



Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

TRABAJO FIN DE GRADO

*Modelización energética del cuartel Marqués de la Victoria
utilizando herramientas de simulación dinámica*

Grado en Ingeniería Mecánica

ALUMNO: Jesús Blázquez Solano

DIRECTORA: Lara Febrero Garrido
Ana Ogando Martínez

CURSO ACADÉMICO: 2024-2025

Universida_{de}Vigo



Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

TRABAJO FIN DE GRADO

*Modelación energética del cuartel Marqués de la Victoria
utilizando herramientas de simulación dinámica*

Grado en Ingeniería Mecánica

Intensificación en Tecnología Naval

Infantería de Marina

UniversidadeVigo

RESUMEN

La escasez de recursos energéticos, el constante aumento del precio de la energía, unida a la creciente preocupación medioambiental ha llevado a buscar métodos más eficientes para la gestión energética de los edificios, impulsando a instituciones como la Armada a buscar formas más eficientes de gestionar sus infraestructuras.

En este contexto, el presente Trabajo de Fin de Grado aborda el modelado y simulación energética del edificio Cuartel Marqués de la Victoria de la Escuela Naval Militar, emplazada en Marín, mediante la herramienta de simulación dinámica OpenStudio. El trabajo comienza con una exhaustiva recopilación de datos técnicos del edificio, incluyendo geometría, materiales, sistemas constructivos, instalaciones térmicas, iluminación, ocupación y patrones de uso. A partir de esta información, se desarrolla desde cero un modelo energético del edificio. Una vez simulado, se valida el modelo mediante la comparación entre los resultados obtenidos en la simulación y datos de temperatura reales recogidos del edificio.

Este tipo de edificaciones, de considerable antigüedad y uso intensivo, representan una oportunidad significativa de mejora en términos de eficiencia energética. Los resultados obtenidos evidencian el potencial de emplear herramientas de simulación dinámica, como herramienta estratégica para una gestión más sostenible y eficiente dentro de la edificación.

PALABRAS CLAVE

Cuartel Marqués de la Victoria, OpenStudio, Eficiencia energética, Modelado energético

AGRADECIMIENTOS

Con este trabajo pongo fin a una de las etapas que sin duda alguna ha sido las más enriquecedoras de toda mi vida. Parece que fue ayer cuando mis compañeros y yo entramos por primera vez por la puerta de Carlos I. Estos cinco años me han dejado incontables vivencias que estoy seguro de que jamás olvidaré.

En primer lugar, me gustaría agradecerles todo el apoyo mostrado a mis compañeros a lo largo de estos cinco años, en especial al grupo de Les Cacharros.

En segundo lugar, me gustaría agradecer este trabajo fin de grado al Susto y a la Sisi; mis padres, por apoyarme en todos aquellos momentos que los he necesitado a lo largo de estos años. Por educarme en el seno de una familia, repleta de valores y cariño.

Agradecer a mi pareja, Blanca, ella es una de las innumerables personas que en cierta medida la Armada ha puesto en mi camino en estos años. Gracias por haber soportado casi como una alumna más los devenires de la Escuela y por el apoyo incondicional que me has dado siempre.

Por último, agradecer el enorme trabajo realizado a mis dos tutoras, por la dedicación y apoyo constante que he recibido por su parte a lo largo de estos dos meses y medio. Lara y Ana no sabéis cuanto os agradezco el tiempo que me habéis dedicado. Se de sobra que hacéis lo imposible por estar ahí cuando se os necesita, a pesar de vuestro apretado horario, una vez más gracias.

CONTENIDO

Contenido	1
Índice de Figuras	3
Índice de Tablas.....	6
1 Introducción y Objetivos	7
1.1 Introducción	7
1.2 Justificación	8
1.3 Objetivos	9
1.4 Estructura de la memoria	9
2 Estado Del Arte	11
2.1 La crisis energética mundial	11
2.2 La eficiencia energética	12
2.2.1 La eficiencia energética en la edificación.....	12
2.3 Normativa y Regulación Energética	13
2.3.1 Directivas de la Unión Europea sobre Eficiencia Energética: Directiva 2010/31/UE	13
2.3.2 Código Técnico de la Edificación (CTE)	14
2.3.3 Documento Básico de Ahorro de Energía (DB HE).....	15
2.4 Modelado energético en edificación	16
2.4.1 Software OpenStudio.....	17
3 Desarrollo del TFG.....	18
3.1 Metodología	18
3.2 Descripción del edificio	19
3.2.1 Localización.....	19
3.2.2 Antecedentes.....	19
3.2.3 Zona climática	22
3.2.4 Descripción constructiva del edificio: envolvente térmica.....	22
3.2.5 Uso del edificio cuartel MDV.....	32
3.2.6 Estancias del edificio	32
3.3 Descripción de las instalaciones del edificio	35
3.3.1 Instalación térmica del edificio.....	35
3.4 Factores ocupacionales y cargas internas del edificio	36
3.4.1 Ocupación y actividad	36
3.4.2 Sistemas de iluminación	40
3.5 Consumo de energía en el edificio	43

3.6 Monitorización de la temperatura interior	43
3.6.1 Equipos utilizados.....	43
3.7 Modelado del edificio	45
3.7.1 Modelado del edificio cuartel Marqués de la Victoria	45
4 Simulación y validación de los resultados	60
4.1 Simulación	60
4.2 Resultados de la simulación.....	60
4.2.1 Temperaturas estancias interiores del edificio.....	61
4.2.2 Consumo eléctrico para iluminación	63
4.2.3 Demanda térmica del edificio	64
4.3 Calibración y validación del modelo	64
4.3.1 ASHRAE	65
4.3.2 Validación del modelo	65
5 Conclusiones y líneas futuras	69
5.1 Conclusiones	69
5.2 Líneas futuras	70
6 Bibliografía.....	71
Anexo I: Implicaciones Sociales, y/o Económicas, y/o Ambientales	73
Anexo II: Reflexiones Éticas y Sociales	74
Anexo III: Localización de Edificio Cuartel Marqués de la Victoria	75
Anexo IV: Horario General de Alumnos de la ENM.....	76
Anexo V: Parte de situación alumnos ENM	77
Anexo VI: Plano de la planta baja (P0) del edificio cuartel Marqués de la Victoria	78
Anexo VII: Plano de la primera planta (P1) del edificio cuartel Marqués de la Victoria	79
Anexo VIII: Plano de la segunda planta (P2) del edificio cuartel Marqués de la Victoria	80

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1 Distribución porcentual del suministro mundial de energía primaria en 2023, según la fuente [8].	11
Figura 2-2 Precio medio final anual de la electricidad en España de 2010 a 2025 [8].	12
Figura 2-3 Esquema piramidal de la reglamentación [12].	15
Figura 2-4 Logotipo OpenStudio®.	17
Figura 3-1 Proceso de modelado del edificio (se ha empleado CatGPT para generar los dibujos).	18
Figura 3-2 Localización del edificio cuartel Marqués de la Victoria [14].	19
Figura 3-3 Fase de construcción del edificio inicial (año 1929) [15].	19
Figura 3-4 Imagen del Edificio Cuartel Marqués de la Victoria con su configuración original (fecha desconocida) [16].	20
Figura 3-5 Imagen del Edificio Cuartel Marqués de la Victoria tras la ampliación de las dos plantas superiores (año 1945) [16].	20
Figura 3-6 Estado actual del edificio cuartel MDV.	21
Figura 3-7 Tabla de zonas climáticas [17].	22
Figura 3-8 Cerramiento exterior planta baja del edificio (P0).	23
Figura 3-9 Cerramientos exteriores primera planta (P1) y segunda planta (P2).	24
Figura 3-10 Información constructiva de las particiones interiores [21].	25
Figura 3-11 Ventanas exteriores del edificio, practicables (izquierda) y no practicables (derecha).	26
Figura 3-12 Puertas exteriores del edificio.	26
Figura 3-13 Valor límite de permeabilidad al aire de huecos de la envolvente térmica, Q_{100} , $\lim$ [$\text{m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^2$].	26
Figura 3-14 Suelo planta baja (P0) en contacto con el terreno.	27
Figura 3-15 Secciones tipo ideales de forjados de vigueta metálica con abovedado de ladrillo.	28
Figura 3-16 Cubierta del edificio.	28
Figura 3-17 Transmitancia térmica [25].	29
Figura 3-18 Resistencias térmicas superficiales de cerramientos en contacto con el aire exterior ($\text{m}^2 \text{ K/W}$) [24].	30
Figura 3-19 Valores límite de transmitancia térmica, $U_{\lim}$ ($\text{W}/\text{m}^2\text{K}$) [17].	30
Figura 3-20 Valor límite $K_{\lim}$ [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$] para uso distinto del residencial privado.	31
Figura 3-21 Esquema estancias planta baja (P0) del edificio cuartel MDV.	32
Figura 3-22 Esquema estancias primera planta (P1) del edificio cuartel MDV.	33
Figura 3-23 Esquema estancias segunda planta (P2) del edificio cuartel MDV.	34
Figura 3-24 Localización módulos adicionales por circuito de calefacción en Varmax 275 marcados en verde (1, 2, 3) [26].	36

Figura 3-25 Localización circuitos de calefacción marcados en verde (1, 2, 3), impulsión izquierda y retorno derecha [26].	36
Figura 3-26 Ocupación de las instalaciones en los días laborables.	38
Figura 3-27 Ocupación de las instalaciones los fines de semana.	39
Figura 3-28 Tasa metabólica [27].	39
Figura 3-29 Fuentes de iluminación del comedor de alumnos.	41
Figura 3-30 Tiras LED habitación y estudio.	41
Figura 3-31 Fuentes de iluminación de la cocina.	42
Figura 3-32 Paneles LED cuadrados, ubicados en los baños.	43
Figura 3-33 Sensores iButton® [31].	44
Figura 3-34 Sensor Adafruit SHT45 Trinkey [32].	44
Figura 3-35 Localización de los sensores de temperatura (dispositivos iButton en color rojo y raspberry Pi en color verde).	45
Figura 3-36 Pantalla de inicio de la aplicación OpenStudio®.	46
Figura 3-37 Carga del archivo del clima	46
Figura 3-38 Establecimiento de la localización del edificio con una vista satelital.	47
Figura 3-39 Importación de una imagen del plano de la planta baja (P0).	47
Figura 3-40 Creación de las diferentes estancias de la planta baja (P0).	48
Figura 3-41 Creación de las diferentes estancias de la primera planta (P1).	48
Figura 3-42 Creación de las diferentes estancias de la segunda planta (P2).	49
Figura 3-43 Creación y asignación de Zonas Térmicas.	49
Figura 3-44 Creación de puertas y ventanas en la geometría del edificio.	50
Figura 3-45 Vista de la cara Norte y Este del edificio MDV.	50
Figura 3-46 Vista de la cara Sur y Oeste del edificio MDV.	51
Figura 3-47 Creación de los distintos materiales del modelo.	52
Figura 3-48 Creación de una construcción para el modelado.	52
Figura 3-49 Creación del set de construcción para la primera planta (P1) del modelo.	53
Figura 3-50 Creación del horario de la actividad de los alumnos en el comedor.	54
Figura 3-51 Creación del horario de la ocupación de los alumnos en las habitaciones.	54
Figura 3-52 Creación de un set de horario para la zona de habitaciones.	55
Figura 3-53 Creación de la carga que generan las personas en las habitaciones.	56
Figura 3-54 Creación de la carga de la iluminación en la zona del comedor.	56
Figura 3-55 Cargas internas del tipo de espacio creado para el comedor y las habitaciones.	57
Figura 3-56 Espacios del edificio cuartel MDV.	58
Figura 3-57 Zonas térmicas del edificio cuartel MDV.	58
Figura 3-58 Salida de datos.	59
Figura 3-59 Ejecutar simulación.	59

Figura 4-1 Entorno de trabajo de visualización de los resultados en OpenStudio®.....	61
Figura 4-2 Temperatura del aire en la cocina la semana del 5 de febrero (izquierda) y el día 6 de febrero (derecha).	62
Figura 4-3 Temperatura del aire en el vestíbulo la semana del 19 de marzo (izquierda) y del día 21 de marzo (derecha).	62
Figura 4-4 Temperatura del aire en la zona de habitaciones 2T (P2) la semana del 7 de mayo (izquierda) y del día 12 de marzo (derecha)	63
Figura 4-5 Consumo eléctrico semanal para la iluminación del comedor (derecha) y habitaciones (izquierda).	63
Figura 4-6 Demanda térmica anual.	64
Figura 4-7 Temperatura del aire del comedor de alumnos (P0).	66
Figura 4-8 Temperatura del aire del Vestíbulo (P1).....	67
Figura 4-9 Temperatura del aire de los baños centrales de la segunda planta (P2).....	68

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3-1 Información constructiva del cerramiento exterior de la planta baja.....	23
Tabla 3-2 Información constructiva del cerramiento exterior de las plantas superiores.	24
Tabla 3-3 Información constructiva de las particiones interiores.	25
Tabla 3-4 Información constructiva de las ventanas exteriores.	25
Tabla 3-6 Información constructiva de las puertas exteriores de aluminio.....	26
Tabla 3-7 Información constructiva de los suelos.....	27
Tabla 3-8 Información constructiva de los techos y forjados.	28
Tabla 3-9 Información constructiva de la cubierta.....	28
Tabla 3-10 Valores de las transmitancias de la envolvente térmica.....	31
Tabla 3-11 Descripción y dimensionamiento estancias planta baja (P0) del edificio cuartel MDV.	33
Tabla 3-12 Descripción y dimensionamiento estancias primera planta (P1) del edificio cuartel MDV.	34
Tabla 3-13 Descripción y dimensionamiento estancias segunda planta (P2) del edificio cuartel MDV.	35
Tabla 3-14 Horario de ocupación los días laborables.	38
Tabla 3-15 Horario de ocupación los fines de semana.....	38
Tabla 3-16 Tasas metabólicas en función de la actividad realizada expresada en W/persona.....	40
Tabla 3-17 Características de los globos 80 LED Hanging [29].....	40
Tabla 3-18 Tiras LED TSL THER 7.	41
Tabla 3-19 Tubo iglux modelo LIMA 150 cm.	42
Tabla 3-20 PANEL VAL 600 LEDVANCE.....	42
Tabla 4-1 Temperatura media del aire en las diferentes estancias del edificio (°C).	61
Tabla 4-2 Demanda térmica del edificio (MWh)	64
Tabla 4-3 Criterios de calibración del ASHRAE Guideline 14 [34].....	66
Tabla 4-4 Cálculo del NMBE Y CV(RMSE) para las temperaturas del aire del comedor.	67
Tabla 4-5 Cálculo del NMBE Y CV(RMSE) para las temperaturas del aire del vestíbulo.	67
Tabla 4-6 Cálculo del NMBE Y CV(RMSE) para las temperaturas del aire de los baños centrales de la segunda planta.	68

1 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

1.1 Introducción

Hoy en día la energía es un recurso fundamental para el correcto desarrollo de la sociedad actual. Su producción y consumo suponen un importante impacto en el medio ambiente y en la economía de un país. En la actualidad España se enfrenta a diversos desafíos energéticos, entre ellos la dependencia de los combustibles fósiles, la volatilidad de los precios de la electricidad y la necesidad de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero para cumplir con los compromisos climáticos internacionales. Una transición hacia un modelo energético más sostenible es una prioridad para el país, lo que ha llevado al impulso de las energías renovables y a la promoción de diferentes estrategias que mejoren la eficiencia energética.

Ante este escenario, han surgido durante las últimas décadas iniciativas institucionales como el Acuerdo de París, tratado internacional sobre el cambio climático jurídicamente vinculante. Inicialmente fue adoptado por 196 partes en la COP21 celebrada en París en el año 2015, entrando finalmente en vigor en noviembre del siguiente año. Su objetivo es limitar el calentamiento mundial a muy por debajo de 2, preferiblemente a 1,5 grados centígrados, en comparación con los niveles preindustriales [1].

No obstante, cabe destacar que el año 2024 ha sido el más caluroso de la historia y el primero en superar los 1.5 °C de calentamiento por encima del nivel preindustrial [2], por lo que se puede destacar que las medidas implantadas no han sido las más adecuadas.

Uno de los sectores con mayor potencial para la mejora de la eficiencia energética es el de la edificación. En España, los edificios representan aproximadamente el 30 % del consumo de energía final, y muchos de ellos presentan una baja eficiencia debido a su antigüedad y a la falta de medidas de aislamiento adecuadas [3]. Dentro de este contexto, la rehabilitación energética de edificios históricos supone un reto adicional, ya que es necesario encontrar soluciones que permitan mejorar su rendimiento energético sin comprometer su valor patrimonial y arquitectónico.

La mejora de la eficiencia energética en el sector de la edificación es una estrategia clave dentro del marco de sostenibilidad y reducción del impacto ambiental. En los últimos años, las políticas y estrategias medioambientales han adquirido mayor importancia, también para el Ministerio de Defensa. En la Directiva 107/1997 sobre la protección del medio ambiente se establece que la política ambiental del ministerio se fundamentará en el principio de desarrollo sostenible, con el propósito de cumplir los objetivos de la normativa vigente, siempre que estos sean compatibles con las actividades de las Fuerzas Armadas (FAS). En este contexto, la optimización de las construcciones e instalaciones en sus bases fijas es un medio de contribuir a estos objetivos [4].

Para la optimización del proceso constructivo, el modelado energético de las edificaciones es una herramienta fundamental en la búsqueda de la eficiencia y reducción del consumo energético. Estos modelos permiten simular un conjunto de variables y escenarios de manera rápida y económica. A través de estas simulaciones, es posible evaluar el impacto de diferentes modificaciones en el estado actual del edificio, lo que facilita una toma de decisiones objetiva sobre la viabilidad y rentabilidad de las mejoras antes de su implementación. Esto resulta especialmente relevante, ya que las intervenciones físicas suelen ser irreversibles o implicar un alto coste. Los recursos son limitados, por lo que es responsabilidad de todos gestionarlos de manera eficiente, no solo por un compromiso ético, sino también por los beneficios estratégicos que conlleva su uso optimizado.

En el presente Trabajo de Fin de Grado se desarrolla un modelo energético del edificio Marqués de la Victoria situado en la Escuela Naval Militar, el cual ha sido recientemente remodelado por completo. Una vez construido y validado el modelo del edificio, teniendo en cuenta su geometría, materiales constructivos, iluminación, ocupación, ventilación e infiltraciones. Tras esto el modelo será sometido a una simulación en la que se incluirán registros meteorológicos, para obtener los valores de las temperaturas de sus zonas interiores habitadas. De forma paralela, a lo largo de la elaboración de todo el trabajo se registrarán datos de temperatura y humedad relativa interiores del edificio en diferentes zonas. Por último, se calculará el error de las simulaciones y se optimizará tratando de llegar a un modelo lo más realista posible.

1.2 Justificación

La existencia del cambio climático es un hecho cada vez más incontestable, reconocido ampliamente como uno de los mayores desafíos ambientales en la actualidad. La idea de que las emisiones de CO₂ de los países industrializados podrían provocar un calentamiento global comenzó a debatirse en círculos científicos a principios del siglo XX. Desde entonces, la evidencia que respalda esta hipótesis se ha fortalecido progresivamente.

Esta percepción contrasta con los hallazgos de un estudio de 2021, en el que el 98,7 % de los 2.780 expertos en ciencias de la Tierra encuestados confirmaron su acuerdo con la influencia humana en el cambio climático[5]. No obstante, una parte significativa de la opinión pública sigue sin alinearse con este consenso científico.

La modelación energética de edificios es una herramienta clave para analizar y optimizar el consumo de energía, permitiendo reducir costes operativos y mejorar la sostenibilidad. Gracias a software como OpenStudio y EnergyPlus, es posible evaluar diferentes estrategias de eficiencia energética antes de su implementación real, asegurando decisiones fundamentadas y eficientes.

En el contexto actual, la eficiencia energética y la sostenibilidad son prioridades globales, especialmente en el sector de la construcción. La rehabilitación energética de edificios históricos, como el Cuartel Marqués de la Victoria, es un desafío debido a la necesidad de preservar su valor patrimonial sin comprometer la eficiencia energética. En muchas regiones de España, la rehabilitación de viviendas y edificios históricos se ha convertido en un pilar estratégico para alcanzar los objetivos de eficiencia y sostenibilidad fijados por la Unión Europea en su objetivo 55 [6].

En este contexto, el Cuartel Marqués de la Victoria, situado en la Escuela Naval Militar de Marín, representa un caso de estudio ideal. Su análisis energético permitiría identificar mejoras en su desempeño térmico y evaluar soluciones como la incorporación de energías renovables o estrategias pasivas de acondicionamiento térmico en el caso de realizar un trabajo sobre ese aspecto. La nueva Norma UNE-EN 16883 proporciona pautas para la mejora sostenible de la eficiencia energética de los edificios históricos, como por ejemplo edificios con valores históricos, arquitectónicos o culturales, respetando su interés patrimonial [7]. La aplicación de estos estudios no solo optimizaría el consumo de energía en la instalación, sino que también serviría como referencia para futuras intervenciones en edificios de características similares dentro del ámbito militar e institucional.

Por tanto, este estudio resulta relevante tanto desde el punto de vista de la eficiencia energética como de la preservación patrimonial, contribuyendo a una gestión energética más sostenible y alineada con las directrices nacionales e internacionales.

1.3 Objetivos

El principal objetivo del presente Trabajo de Fin de Grado es realizar un modelo energético válido del Cuartel Marqués de la Victoria (MDV), localizado en la Escuela Naval Militar de Marín, empleando para ello herramientas de simulación dinámica.

Por ello para alcanzar el objetivo principal, se establecen una serie de objetivos secundarios que son:

- En primer lugar, llevar a cabo un trabajo de recopilación de información sobre el edificio, estructura, materiales constructivos, historia, así como remodelaciones que ha sufrido a lo largo de su historia. Todo con el fin de conseguir un modelo lo más fehaciente posible del mismo.
- En segundo lugar, se modela el edificio cuartel MDV y sus diferentes instalaciones empleando un software libre de modelado y así conseguir un modelo energético del edificio.
- En tercer lugar, se simula el modelo finalizado se comparan los datos de temperaturas de la simulación con las temperaturas reales de este que se recogen a lo largo del proceso de simulación, esto se realiza para comprobar la validez del modelo.

1.4 Estructura de la memoria

Tras detallar la motivación de llevar a cabo el actual trabajo y marcados los objetivos que se esperan alcanzar en el desarrollo de este, se explica la estructura seguida con el objetivo de que sea más fácil la comprensión del trabajo. El Trabajo Fin de Grado se compone de un total de 5 apartados, seguidos por la bibliografía y los anexos que sirven de apoyo al trabajo:

- Introducción y objetivos: este apartado pretende sintetizar la motivación de llevar a cabo el trabajo, así como los objetivos que se marcan durante la elaboración de este. Además, se plasma la estructura seguida en el proceso para facilitar su entendimiento.
- Estado del arte: en este apartado se realiza una investigación y análisis de los fundamentos teóricos que sustentan el desarrollo del proyecto. Para ello, se examinan diversas áreas que influyen de manera directa en su ejecución.
- Desarrollo: en este apartado se detalla, en primer lugar, el proceso de recopilación de datos técnicos, históricos y de uso relacionados con el edificio a modelar. Posteriormente, se expone cómo se lleva a cabo el modelado utilizando herramientas de software, basándose en la información recopilada. Finalmente, se presenta la generación del modelo energético del edificio como resultado de este proceso.
- Simulación y validación de resultados: en este apartado se ejecuta la simulación del modelo energético creado en el apartado anterior. Se plasman los resultados obtenidos y se comparan los datos de temperaturas de la simulación con las temperaturas reales de este que se recogen a lo largo del proceso de simulación. Mediante esta comparación, se procede a la validación del modelo.

- Conclusiones y líneas futuras: en este último apartado se incluyen las conclusiones obtenidas durante la realización del trabajo, así como el planteamiento de líneas futuras que contribuyan a mejorar el trabajo o complementarlo en la consecución de sus objetivos.

2 ESTADO DEL ARTE

2.1 La crisis energética mundial

En los últimos años, la crisis energética mundial se ha convertido en un problema estructural que afecta a todos los sectores de la economía, incluyendo la edificación. El aumento de la demanda global de energía, que se debe principalmente al crecimiento poblacional y la expansión económica, ha producido un aumento notable en el consumo de energía, superando en algunos casos la capacidad de generación y distribución.

Además, como se puede apreciar en la Figura 2-1 a pesar del avance en energías de origen renovable, el petróleo, el gas natural y el carbón siguen siendo las principales fuentes energéticas [8]. Destacando la volatilidad que sufren en los precios estos recursos, los cuales terminan afectando a la estabilidad del suministro energético global. Si bien las fluctuaciones en la oferta y la demanda son inherentes a los mercados energéticos y siempre se espera cierto grado de volatilidad, la inestabilidad observada en los últimos años ha superado significativamente la tendencia histórica. Sus causas deben analizarse en factores estructurales vinculados a la geopolítica global y a las tendencias energéticas de largo plazo.

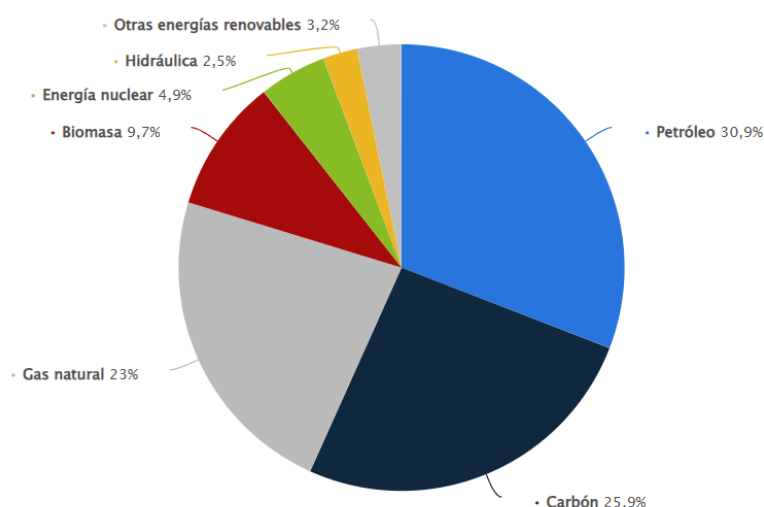


Figura 2-1 Distribución porcentual del suministro mundial de energía primaria en 2023, según la fuente [8].

Las tensiones internacionales y conflictos en regiones productoras de energía han generado fluctuaciones en el mercado y restricciones en el acceso a recursos energéticos clave. Un claro ejemplo de esto se puede observar en los efectos inmediatos que sufrió la industria energética en 2022 tras la invasión de las tropas rusas a territorio ucraniano. Actualmente, la escalada de los conflictos en Oriente Medio ha vuelto a subrayar los constantes riesgos a los que se enfrenta el mundo en el ámbito de la seguridad energética. En la Figura 2-2 se aprecia una subida considerable en el año 2022 a causa del estallido de la guerra. También se aprecia una notable subida del precio del MWh en el último cuarto del año 2024 debido al comienzo del conflicto entre Israel y Palestina.

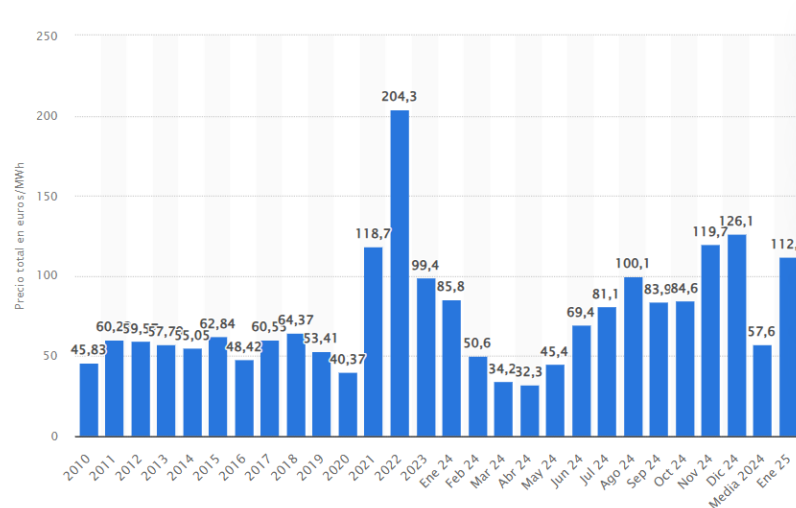


Figura 2-2 Precio medio final anual de la electricidad en España de 2010 a 2025 [8].

2.2 La eficiencia energética

La Real Academia Española (RAE) define el término eficiencia como la capacidad de lograr los resultados deseados empleando el mínimo posible de recursos [9]. En consecuencia, la eficiencia energética supone una emplear una menor cantidad de energía para la realización de las mismas tareas y la obtención de unos resultados equivalentes.

La eficiencia energética es un concepto fundamental en la gestión responsable de los recursos disponibles en nuestro planeta. Se refiere a la optimización del uso de la energía, buscando obtener el máximo rendimiento con el menor consumo posible. Es decir, se trata de realizar actividades y operar dispositivos y sistemas de manera más inteligente, con el objetivo de reducir el desperdicio de energía y minimizar el impacto ambiental asociado [10].

2.2.1 La eficiencia energética en la edificación

La eficiencia energética en la edificación consiste en el conjunto de estrategias y tecnologías orientadas a reducir el consumo de energía sin comprometer el confort y la funcionalidad de un edificio. Su aplicación abarca desde el diseño arquitectónico hasta la implementación de sistemas inteligentes de gestión energética. Sus principios fundamentales incluyen:

- **Reducción de la demanda energética:** Este principio se centra en minimizar la energía necesaria para mantener condiciones de confort en los edificios. La Directiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo y del Consejo destaca la importancia de establecer requisitos mínimos de eficiencia energética para los edificios y sus componentes, con el fin de reducir el consumo energético [11].

- **Uso eficiente de los sistemas energéticos:** Implica optimizar el rendimiento de sistemas como calefacción, ventilación y aire acondicionado. El Código Técnico de la Edificación (CTE), establece exigencias para que las instalaciones térmicas de los edificios sean eficientes y reduzcan el consumo energético [12].
- **Incorporación de energías renovables:** Se fomenta la generación de energía en el propio edificio a través de fuentes renovables como paneles solares fotovoltaicos, sistemas de energía geotérmica o aerotermia, reduciendo la dependencia de fuentes fósiles [13].
- **Automatización y control:** La implementación de sistemas de gestión inteligente permite monitorizar el consumo en tiempo real y optimizar la operación de los equipos. Sensores de presencia, termostatos programables y gestión remota contribuyen a un uso racional de la energía.
- **Sostenibilidad y ciclo de vida:** Se promueve la selección de materiales con baja huella de carbono y diseños que minimicen el impacto ambiental a lo largo del ciclo de vida del edificio, desde su construcción hasta su demolición o rehabilitación [12].

La implementación de medidas de eficiencia energética en la edificación tiene efectos positivos a nivel económico, ambiental y social:

- **Beneficios económicos.** Se produce una reducción de costos operativos ya que un menor consumo energético implica un ahorro económico a largo plazo para los propietarios y usuarios. También se incrementa el valor del inmueble ya que los edificios con certificaciones energéticas tienen mayor demanda y competitividad en el mercado inmobiliario. Además, muchas administraciones ofrecen ayudas económicas para la rehabilitación energética y la implementación de energías renovables.
- **Beneficios ambientales.** La disminución de las emisiones de CO₂ contribuye a la mitigación del cambio climático y al cumplimiento de normativas ambientales. La integración de energías renovables en edificios disminuye la demanda de fuentes convencionales. El uso racional de recursos naturales como materiales sostenibles y diseños pasivos permiten optimizar el consumo de energía y agua.
- **Beneficios sociales.** Un diseño eficiente garantiza espacios más saludables y confortables. La disminución del consumo energético hace que los hogares sean más accesibles económicamente para familias vulnerables. Además, crea numerosos puestos de empleo. El sector de la eficiencia energética y las energías renovables genera nuevas oportunidades laborales en el ámbito de la construcción sostenible.

