológico para la obtención del pasaporte energético	54
Figura 42. Nube de puntos del edificio Casa de Pescadores del proyecto Feenert.....	55
Figura 43. Visualización de nube de puntos y modelo BIM del edificio Casa de Pescadores del proyecto Feenert.....	55
Figura 44. Ejemplo de definición de espacios correcta (verde) e incorrectamente (rojo) en un modelo BIM	58
Figura 45. Ejemplo de definición de niveles y asignación de elementos a esos niveles	59
Figura 46. Proyecto con archivos de trabajo para el desarrollo del pasaporte energético en BIM Server Center	60
Figura 47. Árbol de proyecto de CYPE Therm HE Plus con la distribución de zonas térmicas, recintos y elementos de la envolvente utilizados para la simulación energética.	61
Figura 48. Ventana de datos de emplazamiento para la simulación energética en Cypetherm HE plus.....	61
Figura 49. Definición por capas de una de las soluciones constructivas empleadas en la simulación.....	62
Figura 50. Resultados de la simulación energética obtenidos en CYPE Therm HE Plus, utilizados para evaluar el comportamiento térmico del edificio y comparar distintas soluciones constructivas.....	63
Figura 51. Gráfica de balance energético anual del edificio resultado de la simulación energética obtenidos en CYPE Therm HE Plus.....	63
Figura 52. Ejemplo de reglas de medición de Open Bim Quantities.....	65
Figura 53. Ejemplo de gráfica de CO ₂ equivalente generada con Arquímedes	68
Figura 54. Emplazamiento de casa de pescadores- Herrera de Alcántara	72
Figura 55. Distribución espacial al interior de la vivienda-Casa de Pescadores.....	73
Figura 56. caracterización de cubierta. Casa de pescadores	73
Figura 57. Superior: caracterización de muros. Inferior: caracterización de forjados. Casa de pescadores.....	73
Figura 58. Modelo optimizado en Revit 2025	74
Figura 59. Modelo analítico generado- Casa de Pescadores.....	75

Figura 60. Configuración de plantillas en Cype Analytical Model.....	76
Figura 61. Configuración de colindancia de superficies en Cype Analytical Model.....	76
Figura 62. Diagrama de barras- Demanda de calefacción casa de pescadores. Informe Open Studio- Autodesk Revit	77
Figura 63. Tabla- Demanda de calefacción casa de pescadores. Informe Open Studio- Autodesk Revit.....	77
Figura 64. Diagrama de barras- Demanda de refrigeración casa de pescadores. Informe Open Studio- Autodesk Revit	78
Figura 65. Tabla- Demanda de Refrigeración casa de pescadores. Informe Open Studio- Autodesk Revit.....	78
Figura 66. Informe por espacios de demanda energética enfocada en refrigeración para la zona de Estar-Comedor-Cocina. Casa pescadores	79
Figura 67. Informe por espacios de demanda energética enfocada en refrigeración para la zona de Habitaciones. Casa pescadores	79
Figura 68 Informe por espacios de demanda energética enfocada en calefacción para la zona de Estar-Comedor-Cocina. Casa pescadores	80
Figura 69. Informe por espacios de demanda energética enfocada en Calefacción para la zona de Habitaciones. Casa pescadores	80
Figura 70. Interfaz del Informe en la nube de Autodesk Insighth. Casa de pescadores.	81
Figura 71. Apartado 3 del informe de calificación energética en Pdf extraído de Cype HE Therm Plus. Casa de pescadores.....	83
Figura 72. Apartado 1. del informe de consumo energético en Pdf extraído de Cype HE Therm Plus. Casa Pescadores	84
Figura 73. Apartado 2.1 que muestra el balance energético del edificio por meses, del informe de demanda energética en Pdf extraído de Cype HE Therm Plus	85
Figura 74. Contexto urbano del Colegio General Navarro. Fuente: Google Earth.....	86
Figura 75. Distribución espacial al interior del edificio General Navarro.....	87
Figura 76. Modelo analítico generado en Autodesk Revit. Colegio General Navarro.....	88
Figura 77. Interfaz en Revit del aviso generado a la hora de ejecutar la simulación para informe local html. Colegio General Navarro	89

Figura 78. Interfaz con error en la generación del Informe en la nube de Autodesk Insigth. Colegio General Navarro	90
Figura 79. Apartado 1 del informe de consumo energético en Pdf extraído de Cype HE Therm Plus- Colegio General Navarro	91
Figura 80. Balance energético mensual del informe de consumo energético en Pdf extraído de Cype HE Therm Plus- Colegio General Navarro	92
Figura 81. Apartado 1.1. del informe de consumo del Colegio General Navarro, extraído del software Cype Therm HE Plus	93
Figura 82. Contexto urbano del Palacio Carvajal-Cáceres. Fuente: Google Earth.....	94
Figura 83. Distribución espacial del palacio Carvajal- Cáceres	95
Figura 84. Modelo analítico obtenido desde Revit. Palacio Carvajal.....	96
Figura 85. Mensaje de error al producir informe local Revit- Palacio Carvajal.....	97
Figura 86. Interfaz del Informe en la nube de Autodesk Insigth. Palacio Carvajal.....	98
Figura 87. Apartado 3 del informe de calificación energética en Pdf extraído de Cype HE Therm Plus. Palacio Carvajal	99
Figura 88. Apartado 1. del informe de consumo energético en Pdf extraído de Cype HE Therm Plus. Palacio Carvajal	100
Figura 89. Apartado 1 del informe de consumo energético en Pdf extraído de Cype HE Therm Plus-Palacio Carvajal	101
Figura 90. Balance energético mensual del informe de consumo energético en Pdf extraído de Cype HE Therm Plus- Palacio Carvajal	101

Listado de tablas

Tabla 1. Características de equipo donde se procesa la información para la generación de nube de puntos.	23
Tabla 2. Estructura de nomenclatura de archivos	34
Tabla 3. Asignación de entidades IFC y propiedades	56
Tabla 4. Ficha técnica de Casa de Pescadores.....	72
Tabla 5. Ficha técnica CEIP General Navarro	87
Tabla 6. Ficha técnica Palacio Carvajal.....	94

Interreg



Cofinanciado por
la Unión Europea
Cofinanciado pela
União Europeia

España – Portugal



Actividad 2

Desarrollo de servicios, herramientas y materiales para adaptación de ambientes contruidos tradicionales y patrimoniales

Entregable E.2.7

Guía metodológica para realización de Protocolo de diagnosis e intervención basadas en rehabilitaciones energéticas en construcciones tradicionales y propuesta de escenarios de mejora (ES/PT)

HOJA DE CONTROL DEL DOCUMENTO	
Código	E.2.7
Acción vinculada	A.2.3
Fecha	02/06/2026
Coordinador entregable	Beatriz Montalbán Pozas
Autores documento	Equipo UEx

CONTROL DE VERSIONES			
VERSIÓN / VERSÃO	FECHA / DATA	RESPONSABLE / RESPONSÁVEL	COMENTARIOS / COMENTÁRIOS
1	13/06/2025		
2	10/09/2025		
3	29/7/2026	Jose Manuel Lorenzo Gallardo	Implementación del pasaporte energético

1. Introducción

1.1. El proyecto FEEnERT y el programa de cooperación Interreg V-A España-Portugal

El programa de cooperación Interreg V-A España-Portugal (POCTEP), da continuidad a los programas transfronterizos iniciados en 1989 con el fin de borrar los efectos nocivos de las fronteras interiores de la UE y mejorar la calidad de vida de los habitantes de estos espacios de cooperación. Este programa está financiado por la Comisión Europea a través de los Fondos FEDER y se desarrollan en el área mayormente conocida como EUROACE, la cual engloba todo el territorio comprendido por Alentejo, Centro y Extremadura.

La región EUROACE, eminentemente rural, posee un importante patrimonio de edificios históricos dispersos por todo su territorio. Estos edificios podrían convertirse en un activo económico y cultural significativo si se gestionan adecuadamente. Sin embargo, su antigüedad, la despoblación, y la necesidad de modernizar las empresas locales en técnicas de conservación y rehabilitación energética representan retos considerables. La falta de relevo generacional en expertos de construcción tradicional y la ausencia de una normativa clara complican aún más su conservación y adaptación a los estándares actuales.

En el área de cooperación de la EUROACE se están desarrollando proyectos conjuntos que centran sus objetivos en fomentar el emprendimiento, la economía verde o circular, en propiciar la transferencia de conocimiento al tejido productivo empresas o en la mejora y puesta en valor de nuestros recursos patrimoniales. También hay proyectos enfocados a nuevos campos de cooperación de contenido más social orientados a incentivar un envejecimiento activo de la población o a proteger a las mujeres frente a la violencia de género.

FEEnERT es un proyecto europeo transfronterizo cuyo objetivo es poner en valor edificios históricos de carácter público ubicados en el medio rural, facilitando la intervención constructiva con criterios de calidad y economía circular. Este proyecto se centra en la región EUROACE, buscando impulsar la sostenibilidad y revitalizar el

patrimonio cultural mediante acciones innovadoras y colaborativas. La adaptación de construcciones históricas a las nuevas exigencias de eficiencia energética es esencial para la sostenibilidad y preservación del patrimonio.

1.2. Acción A.2.3 Guía metodológica de diagnóstico e intervención de rehabilitaciones energéticas en construcciones tradicionales y propuesta de escenarios de mejora

El proyecto FEEnERT se divide en varias actividades, la actividad 2 titulada “Desarrollo de servicios, herramientas y materiales para adaptación de ambientes construidos tradicionales y patrimoniales” en la cual se enmarca este entregable, se describe como:

“Se realizan tres acciones complementarias por un lado se elaboran bases de datos de sistemas constructivos convencionales que sirvan para conformar un pasaporte de rehabilitación energética en arquitectura vernácula, dentro de esta acción se realiza en paralelo un estudio para identificar barreras en la implementación de sistemas de autoconsumo energético en entornos protegidos.

En una segunda acción se caracterizan sistemas constructivos de origen local, a base productos reciclados del territorio, que puedan hacer frente a las exigencias energéticas actuales. Finalmente se desarrolla una metodología de rehabilitación mediante BIM que proponga escenarios de mejora energética basados en las tecnologías estudiadas en las acciones anteriores.”

Esta actividad tiene como objetivo el “Desarrollar servicios, herramientas y tecnologías, así como caracterizar materiales y sistemas de origen local que faciliten la intervención de rehabilitación energética en ambientes construidos tradicionales.”

Esta actividad, a su vez se divide en varias acciones y en este entregable en particular se destaca la acción A.2.3, que se denomina como la “Guía metodológica de diagnóstico e intervención de rehabilitaciones energéticas en construcciones tradicionales y propuesta de escenarios de mejora” y se describe como:

“Elaboración de guía para análisis energético de edificación tradicional basado en flujos de trabajo BIM compuesta por:

-Métodos de caracterización de elementos constructivos (Heritage Building Information Building HBIM): Los socios propondrán elaborar una metodología no invasiva de estudio y levantamiento de elementos y sistemas constructivos basada en herramientas HBIM para la documentación y modelización 3D apoyada en la combinación de varias técnicas de adquisición de información de elementos contruidos: fotogrametría, termografías, georradar, imágenes hiperespectrales, redes neuronales (como herramientas de detección de patologías) etc. que pueda ser incorporada a un flujo de trabajo BIM. Además, se elaborará un protocolo de toma de datos que involucre a propietarios y usuarios para determinar condiciones de uso, interés y alcance de rehabilitaciones futuras, horarios de uso etc. A partir de esta información se identificará el estado inicial de la edificación. Se elaborará un protocolo de diagnóstico que relacione Acción 1.3 con la toma de datos anterior.

- Modelo analítico (Heritage Building Information Building Energy Efficiency HBIMEE): Tomando de partida el levantamiento de datos HBIM se desarrollará un modelo analítico para realización de simulaciones energéticas dinámicas sobre modelos BIM: Los socios propondrán herramientas de levantamiento geométrico basadas en flujo de trabajo BIM, así como elaborar una metodología de levantamiento de modelos dinámicos de cálculo energético mediante motores de cálculo basados en Energyplus. Estos modelos se alimentarán de las soluciones constructivas caracterizadas en la actividad 1.

- Pasaporte energético: A partir del modelo analítico HBIMEE se propondrán escenarios de mejora energética, para ello se aplicarán las tecnologías caracterizadas en acciones 2.1 y 2.2. El objeto será proponer escenarios de mejora de rehabilitación energética escalonado, mostrando a la vez impacto ambiental y periodos de amortización”

Por todo ello, se genera este entregable denominado *“E.2.7 Guía metodológica para realización de protocolo de diagnosis e intervención basadas en rehabilitaciones energéticas en construcciones tradicionales y propuesta de escenarios de mejora”,* con la

finalidad de dar justificación y recoger el proceso desarrollado en dicha acción, que se muestra en las siguientes fases:

La primera, en la metodología, la cual expone el flujo de trabajo empleado desde la recolección de los datos, el procesamiento del modelado BIM con su optimización y generación de modelado analítico, hasta las simulaciones energéticas a través de software al alcance sobre edificios de arquitectura tradicional, con el fin de generar un protocolo de aplicación a más ejemplares con características similares.

La segunda fase, en los resultados que muestra la aplicación del flujo de trabajo expuesto en la primera fase sobre tres casos de estudio seleccionados (Casa de pescadores ubicada en Herrera de Alcántara, CEIP General Navarro ubicado en Badajoz y el Palacio Carvajal ubicado en Cáceres), junto con sus observaciones y recomendaciones de mejora en la aplicación de futuros edificios con características de arquitectura tradicional a seleccionar.

Este entregable, por tanto, consolida los esfuerzos realizados en la acción A.2.3, proporcionando una guía metodológica que no solo documenta el proceso técnico desarrollado, adicionalmente establece una base sólida para su aplicación en otros contextos de arquitectura tradicional. La integración de tecnologías HBIM (Heritage Building Information Modelling) y BEM (Building Energy Modeling) para generar un protocolo de simulación y diagnóstico sobre el comportamiento energético de edificaciones con características de arquitectura tradicional, permite abordar la toma de decisiones para la rehabilitación de estas desde una perspectiva integral, respetuosa con el patrimonio y alineada con los objetivos de sostenibilidad energética. Así, se contribuye de manera significativa al desarrollo de herramientas y metodologías que faciliten intervenciones eficaces y contextualizadas en entornos construidos tradicionales.

2. Alcance y Objetivos

La Acción A2.3 y el entregable E2.7, se enmarcan en el desarrollo de una guía metodológica para el análisis energético de edificaciones tradicionales mediante flujos de trabajo basados en BIM. La propuesta abarca desde la caracterización no invasiva de elementos constructivos (HBIM) hasta la generación de modelos analíticos energéticos y la formulación de escenarios de mejora (BEM). El enfoque integra tecnologías avanzadas de adquisición de datos (fotogrametría, termografía, georradar, imágenes hiperespectrales, redes neuronales, entre otras) con herramientas BIM y motores de simulación energética, aplicados a edificaciones existentes con valor patrimonial. Además, se contempla la participación de usuarios y propietarios en la toma de datos, así como la elaboración de un pasaporte energético que facilite la toma de decisiones en procesos de rehabilitación.

2.1. Objetivo General

Desarrollar una guía metodológica integral para el análisis energético de edificaciones tradicionales, basada en un flujo de trabajo BIM/HBIM/BEM, que permita levantar, modelar, optimizar y simular el comportamiento energético de los edificios con este tipo de arquitectura, y que permita en una siguiente etapa proponer estrategias de mejora sostenibles y escalables junto con su replicabilidad.

i) Objetivos específicos

- Proponer un protocolo de captura de datos geométricos y constructivos mediante tecnologías no invasivas, como escáner láser 3D, fotogrametría y sensores complementarios, para generar nubes de puntos de alta precisión.
- Desarrollar modelos HBIM enfocados al desarrollo geométrico de los mismos
- Caracterizar y optimizar los modelos HBIM con las bibliotecas de materiales BIM desarrollados en actividades anteriores que aporte un LOIN mayor al modelo principal.
- Generar modelos analíticos (BEM) a partir de los modelos optimizados HBIM,
- Simular por medio del motor Energy Plus con software al alcance, el comportamiento energético y térmico de los edificios y generar documentación correspondiente

3. Metodología

La presente guía metodológica se desarrolla a partir de un flujo de trabajo estructurado para el análisis energético de edificaciones tradicionales mediante la integración de modelos HBIM con herramientas de simulación energética BEM. Esta metodología se aplica a tres casos de estudio representativos de la región de Extremadura: el Palacio Carvajal en Cáceres, una casa de pescadores en Herrera de Alcántara y el Colegio General Navarro en Badajoz. Estas construcciones, de tipologías y escalas diversas, permiten validar la versatilidad del enfoque propuesto, tanto por sus usos como por su extensión y complejidad.

El flujo de trabajo mencionado se desarrolla en dos fases principales. La primera denominada HBIM: Métodos de caracterización en elementos constructivos, a cargo del Instituto Tecnológico de Rocas Ornamentales y Materiales de Construcción (INTROMAC) donde se realiza el proceso desde el levantamiento de datos en campo, seguido del procesamiento y modelado geométrico hasta la entrega del modelo HBIM como se muestra en la Figura 1.

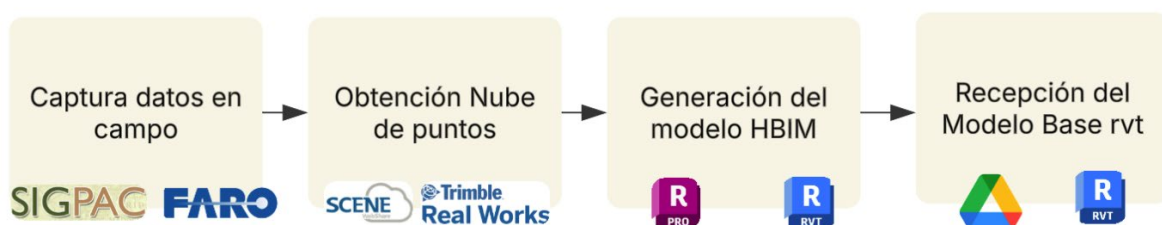


Figura 1. Fase 1: HBIM. Métodos de caracterización en elementos constructivos. Proceso de levantamiento de datos y generación de modelo

La segunda fase llamada BEM: Modelo analítico, a cargo de la Universidad de Extremadura, desarrolla el proceso desde la optimización del modelo HBIM recibido para su adaptación hasta la aplicación de simulaciones de eficiencia energética y extracción de informes por las herramientas BIM al alcance, como se muestra en la Figura 2.

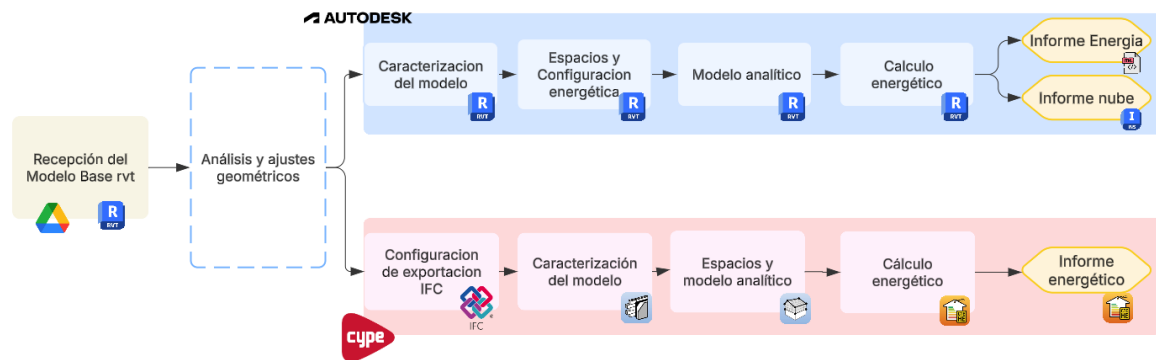


Figura 2. Fase 2 BEM: Modelo analítico Proceso de análisis, configuración y simulación energética del modelo HBIM

3.1. Fase 1 HBIM: Métodos de caracterización en elementos constructivos. (Heritage Building Information Modeling)

La documentación geométrica constituye una herramienta fundamental en los procesos de catalogación y análisis del patrimonio construido. Para obtener resultados precisos y representativos de la realidad arquitectónica, es imprescindible realizar un levantamiento detallado de los elementos que conforman el objeto de estudio. Este registro no solo permite caracterizar fielmente la geometría del edificio, sino también identificar componentes que puedan influir en su comportamiento energético, facilitando así su evaluación y mejora.

La documentación del patrimonio cultural va más allá de la toma de datos in situ., también Incluye el procesamiento, estructuración y archivo de la información necesaria para representar con exactitud la forma, volumen y dimensiones del bien en un momento determinado de su historia. Ante la creciente demanda de rapidez y precisión en estos procesos, se ha consolidado el uso de tecnologías avanzadas como los métodos topográficos, la fotogrametría digital y la captura de datos mediante escáner láser 3D.

Aunque tradicionalmente los levantamientos se han orientado a la generación de planos en 2D (plantas, alzados, secciones), la tendencia actual exige modelos tridimensionales que representen tanto la geometría como el aspecto superficial del edificio. En este contexto, la fotogrametría y la captura de nubes de puntos mediante

escáner láser terrestre han adquirido un papel central, siendo esta última la técnica empleada en este proyecto y que permiten desarrollar esta guía metodológica.

El trabajo desarrollado se enfoca, por un lado, en el registro y procesamiento de datos para la obtención de nubes de puntos, y por otro, en la reconstrucción tridimensional de los edificios patrimoniales. Para ello, se han combinado los datos obtenidos con metodologías complementarias, generando modelos digitales en Revit que actúan como representaciones fieles —a modo de maqueta o croquis digital— de las edificaciones estudiadas.

Con el objetivo de mostrar y generar la implementación del proceso, esta guía metodológica presenta de forma detallada cada uno de los pasos desarrollados durante la fase HBIM. Desde el levantamiento de datos en campo hasta la generación del modelo digital, a continuación, se describen las técnicas empleadas, los criterios de modelado y las herramientas utilizadas en esta primera fase:

i) Captura de datos en campo

Antes de iniciar los trabajos de campo, es fundamental realizar una planificación detallada desde oficina técnica. Esta etapa previa permite anticipar posibles dificultades y asegurar que no se omitan aspectos críticos que puedan comprometer la calidad del levantamiento. El primer paso consiste en definir con claridad los objetivos del trabajo y seleccionar los medios técnicos más adecuados. Para ello, se analizan ortofotos del SIGPAC, planos de planta del edificio, imágenes satelitales de Google Earth y otros documentos disponibles en línea. A partir de este análisis, se determina que el equipo más apropiado para la captura de datos es el escáner láser FARO Focus S70, y que el procesamiento de los escaneos se realizará mediante el software SCENE, con el objetivo de generar nubes de puntos precisas.

La elección de la tecnología de escaneo láser responde a su capacidad para acelerar la adquisición de datos espaciales en edificaciones existentes o superficies complejas, garantizando alta precisión y fiabilidad. Existen dos modalidades principales de escaneo: aéreo y terrestre, cada una con características específicas de alcance y resolución. En este proyecto se emplea la tecnología Terrestrial Laser Scanning (TLS),

que funciona mediante la emisión de haces láser que rebotan en las superficies del entorno, permitiendo obtener mediciones milimétricas de distancias y ángulos. El resultado es una nube de puntos tridimensional con coordenadas geométricas (X, Y, Z), generada en un corto periodo de tiempo y enriquecida con información métrica y radiométrica.

Durante la fase de planificación también se estima el número de estaciones de escaneo necesarias, tanto en el interior como en el exterior del edificio. Esta estimación es aproximada, ya que puede verse modificada por condiciones imprevistas en el sitio, como accesos restringidos, obstáculos no visibles en imágenes previas o la necesidad de repetir escaneos para mejorar la cobertura de ciertas zonas. Asimismo, se consideran variables clave como la distancia entre estaciones, que influye en la densidad de puntos capturados, y la posición del sol, que puede afectar la calidad de los escaneos exteriores. Estos factores, junto con el número de estaciones, permiten calcular el tiempo estimado de trabajo en campo. Finalmente, se tienen en cuenta tres aspectos logísticos esenciales:

- Condiciones meteorológicas, ya que la lluvia impide realizar escaneos exteriores.
- Permisos y horarios de acceso a los edificios.
- Afluencia turística, para evitar interferencias durante las capturas.

Durante el desarrollo de los trabajos de campo, es importante realizar una visualización preliminar de los escaneos capturados para verificar en tiempo real la calidad y cobertura de los datos obtenidos. Esta revisión temprana permite detectar posibles errores o zonas mal registradas, evitando así contratiempos posteriores durante el procesamiento en oficina.

Para esta tarea se utilizó el software FARO SCENE LT, que permite visualizar las capturas en formato panorámico, representando la intensidad de los puntos escaneados con una apariencia similar a una fotografía en color. Además, la herramienta ofrece la posibilidad de explorar el entorno en tres dimensiones, facilitando la evaluación de la calidad del escaneo y la correcta superposición entre estaciones como se muestra en la Figura 3 y en la Figura 4.



Figura 3. panorámica de muestra en zona interior del edificio de arquitectura tradicional Palacio Carvajal ubicado en Cáceres. Fuente: Anexo 1 levantamiento aplicando láser escáner 3d para generación de nube de puntos y modelado BIM.



Figura 4. panorámica de muestra en zona exterior del edificio de arquitectura tradicional Palacio Carvajal ubicado en Cáceres. Fuente: Anexo 1 levantamiento aplicando láser escáner 3d para generación de nube de puntos y modelado BIM

ii) Obtención de nube de puntos

La documentación de los casos de estudio de arquitectura tradicional seleccionados requiere la generación de un modelo tridimensional lo más completo y detallado posible. Este modelo se obtiene mediante escaneo láser terrestre, utilizando esferas de referencia que permiten al software alinear correctamente los distintos escaneos. En este caso, se emplearon 16 esferas de dos tamaños distintos, siendo las de mayor tamaño más visibles a largas distancias. Para una alineación óptima, cada escaneo debe contener al menos cuatro esferas comunes con los escaneos adyacentes.

La generación de la nube de puntos requiere tanto un hardware como un software especializado. En este proyecto se utilizó un equipo con las especificaciones expuestas en la Tabla 1.

Tabla 1. Características de equipo donde se procesa la información para la generación de nube de puntos.

ESPECIFICACION	DESCRIPCION
Procesador	Intel i7-2600
Memoria	RAM: 8 GB
Tarjeta gráfica	NVIDIA GeForce GTX 1050 Ti
Almacenamiento	Disco duro de 1 TB y SSD de 128 GB

Los softwares empleados fueron:

- FARO SCENE LT®
- Trimble RealWorks®

Este apartado se desarrolla en varias fases, descritas a continuación:

- **Creación del proyecto:** Se inicia un nuevo proyecto en SCENE y se importan todos los escaneos realizados en campo.
- **Preprocesado automático:** El software detecta automáticamente las esferas de referencia. Aunque este proceso es altamente preciso, se realiza una revisión manual para verificar que no haya detecciones erróneas o esferas omitidas.
- **Alineación automática:** El programa calcula la posición relativa de cada escaneo en función de las distancias, diámetros y ángulos entre esferas, generando una nube de puntos unificada.

- **Verificación de error de cierre:** El sistema informa del error de cierre tras la alineación. Se acepta un margen máximo de 2 cm. Si se supera este umbral, se deben revisar las esferas implicadas y, si es necesario, emplear métodos alternativos de enlace.

Una vez alineados los escaneos, se genera una nube de puntos única. Para optimizar su manejo, se aplica una herramienta de simplificación que reduce la densidad y elimina puntos redundantes. Esta nube puede ser tratada y procesada con la ayuda de software como CloudCompare, RealWorks o el propio SCENE, obteniendo una versión más ligera y manejable.

Finalmente, la nube de puntos se georreferencia utilizando coordenadas obtenidas mediante GPS. Esto permite ubicar el modelo digital en su posición real, con coordenadas y cotas precisas. A partir de esta nube georreferenciada se pueden generar ortofotos, secciones y alzados para su análisis y documentación.

Por medio de la Figura 5 se muestra un ejemplo de una nube de puntos obtenida aplicando el proceso expuesto:



Figura 5. Nube de puntos de muestra al exterior del edificio de arquitectura tradicional Palacio Carvajal ubicado en Cáceres. Fuente: Anexo 1 levantamiento aplicando láser escáner 3d para generación de nube de puntos y modelado BIM

iii) Generación del modelo HBIM

(1) BIM

El término BIM (Building Information Modeling) hace referencia tanto a una metodología de trabajo colaborativa como al conjunto de herramientas digitales orientadas a la creación, gestión y mantenimiento de modelos tridimensionales enriquecidos con información técnica. Estos modelos integran datos geométricos, físicos y funcionales de un edificio o conjunto de edificaciones, permitiendo su gestión a lo largo de todo el ciclo de vida.

En el contexto del patrimonio cultural, el uso de BIM permite intervenir con un conocimiento riguroso del bien antes de tomar decisiones. Esta aproximación exige una fase previa de investigación que facilite un diagnóstico preciso y soporte cualquier propuesta de intervención. El modelado BIM, por tanto, no solo representa la geometría del edificio, sino que también actúa como una base de datos estructurada que centraliza toda la información relevante. Entre las principales ventajas del entorno BIM destacan:

- Interoperabilidad en tiempo real entre plataformas y agentes.
- Optimización de los flujos de trabajo y coordinación multidisciplinar.
- Mayor precisión en mediciones, presupuestos y planificación.
- Mejora en la visualización, análisis y difusión del patrimonio.

El nivel de detalle alcanzado en el modelo se expresa mediante el Level of Development (LOD), que define el grado de precisión geométrica y de información incorporada. Dependiendo del objetivo del proyecto, se puede trabajar con distintos niveles como LOD 200, LOD 300, entre otros.

