



Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

TRABAJO FIN DE GRADO

*Calificación de la eficiencia energética del cuartel Marqués de la
Victoria en la ENM*

Grado en Ingeniería Mecánica

ALUMNO: Pablo Araújo Raña

DIRECTORES: Arturo González Gil

José Mel Fraga

CURSO ACADÉMICO: 2025-2026

UniversidadeVigo



Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

TRABAJO FIN DE GRADO

*Calificación de la eficiencia energética del cuartel Marqués de la
Victoria en la ENM*

Grado en Ingeniería Mecánica
Intensificación en Tecnología Naval
Cuerpo General

Universidade de Vigo

RESUMEN

Este trabajo introduce la necesidad del ahorro energético en los edificios y su importancia en Defensa, cubierta mediante la Calificación Energética y la elaboración de Certificados Energéticos para asegurar la eficiencia y un bajo nivel de consumos y emisiones. Se establece como objetivo principal la elaboración del Certificado Energético del Cuartel de Alumnos Marqués de la Victoria de la ENM, y se presenta el marco normativo en el que se encuadra el sistema de certificación, basado en mandatos europeos. Tras una revisión de distintos proyectos de magnitud y condiciones similares, se discute el método de certificación y sus distintas herramientas autorizadas. Una vez estudiadas, se escoge el programa CE3X como herramienta a utilizar, y se muestra su forma de empleo y flujo de trabajo. Se recopila la información constructiva necesaria para elaborar el certificado, tras lo cual se puede ver el sistema de introducción de datos en la herramienta informática. Con todos los datos introducidos se elabora el certificado, y se analizan los resultados, obteniendo una calificación de D en consumos y emisiones, y se estudian y discuten las mejoras más plausibles. Para concluir, se proponen las líneas futuras, entre las que destaca el estudio para implementar un sistema fotovoltaico.

PALABRAS CLAVE

Certificado, Eficiencia Energética, CE3X, Ahorro Energético, Calificación Energética

AGRADECIMIENTOS

Al minucioso trabajo del Profesor González Gil, que tan detallista ha sido en la supervisión y corrección de mi memoria, y a su disposición, ayuda y buena voluntad.

CONTENIDO

Contenido	1
Índice de Figuras	3
Índice de Tablas.....	5
1 Introducción y objetivos	6
1.1 Energía y sociedad	6
1.2 La eficiencia energética en la edificación para el Ministerio de Defensa.....	8
1.3 Objetivos	9
1.4 Metodología	9
2 Estado del arte	10
2.1 Visión general del consumo energético en el sector de la edificación.....	10
2.2 Marco normativo para la certificación energética de los edificios	11
2.3 Herramientas informáticas y procedimientos de certificación.....	14
2.4 Comparativa con otros métodos internacionales	15
2.5 Publicaciones y proyectos previos en relación con la eficiencia energética en edificios	16
2.5.1 Estudios previos del campo de la eficiencia energética en la edificación	17
2.5.2 Proyectos reales sobre certificación y calificación energética de la edificación	17
3 Proceso de certificación del cuartel.....	19
3.1 Elección del programa de calificación y análisis de su método de trabajo	19
3.1.1 Elección del Programa.....	19
3.1.2 Método de trabajo	20
3.2 Descripción del edificio	22
3.2.1 Generalidades	22
3.2.2 Estructura y envolvente del edificio en su estado actual.	25
3.2.3 Distribución interior.....	28
3.2.4 Instalaciones energéticas del edificio.	30
3.3 Certificación.....	33
4 Resultados y discusión de resultados	42
4.1 Resultados	42
4.1.1 Análisis de los resultados.....	44
4.1.2 Limitaciones del programa informático.....	44
4.2 Propuestas de mejora	45
5 Conclusiones y líneas futuras	49
5.1 Conclusiones	49

5.2 Líneas Futuras	49
6 Bibliografía.....	50
Anexo I: Implicaciones Sociales, Económicas, y Ambientales	53
Anexo II: Reflexiones Éticas y Sociales	54
Anexo III: Informe de certificación energética	55
Anexo IV: Extractos de la memoria constructiva	7

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1 Gráfica de exportación-Importación de crudo por regiones del 2024 [32]	6
Figura 1-2 Etiqueta de eficiencia energética 2025 [9]	7
Figura 2-1 Diagrama Sankey de la energía en España en 2023. Cifras en ktep [5].....	11
Figura 2-2 Detalle de consumo por usos en el sector residencial [33]	11
Figura 2-3 Línea temporal normativas europeas sobre la eficiencia energética en edificios [Elaboración propia]	12
Figura 2-4 Herramientas de certificación energética aprobadas por el MITECO [Elaboración Propia] 14	
Figura 2-5 Gráfica de presupuestos por secciones de actuación para el proyecto de renovación del Hospital Central de la Defensa Gómez Ulla [Elaboración Propia].....	17
Figura 3-1 Resumen gráfico de funcionalidades, flujo de trabajo y características de CE3X [Elaboración Propia].....	19
Figura 3-2 Interfaz de CE3X en su pestaña Datos Administrativos [Elaboración Propia].....	20
Figura 3-3 Datos oficiales del Catastro sobre el cuartel Marqués de la Victoria [35].....	21
Figura 3-4 Interfaz del programa CE3X en su sección envolvente térmica [Elaboración propia]	22
Figura 3-5 Imagen del polígono de tiro Jaime Janer, previa reconversión al cuartel de alumnos [23] ..	22
Figura 3-6 Posición del cuartel Marqués de la Victoria dentro del recinto de la ENM [35]	23
Figura 3-7 Tabla de superficies del Cuartel de Alumnos Marqués de la Victoria. [23]	24
Figura 3-8 Vista de alzado del Cuartel Marqués de la Victoria [23]	25
Figura 3-9 : Tabla de transmitancias del Cuartel de Alumnos [23].	25
Figura 3-10 Tabla 3.1.1.a - HE1 Valores límite de transmitancia térmica, Ulim [W/m²K] [24].....	27
Figura 3-11 Tabla de transmitancias globales en relación con su superficie. [23]	27
Figura 3-12 : Tabla de transmitancias debidas a puentes térmicos en relación con su longitud. [23]....	27
Figura 3-13 Tabla 3.1.1.c - HE1 Valores límite de transmitancia térmica, Ulim [W/m²K] [24].....	27
Figura 3-14 Plano de la planta primera del cuartel Marqués de la Victoria [23].....	28
Figura 3-15 Plano de la planta segunda del cuartel Marqués de la Victoria [23]	28
Figura 3-16 Plano de la planta baja del cuartel Marqués de la Victoria [23]	30
Figura 3-17 Caldera VARMAX 2 [36]	31
Figura 3-18 Bomba de agua YONOS MAXO-Z [37].....	31
Figura 3-19 Tabla recopilación de consumos por superficie e iluminación según local [23]	32
Figura 3-20 Tabla de consumos calculados para cada cuadro principal [21]	33
Figura 3-21 Datos generales del Cuartel Marqués de la Victoria en CE3X [Elaboración propia]	34
Figura 3-22 Datos de Envolvente térmica del Cuartel Marqués de la Victoria en CE3X [Elaboración propia]	35
Figura 3-23 Tabla de cerramientos opacos del Cuartel Marqués de la Victoria en CE3X [23]	36
Figura 3-24 Datos necesarios para el cálculo de ventanas en CE3X [Elaboración Propia].....	36

Figura 3-25 Tabla de datos de huecos en la Envolvente térmica del Cuartel Marqués de la Victoria en CE3X [23].....	37
Figura 3-26 Datos necesarios para el cálculo de puentes térmicos en CE3X [Elaboración Propia].....	38
Figura 3-27 Datos necesarios para el cálculo de falsos techos en CE3X [Elaboración Propia]	38
Figura 3-28 Árbol de dependencias de instalaciones en CE3X [Elaboración Propia].....	39
Figura 3-29 Instalación de alumbrado en CE3X [Elaboración Propia]	39
Figura 3-30 Instalación de calefacción y ACS en CE3X [Elaboración Propia]	40
Figura 3-31 Instalación de Aire primario en CE3X [Elaboración Propia]	40
Figura 3-32 Generador de Informe en CE3X [Elaboración Propia]	41
Figura 4-1 Calificación energética del edificio en emisiones en CE3X [Elaboración Propia].....	42
Figura 4-2 Calificación energética del edificio en energía primaria en CE3X [Elaboración Propia]	42
Figura 4-3 Calificación parcial de la demanda energética de calefacción y refrigeración en CE3X [Elaboración Propia]	43
Figura 4-4 Parámetros globales de la Calificación Energética elaborada en el proyecto de reforma del año 2022. [21]	43
Figura 4-5 Detalle de las Instalaciones de Iluminación en CE3X [Elaboración propia]	45
Figura 4-6 Introducción de aportación de energía por fuentes renovables en CE3X [Elaboración propia]	46
Figura 4-7 Calificación global de emisiones en CE3X con la implementación simulada de un sistema fotovoltaico ideal que cubre toda la demanda de energía eléctrica [Elaboración propia]	46
Figura 4-8 Certificación energética del Cuartel Marqués de la Victoria con la P0 aislada [Elaboración propia]	47
Figura 4-9 Certificación energética del Cuartel Marqués de la Victoria - ventanas y lucernarios con RPT [Elaboración propia]	48
Figura 4-10 Gráfica resumen de las distintas calificaciones en función de las propuestas planteadas para una segunda reforma [Elaboración Propia].....	48

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1 Tabla comparativa entre los sistemas LEED y CE para análisis de la eficiencia energética [Elaboración propia]	16
Tabla 3-1 Información requerida por CE3X [Elaboración propia]	21
Tabla 3-2 Elementos constituyentes de la envolvente térmica y sus características [Elaboración propia]	26

1 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

1.1 Energía y sociedad

La dependencia de la energía es un factor de la sociedad moderna que ha demostrado ser determinante para el desarrollo de cualquier plan económico, administrativo, geopolítico o bélico. En el entorno actual es un recurso valioso que, al menos por ahora, también es limitado. Y pese a los últimos avances en energías renovables y alternativas a los combustibles fósiles, las naciones siguen necesitando fuentes de energía tradicionales, controladas por actores muy concretos de gran peso internacional, cuya voluntad es voluble y no entiende de lealtades.

Tal como se puede apreciar en la Figura 1-1, Europa, y en ella España, tiene una producción de crudo que no se acerca a suplir sus necesidades, forzando a los países afectados a depender de importaciones internacionales.