2.3 Normativa y Regulación Energética

La regulación en materia de eficiencia energética en edificación es fundamental para garantizar el cumplimiento de los estándares de sostenibilidad y reducción del consumo de energía. En España y en la Unión Europea, existen diversas normativas que rigen el diseño, construcción y operación de los edificios con el objetivo de mejorar su eficiencia energética.

2.3.1 Directivas de la Unión Europea sobre Eficiencia Energética: Directiva 2010/31/UE

Las directivas europeas sobre eficiencia energética establecen los objetivos y estrategias que deben seguir los Estados miembros para reducir el consumo energético en el sector de la edificación. Entre las más relevantes destaca la Directiva 2010/31/UE.

Esta directiva fomenta la eficiencia energética en los edificios que se encuentren en la UE, teniendo en cuenta las condiciones climáticas particulares de cada lugar, así como las exigencias

ambientales interiores y la rentabilidad de las medidas. Para alcanzar este objetivo, se incentiva a los Estados miembros que implementen medidas que garanticen que los edificios sean altamente eficientes en el uso de energía.

Se podrían definir sus requisitos esenciales en los siguientes ámbitos:

- a) Cálculo de eficiencia energética: Desarrollo de una metodología común para evaluar el rendimiento energético de los edificios.
- b) Requisitos mínimos de eficiencia: Aplicables a edificios nuevos y a aquellos existentes que sean reformados significativamente, así como a sus instalaciones técnicas y envolventes térmicas.
- c) Edificios de consumo de energía casi nulo: tratar que las edificaciones tengan una demanda energética muy baja, que debe ser cubierta en gran medida mediante fuentes de energía renovables, preferentemente generadas in situ o en el entorno. Esta exigencia aplica tanto a edificios nuevos como a aquellos sometidos a rehabilitaciones importantes, promoviendo el uso de soluciones pasivas, sistemas de alta eficiencia y tecnologías sostenibles.
- d) Certificación energética: Obligación de evaluar y documentar el rendimiento energético de los edificios.
- e) Inspección de instalaciones térmicas: Control periódico de los sistemas de calefacción y aire acondicionado.
- f) Sistemas de control y supervisión: Verificación independiente de certificados energéticos e informes de inspección.

Estos requisitos buscan garantizar un parque edificatorio más eficiente, sostenible y alineado con los objetivos climáticos de la UE.

Los requisitos que establece la presente Directiva son requisitos mínimos, es por lo que se les permite a sus estados miembros desarrollar medidas más restrictivas. Es más, la directiva promueve la creación de normativas nacionales que regulen la eficiencia energética y la sostenibilidad de los edificios existentes, incentivando la rehabilitación y la renovación energética [11].

2.3.2 Código Técnico de la Edificación (CTE)

El Código Técnico de la Edificación (CTE) es el marco normativo que establece las exigencias básicas de calidad que deben cumplir los edificios en relación con los requisitos básicos de seguridad y habitabilidad establecidos en la Ley 38/1999 de 5 de noviembre, de Ordenación de la Edificación (LOE). El Código Técnico de la Edificación (CTE) está dividido en dos partes bien diferenciadas.

En la primera parte se especifican los requisitos fundamentales relacionados con la seguridad estructural, la protección en caso de incendios, la accesibilidad y el uso del edificio, así como aspectos de salubridad, mitigación de la exposición al radón, aislamiento acústico y eficiencia energética.

La segunda parte se compone de los Documentos Básicos (DB), textos de carácter técnico y reglamentario que se encargan de trasladar al terreno práctico las exigencias detalladas en la primera parte del CTE como se puede ver en la Figura 2-3.

Los Documentos Básicos (DB) se dividen en las siguientes áreas de exigencia:

- **DB SE:** Seguridad estructural
- **DB SI:** Seguridad en caso de incendio
- **DB SUA:** Seguridad de utilización y accesibilidad
- **DB HE:** Ahorro de energía

- **DB HR:** Protección frente al ruido
- **DB HS:** Salubridad

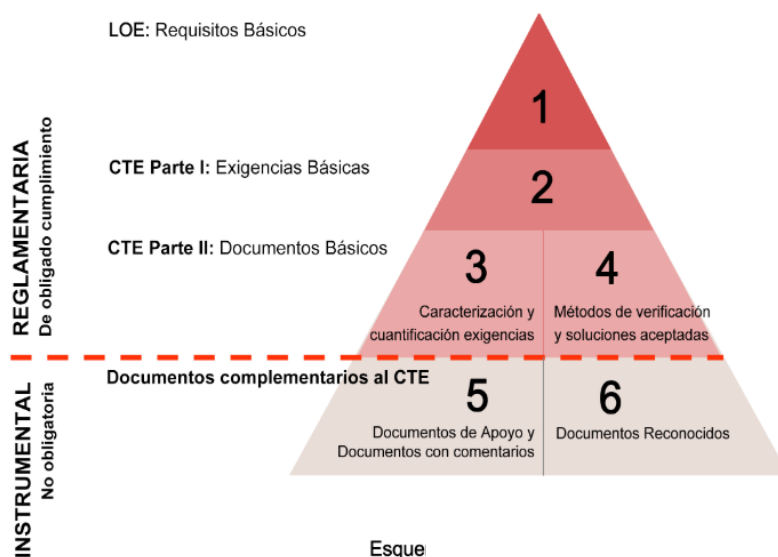


Figura 2-3 Esquema piramidal de la reglamentación [12].

El CTE se aplica a las edificaciones públicas y privadas de carácter permanente, tanto para obras de nueva construcción como para intervenciones de edificios ya existentes.

2.3.3 Documento Básico de Ahorro de Energía (DB HE)

El Documento Básico de Ahorro de Energía (DB HE) del CTE establece las reglas y procedimientos que deben cumplir los edificios para cumplir el requisito básico de ahorro de energía. Los principales objetivos del DB HE son la reducción del consumo energético, la mejora del comportamiento energético y el fomento de las energías renovables. Este documento se divide en 7 apartados, cada uno de los cuales aborda diferentes aspectos relacionados con el ahorro energético:

- HE0 Limitación del consumo energético
- HE1 Condiciones para el control de la demanda térmica
- HE2 Condiciones de las instalaciones térmicas
- HE3 Condiciones de las instalaciones de iluminación
- HE4 Contribución mínima de energía renovable para cubrir la demanda de agua caliente sanitaria
- HE5 Generación mínima de energía eléctrica procedente de fuentes renovables
- HE6 Dotaciones mínimas para la infraestructura de recarga de vehículos eléctricos

A la hora de aplicar el este documento a edificios ya existentes, se establecen tres criterios que ayudan a decidir su aplicación o no en cada caso particular:

- Criterio de no empeoramiento: “Salvo en los casos en los que un DB establezca un criterio distinto, las condiciones preexistentes que sean menos exigentes que las establecidas en algún DB no se podrán reducir, y las que sean más exigentes únicamente podrán reducirse hasta el nivel establecido en el correspondiente DB”.

- Criterio de flexibilidad: “En los casos en los que no sea posible alcanzar el nivel de prestación establecido con carácter general en este DB, podrán adoptarse soluciones que permitan el mayor grado de adecuación posible, determinándose el mismo, siempre que se dé alguno de los siguientes casos:
 - a) En edificios con valor histórico o arquitectónico reconocido, cuando otras soluciones pudiesen alterar de manera inaceptable su carácter o aspecto.
 - b) La aplicación de otras soluciones no suponga una mejora efectiva en las prestaciones relacionadas con el requisito básico de “Ahorro de energía”.
 - c) Otras soluciones no sean técnica o económicamente viables.
 - d) Otras soluciones impliquen cambios sustanciales en elementos de la envolvente térmica o en las instalaciones de generación térmica sobre los que no se fuera a actuar inicialmente.”
- Criterio de reparación de daños: “Los elementos de la parte existente no afectados por ninguna de las condiciones establecidas en este DB, podrán conservarse en su estado actual siempre que no presente, antes de la intervención, daños que hayan mermado de forma significativa sus prestaciones iniciales. Si el edificio presenta daños relacionados con el requisito básico de “Ahorro de energía”, la intervención deberá contemplar medidas específicas para su resolución.” [13].

2.4 Modelado energético en edificación

El modelado energético de edificios es una herramienta fundamental en el diseño y la gestión eficiente de edificaciones, tanto en obra nueva como en rehabilitación. A través de este proceso, se representa de forma virtual el comportamiento energético de un edificio, permitiendo simular su rendimiento en diferentes condiciones climáticas, de uso y de diseño.

Esta metodología se basa en el uso de software especializado que integra múltiples variables como la geometría del edificio, las características térmicas de sus materiales, los sistemas de climatización y ventilación, las condiciones climáticas locales y los patrones de ocupación. Gracias a estas simulaciones, es posible identificar los puntos críticos de pérdida energética, evaluar medidas de mejora y optimizar el consumo energético global del edificio.

Los objetivos principales del modelado energético son:

- Evaluar el consumo energético en distintas condiciones y escenarios de uso.
- Optimizar la eficiencia energética, reduciendo la demanda de calefacción, refrigeración, iluminación y ventilación.
- Reducir los costos operativos asociados al consumo energético del edificio a lo largo de su vida útil.
- Mejorar el confort térmico y la calidad ambiental interior para los ocupantes.
- Apoyar decisiones de diseño pasivo y activo, como la orientación, la elección de envolventes térmicas, y los sistemas de HVAC.
- Cumplir con normativas y certificaciones energéticas, como el Código Técnico de la Edificación (CTE) en España.

El modelado energético permite también realizar análisis comparativos entre diferentes alternativas de diseño, facilitar la toma de decisiones fundamentadas y prever el retorno de inversión de las medidas de eficiencia energética propuestas.

2.4.1 Software OpenStudio

El software OpenStudio® (Figura 2-4) es una plataforma de modelado energético de edificios desarrollada por el National Renewable Energy Laboratory (NREL) de EE.UU. Su objetivo es facilitar la simulación del rendimiento energético de edificaciones.



Figura 2-4 Logotipo OpenStudio®.

OpenStudio es una plataforma de código abierto que proporciona una interfaz intuitiva para trabajar con EnergyPlus, facilitando el modelado paramétrico y la integración con otros programas. Su entorno permite a los usuarios definir geometrías, materiales, cargas internas y sistemas de climatización de manera accesible. Este software ofrece las siguientes capacidades:

- Permite modelar edificios sin necesidad de programar en detalle los archivos.
- Facilita la definición de la geometría del edificio, materiales, sistemas HVAC y cargas internas.
- Permite definir la geometría del edificio en un entorno 3D intuitivo.
- Ofrece una amplia gama de materiales, sistemas de climatización y estrategias de control energético predefinidas.
- Permite evaluar el consumo de energía, la demanda térmica y la eficiencia de distintas estrategias pasivas y activas en los edificios.

3 DESARROLLO DEL TFG

3.1 Metodología

En los apartados 3 y 4 se lleva a cabo el modelado energético y la simulación del comportamiento térmico del edificio cuartel “Marqués de la Victoria”, localizado en la Escuela Naval Militar (ENM). Se inicia con un estudio del propio edificio donde se habla de su historia, las reformas que ha tenido a lo largo de los años y se concluye con un amplio estudio sobre sus materiales estructurales actuales, geometría, sistemas constructivos, instalaciones térmicas, iluminación, ocupación y patrones de uso. A continuación, se procede a iniciar las tareas de modelado a través del software de simulación dinámica OpenStudio. Una vez conseguido un modelo válido se ejecuta la simulación térmica del mismo, teniendo en cuenta los datos climáticos correspondientes a su zona geográfica en la que se encuentra y la actividad y uso que se le da al propio edificio por parte de los alumnos de la ENM. Una vez conseguidos estos resultados se procede a validar estos con los datos reales del edificio. Tras alcanzar esto se puede afirmar que el modelo está calibrado véase así en la Figura 3-1.

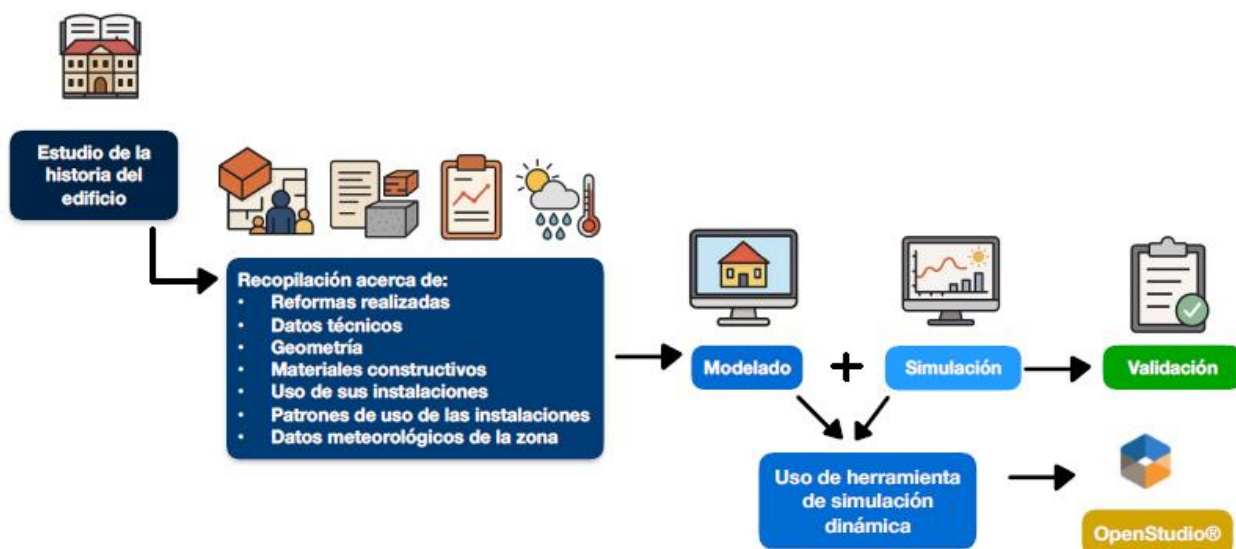


Figura 3-1 Proceso de modelado del edificio (se ha empleado CatGPT para generar los dibujos).

3.2 Descripción del edificio

3.2.1 Localización

El edificio cuartel “Marqués de la Victoria” se encuentra ubicado en la localidad de Marín, provincia de Pontevedra, España. Se encuentra en el interior del recinto militar de la Escuela Naval Militar (ENM) (Figura 3-2) (Anexo III: Localización de Edificio Cuartel Marqués de la Victoria). Sus coordenadas en MGRS se corresponden con: 29T NG 24092 93692.

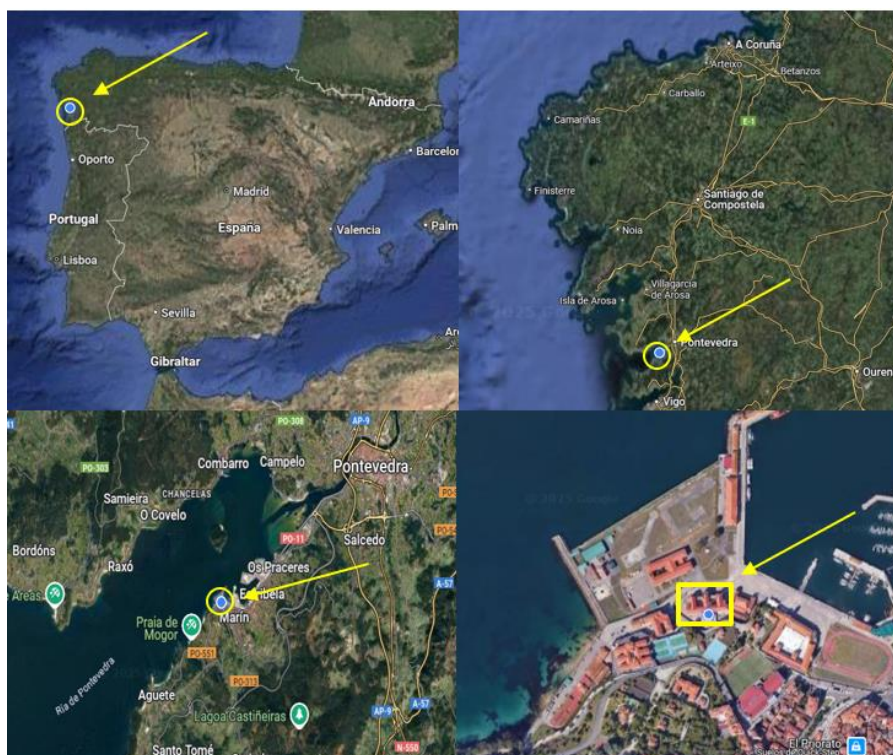


Figura 3-2 Localización del edificio cuartel Marqués de la Victoria [14].

3.2.2 Antecedentes

El cuartel de alumnos “Marqués de la Victoria” en la actualidad es un edificio de planta baja y dos alturas, situado en el interior del recinto de la Escuela Naval Militar. Sin embargo, no siempre ha sido así (Figura 3-3).



Figura 3-3 Fase de construcción del edificio inicial (año 1929) [15].

Inicialmente el edificio consistía en una única planta, construida en torno al año 1929, cuando el actual recinto de la Escuela Naval Militar albergaba a parte del antiguo Polígono de Tiro Naval “Janer”. Durante este periodo que contempló desde 1929 hasta 1943, el uso que se le dio al edificio fue de comedor para la tropa y marinería que trabajaba en el antiguo polígono (Figura 3-4).



Figura 3-4 Imagen del Edificio Cuartel Marqués de la Victoria con su configuración original (fecha desconocida) [16].

Finalmente, cuando la Escuela Naval Militar fue trasladada a la localidad de Marín, el edificio fue ampliado, construyéndose las dos plantas superiores y añadiendo una parte trasera en la planta baja donde actualmente se encuentra la cocina del comedor de alumnos (Figura 3-5).



Figura 3-5 Imagen del Edificio Cuartel Marqués de la Victoria tras la ampliación de las dos plantas superiores (año 1945) [16].

Constructivamente, el edificio se encuentra asentado sobre un firme de roca situado aproximadamente a 1,80 m de profundidad. Probablemente, su cimentación se trate de zapatas corridas de hormigón ciclópeo, construidas sobre sustrato rocoso.

La estructura carece de pilares por lo que los forjados del edificio apoyan directamente en los muros de carga. En la planta baja son muros de mampostería granítica, mientras que las plantas superiores cuentan con muros de carga de ladrillo hueco simple con cámara de aire y trasdosado de rasilla por ambas caras. La geometría del edificio configura una serie de cubiertas a dos y cuatro aguas [16].

A lo largo de los años el edificio ha sido objeto de numerosas actuaciones de conservación y de mantenimiento, destacar la remodelación que sufrió en el año 2001, por el gran alcance que tuvo la misma. Tras esta reforma, el edificio pasó a albergar en la planta baja el Comedor de Alumnos, la cocina del comedor, una zona de habitaciones en la cara este del edificio y en su lado opuesto en la

cara oeste se encontraba el Pañol del Condestable, lugar donde se guardaba el armamento de toda la escuela naval, así como la munición. La primera planta contaba con una pequeña biblioteca y un vestíbulo principal, el resto de la planta estaba ocupada por habitaciones con capacidad para 4 personas, que contaban con baño, estudio y zona de vestidor propio. La segunda planta contaba con la misma disposición de la primera planta a diferencia de la zona de la biblioteca que en este caso esa zona también se empleaba para albergar habitaciones. Véase el estado actual del edificio en la Figura 3-6.

Finalmente, en el año 2021 se inicia un proceso de remodelación completa del edificio, la cual se dividió en dos fases. La primera fase incluyó las siguientes actuaciones:

- Se procedió a la renovación de las cubiertas del edificio, incluyendo la red de evacuación de aguas pluviales y la rehabilitación de ciertos elementos de fachadas.
- Se produjo la demolición completa de todas las divisiones y elementos constructivos no estructurales en el interior de las plantas primera y segunda, así como el desmontaje y retirada de las diferentes instalaciones existentes en ellas.

Tras finalizar la fase inicial del proyecto se llevó a cabo la segunda fase de este, incluyendo las siguientes actuaciones:

- Se llevó a cabo un refuerzo estructural, mejorando los apoyos del forjado de la segunda planta.
- Se llevó a cabo la reconstrucción interior de las plantas primera y segunda, distribuyendo el espacio en 20 y 23 habitaciones respectivamente, así como cinco bloques de baños por planta y otros locales. En la primera planta se habilitó una Sala de Lectura como espacio común para los alumnos alojados.
- Se procedió a la demolición interior y posterior reconstrucción de las habitaciones de la planta baja, cumpliendo criterios de accesibilidad.
- Se intervino en la cocina, para mejorar sus condiciones de seguridad en caso de incendio.
- Se renovaron las instalaciones de fontanería, calefacción, electricidad, comunicaciones, megafonía y protección contra incendios. Se dotó al edificio de un sistema de ventilación mecánica, inexistente hasta la fecha.
- Se construyó una escalera exterior de evacuación en caso de emergencia.



Figura 3-6 Estado actual del edificio cuartel MDV.

3.2.3 Zona climática

El Documento Básico HE de ahorro de energía presenta una tabla que permite obtener la zona climática de un emplazamiento en función de su provincia y su altitud respecto al nivel del mar [17].

A cada zona climática se le atribuye un clima de referencia, para conocer los parámetros característicos que presentan el clima correspondiente a cada zona climática se accede a los datos publicados por la Dirección General de Arquitectura, Vivienda y Suelo, del Ministerio de Fomento. Como se muestra en la Figura 3-7, el edificio de estudio se encuentra en una zona climática C1 [17].

Provincia	Altitud sobre el nivel del mar (h)																		
	≤ 50 m	51 - 100 m	101 - 150 m	151 - 200 m	201 - 250 m	251 - 300 m	301 - 350 m	351 - 400 m	401 - 450 m	451 - 500 m	501 - 550 m	551 - 600 m	601 - 650 m	651 - 700 m	701 - 750 m	751 - 800 m	801 - 850 m	851 - 900 m	901 - 950 m
Navarra	C2				D2				D1										E1
Ourense	C3				C2				D2										E1
Palencia									D1										E1
Palmas, Las														A2				B2	C2
Pontevedra																			C1
Rioja, La														D2					E1
Salamanca																			E1
Santa Cruz de Tenerife																			C2
Segovia																			E1
Sevilla																			C4

Figura 3-7 Tabla de zonas climáticas [17].

Posteriormente para el proceso de simulación se empleará un archivo del clima concreto de la zona de Pontevedra que proporciona la aplicación de EnergyPlus.

3.2.4 Descripción constructiva del edificio: envolvente térmica

La envolvente térmica se define como el conjunto de elementos constructivos que delimitan el volumen interior habitable de un edificio e influyen en su comportamiento energético [17]. Esta envolvente térmica incluye:

- Elementos opacos: fachadas, cubiertas, suelos en contacto con el terreno o espacios no acondicionados.
- Elementos transparentes: ventanas, lucernarios y otros cerramientos acristalados.
- Puentes térmicos: zonas donde la transmitancia térmica es mayor debido a discontinuidades en los materiales o cambios en la geometría.

A continuación, se llevará a cabo un estudio de las características constructivas que componen el edificio Cuartel Marqués de la Victoria. La envolvente térmica del edificio está compuesta por los siguientes elementos constructivos:

- Cerramientos exteriores
- Particiones interiores
- Carpinterías exteriores
 - Ventanas exteriores
 - Puertas exteriores
- Suelos en contacto con el terreno
- Techos y forjados
- Cubierta

Dado que se trata de una construcción existente con documentación limitada, el acceso a información detallada sobre los materiales que conforman la envolvente térmica es restringido. Sin

embargo, se han identificado los elementos constructivos que se detallan a continuación para su implementación en el modelo energético. Es importante destacar que todas las propiedades de los materiales han sido obtenidas del “Catálogo de elementos constructivos del CTE” [18]. A su vez, la información sobre las características de cada elemento ha sido extraída de la memoria del proyecto de remodelación que sufrió el edificio Cuartel Marqués de la Victoria ([16] y [15]).

Cerramientos Exteriores

La solución empleada para los cerramientos exteriores difiere entre la planta baja reflejada en la Figura 3-8, y las dos plantas superiores, reflejada en la Figura 3-9.

El cerramiento exterior de la planta baja está formado por un muro de mampostería de granito, enfoscado interior y exteriormente con mortero de cemento, trasdosado de aislamiento de lana mineral y una placa de yeso laminado, con las características reflejadas en Tabla 3-1.

Material	Espesor (mm)	Conductividad térmica (W/m K)	Densidad (kg/m ³)	Calor específico (J/kg K)
Mortero de cemento	40	0,9	2000	1000
Muro de granito	750	2,8	2600	1000
Lana mineral [19]	50	0,036	70	850
Placa de yeso laminado	15	0,25	800	1000

Tabla 3-1 Información constructiva del cerramiento exterior de la planta baja.

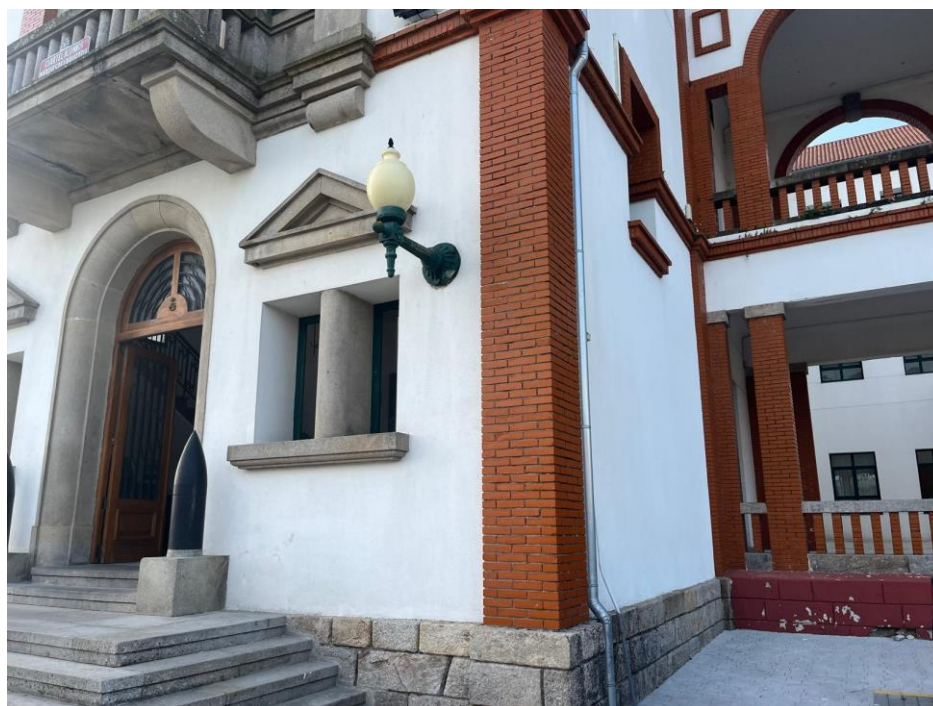


Figura 3-8 Cerramiento exterior planta baja del edificio (P0).

El cerramiento exterior de las dos plantas superiores está formado por muro de carga de ladrillo hueco, enfoscado exteriormente de mortero, con una cámara de aire de 100 mm sobre la que se inyecta aislamiento a base de espuma de poliuretano, un tabique de rasilla de ladrillo hueco y un enfoscado

interior de mortero de cemento, con las características reflejadas en Tabla 3-2 Información constructiva del cerramiento exterior de las plantas superiores.

Material	Espesor (mm)	Conductividad térmica (W/m K)	Densidad (kg/m ³)	Calor específico (J/kg K)
Mortero de cemento	20	0,9	2000	1000
Ladrillo hueco	350	0,32	770	1000
Espuma de poliuretano [20]	100	0,040	20	1500
Tabique de rasilla de ladrillo	15	0,32	770	1000
Mortero de cemento	10	0,9	2000	1000

Tabla 3-2 Información constructiva del cerramiento exterior de las plantas superiores.



Figura 3-9 Cerramientos exteriores primera planta (P1) y segunda planta (P2).

Particiones interiores

Las particiones interiores (Figura 3-10) consisten en una doble hoja de fábrica de ladrillo hueco doble cerámico, con un acabado de mortero de cemento y con capa intermedia de aislamiento térmico acústico de paneles rígidos de lana mineral, revestido por ambas caras mediante guarnecido maestreado con yeso negro y enlucido con yeso blanco. Se utilizará esta partición en las separaciones en todas las zonas de actuación, con las características reflejadas en la Tabla 3-3.

Material	Espesor (mm)	Conductividad térmica (W/m K)	Densidad (kg/m ³)	Calor específico (J/kg K)
Enlucido de yeso blanco y negro	10	0,3	700	1000
Ladrillo hueco	70	0,21	770	1000
Lana mineral [19]	40	0,039	70	850
Ladrillo hueco	70	0,21	770	1000
Enlucido de yeso	10	0,3	700	1000

Tabla 3-3 Información constructiva de las particiones interiores.

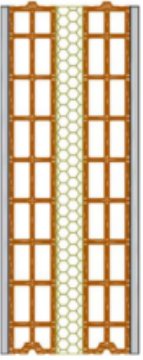
	DB-HR	DB-HE	DB-SI
	R _A (dBA)	U (W/m ² K)	EI (min)
	56,1	0,50	120
	Enlucido de yeso 1 cm + gran formato Megabrick 7 + lana mineral 4 cm + gran formato Megabrick 7 + enlucido de yeso 1 cm		
	Espesor total: 20 cm		

Figura 3-10 Información constructiva de las particiones interiores [21].

Ventanas exteriores

Las ventanas exteriores, tanto practicables, como no practicables (Figura 3-11), del edificio son de aluminio con doble acristalamiento sin ruptura de puente térmico. Datan de la anterior reforma de los años 2000-2001, con las características reflejadas en la Tabla 3-4 Información constructiva de las ventanas exteriores..

Material	Espesor (mm)	Conductividad térmica (W/m K)	Densidad (kg/m ³)	Calor específico (J/kg K)
Vidrio	0,6	1,2	2000	750

Tabla 3-4 Información constructiva de las ventanas exteriores.

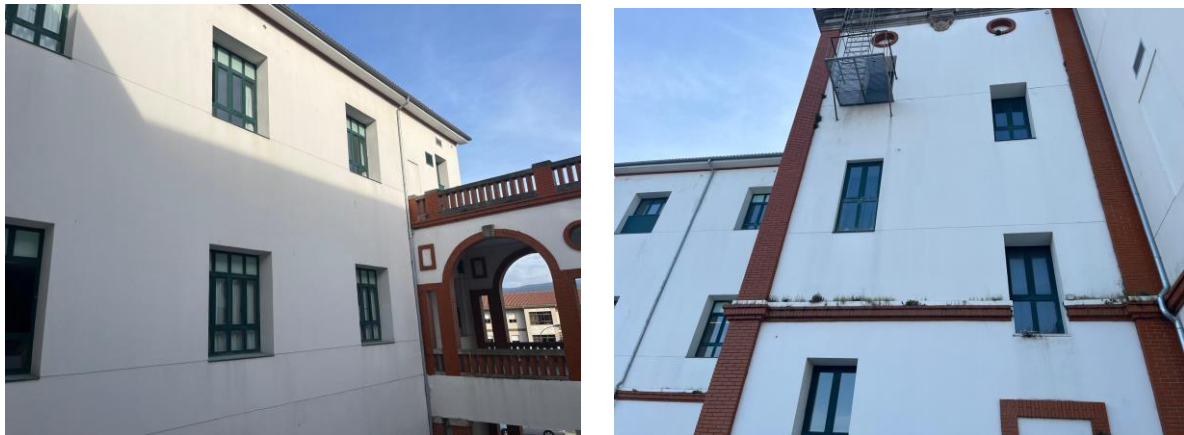


Figura 3-11 Ventanas exteriores del edificio, practicables (izquierda) y no practicables (derecha).

Puertas exteriores

Las puertas exteriores acristaladas como se puede ver en la Figura 3-12, con rotura de puente térmico, de dos hojas practicables, con las características reflejadas en la Tabla 3-5.