(2) Aplicación de HBIM en arquitectura tradicional

El modelado de edificaciones patrimoniales en software como Autodesk Revit presenta desafíos particulares, debido a la complejidad geométrica y a la falta de simetría o regularidad en muchos elementos. Paredes inclinadas, muros irregulares, zonas inaccesibles o la ausencia de información sobre cimentaciones son factores que dificultan la representación fiel del objeto real. En estos casos, la nube de puntos generada mediante escaneo láser se convierte en una herramienta esencial para garantizar la precisión del modelo.

El objetivo del modelado en Revit no se basa únicamente en la representación visual, también permite la creación de un modelo paramétrico que permita analizar, planificar y tomar decisiones informadas sobre intervenciones de conservación, restauración o rehabilitación.

En las últimas décadas, el interés creciente por la conservación del patrimonio ha impulsado el desarrollo de metodologías digitales que permiten documentar, analizar y difundir estos bienes de forma más eficiente. En este contexto, surge el concepto de H-BIM (Heritage Building Information Modeling), que adapta los principios del BIM a las particularidades del patrimonio histórico. Esta metodología busca no solo representar el estado actual del bien, sino también comprender su evolución a lo largo del tiempo, integrando transformaciones históricas y constructivas.

(3) Scan to BIM

La metodología Scan to BIM consiste en la generación de un modelo digital as-built a partir de datos capturados mediante escaneo láser 3D. Este enfoque permite recrear con alta fidelidad la geometría y características de un elemento construido, integrando información detallada en un entorno digital. A partir de la nube de puntos obtenida, se desarrolla un modelo BIM que refleja con precisión el estado actual del edificio, ejemplo de ello como se muestra en la, facilitando su análisis, gestión y conservación como se puede observar en la Figura 6 .

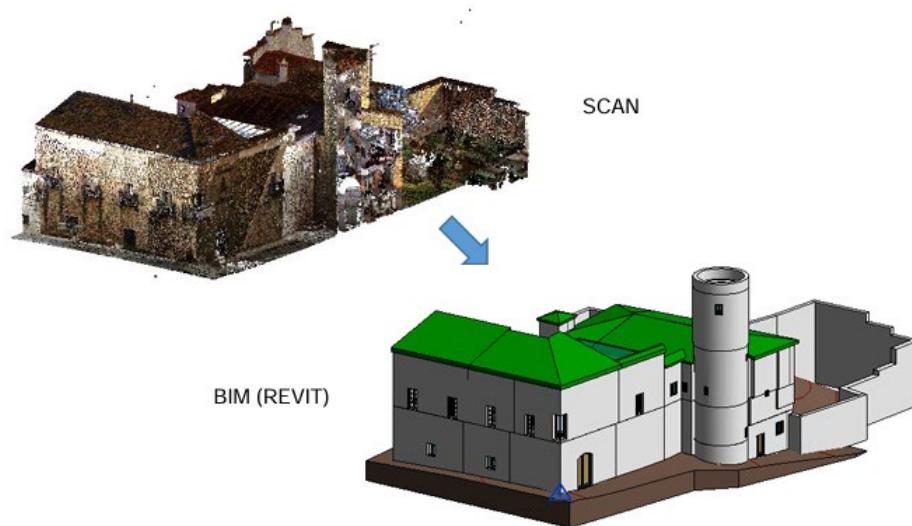


Figura 6. Esquema de muestra de la metodología Scan To BIM en el edificio de arquitectura tradicional Palacio Carvajal ubicado en Cáceres. Fuente: Anexo 1 levantamiento aplicando láser escáner 3d para generación de nube de puntos y modelado BIM

(4) Obtención del modelo HBIM

Una vez consolidada la nube de puntos única, esta se importa al software Autodesk Revit ® para iniciar el proceso de modelado. La estrategia más eficiente consiste en trabajar por sectores o zonas, lo cual permite una mayor organización y control del modelado. Para ello, se utiliza Autodesk ReCap para dividir la nube en fragmentos por áreas específicas.

El primer paso en Revit es definir los niveles de referencia más relevantes, como la altura de muros, arranques de arcos, cubiertas o bóvedas. Esta definición previa evita tener que establecer manualmente la altura de cada elemento, optimizando el proceso. Con una vista en planta y cortes horizontales y verticales de la nube de puntos (habitualmente a una altura de 1,50 m) se procede al modelado de los muros. Para facilitar esta tarea, se generan secciones auxiliares que permiten visualizar con mayor claridad la geometría. Dado que los muros no contienen puntos en su interior, el corte revela un espacio vacío entre las dos caras, lo que permite determinar su espesor, que suele ser variable (Figura 7). En estos cortes también se evidencian imperfecciones como la falta de perpendicularidad o la discontinuidad en secciones, características comunes en edificaciones históricas.



Figura 7. Corte en planta de distribución edificio palacio Carvajal a unir las nubes de puntos generadas. Fuente: Anexo 1 levantamiento aplicando láser escáner 3d para generación de nube de puntos y modelado BIM

Una vez modelados los muros, es fundamental verificar que el modelo generado se ajuste a la nube de puntos, asegurando que ambos elementos sean coplanarios y estén correctamente alineados, como se muestra en el ejemplo de la Figura 8.

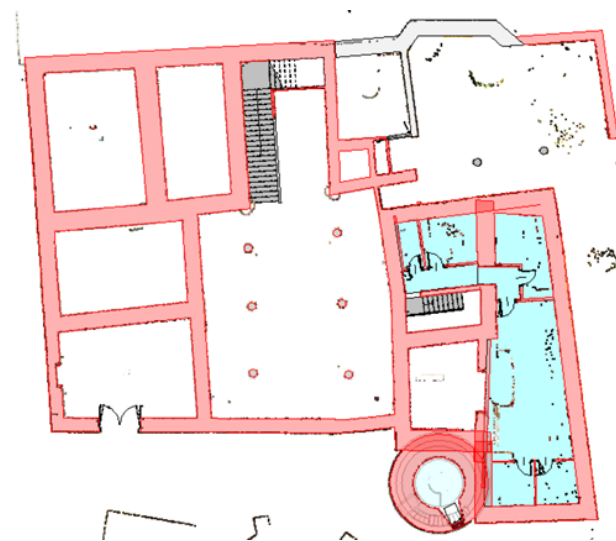


Figura 8. Verificación en planta de espesor de muros modelados vs levantamiento de nubes de puntos. Fuente: Anexo 1 levantamiento aplicando láser escáner 3d para generación de nube de puntos y modelado BIM

En los cortes transversales se puede observar cómo el modelo 3D y la nube de puntos se intercalan, lo que indica una correcta correspondencia entre ambos. Para elementos más complejos como columnas, ventanas o detalles ornamentales, se emplea la

herramienta "crear masa in situ", ajustando el nivel de detalle según la precisión requerida, como se muestra en la Figura 9.

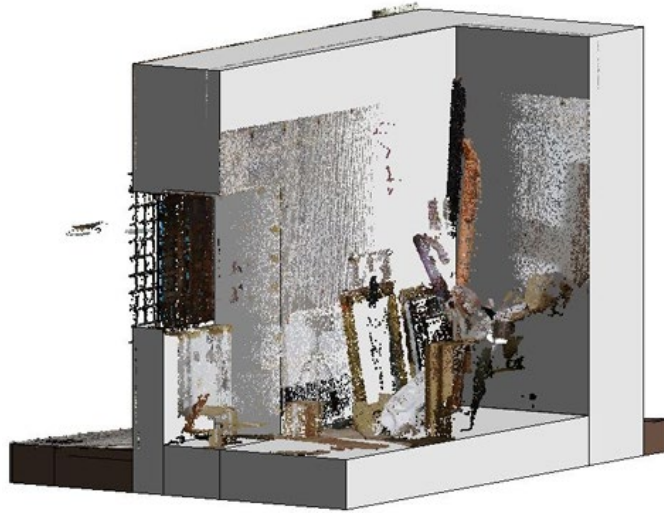


Figura 9. Sección múltiple para verificación de espesor de muros, Palacio Carvajal. Fuente: Anexo 1 levantamiento aplicando láser escáner 3d para generación de nube de puntos y modelado BIM

Una vez finalizado el modelado, se realiza una evaluación general del modelo, valorando la fidelidad geométrica, la coherencia de este y su utilidad para futuras intervenciones o análisis. Ejemplo de ello se presenta en la Figura 10.

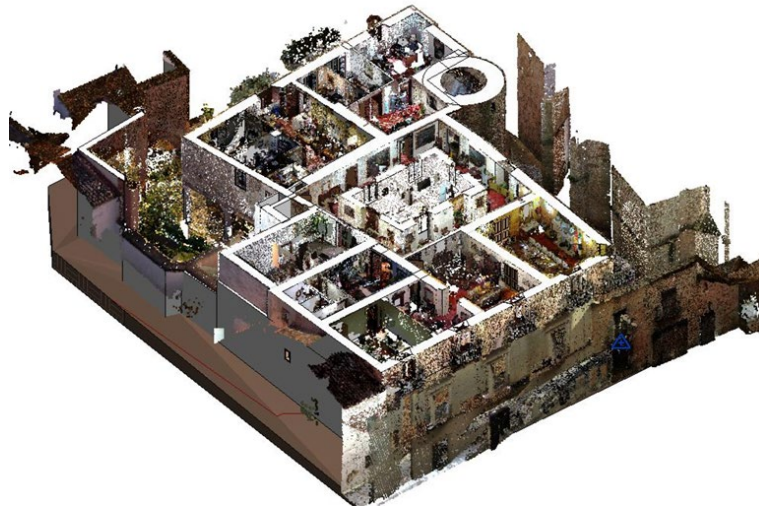


Figura 10. Transposición modelo completo con nube de puntos levantada, Palacio Carvajal. Fuente: Anexo 1 levantamiento aplicando láser escáner 3d para generación de nube de puntos y modelado BIM

3.2. Fase 2 BEM: Modelo analítico (Building Energy Modeling)

Una vez generado el modelo HBIM con la información geométrica y con la revisión en paralelo de la nube de puntos, se da paso a la segunda fase del flujo de trabajo, que se muestra al inicio de la metodología, en la Figura 2: La configuración del modelo y el análisis energético mediante herramientas BEM (Building Energy Modeling). Esta etapa tiene como finalidad transformar el modelo geométrico en un modelo analítico capaz de simular el comportamiento energético del edificio contemplando las condiciones constructivas reales de su envolvente.

Para ello, se optimiza geométricamente el modelo HBIM, se caracterizan los elementos que lo componen por medio de la biblioteca de materiales y sistemas constructivos generada en la Acción 1.2, se definen los espacios térmicos sobre los modelos, se asignan propiedades térmicas a los elementos constructivos y se incorporan datos básicos de uso y ocupación. A partir de esta configuración, se ejecutan simulaciones energéticas que cuentan con el motor EnergyPlus, lo que permite evaluar el rendimiento energético del edificio y establecer una base sólida para la propuesta de estrategias de mejora. Esta fase se aborda desde dos softwares que tenemos al alcance del equipo, como los son Autodesk Revit® y CYPE®, los cuales se describen a continuación.

i) Recepción del modelo

Para iniciar el proceso, se plantea la plataforma Microsoft SharePoint como entorno común de datos (CDE) para el intercambio de información. A través de esta se realiza la recepción de los modelos HBIM de edificios de arquitectura tradicional histórica, como se muestra en la Figura 11.

Documentos > Modelos 3D - Intromac

 Nombre ▾		Modificado ▾	Modificado por ▾
 CASA PESCADORES		26 de marzo	Héctor Jorge Vegas
 COLEGIO GENERAL NAVARRO		26 de marzo	Héctor Jorge Vegas
 PALACIO CARVAJAL		26 de marzo	Héctor Jorge Vegas

Figura 11. Ruta en Shared Point de las carpetas con contenido HBIM entregados a la Universidad de Extremadura

En primer lugar, se reciben los planos del edificio junto con una planta general de emplazamiento, siendo útil para comprender la relación del edificio con su entorno inmediato. Ejemplo de ello se muestra en la estructura de carpetas de la Figura 12.

Luego, se incorpora una nube de puntos obtenida mediante escaneo láser 3D, procesada con el software Autodesk Recap®, y organizada en la carpeta correspondiente dentro de SharePoint, como se observa en la Figura 12.

Documentos > Modelos 3D - Intromac > CASA PESCADORES

 Nombre ▾		Modificado ▾	Modificado por ▾
 01_PLANOS		26 de marzo	Héctor Jorge Vegas
 02_RECAP		26 de marzo	Héctor Jorge Vegas
 03_REVIT		26 de marzo	Héctor Jorge Vegas

Figura 12 Ruta en Shared Point del contenido por carpeta para cada modelo HBIM

Finalmente, se recibe un modelo HBIM procesado en Autodesk Revit®, que proporciona una representación geométrica del edificio integrando la información arquitectónica recogida en sitio, ejemplo de fichero se puede observar en la Figura 13. Es importante señalar que este modelo no incluye información detallada sobre materiales, sistemas constructivos ni datos energéticos.

Documentos > Modelos 3D - Intromac > CASA PESCADORES > 03_REVIT			
 Nombre ▾		Modificado ▾	Modificado por ▾
 Casa Pescadores_Herrera de Alcántara_v02.rvt		26 de marzo	Héctor Jorge Vegas

Figura 13. Ruta en Shared Point del modelo HBIM en Autodesk Revit, ejemplo Casa de Pescadores ubicada en Herrera de Alcántara

En conjunto, estos elementos permiten una comprensión integral de los modelos a procesar, facilitando su análisis para su posterior optimización. Las técnicas de modelado BIM, escaneo láser 3D y los planos 2D se combinan para ofrecer una base sólida de datos detallados que respaldan cualquier proyecto de conservación o intervención. Estas técnicas aplicadas en el entregable garantizan una representación fiel del edificio y su entorno, asegurando que las decisiones tomadas se basen en información precisa y completa.

ii) Análisis y ajustes geométricos

El análisis del modelo tridimensional recibido, junto con la nube de puntos, los planos del edificio y las fotografías de soporte son fundamentales para identificar las intervenciones necesarias y planificar una hoja de ruta efectiva para la intervención. En primer lugar, se debe realizar una evaluación exhaustiva del modelo Revit para detectar cualquier discrepancia o carencia en la representación gráfica del edificio. Dado que el modelo no incluye información sobre materiales, sistemas constructivos ni datos energéticos, es esencial complementar esta información por medio de la biblioteca generada en la actividad 1.2.

En segundo lugar, la nube de puntos, obtenida mediante escaneo láser 3D, debe ser utilizada para verificar la precisión geométrica del modelo tridimensional. Esta verificación garantiza que las dimensiones y formas del edificio en el modelo sean exactas en comparación con la realidad física. Cualquier discrepancia identificada debe ser corregida en el modelo BIM caracterizado para asegurar una representación fiel del edificio, como se muestra en la Figura 14.

En tercer lugar, los planos bidimensionales, que incluyen las plantas de la vivienda, alzados y la planta general de emplazamiento, proporcionan un contexto espacial adicional. Estos planos deben ser analizados para identificar posibles inconsistencias con el modelo tridimensional y para verificar la coherencia de la información. Además, estos complementos son útiles para comprender la relación del edificio con su entorno inmediato y planificar intervenciones de manera que respeten su contexto histórico y arquitectónico.

Por último, pero no menos importante, las imágenes recibidas, ya que también juegan un papel crucial en este análisis, por que proporcionan una referencia visual que ayuda a tomar decisiones de ajuste sobre el modelo, permitiendo una mejor comprensión de detalles específicos que pueden no estar completamente capturados en el modelo tridimensional o la nube de puntos.



Figura 14. Superposición de nube de puntos con modelo tridimensional en Revit para análisis geométrico

Con base en este análisis, se plantean los ajustes correspondientes a la gestión del modelo y la geometría que se describen en dos secciones:

- *Ajuste de nomenclatura del modelo:* Se toma como base lo descrito en la ISO 19650, donde se busca estandarizar la nomenclatura de todos los archivos para asegurar una integración y manejo eficiente dentro del proceso de metodología BIM. Este paso es crucial para asegurar el manejo eficiente de la información dentro del proceso de metodología BIM, permitiendo una correcta identificación y organización de los elementos del proyecto.

El uso de una estructura fija de codificación y de metadatos para la identificación de los diferentes documentos en un proyecto aporta los siguientes beneficios:

- Disponer de un identificador único para cada documento.
- Búsquedas de información más eficientes.
- Mejora el intercambio de información entre agentes a lo largo de todo el ciclo de vida del activo.

Esta codificación acordada debe formar parte de los diferentes manuales que rigen el modo de trabajo en un proyecto o en una organización, como puede ser un Pliego de Prescripciones Técnicas, un Plan de Ejecución BIM o un Manual BIM.

Para este proyecto se adopta la siguiente estructura:

Tabla 2. Estructura de nomenclatura de archivos

CAMPO	DEFINICIÓN	REQUERIMIENTO	LONGITUD	EJE.
Proyecto	Identificador del expediente, contrato o proyecto	Requerido	2-12	FEEnERT
Creador	Grupo responsable del documento	Requerido	3-6	UEx
Caso de estudio	Nombre del caso de estudio	Requerido	2-3	CPHA
Nivel o estado	Estado dentro de un Volumen o Sistema	Requerido	3	OPT
Número	Enumerador de partes	Requerido	3	02
Tipo de Documento	Tipología de documento, entregable o auxiliar	Requerido	3	IFC

Cabe añadir que la separación entre espacios esta postulada por medio de guiones medios (-). A continuación, se muestra un ejemplo completo de la estructura planteada. Esta puede incluir espacios adicionales dependiendo de la necesidad a expresar en el fichero.

FEENERT-UEx-CPHA-OPT-01-IFC

- *Corrección de discrepancias:* Consiste en ajustar el modelo BIM geométricamente, para corregir cualquier inexactitud detectada mediante la comparación con la nube de puntos, los planos bidimensionales y los recursos fotográficos.

Una vez estandarizada la nomenclatura, se procede a la corrección de discrepancias en el modelo desarrollado en Autodesk Revit®, este se puede desarrollar dependiendo de la herramienta en la que se quiera continuar el proceso, el primer camino sería ajustarlo directamente en Revit. Este proceso implica revisar y ajustar los empalmes entre elementos, ajuste de elementos anotativos que se vinculen con los elementos gráficos como los niveles, realizando las correcciones geométricas necesarias para el modelo y su futuro análisis. Además, este ajuste se fundamenta en la simulación de los métodos constructivos utilizados en la época en que se data la edificación. Este proceso se complementa con la etapa de análisis de composición constructiva, donde se examina la forma y secuencia de los elementos constructivos y las prácticas recomendadas de modelado para este tipo de edificaciones, en donde los muros siempre deben ir sobre los forjados sin generar solapes entre los elementos. Ejemplo de ello puede observarse en la Figura 15 , la Figura 16 y la Figura 17.

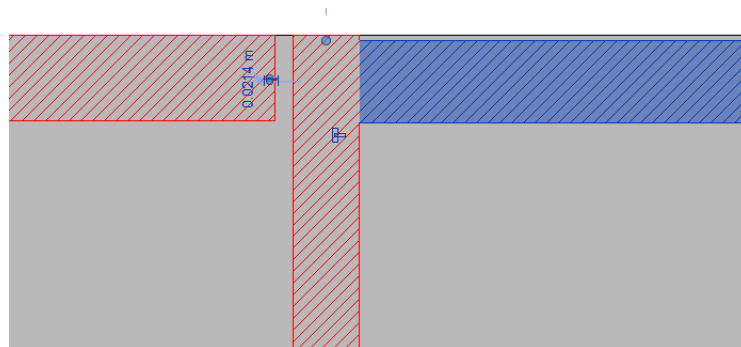


Figura 15. Ajuste geométrico de unión en planta entre muros

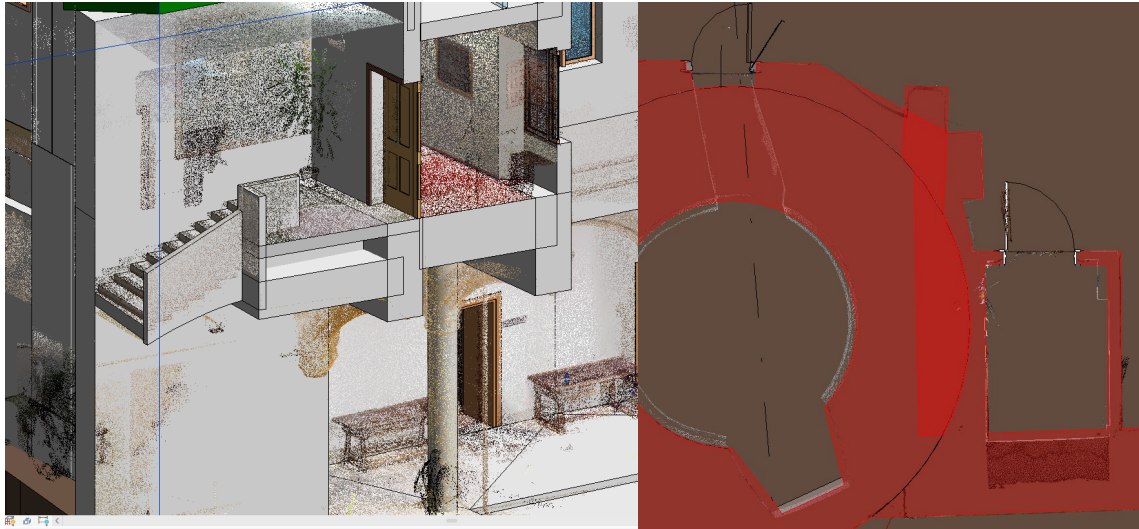
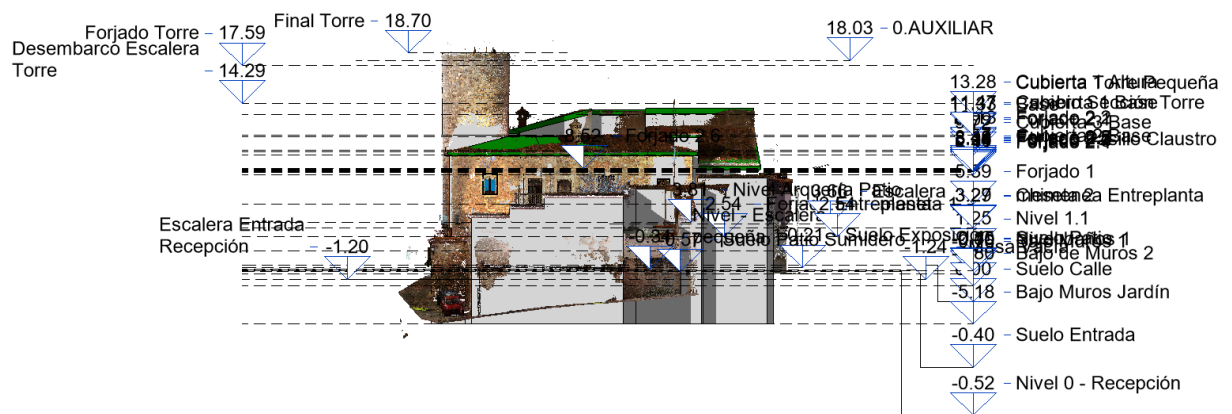


Figura 16. Izquierda: Ajuste en alzado de unión entre muros y forjados. Derecha: Ajuste en planta de unión entre muros



Como el modelo BIM se genera en Revit, se parte de esta herramienta para exportar el modelo IFC y que luego pueda ser utilizado en los softwares correspondientes de CYPE, como se muestra en la Figura 18. Así mismo, se cumplen una serie de pasos para desarrollar previamente antes de la exportación como se explica a continuación:



Figura 18. Proceso de exportación modelo IFC desde Revit

- **Seleccionar el formato IFC:** Este paso está basado en el IFC4 por defecto en Revit, el cual tiene como prioridad la disciplina de *arquitectura*. De allí se genera una sesión personalizada denominada: FeeNert-IFC4 Reference View
- **Ajuste de parámetros:** teniendo en cuenta que la exportación sea lo más fiable a lo modelado con sus “conjuntos de propiedades”.
- **Exportación y verificación del modelo IFC:** para confirmar que la información y geometría se exporten correctamente.

Por medio de la Figura 19, se muestra la configuración realizada antes de la exportación del modelo a IFC.

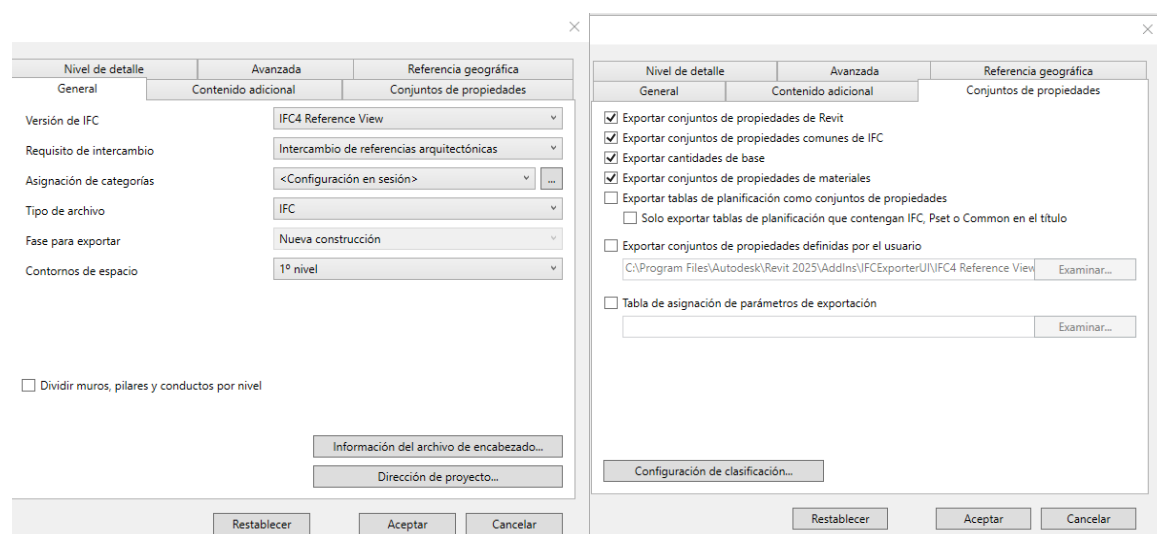


Figura 19. Interfaz de Revit donde se muestra el ajuste de propiedades de exportación a IFC

De esta manera, este modelo en IFC es el insumo principal para desarrollar la configuración espacial y energética en el camino de Cype que se ira desarrollando a lo largo del documento.

iv) Caracterización del modelo

Para este apartado, se asigna a cada elemento que compone el modelo geométrico (muros, cubierta, soleras y forjados) la caracterización de los sistemas constructivos que lo conforman, estos contienen materiales previamente desarrollados en la biblioteca de Revit-FEEenERT que se importa y que provienen de la actividad A.1.2 “Caracterización energética de sistemas constructivos propios de la arquitectura tradicional”. Esta biblioteca incluye información detallada sobre las propiedades térmicas y físicas de los materiales tanto en Revit como en Cype, lo que permite una caracterización precisa de cada componente del edificio.

Esta caracterización puede desarrollarse en cualquier herramienta BIM que se haya elegido, para este caso el flujo ideal se aplica en dos caminos:

- el primero en Autodesk Revit ® directamente donde se aprovecha lo que está previamente modelado y se caracterizan los materiales. Ejemplo de ello en la Figura 20. Por medio de esta herramienta se exporta un IFC que permite la interoperabilidad con otro software en caso de que se requiera trabajar paralelamente.

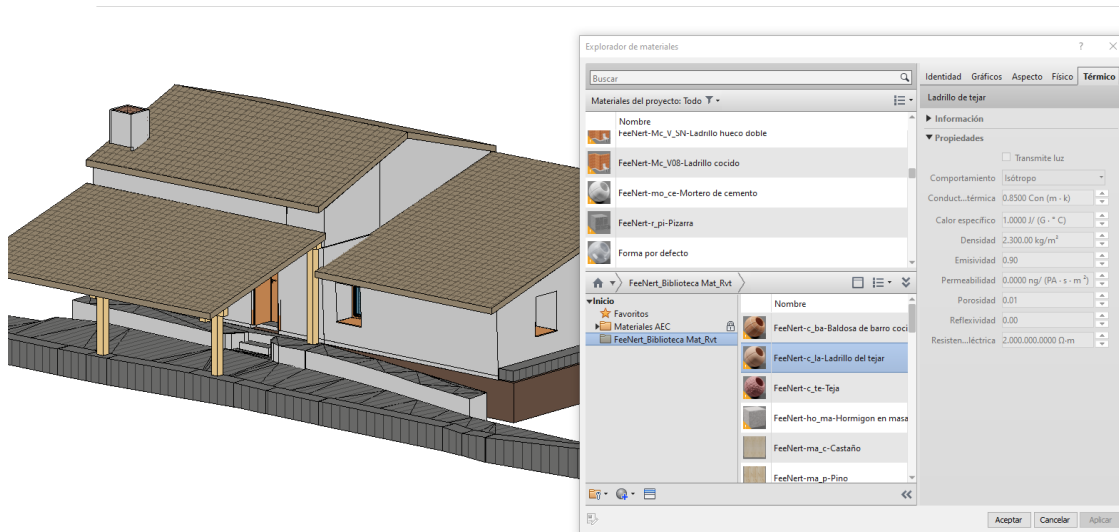


Figura 20. Interfaz en Revit del explorador de materiales donde se incorporan los materiales y sistemas constructivos al modelo geométrico. Ejemplo: Casa de Pescadores en Herrera de Alcántara

- El segundo camino es CYPE. Para desarrollar este camino, es importante que previamente se exporte un modelo IFC desde Revit, para rescatar la geometría del edificio. De esta manera y por medio del software Construction System se desarrolla la caracterización de sistemas constructivos y materiales como se muestra en la Figura 21. Para en este paso, se emplea la opción de “soluciones constructivas” en donde por cada elemento se asigna una serie de capas que componen el sistema constructivo que se acompaña de la biblioteca de materiales que se desarrolló en la actividad A1.2 mencionada anteriormente.