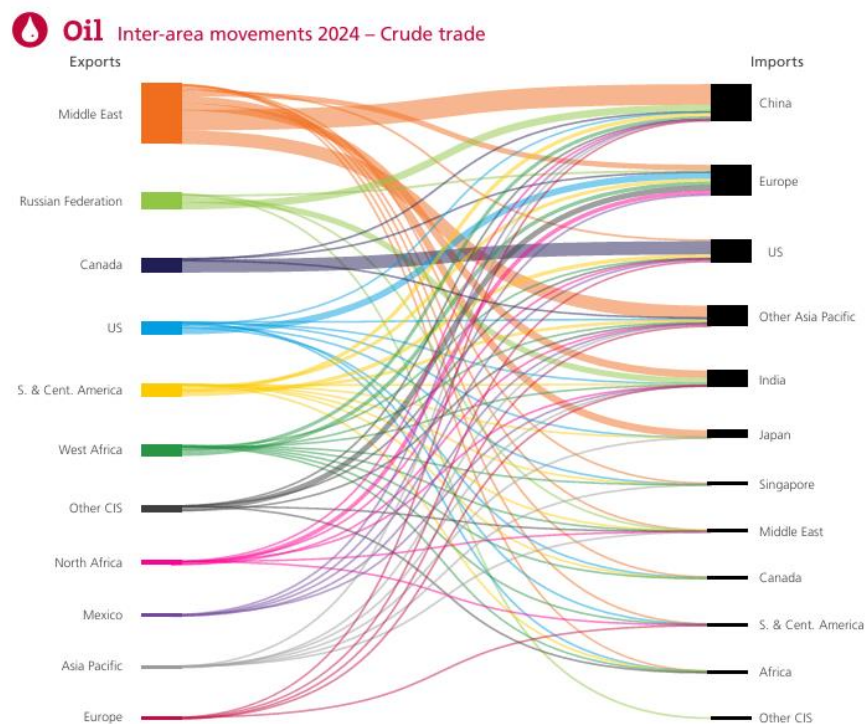


Figura 1-1 Gráfica de exportación-Importación de crudo por regiones del 2024 [32]

Adicionalmente, el entorno geopolítico actual destaca desde inicios de los 2000 por su gran tendencia hacia la inestabilidad. En un mapa donde las superpotencias comienzan a mostrar tendencias imperialistas, y el eje del poder que rige el orden mundial ya no se encuentra en el viejo continente, las naciones europeas se sienten vulnerables. Tras décadas de paz y una filosofía de confianza, nuestra capacidad productiva, industrial y exportadora se ha visto reducida de una forma alarmante. Entre estos sectores, por supuesto, se encuentra el energético, en el que el cierre de centrales nucleares y otras fuentes de energía alternativa ha reducido la capacidad nacional y europea y ha convertido a la comunidad en importadora. Esta dependencia de agentes externos en el competitivo entorno actual preocupa a los gobiernos comunitarios, y ha desencadenado una serie de medidas para revertir la situación. Entre ellas está el fomento del ahorro energético y la independencia energética como factor de protección, lo que ha convertido una tendencia ecologista y humanitaria en un verdadero reto de seguridad.

Son estas razones las que, entre otras cosas, han motivado a la Comunidad Europea desde el comienzo de siglo a sacar una serie de normas, con sus homólogos nacionales de cada país miembro, que garantizan que se apliquen las medidas oportunas para cumplir esta expectativa, y para que la población pueda disfrutar de los beneficios que esto conlleva en su vida diaria, al mismo tiempo que ayuda al cumplimiento de objetivos en su política medioambiental.

Estas iniciativas legales, fruto de reuniones y acuerdos internacionales, abarcan prácticamente todos los sectores de la sociedad. Este proyecto se enfoca en uno muy concreto: la edificación. Cuando se habla de consumo energético, el primer pensamiento es la industria, el transporte o las grandes empresas. Sin embargo, hay un segmento olvidado que silenciosamente absorbe grandes cantidades de energía a nivel nacional, sin ser noticia más que para destacar cómo afecta al bolsillo del particular: Los inmuebles.

Por ello en este trabajo vamos a ver un elemento clave de la gestión tanto europea como española de los recursos, el Certificado de Eficiencia Energética de los edificios.

Este certificado es preceptivo para cualquier edificio de uso comercial, público, o con el que se lleve a cabo cualquier actividad económica, así como para venta o alquiler, y sirve para clasificar las construcciones en función del uso global de energía que requieren para cumplir las condiciones de confort y habitabilidad o uso estipuladas. El resultado del mismo se presenta en una etiqueta normalizada, que se puede ver en la Figura 1-2.



Figura 1-2 Etiqueta de eficiencia energética 2025 [9]

En él se analizan varios campos globales de construcción y consumo que permiten, mediante cualquiera de las herramientas oficiales del Ministerio, obtener una nota basada en dos parámetros globales: las emisiones de CO₂ y el consumo en kWh, todos en medidas anuales. Según el tramo de emisiones y consumos en el que se encuentre, se emiten dos calificaciones por letras, de A a G, como se puede ver en la etiqueta tipificada emitida por el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO), en la Figura 1-2. Estos parámetros globales vienen de la ponderación del cálculo de consumos parciales de electricidad, calefacción y otros servicios, y su impacto en emisiones según la fuente de la que provienen y la eficiencia de las instalaciones.

1.2 La eficiencia energética en la edificación para el Ministerio de Defensa

Como ya mencionamos en el apartado anterior, hay muchos motivos además de la preocupación medioambiental para fomentar las políticas de ahorro energético. Siempre con el objetivo de ser una nación moderna, tecnológicamente avanzada y con peso en la política internacional, la administración pública y, muy especialmente el Ministerio de Defensa (MINISDEF), no pueden dejar pasar cualquier oportunidad de implantar cambios que hayan demostrado beneficios reales que mejoren la eficiencia de las unidades, sea en operaciones, logística o gestión de infraestructuras.

Para comenzar, como mencionamos en la sección 1.1, el gasto energético de los inmuebles es un factor a tener en cuenta en cualquier presupuesto de mantenimiento. Esto, si cabe, cobra más importancia en el MINISDEF por las particularidades intrínsecas de su parque inmobiliario: grandes hangares, edificios con requerimientos especiales de almacenamiento y seguridad, control térmico, o masivos espacios destinados a habitabilidad, que exigen unas condiciones de uso muy restrictivas y demandantes. Es una infraestructura que, sin el cumplimiento los requisitos adecuados, supone un sumidero de importancia capital para los presupuestos de arsenales y bases de tierra.

Adicionalmente, las mejores cualidades constructivas exigidas implican un mayor confort del personal que habita o trabaja en los distintos edificios, y retrasan la necesidad de actualizar o reparar los mismos, aumentando su vida útil y ahorrando tanto en coste económico como en coste de oportunidad, al dejar estas remodelaciones muchos espacios inutilizables periodos muy prolongados.

Por último, hay un fuerte componente político que no se puede ignorar. Seguir una normativa que, en primer lugar, es de obligado cumplimiento para el sector privado en su totalidad, y en segundo, es positiva para la sociedad, su implementación mejora la imagen de las Fuerzas Armadas de cara a la comunidad civil, lo que construye una posición fuerte del ministerio dentro del país, y beneficia enormemente la toma de decisiones potencialmente polémicas y el desarrollo de operaciones que podrían generar malestar en sectores de la población.

Todo esto se traduce en distintas iniciativas que el MINISDEF ya ha llevado a cabo en relación con el campo de la eficiencia energética. Ejemplos como la reapertura del cuartel Monte de la Reina con un proyecto muy enfocado en la Eficiencia energética, o la creación de un Plan Director de Gestión Energética en el año 2025 demuestran la importancia que ha cobrado esta tendencia. Se traduce en las particularidades de cada ejército en forma de directivas, en el caso de la Armada, la Directiva 2/2026 del Almirante Jefe del Estado Mayor de la Armada, por la que se regula la política de medio ambiente y eficiencia energética de la Armada. Un paso más que corrobora las intenciones del MINISDEF desde que en el año 2020, con la publicación de la Estrategia de Tecnología e Innovación para la Defensa (ETID), la sostenibilidad y eficiencia energética de la edificación consta oficialmente como uno de los objetivos tecnológicos destacados para el Ministerio de Defensa.

Estos hitos son el punto actual al cual se ha llegado con años de adaptación y regulación, en los que se incluye la iniciativa para elaborar un proyecto de reforma para el Cuartel de alumnos Marqués de la Victoria, que ha sido realizada en el año 2022 con el objetivo no solo de que cumpla las condiciones de habitabilidad, sino que lo haga alcanzando los estándares de eficiencia energética y sostenibilidad para la mentalidad actual.

Es tras este proyecto de reforma que surge la necesidad de estudiar y analizar la situación a la que ha llevado dicha obra respecto a la eficiencia energética mediante la elaboración de un Certificado Energético actualizado, que, en comparación con el obligatorio (por las particularidades del edificio), realizado durante el proyecto, sirve para saber si los objetivos han sido cumplidos y si la obra finalizada alcanza las expectativas energéticas, y cómo esto repercute a la Escuela Naval Militar y, por ende, a la Armada. En este contexto se propone un trabajo que *a priori* se puede ver muy alejado de la temática militar, como es la Calificación y elaboración del Certificado de Eficiencia Energética del cuartel Marqués de la Victoria. Con él, se obtiene el estado actual en relación a la eficiencia mediante herramientas oficialmente reconocidas, que permiten entender el alcance de la reforma y, al mismo

tiempo, ser un complemento académico a la formación ya recibida, ampliando los conocimientos de procedimientos oficiales y diversificando la visión de lo que es apoyar a la Armada.

1.3 Objetivos

El objetivo principal de este TFG es la elaboración de la Calificación Energética, con su Certificado Energético correspondiente, del Cuartel de Alumnos Marqués de la Victoria.

Adicionalmente, se espera conseguir varios puntos aledaños a este, importantes para un desarrollo completo y un conocimiento profundo de este trabajo. Estos son:

- La comprensión del alcance de la reforma llevada a cabo al Cuartel de Alumnos Marqués de la Victoria y su influencia en el consumo energético.
- La comparación de resultados con el certificado original en obra del proyecto de reforma.
- El análisis de las características térmicas y constructivas de dicha edificación, y el impacto que cada una de estas tienen en su gasto global.
- El análisis de los resultados de la calificación y el razonamiento de las causas de tales resultados.
- La propuesta de mejoras efectivas para obtener una calificación superior en futuros estudios, y su análisis mediante distintas simulaciones para obtener una propuesta real e informada.