Material	Espesor (mm)	Conductividad térmica (W/m K)	Densidad (kg/m³)	Calor específico (J/kg K)
Vidrio	0,6	1,2	2000	750

Tabla 3-5 Información constructiva de las puertas exteriores de aluminio.



Figura 3-12 Puertas exteriores del edificio.

Las carpinterías exteriores presentan una permeabilidad al aire de clase 4 según la norma UNE-EN 12207:2017, lo cual implica que su estanqueidad al aire es superior a los valores de las clases 2 y 3. La clase 4 es la más restrictiva, con una infiltración de aire muy baja, por lo que cumple con creces los límites establecidos en la Figura 3-13 [17].

	Zona climática de invierno					
	α	A	B	C	D	E
Permeabilidad al aire de huecos (Q _{100,lim})*	≤ 27	≤ 27	≤ 27	≤ 9	≤ 9	≤ 9

* La permeabilidad indicada es la medida con una sobrepresión de 100Pa, Q₁₀₀.
Los valores de permeabilidad establecidos se corresponden con los que definen la clase 2 (≤27 m³/h·m²) y clase 3 (≤9 m³/h·m²) de la UNE-EN 12207:2017.
La permeabilidad del hueco se obtendrá teniendo en cuenta, en su caso, el cajón de persiana.

Figura 3-13 Valor límite de permeabilidad al aire de huecos de la envolvente térmica, Q100, lim [m³/h·m²].

Es decir, si la normativa establece unos valores como límites, sin embargo, la clase 4 tiene valores aún menores, es por lo que las carpinterías del edificio garantizan una excelente estanqueidad y cumplen con la normativa vigente sin problemas.

Suelos

En la planta baja el suelo se considera que está en contacto con el terreno como se aprecia en la Figura 3-14. Si bien dicho contacto no es directo, ya que todo el edificio se encuentra elevado en torno a 1,00 m desde la cota del terreno, no se dispone de información acerca de la naturaleza de dicha elevación. Tiene una impermeabilización que cumple los requisitos del HS6 como barrera de contención frente al radón, sobre este hay un pavimento cerámico. En las plantas superiores se mantienen las mismas características. Con las características reflejadas en la Tabla 3-6.

Material	Espesor (mm)	Conductividad térmica (W/m K)	Densidad (kg/m ³)	Calor específico (J/kg K)
Impermeable radón	2	0,025	35	-
Pavimento cerámico	1,5	1	200	1000

Tabla 3-6 Información constructiva de los suelos.

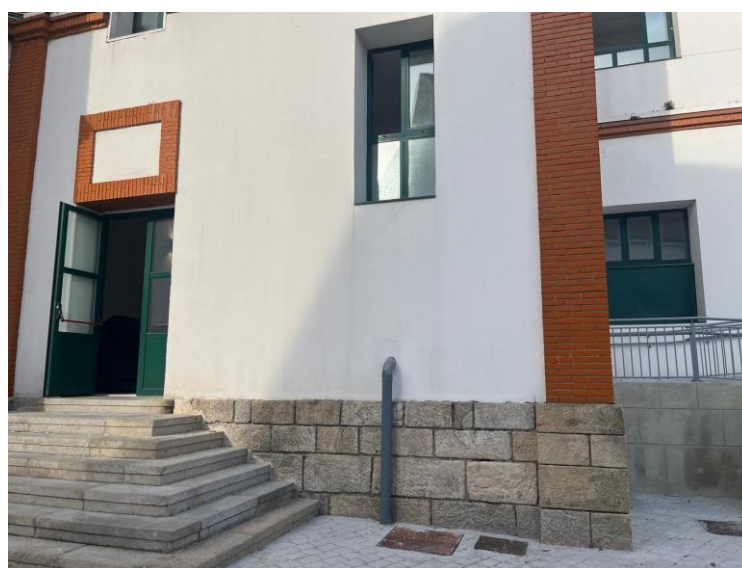


Figura 3-14 Suelo planta baja (P0) en contacto con el terreno.

Techos y forjados

El edificio cuenta con falsos techos de placas de yeso laminado, formado por 2 placas de yeso laminado de 15 mm de espesor cada una, atornilladas a una estructura de perfiles de chapa de acero galvanizado a base de maestras, separadas entre ejes entre 800 mm, y suspendidas del forjado mediante cuelgues de 2,00 m, con aislamiento termoacústico de lana mineral de 100 mm de espesor y conductividad térmica 0,036 W/m·K.

A su vez los forjados (Figura 3-15) están formados por viguetas de acero laminado tipo IPN, con rasillas de ladrillo hueco formando bóvedas en el entrevigado, apoyados sobre vigas armadas de acero laminado, roblonadas, de canto 600 mm y ancho de ala 250 mm, revestidas exteriormente con una capa de mortero armada con malla metálica; dichas vigas se apoyan, a su vez, en los muros de carga como se puede ver en la Tabla 3-7.

Material	Espesor (mm)	Conductividad térmica (W/m K)	Densidad (kg/m ³)	Calor específico (J/kg K)
Placas de yeso	15	2,4	2500	1000
Lana mineral [19]	100	0,036	70	1400
Cámara de aire	1,5	1	200	1005
Forjado	600	0,23	1180	1000

Tabla 3-7 Información constructiva de los techos y forjados.

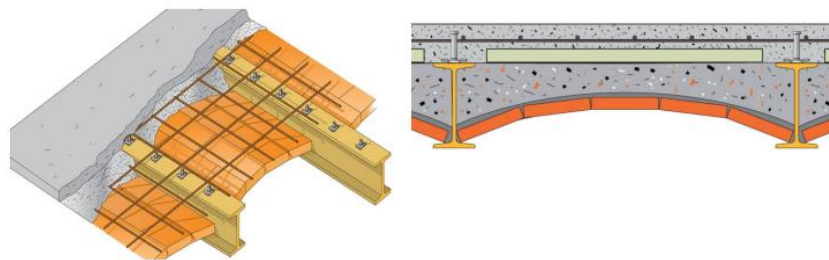


Figura 3-15 Secciones tipo ideales de forjados de vigueta metálica con abovedado de ladrillo.

Cubierta

La cubierta del edificio vista en la Figura 3-16, está formada por una capa exterior de teja cerámica curva, una placa de fibrocemento, un tablero formado por rasillas de ladrillo hueco armadas y recredido de mortero, un primer falso techo de rasilla de ladrillo hueco, una capa de aislamiento de lana y un segundo falso techo formado por dos placas de yeso laminado. Con las características reflejadas en la Tabla 3-8.

Material	Espesor (mm)	Conductividad térmica (W/m K)	Densidad (kg/m ³)	Calor específico (J/kg K)
Placa de fibrocemento [22]	7	0,022	14.5	1700
Tejas cerámicas	22	1	2000	1000
Ladrillo hueco	50	0,21	770	1000
Falso techo de ladrillo	30	0,21	770	1000
Lana mineral [19]	100	0,036	70	850
Doble placa de yeso	30	2,4	2500	1000

Tabla 3-8 Información constructiva de la cubierta.



Figura 3-16 Cubierta del edificio.

3.2.4.1 Transmitancia térmica

La transmitancia térmica (Figura 3-17), U ($\text{W}/\text{m}^2 \text{K}$) se define como el flujo de calor, en régimen estacionario, para un área y diferencia de temperaturas unitarias de los medios situados a cada lado del elemento que se considera [23]. La transmitancia térmica se expresa en ($\text{W}/\text{m}^2 \text{K}$) y viene dada por la siguiente expresión (Ecuación 3-1) [24]:

$$U = \frac{1}{Rt}$$

Ecuación 3-1 Transmitancia térmica.

Donde:

- U es la transmitancia térmica ($\text{W}/\text{m}^2 \text{K}$).
- Rt es la resistencia térmica ($\text{m}^2 \text{K}/\text{W}$) total del elemento constructivo, que depende de los materiales y sus espesores.

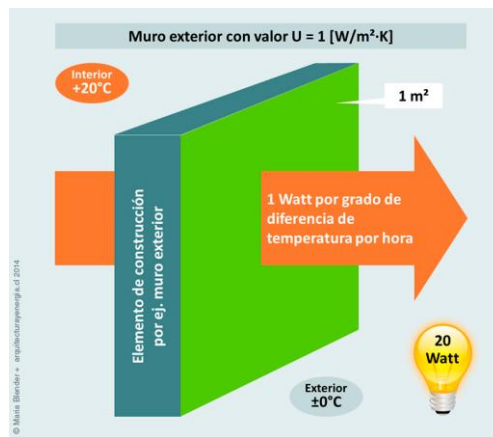


Figura 3-17 Transmitancia térmica [25].

La resistencia térmica total Rt de un componente constituido por capas térmicamente se calcula mediante la Ecuación 3-2 [24]:

$$Rt = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se}$$

Ecuación 3-2 Resistencia térmica total de un componente.

Donde:

- R_1, R_2, R_n son las resistencias térmicas ($\text{m}^2 \text{K}/\text{W}$) de cada capa definidas según la Ecuación 3-2.
- R_{si}, R_{se} son las resistencias térmicas superficiales correspondientes al aire interior y exterior respectivamente. Los valores se toman en la Tabla 1 del DA DB-HE 1 “Cálculo de parámetros característicos de la envolvente” (Figura 3-18) [24].

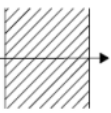
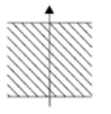
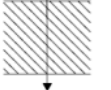
Posición del cerramiento y sentido del flujo de calor		R_{se}	R_{si}
Cerramientos verticales o con pendiente sobre la horizontal $>60^\circ$ y flujo horizontal		0,04	0,13
Cerramientos horizontales o con pendiente sobre la horizontal $\leq 60^\circ$ y flujo ascendente (techo)		0,04	0,10
Cerramientos horizontales y flujo descendente (suelo)		0,04	0,17

Figura 3-18 Resistencias térmicas superficiales de cerramientos en contacto con el aire exterior ($m^2 K/ W$) [24].

A su vez la resistencia térmica (R) se calcula como se muestra en la Ecuación 3-3 :

$$R = \sum \frac{ei}{\lambda i}$$

Ecuación 3-3 Resistencia térmica.

Donde:

- R es la resistencia térmica ($m^2 K/ W$).
- ei es el espesor de cada capa del material (m).
- λi es la conductividad térmica del material ($W/m \cdot K$).

Posteriormente se calculan las transmitancias para todos los elementos de estudio que afectan a la envolvente térmica del edificio cuartel MDV y posteriormente se comparan estos valores con los establecidos por el CTE DB-HE (Figura 3-19), obteniendo los resultados obtenidos en la Tabla 3-9.

Elemento	Zona climática de invierno					
	α	A	B	C	D	E
Muros y suelos en contacto con el aire exterior (U_s, U_M)	0,80	0,70	0,56	0,49	0,41	0,37
Cubiertas en contacto con el aire exterior (U_c)	0,55	0,50	0,44	0,40	0,35	0,33
Muros, suelos y cubiertas en contacto con espacios no habitables o con el terreno (U_T)	0,90	0,80	0,75	0,70	0,65	0,59
Medianerías o particiones interiores pertenecientes a la envolvente térmica (U_{MD})						
Huecos (conjunto de marco, vidrio y, en su caso, cajón de persiana) (U_H)*	3,2	2,7	2,3	2,1	1,8	1,80
Puertas con superficie semitransparente igual o inferior al 50%				5,7		

*Los huecos con uso de escaparate en unidades de uso con actividad comercial pueden incrementar el valor de U_H en un 50%.

Figura 3-19 Valores límite de transmitancia térmica, U_{lim} (W/m^2K) [17].

Elemento	U(W/m²K)	U _{lim} (W/m²K)	Conforme
Muros en contacto con el exterior (P0)	0,50	0,49	Supera el valor límite
Muros en contacto con el exterior (P1, P2)	0,257	0,49	Por debajo del valor límite
Suelo en contacto con el terreno	0,290	0,49	Por debajo del valor límite
Cubierta en contacto con el aire exterior	0,275	0,40	Por debajo del valor límite
Particiones interiores envolvente. térmica	0,257	0,70	Por debajo del valor límite
Huecos (carpinterías exteriores)	3,78	2,10	Supera el valor límite

Tabla 3-9 Valores de las transmitancias de la envolvente térmica.

Como se puede observar en la Tabla 3-9 la transmitancia de los muros de la planta baja y las carpinterías supera los valores establecidos en la Figura 3-19. Sin embargo, el DB-HE contempla asimismo la posibilidad de que en reformas se pueden superar los valores de la Figura 3-19 siempre y cuando el coeficiente global de transmisión de calor (K) medio obtenido considerando la transmitancia térmica de los elementos afectados no supere el obtenido aplicando los valores de la Figura 3-20.

	Compacidad V/A [m³/m²]	Zona climática de invierno					
		α	A	B	C	D	E
Edificios nuevos. Ampliaciones. Cambios de uso. Reformas en las que se renueve más del 25% de la superficie total de la envolvente térmica final del edificio	V/A ≤ 1	0,96	0,81	0,76	0,65	0,54	0,43
	V/A ≥ 4	1,12	0,98	0,92	0,82	0,70	0,59

Los valores límite de las *compacidades* intermedias (1 < V/A < 4) se obtienen por interpolación.
En el caso de ampliaciones los valores límite se aplicarán sólo en caso de que la superficie o el volumen construido se incrementen más del 10%.
Las *unidades de uso* con actividad comercial cuya *compacidad* V/A sea mayor que 5 se eximen del cumplimiento de los valores de esta tabla.

Figura 3-20 Valor límite K_{lim} [W/m²K] para uso distinto del residencial privado.

El coeficiente global de transmisión de calor (K) es un parámetro que mide la cantidad de calor que se transmite a través de la envolvente térmica de un edificio por unidad de temperatura y por unidad de superficie. Se expresa en (W/m²K) y permite evaluar el nivel de aislamiento térmico global de un edificio como se muestra en la Ecuación 3-4.

$$K = \frac{\sum (U_i \times A_i)}{\sum A_i}$$

Ecuación 3-4 Coeficiente global de transmisión de calor.

Donde:

- U_i es la transmitancia térmica de cada elemento de la envolvente térmica (muros, cubiertas, suelos, ventanas, etc.).
- A_i es la superficie de cada elemento de la envolvente térmica (en m²).
- ∑A_i es la superficie total de la envolvente térmica del edificio.

El valor global de K calculado es de $0,777 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$; el valor límite establecido en la Figura 3-20 para reformas de edificios de uso diferente al residencial privado (compacidad $V/A = 5,00$) es de $K_{\text{lim}} = 0,82 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$; con lo que se cumple la exigencia [16].

3.2.5 Uso del edificio cuartel MDV

En la actualidad, el edificio cuartel Marques de la Victoria alberga al comedor de alumnos, cocina del comedor, pañol de condestable y la zona de vida de los alumnos de cuarto y quinto curso de la Escuela Naval Militar. Por lo tanto, los usos que se hacen de él son los que se detallan a continuación:

- El comedor se usa por parte de los alumnos en las horas de desayuno, comida y cena.
- A su vez la cocina se emplea en las horas previas y posteriores a los turnos de comida para la preparación y recogida del comedor.
- El pañol del condestable se emplea para guardar el armamento de toda la Escuela Naval Militar, abriéndose cuando los alumnos de la ENM tienen que recoger su armamento.
- La zona de vida del cuartel, que cuenta con habitaciones, estudios, baños y salas de estar y lectura, son empleadas por todos los alumnos de cuarto y quinto curso a lo largo del día.

3.2.6 Estancias del edificio

Planta Baja

La planta baja (P0) del edificio cuartel MDV cuenta con 4 zonas diferenciadas (Figura 3-21), cuyas dimensiones se reflejan en la Tabla 3-10.

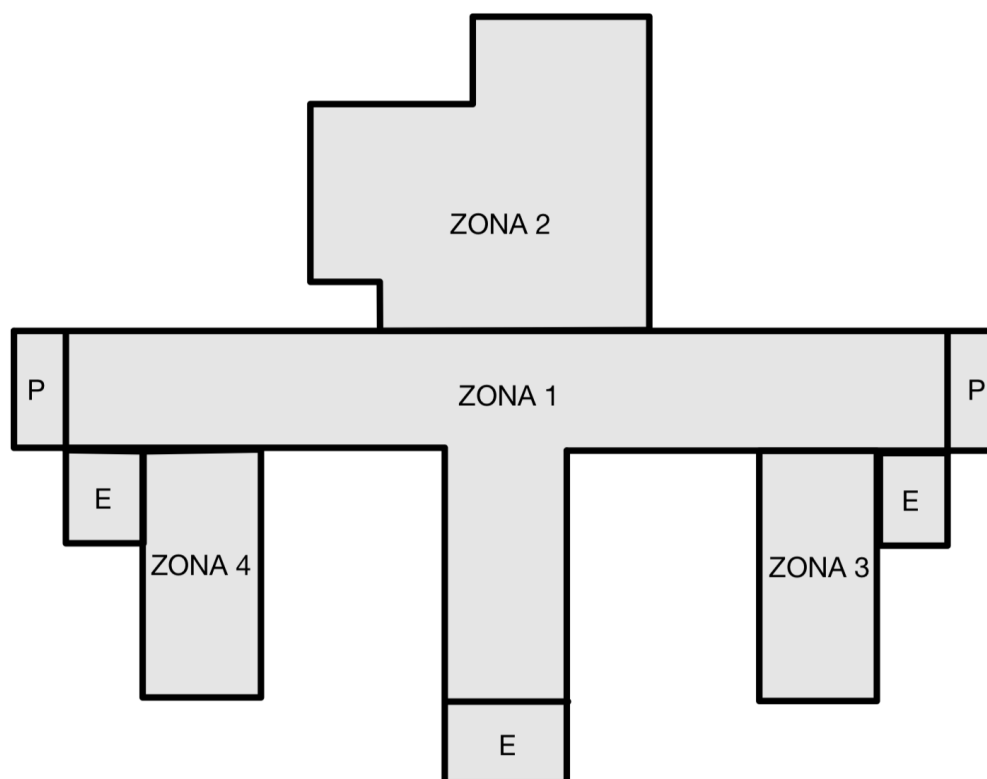


Figura 3-21 Esquema estancias planta baja (P0) del edificio cuartel MDV.

Estancia	Descripción	Superficie (m ²)
Zona 1	Comedor de alumnos	790
Zona 2	Cocina	375
Zona 3	Pañol del condestable	173
Zona 4	Habitaciones alumnos (ZULU)	173
E	Escaleras	No procede
P	Pañol	No procede
Superficie total		1511

Tabla 3-10 Descripción y dimensionamiento estancias planta baja (P0) del edificio cuartel MDV.

Primera planta

La primera planta (P1) del edificio cuartel MDV cuenta con 7 zonas diferenciadas (Figura 3-22), cuyas dimensiones se reflejan en la Tabla 3-11.

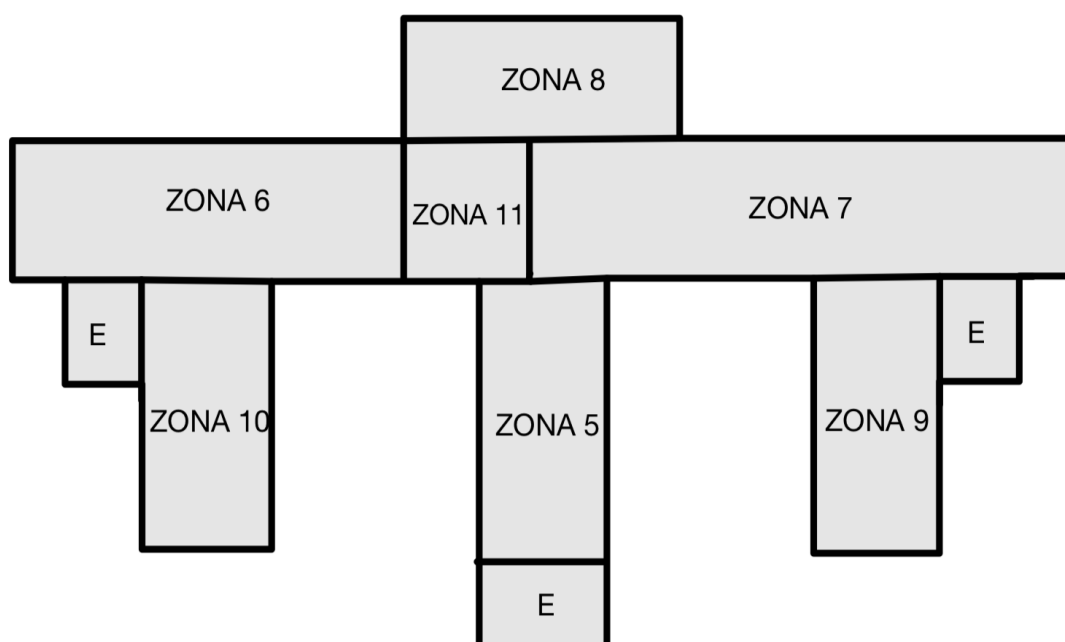


Figura 3-22 Esquema estancias primera planta (P1) del edificio cuartel MDV.

Estancia	Descripción	Superficie (m ²)
Zona 5	Hall	176
Zona 6	Habitaciones alumnos 1SE	280
Zona 7	Habitaciones alumnos 1SW	399
Zona 8	Habitaciones alumnos 1T	178
Zona 9	Habitaciones alumnos 1NW	186
Zona 10	Habitaciones alumnos 1NE	186
Zona 11	Baños centrales 1	62
E	Escaleras	No procede
Superficie total		1467

Tabla 3-11 Descripción y dimensionamiento estancias primera planta (P1) del edificio cuartel MDV.

Segunda planta

La segunda planta (P2) del edificio cuartel MDV cuenta con 7 zonas diferenciadas (Figura 3-23) cuyas dimensiones se reflejan en la Tabla 3-12.

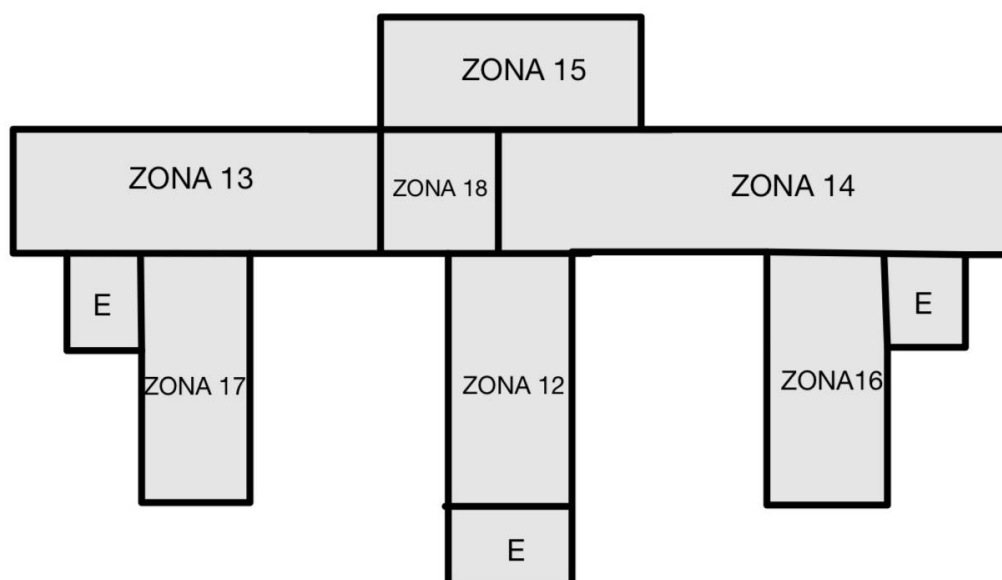


Figura 3-23 Esquema estancias segunda planta (P2) del edificio cuartel MDV.

Estancia	Descripción	Superficie (m ²)
Zona 12	Habitaciones alumnos 2N	176
Zona 13	Habitaciones alumnos 2SE	280
Zona 14	Habitaciones alumnos 2SW	399
Zona 15	Habitaciones alumnos 2T	178
Zona 16	Habitaciones alumnos 2NW	186
Zona 17	Habitaciones alumnos 2NE	186
Zona 18	Baños centrales 2	62
E	Escaleras	No procede
Superficie total		1467

Tabla 3-12 Descripción y dimensionamiento estancias segunda planta (P2) del edificio cuartel MDV.

3.3 Descripción de las instalaciones del edificio

El Cuartel Marqués de la Victoria cuenta con una serie de sistemas térmicos destinados a garantizar el confort de los ocupantes y la eficiencia energética del edificio. En este apartado se describen las principales instalaciones situadas en la sala de calderas, así como su funcionamiento y características técnicas.

3.3.1 Instalación térmica del edificio

La instalación consta de dos calderas de condensación de gas natural de la marca Ygnis, una del modelo Varmax 275 (Figura 3-24) y la otra del modelo Varmax 450. Estas calderas cubren la demanda térmica requerida para calefactar tres circuitos (casino de alumnos, comedor y dormitorios) además de producción de ACS dividido en dos sistemas idénticos de 250 kW permitiendo garantizar en caso de mantenimiento y/o reparación de algún elemento [26].

El edificio cuenta con una instalación de gas natural que suministra un caudal de 65 m³/h a través de un armario de regulación, con una tubería de salida de acero de 2 ½" y una presión disponible de 22 mbar. En el exterior de la sala, se encuentra una llave de corte manual junto con una electroválvula normalmente cerrada, que requiere rearme manual y se activa en caso de detección de fuga de gas o ausencia de corriente eléctrica [26].

La sala de calderas alimenta a dos intercambiadores de placas para producir ACS (agua caliente sanitaria) y un colector para los tres circuitos de calefacción (Figura 3-25) del casino, el comedor y los dormitorios. Las calderas instaladas de Ygnis modelo Varmax de condensación permiten aumentar el rendimiento dividiendo el retorno de agua fría independiente del circuito de ACS (retorno de alta temperatura) y el de calefacción (retorno de baja temperatura) [26].

La caldera maestra, la VARMAX 275, alberga 3 módulos AVG75 para el control de sendos circuitos de calefacción con bomba circuladora y válvula mezcladora. Están identificados como 1, 2, 3 en el propio módulo [26].



Figura 3-24 Localización módulos adicionales por circuito de calefacción en Varmax 275 marcados en verde (1, 2, 3) [26].



Figura 3-25 Localización circuitos de calefacción marcados en verde (1, 2, 3), impulsión izquierda y retorno derecha [26].

3.4 Factores ocupacionales y cargas internas del edificio

3.4.1 Ocupación y actividad

Como se puede apreciar en el apartado (3.2.6 Estancias del edificio) el edificio cuenta con 18 zonas, debido a la similitud en el uso que se dan en las zonas que corresponden a las habitaciones y al vestíbulo se decide tratar como una única zona a todas estas. Dejando el edificio con 4 zonas diferenciadas:

- Cocina
- Comedor de alumnos
- Zona de habitaciones
- Pañol del condestable

La ocupación de cada una de las cuatro zonas del edificio diferenciadas anteriormente se detalla a continuación:

- **Cocina:** el espacio de la cocina es empleado por el personal trabajador en las horas previas y posteriores a los turnos de comida de los alumnos de la ENM, siendo una plantilla de unas 40 personas entre cocineros, reposteros, personal de aprovisionamiento, camareras y dotación de la ENM. Sin embargo, debido a los días que libran los trabajadores, para la realización de los trabajos se tiene de forma permanente a 20 personas. Los horarios de trabajo que coinciden parcialmente con los horarios de comida son los siguientes:
 - Turno de mañana: de 06:15 a 08:15 de lunes a viernes y de 08:30 a 10:15 los fines de semana.
 - Turno de tarde: de 12:15 a 15:30 de lunes a viernes y de 13:30 a 15:30 los fines de semana.
 - Turno de tarde: 19:30 a 21:30 tanto entre semana como fines de semana.
- **Comedor de alumnos:** el comedor recoge todos los turnos de comida de la escuela, tanto los días entre semana, como los fines de semana. En la ENM hay 485 alumnos en total, a partir de las vacaciones de navidad los alumnos de tercer curso embarcan en el Buque Escuela Juan Sebastián Elcano para realizar su crucero de instrucción, por lo que durante el segundo cuatrimestre hay un total de 409 alumnos presentes en la ENM, será este dato el empleado para la simulación ya que se van a tomar valores reales del edificio una vez los alumnos de tercer curso ya no se encuentren en la ENM. Todo esta información se encuentra reflejada en (Anexo IV: Horario General de Alumnos de la ENM). El horario del comedor es el siguiente:
 - Desayuno: 06:45 a 07:30 de lunes a viernes y de 08:45 a 09:30 los fines de semana.
 - La comida se divide en dos turnos: de 13:20 a 14:00 y de 14:15 a 15:05 de lunes a viernes y de 14:00 a 15:00 los fines de semana.
 - Cena: de 19:00 a 20:00 tanto entre semana como fines de semana.
- **Pañol del condestable:** al tratarse de un lugar donde se guarda el armamento y municiones de la ENM tiene una actividad menor que el resto de las zonas. Únicamente trabajan 5 personas en el horario de trabajo de la ENM. Siendo el horario de trabajo en turno de mañana entre semana, de 08:00 a 15:00.
- **Zona de habitaciones:** esta zona, siendo la que ocupa el mayor porcentaje del espacio del edificio MDV, es usada por los alumnos de cuarto y quinto curso para vivir, estos suman un total de 184 alumnos. En ella están sus habitaciones, estudios, zonas de ocio y baños. Los alumnos hacen uso de las instalaciones del cuartel MDV acorde al horario general de alumnos de la ENM (Anexo IV: Horario General de Alumnos de la ENM) y al horario de sus sábanas semanales.

En la Tabla 3-13 y en la Tabla 3-14 se hace un resumen de los horarios de la ocupación citados anteriormente:

Zona	Mañana	Tarde	Noche
Cocina	06:15 a 08:15	12:15 a 15:30	19:30 a 21:30
Comedor de alumnos	06:45 a 07:30	13:20 a 15:05	19:00 a 20:00
Habitaciones	-	15:30 a 19:00	20:00 a 06:45
Pañol del condestable	08:00 a 15:00	-	-

Tabla 3-13 Horario de ocupación los días laborables.

Zona	Mañana	Tarde	Noche
Cocina	08:30 a 10:15	13:30 a 15:30	19:30 a 21:00
Comedor de alumnos	08:45 a 09:30	14:00 a 15:00	19:00 a 20:00
Habitaciones	09:30 a 14:00	15:00 a 19:00	20:00 a 08:45
Pañol del condestable	-	-	-

Tabla 3-14 Horario de ocupación los fines de semana.

A continuación, se adjuntan unas gráficas (Figura 3-26) y (Figura 3-27) donde se puede observar un resumen más gráfico del número de integrantes que ocupan cada instalación en función de la hora del día.

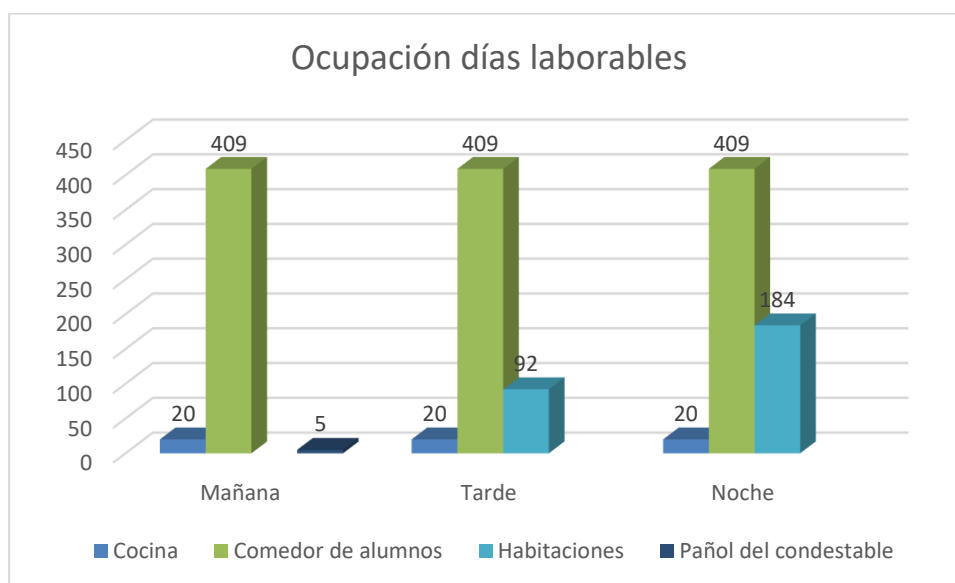


Figura 3-26 Ocupación de las instalaciones en los días laborables.