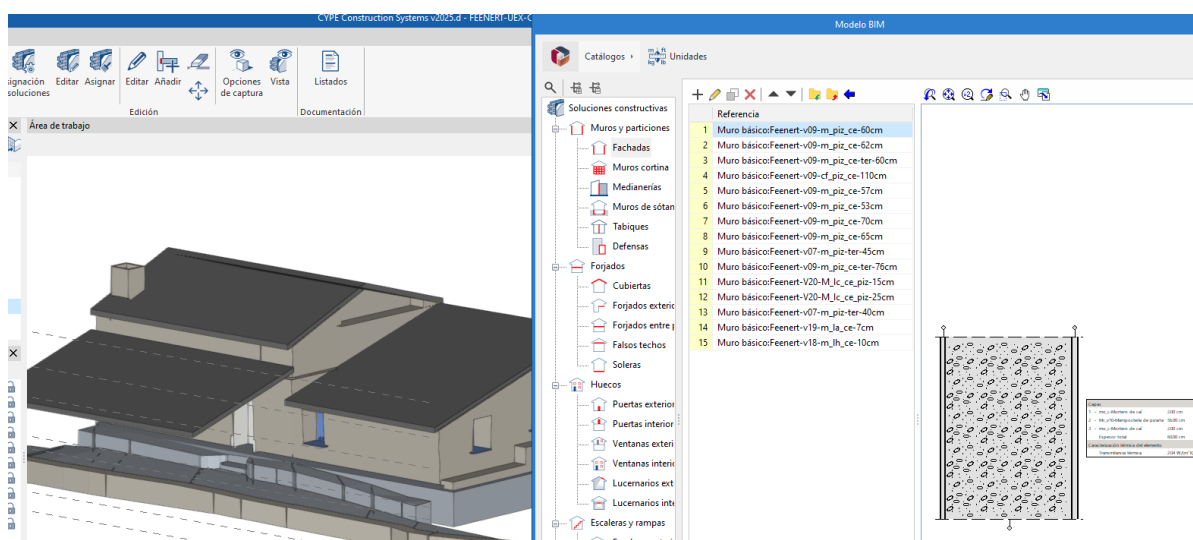


Figura 21. Interfaz en Cype Construction System del modelo BIM en IFC donde se incorporan los materiales y sistemas constructivos al modelo geométrico. Ejemplo: Casa de Pescadores en Herrera de Alcántara

Con esta caracterización, el modelo geométrico se convierte en un modelo BIM, porque no solo incorpora elementos gráficos, sino que contiene información no gráfica sobre estos, lo que permite gestionar y continuar el proceso de creación del modelo energético (BEM).

v)Espacios y configuración energética

Para crear un modelo energético (BEM) tanto en Revit como en Cype, es esencial ajustar los espacios y/o habitaciones previamente. Desarrollar este ajuste sobre el modelo BIM, permite describir con mayor exactitud el tipo de uso, la ocupación y el perfil de consumo energético de cada área del edificio, mejorando así la precisión del análisis de rendimiento energético.

Además, al ajustar los espacios, se pueden definir parámetros específicos como el límite superior por espacio y el desfase, lo que ayuda a modelar correctamente las cargas de calefacción y refrigeración en caso de que se requiriera un análisis de consumo o algo más detallado. Esto es importante para evaluar y optimizar la eficiencia energética del edificio, considerando factores como la transferencia de calor, la resistencia térmica y las estrategias de sostenibilidad.

Para este flujo de trabajo, este paso se desarrolla en dos caminos de igual forma que el apartado anterior de caracterización:

- El primero desde Revit, que por medio de las vistas de “planos de planta” y de “alzados y junto la opción “espacios” que se encuentra en la barra de herramientas de “arquitectura”, se detecten los espacios de los cuales está compuesto el modelo. Es importante hacer ajustes manuales de los “espacios” ya que no siempre este reconocimiento es automático, esto debido a la complejidad de cada modelo, las prácticas de modelado desarrolladas desde su concepción y los niveles que contemple el desarrollo de cada espacio, como se muestra en la Figura 22.

Con los espacios definidos, se ajustan las propiedades no graficas de estos, asignando un nombre, tipo de espacio (es decir, habitable o no habitable, oficina o residencia, etc.) y número o código de identificación si es necesario. Así mismo, se etiquetan o se nombra cada estancia para una mejor identificación en las simulaciones y como soporte en la documentación del proyecto.

E.2.7 Guía metodológica para realización de Protocolo de diagnóstico e intervención basadas en rehabilitaciones energéticas en construcciones tradicionales y propuesta de escenarios de mejora (ES/PT)

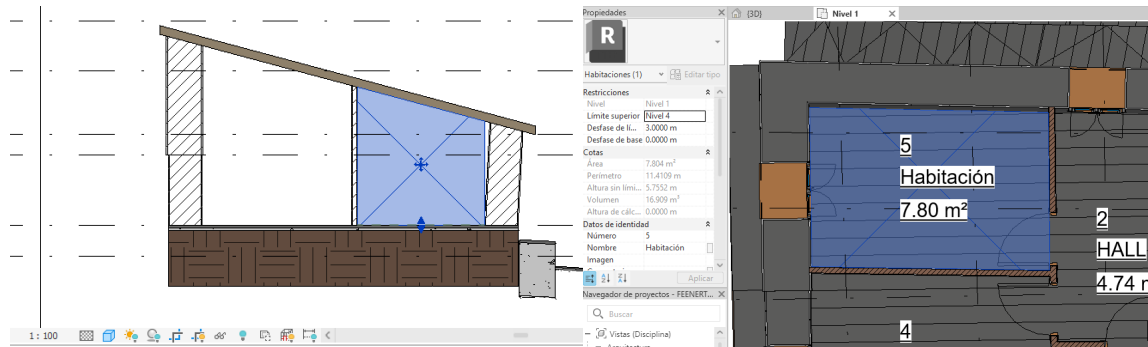


Figura 22. Interfaz en Revit del ajuste de espacios tanto en alzado (izquierda) como en planta (Derecha).
Ejemplo: Casa de Pescadores en Herrera de Alcántara

- El segundo desde Cype, que luego de haber pasado por el software “Construction System” expuesto en el apartado anterior, es exportado al software “Analytical Model”, donde se ajustan las propiedades de “colindancias” y “superficies” de las envolventes del edificio como los son: el terreno, los muros, los forjados y la cubierta , junto con el ajustes de las “plantillas”, donde se refuerza la función de cada elemento, es decir, las características de las envolventes y la función respecto a su ubicación. Ejemplo de ello se muestra en la Figura 23 y la Figura 24.

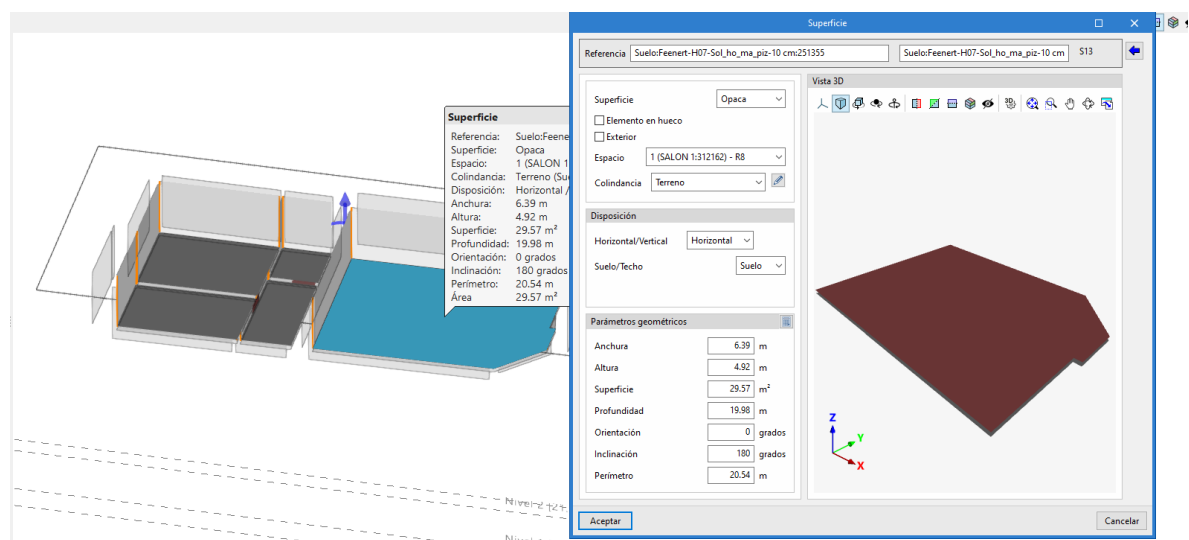


Figura 23. Interfaz en Cype Analytical Model del ajuste de superficies. Ejemplo: Casa de pescadores en Herrera de Alcántara

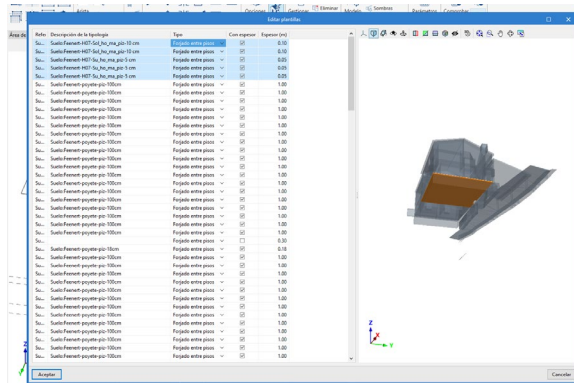


Figura 24. Ajuste de plantillas de envolventes del edificio. Ejemplo: Casa de pescadores en Herrera de Alcántara

vi) Modelo analítico

El modelo analítico, es una representación simplificada y estructurada del modelo BIM de un edificio. A diferencia del modelo arquitectónico, que se enfoca en la geometría y el diseño visual, el modelo analítico se centra en las formas básicas de los espacios que lo componen y en los datos necesarios para realizar cálculos técnicos, como térmicos, acústicos o energéticos. que previamente y durante el proceso de preparación de los modelos se han incorporado.

En este apartado se muestra el proceso de simulación en los dos caminos que se han desarrollado a lo largo del documento:

- El primero desde Revit, donde se requiere tener los espacios definidos y hacer una configuración previa de energía como se muestra en la Figura 25, garantizando que las propiedades térmicas de los materiales se plasmen, y así mismo se pueda crear el modelo analítico. Para ello, se deben usar la opción de “usar habitación o espacios” tanto en la configuración general como avanzada de energía, ya que esta opción permite transmitir esas características adquiridas en la configuración previa por cada espacio que compone el edificio.

E.2.7 Guía metodológica para realización de Protocolo de diagnóstico e intervención basadas en rehabilitaciones energéticas en construcciones tradicionales y propuesta de escenarios de mejora (ES/PT)

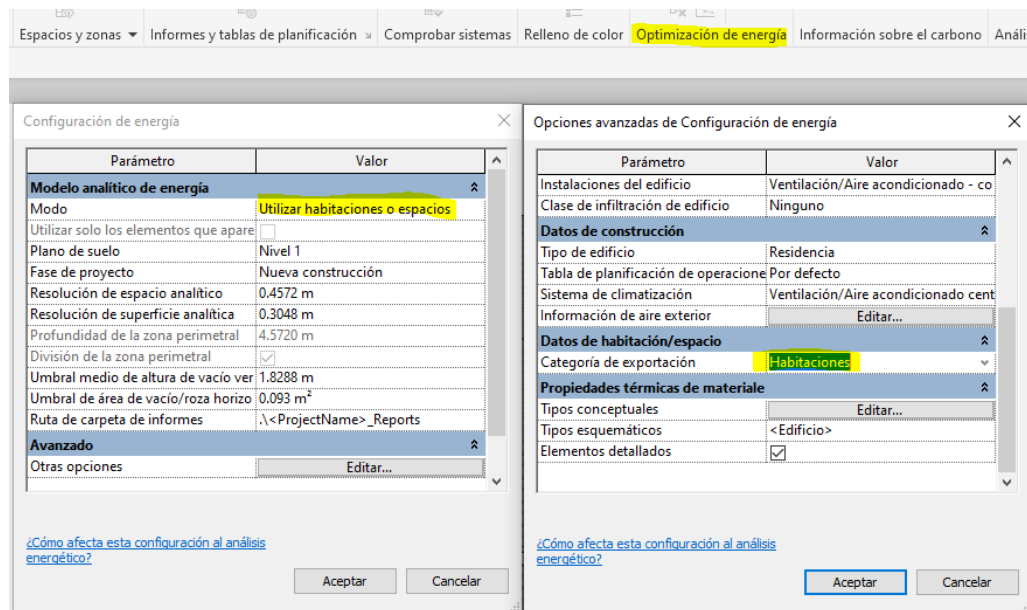


Figura 25. Interfaz de Revit que muestra configuración de energía para generar modelo analítico

De esta manera, el modelo energético se genera resaltándose en un tono Cian, diferente a la geometría original del edificio, proceso que se muestra en la Figura 26 y en la Figura 27.



Figura 26. Interfaz de Revit, con las opciones para generar el modelo analítico por medio de la pestaña "Analizar"

E.2.7 Guía metodológica para realización de Protocolo de diagnóstico e intervención basadas en rehabilitaciones energéticas en construcciones tradicionales y propuesta de escenarios de mejora (ES/PT)

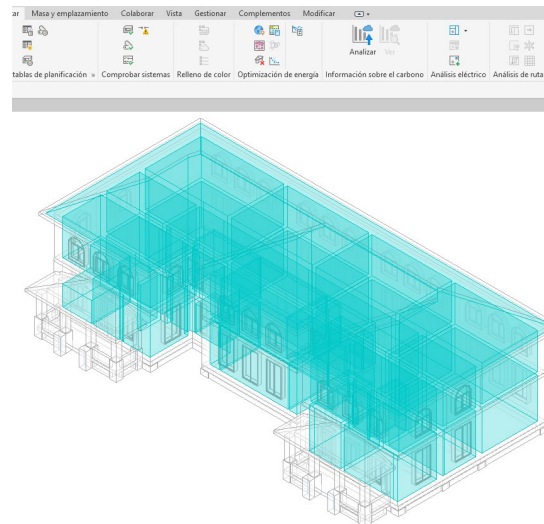


Figura 27. Modelo analítico generado por medio de Revit. Ejemplo: Colegio General Navarro, Badajoz

- El segundo desde Cype, en su software Analytical Model, que se estaba trabajando desde el apartado anterior. Donde luego de validar que las colindancias y superficies estén correctamente asignadas, se genera el modelo analítico teniendo en cuenta las aristas de los espacios y los elementos de sombra ya que estos influyen en el análisis térmico. Por medio de la Figura 28 y la Figura 29 se muestra el proceso de producción del modelo analítico en esta herramienta, para uno de los casos de estudio del proyecto.

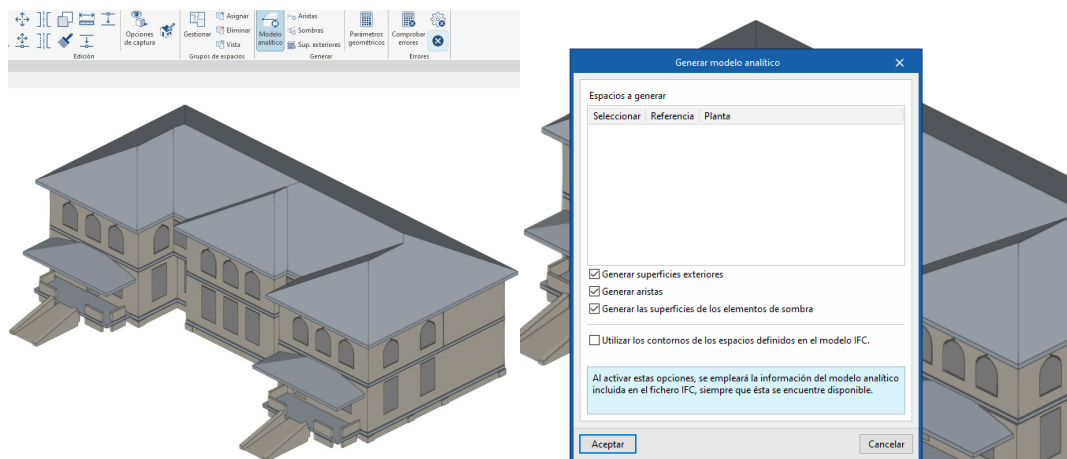


Figura 28. Interfaz de Cype Analytical Model donde se configuran las opciones para la exportación del modelo analítico. Ejemplo: Colegio General Navarro, Badajoz

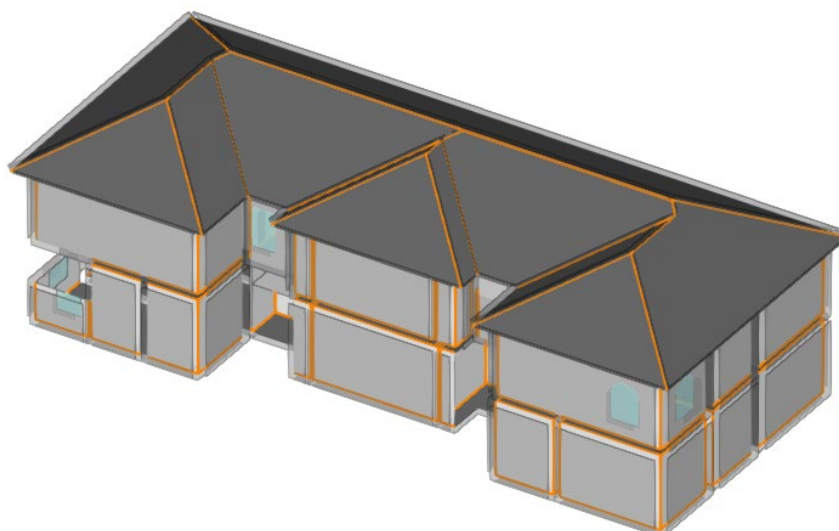


Figura 29. Interfaz de Cype Analytical Model donde se muestra el modelo analítico generado. Ejemplo: Colegio General Navarro, Badajoz

vii) Simulaciones-Cálculo energético

La simulación energética en proyectos BIM permite evaluar el comportamiento térmico de los edificios, en este caso de características de arquitectura tradicional. A través de modelos analíticos generados y explicados en apartados anteriores, se puede observar el análisis detallado del consumo energético, la demanda de climatización y la eficiencia de los sistemas constructivos.

A continuación, se detalla el proceso de simulación energética en las dos herramientas seleccionadas y explicadas a lo largo del documento:

- Desde Revit: Una vez creado el modelo analítico, se realiza la simulación energética utilizando el motor de análisis integrado en el mismo software, el cual es Energy Plus, este a su vez arroja dos tipos de informes, uno local en formato "html" y otro subido en la nube de Autodesk Insight.

Cabe anotar que este último software online, presenta una consideración: *"Autodesk va a eliminar gradualmente Autodesk Insight Energy Analysis y Green Building Studio y las sustituirá por Autodesk Insight Carbon Analysis de próxima generación. "A partir del 2 abril de 2025, los clientes ya no tendrán la opción de analizar los modelos de Autodesk Revit y Autodesk FormIt mediante Autodesk Insight Energy Analysis y Autodesk Green Building Studio.""* A partir del 1 julio 2025, los clientes dejarán de tener acceso a los modelos y

análisis enviados a Insight Energy Analysis y Autodesk Green Building Studio.” (Autodesk, 2024).

Respecto a los informes locales arrojados de la simulación en Revit y su resultado de forma local:

- El primero tiene dos variantes, un informe que muestra el contenido general de la simulación donde se expone un análisis detallado del edificio completo, se relaciona el motor de cálculo y un resumen anual y mensual del comportamiento energético del mismo, como se muestra en la Figura 30 y la Figura 31.

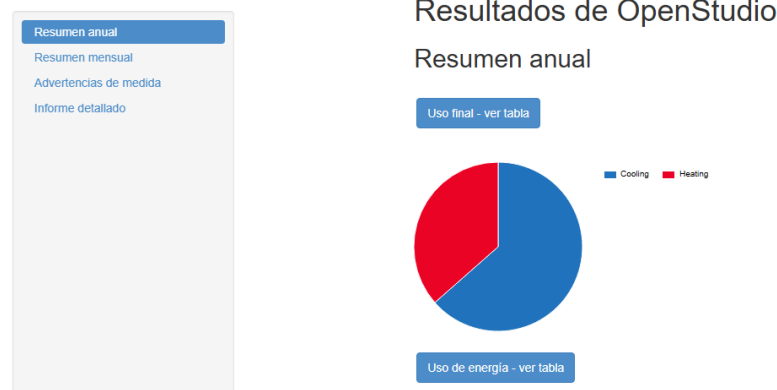


Figura 30. Muestra de resultados locales de simulación realizada desde Revit, sección gráficos por sectores

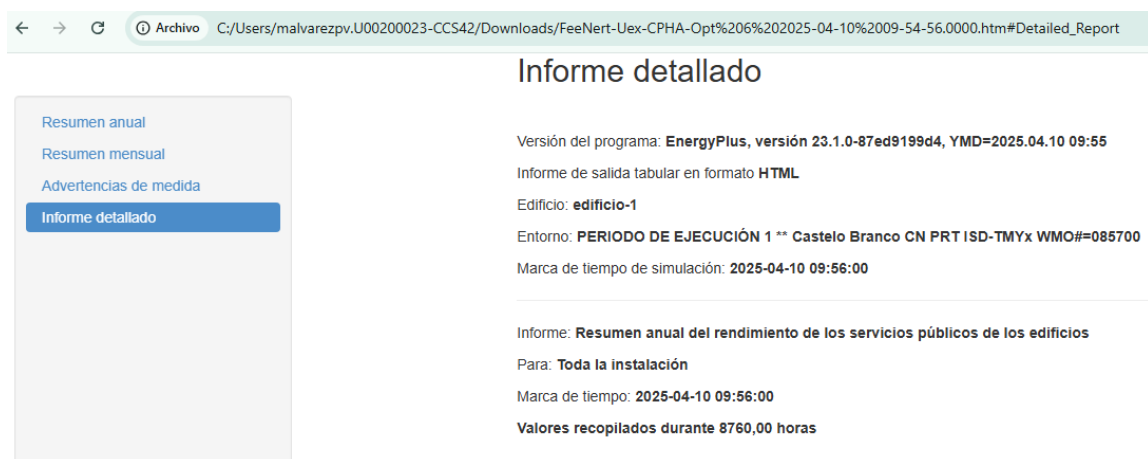


Figura 31. Muestra de resultados locales de simulación realizada desde Revit, sección Informe detallado

- El segundo por su parte muestra un “resumen de carga por zonas” respecto a las condiciones de confort requeridas por cada espacio. A pesar de que el análisis se realiza sobre el componente geométrico de los edificios, este informe aporta información de lo que requiere cada espacio anualmente en cuanto a la refrigeración y la calefacción. Ejemplo de ello se muestra en la Figura 32

Resumen de carga de zona

1 ESTAR-COMEDOR-COCINA

REFRIGERACIÓN



Resumen de carga de zona

1 ESTAR-COMEDOR-COCINA

CALEFACCIÓN

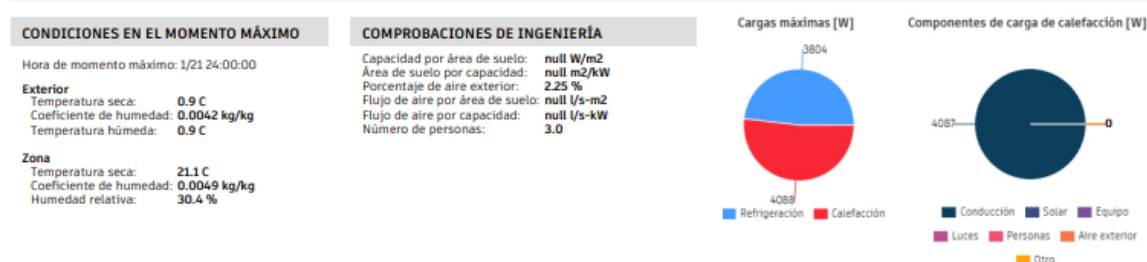


Figura 32. Muestra de Informe de “Resumen de carga de zona” para el espacio de Estar-Comedor-Cocina, en casa de Pescadores de herrera de Alcántara

Ambos informes pueden ser extraídos en pdf, lo que permite hacer un seguimiento documental en caso de aplicar mejoras respecto al resultado inicial.

Respecto al formato online, arrojado por la plataforma actualizada *Autodesk Insight Carbon Analysis* se muestra un informe más gráfico y dinámico de la simulación, este informe se carga en la nube de Autodesk, exponiendo un primer resultado del comportamiento general del edificio y su consumo anual. Como se muestra en el ejemplo de la Figura 33.

E.2.7 Guía metodológica para realización de Protocolo de diagnóstico e intervención basadas en rehabilitaciones energéticas en construcciones tradicionales y propuesta de escenarios de mejora (ES/PT)

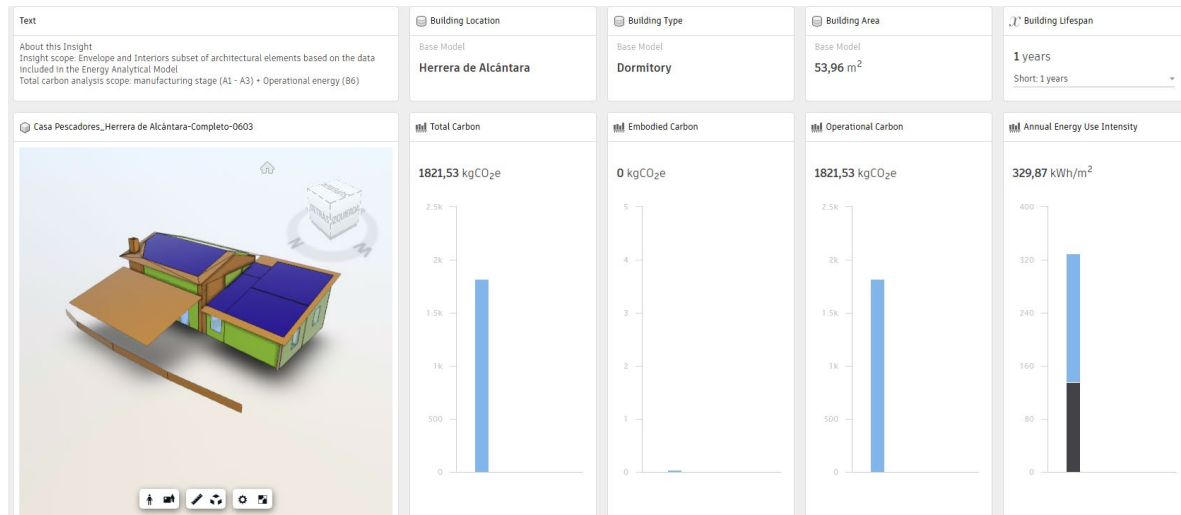


Figura 33. Interfaz de plataforma Insight Carbon Analysis para la Casa de pescadores en Herrera de Alcántara

- Por otro lado, tenemos a CYPE, la simulación energética se realiza a partir del modelo analítico generado en Open BIM Analytical Model explicado en apartados anteriores, que se vincula con el software CYPETHERM HE Plus, una herramienta basada en el motor EnergyPlus.

Previo a la ejecución de la simulación es importante seguir los siguientes pasos:

- Ajustar los “*parámetros generales*” del edificio, es decir, el uso del edificio, deshabilitar la caracterización de “*condensaciones*” ya que no aplica en el alcance del estudio e incorporar algunos datos genéricos de la demanda diaria de ACS, para que no genere errores. Ejemplo de esta configuración se muestra en la Figura 34.

Figura 34. Parámetros generales ajustados en el software Cype Therm HE Plus, para la casa de Pescadores en Herrera de Alcántara

- Verificar que las características espaciales continúen vigentes a pesar de haber migrado del software, es decir, validar que todos los componentes de las envolventes del edificio cuenten con las características transmitidas en las migraciones, para que, a la hora de calcular, no se generen errores en la simulación. Ejemplo de las configuraciones verificadas se muestran de la Figura 35 a la Figura 36.