1.4 Metodología

Para cumplir los objetivos establecidos en el punto 1.3, este trabajo se divide en 5 capítulos: Introducción, Estado del Arte, Proceso de certificación, Resultados y Conclusiones.

Para comenzar, en el Estado del Arte se desarrolla el marco normativo, desde sus orígenes hasta la actualidad, centrado principalmente en la Unión Europea y el entorno nacional, incluyendo pinceladas de otras metodologías extracomunitarias. Se presentan las herramientas con las que se trabaja en España, y por último se tratan varios trabajos de fin de grado relacionados con esta temática, y otros proyectos de defensa en el ámbito de la eficiencia energética de la edificación.

A continuación, en Proceso de certificación del Cuartel se selecciona el programa informático a emplear en este proyecto. Tras este punto, el lector encontrará un análisis detallado del edificio, incluyendo sus orígenes, localización y evolución a lo largo de la historia, y, en profundidad, su estado actual tras la reforma. Este estudio aglomera las características, que serán necesarias posteriormente para la elaboración del certificado, haciendo uso del programa informático elegido.

Tras esto se encuentra el capítulo 4, en el cual se presentarán los resultados de la calificación, se analizarán en detalle y se propondrán como mejoras la instalación de un sistema fotovoltaico y distintos modelos de reformas.

Por último, se presentan las conclusiones extraídas del trabajo, y se establecen las líneas futuras para otros proyectos, destacando el estudio sobre la implementación de la instalación fotovoltaica.

2 ESTADO DEL ARTE

2.1 Visión general del consumo energético en el sector de la edificación

Tal como se adelantaba en la introducción, el gasto anual de los edificios y construcciones es un gasto a tener en cuenta para la política energética nacional. Es en esta sección en la que se profundiza un poco más, para disponer de forma clara y precisa los datos que han llevado a esas conclusiones tanto a nivel nacional como internacional, que se reflejan en las decisiones tomadas por la clase política de diversos organismos.

Según el Programa para el Medio Ambiente de la ONU, en su reporte sobre el Estado Mundial de los Edificios en Construcción [1] publicado en marzo de 2024, en 2022 los edificios fueron responsables del 34% de la demanda mundial de energía y del 37% de las emisiones de dióxido de carbono (CO₂).

En Europa, la Directiva 2012/27/UE [2-3] informa de que el 40% del consumo de energía final de la Unión Europea para el año 2012 se debía a los edificios. A partir de esto continúa el desarrollo de una política de reducción de gasto energético que ya tiene por objetivo una reducción del 32,5% del gasto de energía final en relación con la consumida en el año 1990, equivalente a no superar las 763 millones de toneladas de equivalente de petróleo para la energía final según la Directiva (UE) 2023/1791 relativa a la eficiencia energética.

Y según ha publicado el Instituto para la Diversificación y el Ahorro de la Energía (en adelante IDAE) en su Estudio de consumo y gasto energético de los hogares españoles [4] para el año 2023, el 17,9% de la energía final del país fue consumida por el parque de viviendas. Esto supone, según se puede calcular a partir de los datos del Balance Energético de España [5] para el mismo año, publicado por la Secretaría de Estado de Energía, un gasto de 15.436,244 ktep (o tonelada equivalente de petróleo), que representaría 29.761,078 millones de euros no ahorrados en gasto energético [6] (Este término viene definido en la Orden TED/296/2023 como la base para el cálculo de la aportación para el Fondo Nacional de Eficiencia Energética). Cabe destacar que este cálculo solo computa para viviendas, a las que habría que añadirle el consumo de todos aquellos edificios de uso privado y público destinados a otros sectores (terciarios). En la Figura 2-1se puede ver el gasto energético total del país en el año 2023 dividido por sectores, del que se calcula el gasto en viviendas.

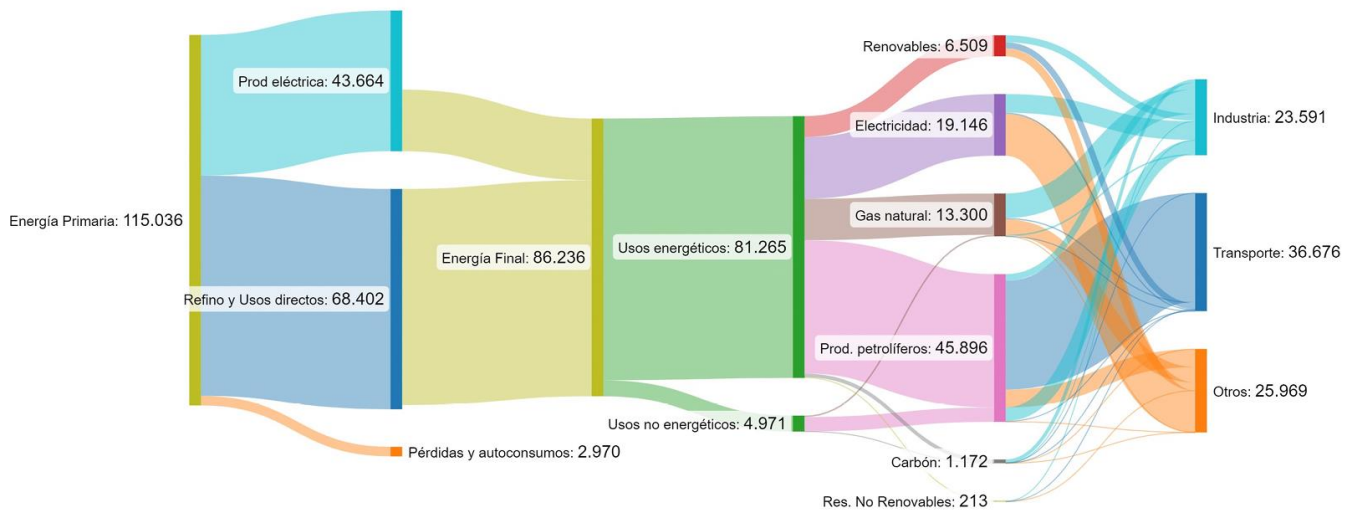


Figura 2-1 Diagrama Sankey de la energía en España en 2023. Cifras en ktep [5].

Es este gasto tan considerable lo que hace de la edificación un punto muy importante de la política energética, clave no solo para las aspiraciones ecológicas, sino también para la economía, la calidad de vida, y la defensa nacional, permitiendo la reducción de este ingente gasto (mediante regulaciones al sector de la construcción) no únicamente preservar más tiempo y gestionar de forma más adecuada los recursos naturales, sino mejorar la hacienda estatal, ayudar al ahorro en las familias y desvincular al país de los productores externos de energía.

Para este proyecto se debe tener en cuenta también que el gasto de una vivienda o edificación de uso residencial o terciario no industrial tiene unos puntos de gasto muy claros, con los que se debe contar a la hora de analizar el cuartel y sus resultados. Y es que según el IDAE en su estudio de consumos desde el año 2010 hasta el 2023, del que se extrae la Figura 2-2, la calefacción supone un 41,1% del consumo global mientras que el total de la electricidad alcanza el 38,8%.

Estructura del consumo por usos

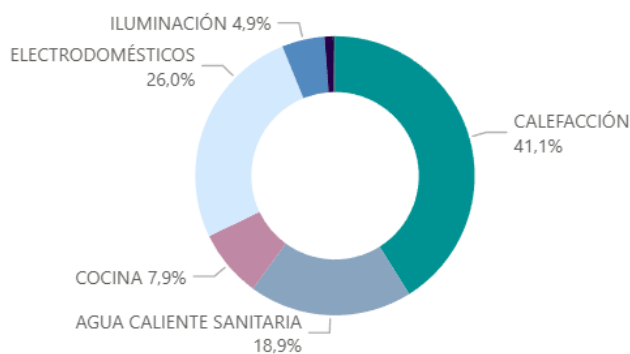


Figura 2-2 Detalle de consumo por usos en el sector residencial [33]

2.2 Marco normativo para la certificación energética de los edificios

La emisión de certificados energéticos, para ser efectiva en la consecución de sus objetivos medioambientales, económicos, políticos y sociales, necesita un fuerte respaldo normativo que, avalado por investigaciones y estudios detallados, asegure no solo que los procedimientos requeridos sean los más adecuados, sino que estos, efectivamente, se cumplan.

El primer intento de regulación surge con la Directiva 93/76/CE, promulgada en el año 1993, que promovía la eficiencia energética en los nuevos edificios. Sin embargo, no establecía obligaciones estrictas, y se avanzó, en el año 2002 a lo que realmente es la primera norma que introduce el concepto de Certificado Energético para edificios, la Directiva 2002/91/CE. En ella se estableció la obligatoriedad de que los estados miembros crearan una metodología de cálculo de la eficiencia energética de los edificios, y un sistema de certificación para nuevas construcciones que, a futuros, se exigiría en inmuebles ya existentes. Esta línea legal dará lugar a las distintas prerrogativas nacionales en los estados miembros, y evolucionará con la nueva Directiva 2010/31/UE, que amplía y actualiza los requisitos de eficiencia energética y certificación, incluidas metodologías de cálculo y la obligatoriedad del EPC para edificios existentes, además de introducir el concepto de Edificios de Consumo de Energía Casi Nulo (nZEB) [7]. Se mantiene actualizada con las Directivas 2018/844 y 2024/1275, estando la última en vigor, instando a los estados miembros a adaptar sus sistemas de certificación antes del 29 de mayo de 2026 a la nueva escala armonizada, que incluye nuevas posibles subcategorías de clasificación. En la Figura 2-3 se dispone de una línea temporal de la evolución normativa.

EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EDIFICIOS: NORMATIVAS UE Y ESPAÑA



Figura 2-3 Línea temporal normativas europeas sobre la eficiencia energética en edificios [Elaboración propia]

Es en este contexto en el que España crea su marco legal sobre la eficiencia y el certificado de eficiencia energética de la edificación, alineándose con la perspectiva europea. Su primer texto, motivado por la Directiva/2002/91/CE, es el Real Decreto 47/2007, del 19 de enero, que establece un procedimiento básico para la certificación energética de edificios de nueva construcción. Continúa la regulación de la mano de la UE, con el Real Decreto 235/2013, de 5 de abril, que obliga a disponer del certificado para venta y alquiler, y exige que la certificación sea profesional estableciendo requisitos de titulación y competencias para el técnico. Y, a remolque de la Comunidad, promulga los Reales Decretos 390/2021, de 1 de junio, y 659/2025, de 22 de julio que llevan a la norma tal y como la conocemos hoy en día.