Los alumnos de cuarto y quinto curso tienen clases y actividades en la franja de la mañana por lo que la no se encuentran en el cuartel en este periodo. Además, hay alumnos de cuarto y quinto curso que, durante el periodo lectivo de la tarde, tienen clases y actividades de adiestramiento por ello la ocupación de sus habitaciones se estima que se reduce a la mitad.

Hay que destacar que, para disponer de datos más realistas, se han consultado las listas de asistencia al comedor los fines de semana y se ha realizado un promedio de asistencia. También se ha hecho la estimación de que el 50 % de los alumnos de cuarto y quinto curso pasan fuera los fines de semana, por lo que la ocupación de las habitaciones se ve reduce a la mitad.

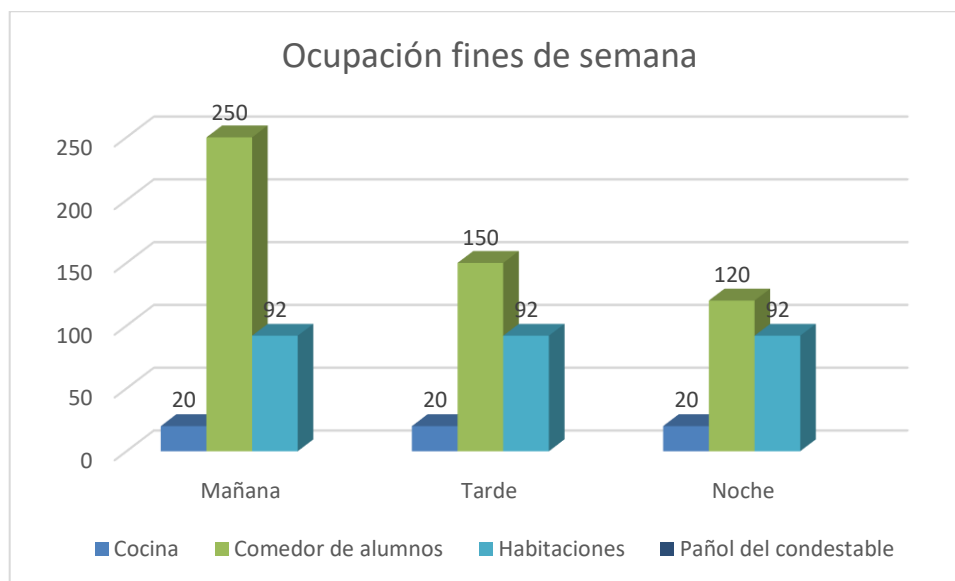


Figura 3-27 Ocupación de las instalaciones los fines de semana.

Hay que destacar que, durante los meses de verano, los alumnos abandonan la Escuela Naval Militar para pasar el permiso de verano en sus casas junto a sus familiares. Este periodo comprende entre el 16 de julio al 1 de septiembre. Durante estos meses la ocupación en las diferentes instalaciones se reduce a mínimos.

Por último, es necesario definir qué tipo de actividad se encuentran realizando los ocupantes en las diferentes instalaciones para estimar la carga interna asociada ($W/persona$). Para ello emplean los datos de la Figura 3-28. Donde se representa los (W/m^2) que generan las personas en función de las actividades que se encuentren realizando según el Anexo B de la norma UNE-EN ISO 7730 [27]. Una vez obtenidos los datos se puede calcular el aporte de calor que experimenta cada instalación debido a la actividad humana.

- Para la labor de los cocineros y camareras se selecciona una tasa metabólica de $93 W/m^2$.
- Para la actividad que realizan los alumnos en el comedor se selecciona una tasa metabólica de $70 W/m^2$.
- Para la actividad que realizan los trabajadores del pañol del condestable se selecciona una tasa metabólica de $70 W/m^2$.
- Por último las actividades que realizan los alumnos en sus habitaciones se selecciona unas tasas metabólicas de $46 W/m^2$ para cuando se encuentren durmiendo y una tasa metabólica de $70 W/m^2$ para cuando se encuentren en sus estudios.

Actividad	Tasa metabólica	
	W/m^2	met
Reposo, tendido	46	0,8
Reposo, sentado	58	1,0
Actividad sedentaria (oficina, domicilio, escuela, laboratorio)	70	1,2
Actividad ligera, de pie (de compras, laboratorio, industria ligera)	93	1,6
Actividad media, de pie (dependiente de comercio, tareas domésticas, trabajo con máquinas)	116	2,0
Caminar en llano		
2 km/h	110	1,9
3 km/h	140	2,4
4 km/h	165	2,8
5 km/h	200	3,4

Figura 3-28 Tasa metabólica [27].

A estas tasas metabólicas hay que aplicarles el área de superficie corporal (ASC) medio para una persona y así calcular cuanta energía libera cada persona al medio. Para calcularla, se emplea la fórmula de Mosteller (Ecuación 3-5) [28].

$$ASC(m^2) = \sqrt{\frac{\text{peso (kg)} \times \text{altura (cm)}}{3600}}$$

Ecuación 3-5 ASC mediante la fórmula de Mosteller.

Para una persona media de 70 kg y una estatura de 175 cm el área de superficie corporal sería de 1,84 m². Por lo tanto, la tasa metabólica en función de la actividad que realiza cada persona en cada instalación, expresado en W/persona queda como se muestra en la Tabla 3-15.

Actividad	Tasa metabólica (W/m²)	ASC (m²/persona)	Tasa metabólica (W/persona)
Trabajadores en cocina	93	1,84	171,12
Alumnos en el comedor	70	1,84	128,80
Alumnos en estudios	70	1,84	128,80
Alumnos durmiendo	43	1,84	79,12
Trabajadores pañol del condestable	70	1,84	128,80

Tabla 3-15 Tasas metabólicas en función de la actividad realizada expresada en W/persona.

3.4.2 Sistemas de iluminación

El alumbrado interior del edificio se realiza, íntegramente, mediante equipos LED.

Comedor

La iluminación del comedor de alumnos (Figura 3-29) esta proporcionada por 32 lámparas LED con las características que se muestran en la Tabla 3-16:

Globo LED 80 Hanging	
Cantidad	32
Potencia unitaria	65 W
Protección hermética	IP202
Color	3000k
Flujo luminoso	1500 lm

Tabla 3-16 Características de los globos 80 LED Hanging [29].

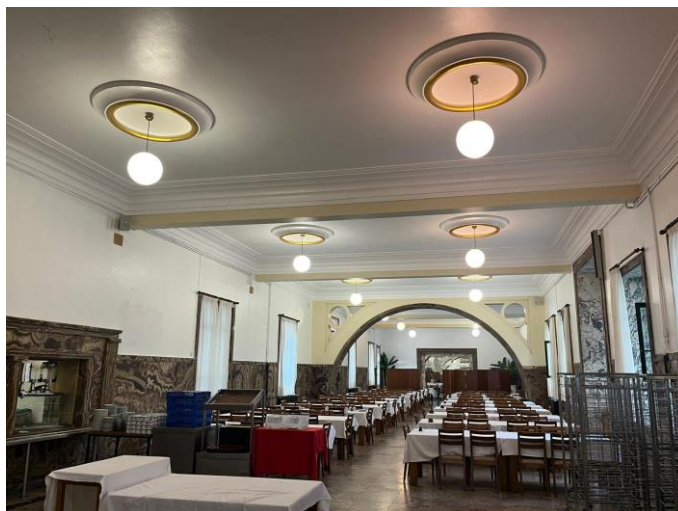


Figura 3-29 Fuentes de iluminación del comedor de alumnos.

Las luces del comedor de alumnos permanecen encendidas las 24 horas del día por motivos de seguridad.

Habitaciones, estudios y pasillos

En dormitorios, estudios y pasillos se emplea iluminación indirecta para obtener un alumbrado ambiental agradable. La iluminación de las habitaciones, estudios y pasillos se corresponde con unas tiras LED (Figura 3-30) [30] con las especificaciones que se muestran en la Tabla 3-17:

Tiras LED TSL THER 7	
Cantidad	5
Potencia unitaria	11 W
Protección hermética	IP 65 H
Color	3000k
Flujo luminoso	1716 lm

Tabla 3-17 Tiras LED TSL THER 7.

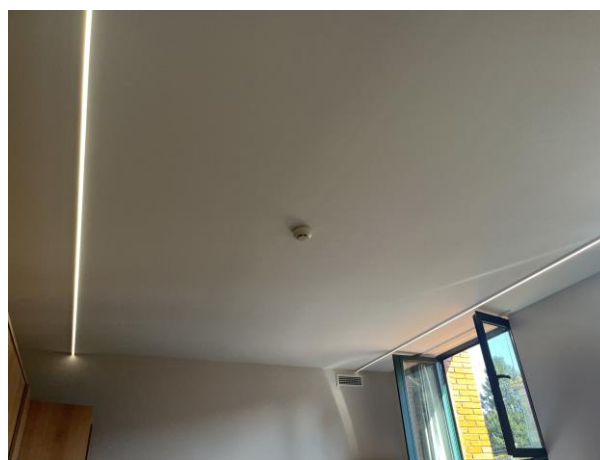


Figura 3-30 Tiras LED habitación y estudio.

Cocina

La iluminación en la cocina del comedor de alumnos consta de unos tubos y pantallas LED de la empresa iglux (Figura 3-31) con las características que se reflejan en la Tabla 3-18.

Tubo iglux modelo LIMA 150 cm

Cantidad	34
Potencia unitaria	24 W
Protección hermética	IP-20
Color	4200k
Flujo luminoso	2880 lm

Tabla 3-18 Tubo iglux modelo LIMA 150 cm.



Figura 3-31 Fuentes de iluminación de la cocina.

Baños

La iluminación en los baños consta de unos paneles LED cuadrados (Figura 3-32), con las características que se reflejan en la Tabla 3-19:

PANEL VAL 600 LEDVANCE

Cantidad	8
Potencia unitaria	36 W
Protección hermética	IP40
Color	3000k
Flujo luminoso	3600 lm

Tabla 3-19 PANEL VAL 600 LEDVANCE.

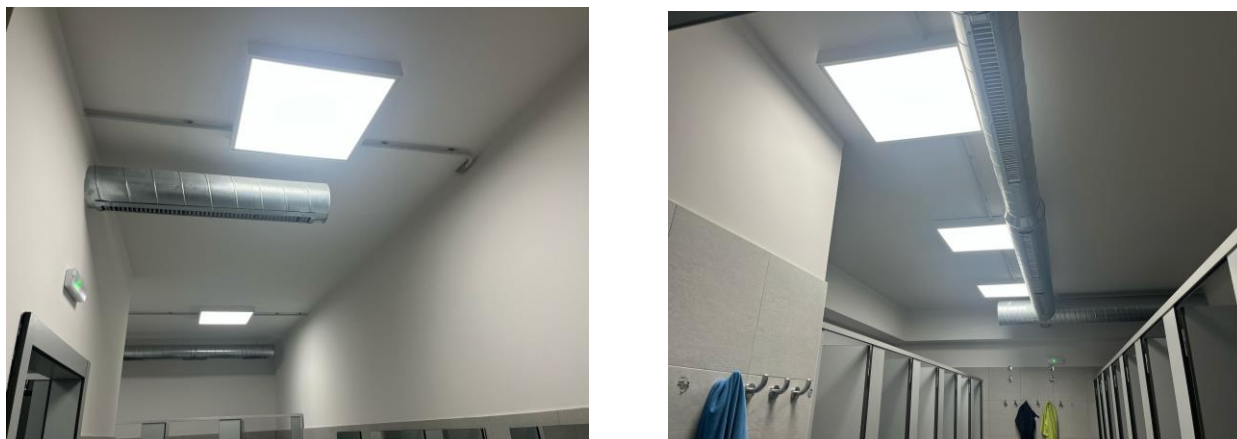


Figura 3-32 Paneles LED cuadrados, ubicados en los baños.

3.5 Consumo de energía en el edificio

Los consumos de gas natural de la instalación térmica del edificio han sido proporcionados por la oficina de mantenimiento de la ENM. Los datos corresponden al contador general del cuarto de calderas. No se disponen de un gran histórico de datos, ya que el edificio ha empezado a ser usado por los alumnos de la ENM desde comienzos del curso 2024/2025.

Mes	Año 2024 (MWh)	Año 2025 (MWh)
Enero	-	100,20
Febrero	-	106,33
Marzo	-	164,91
Octubre	38,17	-
Noviembre	88,88	-
Diciembre	145,24	-
TOTAL	272,30	371,45

3.6 Monitorización de la temperatura interior

Para llevar a cabo un análisis preciso del comportamiento energético del Cuartel Marqués de la Victoria, es fundamental disponer de datos reales que permitan evaluar su rendimiento térmico y la eficiencia de sus instalaciones. En este apartado se describen los parámetros medidos, la metodología empleada y los equipos utilizados.

3.6.1 Equipos utilizados

Para la obtención de datos, se han utilizado los siguientes dispositivos:

- **Sensores iButton:** Los sensores iButton (Figura 3-33), son unos dispositivos compactos de medición de temperatura con capacidad de registro de datos en intervalos programados. En este caso de estudio se ha establecido que los sensores tomen datos de temperatura cada 10 minutos. Su alta precisión y facilidad de instalación permiten obtener mediciones detalladas en distintos puntos del edificio.



Figura 3-33 Sensores iButton® [31].

Para la recogida de datos se dispuso de 7 sensores iButton que fueron colocados en diferentes estancias del edificio. En concreto, se establecieron en:

- Comedor.
- Cocina.
- Baños centrales de la segunda planta.
- Habitaciones de la segunda planta: habitación 210, habitación 215 y habitación 205.
- Habitaciones de la primera planta: habitación 107.

Para la extracción de los datos de los sensores iButton se empleó un adaptador USB y la aplicación OneWireViewer. Esta aplicación permitía la extracción de los datos mediante archivos CSV.

- Raspberry Pi con Adafruit SHT45 Trinkey (Figura 3-34): Se ha empleado una placa Raspberry Pi conectada al USB mencionado, este al tener el sensor SHT45 de Sensirion, un sensor de temperatura y humedad relativa que se encuentran entre los más precisos del mercado. El sensor ha sido configurado para que tomase un dato cada 10 minutos, estos eran registrados en un archivo CSV y almacenados en una tarjeta microSD, además permiten la monitorización en tiempo real [32].



Figura 3-34 Sensor Adafruit SHT45 Trinkey [32].

Para la recogida de datos se dispuso de 4 raspberry Pi, estas fueron colocadas en diferentes estancias del edificio. Se establecen 4 en los diferentes emplazamientos:

- La habitación 210 de la segunda planta
- Habitaciones de la primera planta: habitación 111 y habitación 119.
- En el vestíbulo de la primera planta.

Para la extracción de los datos de las raspberry se empleó la aplicación WinSCP, las raspberry se enlazaban al ordenador mediante conexión wifi. Estos dispositivos creaban archivos CSV con los datos recogidos.

A la hora de distribuir los sensores por las diferentes zonas del cuartel se ha tratado de alcanzar el mayor número de zonas posible. Instalando sensores en las tres plantas del cuartel, así como, en las zonas Norte, Sur, Este y Oeste de este.

Como se puede observar en la Figura 3-35, se colocaron 7 dispositivos iButton, marcados como puntos rojos, y 4 sensores Adafruit SHT45 Trinkey, marcadas como puntos verdes.

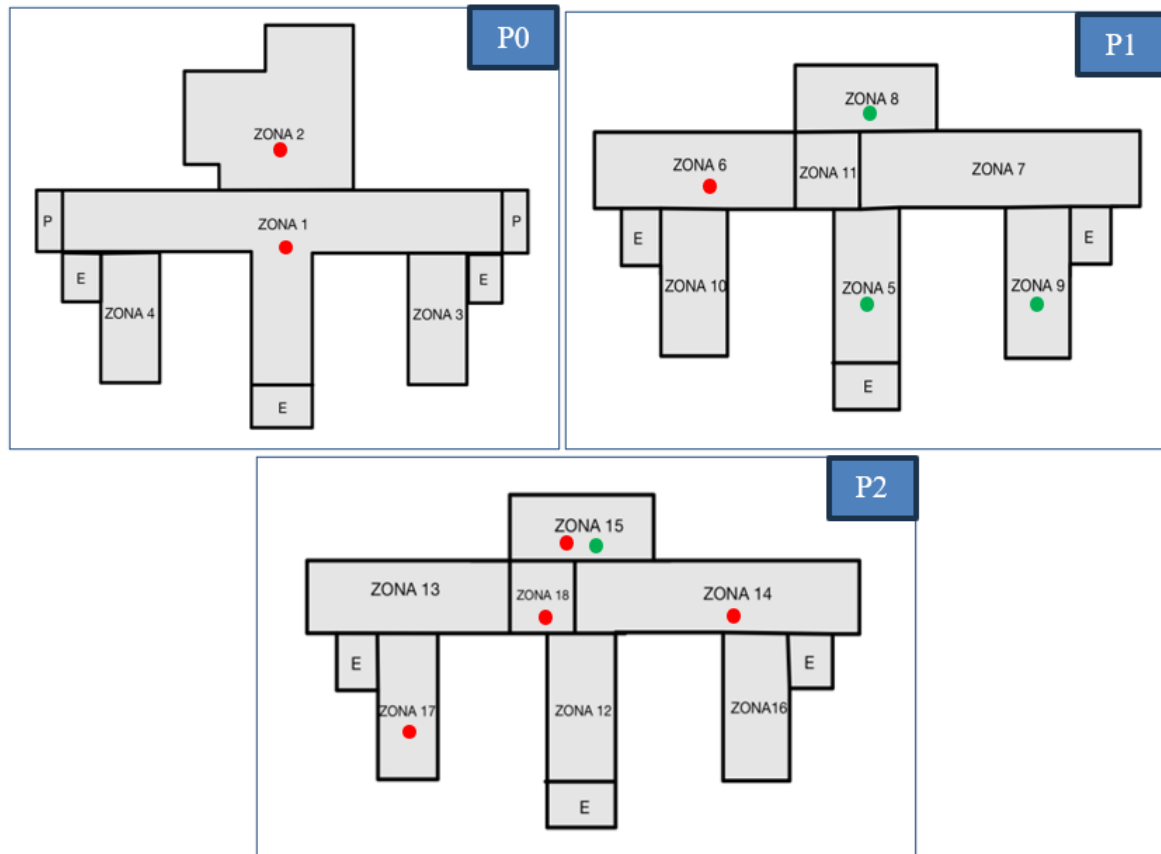


Figura 3-35 Localización de los sensores de temperatura (dispositivos iButton en color rojo y raspberry Pi en color verde).

3.7 Modelado del edificio

Para la modelación energética del edificio cuartel Marqués de la Victoria se empleará el software OpenStudio®, este permite realizar el trabajo de modelado del edificio por completo. Además, una vez realizado el modelo la herramienta permite exportar los datos de la simulación para ser tratados los empleando otras aplicaciones como xEsoView.

3.7.1 Modelado del edificio cuartel Marqués de la Victoria

El primer paso que se realiza para iniciar el proceso de modelado es el siguiente. Una vez abierta la aplicación de OpenStudio® aparece en el lado izquierdo la barra de trabajo principal, sobre la cual se trabaja a lo largo de todo el proceso de modelado como se puede ver en la Figura 3-36.

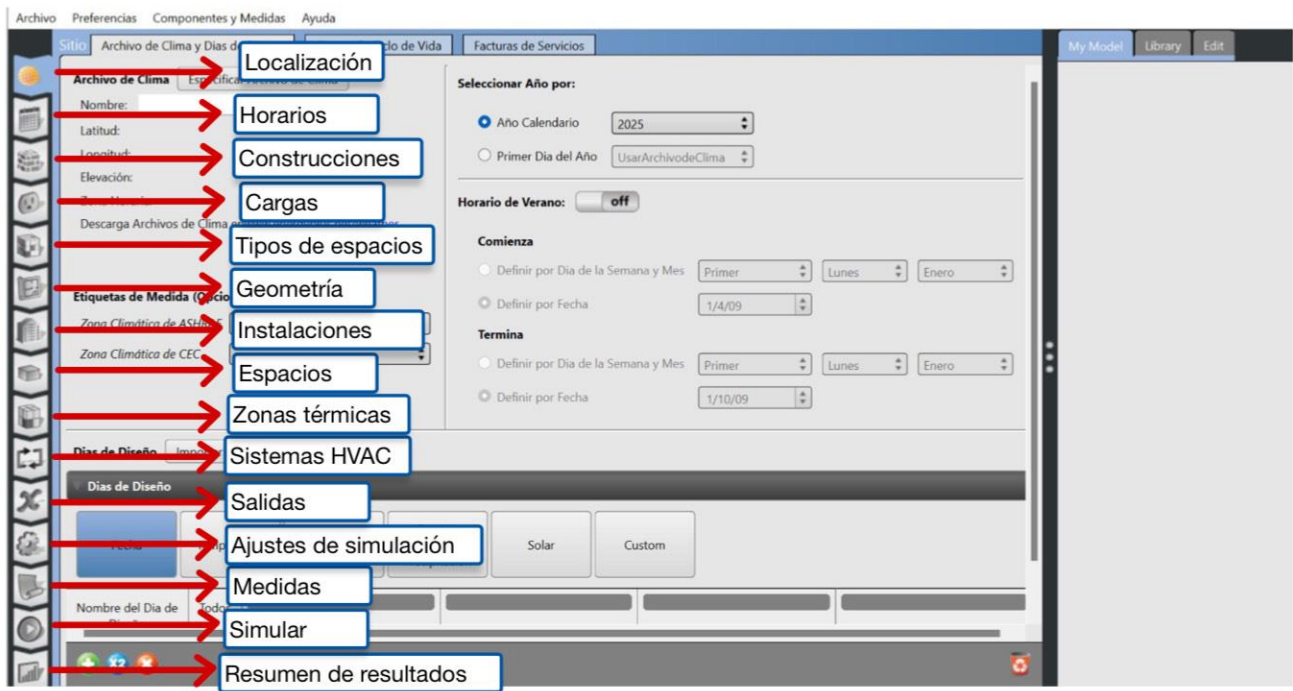


Figura 3-36 Pantalla de inicio de la aplicación OpenStudio®.

3.7.1.1 Localización del edificio y datos meteorológicos

El primer paso para el modelado de edificio MDV es establecer en el archivo a modelar, la ubicación del emplazamiento de este, y el proceso de cargar los datos meteorológicos históricos de la zona a simular.

Para ello el programa OpenStudio da la opción de descargar un archivo del clima, este se descarga de la página web de EnergyPlus. El software proporciona un enlace directo a la página para descargar el archivo como se puede ver a la izquierda de la Figura 3-37.

Una vez en la página de EnergyPlus, se busca el registro de datos en la zona más cercana a la localización del edificio a simular, como se puede ver a la derecha de la imagen citada. En este caso se selecciona un archivo del clima localizado en la ciudad de Pontevedra, se descarga el archivo .epw y se le carga la simulación. Tras cargarlo aparecen en el programa las coordenadas del archivo del clima en formato de latitud y altitud como se puede observar en el recuadro verde de la Figura 3-37.

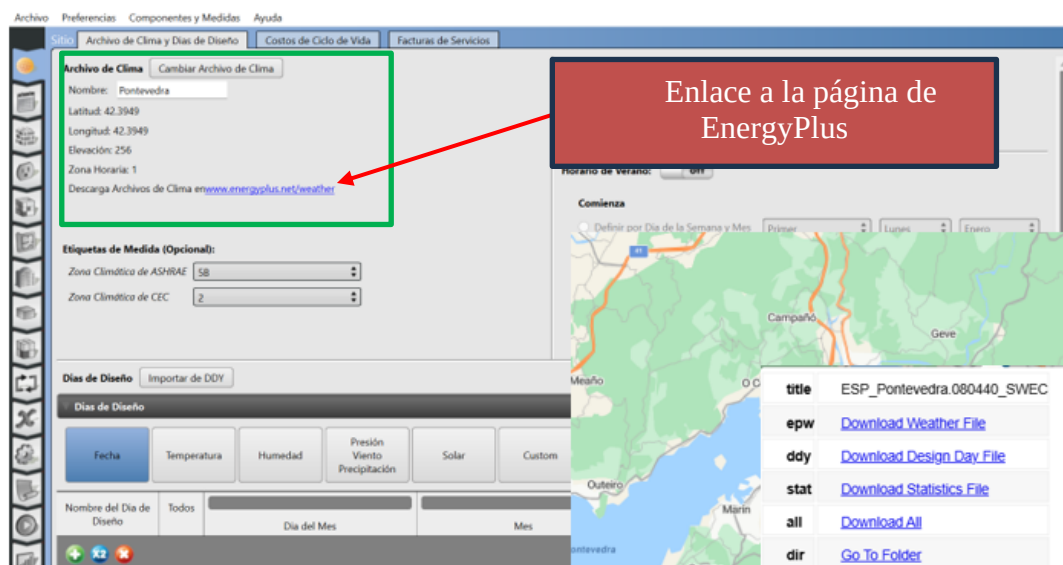


Figura 3-37 Carga del archivo del clima

3.7.1.2 Creación de la geometría del edificio

A continuación, se construye la geometría 3D del edificio en la pestaña de geometría. Una vez en la pestaña de geometría y dentro de esta se selecciona la opción de crear una nueva geometría con el editor FloorspaceJS.

Este editor da la opción de establecer la localización del edificio con una imagen satélite en 2D. Gracias a esto se busca y selecciona la ubicación del recinto de la Escuela Naval Militar tal y como se puede ver en la Figura 3-38.

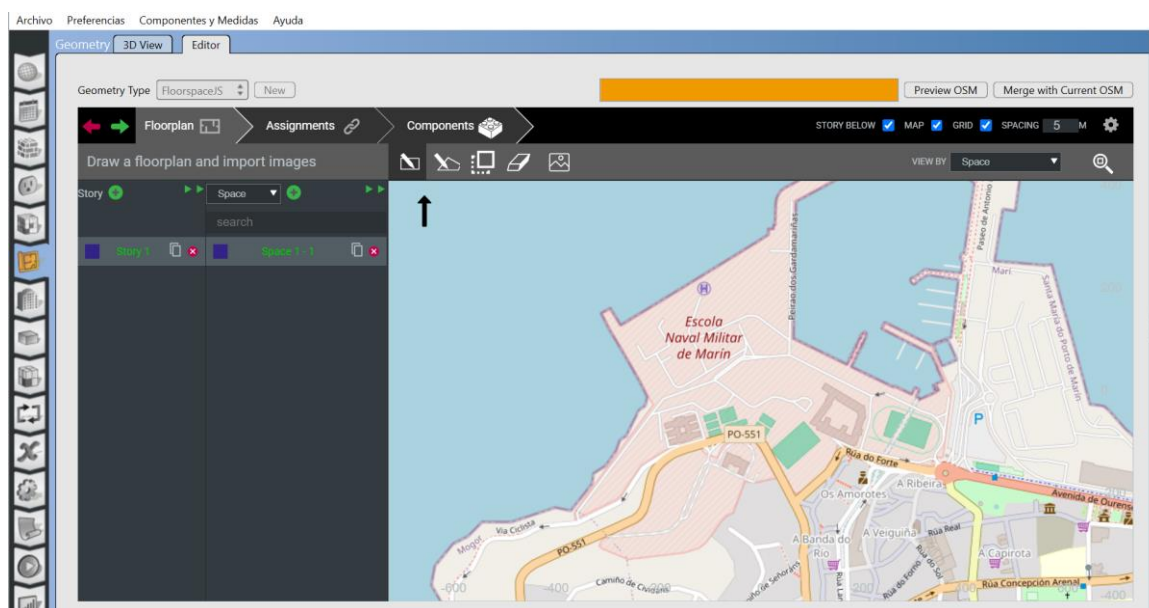


Figura 3-38 Establecimiento de la localización del edificio con una vista satelital.

Una vez seleccionada la ubicación, la aplicación permite importar una imagen como ayuda en el proceso de modelado. Se puede importar desde el ordenador una imagen del plano de la planta baja, tal y como se puede apreciar en la Figura 3-39.

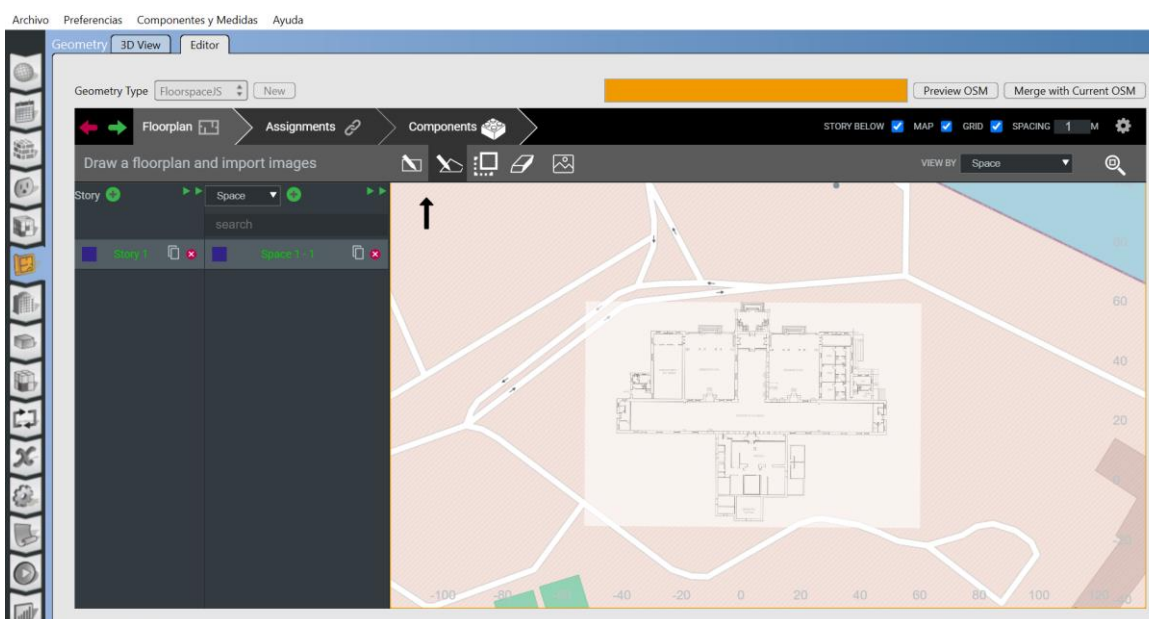


Figura 3-39 Importación de una imagen del plano de la planta baja (P0).

A continuación, una vez escalada y fijada la imagen, se selecciona la primera de las herramientas para crear superficies rectangulares y se comienza a modelar el edificio, estableciendo las diferentes estancias a las que se le asigna un nombre (Figura 3-40).

Una vez creada la planta baja, se selecciona la opción de crear una nueva planta y se repite la operación para crear la primera planta (Figura 3-41) y la segunda planta (Figura 3-42) del edificio. Tras finalizar este proceso se observa que el edificio tiene un total de 19 estancias diferenciadas, entre comedor, cocina, pañol del condestable, habitaciones, baños y escaleras.