Figura 35. Interfaz en Cype Therm HE Plus que muestra la configuración de zonas del edificio verificadas, para la Casa de pescadores en Herrera de Alcántara

E.2.7 Guía metodológica para realización de Protocolo de diagnóstico e intervención basadas en rehabilitaciones energéticas en construcciones tradicionales y propuesta de escenarios de mejora (ES/PT)

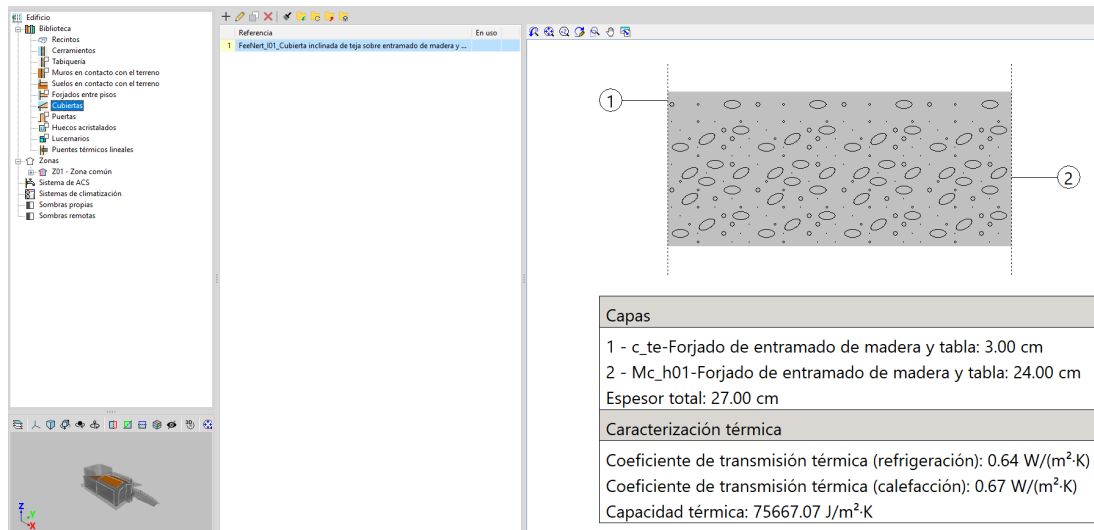


Figura 36.. Interfaz en Cype Therm HE Plus que muestra el ejemplo de las características de la cubierta verificadas de la importación desde el software Cype Open Analytical Model para la Casa de pescadores en Herrera de Alcántara

- Confirmar las opciones de cálculo antes de la simulación, que para este ejercicio se maneja como la “calificación de la eficiencia energética” del edificio, en donde se quiere conocer el comportamiento energético anual del mismo.

Opciones de cálculo

☒ Calificación de la eficiencia energética
 ☐ Simulación energética sin justificación normativa

☒ Equipos suplementarios disponibles

Simplificación de las particiones

☒ Verticales
 ☒ Horizontales

Margen de las temperaturas de consigna

Calefacción

1.0 °C

Refrigeración

1.0 °C

☐ Periodo de simulación

Aceptar

Cancelar

Con las configuraciones realizadas, se genera el cálculo de la simulación en el modelo y se obtienen diferentes tipos de resultados, dependiendo de que tan efectiva fue la simulación la idea es que se obtenga un informe de calificación energética, ya que este compila lo hallado en el informe de demanda y consumo. Esto se comprueba por medio de la barra de herramientas donde se muestran habilitados los diferentes informes como se muestra en la Figura 37.

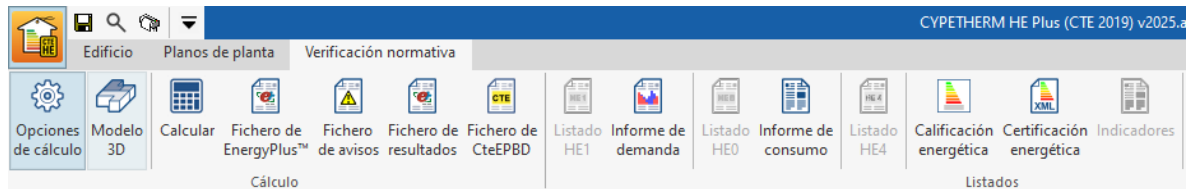


Figura 37 Barra de herramientas en Cype Therm HE Plus, donde se muestran los diferentes ficheros a extraer luego del cálculo de la simulación

En este software, los informes de demanda, consumo y calificación energética aportan una visión integral del comportamiento energético del edificio, cada uno con un enfoque distinto pero complementario:

El informe de demanda, por ejemplo, calcula la energía que el edificio necesita para mantener condiciones de confort térmico, sin considerar sistemas ni rendimientos; se centra en la envolvente térmica y refleja la calidad del diseño pasivo. En la Figura 38 se puede observar parte del informe obtenido en uno de los casos de estudio, dicha sección muestra el balance energético que ha tenido el edificio mensualmente, aportando graficas que permiten comprender mejor el comportamiento por componentes constructivos existentes.

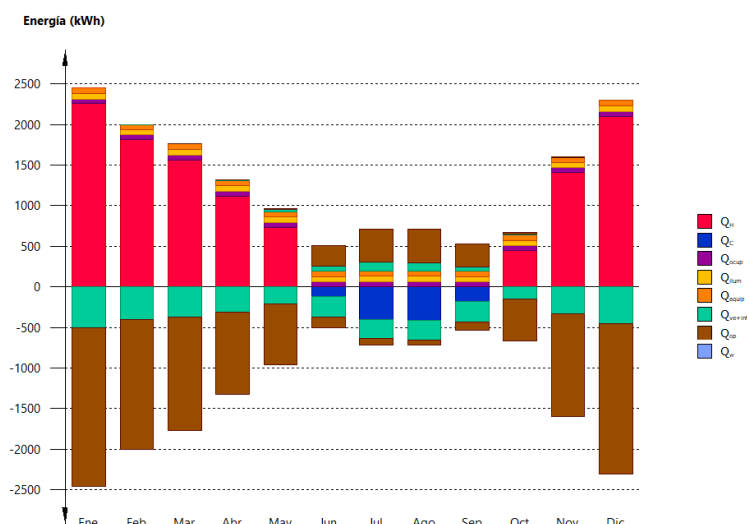


Figura 38. Apartado 2 del informe de demanda obtenido desde Cype Therm HE plus, para el ejemplo de la casa de pescadores de Herrera de Alcántara

El informe de consumo, en cambio, incorpora los sistemas de climatización, ventilación, iluminación y producción de ACS, considerando sus rendimientos y fuentes energéticas, lo que permite estimar la energía final y primaria consumida, ejemplo de ello se muestra en la Figura 39.

Consumo energético

1. RESULTADOS DEL CÁLCULO DEL CONSUMO ENERGÉTICO

1.1. Consumo energético de los servicios técnicos del edificio.

Se muestra el consumo anual de energía final, energía primaria y energía primaria no renovable correspondiente a los distintos servicios técnicos del edificio. Los consumos de los servicios de calefacción y refrigeración incluyen el consumo eléctrico de los equipos auxiliares de los sistemas de climatización.

EDIFICIO ($S_u = 55.40 \text{ m}^2$)

Servicios técnicos	EF (kWh/año)	EF (kWh/m ² ·año)	EP _{tot} (kWh/año)	EP _{tot} (kWh/m ² ·año)	EP _{ren} (kWh/año)	EP _{ren} (kWh/m ² ·año)
Calefacción	11967.85	216.02	14301.56	258.14	14241.72	257.06
Refrigeración	445.18	8.04	1054.18	19.03	869.86	15.70
ACS	21.75	0.39	25.98	0.47	25.87	0.47
	12434.78	224.45	15381.77	277.64	15137.51	273.23

donde:

S_u : Superficie útil habitable incluida en la envolvente térmica, m².

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

EP_{tot}: Consumo de energía primaria total.

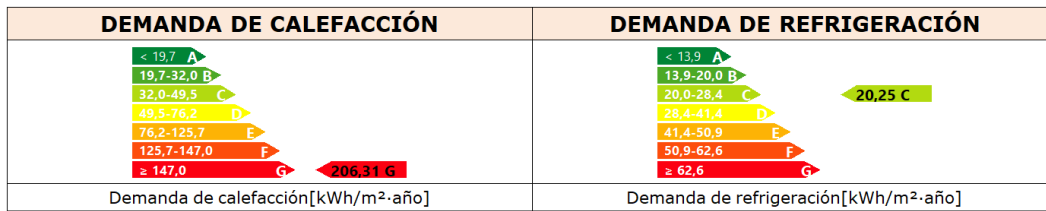
EP_{ren}: Consumo de energía primaria de origen no renovable.

Figura 39. Apartado 1 “consumo energético de los servicios técnicos del edificio” del informe de consumo obtenido desde Cype Therm HE plus, para el ejemplo de la casa de pescadores de Herrera de Alcántara

Por último, la calificación energética traduce estos consumos en una etiqueta (de A a G), comparando el edificio con un modelo de referencia mostrando su eficiencia global y dando un indicador comprensible para usuarios y administraciones, como se puede mostrar en la Figura 40.

3. CALIFICACIÓN PARCIAL DE LA DEMANDA ENERGÉTICA DE CALEFACCIÓN Y REFRIGERACIÓN

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



1 El indicador global es resultado de la suma de los indicadores parciales más el valor del indicador para consumos auxiliares, si los hubiera (sólo edificios terciarios, ventilación, bombeo, etc...). La energía eléctrica autoconsumida se descuenta únicamente del indicador global, no así de los valores parciales.

Figura 40. Apartado 3 "Calificación parcial de la demanda energética de calefacción y refrigeración" del informe de calificación energética obtenido desde Cype Therm HE plus, para el ejemplo de la casa de pescadores de Herrera de Alcántara

De esta manera Cype Therm HE Plus, permite emitir certificados de eficiencia energética conforme al CTE y otras normativas europeas, además de realizar comparativas entre distintas soluciones constructivas, que benefician el análisis de cualquier edificación, para este caso de arquitectura tradicional.

3.3. Pasaporte energético

La metodología elaborada para el desarrollo del pasaporte energético, reflejada en la Figura 41, se sustenta en la creación de un modelo arquitectónico fiel a la realidad física del edificio, optimizado específicamente para su posterior análisis energético y de ciclo de vida (ACV).

A continuación, se definirán operaciones que harán referencia a ciertas herramientas informáticas, que no son excluyentes, aunque cada una de ellas tiene sus matices en cada tramo del proceso.

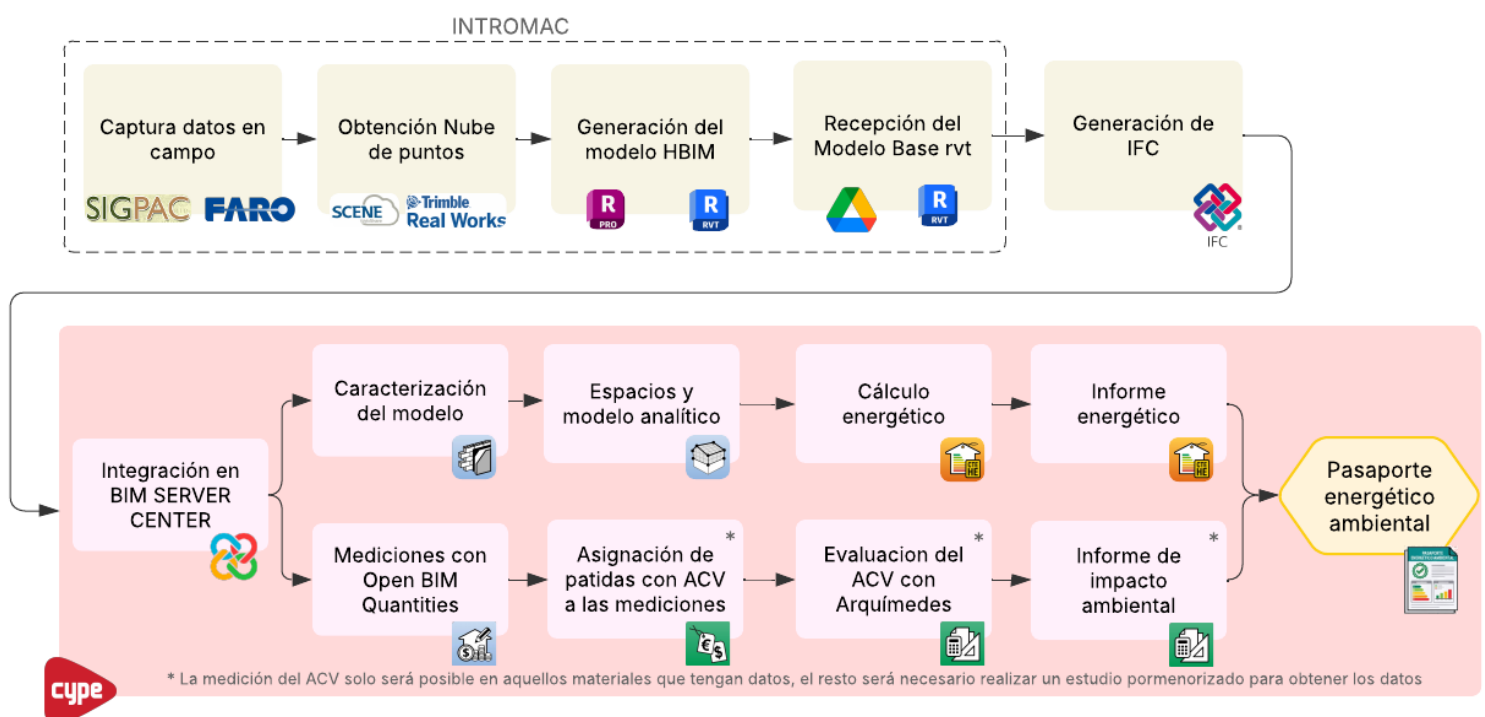


Figura 41. Flujo metodológico para la obtención del pasaporte energético

i) Adquisición de datos y modelado conceptual

(1) Levantamiento Topográfico y Geométrico

La técnica más exacta para obtener la geometría arquitectónica de un edificio es la obtención de una nube de puntos a través de un escáner 3D (Figura 1). La densidad de las nubes de puntos es de tal magnitud que requieren limpiezas de datos para poder ser manipuladas.

E.2.7 Guía metodológica para realización de Protocolo de diagnóstico e intervención basadas en rehabilitaciones energéticas en construcciones tradicionales y propuesta de escenarios de mejora (ES/PT)

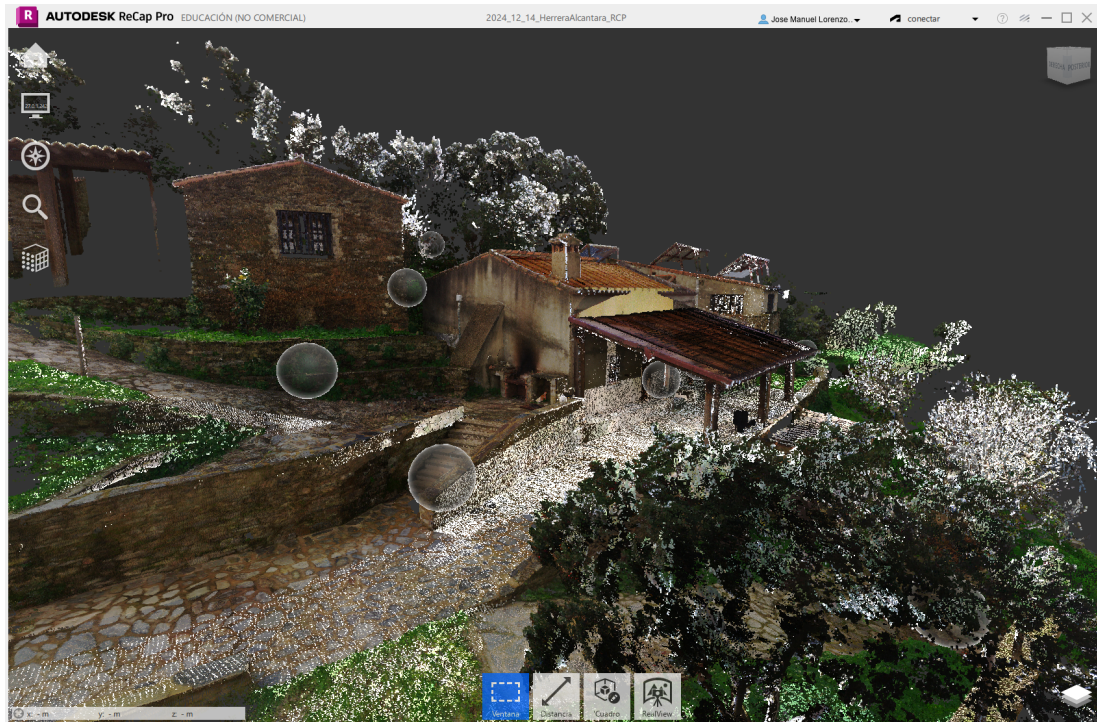


Figura 42. Nube de puntos del edificio Casa de Pescadores del proyecto Feenert

A partir de la nube de puntos depurada, se generan modelos arquitectónicos para los que se pueden emplear diferentes softwares BIM como por ejemplo Revit [1], Archicad [2], Allplan[3], SketchUp [4], Edificius [5], CYPE Architecture [6] (Figura 2).

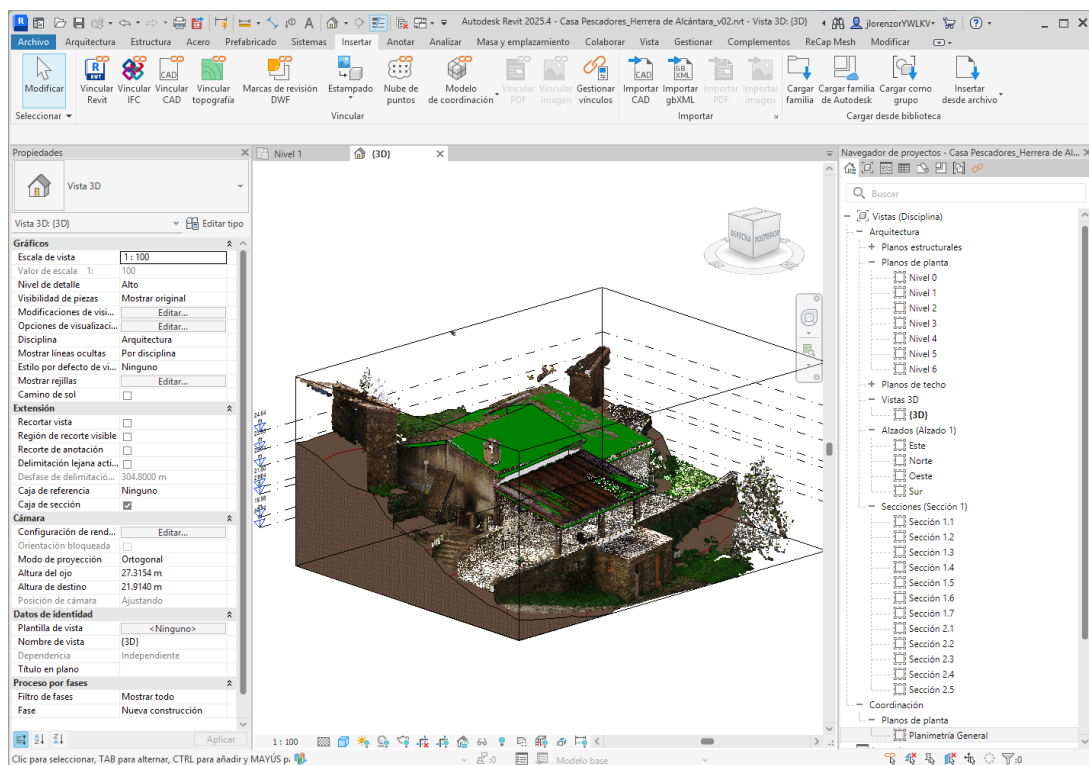


Figura 43. Visualización de nube de puntos y modelo BIM del edificio Casa de Pescadores del proyecto Feenert

(2) Caracterización del Modelo para Análisis Energético

Todas ellas generan mediante procesos más o menos directos un modelo arquitectónico que representa fielmente la morfología del edificio, sin embargo, es preciso resaltar que, en este flujo de trabajo, la finalidad del modelado está enfocada al estudio energético. Para ello hay una serie de elementos que han de ser caracterizados de una determinada manera:

- **Envolventes térmicas**

Se definen como el conjunto de elementos constructivos que delimitan el ambiente interior del exterior, en este contexto se pueden encontrar: muros de fachadas, muros de medianerías, suelos en contacto con el terreno o con espacio exterior, puertas y ventanas y espacios delimitados por estos elementos, tabiquería o particiones virtuales. Cada elemento debe poseer una tipología y una entidad IFC (*Industry Foundation Classes*) asignada correctamente. En la Tabla 3 se recogen todas las características que se deben definir en un IFC para cada posible tipología de elemento constructivo que se puede presentar en el flujo.

Tabla 3. Asignación de entidades IFC y propiedades

ELEMENTO CONSTRUCTIVO	ENTIDAD IFC	PREDEFINEDTYPE	ISEXTERNAL	ENVOLVENTE TÉRMICA	OBSERVACIONES
Cubierta inclinada	IfcRoof	ROOF	TRUE	Sí	Cubierta en contacto con el ambiente exterior
Cubierta plana	IfcSlab	ROOF	TRUE	Sí	Alternativa frecuente a IfcRoof
Voladizos	IfcSlab	FLOOR	TRUE	No	Elemento auxiliar; no delimita espacios climatizados
Forjados entre pisos	IfcSlab	FLOOR	FALSE	No	Separación entre espacios interiores

E.2.7 Guía metodológica para realización de Protocolo de diagnóstico e intervención basadas en rehabilitaciones energéticas en construcciones tradicionales y propuesta de escenarios de mejora (ES/PT)

ELEMENTO CONSTRUCTIVO	ENTIDAD IFC	PREDEFINEDTYPE	ISEXTERNAL	ENVOLVENTE TÉRMICA	OBSERVACIONES
Forjado sobre espacio exterior	IfcSlab	FLOOR	TRUE	Sí	Bajo porches o zonas abiertas
Forjado sobre cámara sanitaria	IfcSlab	BASESLAB	TRUE	Sí	Contacto indirecto con terreno/exterior
Soleras	IfcSlab	BASESLAB	TRUE	Sí	Elemento en contacto con terreno
Particiones interiores	IfcWall	PARTITIONING	FALSE	No	Separación entre espacios interiores
Cerramientos exteriores	IfcWall	STANDARD	TRUE	Sí	Fachadas opacas exteriores
Muros de sótano	IfcWall	STANDARD	TRUE	Sí	Contacto con terreno
Medianeras	IfcWall	PARTYWALL	FALSE	Variable*	Depende del uso energético considerado
Muros cortina	IfcCurtainWall	USERDEFINED	TRUE	Sí	Fachada ligera acristalada
Puertas exteriores	IfcDoor	DOOR	TRUE	Sí	Hueco practicable en envoltente
Puertas interiores	IfcDoor	DOOR	FALSE	No	Comunicación entre espacios interiores
Ventanas exteriores	IfcWindow	WINDOW	TRUE	Sí	Hueco transparente en envoltente
Ventanas interiores	IfcWindow	WINDOW	FALSE	No	Separación interior
Lucernarios	IfcWindow	SKYLIGHT	TRUE	Sí	Apertura en cubierta
Huecos	IfcOpeningElement	OPENING	—	Asociado	Definido por el elemento anfitrión

ELEMENTO CONSTRUCTIVO	ENTIDAD IFC	PREDEFINEDTYPE	ISEXTERNAL	ENVOLVENTE TÉRMICA	OBSERVACIONES
Sistemas de sombra	IfcShadingDevice	USERDEFINED	—	Complementario	Protección solar
Recintos	IfcSpace	INTERNAL	—	Referencia	Definen las zonas térmicas
Espacios no acondicionados	IfcSpace	INTERNAL	—	Referencia	Garajes, cámaras, trasteros, etc.

• Definición de espacios y niveles

- **Espacios:** Es importante que los límites geométricos de los espacios coincidan exactamente con las caras interiores de los elementos de la envolvente. Cualquier discrepancia generará errores en los motores de cálculo por una falta de delimitación (Figura 44).

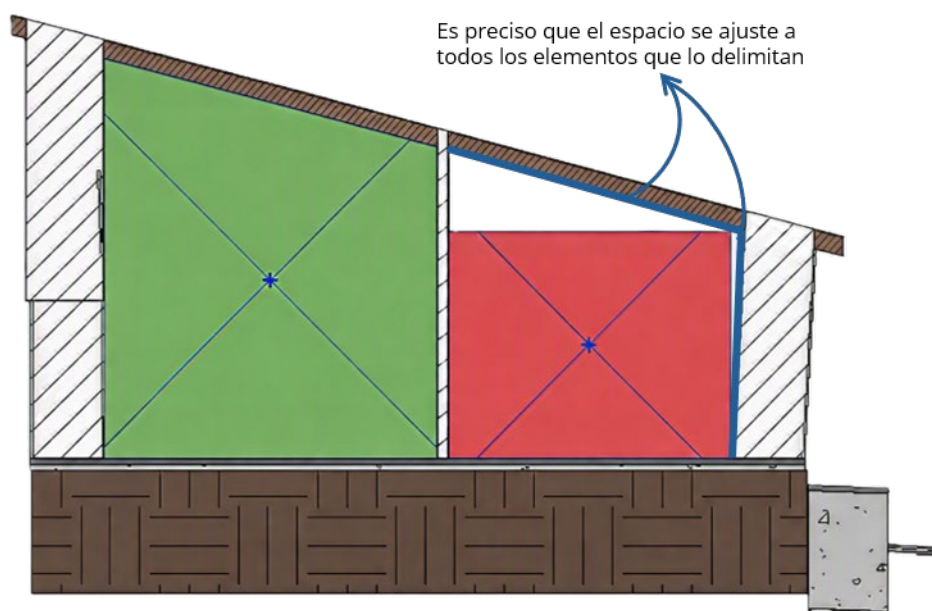


Figura 44. Ejemplo de definición de espacios correcta (verde) e incorrectamente (rojo) en un modelo BIM

- **Niveles:** En el entorno BIM, el nivel se debe corresponder a la planta (ej, Planta Baja, Planta 1, ...), no a cada capa constructiva. Los elementos deben vincularse a un nivel inferior y uno superior, las variaciones de altura dentro de una misma planta se gestionan mediante desplazamientos (*offsets*), no creando nuevos niveles. Se recomienda un número de niveles coherente con la realidad

arquitectónica (ej. Entre 4 a 6 niveles para un edificio de 4 plantas), evitando la proliferación innecesaria de niveles que rompa la lógica del modelo. En definitiva, un modelo no debería tener muchos más niveles de 163, que son las plantas con las que cuenta el Burj Khalifa en Dubái. Sin embargo, no es difícil encontrar modelos con muchos niveles, como el reflejado en la Figura 17 de este documento, cuando apenas tienen cuatro plantas, por lo que no deberían tener más de cuatro o seis niveles. En la Figura 45 se muestra una configuración correcta, donde el solado de planta baja está asociado al Nivel 1, así como un caso incorrecto en el que se ha creado un Nivel 0 únicamente para modelar el muro de acceso a la vivienda, cuando este debería vincularse al Nivel 1 mediante un desfase negativo.

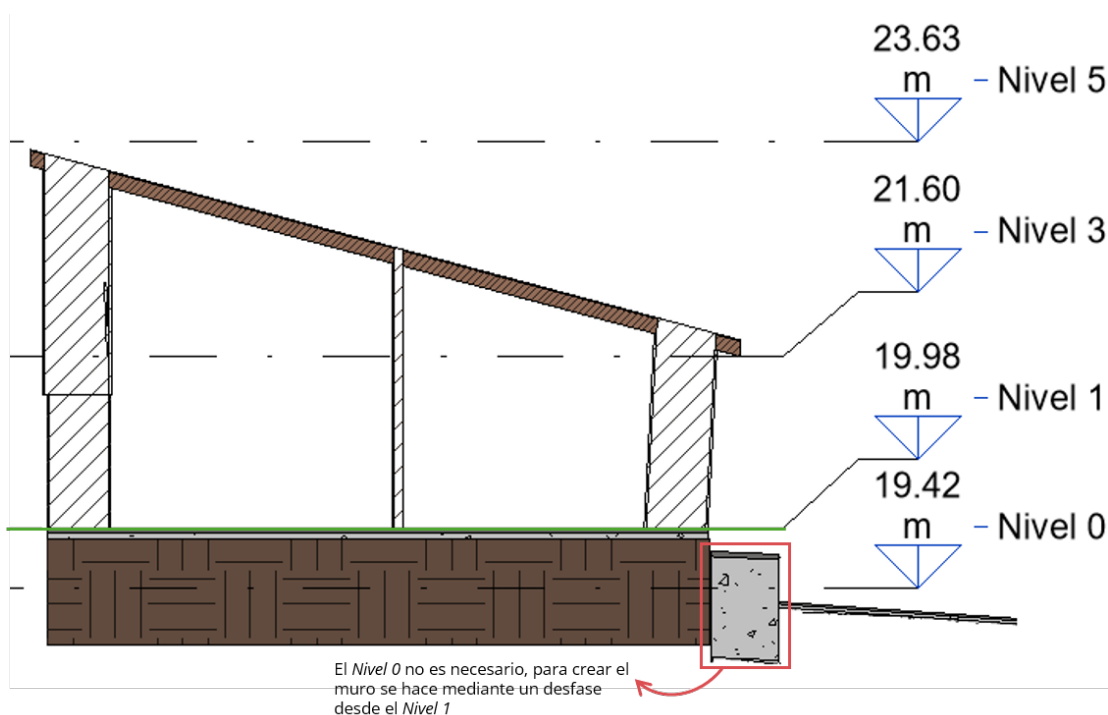


Figura 45. Ejemplo de definición de niveles y asignación de elementos a esos niveles

(3) Gestión del entorno colaborativo

Una vez se tiene el modelo en IFC, el flujo de trabajo se traslada a un entorno de colaboración en la nube para la integración de disciplinas (estructura, instalaciones, mediciones...). Se propone el uso de BIM Server Center[7] como plataforma de intercambio, al tratarse de una plataforma gratuita e ilimitada. Hay que destacar que

esta plataforma es un espacio de intercambio de datos, no un repositorio de archivos estáticos. La información se actualiza y vincula, no se sube como archivo para su almacenamiento y posterior ejecución (Figura 46).