En el ámbito nacional, el que se debe considerar en este trabajo, estos decretos, actualizados en el RD 659/2025 de 22 de julio, establecen el proceso que debemos llevar a cabo y que desarrollaremos en el apartado número 3. En ellos se pueden encontrar los distintos métodos a emplear, denominados Procedimiento General y Procedimiento Simplificado, y los diversos programas informáticos autorizados para realizar el estudio pertinente. También impone los requisitos profesionales para llevar a cabo el estudio, y la documentación técnica y burocrática necesaria para obtener la calificación y su consecuente etiqueta.

Tal y como está establecido en el Real Decreto 390/2021 [8], las infraestructuras que requieren un certificado de eficiencia energética son:

- “a) Edificios de nueva construcción.
- b) Edificios o partes de edificios existentes que se vendan o alquilen a un nuevo arrendatario.

c) Edificios o partes de edificios pertenecientes u ocupados por una Administración Pública, entendiendo por esta última la definida en el artículo 2.3 de la Ley 39/2015, de 1 de octubre, del Procedimiento Administrativo Común de las Administraciones Públicas, con una superficie útil total superior a 250 m².

d) Edificios o partes de edificios en los que se realicen reformas o ampliaciones que cumplan alguno de los siguientes supuestos:

1.º Sustitución, instalación o renovación de las instalaciones térmicas tal que necesite la realización o modificación de un proyecto de instalaciones térmicas, de acuerdo con lo establecido en el artículo 15 del Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios, aprobado por el Real Decreto 1027/2007, de 20 de julio.

2.º Intervención en más del 25 % de la superficie total de la envolvente térmica final del edificio.

3.º Ampliación en la que se incremente más de un 10 % la superficie o el volumen construido de la unidad o unidades de uso sobre las que se intervenga, cuando la superficie útil total ampliada supere los 50 m².

e) Edificios o partes de edificios con una superficie útil total superior a 500 m² destinados a los siguientes usos:

1.º Administrativo.

2.º Sanitario.

3.º Comercial: tiendas, supermercados, grandes almacenes, centros comerciales y similares.

4.º Residencial público: hoteles, hostales, residencias, pensiones, apartamentos turísticos y similares.

5.º Docente.

6.º Cultural: teatros, cines, museos, auditorios, centros de congresos, salas de exposiciones, bibliotecas y similares.

7.º Actividades recreativas: Casinos, salones recreativos, salas de fiesta, discotecas y similares.

8.º Restauración: bares, restaurantes, cafeterías y similares.

9.º Transporte de personas: estaciones, aeropuertos y similares.

10.º Deportivos: gimnasios, polideportivos y similares.

11.º Lugares de culto, de usos religiosos y similares.

f) Edificios que tengan que realizar obligatoriamente la Inspección Técnica del Edificio o inspección equivalente.”

Según la norma, para estos inmuebles se analizan el gasto de energía térmica, el gasto de energía eléctrica, y sus fuentes, diferenciando en su origen entre renovables y no renovables. Es preceptivo a su vez incluir las emisiones de CO₂ evitadas, en toneladas por año. Para esto, el técnico debe estudiar varios campos de la construcción, que incluyen pero no se limitan a: diferentes tecnologías empleadas en la edificación: Sistemas de climatización, ventilación y recuperación de calor, sistemas de iluminación, sistemas de monitorización y control; las particularidades de la edificación: envolvente (materiales y resistencias térmicas), influencia del ambiente (clima, orientación e influencia de elementos externos), uso del edificio; potenciales mejoras, estrategias pasivas y bioclimáticas, su costo, su rentabilidad anual y el tiempo de retorno de la inversión.

Con toda esta información, y haciendo uso de alguno de los programas informáticos aceptados por el MITECO. Se realiza el estudio de gastos energéticos por secciones del edificio, teniendo en cuenta pérdidas de calor por cubierta y envolventes, la eficiencia de los sistemas de calefacción, aerotermia, gas e iluminación, su requerimiento energético diario ponderado y su compensación mediante energías renovables. El procedimiento, que será desarrollado en la siguiente sección de esta memoria, involucra las medidas y estudios in situ, y los cálculos pertinentes apoyados por el programa elegido por el técnico. En la página oficial del ministerio se encuentran todos los enlaces de descarga de estos, y veremos sus características individualmente a continuación.

2.3 Herramientas informáticas y procedimientos de certificación

En este apartado se discuten todas las herramientas oficiales de certificación aprobadas por el MITECO, disponibles de forma visual en la Figura 2-4.

El Real Decreto 390/2021, en vigor (con la modificación del RD 659/2025), permite emplear cualquiera de ellos para certificar, independientemente del tamaño de la edificación, sin restricciones legales al certificado, siempre que el programa permita ese tipo de construcción (CERMA, por ejemplo, solo permite introducir viviendas unifamiliares). Esto ocurre porque el RD 390/2021 habla del Procedimiento Básico como método único de certificación. En este caso se diferenciarán los programas por tipos para su presentación, entre los que se emplean para los antiguos Procedimiento General y Procedimiento Simplificado, ya mencionados en el Marco Normativo como métodos particulares. Mantenemos así la clasificación para respetar la jerarquía establecida en la página oficial del MITECO [9] donde se publican los programas aprobados de esta manera.

Procedimiento general	Procedimiento simplificado
Simulación energética completa	Método abreviado · edificios existentes
HULC Herramienta Unificada LIDER-CALENER Pública	CE3 Certificación de Eficiencia Energética Pública
CYPETHERM HE Plus CYPE Ingenieros Privada	CE3X Efinovatic · residencial y terciario Privada
SG SAVE Software General de Simulación Avanzada Privada	CERMA Método abreviado · solo viviendas Privada
TeKton3D TK-CEEP iMventa Ingenieros Privada	

Figura 2-4 Herramientas de certificación energética aprobadas por el MITECO [Elaboración Propia]

Todos ellos permiten diseñar el edificio, con unos gráficos orientados a la practicidad que presentan de manera muy simplificada las formas, pero una capacidad muy amplia de cálculo que integra todos los sistemas asociados al gasto energético, y permite una gran especificidad en las características constructivas en cuanto a aislamiento y materiales.

La principal diferencia entre procedimientos y, a su vez, entre programas, es el nivel de detalle en el que se entra a la hora de reunir datos y procesarlos, siendo el Procedimiento General el más completo (y complejos sus programas), preparados para todo tipo de edificaciones, así como edificios industriales o bloques de viviendas construidos en obra nueva. Destaca en este procedimiento el software LIDER CALENER HULC, el único de origen estatal, y el programa de referencia para la elaboración de Certificados de Eficiencia Energética, con el cual se comparan todos los demás.

Adicionalmente se emplean los softwares privados CYPETHERM HE Plus (de la empresa Cype), SG SAVE (Efinovatic) y TeKton3D TK-CEEP (TeKton3D, último en ser reconocido en el año 2021). Han demostrado una capacidad de cálculo mayor que el HULC, con mejor capacidad de análisis de datos y un sistema de introducción de información y trabajo mucho más amigable al usuario. Destaca precisamente por su interfaz y curva de aprendizaje el SG SAVE, inspirado en el programa CE3X para el procedimiento simplificado que mencionaremos más adelante.

Por otro lado, el Procedimiento Simplificado está orientado como solución más económica en tiempo y dinero. En sus orígenes y hasta el RD 390/2021, este procedimiento solo permitía trabajar con edificios de viviendas y otorgarles una calificación de D o E [10-11]. Sin embargo, la normativa vigente permite su utilización indistinta por ley, y deja las limitaciones particulares a los propios programas con los que se lleva a cabo, que se tratan a continuación.

CE3X, de la empresa Efinovatic (creadora a su vez del SG SAVE) es el programa más ampliamente utilizado gracias a su interfaz intuitiva. Es también el único *software* del Procedimiento Simplificado que permite la calificación de edificios de nueva construcción, incluyendo pequeños y medianos terciarios, mediante la descarga de un complemento en la página del ministerio. Cabe destacar que su desarrollo ha sido llevado a cabo en colaboración con el Centro Nacional de Energías Renovables (en adelante CENER).

Por otra parte, el CE3, que comparte interfaz y capacidades de cálculo con el HULC, catalogadas en muchos casos por los usuarios como de difícil manejo y capacidad insuficiente para los estándares actuales [12].

Y por último tenemos el CERMA, que solo puede ser utilizado para construcciones de uso residencial, ya sea viviendas unifamiliares o en bloque.

Con estos datos, y probando los distintos programas, podremos decidir el más adecuado para este proyecto, con el que modelaremos el cuartel Marqués de la Victoria y obtendremos su certificado de eficiencia energética.

2.4 Comparativa con otros métodos internacionales

Dentro de la UE todos los países miembros siguen una línea muy similar, guiada por los acuerdos comunitarios. Sin embargo, otros estados han optado por sistemas alternativos que les aportan un valor similar y grandes ventajas en los campos de la eficiencia, independencia energética, sostenibilidad y bienestar social. Es el caso, por ejemplo, de Estados Unidos, que emplea, junto con otros 128 países [13], entre ellos gran cantidad de naciones latinoamericanas, el conocido como estándar LEED, un método de certificación integral creado por el *U.S. Green Building Council* (en adelante USGBC), que tiene en cuenta tanto el uso de energía como de agua, la gestión de los residuos, los materiales constructivos y sus calidades, y hasta el acceso al transporte público. Se emplea en todo tipo de infraestructuras, tanto de viviendas unifamiliares como de edificios, barrios, y hasta ciudades, con LEED City.

En la Tabla 2-1 se puede ver una comparativa entre los parámetros tenidos en cuenta en el Certificado energético español enfrentados a los del sistema LEED, para mostrar no solo las variaciones directas entre metodologías sino las diferencias fundamentales entre sociedades, corporaciones y organizaciones, que llevan a dichos grupos a decidirse a adoptar cualquiera de los dos sistemas.