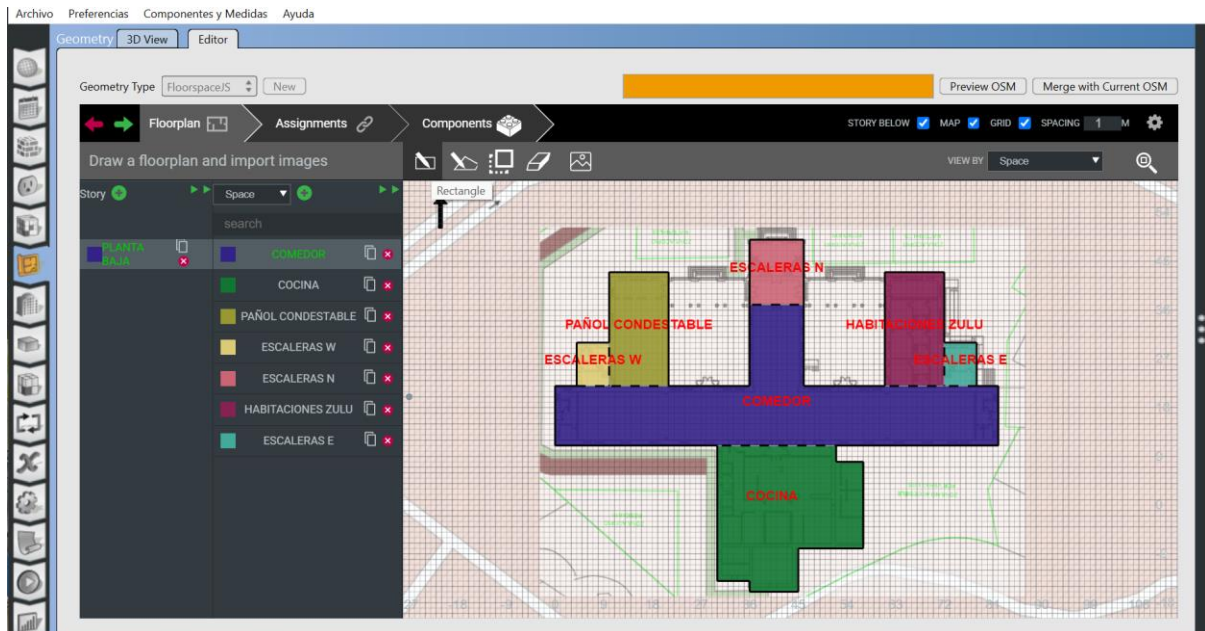


Figura 3-40 Creación de las diferentes estancias de la planta baja (P0).

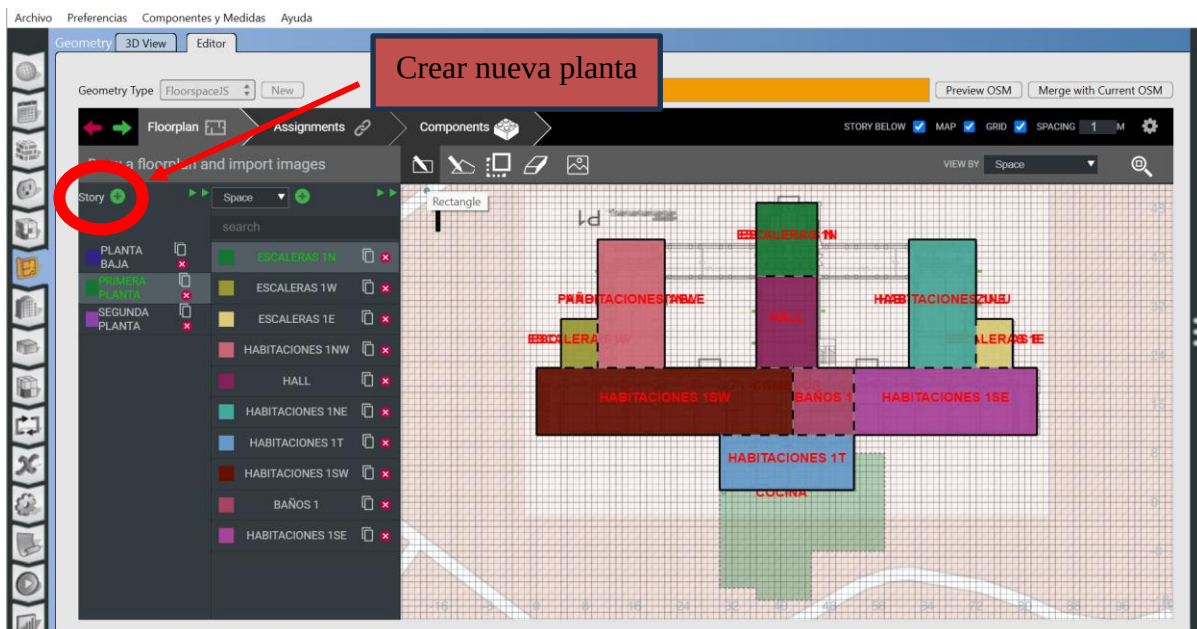


Figura 3-41 Creación de las diferentes estancias de la primera planta (P1).

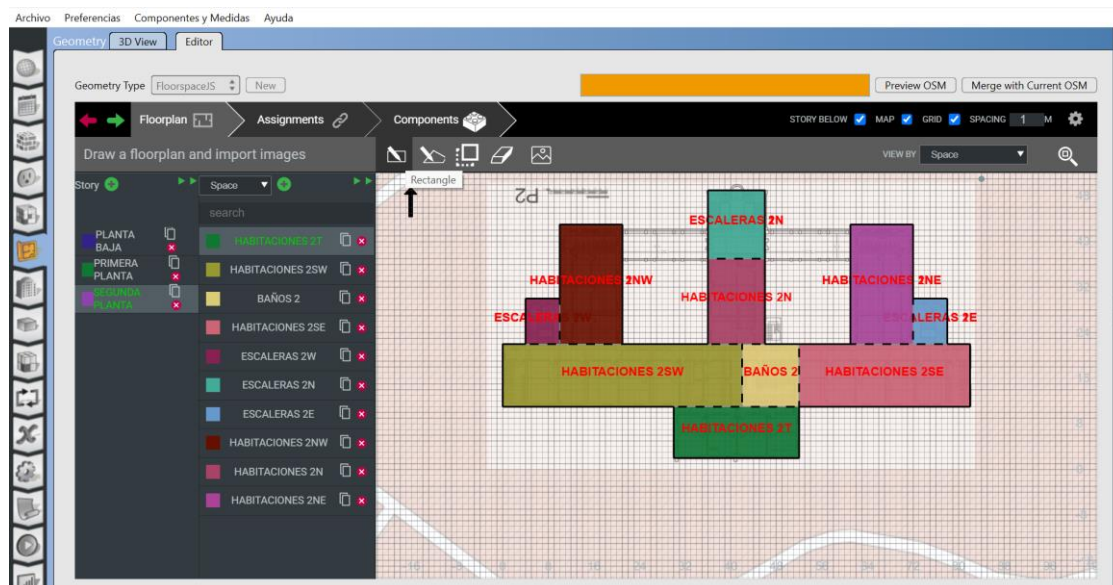


Figura 3-42 Creación de las diferentes estancias de la segunda planta (P2).

Tras esto el siguiente paso es crear las diferentes zonas térmicas y adjudicar cada una de estas a las diferentes estancias que se han creado en los diferentes pisos del edificio como se puede ver en la Figura 3-43.

Una vez finalizado este proceso se observa que el edificio tiene un total de 19 zonas térmicas que se corresponden a los 19 espacios de este.

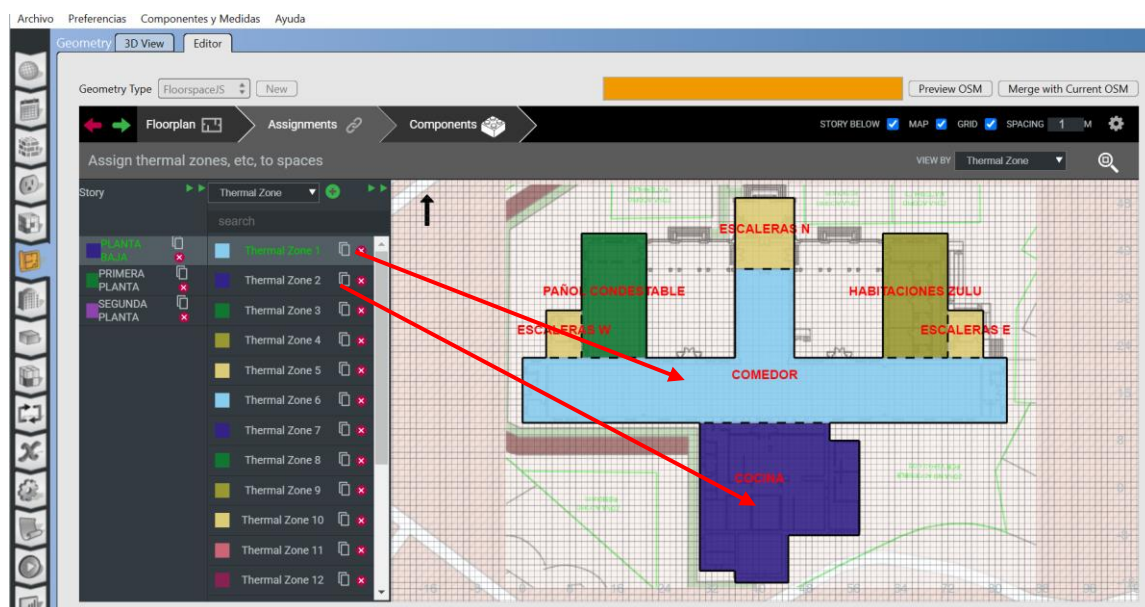


Figura 3-43 Creación y asignación de Zonas Térmicas.

Para finalizar con la creación de la geometría del edificio tan solo queda añadir las construcciones del edificio a simular. En este caso, el edificio tan solo tiene puertas y ventanas. Para ello hay que seleccionar el apartado de construcciones, se seleccionan puertas/ventanas y se crean las construcciones pertinentes. Emplear los planos de las diferentes plantas del edificio donde se puede ver en qué lugar exacto se encuentran las puertas y ventanas ayuda a que este proceso sea más sencillo. En la Figura 3-44 se muestran las construcciones de la planta baja, una vez finalizada esta, se repite el mismo proceso en las dos plantas superiores.

Para evitar futuros errores a la hora de realizar la simulación se reducen los tipos de ventanas a tan solo dos, de diferentes dimensiones al igual que con las puertas.

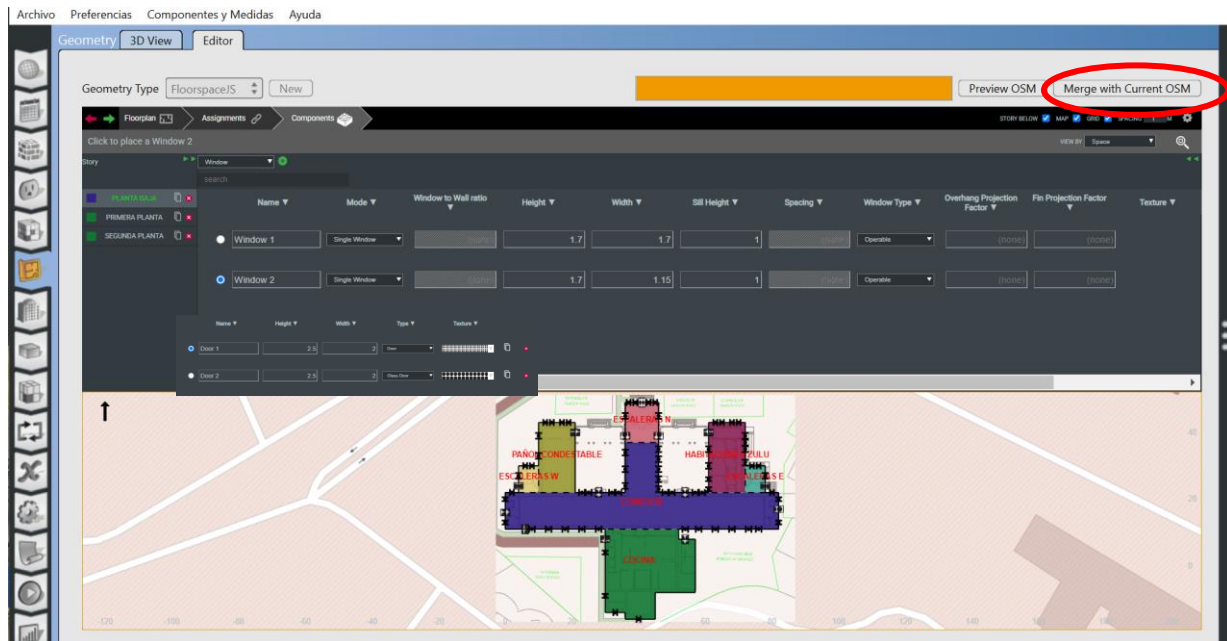


Figura 3-44 Creación de puertas y ventanas en la geometría del edificio.

Una vez finalizado el proceso de creación de la geometría completa del edificio, hay que pulsar el botón “Merge with current OSM” que aparece en la esquina superior izquierda. Al pulsar este se puede seleccionar la vista en 3D y observar el resultado final de la geometría del edificio.

A continuación, en la Figura 3-45 se puede observar la vista de la cara Norte y Este del edificio cuartel y en la Figura 3-46 se observan las caras Sur y Oeste de este.

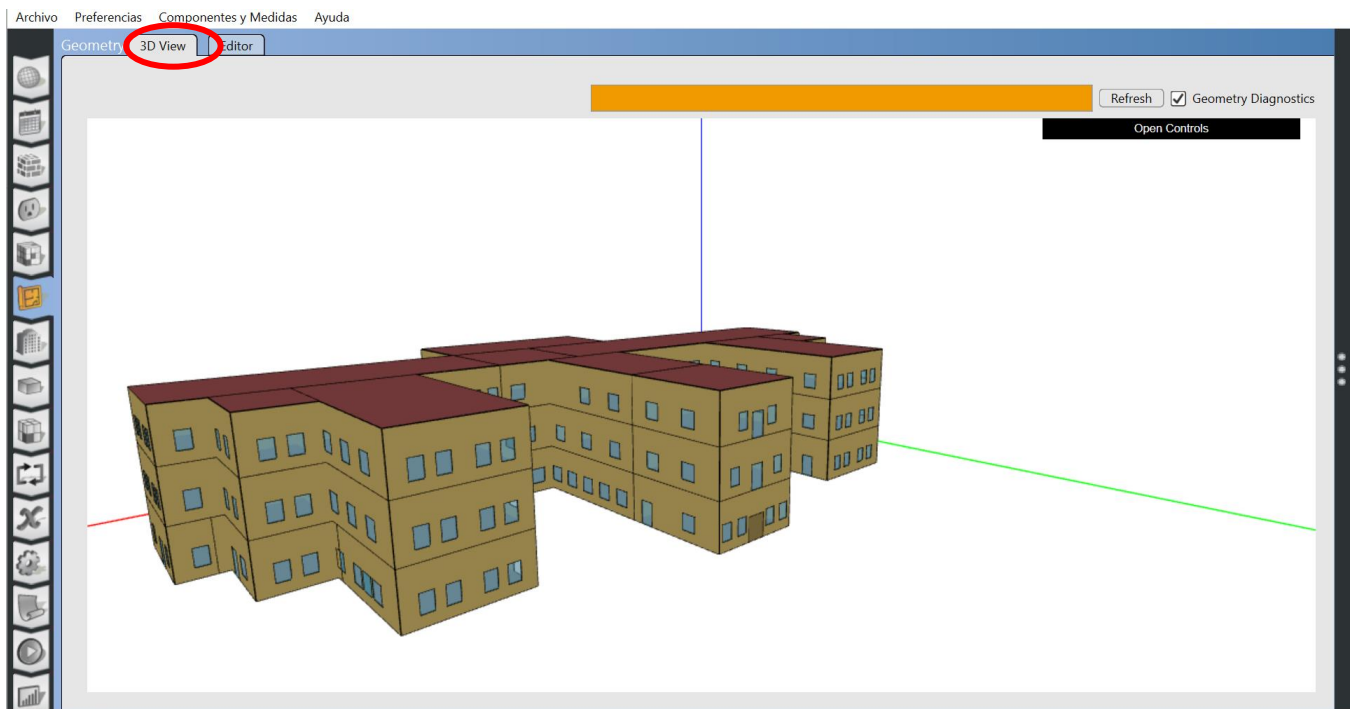


Figura 3-45 Vista de la cara Norte y Este del edificio MDV.

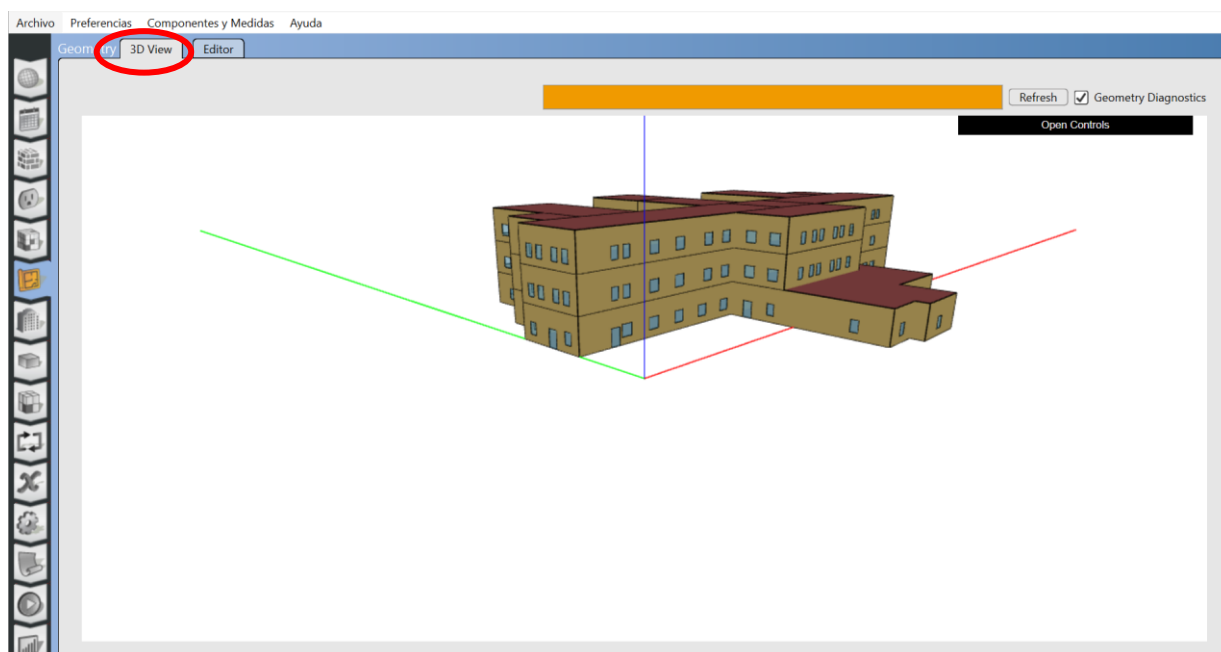


Figura 3-46 Vista de la cara Sur y Oeste del edificio MDV.

Como se puede observar en la vista 3D, la simulación del edificio presenta diferencias con el edificio real. Una diferencia clara es la forma del tejado de este que en la realidad presenta un tejado a 2 o 4 aguas dependiendo de la zona, además de contar con tres torreones. Debido a las características del programa de edición no se permite llegar a ese nivel de detalle en la visualización de la geometría. Sin embargo, estas características sí que se tendrán en cuenta a la hora de crear las construcciones del edificio.

El número de ventanas se ve reducido respecto al diseño original. Esto se realiza para facilitar el proceso de simulación al programa y así evitar problemas asociados a la sobrecarga de construcciones. Sin embargo, las dimensiones de las ventanas creadas han sido redimensionadas para así contar con los mismos m^2 de ventanas que en la realidad.

3.7.1.3 Creación de las construcciones del edificio

Una vez creada la geometría del edificio, se selecciona la opción de construcciones. En esta fase del proceso de modelado se emplea la información recogida en el apartado (3.2.4 Descripción constructiva del edificio: envolvente térmica), para la creación de los materiales y construcciones del edificio siguiendo los parámetros reales del mismo. Dentro de la opción de construcciones se observa en la parte superior tres opciones:

- **Materiales:** en esta zona de trabajo se crean todos y cada uno de los materiales que forman parte del edificio, dándole las características de este, tanto las dimensiones como las características térmicas del material, tal y como se puede observar en la Figura 3-47.
- **Construcciones:** en esta zona de trabajo el software permite crear construcciones, tales como paredes, techos, suelos (Figura 3-48).
- **Set de construcciones:** en esta zona de trabajo el programa, permite crear diferentes sets de construcciones. Para el modelado de edificio cuartel MDV se crean 3 sets distintos, uno por cada planta del edificio como se puede observar en la Figura 3-49.

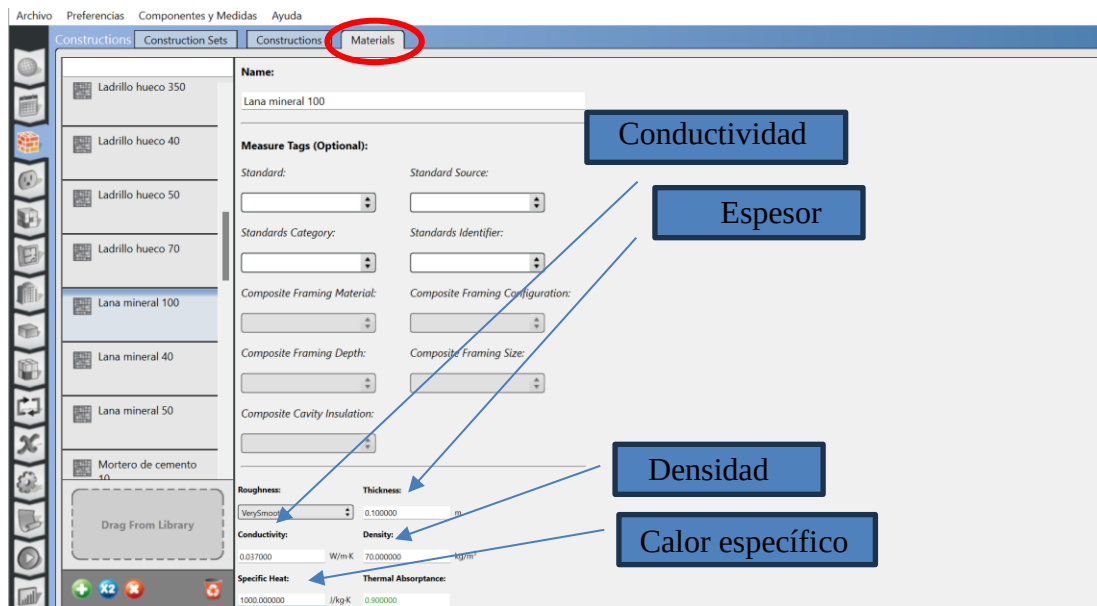


Figura 3-47 Creación de los distintos materiales del modelo.

Para la realización del modelado final del edificio se han creado un total de 27 materiales distintos, todos ellos con sus dimensiones y propiedades térmicas.

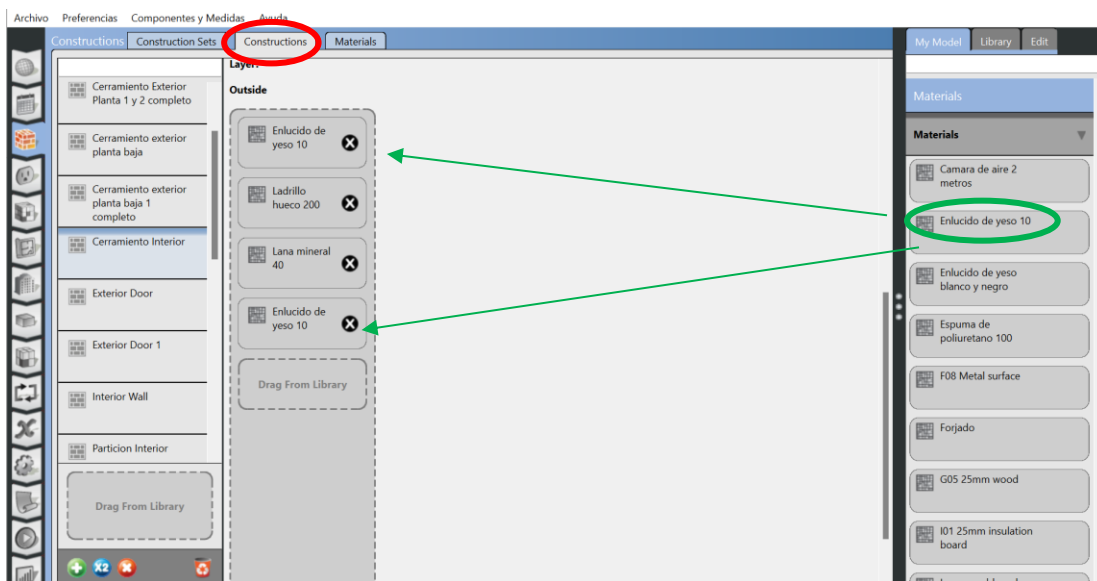


Figura 3-48 Creación de una construcción para el modelado.

Estos materiales se agrupan para formar un total de 12 construcciones. Como se puede observar en la parte derecha de la Figura 3-48 aparece una lista con los materiales que se han creado. Para realizar las construcciones es tan simple como arrastrar estos materiales teniendo en cuenta el orden en el que aparecen en la construcción, como se puede observar en la imagen.

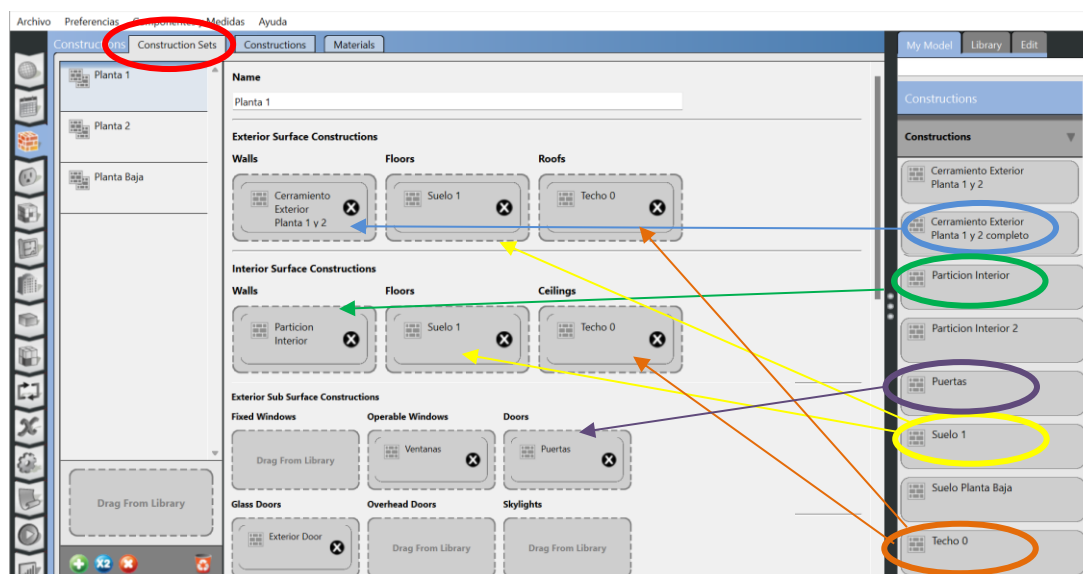


Figura 3-49 Creación del set de construcción para la primera planta (P1) del modelo.

El último paso una vez creada las construcciones del edificio, es crear los distintos sets, como se ha mencionado anteriormente. Se han realizado tres sets de construcciones, uno por cada planta que tiene el edificio, al contar cada una de estas con unas características que las hacían distintas al resto. Para la creación de estos sets de construcciones se repite el proceso explicado anteriormente en la creación de las construcciones, en la derecha de la Figura 3-46, aparece desplegado las construcciones que se han creado. Por último, solo queda deslizar estas construcciones a las diferentes zonas de empleo, diferenciándose:

- Las construcciones exteriores del edificio.
- Las construcciones interiores del edificio.
- Las construcciones en contacto con el suelo.
- Las puertas y ventanas.

3.7.1.4 Creación de los horarios

Para la creación de los horarios, se selecciona en la barra de trabajo de la parte izquierda la segunda opción que aparece. Al igual que en el apartado anterior, el software establece dos herramientas para la creación de los horarios de uso del edificio. En la barra de tareas superior aparece la opción de crear horarios y la opción de crear sets de horarios.

En esta fase de la modelación, se recurre a la información extraída en el apartado (3.4.1 Ocupación y actividad) donde se recogen los horarios del edificio en función de las instalaciones que se recoge en la Tabla 3-13 y en la Tabla 3-14.

Además, se calculan las tasas metabólicas en función de la actividad realizada expresada en (W/persona) recogidas en la Tabla 3-15.

Horarios

En esta zona de trabajo se crean los horarios de uso de las diferentes cargas del edificio tales como el uso del comedor, el uso de las habitaciones, la iluminación del comedor o iluminación de las habitaciones.

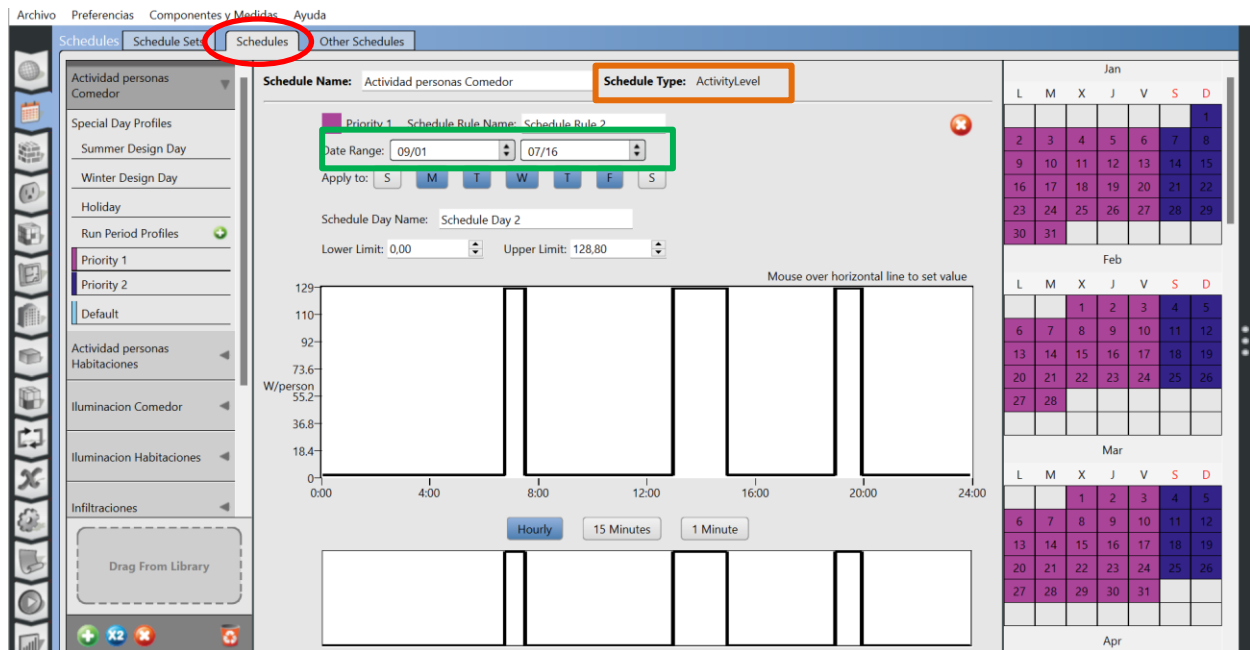


Figura 3-50 Creación del horario de la actividad de los alumnos en el comedor.

Como se puede observar en la Figura 3-50, se crea el horario de actividad de los alumnos para el comedor. El software da la opción de dividir este horario en distintas prioridades, se crean 2 prioridades, una prioridad para los días laborables y otra prioridad para los fines de semana.

Al seleccionar un horario de tipo actividad como se puede observar en el recuadro naranja, el programa permite dar los valores de W/persona que generan los alumnos y sectorizar estos en un horario acorde a los horarios de uso del comedor.

Se establece como día inicial de la simulación el 1 de septiembre y como día final el 16 de julio. Como se puede ver en el recuadro de color verde.