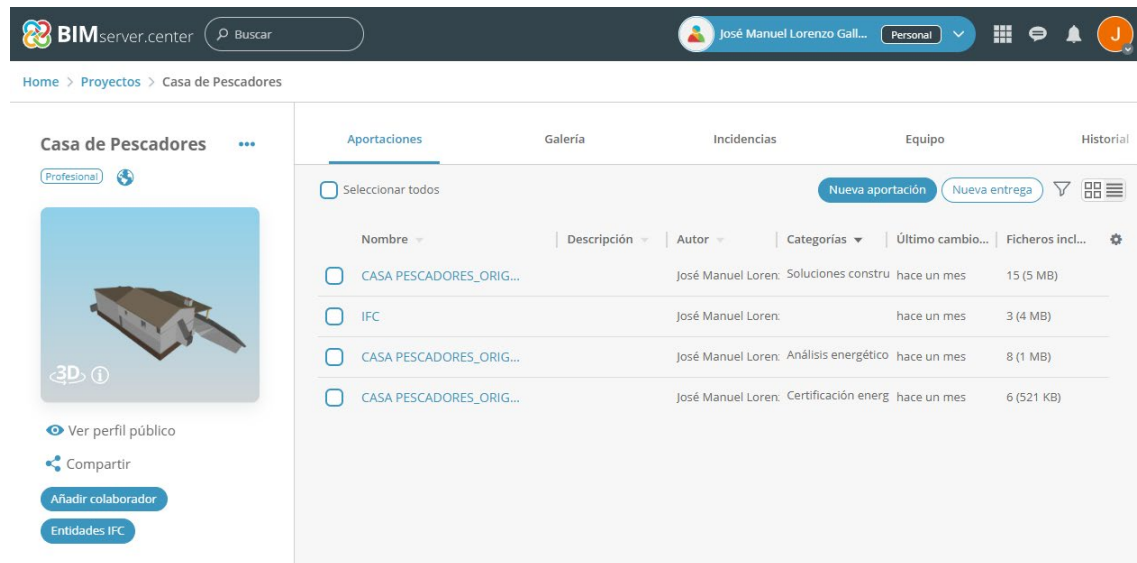


Figura 46. Proyecto con archivos de trabajo para el desarrollo del pasaporte energético en BIM Server Center

Proceso de implementación:

1. Creación de un proyecto virtual con gestión de permisos y agentes.
2. Exportación del modelo arquitectónico en formato *IFC*.
3. Generación y vinculación del Modelo Analítico (necesario para cálculos físicos), que puede exportarse desde el software de diseño o generarse mediante la herramienta Analytical Model [8] de la plataforma.
4. Carga de ambos modelos (IFC y Modelo Analítico) en el proyecto BIM.

(4) Simulaciones del comportamiento energético

Para el estudio del comportamiento energético del modelo arquitectónico se propone la herramienta reconocida *Cype Therm HE Plus* [9] que utiliza el motor de cálculo de Energy Plus [10].

• Configuración del estudio

E.2.7 Guía metodológica para realización de Protocolo de diagnóstico e intervención basadas en rehabilitaciones energéticas en construcciones tradicionales y propuesta de escenarios de mejora (ES/PT)

Al iniciar la aplicación de *Cype Therm HE Plus* [9] se solicitan varios puntos de información (Figura 47):

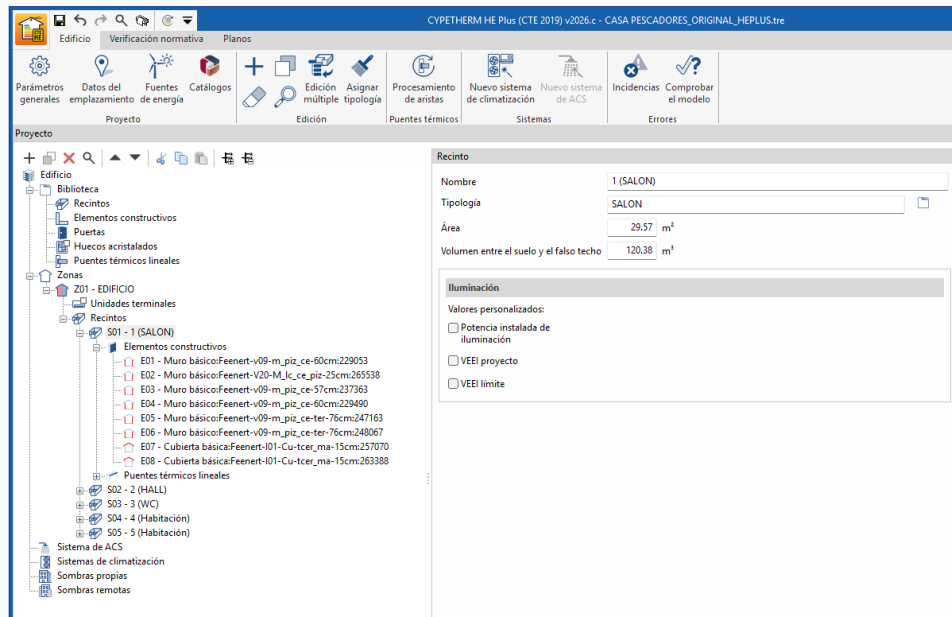


Figura 47. Árbol de proyecto de CYPE Therm HE Plus con la distribución de zonas térmicas, recintos y elementos de la envolvente utilizados para la simulación energética.

- Definición del inmueble: Ubicación mediante dirección, coordenadas o referencia catastral (Figura 48).

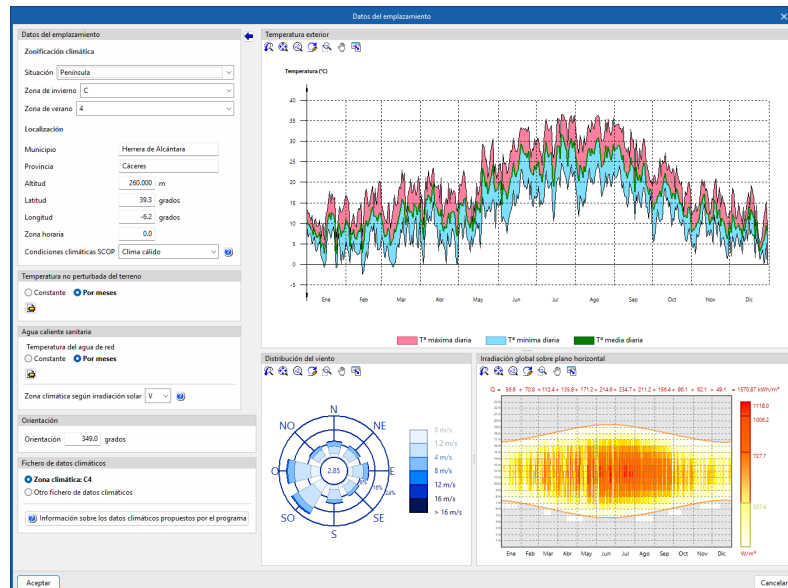


Figura 48. Ventana de datos de emplazamiento para la simulación energética en Cypetherm HE plus

- Vinculación de proyecto: Importación del modelo IFC y del modelo analítico desde el proyecto en el servidor BIM SERVER CENTER[7]. AL hacer esto, el programa reconoce los dos modelos, lee todas las envolventes con sus tipologías así como los espacios y sus agrupaciones.
- Asignación de propiedades: Definición de tipologías constructivas a partir de biblioteca o capas personalizadas, materiales, espesores y características termo-físicas (Figura 49).

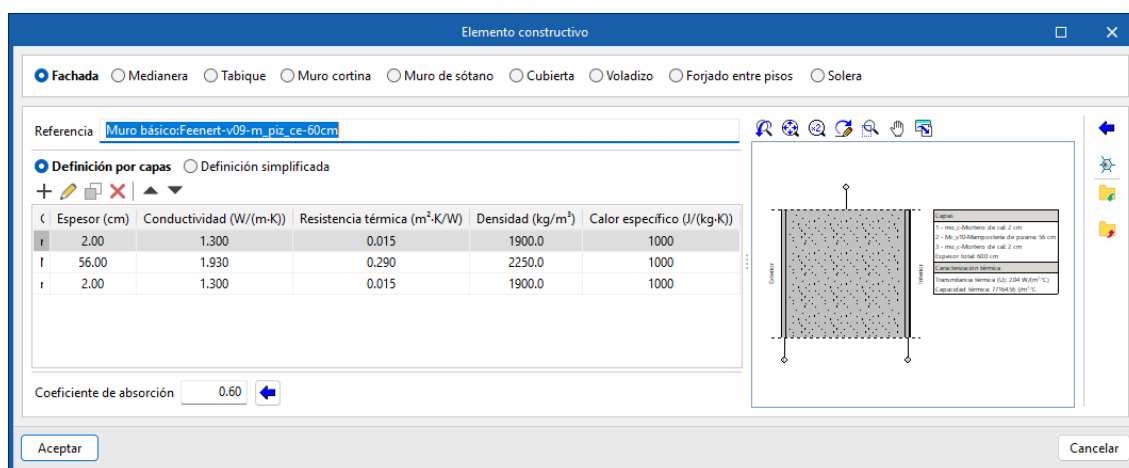


Figura 49. Definición por capas de una de las soluciones constructivas empleadas en la simulación

- Configuración de uso: Definición de los perfiles de uso de los espacios (horarios, ocupación, temperatura de consigna).

• Validación y cálculo

En este punto se está en condiciones de comprobar el modelo y solventar los posibles avisos de errores como consecuencia de aspectos que pudieran no haberse definido, como sistema de ventilación, aparición de condensaciones, límites de transmitancia deficientes o definición de sistema de evaluación de agua caliente sanitaria.

Una vez solventados, el programa calcula las demandas de energía, así como las emisiones generadas en un periodo de tiempo definido, arrojando los resultados que se muestran en la Figura 50, así como gráficos similares a los recogidos en la Figura 51.

E.2.7 Guía metodológica para realización de Protocolo de diagnóstico e intervención basadas en rehabilitaciones energéticas en construcciones tradicionales y propuesta de escenarios de mejora (ES/PT)

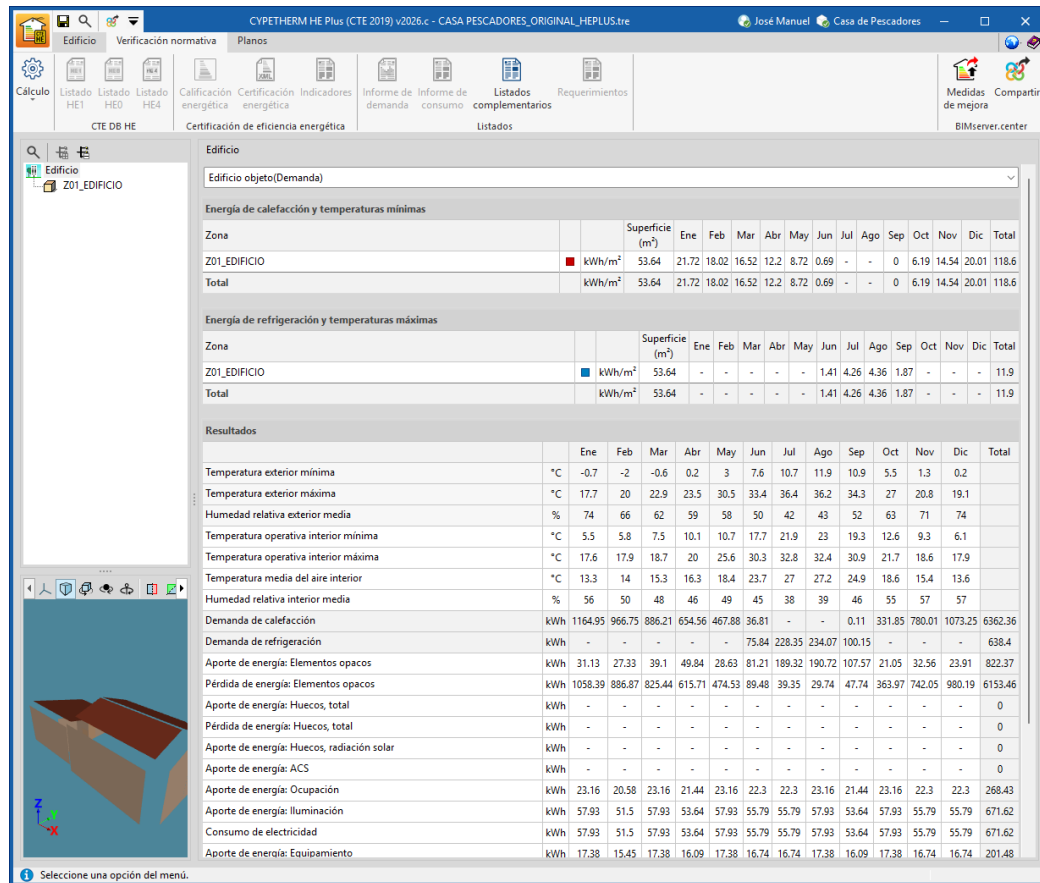


Figura 50. Resultados de la simulación energética obtenidos en CYPE Therm HE Plus, utilizados para evaluar el comportamiento térmico del edificio y comparar distintas soluciones constructivas.

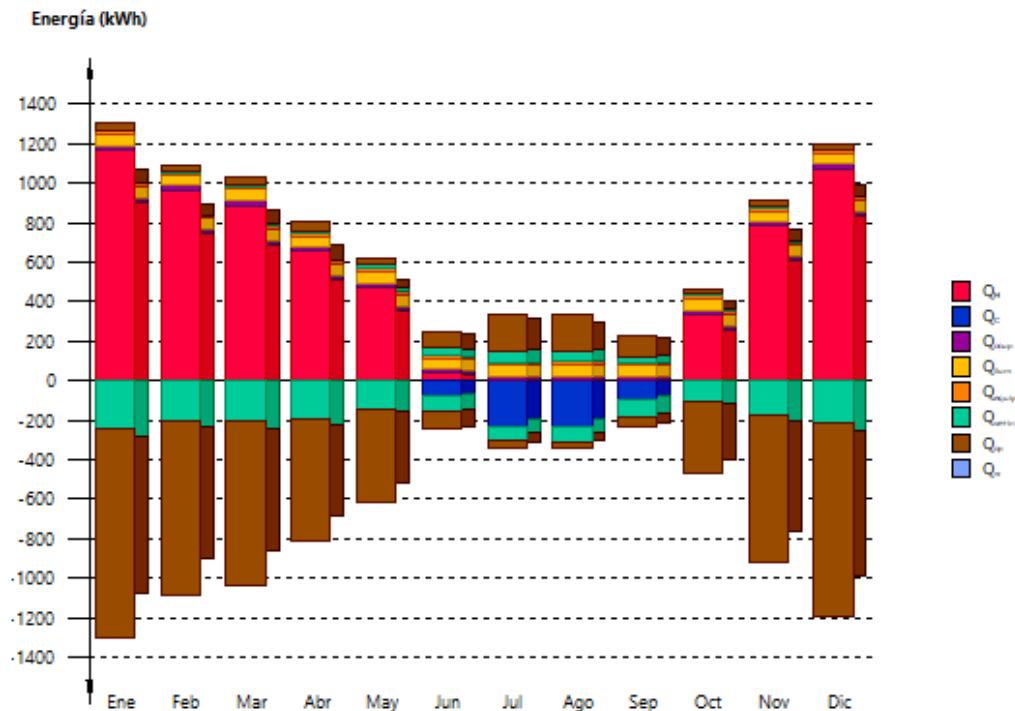


Figura 51. Gráfica de balance energético anual del edificio resultado de la simulación energética obtenidos en CYPE Therm HE Plus.

Resulta muy sencillo hacer simulaciones con la utilización de diversos materiales, pues se trata simplemente de añadir capas a la envolvente colocándola en el orden apropiado y eliminar las que procedan.

Fruto del análisis se podrán tomar decisiones para la utilización de un sistema constructivo u otro.

(5) Análisis de costes y ciclo de vida (ACV)

Una vez se haya definido la solución constructiva a ejecutar y valorar, el flujo de trabajo continuará con la aplicación Open BIM Quantities [11], herramienta de la plataforma BIM Server Center que relaciona a través de reglas de medición, las partidas de un presupuesto previamente generado con entidades del modelo IFC. De este modo, se obtiene automáticamente el cómputo de cantidades asociado a cada partida presupuestaria.

Es muy importante puntualizar que, si se quiere obtener un estudio del ciclo de vida de la intervención, las partidas de la base de datos han de tener los datos de emisión de CO₂ del material correspondientes a su fabricación, transporte, puesta en obra etc.

• Cuantificación (Open Bim Quantities)

Los pasos a seguir en la aplicación son:

- Generación de mediciones: Las reglas de medición en Open BIM Quantities permiten asociar criterios de cuantificación a las entidades del modelo IFC para obtener automáticamente las mediciones del proyecto. Estas reglas se crean definiendo las condiciones de selección de los elementos (según su tipo, propiedades o clasificación) y estableciendo la magnitud a medir, como longitud, superficie, volumen o número de unidades. Una vez vinculadas al modelo, el software extrae y organiza las cantidades de forma automática, garantizando la coherencia entre la información gráfica y la documentación de mediciones. Un ejemplo son las que se reflejan en la Figura 52.

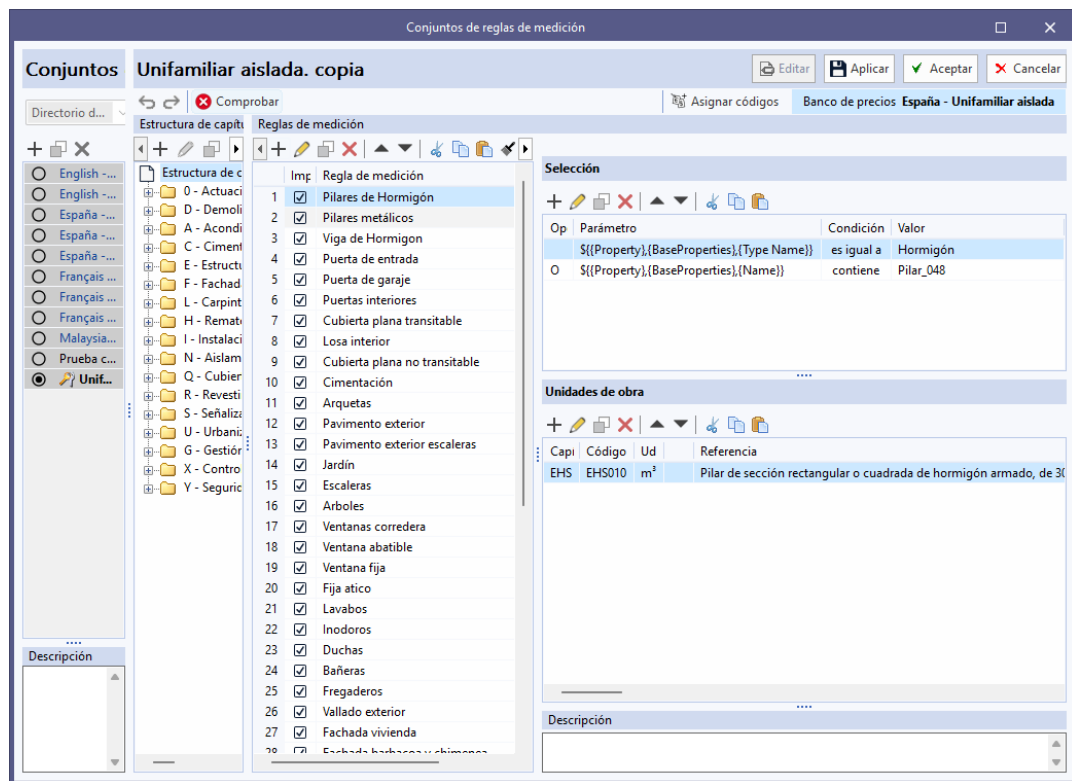


Figura 52. Ejemplo de reglas de medición de Open Bim Quantities

- Exportación: Generación de un fichero universal en formato FIEBDC/BC3, compatible con programas de presupuesto.
- Enfoque en ACV: Identificación de partidas críticas para el análisis ambiental: cerramientos, cubiertas, suelos, huecos, aislamientos y soluciones con materiales naturales.

• Presupuesto y análisis ambiental (Arquímedes)

La aplicación de Arquímedes, también ubicada en la plataforma BIM Server Center, permite el tratamiento y ajuste de las mediciones, incorporando si procede partidas y modificando las cantidades. A partir de la información que aporta la base de datos del generador de precios de CYPE, Arquímedes [12] permite realizar un análisis ambiental apoyándose en la estructura del presupuesto. Es decir, el edificio deja de ser únicamente un modelo geométrico y pasa a organizarse como un conjunto de partidas constructivas medibles. Para la obtención del pasaporte energético:

- Vinculación de partidas: Asignación de unidades de obra del Generador de Precios [13] a las mediciones del modelo extraídas en el paso anterior con Open BIM Quantities [11]. En Arquímedes se revisa la coherencia entre las mediciones procedentes del modelo y las unidades de obra asignadas. Esta revisión permite comprobar si cada partida representa correctamente el elemento constructivo real y si la unidad de medición empleada es compatible con el análisis posterior.
- Tratamiento de materiales naturales: En función de los datos con los que se cuenten, se pueden dar varias situaciones.
 - o Caso 1 (Partida existente): Vinculación directa con datos ambientales disponibles.
 - o Caso 2 (Partida equivalente): Sustitución por partida similar con justificación técnica.
 - o Caso 3 (Partida personalizada): Creación de partida sin cálculo automático de ACV. Requiere cálculo ambiental externo basado en Declaraciones Ambientales de Producto (EPD) o bases de datos científicas.

Uno de los puntos críticos de la metodología es el tratamiento de materiales naturales o soluciones constructivas que no están recogidas en las bases de datos existentes.

Cuando un material natural no dispone de una unidad de obra equivalente en el Generador de Precios, o cuando dicha unidad no incluye información ambiental, el análisis no puede considerarse completamente automatizado dentro del módulo ACV de Arquímedes.

En ese caso, la metodología debe contemplar una de las siguientes estrategias:

1.1. Sustitución por una partida equivalente

Cuando exista una partida similar en el Generador de Precios, puede emplearse como aproximación, siempre que se justifique la equivalencia técnica y ambiental. Esta opción solo es válida si la solución seleccionada representa razonablemente el comportamiento del material analizado.

1.2. Creación de una partida personalizada sin cálculo ambiental automático

Cuando no exista una partida adecuada, puede crearse una partida personalizada en Arquímedes para representar la solución constructiva desde el punto de vista de la medición y del presupuesto. Sin embargo, si esta partida no dispone de indicadores ambientales reconocidos por el módulo ACV, su impacto no será calculado automáticamente de la misma forma que las partidas procedentes del Generador de Precios.

En este caso, la partida puede mantenerse dentro del presupuesto para conservar la trazabilidad de cantidades y soluciones, pero el cálculo ambiental deberá documentarse como una limitación o desarrollarse mediante un procedimiento complementario.

1.3. Cálculo ambiental complementario externo

Cuando se disponga de datos ambientales procedentes de declaraciones ambientales de producto, bases de datos ACV, catálogos técnicos o bibliografía científica, estos pueden utilizarse para calcular de forma complementaria el impacto del material natural.

Este cálculo debe realizarse de manera trazable, indicando:

- fuente del dato ambiental;
- unidad original del indicador;
- conversión aplicada;
- cantidad de material medida;
- hipótesis consideradas;
- fase del ciclo de vida representada;
- grado de incertidumbre asociado.

De este modo, aunque el dato no proceda directamente del módulo ACV de CYPE, puede integrarse metodológicamente en el pasaporte energético ambiental como información complementaria justificada. Pero no lo calculará Arquímedes de manera automática.

- Cálculo del ACV: El módulo de Análisis del Ciclo de Vida de Arquímedes permite calcular impactos ambientales a partir de la información ambiental vinculada a las unidades de obra. Por tanto, la fiabilidad del análisis depende de que dichas

unidades estén correctamente asociadas a partidas que contengan datos ambientales dentro de la base de CYPE (Figura 53).

Nota metodológica: Este cálculo no cubre las fases de uso, mantenimiento o fin de vida, salvo que se integren datos externos.

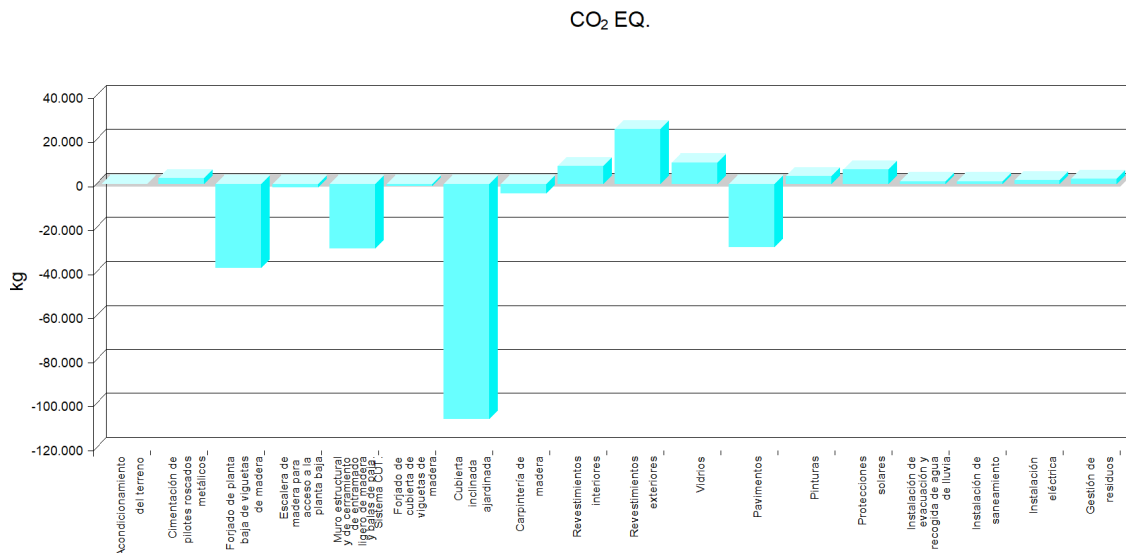


Figura 53. Ejemplo de gráfica de CO₂ equivalente generada con Arquímedes

• Organización de resultados

Los resultados ambientales obtenidos en Arquímedes se organizan por niveles de análisis. Esta organización permite interpretar el impacto del edificio desde lo general hasta lo particular. Los resultados pueden agruparse en:

1. Impacto ambiental total del edificio.
2. Impacto por capítulo del presupuesto.
3. Impacto por sistema constructivo.
4. Impacto por elemento de la envolvente.
5. Impacto por partida específica.

(6) Comparativa de escenarios y elaboración del pasaporte energético

• Definición de escenarios

Se proponen tres escenarios para la comparación:

1. Escenario Base: corresponde al edificio con sus soluciones constructivas originales o convencionales. Este escenario sirve como referencia para comparar las mejoras propuestas.
2. Escenario de Mejora: incorpora materiales naturales o soluciones de menor impacto ambiental en determinados elementos constructivos, principalmente en la envolvente térmica.
3. Escenario Optimizado: Combinación de soluciones de baja huella ambiental.

Para cada escenario se repite el proceso de medición, vinculación y cálculo ambiental, manteniendo constantes las unidades funcionales y los límites del sistema.

• Integración de resultados energéticos

Aunque el núcleo de la metodología de ciclo de vida se desarrolla mediante Open BIM Quantities y Arquímedes, el pasaporte energético ambiental requiere incorporar también el comportamiento energético del edificio.

Para ello se utiliza CYPETHERM HE Plus, que permite evaluar la demanda energética, el consumo, la energía primaria y las emisiones asociadas al uso del edificio.

En esta metodología, CYPETHERM HE Plus no se emplea para calcular impactos de ciclo de vida de los materiales, sino para obtener los indicadores energéticos que completan el pasaporte. Estos resultados permiten relacionar las decisiones constructivas con el comportamiento energético del edificio durante su fase de uso.

La integración de ambos análisis permite comparar no solo el impacto incorporado de los materiales, sino también el efecto que las soluciones constructivas tienen sobre la demanda y el consumo energético.

- **El pasaporte energético ambiental**

La fase final consiste en integrar los resultados procedentes de las herramientas utilizadas en un pasaporte energético ambiental del edificio. Este documento debe recoger de forma diferenciada:

- Datos generales del edificio y modelo arquitectónico empleado;
- Mediciones obtenidas mediante Open BIM Quantities;
- Partidas analizadas en Arquímedes;
- Límites del análisis de ciclo de vida (especificando la exclusión de fases posteriores a A5);
- Impactos calculados automáticamente vs. impactos estimados externamente, si existen;
- Indicadores energéticos obtenidos con CYPETHERM HE Plus;
- Comparación entre escenario base y escenarios alternativos;
- Limitaciones derivadas de la disponibilidad de datos ambientales.

4. Resultados

Los resultados que se presentan a continuación son el producto de la aplicación integral del flujo de trabajo HBIM/BEM expuesto en el apartado de “metodología”. A través del estudio de tres edificios representativos: la Casa de Pescadores en Herrera de Alcántara, el CEIP General Navarro en Badajoz y el Palacio de Carvajal en Cáceres, se ha validado la eficacia de las herramientas en cuanto al levantamiento geométrico, la producción del modelado analítico y la simulación térmica en edificaciones de arquitectura tradicional. En estos casos de estudio se muestra cómo las características constructivas de este tipo de edificaciones influyen en su comportamiento energético. Asimismo, la aplicación de este tipo de metodologías abre la puerta a la generación de escenarios de mejora que contemplen soluciones compatibles con la conservación del patrimonio y los principios de sostenibilidad, algo imprescindible en proyectos de rehabilitación y mejora en el comportamiento energético.

El análisis de cada caso se estructura en torno a la fidelidad del modelo HBIM y los resultados energéticos obtenidos, ofreciendo una visión completa del potencial de rehabilitación energética en arquitectura tradicional.