Criterio	Certificación energética española	Sistema LEED
Objetivo de la certificación	Evaluar y comunicar al usuario y la administración la eficiencia energética del edificio (consumo y emisiones de CO ₂)	Evaluar la sostenibilidad integral del edificio
Naturaleza jurídica	Obligatoria por ley para venta, alquiler y nueva construcción. Regulación estatal	Voluntaria. Sistema de certificación privado internacional
Enfoque	Evaluación energética cuantitativa del rendimiento del edificio	Evaluación multicriterio de sostenibilidad ambiental
Infraestructura objetivo	Principalmente edificios residenciales y terciarios (existentes o nuevos)	Todo tipo de edificaciones e infraestructuras: residenciales, comerciales, industriales, urbanismo, interiores, etc.
Alcance de evaluación	Limitado al comportamiento energético del edificio	Integral: ciclo de vida, impacto ambiental, confort humano y eficiencia de recursos
Resultado del sistema	Etiqueta energética de la A a la G.	Nivel de certificación por puntos: Certified, Silver, Gold, Platinum
Método de evaluación	Cálculo normalizado del consumo energético teórico anual.	Sistema de créditos acumulables por cumplimiento de criterios de sostenibilidad
Base normativa o técnica	Procedimiento oficial regulado mediante reales decretos y normativa técnica estatal	Sistema técnico desarrollado por el U.S. Green Building Council con estándares propios (LEED v4, v4.1, etc.)
Momento de aplicación	Obligatoria en transacciones inmobiliarias y obra nueva	Puede aplicarse en diseño, construcción, operación o rehabilitación voluntaria

Tabla 2-1 Tabla comparativa entre los sistemas LEED y CE para análisis de la eficiencia energética [Elaboración propia]

Teniendo en cuenta la comparativa anterior, se aprecia en el sistema de Calificación energética español y europeo un enfoque práctico centrado en la economía, mientras que LEED busca el confort del usuario final, no el ahorro como colectivo en la sociedad, centrándose en la calidad de vida y la sostenibilidad a largo plazo.

2.5 Publicaciones y proyectos previos en relación con la eficiencia energética en edificios

La eficiencia y certificación energética es un tema que lleva ya varios años siendo priorizado y desarrollado, desde que se comprendió su importancia para el panorama global y nacional. Esta sección repasa no solo trabajos y estudios realizados en el mismo campo, de los que se ha obtenido información conceptual, de forma y de estructura, sino proyectos reales que han permitido analizar de primera mano los métodos, medidas correctivas y sistemas empleados en proyectos profesionales, a gran escala y en el ámbito de la defensa.

2.5.1 Estudios previos del campo de la eficiencia energética en la edificación

En este subapartado se mencionan algunos trabajos previos y documentos de estudio analizados para este TFG.

Universidad De Cantabria, Escuela Politécnica De Ingeniería De Minas Y Energía, Auditoría Energética De Un Edificio Terciario, Miriam Martínez Gómez, Julio de 2023 [14]. Este trabajo ha sido especialmente referente en la parte de desarrollo, por lo específico que es en el análisis de la construcción para tener en cuenta todos los elementos que afectan al cálculo energético.

Universitat Politècnica De València, Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño, Certificación energética de un edificio de viviendas existente y propuestas de mejora, Yanislava Georguieva, curso 2023/2024 [15]. Un documento muy orientativo en el uso de figuras y con una precisión normativa sumamente útil como punto de partida para este trabajo. Además, su concreción y desarrollo de las propuestas de mejora aporta una gran perspectiva de cara a elaborar dicho apartado de esta memoria.

Universidade de Coruña, Escola universitaria de Arquitectura Técnica, Estudio y análisis de la certificación energética en Europa aplicada a un edificio de viviendas y apartamento, Penas López, Daniel, Convocatoria 2015 [16]. La importancia de este documento para este TFG radica en el análisis que hace de la compleja normativa europea, que ayuda a comprender la filosofía comunitaria y nacional y cómo se implementa tan extensa normativa.

2.5.2 Proyectos reales sobre certificación y calificación energética de la edificación

En este subapartado se incluyen un par de proyectos destacados, especialmente útiles por su similitud con la situación tratada en este proyecto y las conclusiones que se han podido extraer de ellos.

El primero es la mejora de la eficiencia energética del Hospital Central de la Defensa 'Gómez Ulla'[17]. Esta reforma, comenzada a finales del año 2022, estaba nutrida por los fondos *Next Generation* de la Unión Europea, y encuadrada en los Planes de Recuperación, Transformación y Resiliencia. Contó con un presupuesto aproximado de 25 millones de euros, y supone un ejemplo y precedente claro de los sistemas de mejora de la eficiencia energética más rentables en efectividad-coste. En la Figura 2-5 se representa la relación de presupuestos asignados por objetivos. Este proyecto cobra especial importancia no solo por la información y tendencia constructiva que se puede extraer de él, sino por su pertenencia al Ministerio de Defensa. Con él, y con su motivación y normativa circundante, queda clara la intención y expectativas del MINISDEF para sus infraestructuras.

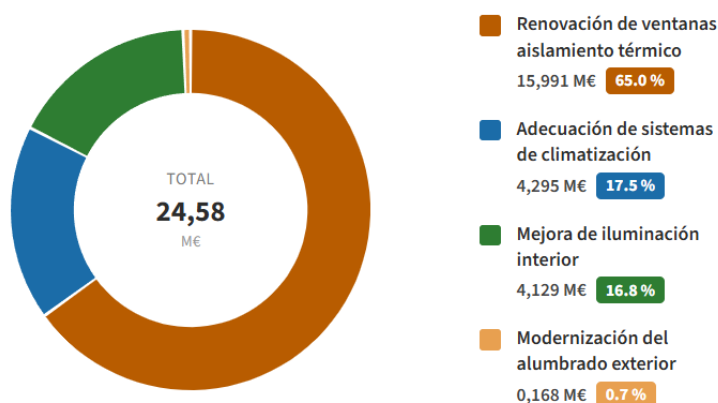


Figura 2-5 Gráfica de presupuestos por secciones de actuación para el proyecto de renovación del Hospital Central de la Defensa Gómez Ulla [Elaboración Propia]

El total del presupuesto se divide en cuatro grandes áreas. Entre ellas destaca, con el 65% del presupuesto, la renovación de ventanas y otros huecos. Es un gasto enorme debido al precio de sistemas con el aislamiento adecuado y la gran cantidad de ellos necesarios para esta infraestructura completa, pero es una medida muy importante en las mejoras de eficiencia energética, por la importante cantidad de calor que se pierde a través de huecos mal aislados. Esto lo convierte en un punto objeto de estudio para este trabajo. El resto de las medidas involucran la mejora de la climatización, influyente en las emisiones según la eficiencia de sus sistemas, y la modernización del alumbrado interior y exterior.

En segundo lugar, se debe mencionar el “Proyecto de intervención en mejora de eficiencia energética y la envolvente térmica mediante la sustitución de las carpinterías y vidrios en conjunto histórico de edificios Academia General Militar”. También desarrollado en el año 2022, involucró la renovación de todas las carpinterías exteriores de los edificios históricos de la academia, con un presupuesto de 4.974.808,63 euros [18]. Cobra importancia por la enorme similitud, entorno situacional y restricciones que comparte con el proyecto desarrollado para la reforma del Marqués, siendo también edificios protegidos y de regulación especial por su importancia histórica.

En el ámbito global de Defensa, hay que destacar el marco que permite tomar estas y muchas otras medidas (rehabilitación de cuarteles como los de Viator, Ceuta o León, instalación de energías renovables, vehículos eléctricos). Este marco está compuesto por el ya mencionado Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia, y el ya mencionado Plan Estratégico de Eficiencia Energética [19], que establece los siguientes objetivos dentro del MINISDEF: Que las energías renovables supongan un 25% de la energía consumida para el año 2032, reducir los consumos y dependencia energética de los sistemas convencionales en un 40%, y una reducción del consumo de los edificios de energías convencionales en un 30% [20].

3 PROCESO DE CERTIFICACIÓN DEL CUARTEL

3.1 Elección del programa de calificación y análisis de su método de trabajo

3.1.1 Elección del Programa

Tras el análisis de los distintos programas contemplados en el apartado 2.3 es posible concluir que el más adecuado para la realización de este trabajo es el ya mencionado CE3X. Se puede ver dónde está encuadrado en la Figura 3-1.



Figura 3-1 Resumen gráfico de funcionalidades, flujo de trabajo y características de CE3X [Elaboración Propia].

Es un programa completo e intuitivo, con una curva de aprendizaje asequible propicia para empezar en un trabajo como el que estamos realizando. Teniendo en cuenta que con la normativa actual cumple todos los requisitos para ser empleado en este proyecto y que permite introducir de forma precisa una gran cantidad de información para el cálculo de la eficiencia, es una herramienta perfectamente válida para ser empleada en este trabajo. Además, siendo uno de los *softwares* más extendidos tanto en los estamentos públicos como en los privados, facilitaría, si fuese necesario, futuras revisiones del proyecto.

Por otra parte, CE3X dispone de actualizaciones más frecuentes y un mayor soporte que su homólogo público, CE3, y la diferencia de su capacidad de cálculo con su homólogo del procedimiento general, SG SAVE, es mínima en comparación con los beneficios que aporta su simplicidad de uso, y su mayor estabilidad como programa.

Como ventajas se debe mencionar que no requiere de programas externos de diseño. En casos como el propio SG SAVE, el usuario se ve obligado no solo a aprender a utilizar la herramienta de certificación, sino también a diseñar el edificio en programas externos, como SketchUp, e importarlos para introducir sus características de forma gráfica. Tiene además un sistema de elaboración de

certificados automatizado intuitivo y simple, con una representación de datos muy clara, y una exportación muy sencilla. Dado que ningún *software* permite la interoperabilidad con otras herramientas de certificación, su extensión y comunidad de usuarios es sumamente importante, ya que, si se elige un programa menos común, será difícil que otras personas trabajen posteriormente en el mismo proyecto. Por último, tiene gran cantidad de información del código técnico parametrizada, de modo que, ante la falta de datos o en determinadas condiciones, establece automáticamente el parámetro por defecto avalado por el CTE, al contrario que otros programas más complejos, como es el caso de HULC o CYPETHERM, que, por permitir mayor autonomía al técnico de personalizar la información, muchas veces se quedan cortos a la hora de facilitar el flujo de trabajo. Para este proyecto, en el que no se realizan análisis experimentales directos, esto es un punto importante, ya que los datos no obtenidos por la investigación de la información disponible sobre la reforma (que es muy completa), deberán ser estimados en la forma en la que manda la normativa.

3.1.2 Método de trabajo

Una vez escogido el programa a emplear procedemos a estudiarlo en profundidad, con el objetivo de tener una visión clara de la información necesaria para realizar el cálculo. A lo largo del apartado veremos a su vez el manejo de la interfaz, con la que el técnico certificador ha de estar familiarizado.