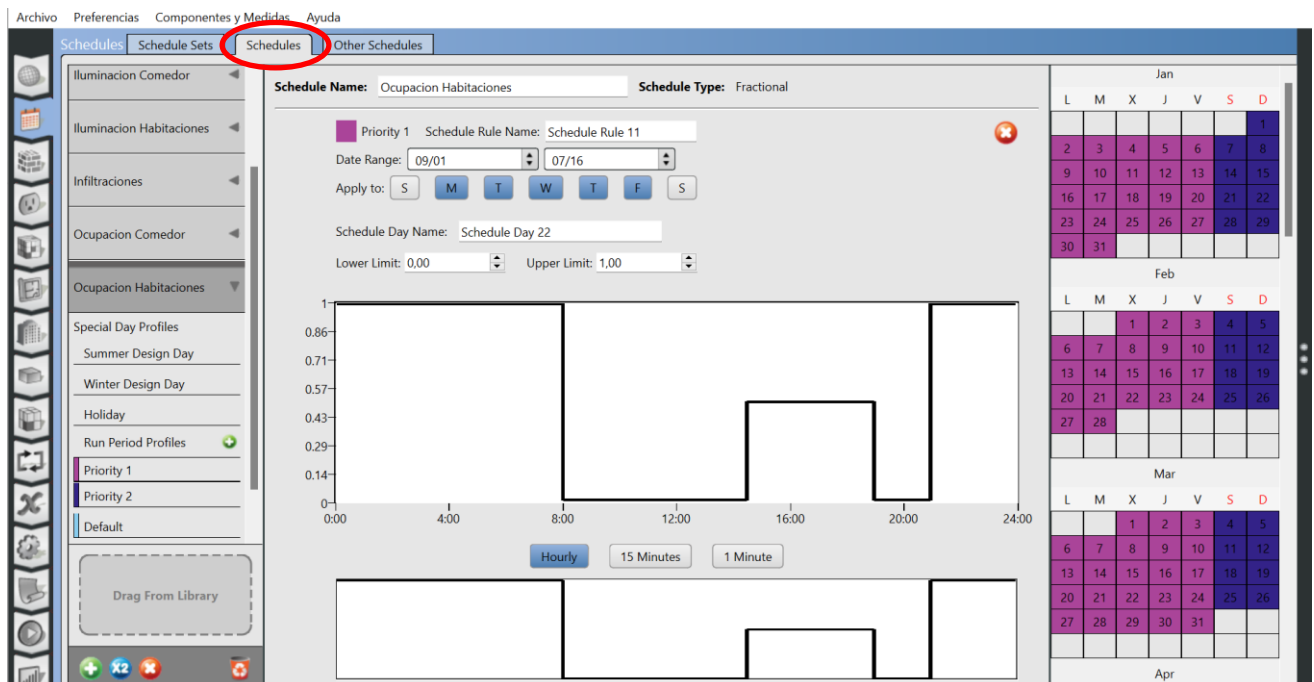


Figura 3-51 Creación del horario de la ocupación de los alumnos en las habitaciones.

En la Figura 3-51 se puede ver cómo se ha creado un horario de tipo fraccional que muestra la ocupación de los alumnos en sus habitaciones. Al igual que en la figura anterior se han creado dos prioridades de ocupación una para los días laborable y otra para los fines de semana.

En la gráfica se aprecian valores del 0 al 1, cuando se alcanza el valor máximo quiere decir que la zona de habitaciones está ocupada por completo. Se ve muy claro en las franjas de horas que coinciden con las clases de por la mañana y los turnos de comida, en esos periodos la tasa de ocupación es de 0 ya que todos los alumnos se encuentran fuera de cuartel.

Para la franja de horas que van desde las 15:30 a las 20:00 se ha hecho un promedio de los alumnos que estarían en el cuartel, teniendo en cuenta que hay alumnos con actividades y clases por la tarde, por lo tanto, no se encontrarán en el edificio y otros que tienen horas de estudio y por ello si se encuentran en los estudios de sus habitaciones.

Sets de horarios

En esta zona de trabajo se crean las diferentes configuraciones de uso para el edificio, debido a las características de este tan solo se han creado dos sets de horarios uno para la zona del comedor y otro set para la zona de las habitaciones del cuartel. Como se puede observar en la Figura 3-52.

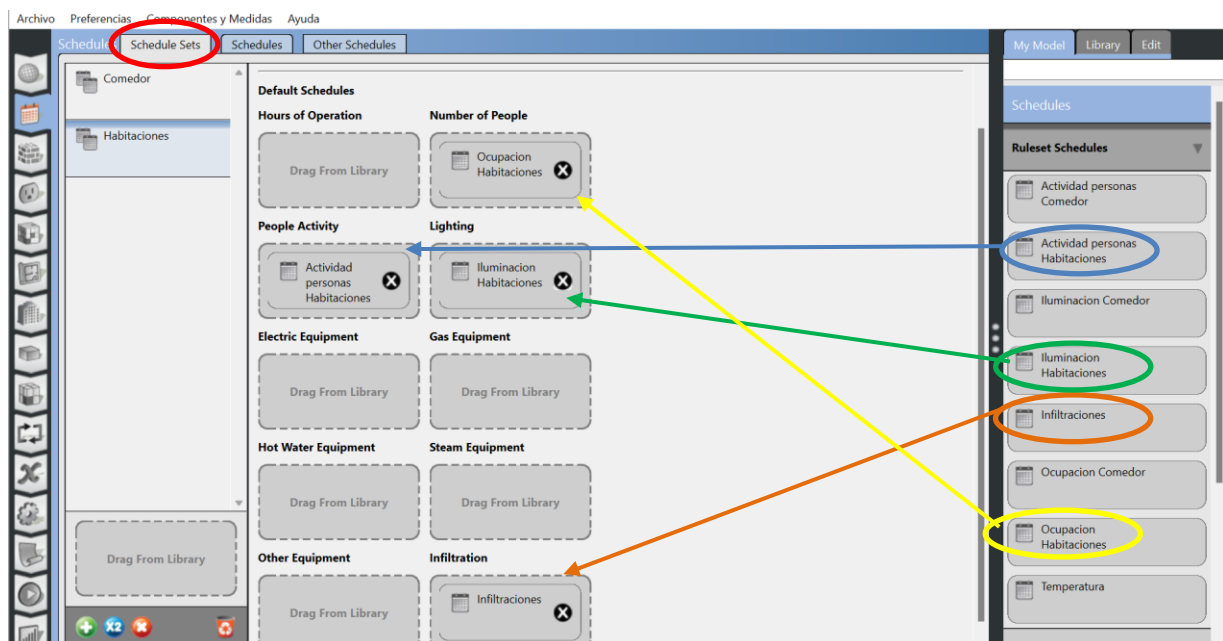


Figura 3-52 Creación de un set de horario para la zona de habitaciones.

Una vez creados los horarios de ocupación, actividad e iluminación, se añaden al set arrastrándolos desde la barra de trabajo de la derecha como se puede ver en la Figura 3-52.

Se ha empleado un horario de infiltraciones creado por defecto por el programa para una zona de oficinas ya que se adecua al edificio a simular.

3.7.1.5 Creación de las cargas internas del edificio

Para la creación de las cargas del edificio, se selecciona la tercera opción de la barra de tareas de la izquierda. Esta zona de trabajo se crean las cargas que generan las personas en el comedor y las habitaciones.

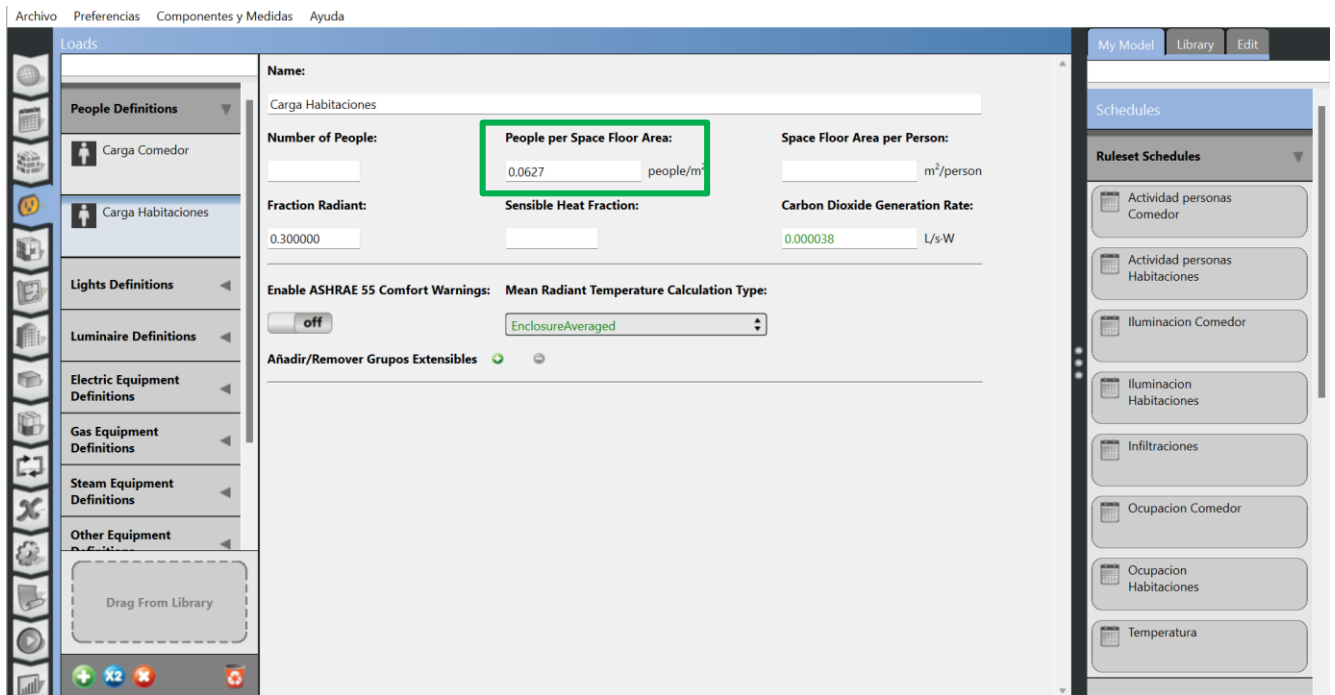


Figura 3-53 Creación de la carga que generan las personas en las habitaciones.

Para la creación de esta carga se calcula el número de alumnos que viven por planta, siendo 92 alumnos los que viven por planta. Cada planta de habitaciones (P1) y (P2) cuentan con 1467 m² de superficie calculados en la Tabla 3-11. Se divide el número de alumnos por los m² de la planta del edificio. Obteniéndose el valor de 0,0627 personas/m² mostrado en el recuadro verde de Figura 3-53.

A su vez, se crean las cargas de la iluminación del edificio, empleándose una carga de iluminación para el comedor y otra para las habitaciones del edificio. En esta fase se ha recurrido a la información sobre la iluminación del edificio del apartado (3.4.2 Sistemas de iluminación).

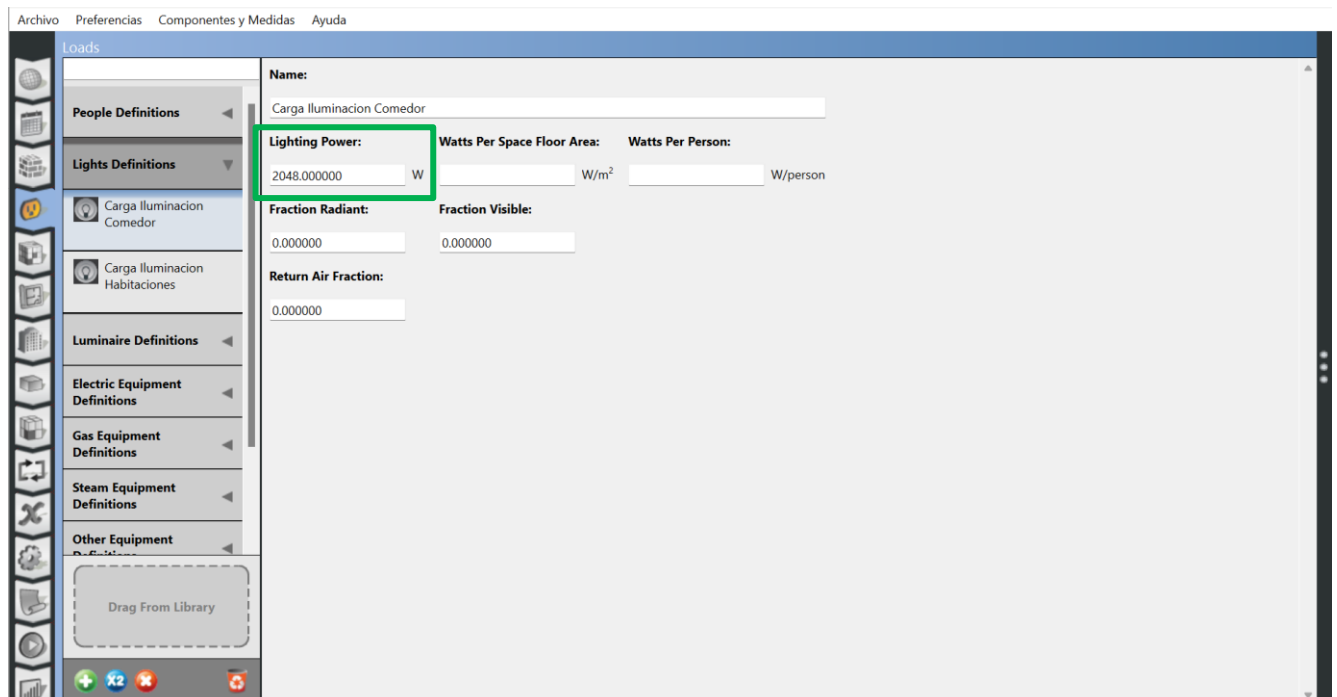


Figura 3-54 Creación de la carga de la iluminación en la zona del comedor.

Para la creación de la carga de la iluminación del comedor el software permite establecer el valor de tres formas distintas:

- Potencia total de la iluminación expresada en (W)
- W/m²
- W/persona

Para la carga de iluminación del comedor se emplea la primera opción al conocer que cada fuente de luz genera 65 W y contar el comedor con un total de 32 fuentes de luz. Se multiplican los factores obteniéndose una potencia total de 2048 W, como se puede apreciar en el recuadro verde de la Figura 3-54.

Si se selecciona la opción de ver las cargas internas de los espacios aparece un menú donde se informa de todas y cada una de las cargas que tiene cada tipo de espacio como se puede ver en la Figura 3-55.

Space Type Name	All	Load Name	Multiplier	Definition	Schedule	Activity Schedule (People Only)
Comedor	☐	Personas Comedor	1.000000	Carga Comedor	Ocupacion Comedor	Actividad personas Comed
	☐	Luces Comedor	1.000000	Carga Iluminacion Comedor	Iluminacion Comedor	
	☐	Infiltraciones			Infiltraciones	
Habitaciones	☐	Personas Habitaciones	1.000000	Carga Habitaciones	Ocupacion Habitaciones	Actividad personas Habita
	☐	Luces Habitaciones	1.000000	Carga Iluminacion Habitaciones	Iluminacion Habitaciones	
	☐	Infiltraciones 1			Infiltraciones	

Figura 3-55 Cargas internas del tipo de espacio creado para el comedor y las habitaciones.

3.7.1.6 Espacios

En este apartado definen los diferentes tipos de espacio y se les asignan las plantas en la que se encuentran, el tipo de espacios que son, el tipo de construcción y el set de horarios. Para ello se selecciona la octava opción de la barra de trabajo de la izquierda “Espacios”.

Una vez seleccionada, se asignan todas y cada una de las cargas, horarios y construcciones que se han creado a lo largo del proceso de modelado (Figura 3-56).

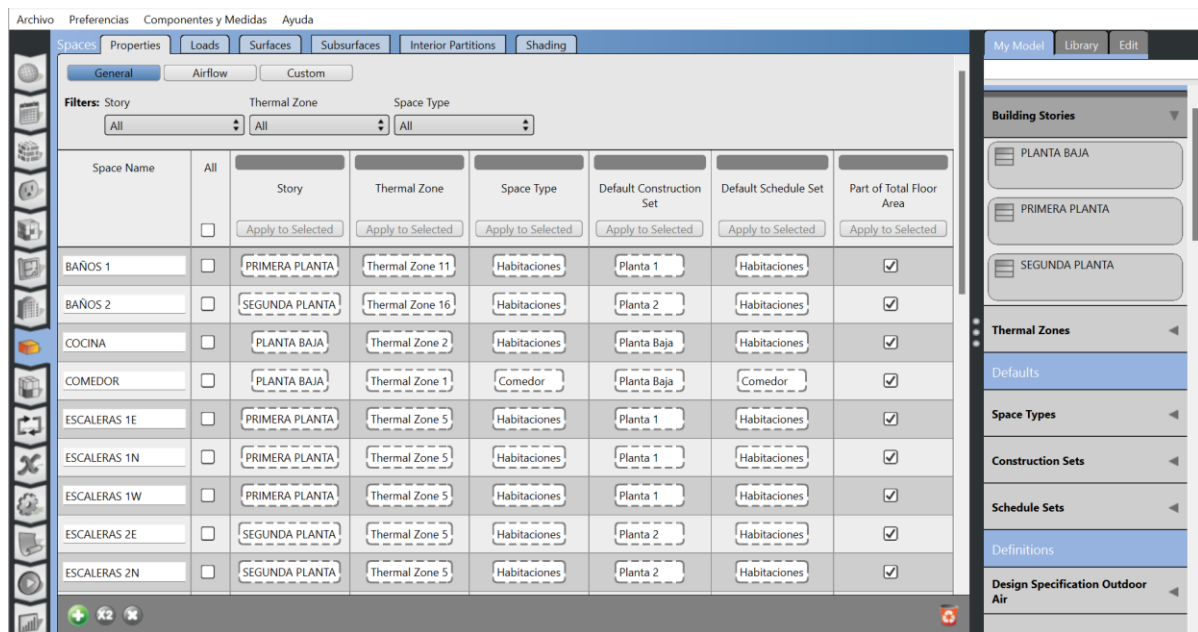


Figura 3-56 Espacios del edificio cuartel MDV.

3.7.1.7 Zonas térmicas

En la zona de trabajo de la novena opción; “Zonas Térmicas”, se pueden observar las diferentes zonas térmicas que hay presentes en el edificio como se puede ver en la Figura 3-57. Además, el programa permite aplicar un termostato, creado en la opción de horarios. Para este modelo se crea un termostato que trata de mantener en el edificio una temperatura de 20°C como se puede ver en el recuadro naranja de la Figura 3-57.

Esta opción se activará y desactivará en función del tipo de simulación que se quiera realizar y los valores que se quieran sacar de esta. Al igual que el empleo de usar cargas ideales como se puede observar en el recuadro verde de la Figura 3-57.

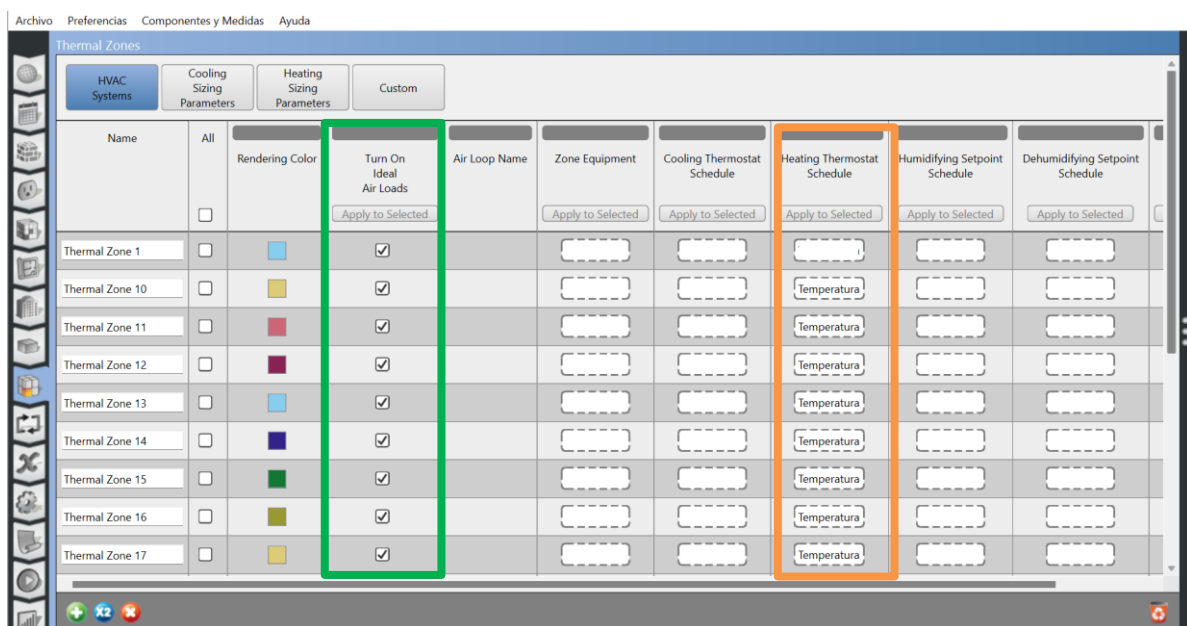


Figura 3-57 Zonas térmicas del edificio cuartel MDV.

3.7.1.8 Salida de datos

En el apartado “Salida de datos” se seleccionan las variables de salida de la simulación. Se pueden activar o desactivar las variables que se deseen, así como el intervalo de simulación (Figura 3-58).

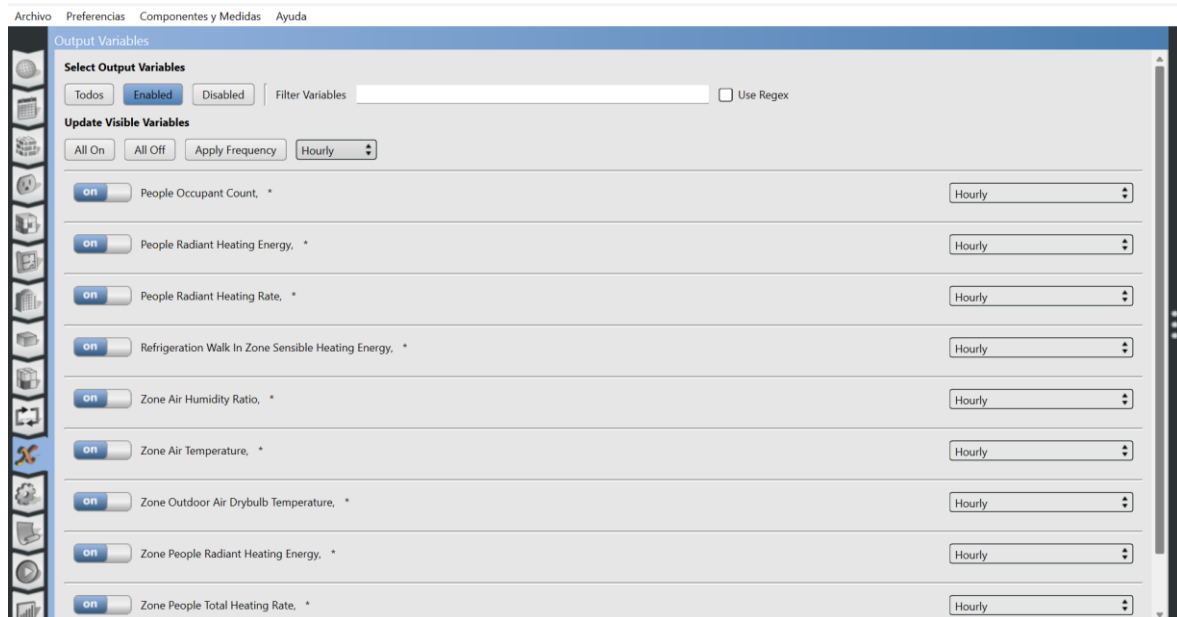


Figura 3-58 Salida de datos.

Una vez realizado este proceso, el modelo energético estaría finalizado. Para ejecutar la simulación hay que seleccionar la penúltima opción de la barra de trabajo y darle al botón verde de ejecutar la simulación tal y como se puede ver en la Figura 3-59.

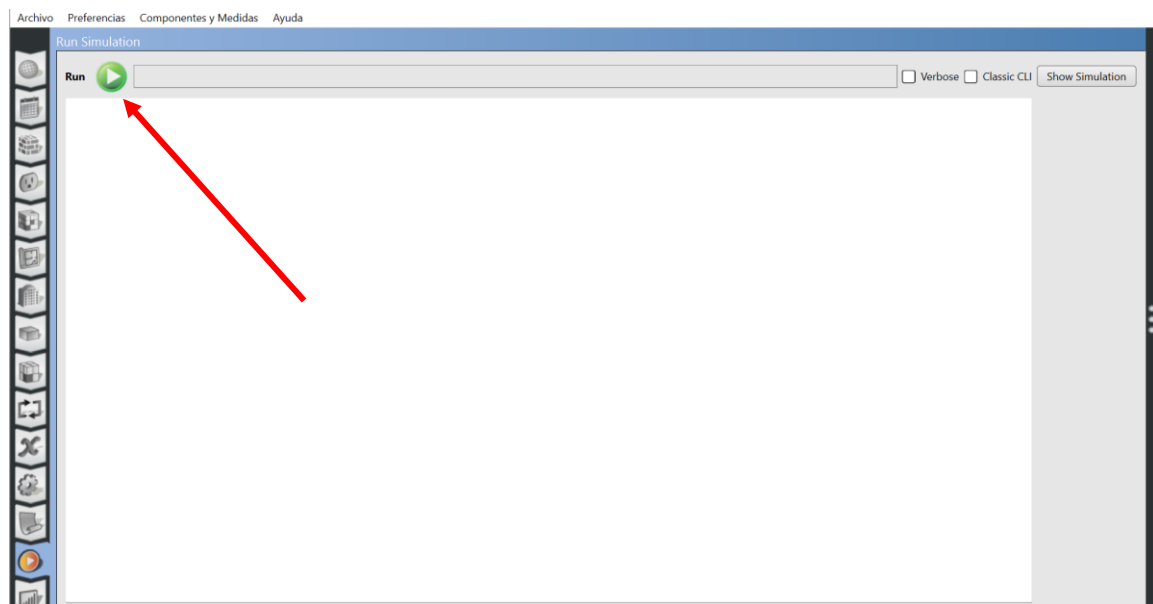


Figura 3-59 Ejecutar simulación.

4 SIMULACIÓN Y VALIDACIÓN DE LOS RESULTADOS

4.1 Simulación

Una vez finalizado el modelo energético del edificio cuartel Marqués de la Victoria, se procede a la simulación de este. Para dar esta simulación por conforme, se realizará una validación de los datos obtenidos de esta con valores reales del edificio.

En segundo lugar, se ejecuta la simulación aplicándole al modelo cargas ideales, así como un termostato que trate de mantener en el edificio una temperatura constante de 20° Celsius. Una vez realizada la simulación se compara las temperaturas del aire en las diferentes estancias del edificio con las temperaturas reales de este, recopiladas por los sensores a lo largo del proceso de modelación como se detalla en el apartado (3.6-Monitorización de la temperatura interior). Además, hay que recalcar que al modelo del edificio a simular se le carga un archivo del clima de la zona en la que se encuentra, como se detalla en el apartado (3.2.3-Zona climática). Por último, se establece el periodo a simular, en este caso se procede a realizar una simulación de un año completo y se establece que el programa recabe datos con un intervalo de 1 hora.

Las salidas que se activarán previamente a realizar la simulación son:

- Temperatura del aire interno del edificio.
- Consumo eléctrico de los sistemas de iluminación.
- Demanda térmica del edificio.

4.2 Resultados de la simulación

Tras ejecutar la simulación, la última versión del programa OpenStudio®, que es la que se ha trabajado, da acceso a un entorno de trabajo (Figura 4-1), donde se puede ver los resultados de la simulación. Además, este entorno genera gráficas que hacen mucho más fácil la visualización de los resultados obtenidos.

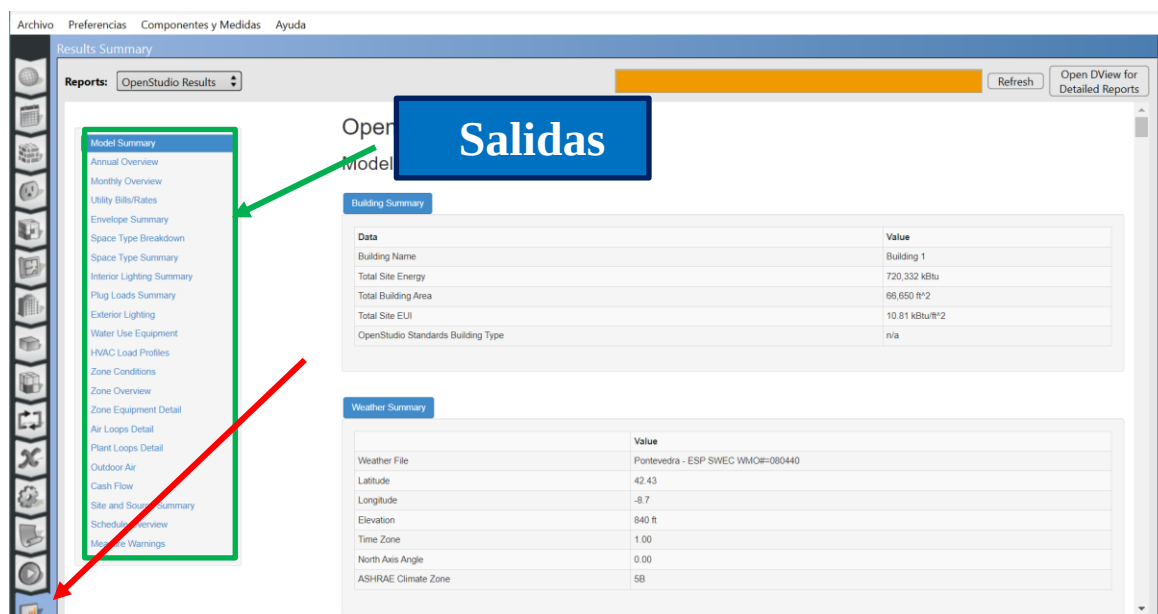


Figura 4-1 Entorno de trabajo de visualización de los resultados en OpenStudio®.

A su vez el programa de OpenStudio® al ejecutar la simulación genera un archivo (.eso), en el que se guardan los informes de las variables de salida. Este archivo se visualiza a través de la aplicación xEsoView. El programa xEsoView genera automáticamente una serie de gráficas totales, mensuales, semanales incluso horarias de las distintas variables de salida seleccionadas. Además, la aplicación xEsoView da la opción de copiar los datos de los informes como archivo CSV y así trabajar con ellos en una hoja de cálculo como Excel.

4.2.1 Temperaturas estancias interiores del edificio

En la Tabla 4-1 se puede observar la temperatura media interior de cada zona simulada del cuartel durante un año completo. Se emplea la denominación de zonas expuestas en el apartado (3.2.6- Estancias del edificio).

Temperatura media del aire en las diferentes estancias del edificio (°C)

Zona 1 Comedor de alumnos	18,89	Zona 10 Habitaciones alumnos 1NE	21,39
Zona 2 Cocina	19,56	Zona 11 Baños centrales 1	21,33
Zona 3 Pañol del condestable	19,61	Zona 12 Habitaciones alumnos 2N	20,06
Zona 4 Habitaciones alumnos 1Z	19,78	Zona 13 Habitaciones alumnos 2SE	20,83
Zona 5 Vestíbulo	21,17	Zona 14 Habitaciones alumnos 2SW	19,83
Zona 6 Habitaciones alumnos 1SE	21,28	Zona 15 Habitaciones alumnos 2T	21,06
Zona 7 Habitaciones alumnos 1SW	21,28	Zona 16 Habitaciones alumnos 2NW	20,83
Zona 8 Habitaciones alumnos 1T	21,44	Zona 17 Habitaciones alumnos 2NE	20,94
Zona 9 Habitaciones alumnos 1NW	20,06	Zona 18 Baños centrales 2	20,89
Temperatura media del aire en el edificio	20,67		

Tabla 4-1 Temperatura media del aire en las diferentes estancias del edificio (°C).