Es importante Indicar que, durante la aplicación del flujo de trabajo en los distintos casos de estudio, se presentaron dificultades técnicas relacionadas con el procesamiento de los modelos en los distintos softwares empleados. Estas incidencias suponen una gran inversión de tiempo añadida para la simulación energética y en la generación de informes, especialmente en modelos con geometrías complejas o múltiples niveles. Como consecuencia, fue necesario realizar consultas directas con los desarrolladores de los softwares para identificar las causas y buscar soluciones a problemas a los que se enfrentan los propios desarrolladores y una vez solventados, cuando fue posible, continuar con el análisis, evaluando siempre la calidad de los resultados.

4.1. Caso de estudio Casa de pescadores (Herrera de Alcántara)

La Casa de Pescadores, ubicada en el municipio de Herrera de Alcántara, se encuentra en una posición privilegiada junto al río Tajo, dentro del Parque Natural del Tajo Internacional, como se muestra en la Figura 54. Este enclave natural de alto valor ecológico y paisajístico ha sido objeto de una intervención de recuperación y adaptación con el objetivo de potenciar su atractivo turístico y contribuir al desarrollo económico local. Históricamente utilizadas por pescadores de la zona, estas edificaciones representan una tipología residencial tradicional con fuerte arraigo cultural y constructivo.



Figura 54.Emplazamiento de casa de pescadores- Herrera de Alcántara

En la Tabla 4 se resumen por medio de una ficha técnica los aspectos constructivos y funcionales más relevantes del inmueble, proporcionando una visión general que permite comprender mejor las condiciones iniciales del edificio. Adicionalmente en la Figura 55, la Figura 56 y la Figura 57 se muestra la distribución al interior y la caracterización de materiales por elementos constructivos en el modelo analizado.

Tabla 4.Ficha técnica de Casa de Pescadores

CAMPO	DESCRIPCION
Nombre del inmueble	Casa de Pescadores
Ubicación	Herrera de Alcántara, Parque Natural del Tajo Internacional
Tipología	Residencial tradicional rural
Uso actual	Centro de recepción de visitantes
Año de construcción	Inicios siglo XX
Sistema constructivo	Muros de piedra, cubierta inclinada de teja sobre entramado de madera
Materiales predominantes	Muros: Pizarra Forjados: Hormigón y lajas de pizarra Cubierta: Teja cerámica de barro y madera
Superficie útil	55,40 m²
Número de pisos	1
Programa arquitectónico	Salón Aseo Habitación 1 Habitación 2 Hall de distribución

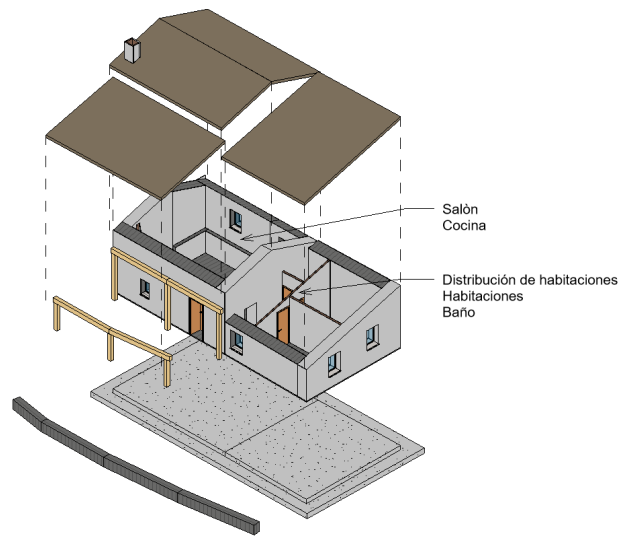


Figura 55. Distribución espacial al interior de la vivienda-Casa de Pescadores

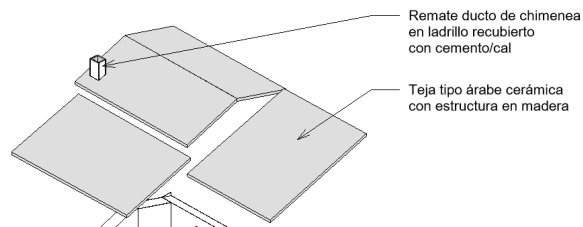


Figura 56. caracterización de cubierta. Casa de pescadores

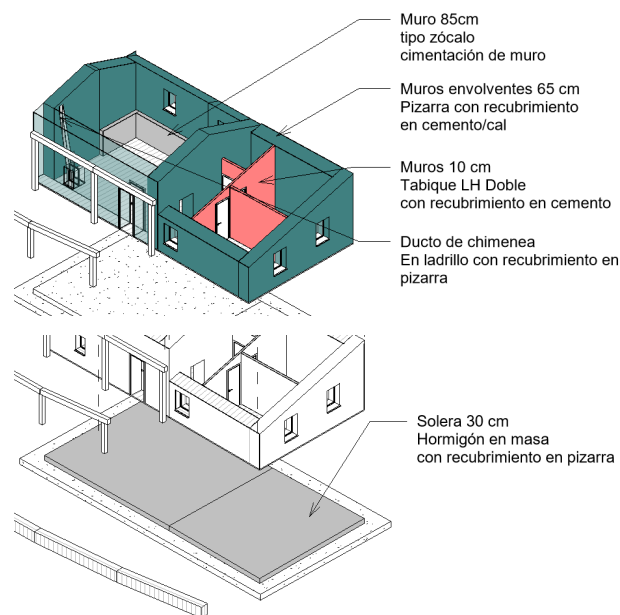


Figura 57. Superior: caracterización de muros. Inferior: caracterización de forjados. Casa de pescadores

Para el desarrollo del modelo energético de la edificación, se emplea una metodología basada en el uso de distintos programas especializados en modelado BIM, interoperabilidad y simulación térmica. Esta secuencia de herramientas permite una transición eficiente entre etapas de optimización, análisis y simulación energética.

Independientemente del software empleado, resulta fundamental definir con precisión en el modelo la caracterización de los materiales y sistemas constructivos. Esta etapa es esencial para asignar propiedades físicas y térmicas a los elementos que conforman la edificación, lo cual garantiza la fidelidad de la información durante los procesos de simulación que se aplican en futuras secciones de este documento.

En cuanto la optimización del modelado con el fin de generar una simulación energética. Este se hace previamente desde Revit (que es el software nativo de donde proviene el modelo) para luego exportar a un modelo IFC que sirva como base para los ajustes a posteriori en Cype.

En este proceso, se logra hacer una limpieza de elementos que no aportan contenido relevante para el posterior análisis, se evalúa y corrigen temas de uniones entre elementos y se generan los espacios y habitaciones necesarios para simplificar la geometría que debe analizar cada herramienta en paralelo como se muestra en la Figura 58.

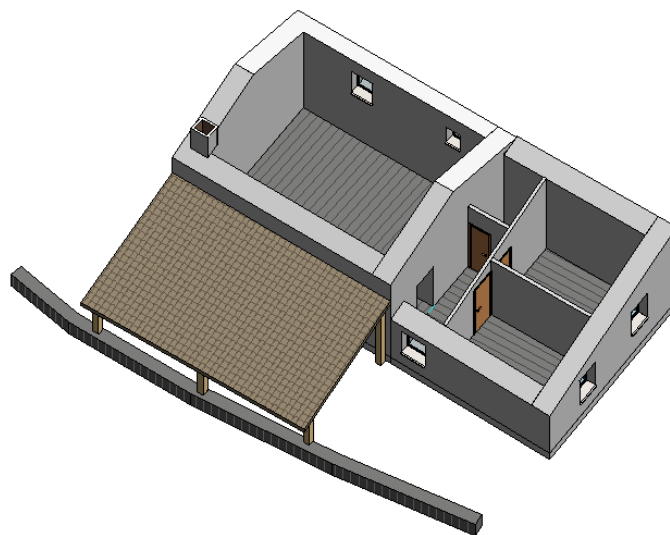


Figura 58. Modelo optimizado en Revit 2025

De la anterior configuración se procesa un modelo analítico como se muestra en la Figura 59, el cual desde el software Revit permite generar informes en “html” o locales

en dos presentaciones: el primero de forma general evaluando el comportamiento energético anual del edificio y el segundo, donde por estancia o espacio al interior de la vivienda muestra los requerimientos de calefacción y refrigeración. Los resultados puntuales serán expuestos en el siguiente apartado.

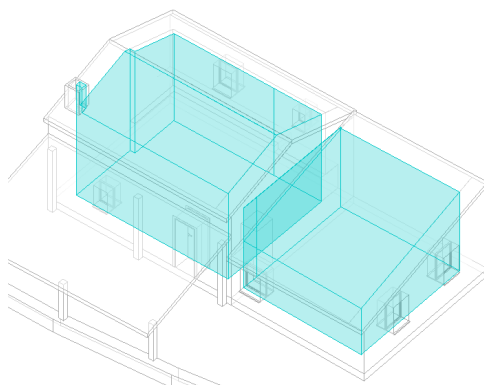


Figura 59. Modelo analítico generado- Casa de Pescadores

En el proceso de simulación energética, tras la fase de modelado inicial, la optimización del modelo en Revit y la exportación del modelo en formato IFC, se emplean diversas herramientas del ecosistema CYPE para continuar con el análisis. Estas aplicaciones permiten generar un modelo analítico, incorporar sistemas constructivos específicos y preparar la geometría para su evaluación energética. A continuación, se describe el procedimiento seguido dentro de CYPE para adaptar el modelo a los requerimientos de simulación.

Desde Cype, el procesamiento de modelo analítico varía un poco en cuanto a la ejecución de los pasos, debido a que se requiere de una aplicación adicional para su desarrollo. En Cype Construction System, se exporta el modelo previamente caracterizado al software Cype Analitical Model, en este se revisan y corrigen las propiedades de las plantillas o conjuntos predefinidos de propiedades que se aplican a los elementos constructivos del modelo, como muros, forjados o huecos, para definir su comportamiento y facilitar la creación automática del modelo analítico. Junto con el ajuste de colindancias por superficies, se refuerza la acción de caracterizar los materiales y sus propiedades térmicas y acústicas, optimizando la generación del modelo para simulaciones. que vienen de dicha importación como se muestra en la Figura 60 y la Figura 61.



(1) Revit

- Interreg**  Cofinanciado por
la Unión Europea
Cofinanciado pela
União Europeia
- España – Portugal**

Desde el punto de vista de la envolvente térmica, se observa que el edificio presenta una baja demanda energética en electricidad, con valores nulos en iluminación, equipos y climatización activa. Este resultado refleja que la envolvente ha sido diseñada con criterios pasivos, posiblemente mediante estrategias como orientación solar optimizada, ventilación cruzada y aislamiento térmico eficiente.

En cuanto a la demanda de calefacción como se muestra en la Figura 62 y la Figura 63, se registran picos significativos en los meses de invierno, alcanzando un máximo de 1058.21 W en enero. Este comportamiento confirma que la envolvente permite cierta transferencia térmica en condiciones de baja temperatura exterior, lo que implica que, aunque el aislamiento es funcional, existen pérdidas térmicas que deben ser compensadas.

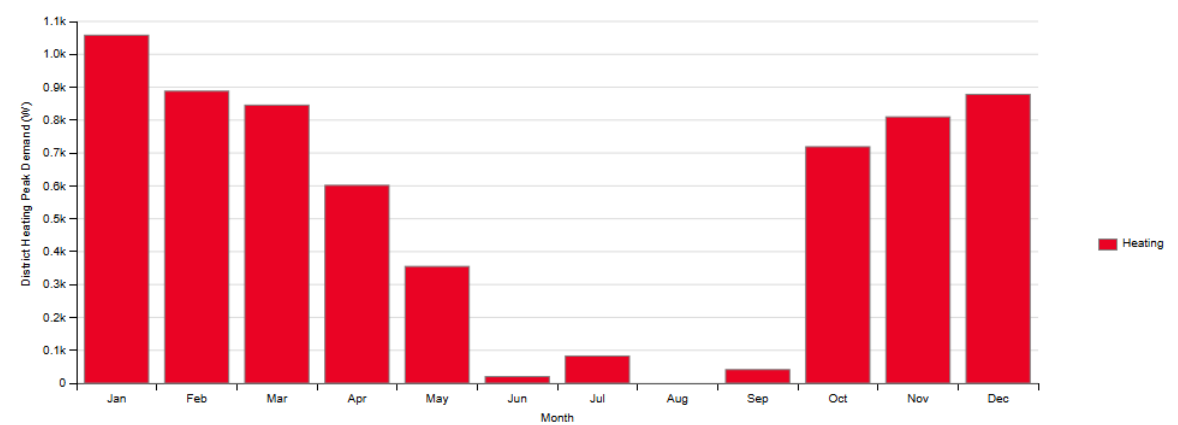


Figura 62. Diagrama de barras- Demanda de calefacción casa de pescadores. Informe Open Studio- Autodesk Revit

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Heating	1058.21	888.1	845.56	601.75	355.14	20.05	82.56		41.19	718.94	809.84	878.21
Cooling												
Interior Lighting												
Exterior Lighting												
Interior Equipment												
Exterior Equipment												
Fans												
Pumps												
Heat Rejection												
Humidification												
Heat Recovery												
Water Systems												
Refrigeration												
Generators												
Total	1058.21	888.1	845.56	601.75	355.14	20.05	82.56		41.19	718.94	809.84	878.21

Figura 63. Tabla- Demanda de calefacción casa de pescadores. Informe Open Studio- Autodesk Revit

Por otro lado, la demanda de refrigeración muestra un comportamiento inverso, con máximos en verano, alcanzando 1924.09 W en julio, como se expone en la Figura 64y en la Figura 65. Este dato sugiere que la envolvente presenta ganancias térmicas considerables en los meses cálidos, posiblemente por radiación solar directa o por insuficiente protección solar en huecos acristalados.

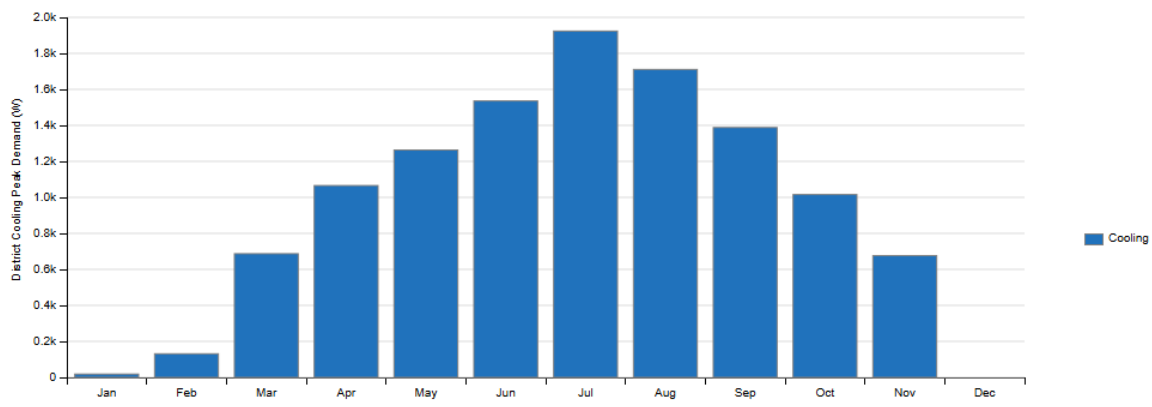


Figura 64. Diagrama de barras- Demanda de refrigeración casa de pescadores. Informe Open Studio- Autodesk Revit

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Heating												
Cooling	18.53	131.35	687.15	1065.93	1263.22	1535.92	1924.09	1710.83	1388.12	1015.83	676.34	
Interior Lighting												
Exterior Lighting												
Interior Equipment												
Exterior Equipment												
Fans												
Pumps												
Heat Rejection												
Humidification												
Heat Recovery												
Water Systems												
Refrigeration												
Generators												
Total	18.53	131.35	687.15	1065.93	1263.22	1535.92	1924.09	1710.83	1388.12	1015.83	676.34	

Figura 65. Tabla- Demanda de Refrigeración casa de pescadores. Informe Open Studio- Autodesk Revit

La envolvente del edificio, por tanto, se comporta de manera estacional, con una respuesta térmica que depende de las condiciones climáticas externas. Aunque los valores de demanda energética no son excesivos, se identifican oportunidades de mejora en la selección de materiales, en el diseño de fachadas y en la incorporación de

sistemas pasivos adicionales, como protecciones solares móviles, dobles pieles o materiales de cambio de fase.

- Desde Revit también se genera un segundo informe, que hace referencia al comportamiento energético anual por espacios o estancias de las que está compuesta la vivienda y donde se analiza lo siguiente:

Durante el mes de julio, en condiciones exteriores de alta temperatura (35.3 °C) y humedad moderada, la zona “Estar-Comedor-Cocina” presenta una carga máxima de refrigeración de 3804 W, mientras que en las habitaciones 1 y 2, se alcanza 2992 W. En ambos casos, la envolvente térmica es responsable de más del 85 % de la carga total, destacando que la cubierta es la principal fuente de ganancia térmica, con 93.4 % en la zona común y 86.8 % en la habitación.; los vidrios, aportan entre 0.6 % y 4.0 % de la carga, lo que sugiere oportunidades de mejora mediante vidrios de baja emisividad; las infiltraciones 2.9 % y 3.8 %, indicando una envolvente con cierto grado de permeabilidad al aire exterior. Parte del informe que muestra las necesidades de refrigeración se muestran en las Figura 66 y la Figura 67.

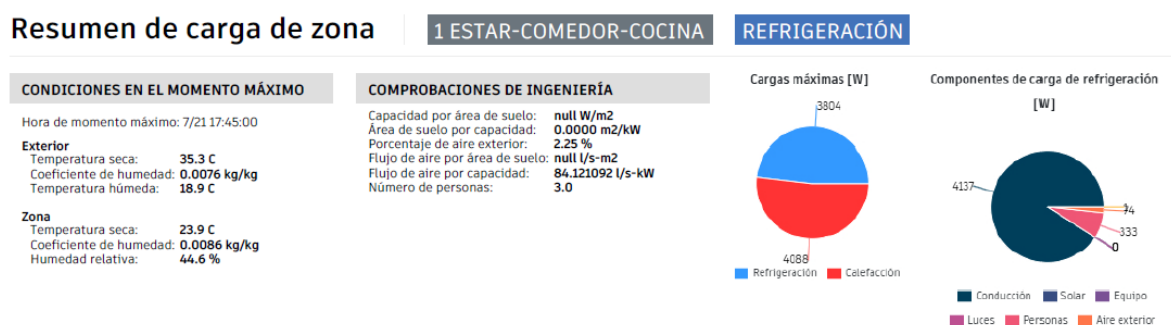


Figura 66. Informe por espacios de demanda energética enfocada en refrigeración para la zona de Estar-Comedor-Cocina. Casa pescadores

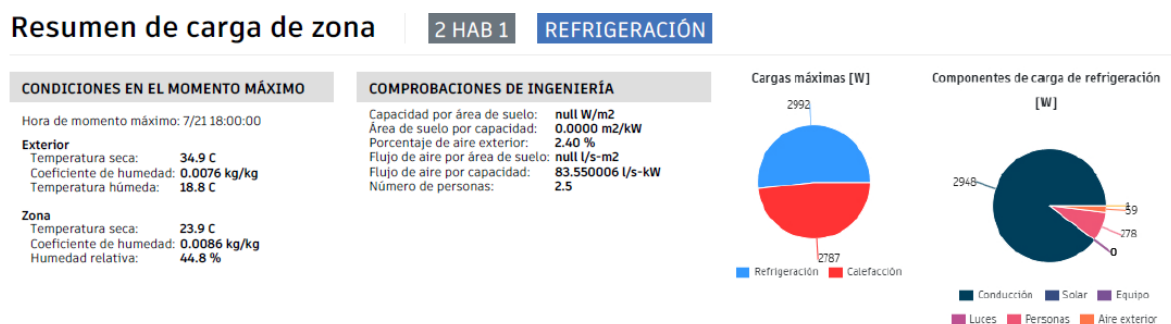


Figura 67. Informe por espacios de demanda energética enfocada en refrigeración para la zona de Habitaciones. Casa pescadores

En referencia a la calefacción, se muestra parte de los informes en la Figura 68 y la Figura 69, donde en condiciones invernales (sobre los 0 °C o menos), la demanda de calefacción alcanza 4088 W en la zona del salón-cocina y 2787 W en las habitaciones. A diferencia del comportamiento en verano, las cargas térmicas se expresan como pérdidas, siendo la envolvente nuevamente el factor dominante, desde la cubierta y muros que contribuyen negativamente con pérdidas del 46.8 % y 41.2 % respectivamente en el salón, y 48.6 % y 39.7 % en las habitaciones. Los vidrios, los cuales aportan pérdidas menores (1.4 % a 3.2 %), aunque significativas en términos de confort térmico. Y finalmente, las infiltraciones que generan pérdidas del orden del 8.5 % al 9.4 %, lo que refuerza la necesidad de mejorar la hermeticidad de la envolvente.

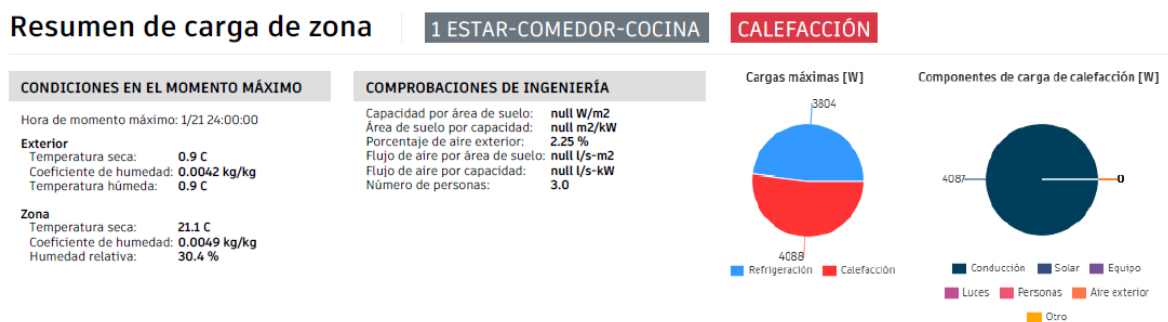


Figura 68 Informe por espacios de demanda energética enfocada en calefacción para la zona de Estar-Comedor-Cocina. Casa pescadores

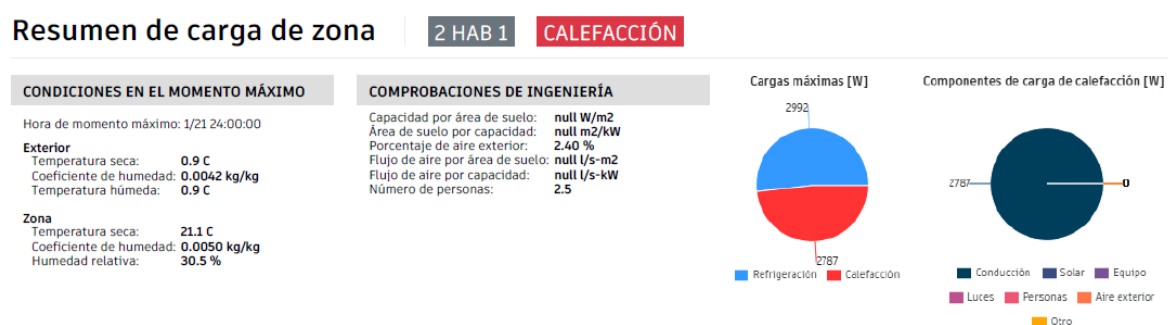


Figura 69. Informe por espacios de demanda energética enfocada en Calefacción para la zona de Habitaciones. Casa pescadores

Las condiciones interiores en ambos escenarios se mantienen dentro de rangos de confort térmico, con temperaturas de 23.9 °C en verano y 21.1 °C en invierno, y humedades relativas entre 30 % y 45 %. El porcentaje de aire exterior es bajo (2.25 % a

2.40 %), lo que sugiere un sistema de ventilación controlado. Las comprobaciones de ingeniería indican una capacidad de flujo de aire por unidad de carga térmica adecuada (≈ 84 l/s-kW), aunque no se especifican valores por área de suelo.

- Desde Revit también se genera un informe que se carga directamente a la nube de Autodesk Insight como se muestra en la Figura 70. Este es un informe más dinámico y grafico que muestra un análisis de impacto ambiental centrado en la huella de carbono y la intensidad de uso energético.

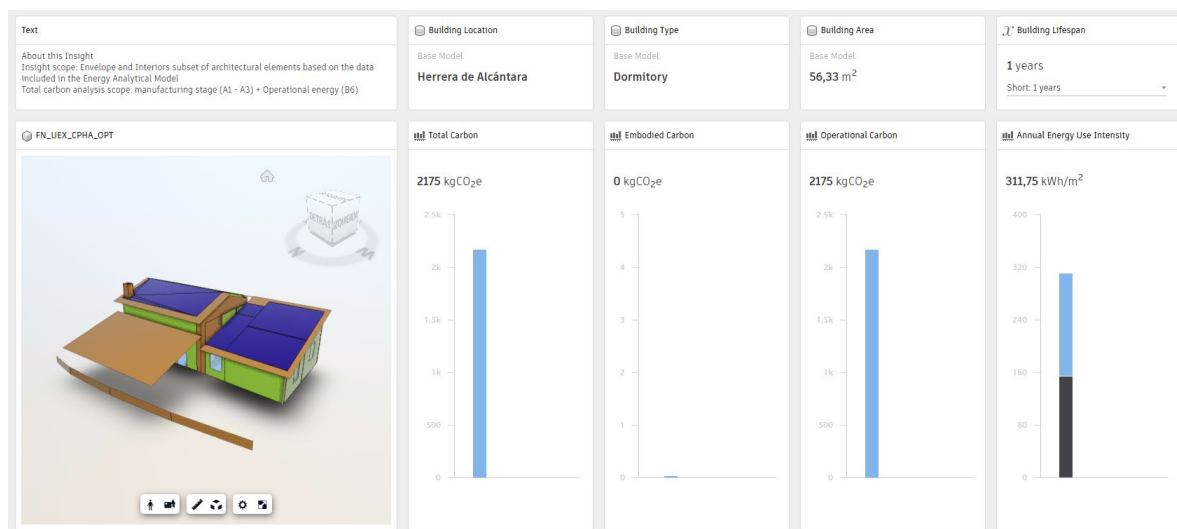


Figura 70. Interfaz del Informe en la nube de Autodesk Insight. Casa de pescadores

El análisis de huella de carbono realizado para esta vivienda se ha centrado en los alcances A1-A3 (fabricación de materiales) y B6 (uso energético), siguiendo la metodología Insight. El resultado total asciende a 2175 kgCO₂e/año, que se atribuye exclusivamente al consumo energético simulado durante un supuesto de funcionamiento del edificio, como se muestra en la Figura 70.

Aunque el alcance B6 suele asociarse a emisiones derivadas del uso de instalaciones activas (como sistemas de climatización o iluminación), en este caso específico el impacto corresponde a la demanda energética provocada por el comportamiento térmico de la envolvente arquitectónica. Es decir, las pérdidas y ganancias de calor a través de los elementos constructivos (cubierta, muros, cristales, infiltraciones) que se configuraron previamente en el modelo, generan cargas térmicas que deben ser

compensadas por medios mecánicos en la simulación, aunque no se hayan modelado explícitamente dichos sistemas.

La ausencia de emisiones por carbono incorporado (0 kgCO₂e) indica que el análisis no ha considerado el impacto ambiental derivado de la fabricación y transporte de los materiales de construcción (porque evidentemente es un edificio existente). En cambio, el valor total de emisiones (2175 kgCO₂e/año) corresponde exclusivamente al consumo energético simulado durante el uso del edificio. Aunque este tipo de emisiones suele asociarse al funcionamiento de instalaciones activas, en este caso específico se originan por la demanda térmica provocada por las características físicas de la envolvente arquitectónica. Es decir, las pérdidas de calor en invierno y las ganancias térmicas en verano, generadas por elementos como la cubierta, los muros, los vidrios y las infiltraciones, son las que inducen la necesidad de climatización en el modelo. Por tanto, el carbono operativo aquí no refleja el uso de sistemas mecánicos, sino el comportamiento pasivo del edificio frente al clima.

(2) Cype

Por otra parte, se ha desarrollado una simulación detallada utilizando el software CYPETHERM HE Plus integrado en el ecosistema BIM SERVER CENTER, herramienta reconocida oficialmente para la evaluación de eficiencia energética en edificios en España. Este software emplea el motor de cálculo EnergyPlus™ (versión 23.1), que permite realizar simulaciones térmicas horarias a lo largo de un año completo, considerando las condiciones climáticas locales, los perfiles de uso definidos y las características físicas de la envolvente arquitectónica. De este software se pueden extraer en PDF los informes de consumo, de demanda y la calificación energética, siendo este último el de mayor relevancia por que recopila la información de los dos primeros informes y genera una calificación acorde a los resultados obtenidos. (anexos)

El análisis energético de la casa de pescadores revela una demanda térmica anual elevada, especialmente en calefacción. Donde la demanda energética en este aspecto asciende a 11,429.30 kWh/año, lo que equivale a 206.30 kWh/m²·año. Este valor indica que la envolvente presenta pérdidas térmicas significativas durante los meses fríos, lo

que obliga a compensar mediante sistemas de climatización. En contraste, la demanda de refrigeración es considerablemente menor, con 1,121.85 kWh/año (20.25 kWh/m²·año), lo que sugiere que el edificio está menos expuesto a ganancias térmicas en verano, aunque no exento de ellas, como se muestra en la Figura 71.