Lo primero e indispensable en una certificación energética al uso es proporcionar la información legal requerida para que el mismo sea válido, y que viene definida en los distintos Reales Decretos que componen el marco de este trabajo, actualizada por última vez en el RD 659/2025 con sus modificaciones a los requisitos a cumplir como certificador autorizado. Esta información viene predeterminada en el propio CE3X, ya que es indispensable para ser admitido como programa autorizado. La veremos en la Figura 3-2, que muestra la pestaña Datos Administrativos, que procederemos a cumplimentar en el apartado 3.3 Certificación.

The screenshot shows the 'Datos administrativos' tab of the CE3X software interface. The form is organized into three main sections:

- Localización e identificación del edificio:**
 - Nombre del edificio: Cuartel de Alumnos Marqués de la Victoria
 - Dirección: Plaza de España s/n
 - Provincia/Ciudad autónoma: Pontevedra
 - Localidad: Redondela
 - Código Postal: 36920
 - Referencia Catastral: 4239030NG2943N00011Z
- Datos del cliente:**
 - Nombre o razón social: Escuela Naval Militar
 - Dirección: Plaza de España s/n
 - Provincia/Ciudad autónoma: Pontevedra
 - Localidad: Marín
 - Código Postal: 36920
 - Teléfono: (empty)
 - E-mail: pararan@mde.es
- Datos del técnico certificador:**
 - Nombre y Apellidos: Pablo Araújo Raña
 - Razón social: (empty)
 - Dirección: Escuela Naval Militar
 - Provincia/Ciudad autónoma: Pontevedra
 - Localidad: Marín
 - Código Postal: 36920
 - Teléfono: (empty)
 - E-mail: pararan@mde.es
 - NIF: 39514429S
 - CIF: (empty)

Figura 3-2 Interfaz de CE3X en su pestaña Datos Administrativos [Elaboración Propia]

Como es natural, tratándose este de un trabajo académico, y no una certificación profesional, se ha omitido los campos que no aplican en esta situación, o que no puedo obtener por fuentes abiertas,

incluyendo entre ellos un CIF o la Razón Social. Por otra parte, en cuanto a datos del edificio, la referencia catastral ha sido obtenida de la página oficial del catastro, apreciable en la Figura 3-3.

Consulta y certificación de Bien Inmueble

[CARTOGRAFÍA](#)
[CONSULTA DESCRIPTIVA Y GRÁFICA](#)
[IMPRIMIR DATOS](#)
[VISOR 3D](#)

DATOS DESCRIPTIVOS DEL INMUEBLE

Referencia catastral
4239030NG2943N0001IZ  

Localización QJ ESCUELA NAVAL MILITAR
36900 MARIN (PONTEVEDRA)

Clase Urbano

Uso principal Edif. Singular

Superficie construida  11.296 m²

Año construcción 1946

Figura 3-3 Datos oficiales del Catastro sobre el cuartel Marqués de la Victoria [35]

CE3X tiene, como se puede ver también en la Figura 3-2, otras tres pestañas por defecto: Datos Generales, Envolverte térmica e Instalaciones. En ellas se solicitan desde datos constructivos hasta el año de construcción. La Tabla 3-1 recoge los campos más amplios divididos por pestañas.

Datos Generales	Envolverte térmica	Instalaciones
Datos Generales	Tipo de envolverte	Instalaciones del edificio
Descripción del edificio	Dimensiones	Características de las instalaciones
	Parámetros característicos del cerramiento	Rendimientos

Tabla 3-1 Información requerida por CE3X [Elaboración propia]

Dentro de estos parámetros, los datos generales implican un vistazo a las características de vida del edificio: año de construcción, entorno y zonas climáticas, normativa a aplicar y disposiciones interior y exterior. En cambio, en las pestañas Envolverte térmica e Instalaciones el funcionamiento básico del programa implica crear de forma virtual cada una de las plantas del edificio, introduciendo sus particularidades de modo que el cálculo sea lo más preciso posible. En la Figura 3-4 pueden ver el formato de trabajo de estas secciones. Como se menciona en el apartado 3.1.1 Elección del programa, CE3X no requiere de un diseño gráfico del edificio. La construcción virtual del mismo y sus características se realizan a través de un árbol de dependencias que permite crear cada uno de los elementos constructivos de manera paramétrica, sin diseño gráfico visual, pero que el programa constituye en sus cálculos de forma que obtiene las características energéticas y térmicas globales.

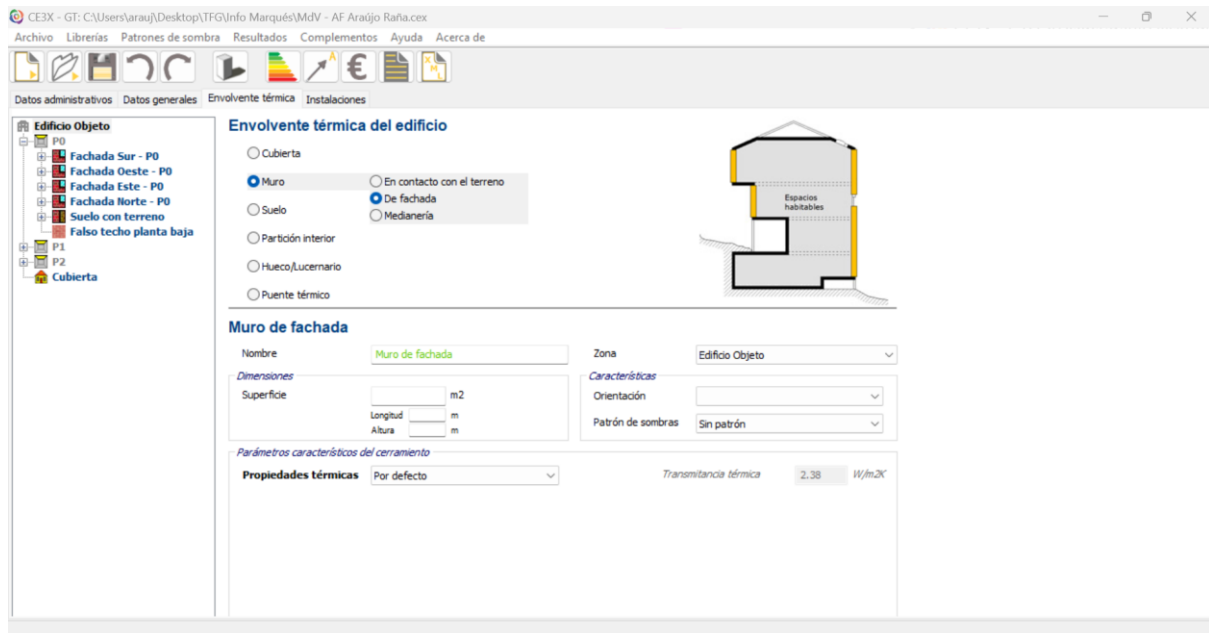


Figura 3-4 Interfaz del programa CE3X en su sección envolvente térmica [Elaboración propia]

Conocido el método de trabajo del *software*, el siguiente apartado, el 3.2, recoge toda la información que ha sido posible obtener relativa a las condiciones actuales de la edificación, que servirán para elaborar el certificado energético en el apartado 3.3. Todos estos datos permitirán introducir la información más completa posible relativa a las características energéticas y constructivas del edificio. En cada uno de los pasos de la certificación se detalla exactamente la información requerida para cada elemento o sección involucrada, que se introducirá en la forma que se ha visto en este subapartado.

3.2 Descripción del edificio

3.2.1 Generalidades

Para llevar a cabo el certificado de eficiencia energética es necesario un conocimiento profundo y detallado del edificio que proporcione la información necesaria para obtener una calificación precisa y real. Por ello en esta sección ampliaremos la información sobre el mismo en todos los ámbitos necesarios para la certificación.

Evolución Histórica



Figura 3-5 Imagen del polígono de tiro Jaime Janer, previa reconversión al cuartel de alumnos [23]

El edificio actual fue construido en el año 1943, mediante la adición de dos plantas a parte del Polígono de Tiro Jaime Janer original del 1929.

En su historia ha sufrido varias remodelaciones, siendo de especial importancia la reforma de gran alcance efectuada en el 2001, y siendo la última la ya mencionada del año 2022, para adecuarse a las

nuevas exigencias de habitabilidad y cumpliendo con la Instrucción para Edificios de Alojamiento de Tropa y Marinería [21].

Características Constructivas

Sus características constructivas están fuertemente ligadas a su historia. Profundizaremos en ellas en el apartado 3.2.2 Estructura y Envolvente, pero es interesante introducir en este apartado la diferencia constructiva entre el edificio de planta baja original, cuya estructura está compuesta por mampostería de granito de 780 mm, y las dos plantas superiores, de ladrillo hueco simple con cámara de aire, de 330 mm. Todo el edificio carece de pilares, apoyándose los forjados en su totalidad sobre muros de carga.

Está localizado dentro del recinto de la Escuela Naval Militar. Su posición dentro de la misma está marcada con un círculo en la Figura 3-6. Es de tipo residencial, conformado por tres plantas de 3000 m² de superficie útil cada una, y de los cuales 4070 m² son habitables. El reparto de superficies por uso se puede ver en la Figura 3-7.

Dividido en planta baja, primero y segundo, en él se integran tanto los alojamientos, de las plantas superiores y planta baja, como el Comedor de Alumnos, el pañol del condestable (almacén y taller de armas portátiles y munición) y otros servicios comunes, como la sala de calderas. Sus características particulares de uso, superficie e instalaciones determinan su obligatoriedad según la legislación vigente de obtener el certificado de eficiencia energética.



Figura 3-6 Posición del cuartel Marqués de la Victoria dentro del recinto de la ENM [35]

De acuerdo con el Plan General de Ordenación Municipal (en adelante PGOM) del Concello de Marín, aprobado en 2012, el conjunto de la Escuela Naval Militar se considera como “Sistema General de Defensa Nacional con ordenanza específica”. Esto viene representado en el Anejo de “Normativa Urbanística”, e implica que el Concello de Marín no tiene pleno poder de decisión para la emisión o rescisión de licencias de obra o reforma, y que solo ejercerá de supervisor para el cumplimiento de medidas nacionales (PRL, señalización y otros elementos de seguridad), siendo la licencia de obra solicitada vía Ministerio de Defensa con un plan de ordenación específico.