Como se puede observar en la simulación la media de temperatura que tiene el aire del edificio a lo largo de todo un año de simulación es de 20,67 °C.

A continuación, se adjuntan una serie de gráficas, que muestran la temperatura del aire en diferentes estancias del edificio, una por planta del edificio; estas graficas se extraen tras tratar los datos de la simulación en la aplicación de xEsoView.

Como se puede observar claramente en Figura 4-2, en la imagen de la derecha la temperatura media de la cocina, localizada en la planta baja del edificio, ese día fue de 20,11 °C y se aprecia que la temperatura de la estancia asciende considerablemente cuando llega los turnos de comida en el comedor de alumnos y, por tanto, hay un mayor movimiento de personas en la estancia.

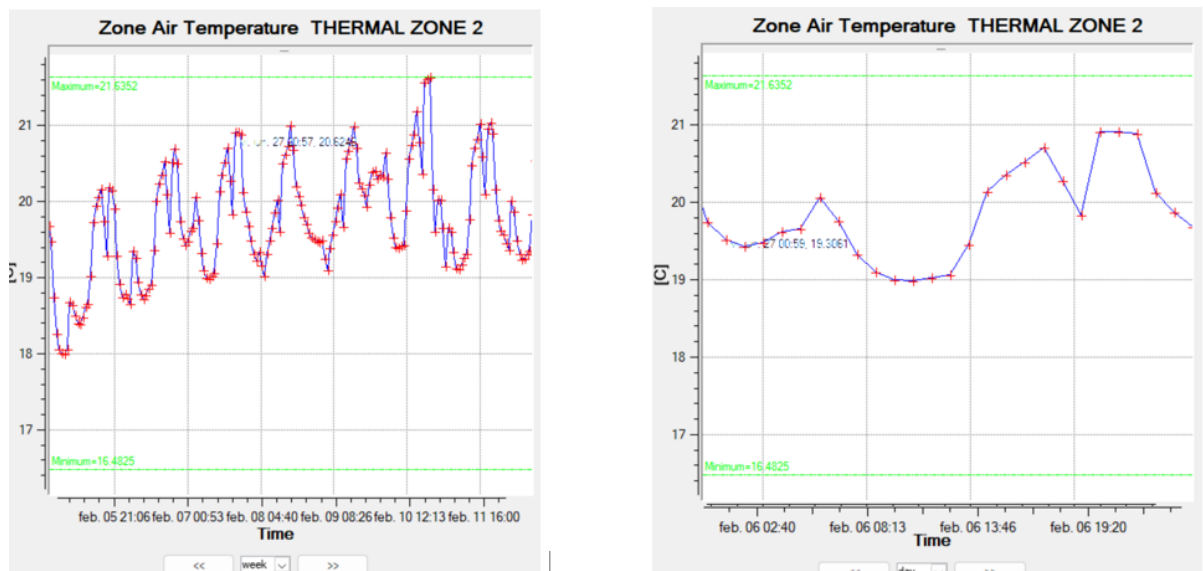


Figura 4-2 Temperatura del aire en la cocina la semana del 5 de febrero (izquierda) y el día 6 de febrero (derecha).

La media de la temperatura del aire en la estancia del vestíbulo, la semana del 19 de marzo es de unos 22 °C como se puede ver en la imagen de la izquierda de la Figura 4-3. En la imagen de la derecha se muestra las temperaturas que tuvo el aire en esa estancia el día 21 de marzo.

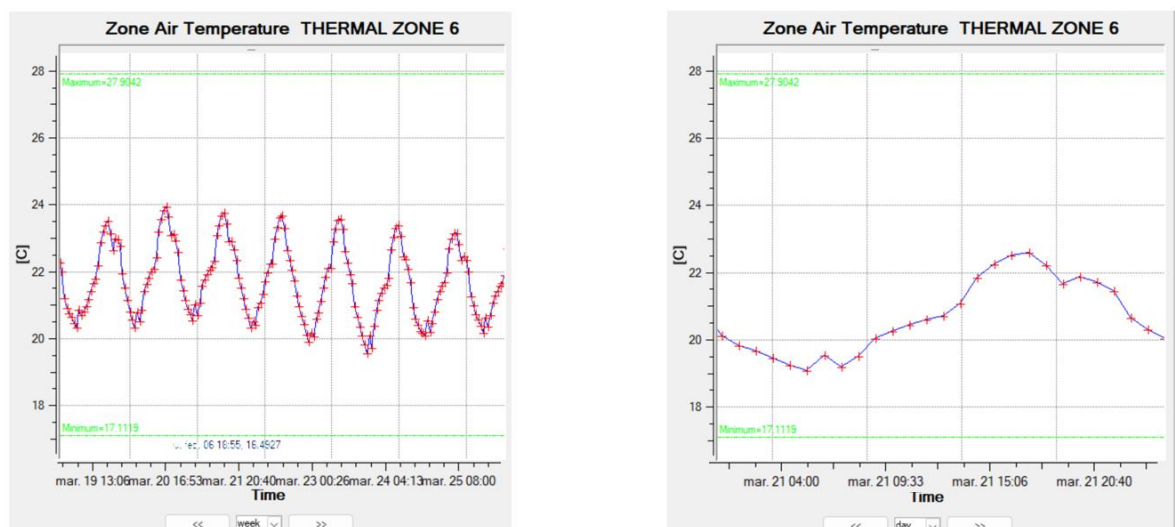


Figura 4-3 Temperatura del aire en el vestíbulo la semana del 19 de marzo (izquierda) y del día 21 de marzo (derecha).

Por último, Figura 4-4 se observan los valores que toma la temperatura en una estancia de la segunda planta del edificio. En concreto esta corresponde a los baños centrales de la segunda planta.

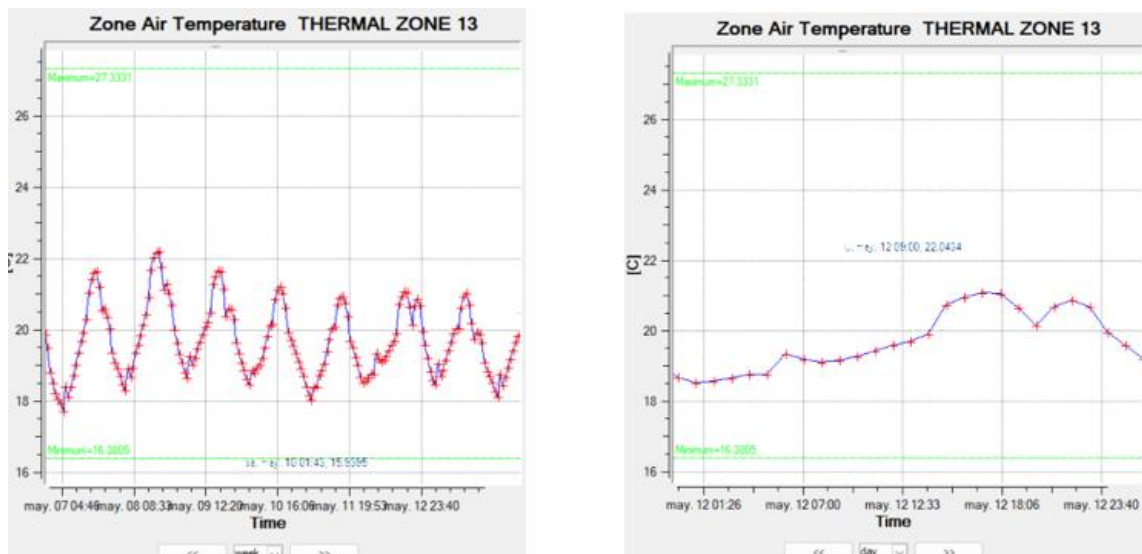


Figura 4-4 Temperatura del aire en los baños centrales de la segunda planta (P2) la semana del 7 de mayo (izquierda) y del día 12 de marzo (derecha)

4.2.2 Consumo eléctrico para iluminación

En este apartado se muestran los consumos semanales para la estancia del comedor y la estancia que corresponde a las habitaciones. Como se puede ver en la Figura 4-5 se aprecian como los niveles de consumo eléctrico varían en función de la hora del día. Ya que los horarios establecidos para la iluminación de ambas estancias varían en función de la hora en la que se encuentre.

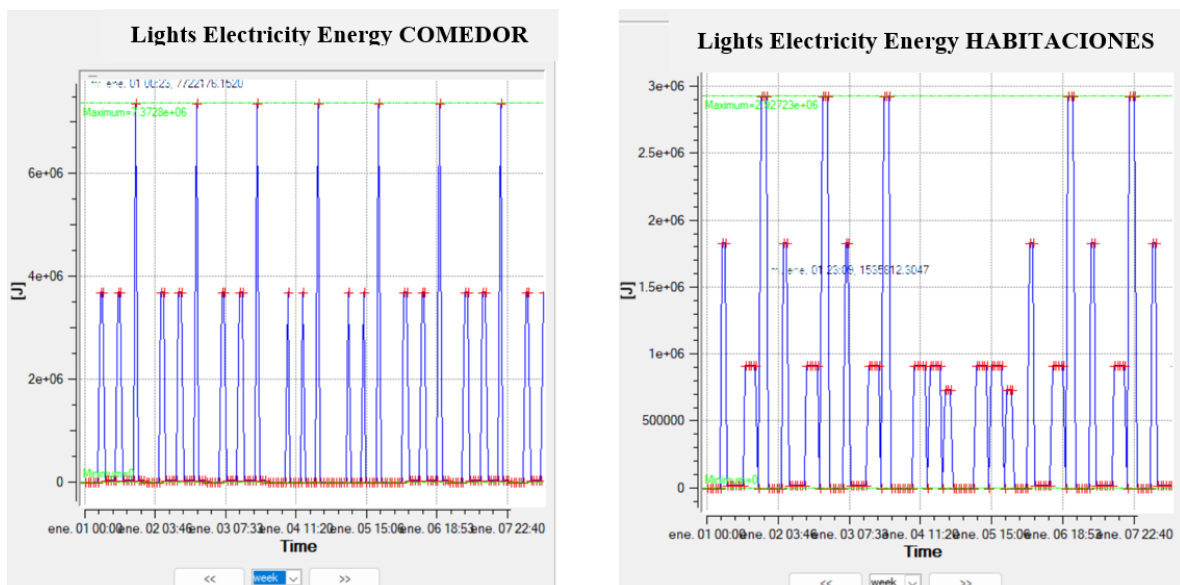


Figura 4-5 Consumo eléctrico semanal para la iluminación del comedor (derecha) y habitaciones (izquierda).

Tras realizar la media anual de consumo la estancia del comedor consume de media 206 (kWh) al mes mientras que la estancia de las habitaciones consume una media de 144 (kWh).

4.2.3 Demanda térmica del edificio

La demanda térmica del edificio se representada en la Figura 4-6. En esta se puede ver muy claro como varia la demanda térmica en función del mes del año, al establecer un termostato que se encarga de regular la temperatura del edificio de enero a abril y de mediados de octubre a finales de diciembre.

El consumo acumulado de cada mes se refleja en la Tabla 4-2.

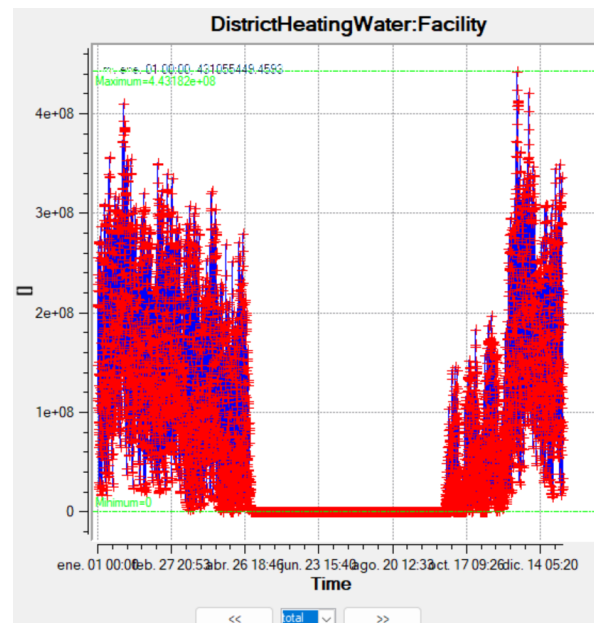


Figura 4-6 Demanda térmica anual.

Demanda térmica del edificio (MWh)

Enero	36,72
Febrero	29,53
Marzo	26,09
Abril	17,85
Mayo	0,00
Junio	0,00
Julio	0,00
Agosto	0,00
Septiembre	0,00
Octubre	8,22
Noviembre	23,00
Diciembre	35,93
TOTAL	177,34

Tabla 4-2 Demanda térmica del edificio (MWh)

4.3 Calibración y validación del modelo

La calibración y validación del modelo energético del Cuartel Marqués de la Victoria es una etapa fundamental para garantizar la fiabilidad de los resultados obtenidos en la simulación dinámica. Este

proceso permite ajustar los parámetros del modelo para que reflejen de manera precisa el comportamiento real del edificio en términos de consumo energético.

4.3.1 ASHRAE

ASHRAE fue concebida en 1959 como la Sociedad Americana de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado, es una asociación de tecnología para edificios con más de 57.000 miembros mundialmente. La asociación y sus miembros se enfocan en los sistemas de edificios, la eficiencia energética, la calidad del aire interior y la sostenibilidad dentro de la industria. A través de la investigación, la redacción de normas, la publicación y la educación continuas [33].

ASHRAE es una referencia clave en la calibración y validación de modelos energéticos. Esta sociedad publica normas técnicas que tratan de mejorar la ingeniería de los servicios de construcción, la calidad del aire y la eficiencia energética junto con un desarrollo sostenible. Su estándar ASHRAE Guideline 14 “Measurement of Energy, Demand and Water Savings” [34], establece metodologías para evaluar la precisión de los modelos de simulación energética mediante indicadores estadísticos, estos serán los usados para realizar la validación del modelo energético del edificio cuartel Marqués de la Victoria.

4.3.2 Validación del modelo

Dentro de la Guideline 14 encontramos dos indicadores que se pueden usar para medir el error del modelo energético de los edificios:

- **NMBE:** es el Error Medio Absoluto Normalizado (Ecuación 4-1). Este indicador muestra la desviación sistemática del modelo con respecto a los datos reales. Un valor negativo indica que el modelo sobreestima el consumo energético, mientras que un valor positivo señala una subestimación. Debido a que el NMBE está sujeto a errores de cancelación, no se recomienda utilizarlo como único criterio de validación del modelo [34].

$$NMBE = \frac{\frac{1}{N} \sum_i^N (y_i - \hat{y}_i)}{\bar{y}} \times 100$$

Ecuación 4-1 NMBE

Donde:

- y_i es cada uno de los valores reales.
 - $\hat{y}_i$ es cada uno de los valores simulados.
 - $\bar{y}$ es la media de los valores reales.
 - N es el número total de valores.
- **CV(RMSE):** es el Coeficiente de Variación del Error Cuadrático Medio (Ecuación 4-2). Mide la dispersión entre los valores simulados y los valores reales observados. No está sujeto a errores de cancelación es por ello que dentro del Guideline 14 el ASHRAE lo emplea junto con el NMBE para validar la precisión de los modelos [34].

$$CV(RMSE) = \frac{\sqrt{\frac{1}{N} \sum_i^N (y_i - \hat{y}_i)^2}}{\bar{y}} \times 100$$

Ecuación 4-2 CV(RMSE)

Donde:

- y_i es cada uno de los valores reales.

- $\hat{y}_i$ es cada uno de los valores simulados.
- $\bar{y}$ es la media de los valores reales.
- N es el número total de valores.

Los valores que fija la ASHRAE en el Guideline 14, como límites para estos dos índices se reflejan en la Tabla 4-3.

Medidas	Índice	Valores Límite
Horarias	NMBE	$\pm 10\%$
	CV(RMSE)	30%

Tabla 4-3 Criterios de calibración del ASHRAE Guideline 14 [34].

Al contar con los consumos reales del edificio se podría llegar a comparar estos con los valores obtenidos en la Tabla 4-2 en la que aparecen reflejados los consumos simulados por el modelo. Sin embargo, los consumos reales que se tienen del cuarto de calderas expresan los MWh mensuales, pero al encargarse el mismo contador de almacenar los datos para el cuartel MDV, el casino de alumnos y el comedor, incluyendo la cocina, no se puede realizar la validación empleando estos parámetros. Ya que no sabemos el dato específico de consumo del edificio MDV.

Sin embargo, sí que se puede apoyar en estos datos dados por la oficina de mantenimiento de la ENM para ver que los consumos simulados por el modelo energético dan valores que podrían ser perfectamente los consumos reales de este.

Tras tratar todos los datos obtenidos por los sensores, los cuales aportan unos datos reales de las temperaturas del aire en las diferentes estancias del edificio y comparar estas con las temperaturas aportadas por el programa de simulación se lleva a cabo una comparación de estos dos parámetros.

En la Figura 4-7 se observan los valores que toma el aire del comedor desde el día 6 al día 17 de marzo de 2025. Hay que destacar que el comedor de alumnos no tiene cargada en la simulación el termostato ya que la calefacción del edificio no se enciende en esa zona.

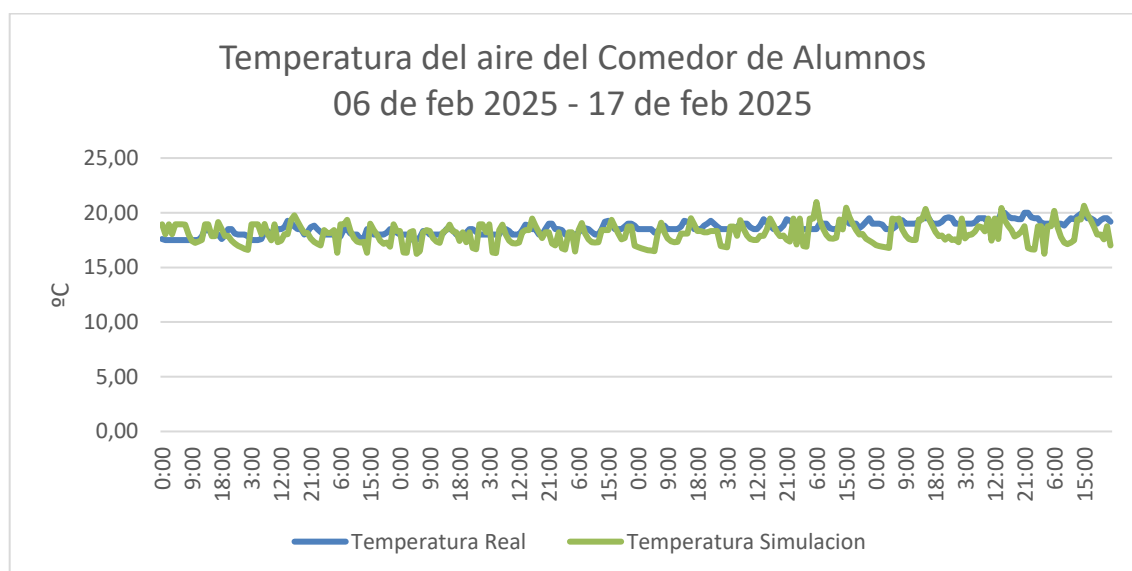


Figura 4-7 Temperatura del aire del comedor de alumnos (P0).

Atendiendo a los valores reflejados en la Tabla 4-3 y aplicando las expresiones de los índices NMBE y CV(RMSE) descritos en la Ecuación 4-1 y Ecuación 4-2, se llegan a los valores reflejados en la Tabla 4-4.

Índice	Valor
NMBE	2,77%
CV(RMSE)	5,86%

Tabla 4-4 Cálculo del NMBE Y CV(RMSE) para las temperaturas del aire del comedor.

En la Figura 4-8 se observan los valores que toma el aire del vestíbulo desde el día 1 a 23 de 2025.

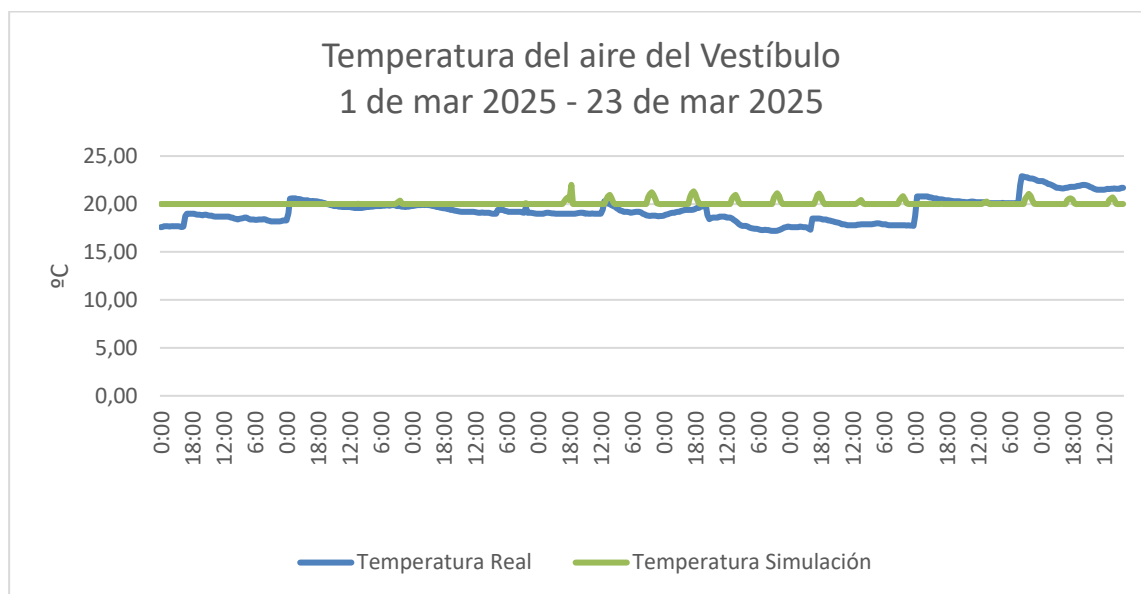


Figura 4-8 Temperatura del aire del Vestíbulo (P1)

Atendiendo a los valores reflejados en la Tabla 4-3 y aplicando las expresiones de los índices NMBE y CV(RMSE) descritos en la Ecuación 4-1 y Ecuación 4-2, se llegan a los valores reflejados en la Tabla 4-5.

Índice	Valor
NMBE	3,33%
CV(RMSE)	7,09%

Tabla 4-5 Cálculo del NMBE Y CV(RMSE) para las temperaturas del aire del vestíbulo.

En la Figura 4-9 se observan los valores que toma el aire del vestíbulo desde el día 6 a 17 de febrero de 2025.

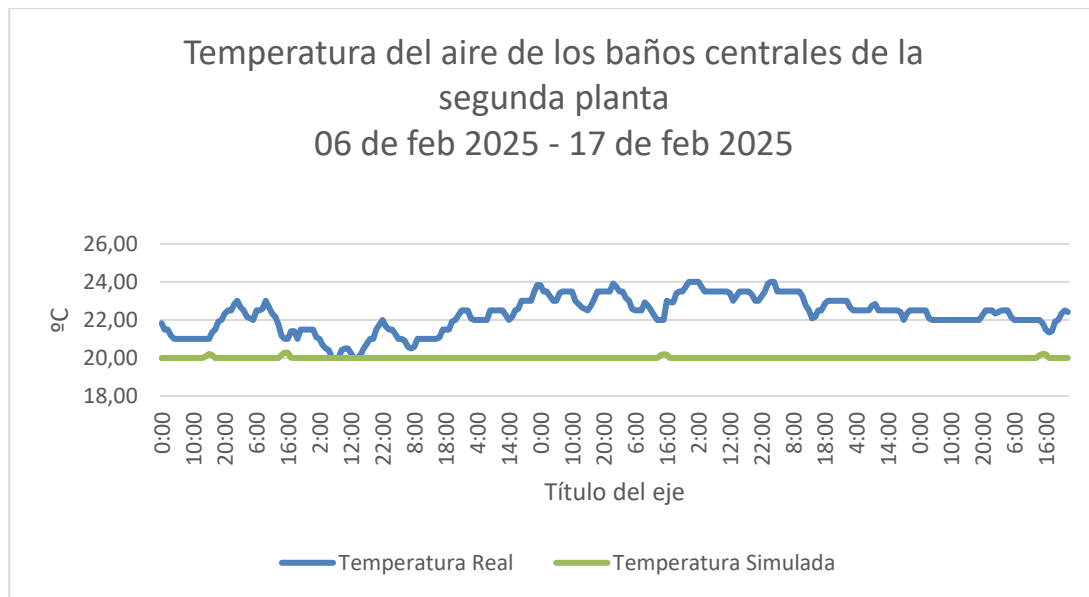


Figura 4-9 Temperatura del aire de los baños centrales de la segunda planta (P2)

Atendiendo a los valores reflejados en la Tabla 4-3 y aplicando las expresiones de los índices NMBE y CV(RMSE) descritos en la Ecuación 4-1 y Ecuación 4-2, se llegan a los valores reflejados en la Tabla 4-5.

Índice	Valor
NMBE	9,56%
CV(RMSE)	11,08%

Tabla 4-6 Cálculo del NMBE Y CV(RMSE) para las temperaturas del aire de los baños centrales de la segunda planta.

De acuerdo con los resultados obtenidos y los límites fijados por la ASHRAE Guideline 14, calculados para tres estancias del edificio en sus respectivas plantas, se puede afirmar que atendiendo a los valores de temperatura del aire del edificio nuestro modelo está calibrado. Dando así por finalizado todo el proceso de modelado, simulación y validación del edificio cuartel Marqués de la Victoria.

5 CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

5.1 Conclusiones

En el contexto actual de crisis energética global, donde la volatilidad del precio de los combustibles y la necesidad de reducir emisiones son desafíos urgentes, este trabajo cobra especial relevancia. El sector de la edificación representa una proporción significativa del consumo energético nacional, y su optimización se convierte en una prioridad estratégica tanto a nivel civil como militar. La reducción del consumo energético mediante medidas pasivas y activas no solo conlleva un beneficio económico evidente, sino que también representa un compromiso ético y ambiental con la sociedad y con las futuras generaciones.

La principal conclusión que se extrae del desarrollo de este Trabajo de Fin de Grado son las grandes posibilidades y ventajas que ofrece la adopción de estrategias basadas en la eficiencia energética, tanto a nivel económico como medioambiental. El análisis detallado del Cuartel Marqués de la Victoria ha demostrado cómo el modelado energético, mediante herramientas como OpenStudio, permite estudiar con precisión el comportamiento térmico de los edificios y evaluar posibles mejoras antes de su implementación real.

Teniendo en cuenta el elevado número de edificaciones antiguas que operan actualmente bajo gestión del Ministerio de Defensa y, más concretamente, de la Armada, y considerando la escasez de estudios energéticos previos aplicados a estas instalaciones, el margen de mejora en este ámbito resulta especialmente significativo. La simulación dinámica y la modelización energética se posicionan como herramientas clave para abordar esta necesidad, permitiendo no solo reducir el consumo y las emisiones, sino también optimizar el uso de los recursos públicos en un contexto donde la eficiencia y sostenibilidad son prioridades estratégicas.

El presente Trabajo de Fin de Grado ha permitido cumplir con los objetivos propuestos inicialmente, centrados en la creación, simulación y validación de un modelo energético detallado del Cuartel Marqués de la Victoria, situado en la Escuela Naval Militar de Marín. El desarrollo del modelo, apoyado en herramientas de simulación dinámica como OpenStudio, ha proporcionado una visión precisa del comportamiento térmico del edificio, permitiendo identificar puntos críticos de consumo.

En cuanto a la consecución del objetivo principal al inicio del trabajo tras alcanzar un modelo energético calibrado siguiendo el método reflejado en la ASHRAE Guideline 14 comparando las temperaturas simuladas y reales, resultando el NMBE y el CV(RMSE) obtenidos inferiores al 10% y 30% respectivamente. Además, se han seguido los objetivos intermedios fijados en un inicio para la

consecución de este, por lo que puede concluirse que es una metodología válida para el desarrollo de este tipo de trabajo.

Uno de los logros fundamentales ha sido la validación del modelo mediante datos reales de temperatura, lo que ha dotado de robustez a las simulaciones energéticas. Esta fase ha demostrado que la modelización energética, bien aplicada, es una herramienta eficaz para tomar decisiones fundamentadas en materia de rehabilitación energética, especialmente en edificaciones con restricciones arquitectónicas o valor histórico, como es el caso del cuartel.

5.2 Líneas futuras

Aunque el modelo energético desarrollado en este Trabajo de Fin de Grado ha permitido simular con precisión aceptable el comportamiento térmico del Cuartel Marqués de la Victoria, es importante señalar que no representa de forma completamente exacta la realidad. Como ocurre en cualquier proceso de modelado, existen simplificaciones y limitaciones derivadas, en gran parte, de la disponibilidad de datos y el alcance temporal del trabajo.

No obstante, una vez lograda la simulación energética del edificio cuartel Marques de la Victoria de la ENM, se proponen las siguientes líneas futuras que permiten continuar el desarrollo del presente trabajo o introducir mejoras al mismo.

- Una línea clara de mejora sería la ampliación y profundización del nivel de detalle del modelo, incorporando datos más específicos sobre ciertos sistemas del edificio que no han sido caracterizados con el mismo grado de precisión. Entre estos, cabe destacar los equipos de climatización internos
- Asimismo, sería recomendable analizar con mayor detalle las instalaciones de uso intensivo, como la cocina y otras zonas técnicas del edificio. Estas áreas presentan cargas internas importantes, tanto por equipos como por presencia de personas, y su funcionamiento discontinuo o puntual puede tener un impacto considerable en la demanda térmica del edificio.
- También sería interesante utilizar la simulación energética con mayor resolución temporal y espacial para detectar posibles deficiencias en el comportamiento térmico del edificio, como zonas con pérdidas energéticas elevadas o ineficiencias en la distribución del calor. La identificación de estas anomalías permitiría plantear reformas físicas localizadas, con el objetivo de lograr un edificio más rentable energéticamente.
- Por otro lado, se podrían introducir sistemas de monitorización en tiempo real para validar y calibrar el modelo de forma continua, mejorando así su fiabilidad y adaptabilidad a cambios futuros en las condiciones de uso o en las instalaciones.