3. CALIFICACIÓN PARCIAL DE LA DEMANDA ENERGÉTICA DE CALEFACCIÓN Y REFRIGERACIÓN

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

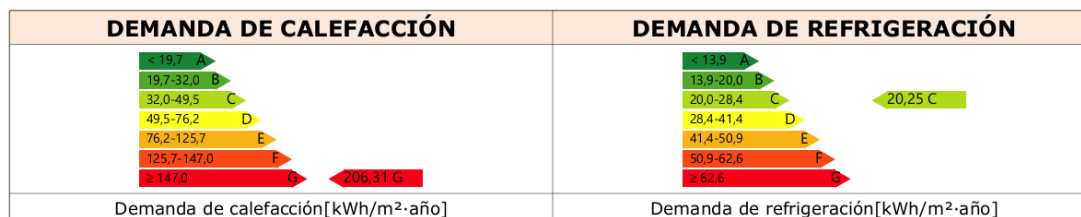


Figura 71. Apartado 3 del informe de calificación energética en Pdf extraído de Cype HE Therm Plus. Casa de pescadores.

El consumo energético final total del edificio se sitúa en 12,434.78 kWh/año, con una energía primaria total de 15,381.77 kWh/año, de los cuales 15,137.51 kWh/año corresponden a fuentes no renovables. La calefacción representa más del 96 % del consumo total, lo que refuerza la conclusión de que la envolvente térmica no es suficientemente eficiente en retener el calor interior. La refrigeración y el servicio de agua caliente sanitaria (ACS) tienen una participación marginal, con consumos de 445.18 kWh/año y 21.75 kWh/año respectivamente, como se muestra en la Figura 72.

Consumo energético

1. RESULTADOS DEL CÁLCULO DEL CONSUMO ENERGÉTICO

1.1. Consumo energético de los servicios técnicos del edificio.

Se muestra el consumo anual de energía final, energía primaria y energía primaria no renovable correspondiente a los distintos servicios técnicos del edificio. Los consumos de los servicios de calefacción y refrigeración incluyen el consumo eléctrico de los equipos auxiliares de los sistemas de climatización.

EDIFICIO ($S_u = 55.40 \text{ m}^2$)

Servicios técnicos	EF		EP _{tot}		EP _{ren}	
	(kWh/año)	(kWh/m ² -año)	(kWh/año)	(kWh/m ² -año)	(kWh/año)	(kWh/m ² -año)
Calefacción	11967.85	216.02	14301.56	258.14	14241.72	257.06
Refrigeración	445.18	8.04	1054.18	19.03	869.86	15.70
ACS	21.75	0.39	25.98	0.47	25.87	0.47
	12434.78	224.45	15381.77	277.64	15137.51	273.23

donde:

- S_u : Superficie útil habitable incluida en la envolvente térmica, m².
- EF: Energía final consumida por el servicio técnico en punto de consumo.
- EP_{tot}: Consumo de energía primaria total.
- EP_{ren}: Consumo de energía primaria de origen no renovable.

Figura 72. Apartado 1. del informe de consumo energético en Pdf extraído de Cype HE Therm Plus. Casa Pescadores

El balance energético mensual (Figura 73), revela que las mayores pérdidas térmicas se producen entre enero y marzo, con valores negativos de transmisión térmica a través de elementos pesados (Qop) que superan los -1900 kWh/mes. Estas pérdidas se compensan con aportes de calefacción (QH) que alcanzan hasta 2253.7 kWh en enero, lo que evidencia una envolvente con baja capacidad de retención térmica en invierno. Durante los meses cálidos (junio a septiembre), se observan ganancias térmicas internas por ocupación, iluminación y equipamiento que superan los 200 kWh/mes, mientras que las cargas de refrigeración (Qc) alcanzan su máximo en julio con 2099.7 kWh, lo que confirma la sensibilidad del edificio a la radiación solar y a la acumulación de calor interno.

2.1. Balance energético anual del edificio.

La siguiente gráfica de barras muestra el balance energético del edificio mes a mes, contabilizando la energía perdida o ganada por transmisión térmica a través de elementos pesados y ligeros (Q_{op} y Q_w , respectivamente), la energía intercambiada por ventilación e infiltraciones (Q_{ve+inf}), la ganancia de calor interna debida a la ocupación (Q_{ocup}), a la iluminación (Q_{lum}) y al equipamiento interno (Q_{equip}), así como el aporte necesario de calefacción (Q_H) y refrigeración (Q_C).

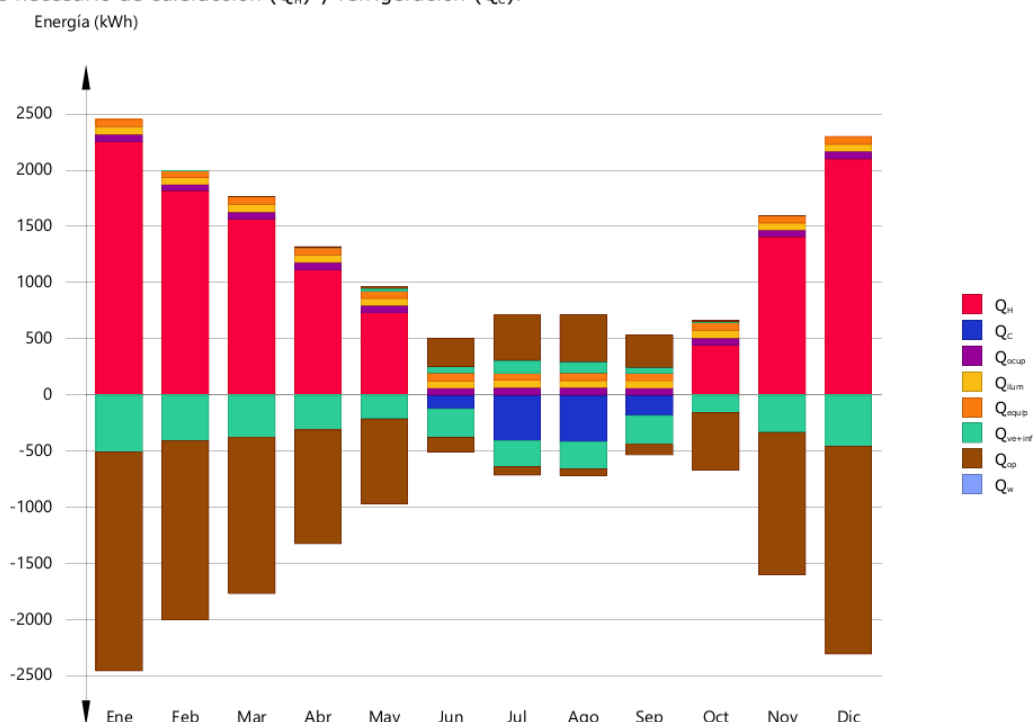


Figura 73. Apartado 2.1 que muestra el balance energético del edificio por meses, del informe de demanda energética en Pdf extraído de Cype HE Therm Plus

4.2. Caso de estudio CEIP-General Navarro (Badajoz)

El Colegio de Educación Infantil y Primaria (CEIP) General Navarro y Alonso de Celada (Figura 74) es un centro público de Badajoz, dependiente de la Consejería de Educación de la Junta de Extremadura. Se encuentra en una zona céntrica de la ciudad. Ofrece educación infantil y primaria. Además, dispone de personal especializado en educación física, filología inglesa, educación musical, pedagogía terapéutica y audición y lenguaje.



Figura 74. Contexto urbano del Colegio General Navarro. Fuente: Google Earth

El centro cuenta con unas instalaciones funcionales, aunque presentan cierto desgaste debido al uso continuado. Dispone de siete aulas destinadas a Educación Primaria y cuatro para Educación Infantil, además de espacios específicos para biblioteca y Nuevas Tecnologías, a nivel general cuenta con 32 espacios. Está previsto incorporar un salón de usos múltiples, proyectado en el edificio que antiguamente ocupaba la portería. Asimismo, el centro incluye dependencias administrativas como secretaría, dirección y sala de profesores, junto con un patio escolar equipado con pista polideportiva y un patio independiente para Educación Infantil.

Por medio de la Tabla 5, se resumen en una ficha técnica los aspectos constructivos y funcionales más relevantes del inmueble, proporcionando una visión general que permite comprender mejor las condiciones iniciales de la vivienda. Adicionalmente en la Figura 75, se muestra la distribución al interior del edificio y la caracterización de materiales por elementos constructivos en el modelo analizado.

Tabla 5. Ficha técnica CEIP General Navarro

CAMPO	DESCRIPCION
Nombre del inmueble	CEIP – General Navarro
Ubicación	C. Correos, 1, 06001 Badajoz
Tipología	Institucional
Uso actual	institución educativa
Año de construcción	1929
Sistema constructivo	Muros de piedra, cubierta inclinada de teja sobre entramado de madera
Materiales predominantes	Muros: Mampostería en ladrillo Forjados: Hormigón Cubierta: Teja cerámica de barro y madera
Superficie útil	1719.33 m ²
Número de pisos	2
Programa arquitectónico	Aulas infantiles Aulas educación primaria Oficinas administrativas Aseos Escaleras Halls de circulación Biblioteca

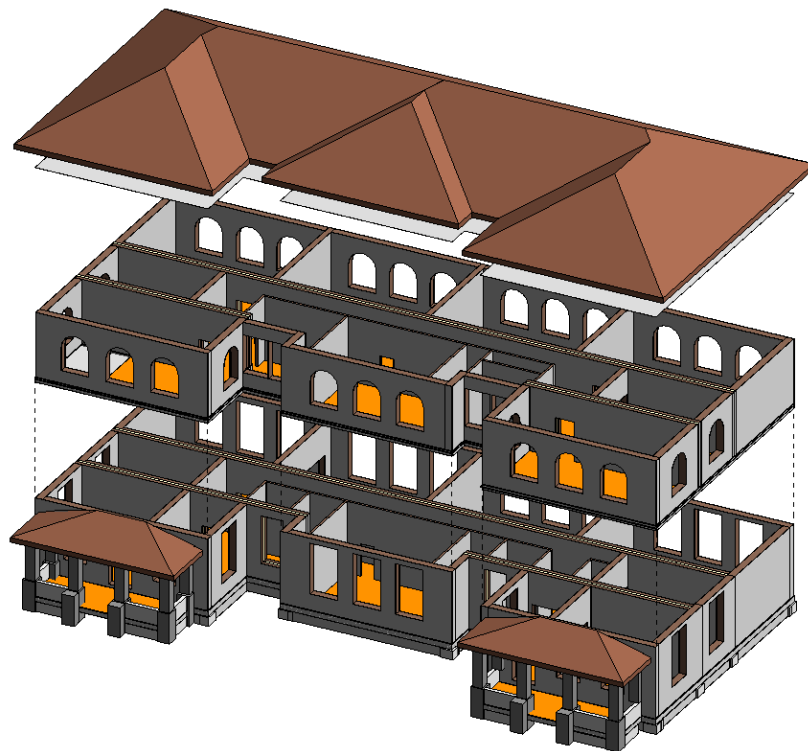


Figura 75. Distribución espacial al interior del edificio General Navarro

Como se ha visto en el edificio de la casa de pescadores, independientemente del software utilizado, es importante aportar al modelo la caracterización de materiales y sistemas constructivos.

En cuanto a la optimización del modelo, este se hace previamente desde Revit, para luego exportar un modelo IFC que sirva como base para los ajustes a posteriori en Cype. En este proceso, se logra hacer una limpieza de elementos que no aportan contenido relevante para el posterior análisis, se evalúa y corrigen temas de uniones entre elementos y se generan los espacios y habitaciones necesarios para simplificar la geometría que debe analizar cada herramienta en paralelo.

Este proceso es el mismo aplicado para la casa de pescadores, la diferencia radica en la complejidad de edificio, que para este caso tiene más área y por consiguiente toma más tiempo en su preparación. Afortunadamente se contaba con un buen modelo base, lo que no implicó mayores ajustes, solo garantizar que las uniones entre elementos correspondieran a la ejecución real de los elementos, es decir, que los muros estuvieran sobre los forjados. Esta acción garantiza que a la hora de generar los espacios y el modelo analítico no se presenten errores en las geometrías generadas. El modelo analítico generado se muestra en la Figura 76.

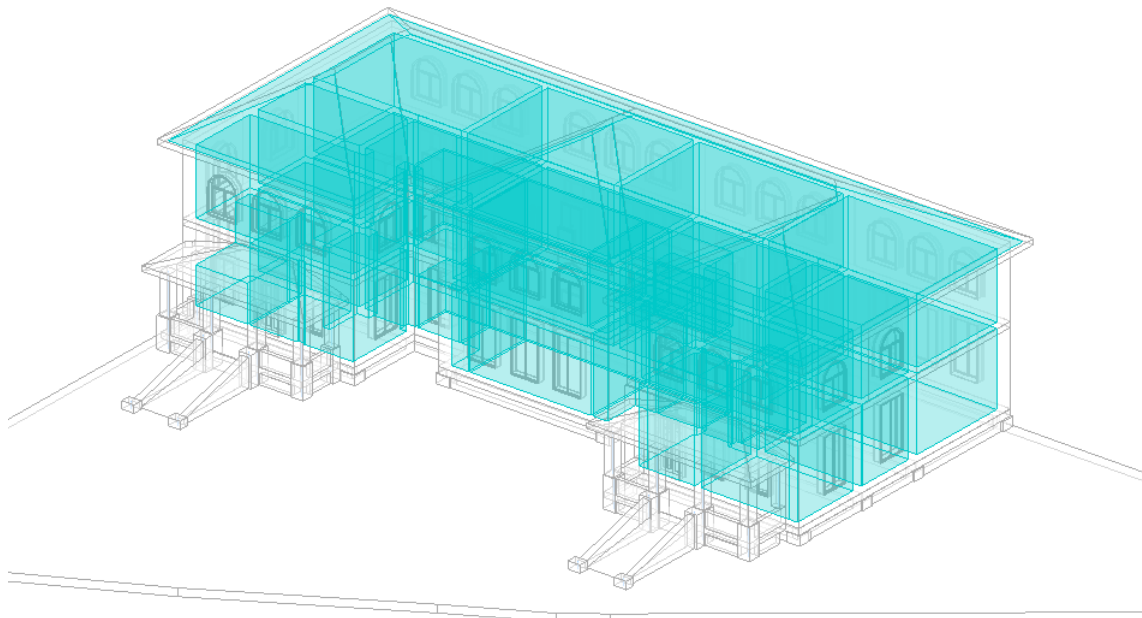


Figura 76. Modelo analítico generado en Autodesk Revit. Colegio General Navarro

i) Simulación energética

(1) Revit

Durante el proceso de simulación energética realizado en Autodesk Revit para el Colegio General Navarro, se ha producido una incidencia técnica que ha impedido la generación automática del informe que se muestra de forma local por medio de un formato "html", donde se muestra una parte a nivel general del edificio y la otra las estancias o espacios de este. El mensaje emitido por el software *"La simulación EnergyPlus no ha podido generar un informe para el análisis de sistemas"* como se muestra en la Figura 77 indica que, aunque el cálculo energético se ha ejecutado, el módulo encargado de compilar los resultados detallados de los sistemas técnicos no ha finalizado correctamente.

Este fallo puede deberse a incompatibilidades internas del motor de simulación, errores en la configuración del modelo, limitaciones en la exportación del archivo o con la geometría del edificio. No se ha identificado una causa específica, pero se descarta que el problema esté relacionado con los parámetros de demanda energética, que sí han sido correctamente procesados.

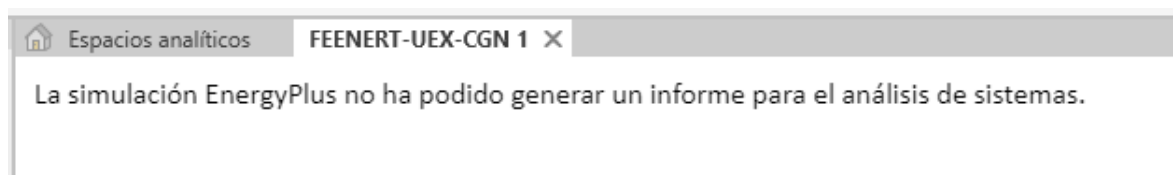


Figura 77. Interfaz en Revit del aviso generado a la hora de ejecutar la simulación para informe local html. Colegio General Navarro

En cuanto a la simulación de huella de carbono presentado en la plataforma de Autodesk Carbon Insigth, también se han identificado limitaciones técnicas que han impedido la generación completa del informe. Como se muestra en la Figura 78, el Carbono incorporado (A1-A3) es 0 kgCO₂e, el Carbono operativo (B6) "no disponible" debido a error de simulación y la Intensidad energética anual junto con el carbono total no presentan datos. Esta situación sugiere que a pesar de que los materiales del modelo fueron definidos correctamente, el sistema no ha logrado procesarlos.

correctamente. Asimismo, el fallo en la simulación energética ha impedido calcular el consumo energético anual y las emisiones asociadas al uso del edificio.

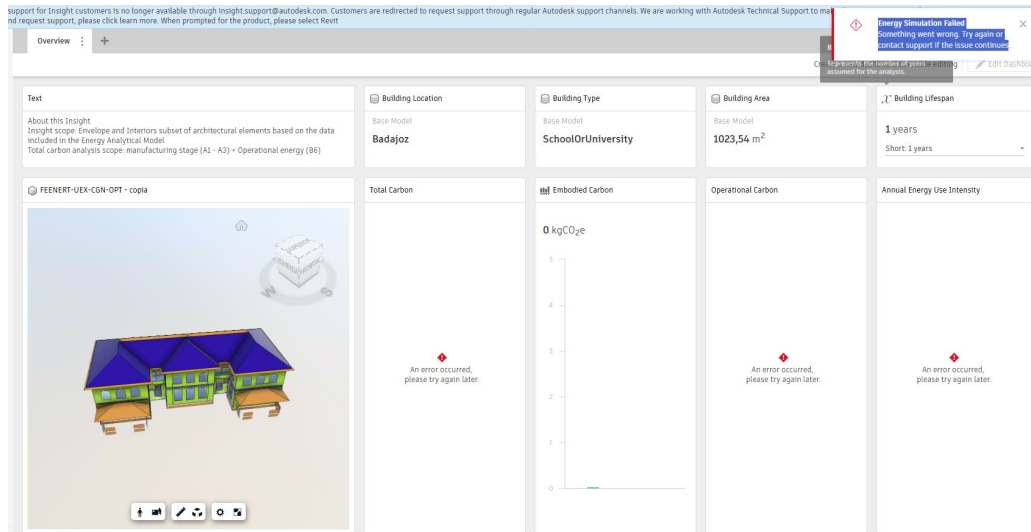


Figura 78. Interfaz con error en la generación del Informe en la nube de Autodesk Insight. Colegio General Navarro

(2) Cype

La simulación aplicada desde el software Cype HE Therm Plus, para este caso arroja dos tipos de informe, el de demanda energética y el de consumo. A diferencia de la casa de pescadores, que arrojo un informe de calificación energética, en este caso no se presenta esta condición. Es probable que se deba a las condiciones técnicas propias del software, o del modelo que están en exploración.

En cuanto al informe de demanda energética, la envolvente del edificio compuesta por elementos opacos (muros, cubierta, suelo), elementos ligeros (carpinterías y huecos), y superficies en contacto con el exterior, representa el principal mecanismo de intercambio térmico pasivo. Según los resultados del informe, las pérdidas por transmisión térmica a través de elementos opacos (Q_{op}) y ligeros (Q_w) son las responsables de una parte sustancial de la demanda energética anual.

Durante los meses fríos, especialmente entre enero y marzo, se registran pérdidas térmicas por transmisión superiores a los 80.000 kWh/año en el conjunto del edificio. Estas pérdidas se concentran en las zonas habitables, donde la envolvente no logra retener el calor interior, lo que obliga a compensaciones activas mediante calefacción. En concreto, la zona por defecto (aulas y espacios docentes) presenta una demanda de

calefacción de 52,10 kWh/m²·año, mientras que la zona común alcanza los 49,71 kWh/m²·año como se muestra en la Figura 79 lo que evidencia una envolvente con baja capacidad de aislamiento térmico.

1. RESUMEN DEL CÁLCULO DE LA DEMANDA ENERGÉTICA.

La siguiente tabla es un resumen de los resultados obtenidos en el cálculo de la demanda energética de calefacción y refrigeración de cada zona habitable, junto a la demanda total del edificio.

Zonas habitables	S _u (m ²)	D _{cal}		D _{ref}	
		(kWh/año)	(kWh/m ² ·año)	(kWh/año)	(kWh/m ² ·año)
Por defecto:50920	1581.14	82381.90	52.10	13470.75	8.52
Zona común	398.98	19834.11	49.71	3185.18	7.98
	1980.12	102216.01	51.62	16655.93	8.41

donde:

S_u: Superficie útil de la zona habitable, m².

D_{cal}: Valor calculado de la demanda energética de calefacción, kWh/m²·año.

D_{ref}: Valor calculado de la demanda energética de refrigeración, kWh/m²·año.

Figura 79. Apartado 1 del informe de consumo energético en Pdf extraído de Cype HE Therm Plus- Colegio General Navarro

Las pérdidas por ventilación e infiltraciones (Q_{ve+inf}) también son significativas, con valores anuales superiores a 54.800 kWh, lo que indica una envolvente poco hermética. Este comportamiento se traduce en una renovación de aire no controlada, que incrementa la demanda energética sin aportar beneficios en términos de calidad ambiental. La tasa de renovación media en las zonas habitables es de 0,63 renovaciones/hora, lo que sugiere que el edificio no cuenta con estrategias de control pasivo del aire exterior.

En los meses cálidos, la envolvente tampoco logra evitar el sobrecalentamiento. Las ganancias térmicas por radiación solar y la baja inercia térmica de los cerramientos generan una demanda de refrigeración de 8,41 kWh/m²·año en el conjunto del edificio. Aunque este valor es menor que el de calefacción, sigue siendo relevante en un contexto de confort térmico y eficiencia energética.

El balance energético mensual expuesto en la Figura 80, muestra que las ganancias internas por ocupación, iluminación y equipamiento no logran compensar las pérdidas estructurales, lo que indica que la envolvente no actúa como un regulador térmico eficaz. Las temperaturas operativas interiores oscilan ampliamente, con valores por debajo de los 15 °C en invierno y por encima de los 30 °C en verano, lo que confirma la necesidad de intervención sobre los cerramientos.

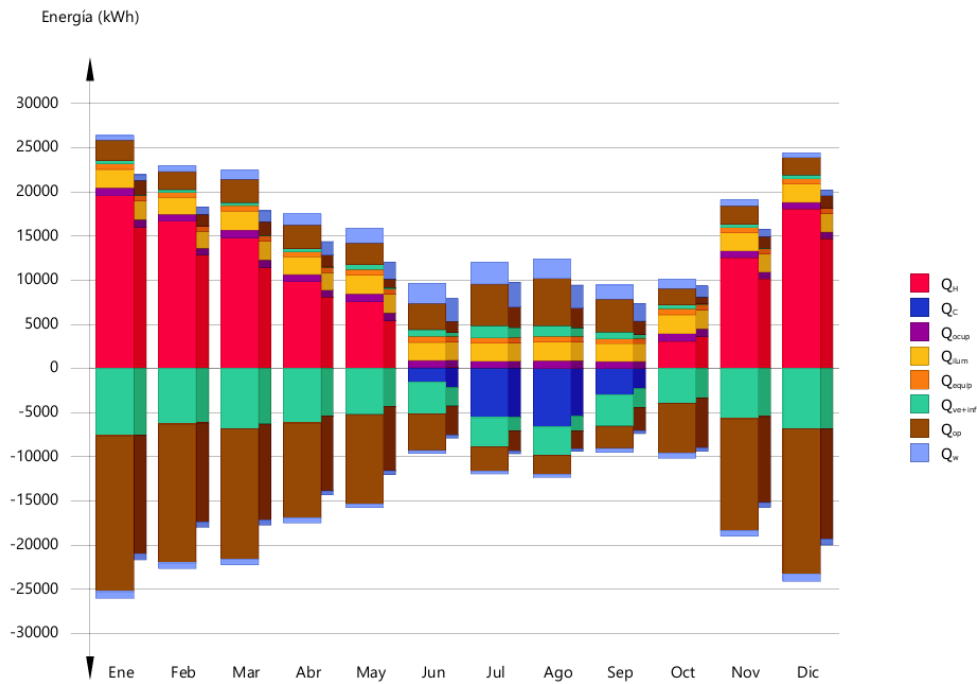


Figura 80. Balance energético mensual del informe de consumo energético en Pdf extraído de Cype HE Therm Plus- Colegio General Navarro

Desde el informe de consumo energético se muestra que el edificio anualmente consume 186.463,32 kWh, lo que equivale a 94,17 kWh por metro cuadrado útil. Este valor refleja el total de energía final utilizada por los distintos servicios técnicos, entre los que destaca la calefacción como el principal consumidor. De hecho, la calefacción representa aproximadamente el 78,3 % del consumo total, con 146.022,84 kWh/año como se muestra en la Figura 81 , lo que evidencia una fuerte dependencia de este sistema para mantener condiciones de confort térmico. Le sigue la iluminación, que consume 24.791,09 kWh/año, equivalente al 13,3 % del total, lo que sugiere un uso intensivo de luz artificial, posiblemente por falta de aprovechamiento de luz natural o por sistemas de iluminación poco eficientes.

La refrigeración, por su parte, representa un consumo mucho más moderado, con 9.797,61 kWh/año, lo que equivale al 5,3 % del total. El servicio de agua caliente sanitaria (ACS) consume 5.551,31 kWh/año, es decir, un 3,0 %, mientras que la ventilación apenas alcanza el 0,2 %, con 300,48 kWh/año, lo que indica un impacto energético residual. Estos datos permiten identificar claramente que las estrategias de mejora deben centrarse en la calefacción y la iluminación, que en conjunto representan más del 91 % del consumo energético del edificio.

1.1. Consumo energético de los servicios técnicos del edificio.

Se muestra el consumo anual de energía final, energía primaria y energía primaria no renovable correspondiente a los distintos servicios técnicos del edificio. Los consumos de los servicios de calefacción y refrigeración incluyen el consumo eléctrico de los equipos auxiliares de los sistemas de climatización.

EDIFICIO ($S_u = 1980.12 \text{ m}^2$)

Servicios técnicos	EF		EP _{tot}		EP _{non}	
	(kWh/año)	(kWh/m ² ·año)	(kWh/año)	(kWh/m ² ·año)	(kWh/año)	(kWh/m ² ·año)
Calefacción	146022.84	73.74	172599.11	87.17	172161.51	86.94
Refrigeración	9797.61	4.95	23199.08	11.72	19143.80	9.67
ACS	5551.31	2.80	6633.40	3.35	6605.68	3.34
Ventilación	300.48	0.15	712.84	0.36	588.10	0.30
Iluminación	24791.09	12.52	58704.61	29.65	48441.65	24.46
	186463.32	94.17	261851.03	132.24	246940.73	124.71

donde:

- S_u : Superficie útil habitable incluida en la envolvente térmica, m².
- EF: Energía final consumida por el servicio técnico en punto de consumo.
- EP_{tot}: Consumo de energía primaria total.
- EP_{non}: Consumo de energía primaria de origen no renovable.

Figura 81. Apartado 1.1. del informe de consumo del Colegio General Navarro, extraído del software Cype Therm HE Plus

La demanda energética del edificio, que incluye calefacción, refrigeración y ACS, asciende a 113.873,47 kWh/año. De esta cifra, la calefacción representa 102.216,01 kWh/año, es decir, el 89,8 % de la demanda total. La refrigeración demanda 16.655,93 kWh/año, lo que equivale al 14,6 %, mientras que el ACS requiere 5.301,53 kWh/año, un 4,7 %. Estos porcentajes confirman que la calefacción no solo domina el consumo energético, sino también la demanda térmica del edificio, lo que refuerza la necesidad de intervenir en este sistema para mejorar la eficiencia global.

4.3. Caso de estudio Palacio de Carvajal (Cáceres)

El Palacio de Carvajal (Figura 82), situado en pleno casco histórico de Cáceres, es una obra representativa de la arquitectura señorial extremeña, donde se entrelazan la historia familiar, el legado artístico y la tradición constructiva de los siglos XV y XVI. Su origen se vincula a la poderosa familia Carvajal, cuyo linaje dejó huella en la vida política y social de la ciudad durante la Edad Media y el Renacimiento.



Figura 82. Contexto urbano del Palacio Carvajal-Cáceres. Fuente: Google Earth

El edificio se organiza en torno a un patio central porticado, típico de las casas palaciegas de la época. Su fachada principal, de sillería granítica, y se destaca el balcón esquinado en arco apuntado, una rareza arquitectónica que aporta dinamismo a la fachada y conecta visualmente con la Concatedral de Santa María. Por medio de la Tabla 6 y la Figura 83 se muestra la configuración espacial y las principales características de este edificio, que son la base junto con la caracterización de materiales para el desarrollo de las simulaciones energéticas.