Adicionalmente el edificio está incluido en el Catálogo de Patrimonio Cultural de la Consellería de Medio Ambiente e Ordenación do Territorio de la Xunta de Galicia [22], denominado como “Antiguo Cuartel de Alumnos de la Escuela Naval”. En el Catálogo del PGOM de Marín se contempla al edificio como parte del conjunto arquitectónico de la ENM y se asignan al edificio un Grado de Protección Ambiental, se lo clasifica como suelo urbano, y se limitan las acciones que se pueden desarrollar respecto

al mismo, siendo las actuaciones permitidas: restauración, conservación, consolidación, rehabilitación y reestructuración; y las actuaciones prohibidas: derribo total.

Planta	Zona	S _{útil} (m ²)	S _{construida} (m ²)	S _{actuación} (m ²)
Baja	Cocina	438.67	2972.98	1284.28
	Comedor (*)	831.58		
	Habitaciones	114.87		
	Instalaciones (*)	76.80		
	Paños (*)	83.75		
	Pañol Condestable (*)	172.79		
	Escaleras	137.00		
	Patios	455.98		
Primera	Terrazas	137.76	2028.77	2028.77
	Habitaciones	781.60		
	Baños	173.84		
	Pasillos	246.51		
	Escaleras	137.00		
	Paños	69.85		
	Sala de Lectura	146.60		
Segunda	Terrazas	137.76	2028.77	2028.77
	Habitaciones	902.69		
	Baños	173.84		
	Pasillos	234.71		
	Escaleras	137.00		
	Paños	69.85		

Figura 3-7 Tabla de superficies del Cuartel de Alumnos Marqués de la Victoria. [23]

Esta consideración ha sido tenida en cuenta en la remodelación del año 2022, apoyándose esta en los artículos 155 y 156C dentro del Capítulo VI del PGOM en vigor de Marín, publicado en el Boletín Oficial de la Provincia de Pontevedra el 15 de octubre de 2012.

Por ello en dicha remodelación se llevaron a cabo únicamente actuaciones que no contravinieran estas exigencias, consistiendo estas en: un refuerzo estructural adicionado por la parte interna de los muros de carga, de modo que no afecte a la envolvente exterior del edificio; la construcción de una escalera de evacuación y soportes para una pasarela de mantenimiento; la adecuación del edificio para cumplir las exigencias de seguridad en caso de incendio, incluyendo la cocina del comedor de alumnos, considerada un local de riesgo alto; En cuanto a las secciones del código técnico de obligado cumplimiento para la obra a discutir, vienen reflejadas en la Memoria Descriptiva del Proyecto de Remodelación del Cuartel Marqués de la Victoria[23] del año 2022 aquellas secciones del CTE que está exento de cumplir por sus particularidades, y en la Memoria Constructiva las actuaciones llevadas a cabo de forma efectiva.

En el ámbito de trabajo de la eficiencia energética, debido precisamente a su calificación como Edificio Protegido en el PGOM, especifica en la Memoria Descriptiva las secciones del CTE-HE de aplicación para la reforma, y que se tendrá en cuenta a la hora de obtener la certificación energética.

Por sus características particulares el cuartel quedó exento del cumplimiento de las normativas sobre energías renovables, y que únicamente fueron de aplicación para la reforma los siguientes apartados del CTE DB-HE.

- HE1 Condiciones para el control de la demanda energética
- HE2 Condiciones de las instalaciones térmicas
- HE3 Condiciones de las instalaciones de iluminación

Se pueden consultar en el DB-HE M, modificaciones del RD 450/2022[4].

Para más detalles, la cita textual del Proyecto se encuentra en el Anexo 2.

3.2.2 Estructura y envolvente del edificio en su estado actual.

Comenzamos con el análisis estructural del edificio. Son interés de este trabajo todos aquellos aspectos que afecten al gasto energético, empezando por los cerramientos exteriores.



Figura 3-8 Vista de alzado del Cuartel Marqués de la Victoria [23]

La envolvente del edificio se compone de los cerramientos exteriores de las tres plantas, con sus correspondientes elementos de carpintería exterior (puertas y ventanas), la cubierta y el suelo en contacto directo con el terreno. Los cerramientos superiores se diferencian entre la planta baja y las plantas superiores, siendo en la P0 muros de mampostería de granito, enfoscados interior y exteriormente con mortero de cemento, con un espesor total de 780 mm, y las dos plantas P1 y P2 muro de carga de ladrillo hueco, de espesor aproximado 350 mm, cámara de aire de 100 mm y hoja interior de rasilla de ladrillo de 30 mm de espesor, con un espesor total de cerramiento de 550 mm. Se desconoce la composición del suelo, que podría tratarse, según el proyecto, de algún tipo de forjado sanitario. Las transmitancias térmicas de dichos cerramientos opacos se encuentran en la Figura 3-9.

En la Tabla 3-2 se resumen las principales características térmicas de estos elementos, según la información extraída de la memoria de construcción del proyecto [23].

El extracto completo de la memoria constructiva del que han sido obtenidos los datos se encuentra en el Anexo 4.

Dichos párrafos especifican las modificaciones completas a los cerramientos verticales, incluyendo sus nuevos aislamientos, con datos constructivos y de transmitancias de calor, e incluyendo las carpinterías exteriores del edificio, de las cuales varias han sido modificadas para cumplir con la normativa de seguridad ante incendios (DB-SI2[25]), cambiando sus características térmicas.

Estas modificaciones se tendrán en cuenta a la hora de elaborar la certificación energética.

Por último, los suelos en contacto con el terreno y las terrazas no sufren ninguna modificación que cambie su comportamiento térmico o que afecten a la envolvente térmica de los espacios habitables, de modo que únicamente es necesario mencionar la cubierta. Según el mismo documento la cubierta fue completamente renovada en la primera fase del proyecto de reforma, y consta de un aislamiento en forma de paneles de lana mineral de 100 mm y conductividad térmica 0,036 W/mK. Su transmitancia térmica también se incluye en la Tabla 3-2.

Elemento	U_{lim} [W/m ² ·K] (zona C)	$U_{calculado}$ [W/m ² ·K]	Comprobación
Muros en contacto con el exterior (P0)	0,49	0,50	Supera el valor límite
Muros en contacto con el exterior (P1, P2)	0,49	0,257	Por debajo del valor límite
Suelo en contacto con el terreno	0,49	0,290	Por debajo del valor límite
Cubierta en contacto con el aire exterior	0,40	0,275	Por debajo del valor límite
Particiones interiores env. térmica	0,70	0,257	Por debajo del valor límite
Huecos (carpinterías exteriores)	2,10	3,78	Supera el valor límite

Figura 3-9 : Tabla de transmitancias del Cuartel de Alumnos [23].

Elemento	Aislamiento	Transmitancia térmica
Cerramientos exteriores P0	Aislamiento térmico de lana mineral de 45 mm	$U = 0,50 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$
Cerramientos exteriores P1/P2	Inyección de espuma de poliuretano de baja densidad (12-18 kg/m ³) y conductividad térmica 0,038 W/m·K en el interior de la cámara existente	$U = 0,257 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$
Carpinterías exteriores	Aluminio con doble acristalamiento, sin ruptura de puente térmico	58 ventanas de 1600x2400 mm 18 ventanas de 1200x2400 mm 3 ventanas de 1300x2400 mm 2 ventanas de 2000x2400 mm
Carpinterías exteriores	Vidrio cortafuegos con rotura de puente térmico	10 ventanas de 1600x2400 mm 6 ventanas de 1200x2400 mm 3 ventanas de 1300x2400 mm 4 ventanas de 2000x2400 mm
Puertas cortafuegos	-	2 de 1600x2000 mm
Puertas de acceso a las terrazas exteriores	Con rotura de puente térmico	4 de 1800x2600 mm
Puertas exteriores de acceso al edificio acristaladas	Con rotura de puente térmico	3 de 1800x2600 mm
Ventanales fijos	Doble acristalamiento y ruptura de puente térmico	2 de de 1800x1000 mm
Cubierta	Lana mineral de 100 mm	$U = 0,275 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$

Tabla 3-2 Elementos constituyentes de la envolvente térmica y sus características [Elaboración propia]

Se puede apreciar que los muros en contacto con el exterior y los huecos de carpinterías exteriores, ya mencionados en los párrafos anteriores, superan el valor límite admitido por el DB-HE 1. Este valor establece la transmitancia total máxima por superficie admisible para asegurar la calidad de la construcción. Sin embargo, tal y como viene reflejado en el proyecto, acogándose a este mismo documento, en reformas se podrán superar los valores de la tabla 3.1.1.a-HE1 (Figura 3-10) cuando el coeficiente global de transmisión de calor (K) obtenido considerando la transmitancia térmica final de los elementos afectados no supere el obtenido aplicando los valores de la tabla 3.1.1c – HE1.

Teniendo esto en cuenta, en el propio proyecto se realiza una media ponderada de la transmitancia térmica de cada elemento constructivo y su superficie, incluyendo también la contribución de los puentes térmicos (encuentros de forjados con fachadas y contornos de huecos). Los datos empleados se encuentran en las Figuras 3-11 y 3-12.

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) Medianerías o particiones interiores pertenecientes a la envolvente térmica (U_{MD})	0,90	0,80	0,75	0,70	0,65	0,59
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					

Figura 3-10 Tabla 3.1.1.a - HE1 Valores límite de transmitancia térmica, U_{lim} [W/m^2K] [24]

Elemento	U [$W/m^2 \cdot K$]	Superficie [m^2]
Muros en contacto con el exterior (P0)	0,50	1.152,81
Muros en contacto con el exterior (P1, P2)	0,257	2.959,38
Suelo en contacto con el terreno	0,29	1.090,00
Cubierta en contacto con el aire exterior	0,275	1.460,00
Particiones interiores env. térmica	0,257	680,00
Huecos (carpinterías exteriores)	3,78	608,13

Figura 3-11 Tabla de transmitancias globales en relación con su superficie. [23]

Puentes térmicos	U [$W/m \cdot K$]	Longitud [m]
Encuentros fachada - forjado	1,20	1.184,70
Contornos huecos (planta 0)	0,02	290,40
Contornos huecos (plantas 1 y 2)	0,17	889,60

Figura 3-12 : Tabla de transmitancias debidas a puentes térmicos en relación con su longitud. [23]

El cálculo de dicho coeficiente, según afirma el proyecto, equivale a $0,777 W/m^2 \cdot K$, menor que los $0,82 W/m^2 \cdot K$ determinados como valor límite para nuestra zona climática C.