6 BIBLIOGRAFÍA

- [1] «El Acuerdo de París | CMNUCC». Accedido: 2 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://unfccc.int/es/acerca-de-las-ndc/el-acuerdo-de-paris>
- [2] @NatGeoES, «2024 fue caluroso, pero también podría haber sido el año más frío del resto de tu vida», National Geographic. Accedido: 2 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/2024/12/calor-2024-ano-mas-frio-proximas-decadas>
- [3] R. M. JAVIER FRANCISCO y V. G. ELOY, *Eficiencia energética en edificios. Certificación y auditorías energéticas: certificación y auditorías energéticas*. Ediciones Paraninfo, S.A., 2006.
- [4] «Directiva_107_97».
- [5] «El 99,9 % de los estudios científicos lo confirma: el cambio climático está causado por el ser humano», National Geographic España. Accedido: 2 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: https://www.nationalgeographic.com.es/ciencia/999-estudios-cientificos-confirma-cambio-climatico-esta-causado-por-ser-humano_18994
- [6] «Objetivo 55: hacer que los edificios de la UE sean más ecológicos», Consilium. Accedido: 3 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.consilium.europa.eu/es/infographics/fit-for-55-making-buildings-in-the-eu-greener/>
- [7] «Guía para la mejora de la eficiencia energética de los edificios históricos». Accedido: 3 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://revista.une.org/4/guia-para-la-mejora-de-la-eficiencia-energetica-de-los-edifi.html>
- [8] «Energía primaria: suministro mundial por fuente 2023», Statista. Accedido: 3 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://es.statista.com/estadisticas/600585/suministro-de-energia-primaria-a-nivel-mundial-por-fuente/>
- [9] R.- ASALE y RAE, «eficiencia | Diccionario de la lengua española», «Diccionario de la lengua española» - Edición del Tricentenario. Accedido: 19 de marzo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://dle.rae.es/eficiencia>
- [10] I. CORPORATIVA, «Eficiencia energética: qué es y cómo funciona», Iberdrola. Accedido: 20 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.iberdrola.com/sostenibilidad/medio-ambiente/eficiencia-energetica>
- [11] «Directiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 20 de febrero de 2010, relativa a la eficiencia energética de los edificios».
- [12] «Presentación». Accedido: 21 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.codigotecnico.org/QueEsCTE/Presentacion.html>
- [13] «Directiva (UE) 2024/1275 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 24 de abril de 2024, relativa a la eficiencia energética de los edificios», Ministerio para la Transición Ecológica y el

- Reto Demográfico. Accedido: 27 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.miteco.gob.es/eu/energia/eficiencia/epbd2024.html>
- [14] «Google Maps», Google Maps. Accedido: 27 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: https://www.google.com/maps/@42.3938441,-8.7068016,1068m/data=!3m1!1e3?entry=tту&g_ep=EgoyMDI1MDMxNy4wIKXMDSOASAFQAw%3D%3D
- [15] «Remodelación MdV Fase 1 23082021 - remodelación de cubierta (1)».
- [16] «Proyecto MdV Fase2 20052022 - incluye descripción cerramientos y transmitancias (2)».
- [17] «DcmHE.pdf». Accedido: 5 de marzo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.codigotecnico.org/pdf/Documentos/HE/DcmHE.pdf>
- [18] «CAT-EC-v05.0_MAYO08».
- [19] «Ficha técnica lana mineral».
- [20] «Ficha técnica aislante inyectado en cámaras».
- [21] «Fichas técnicas particiones interiores».
- [22] «TFbcH-Fibroceamento-10-XPS-19-2400x550-Ficha-tecnica.pdf». Accedido: 5 de marzo de 2025. [En línea]. Disponible en: <http://thermochip.dev.calltek.es/wp-content/uploads/2024/10/TFbcH-Fibroceamento-10-XPS-19-2400x550-Ficha-tecnica.pdf>
- [23] Damian, «Transmitancia térmica en aislamientos: ¿Qué es y cómo se calcula?», Rhonatherm. Accedido: 31 de marzo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.saterhonatherm.com/blog/transmitancia-termica/>
- [24] «DA_DB-HE-1_Calculo_de_parametros_caracteristicos_de_la_envolvente.pdf». Accedido: 26 de marzo de 2025. [En línea]. Disponible en: https://www.codigotecnico.org/pdf/Documentos/HE/DA_DB-HE-1_Calculo_de_parametros_caracteristicos_de_la_envolvente.pdf
- [25] «El valor U – La transmitancia térmica en edificación | Maria Blender». Accedido: 26 de marzo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://mariablender.com/el-valor-u-la-transmitancia-termica-en-edificacion/>
- [26] «Manual Usuario Cuartel Marques de la Victoria».
- [27] «UNE-EN ISO 7730».
- [28] D. A. Rincón y C. Y. Komaromy, «EVALUACIÓN DE SEIS FÓRMULAS USADAS PARA EL CÁLCULO DE LA SUPERFICIE CORPORAL», *Rev Fac Med Univ Nac Colomb*, vol. 52, n.º 2, 2004.
- [29] «Globo 80».
- [30] «tira-led-02440540-ft-es (1)».
- [31] «¿Qué es iButton? | iButton.cl». Accedido: 29 de marzo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://ibutton.cl/que-es-ibutton/>
- [32] A. Industries, Adafruit SHT45 Trinkey - USB Temperature and Humidity Sensor. Accedido: 2 de abril de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.adafruit.com/product/5896>
- [33] «ASHRAE And Industry History». Accedido: 30 de marzo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://ashrae.org/about/mission-and-vision/ashrae-industry-history>
- [34] «ashrae_guideline_14-2002_measurement_of_energy_and_demand_saving.pdf». Accedido: 30 de marzo de 2025. [En línea]. Disponible en: https://www.eepperformance.org/uploads/8/6/5/0/8650231/ashrae_guideline_14-2002_measurement_of_energy_and_demand_saving.pdf
- [35] F. J. V. Peinado y L. F. Garrido, «Modelado y simulación de la demanda térmica de la piscina cubierta de la ENM».

ANEXO I: IMPLICACIONES SOCIALES, Y/O ECONÓMICAS, Y/O AMBIENTALES

La ejecución del presente Trabajo de Fin de Grado conlleva importantes implicaciones en los ámbitos social, económico y ambiental.

Desde el punto de vista social, la mejora en la eficiencia energética del edificio, cuartel Marqués de la Victoria, repercute directamente en la calidad del entorno construido, proporcionando espacios más saludables, confortables y seguros. Una edificación más eficiente energéticamente no solo mejora el confort térmico, sino que también reduce los riesgos asociados a ambientes insalubres o mal climatizados. Además, al optimizar el uso de recursos públicos, se refuerza el principio de responsabilidad y sostenibilidad en la gestión de infraestructuras públicas, especialmente en instalaciones militares de gran valor histórico y funcional.

En el ámbito económico, las medidas de eficiencia energética propuestas permiten conocer el nivel de consumo de gas natural y electricidad del edificio, con este se podrían realizar estudios sobre la viabilidad de tratar de reducir estos costes. Y ese ahorro, se podría destinar a la mejora de otras infraestructuras o servicios. En el ámbito de la Armada, estos ahorros podrían ser destinados a para mejorar otras capacidades y medios críticos para así conseguir los objetivos, de acuerdo con las planificaciones económicas establecidas.

Por lo que respecta al medioambiente, la reducción del consumo energético conlleva una disminución de las emisiones de CO₂, lo que contribuye directamente a la mitigación del cambio climático. Asimismo, se reduce la demanda de recursos naturales como el gas natural, promoviendo una gestión más racional y sostenible de los mismos. Todo ello está en consonancia con los compromisos adquiridos por España en el marco de la Unión Europea en materia de transición ecológica y eficiencia energética

ANEXO II: REFLEXIONES ÉTICAS Y SOCIALES

El desarrollo de este trabajo se fundamenta en valores éticos profundamente arraigados en la formación de los futuros oficiales de la Armada: la responsabilidad, el compromiso con el servicio público y la eficiencia en el uso de los recursos del Estado.

Optimizar el consumo energético de una infraestructura pública como el Cuartel Marqués de la Victoria no es solo una decisión técnica, sino también una cuestión ética. Supone actuar con responsabilidad ante el esfuerzo de los contribuyentes y con visión estratégica para la mejora continua del patrimonio nacional. La liberación de recursos económicos a través del ahorro energético permite reinvertir en otras áreas críticas, fortaleciendo así la seguridad y la capacidad operativa de la institución.

Desde una perspectiva social, la implementación de medidas que disminuyan la dependencia energética exterior y favorezcan la sostenibilidad refuerza la autonomía y resiliencia nacional, aspectos esenciales en el actual contexto geopolítico. Del mismo modo, se impulsa una cultura orientada a la mejora continua, el respeto al medioambiente y la innovación sostenible.

ANEXO III: LOCALIZACIÓN DE EDIFICIO CUARTEL MARQUÉS DE LA VICTORIA

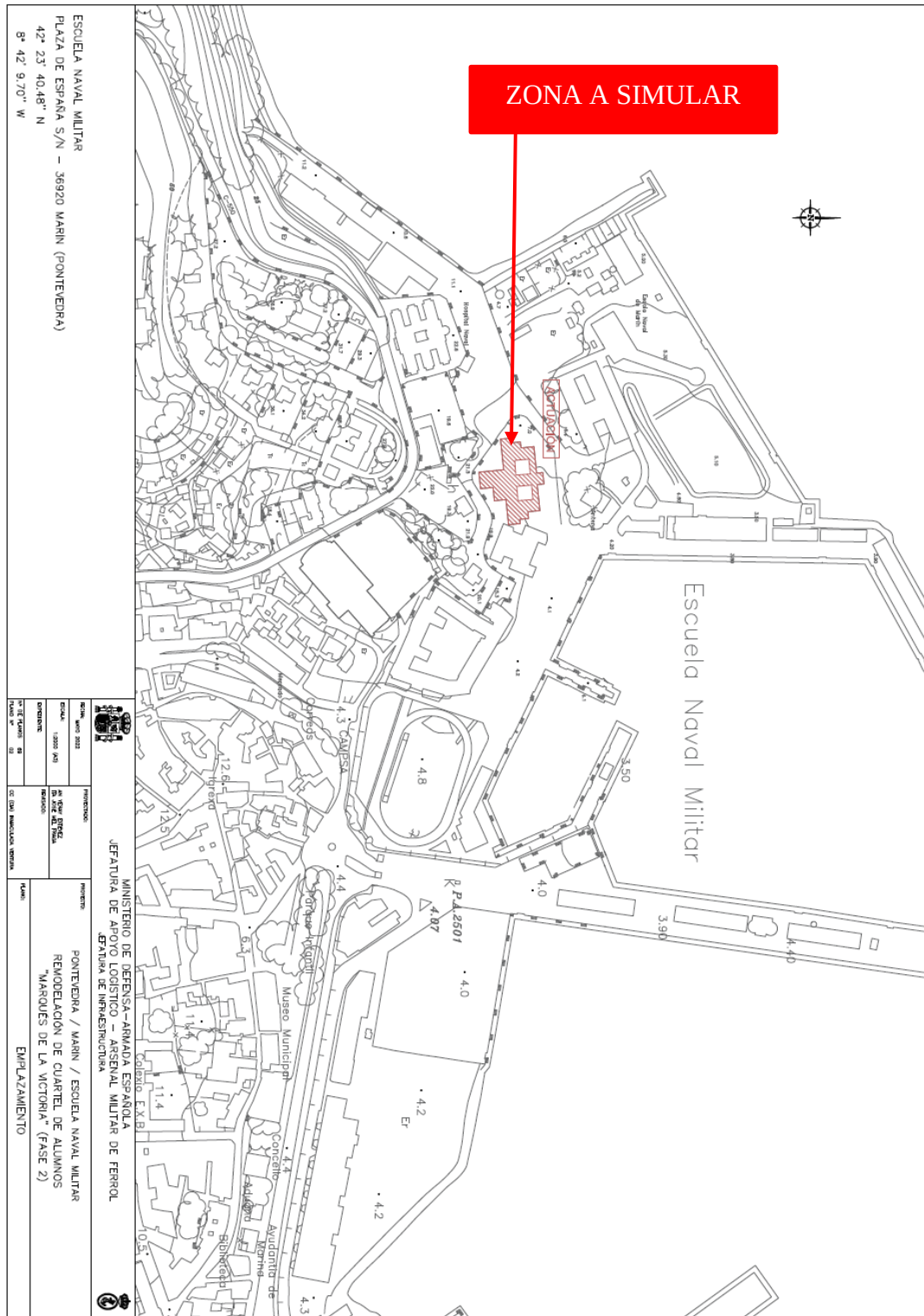


Figura A1- 1 Localización del edificio cuartel Marques de la Victoria [35]

ANEXO IV: HORARIO GENERAL DE ALUMNOS DE LA ENM

ESCUELA NAVAL MILITAR JEFATURA DE ESTUDIOS		HORARIO Para DD. y CC. Alumnos	
HORA	ACTO	HORA	ACTO
Días Laborables		Modificación viernes con Leyes Penales	
06:45	Diana. Aseo personal. Desayuno.	11:10	Alto 3ª Clase.
07:00	Comienza peluquería.	11:15	Actividades Régimen Interior, salvo alumnos con clases programadas.
07:15	Regreso de francos de DD y CCAA externos.	12:00	Fin actividades Régimen Interior.
07:25	Finaliza reparto de desayuno. Arranchado de camas para DD y CCAA que asisten a consulta médica. Misa y entrantes de guardia.	12:10	Formación Patio de Aulas. Revista de Policía.
07:30	Cierra Comedor. Comienzan actividades R.I./Estudio. Consulta médica. Abre bazar de alumnos. Asamblea. Misa Voluntaria.	12:20	Lectura de Leyes Penales.
07:45	Finalizan actividades R.I./Estudio. Arranchado de cuarteles. Relevo de la Guardia.	13:00	Finalización acto de Leyes Penales.
07:55	Revista de Policía.	13:10	Comienza Educación Física.
08:15	1ª clase.	Sábados	
09:05	Alto clase.	08:15	Levantarse entrantes de guardia. Desayuno para personal guardia entrante.
09:10	2ª clase.	08:45	Regreso de francos.
10:00	Alto clase. Bocadillo.	08:50	Diana. Aseo personal. Arranchado de camaretas. Fin desayuno para personal guardia entrante.
10:20	3ª clase.	09:00	Asamblea.
11:10	Alto clase.	09:05	Relevo de la guardia.
11:15	4ª clase.	09:05	Desayuno personal franco.
12:05	Alto clase.	09:30	1ª hora Estudio voluntario. Salida de francos.
12:10	5ª clase.	09:40	Alto autoservicio desayuno.
13:00	Alto clase.	09:45	Cierra comedor. Arranchado de cuarteles.
13:10	Comienza Educación Física. Primera comida para alumnos con Adiestramiento a Flote.	10:30	Alto 1ª hora Estudio voluntario. Comienza 2ª hora Estudio voluntario. Salida de francos.
14:00	Alto Educación Física.	11:30	Alto 2ª hora Estudio voluntario. Comienza 3ª hora Estudio voluntario. Salida de francos.
14:15	Primera comida.	12:30	Alto 3ª hora Estudio voluntario. Comienza 4ª hora Estudio voluntario.
15:05	Finaliza comida. Descanso	12:45	Salida de francos.
15:30	6ª clase.	13:30	Alto 4ª hora Estudio voluntario. Comienza 5ª hora Estudio voluntario.
16:20	Alto clase	13:45	Salida de francos.
16:25	7ª clase.	14:00	Abre autoservicio.
17:15	Alto clase.	14:30	Alto 5ª hora Estudio voluntario.
17:20	8ª clase.	15:00	Cierra autoservicio.
18:10	Alto clase.	15:30	Siesta voluntaria. Salida de francos.
18:15	9ª clase. Alumnos con clase programada.	17:00	Alto siesta. Arranchado de camas.
18:15	Lectura de la orden. Oración/Tutorías individuales. Alumnos sin clases	17:30	Salida de francos.
18:25	Estudio voluntario. Alumnos sin clases.	19:00	Salida de francos.
18:30	Salida de francos de paseo. Alumnos sin clases.	20:00	Abre autoservicio. Salida de francos.
19:00	Alto clase, alumnos con clase programada. Fin Horario Tutorías individuales.	21:00	Cierra autoservicio. Salida de francos.
19:05	Estudio voluntario.	21:30	Acostarse (voluntario). Silencio.
19:30	Salida de francos de paseo.	22:00	Salida de francos.
20:00	Alto estudio. Abre autoservicio para DD y CCAA Aspirantes.	00:30	Se cierra Casino de Alumnos.
20:30	Finaliza cena para DD y CCAA Aspirantes. Comienza estudio obligatorio para ASP. Comienza cena para GGMM y OQAA. Salida de francos de paseo.	01:00	Regreso de francos de DD. y CC. Aspirantes. Acostarse.
21:00	Finaliza cena para GGMM y OQAA. Cierra autoservicio. Estudio voluntario.	03:00	Regreso de francos DD y CC Aspirantes distinguidos, GGMM y OQAA.
21:30	Salida de francos de paseo.		
22:35	Alto estudio obligatorio para ASP (salvo autorización del Profesor de Servicio). Desalojo Casino de Alumnos. Acostarse.		
22:45	Silencio.		
23:00	Regreso de francos DD. y CC. Aspirantes sin estudio obligatorio.		
01:00	Regreso de francos GGMM y OQAA.		
01:30	Alto estudio voluntario expresamente autorizado.		
Modificación Jueves para Alumnos CIM (ST/CT)		Domingos y Días Festivos	
09:10	Alumnos CT: Recogida de armamento y equipos. Revista.	Se seguirá régimen de sábado con las siguientes modificaciones.	
09:30	Formación y novedades. Salida hacia zona de ejercicios alumnos CT	12:30	Alto 3ª hora Estudio voluntario. Comienza 4ª hora Estudio voluntario. Misa voluntaria.
12:10	Alumnos ST: Recogida de armamento y equipos. Revista.	19:00	Salida de francos. Misa voluntaria.
12:30	Formación y novedades. Salida hacia zona de ejercicios alumnos ST	20:00	Abre autoservicio. Salida de francos.
19:30	Fin de salida prácticas de campo.	21:00	Cierra autoservicio. Salida de francos.
Modificación Viernes		21:30	Acostarse (voluntario)
11:10	Alto 3ª clase.	22:00	Salida de francos.
11:20	Actividades de Régimen Interior.	22:40	Se cierra Casino de Alumnos.
13:00	Alto actividades de Régimen Interior.	23:00	Regreso de francos de DD. y CC. Aspirantes. Acostarse.
13:10	Comienza Educación Física.	23:59	Regreso de francos de DD. y CC. Aspirantes distinguidos.
14:00	Alto Educación Física.	01:00	Regreso de francos de GGMM y OQAA.
14:15	Primera comida.		
15:05	Finaliza Primera comida.		
15:30	6ª clase.		
16:20	Alto clase		
16:25	7ª clase.		
17:15	Alto clase.		
17:20	Estudio voluntario.		
17:30	Salida de francos de paseo. A continuación Régimen de sábado excepto para alumnos con estudio de refuerzo.		
18:50	Alto Estudio voluntario.		
19:00	Estudio voluntario.		
20:00	Alto Estudio voluntario.		
21:00	Estudio voluntario.		
22:30	Alto Estudio voluntario.		
Modificación Viernes 5ª ST y 4ª ST (G5, G6, IM1, IM2) SEP-DIC		Vísperas Días Festivos	
11:10	Alto 3ª clase.	Se sigue régimen de sábado a partir del cese de actividades.	
11:15	4ª clase.		
12:05	Alto clase		
12:10	Actividades de Régimen Interior.		



Figura A2 - 1 Horario General de Alumnos de la ENM

ANEXO V: PARTE DE SITUACIÓN ALUMNOS ENM

PARTE DE SITUACIÓN DE ALUMNOS							
Segundo cuatrimestre curso 2022/2025							
CUADRO NOVEDADES DE ALUMNOS							
	1ª	2ª	11/12ª	3ª	4ª	5ª	TOTAL
CORRESPONDEN	88	78	36	77	84	122	485
Embarcados/P. Campo	0	0	0	0	0	0	0
Embarcados/P. Fin Curso	0	0	0	76	0	0	76
Comisión	0	0	0	0	0	0	0
Franco	0	0	0	0	0	0	0
Rebajados en Domicilio	0	0	0	0	0	0	0
Permiso	0	0	0	0	0	1	1
Otras Escuelas	0	0	0	0	0	0	0
Hosp. Exterior	0	0	0	0	0	0	0
Externado	0	0	2	0	2	14	18
Faltos	0	0	0	0	0	0	0
Otros	0	0	0	0	0	0	0
Pendientes incorporación	0	0	0	0	0	0	0
AUSENTE	0	0	2	76	2	15	95
PRESENTES ENM	88	78	34	1	82	108	390
Alumnos extranjeros	2	1	0	1	3	10	17
Reb. Camareta o Totales o Formación* _{1,2}	1	0	0	0	1	1	3
Reb. Ejer y/o Inst	14	0	2	0	2	3	21
Otros Rebajes	3	1	1	0	0	2	7
FUERZA EN REVISTA	87	78	34	1	81	107	387

*¹ Con tener uno de los rebajes se le incluye en este apartado.

*² Para fuerza en revista descontar a **PRESENTES ENM** únicamente los rebajados que incluyan formación, camareta o total.

*³ Se incluyen en la Fuerza en Revista y presentes ENM a la hora del relevo entre semana.

Figura A3 - 1 Parte de situación alumnos presentes en la ENM segundo cuatrimestre del curso 2024/2025

ANEXO VI: PLANO DE LA PLANTA BAJA (P0) DEL EDIFICIO CUARTEL MARQUÉS DE LA VICTORIA

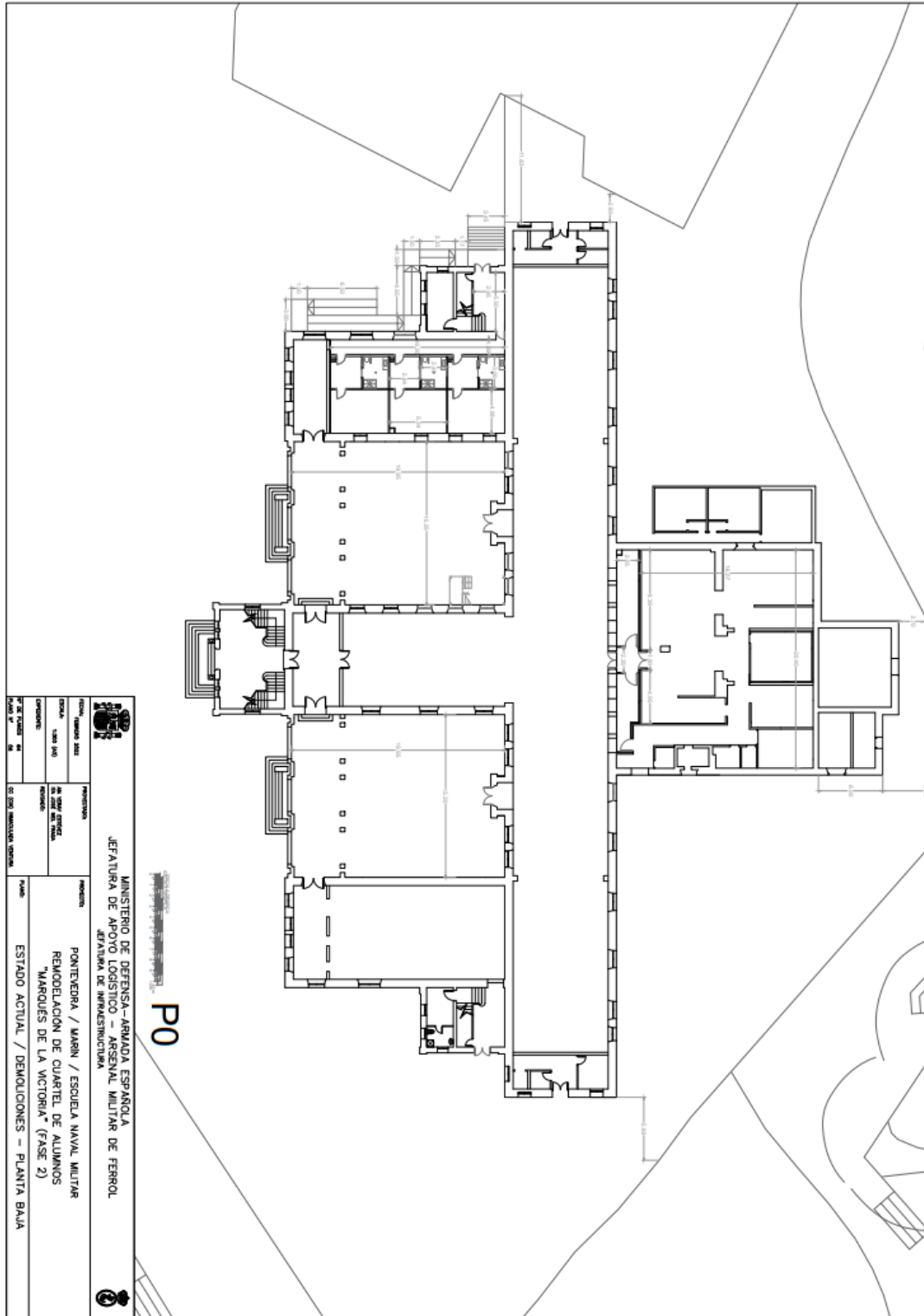


Figura A4 - 1 Plano de la planta baja (P0) del edificio cuartel Marqués de la Victoria

ANEXO VII: PLANO DE LA PRIMERA PLANTA (P1) DEL EDIFICIO CUARTEL MARQUÉS DE LA VICTORIA

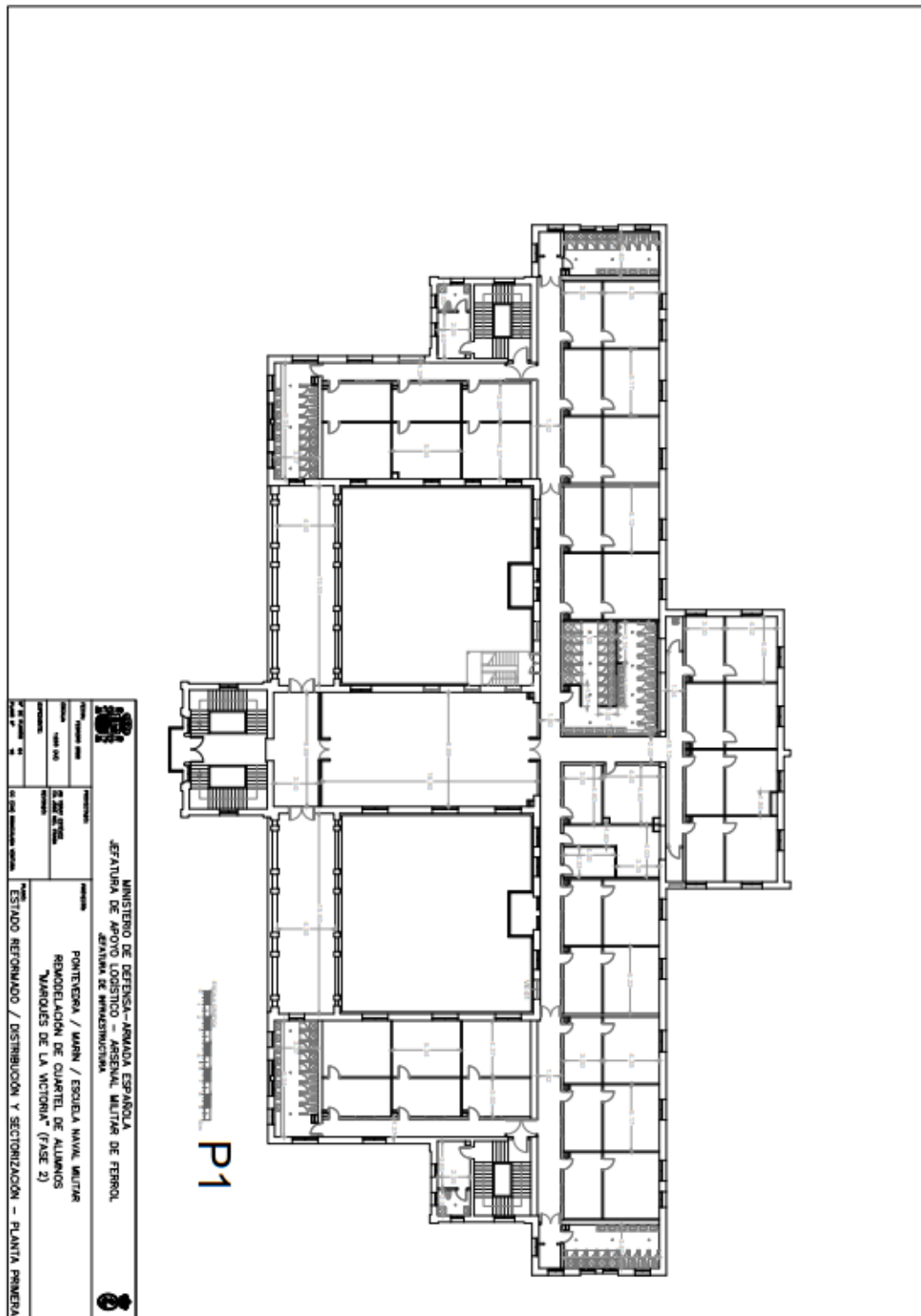


Figura A5 - 1 Plano de la primera planta (P1) del edificio cuartel Marqués de la Victoria

ANEXO VIII: PLANO DE LA SEGUNDA PLANTA (P2) DEL EDIFICIO CUARTEL MARQUÉS DE LA VICTORIA

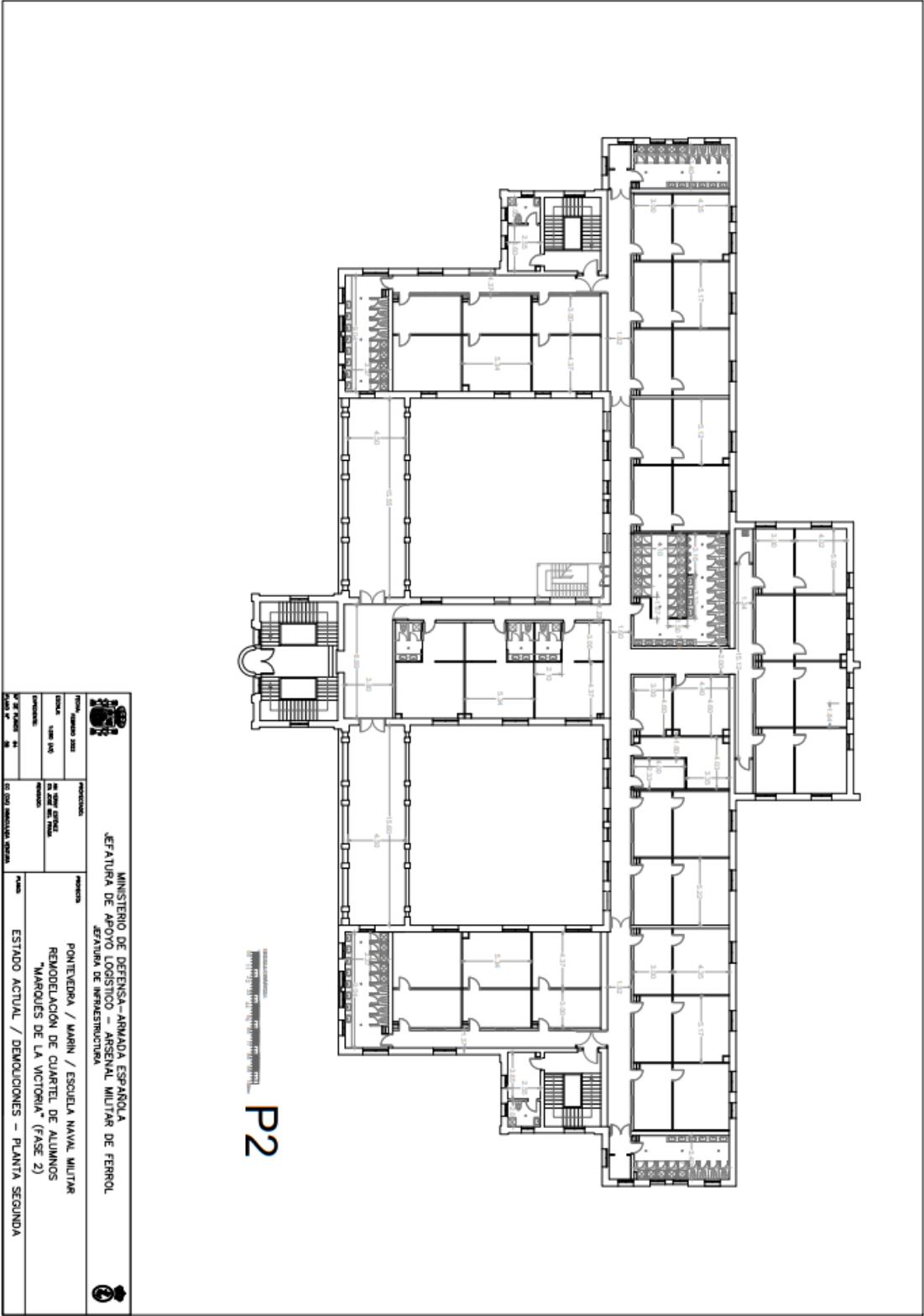


Figura A6 - 1 Plano de la segunda planta (P2) del edificio cuartel Marqués de la Victoria