Tabla 6. Ficha técnica Palacio Carvajal

CAMPO	DESCRIPCION		
Nombre del inmueble	Palacio de Carvajal		
Ubicación	C. Amargura, 1, Centro-Casco Antiguo, 10003, Cáceres		
Tipología	Administrativo		
Uso actual	Oficinas de turismo		
Año de construcción	Finales siglo XVI		
Sistema constructivo	Muros en sillería de granito y piedras de la región, Bóvedas en piedra de granito		
Materiales predominantes	Muros: sillería de granito, Mampostería de piedras Gneis Forjados: Madera y hormigón Cubierta: Teja cerámica de barro y estructura de madera		
Superficie útil	863.22 m ²		
Número de pisos	2		
Programa arquitectónico	Vestíbulo Patio central Oficinas Aseos	Salas de exposición Escalera de torre redonda Salas de reuniones Hall de circulaciones	Escaleras Depósitos Ascensor

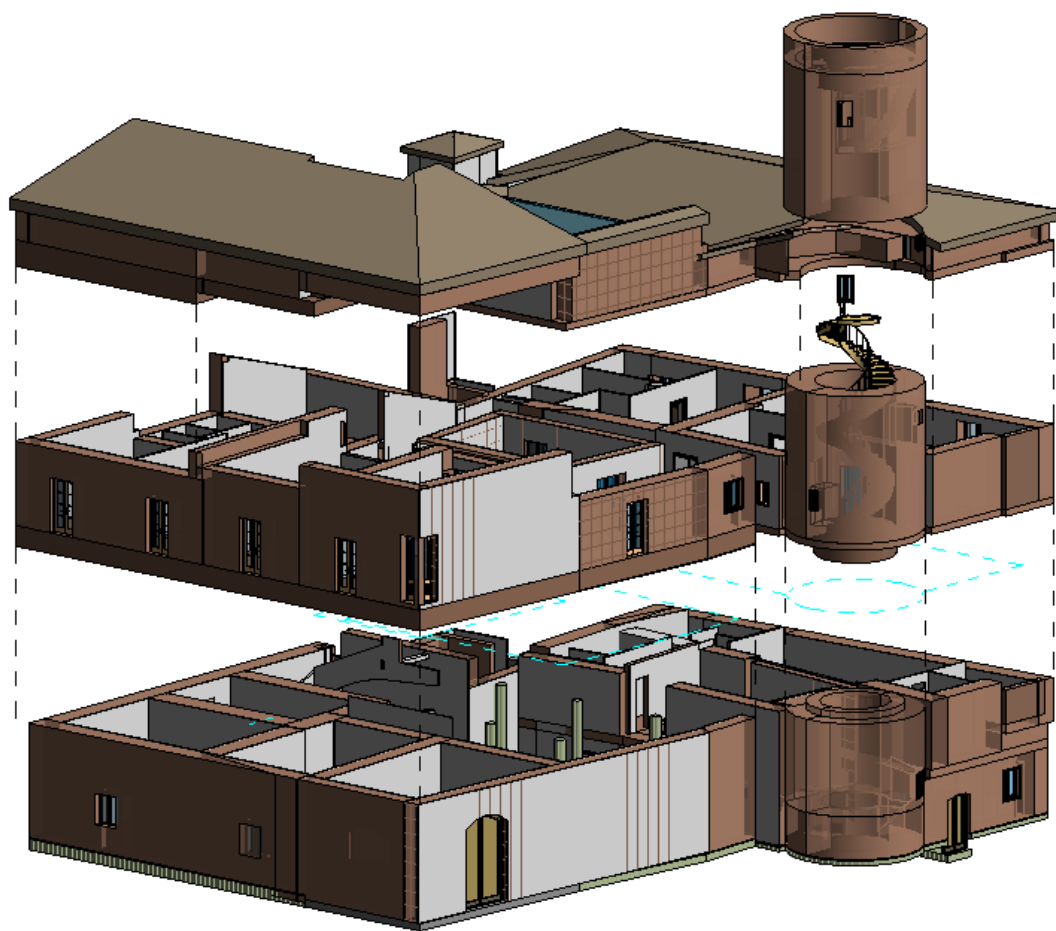


Figura 83. Distribución espacial del palacio Carvajal- Cáceres

La optimización de este modelo se concentra en los espacios habitables del mismo, para este caso se retira el jardín que ocupa gran parte del modelo y no aporta información relevante respecto al comportamiento energético del edificio. Por otra parte, la geometría de este modelo es más compleja, a pesar de que tiene menos área que el anterior caso de estudio, lo que dificulta las labores de limpieza y garantía en las uniones entre elementos. Si bien, se desarrolló un esfuerzo importante por optimizar el modelo, la presencia masiva de niveles y la complejidad de la modelación en el modelo nativo no permite que se complete al 100%, ya que los riesgos de pérdida de elementos e información incrementaban. Por tanto, se trabajó con el modelo base revisando que cada espacio tuviera el mínimo de uniones permitidas para que se generara un modelo analítico válido para las simulaciones. La irregularidad de la geometría por replicar el modelo con el tipo de construcción de la época, generan este

tipo de situaciones. El modelo analítico que se logra obtener, a pesar de las dificultades técnicas del modelado se muestra en la Figura 84.

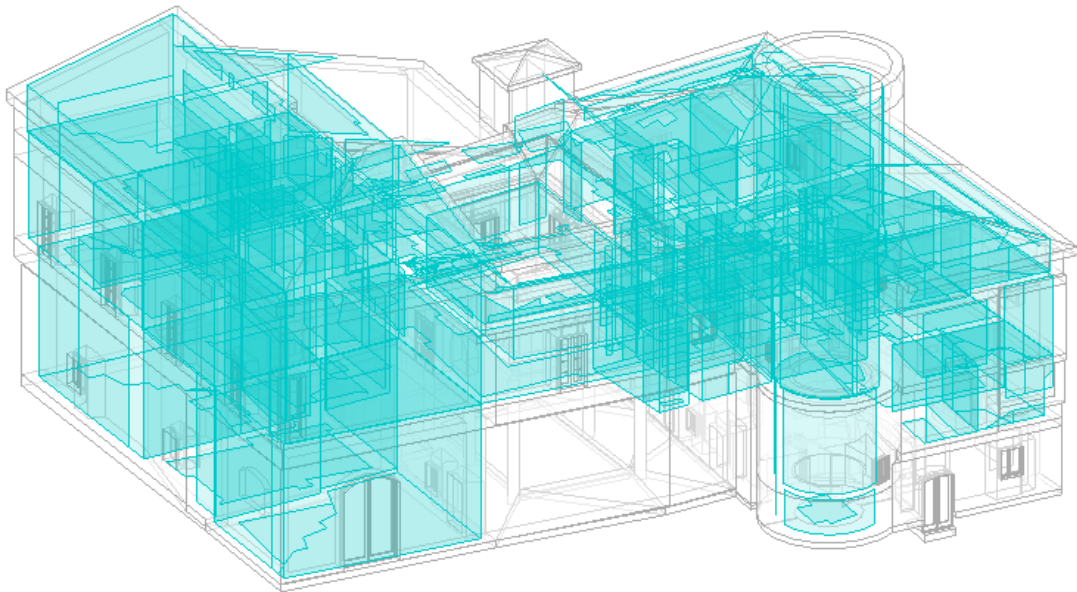


Figura 84. Modelo analítico obtenido desde Revit. Palacio Carvajal

i) Simulación energética

(1) Revit

Durante el proceso de simulación energética realizado en Autodesk Revit para el Palacio Carvajal, se ha producido una incidencia técnica que ha impedido la generación automática del informe que se muestra de forma local por medio de un formato “html”, donde se muestra una parte a nivel general del edificio y la otra las estancias o espacios de este. El mensaje emitido por el software “La simulación EnergyPlus no ha podido generar un informe para el análisis de sistemas” como se muestra en la Figura 85 indica que, aunque el cálculo energético se ha ejecutado, el módulo encargado de compilar los resultados detallados de los sistemas técnicos no ha finalizado correctamente.

Este fallo puede deberse a incompatibilidades internas del motor de simulación, errores en la configuración del modelo, limitaciones en la exportación del archivo o con la geometría del edificio. No se ha identificado una causa específica, pero se descarta que el problema esté relacionado con los parámetros de demanda energética, que sí han sido correctamente procesados.

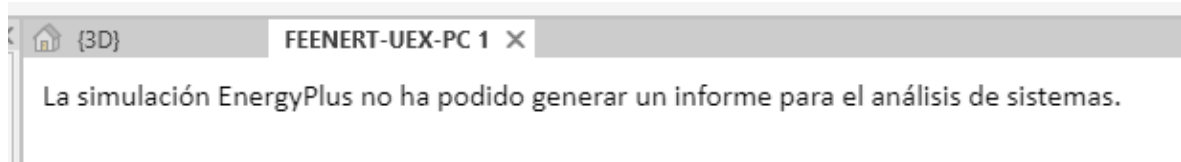


Figura 85. Mensaje de error al producir informe local Revit- Palacio Carvajal

En cuanto a la simulación de huella de carbono presentado en la plataforma de Autodesk Carbon Insigth, muestra que el alcance del estudio abarca dos etapas: la fase de fabricación (A1–A3), que incluye la extracción de materias primas, transporte y procesos de manufactura de los materiales empleados en la envolvente y acabados interiores; y la fase de consumo energético operativo (B6), que contempla el uso energético durante el funcionamiento del edificio. Sin embargo, debido a errores técnicos en el sistema como se muestra en la Figura 86 , no se han podido obtener los resultados correspondientes a la etapa B6, lo que limita la interpretación global del impacto ambiental.

En cuanto a los resultados disponibles, se ha calculado un total de 2071,34 kg de CO₂. Este valor representa una carga ambiental moderada para un edificio de estas dimensiones, especialmente considerando que solo se han evaluado los materiales de la envolvente y los interiores. No obstante, la ausencia de datos sobre el carbono operativo y la intensidad energética anual impide realizar una valoración completa del desempeño ambiental del edificio. Sin embargo, este resultado proporciona una primera aproximación al impacto ambiental del Palacio de Carvajal, pero requiere ajustes técnicos y una ampliación del horizonte temporal para ofrecer una visión más representativa y completa.

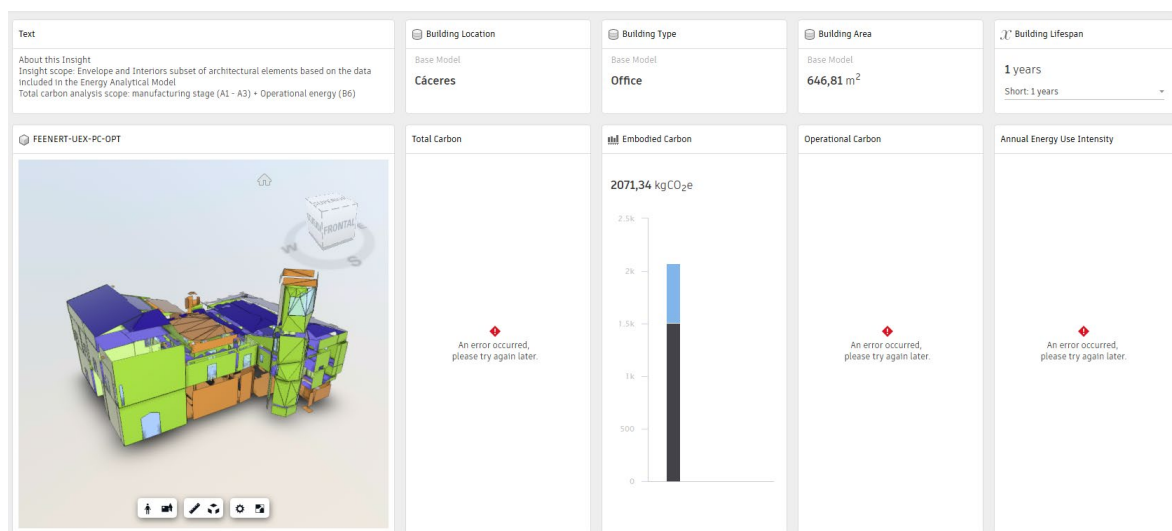


Figura 86. Interfaz del Informe en la nube de Autodesk Insight. Palacio Carvajal.

(1) Cype

En el informe de certificación energética generado por Cype HE Therm Plus, considera tres grandes bloques: las emisiones de CO₂, el consumo de energía primaria no renovable y la demanda energética para calefacción y refrigeración. El enfoque del análisis se centra en cómo el comportamiento térmico del edificio, influido directamente por sus envolventes, determina los resultados obtenidos en cada uno de estos apartados.

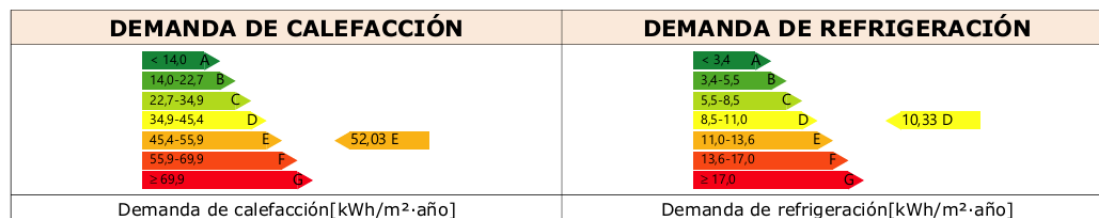
En cuanto a las emisiones de dióxido de carbono, el edificio obtiene una calificación global E, con un valor de 29.52 kgCO₂/m²·año. Este resultado lo sitúa en el rango medio-alto de emisiones, lo que indica una eficiencia energética limitada. El desglose muestra que las emisiones por consumo eléctrico ascienden a 6.44 kgCO₂/m²·año, mientras que las emisiones por otros combustibles alcanzan los 23.08 kgCO₂/m²·año, lo que representa la mayor parte del impacto ambiental. Esto sugiere que el sistema de calefacción, probablemente basado en combustibles fósiles, es el principal responsable de las emisiones. En los indicadores parciales, la refrigeración obtiene una calificación D (2.01 kgCO₂/m²·año) y la iluminación una C (4.14 kgCO₂/m²·año), lo que refleja un comportamiento más eficiente en estos usos específicos.

Respecto al consumo de energía primaria no renovable, el edificio presenta un valor global de 125.51 kWh/m²·año, lo que le otorga una calificación D. Este consumo se encuentra justo por debajo del umbral de la categoría E, lo que indica que, aunque no alcanza niveles críticos, sí se sitúa en una franja de consumo elevado. El análisis por usos revela que la calefacción consume 87.51 kWh/m²·año, lo que representa más del 69 % del total. En contraste, la refrigeración consume 11.85 kWh/m²·año y la iluminación 24.46 kWh/m²·año, ambos también con calificación D. El único apartado con calificación A es el consumo de energía para agua caliente sanitaria (ACS), con apenas 1.63 kWh/m²·año, lo que indica una gestión eficiente en este aspecto. Estos datos refuerzan la idea de que el comportamiento térmico del edificio, especialmente en invierno, está condicionado por pérdidas energéticas a través de las envolventes.

Finalmente, la demanda energética del edificio (Figura 87), también refleja un desempeño mejorable. La demanda de calefacción es de 52.03 kWh/m²·año, lo que le asigna una calificación E, mientras que la demanda de refrigeración es de 10.33 kWh/m²·año, con calificación D. Estos valores indican que el edificio requiere una cantidad significativa de energía para calefacción, lo que puede estar relacionado con una envolvente térmica poco eficiente, infiltraciones no controladas o sistemas de climatización con bajo rendimiento. La refrigeración, en cambio, se mantiene en niveles más contenidos, posiblemente gracias a una buena protección solar o a una baja carga térmica interna durante los meses cálidos.

3. CALIFICACIÓN PARCIAL DE LA DEMANDA ENERGÉTICA DE CALEFACCIÓN Y REFRIGERACIÓN

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



1 El indicador global es resultado de la suma de los indicadores parciales más el valor del indicador para consumos auxiliares, si los hubiera (sólo edificios terciarios, ventilación, bombeo, etc...). La energía eléctrica autoconsumida se descuenta únicamente del indicador global, no así de los valores parciales.

Figura 87. Apartado 3 del informe de calificación energética en Pdf extraído de Cype HE Therm Plus. Palacio Carvajal

En el informe del consumo energético, el Palacio Carvajal presenta un consumo total de energía final de 145,245 kWh/año, equivalente a 99.86 kWh/m²·año. La mayor parte corresponde a calefacción (107,962 kWh/año), seguida por iluminación (18,210 kWh/año) y ACS (10,210 kWh/año) como se muestra en Figura 88. El consumo de energía primaria no renovable asciende a 125.51 kWh/m²·año, lo que indica un perfil energético elevado.

La demanda energética anual es de 52.03 kWh/m²·año para calefacción y 10.33 kWh/m²·año para refrigeración. En ACS, la demanda es de 7.02 kWh/m²·año. Además, se registran más de 15,000 horas fuera de consigna en calefacción, lo que indica dificultades para mantener el confort térmico.

1.1. Consumo energético de los servicios técnicos del edificio.

Se muestra el consumo anual de energía final, energía primaria y energía primaria no renovable correspondiente a los distintos servicios técnicos del edificio. Los consumos de los servicios de calefacción y refrigeración incluyen el consumo eléctrico de los equipos auxiliares de los sistemas de climatización.

EDIFICIO ($S_u = 1454.53 \text{ m}^2$)

Servicios técnicos	EF		EP _{tot}		EP _{nren}	
	(kWh/año)	(kWh/m ² ·año)	(kWh/año)	(kWh/m ² ·año)	(kWh/año)	(kWh/m ² ·año)
Calefacción	107962.68	74.23	127611.69	87.73	127287.33	87.51
Refrigeración	8820.68	6.06	20888.50	14.36	17236.17	11.85
ACS	10210.97	7.02	11867.51	8.16	2365.06	1.63
Ventilación	40.09	0.03	94.54	0.07	78.54	0.05
Iluminación	18210.69	12.52	43122.44	29.65	35583.61	24.46
	145245.11	99.86	203584.67	139.97	182550.72	125.51

donde:

S_u : Superficie útil habitable incluida en la envolvente térmica, m².

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

EP_{tot}: Consumo de energía primaria total.

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

Figura 88. Apartado 1. del informe de consumo energético en Pdf extraído de Cype HE Therm Plus. Palacio Carvajal

Finalmente, el informe de demanda energética del edificio presenta que el comportamiento térmico anual asciende a 90,703.43 kWh/año, desglosado en 75,680.02 kWh/año para calefacción (52.03 kWh/m²·año) y 15,023.41 kWh/año para refrigeración (10.33 kWh/m²·año) como se presenta en la Figura 89 . Estos valores reflejan una carga térmica significativa, especialmente en los meses fríos, lo que sugiere que las envolventes del edificio jueguen un papel determinante en el comportamiento energético.

1. RESUMEN DEL CÁLCULO DE LA DEMANDA ENERGÉTICA.

La siguiente tabla es un resumen de los resultados obtenidos en el cálculo de la demanda energética de calefacción y refrigeración de cada zona habitable, junto a la demanda total del edificio.

Zonas habitables	S_u	D_{cal}		D_{ref}	
	(m ²)	(kWh/año)	(kWh/m ² ·año)	(kWh/año)	(kWh/m ² ·año)
Zona común	1454.53	75680.02	52.03	15023.41	10.33
	1454.53	75680.02	52.03	15023.41	10.33

donde:

S_u : Superficie útil de la zona habitable, m².

D_{cal} : Valor calculado de la demanda energética de calefacción, kWh/m²·año.

D_{ref} : Valor calculado de la demanda energética de refrigeración, kWh/m²·año.

Figura 89. Apartado 1 del informe de consumo energético en Pdf extraído de Cype HE Therm Plus-Palacio Carvajal

Por otra parte, desde el balance energético mensual reflejado en la Figura 89 muestra que las mayores pérdidas por transmisión térmica a través de elementos pesados (Q_{op}) se concentran en invierno, alcanzando -16,405.8 kWh en enero y -14,413.0 kWh en febrero. Por otro lado, las ganancias internas por iluminación, ocupación y equipamiento aportan calor útil durante todo el año, con valores anuales de 18,210.71 kWh, 7,278.39 kWh y 5,463.21 kWh respectivamente. Estas cargas internas ayudan a reducir la demanda en meses intermedios, aunque no compensan completamente las pérdidas estructurales.

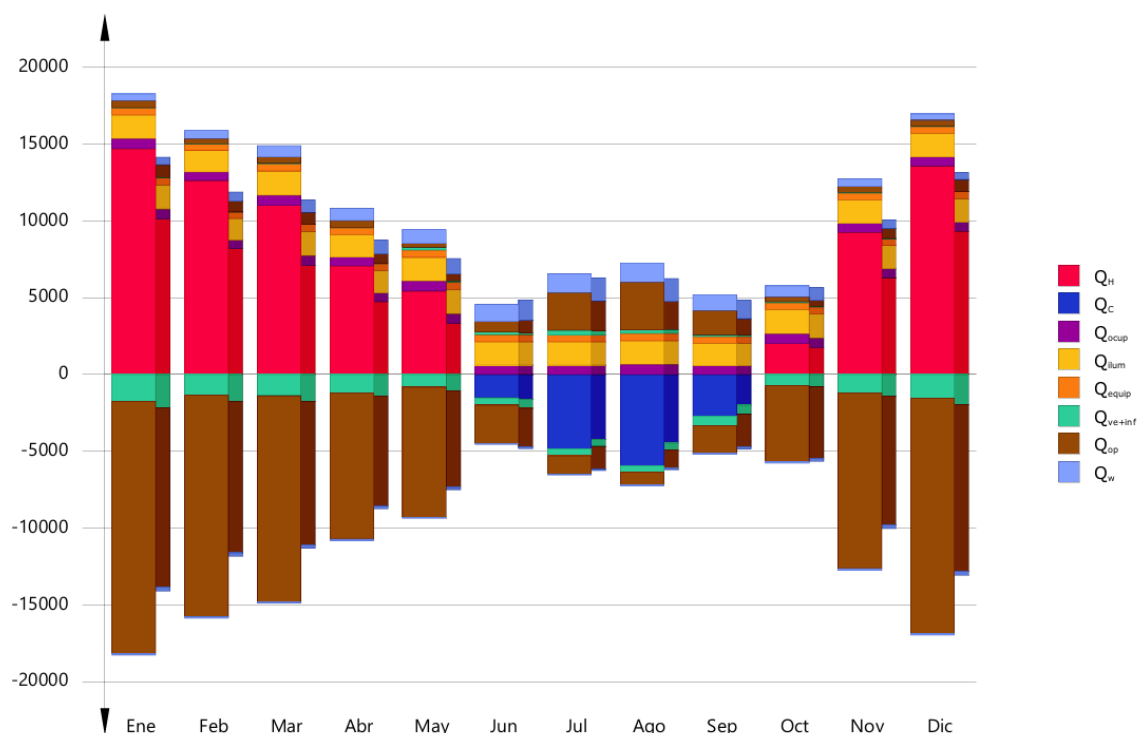


Figura 90. Balance energético mensual del informe de consumo energético en Pdf extraído de Cype HE Therm Plus- Palacio Carvajal

La evolución de la temperatura operativa interior se mantiene dentro del rango de confort, entre 20 °C y 25 °C, gracias al aporte energético de los sistemas de climatización. Sin embargo, la necesidad de calefacción es especialmente alta entre enero y abril, mientras que la refrigeración se concentra en julio y agosto, con picos de hasta 5,922.4 kWh en los meses más cálidos. Esta distribución estacional confirma que el comportamiento térmico del edificio está fuertemente influenciado por las condiciones exteriores y por la capacidad de las envolventes para mitigar las fluctuaciones climáticas.

5. Discusión de resultados

La implementación de la metodología HBIM/BEM en los tres casos de estudio desarrollados a lo largo del documento, ha demostrado ser viable para el análisis energético en arquitectura tradicional, permitiendo una caracterización detallada de las envolventes, la generación de modelos analíticos y la simulación térmica. Sin embargo, el proceso también ha evidenciado limitaciones técnicas relevantes que condicionan la calidad y el seguimiento completo de los resultados.

En el caso de la Casa de Pescadores, se logró una simulación energética completa tanto en Revit como en CYPE. Los modelos analíticos generados permitieron identificar una envolvente con baja eficiencia térmica, especialmente en invierno, y una alta sensibilidad a la radiación solar en verano. El flujo de trabajo fue fluido, gracias a la simplicidad geométrica del inmueble y la correcta interoperabilidad entre Revit y CYPE. En el CEIP General Navarro, aunque se obtuvo un modelo analítico válido, Revit presentó errores en la generación del informe local “HTML” y en la carga de resultados en Insight Carbon Analysis. Estos fallos impidieron obtener datos completos sobre el comportamiento energético por estancias y sobre la huella de carbono operativa. En contraste, CYPE permitió una simulación detallada, aunque no se logró emitir el certificado de calificación energética, posiblemente por restricciones internas del software o por la complejidad del modelo.

En cuanto al modelo del Palacio de Carvajal se presentaron las mayores dificultades técnicas. La geometría irregular y la presencia masiva de niveles en el modelo

dificultaron la limpieza y optimización del archivo nativo. Aunque se generó un modelo analítico funcional, Revit no logró compilar los informes de simulación, y Insight Carbon Analysis solo arrojó resultados parciales. CYPE, por su parte, permitió completar la simulación y emitir informes de demanda, consumo y calificación energética, aunque con una carga operativa elevada atribuida a la envolvente.

6. Conclusiones y futuras líneas

La aplicación del flujo de trabajo HBIM/BEM en edificaciones de arquitectura tradicionales ha demostrado ser un buen camino para el análisis energético a pesar de que en el mercado exista gran variedad de herramientas que quizás aporten resultados más detallados. A través de los tres casos de estudio Casa de Pescadores, CEIP General Navarro y Palacio de Carvajal, se ha validado dicho flujo, el cual es replicable y permite intervenir sobre construcciones históricas con criterios técnicos, sostenibles y respetuosos con su valor cultural.

El uso de tecnologías de escaneo láser 3D, modelado BIM y simulación energética ha permitido caracterizar con precisión las envolventes constructivas e identificar sus debilidades térmicas. La metodología desarrollada a lo largo del documento ha facilitado la generación de modelos analíticos que integran geometría, materiales y condiciones de uso, permitiendo evaluar el comportamiento energético real de los edificios.

No obstante, durante el desarrollo del entregable se han identificado limitaciones técnicas en los softwares empleados, particularmente en Revit y en la plataforma Insight Carbon Analysis, que han dificultado la generación de informes completos en modelos con geometrías complejas. Estas incidencias evidencian la necesidad de desarrollar una metodología de modelización que genere modelos fieles a la realidad con datos energéticamente relevantes, esto aportará modelos en los que se puedan establecer diversas fases que serán usadas en la generación de los diversos modelos IFC que requieren cada uno de los diversos softwares existentes. Especialmente cuando se trabaja con arquitectura tradicional, donde representar fielmente los sistemas constructivos históricos implica un equilibrio entre lo tangible (lo que se

puede medir y escanear) y lo ideal (lo que se requiere para simular térmicamente de forma precisa). Esta dualidad plantea retos significativos en la preparación de modelos energéticos, que son, en última instancia, el objetivo principal de este tipo de estudios. Adicionalmente, se considera prioritario fortalecer la interoperabilidad entre plataformas BIM y BEM, garantizando una transferencia de datos más robusta y confiable entre herramientas de modelado y simulación.

Finalmente, este entregable consolida una base metodológica sólida para la rehabilitación energética de arquitectura tradicional, alineada con los principios de sostenibilidad, conservación patrimonial y eficiencia técnica. La integración de HBIM y BEM no solo aporta rigor al diagnóstico energético, sino que abre nuevas posibilidades para la planificación de intervenciones escalables y contextualizadas en entornos contruidos históricos.

Respecto a las líneas futuras, a partir de la experiencia generada en la elaboración del presente documento y lo abordado en las investigaciones previas se proponen las siguientes líneas de trabajo para fortalecer el uso de HBIM/BEM en entornos patrimoniales:

- Optimización de modelos nativos: establecer criterios de modelado específicos para arquitectura tradicional que faciliten la limpieza geométrica, la gestión de niveles y la generación de modelos analíticos sin errores.
- Mejora de interoperabilidad BIM-BEM: desarrollar flujos de trabajo más robustos entre Revit, CYPE y otros motores de simulación, minimizando pérdidas de información en la exportación IFC y asegurando la transferencia completa de propiedades térmicas.
- Validación cruzada de resultados: implementar simulaciones paralelas en distintos softwares para comparar resultados y detectar inconsistencias, especialmente en casos donde una herramienta presenta fallos técnicos.
- Desarrollo de bibliotecas específicas: ampliar las bibliotecas de materiales y sistemas constructivos tradicionales con propiedades térmicas verificadas, facilitando su integración en modelos BIM y su uso en simulaciones energéticas.

- Capacitación técnica especializada: formar equipos multidisciplinares en el manejo de herramientas HBIM/BEM, con enfoque en patrimonio, para garantizar una aplicación rigurosa y contextualizada de la metodología.
- Colaboración con desarrolladores de software: trasladar los errores detectados a los fabricantes de Revit, CYPE y Autodesk Insight para mejorar la compatibilidad con modelos complejos y ampliar las funcionalidades orientadas a patrimonio.

7. Bibliografía

- [1] Autodesk, Autodesk Revit (Versión 2026), (2026).
<https://www.autodesk.com/products/revit/overview>.
- [2] Graphisoft SE, Archicad, (2026). <https://graphisoft.com/solutions/archicad>.
- [3] ALLPLAN GmbH, Allplan, (2026). <https://www.allplan.com>.
- [4] Trimble Inc., SketchUp, (2026). <https://www.sketchup.com>.
- [5] ACCA software S.p.A., Edificius, (2026). <https://www.acca.it/en/software-for-architects-engineers-and-surveyors/edificius>.
- [6] CYPE Ingenieros S.A., CYPE Architecture, (2026).
<https://info.cype.com/es/producto/cype-architecture>.
- [7] CYPE Ingenieros, BIMserver.center, (2026).
- [8] CYPE Ingenieros, Open BIM Analytical Model (Versión 2026), (2026).
<https://cype.com>.
- [9] CYPE Ingenieros, CYPETHERM HE Plus (Versión 2026), (2026). <https://cype.es>.
- [10] U.S. Department of Energy, EnergyPlus, (2026). <https://energyplus.net>.
- [11] CYPE Ingenieros, Open BIM Quantities (Versión 2026), (2026). <https://cype.es>.
- [12] CYPE Ingenieros, Arquímedes (Versión 2026), (2026). <https://cype.es>.
- [13] CYPE Ingenieros, Generador de precios de la construcción (Versión 2026), (2026).
<https://generadordeprecios.info/>.