	Compacidad V/A [m^3/m^2]	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	$V/A \leq 1$	0,96	0,81	0,76	0,65	0,54	0,43
	$V/A \geq 4$	1,12	0,98	0,92	0,82	0,70	0,59

Figura 3-13 Tabla 3.1.1.c - HE1 Valores límite de transmitancia térmica, U_{lim} [W/m^2K] [24]

Toda esta información también será tenida en cuenta al momento de elaborar su certificado energético.

3.2.3 Distribución interior

La reforma llevada a cabo en el año 2022 y que motiva este TFG afectó no solo a la estructura externa de la edificación sino también, y más notablemente, en realidad, a su distribución interna. La tabiquería interna de las dos plantas superiores fue completamente derribada, para ser reconstruida con las características recopiladas a continuación. Se hará hincapié en aquellas que efectivamente aporten algo al cálculo energético. Ciertamente, es la envolvente, que evita la pérdida de calor al exterior, el aspecto que más se tiene en cuenta a la hora de certificar, pero los materiales y diseño interiores facilitan mucho la economización de la energía al dificultar precisamente que todo el calor interno del edificio pueda tener contacto directo con dicha envolvente.

Comenzamos por las plantas primera y segunda, al haber sido cambiadas por completo. En la Figura 3-14 y la Figura 3-15 se pueden ver en detalle las nuevas distribuciones interiores de ambas.



Figura 3-14 Plano de la planta primera del cuartel Marqués de la Victoria [23]



Figura 3-15 Plano de la planta segunda del cuartel Marqués de la Victoria [23]

La principal diferencia radica en la superficie C11 de la planta primera, denominada sala de lectura, estando el espacio análogo de la planta segunda destinado a habitaciones (Figura 3-4).

En estos planos se puede apreciar la nueva distribución interna, que ha sido cambiada de los anteriores sollados comunes a camaretas de cuatro individuos con estudio propio, lo cual implica una gran cantidad de tabiquería añadida y otras adaptaciones que influyen en el consumo energético, y que dependen en gran medida de los materiales empleados.

Para este caso, se dispone de cuatro tipos de particiones interiores a tener en cuenta, en lo que al aislamiento térmico se refiere:

- Trasdoso directo de muros de carga existentes. Formado por: aislamiento térmico (constituido por un panel semirrígido de lana de roca de 40), tabique de ladrillo hueco sencillo recibido con mortero de cemento, con banda elástica perimetral, guarnecido con yeso negro y enlucido con yeso blanco de 15 mm de espesor medio.
- Trasdoso autoportante en los muros de carga interiores, empleando trasdoso con paneles de yeso laminado de alta dureza, de 15 mm de espesor, montados sobre una estructura de perfiles de acero galvanizado modulada a 400 mm de separación entre montantes verticales, y con un aislamiento térmico de lana mineral de 45 mm.
- Partición interior vertical de doble hoja de fábrica de ladrillo hueco doble cerámico, con capa intermedia de aislamiento térmico acústico de paneles rígidos de lana mineral de 40 mm de espesor, guarnecido con yeso negro y enlucido con yeso blanco de 15 mm de espesor medio por ambas caras.
- Cegado de huecos en muros existentes, empleando fábrica de ladrillo hueco doble cerámico de 7 cm de espesor.

La importancia de la tabiquería interior radica en la estimación de la inercia térmica de la construcción, determinada en el programa, Datos Generales, como Masa de las Particiones Internas. Este es un valor estimado que depende de la masa por metro cuadrado de las particiones interiores, y como referencia se suele tomar como “Media” una masa de 200-500 kg/m², o, por materiales, una tabiquería de ladrillo hueco simple o doble, aislado. Alta se reservaría a muros de piedra de grosor considerable (para este caso, la envolvente térmica de la P0, que no aplica a este campo), y ligera, para paneles de pladur o yeso simples o dobles no aislados.

Otro elemento de interés en el proyecto es el cambio de los falsos techos. Estos, además de aportar estética y ocultar los pasos de servicios como la corriente eléctrica y el agua, proporcionan un aislamiento térmico importante no solo para economizar energía, sino para el confort de los usuarios: El Marqués de la Victoria, con una distancia entre forjados de aproximadamente cinco metros, requeriría mucho más calor para alcanzar una temperatura cómoda en el espacio habitable sin un falso techo. El tipo de instalación y su repercusión térmica vienen reflejados en la Memoria Constructiva. Los párrafos exactos se encuentran citados en el Anexo II, y de ellos extraemos que, para los falsos techos, respecto al aislamiento térmico se emplea lana mineral en lugar de lana de roca. Por su construcción, en todos los falsos techos se han empleado 100 mm de lana mineral cuya conductividad térmica, recogida también en la Memoria Constructiva, es de 0,036 W/m·K.

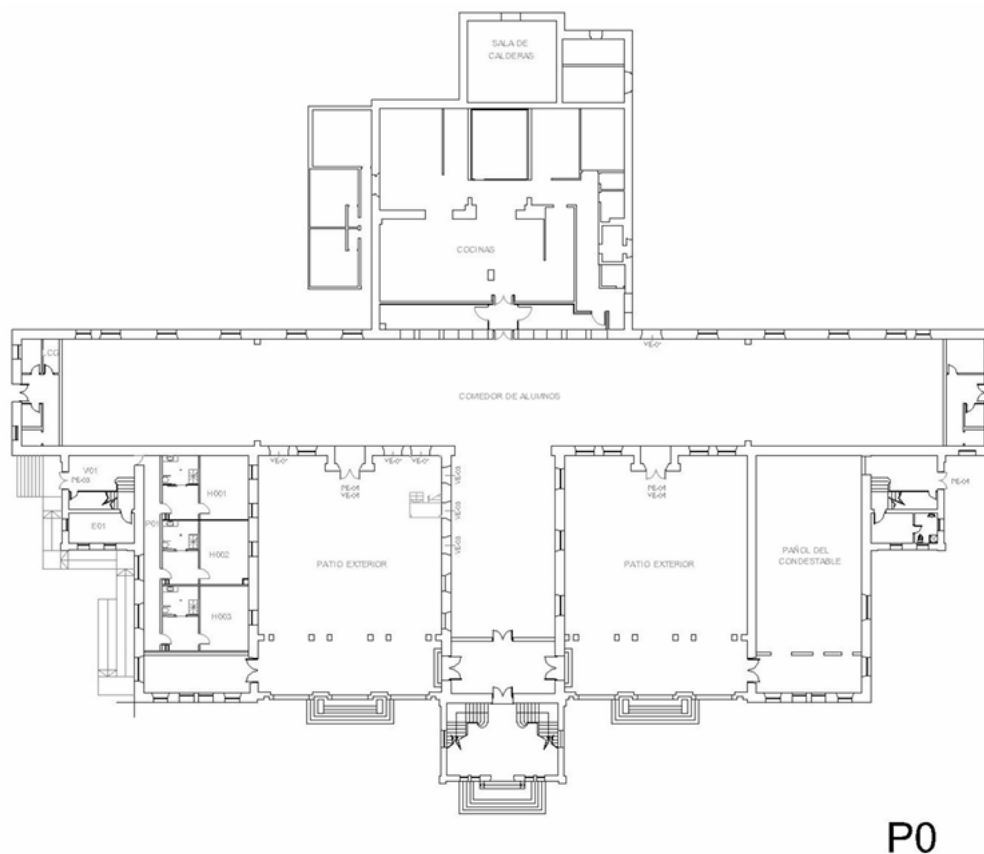
Todas las características aislantes han sido replicadas de igual manera en las habitaciones de la planta baja. Tras el estudio constructivo de la reforma, procedemos en el siguiente apartado al estudio de las distintas instalaciones del edificio.

3.2.4 Instalaciones energéticas del edificio.

Los servicios requeridos por la Instrucción para Edificios de Alojamiento de Tropa y Marinería [21] y respecto a la cual fue diseñado el proyecto de reforma del año 2022, exigen que todos los edificios de alojamiento permanente de las fuerzas armadas dispongan de una serie de servicios mínimos para asegurar la salubridad y un nivel de calidad de vida y confort de sus residentes. Entre dichos servicios, y que resultan importantes por su notable influencia en la eficiencia energética de cualquier infraestructura, se encuentran los sistemas de calefacción y agua caliente sanitaria (ACS), iluminación y corriente eléctrica, y ventilación.

Calefacción y ACS

Para el caso concreto que estamos tratando en el cuartel Marqués de la Victoria, ambos servicios dependen directamente de una misma instalación calefactora, una sala de calderas cuya localización se puede ver en la Figura 3-16, con dos grupos térmicos de gas tras la reforma en el proyecto del año 2022 por parte de la empresa Exinor S.L. [26], que eliminó la planta de gasóleo. El cambio de combustible viene motivado, precisamente, por la necesidad de reducir el consumo energético de la edificación, en línea con las intenciones del Ministerio de Defensa a todos los niveles, mencionadas en la introducción.



P0

Figura 3-16 Plano de la planta baja del cuartel Marqués de la Victoria [23]

A continuación, vemos en detalle la información de la nueva planta, que será necesaria a la hora de elaborar la certificación, extraída de la memoria del proyecto elaborado por Exinor: “Reforma de sala de calderas para cambio de combustible en el edificio del cuartel Marques de la Victoria. Escuela Naval de Marin”. En su segundo párrafo del subapartado 2.2.1 Grupo Térmico informa de que la instalación está compuesta por dos calderas de condensación a gas monobloc de la marca Ygnis, modelos VARMAX 275 y VARMAX 450 con potencia térmica útil (a 50/30°C) de 290 kW y 478 kW respectivamente. (Figura 3-17)

Se incluye también un intercambiador térmico de alta eficiencia, con dos intercambiadores de placas desmontables, con el objetivo de mejorar la eficiencia energética, ahorrar consumo y alargar la vida útil de los equipos.



INSTALACIÓN DE SUELO

Varmax 2

10 Modelos de 120 kW a 600 kW

Figura 3-17 Caldera VARMAX 2 [36]

Se debe destacar que el gasto energético de los sistemas de calefacción y ACS no depende únicamente del gasto de combustible de los grupos térmicos, pese a que parece lo principal, y en ocasiones eclipsa otros sistemas periféricos que suponen a su vez, si mal planificados, un gasto importante de energía que no puede ser despreciado. Por eso se subraya aquí que en la obra de renovación de la sala de calderas han sido modificados otros sistemas pensando en la eficiencia, lo que es apreciable en el punto 2.2.2 de su memoria. En él se especifican dos cambios:

- Circuladores de calefacción, cambiados por 3 nuevas bombas de circuito primario, modelo YONOS MAXO del fabricante WILO (o equivalente), de eficiencia energética clase A. Su funcionamiento se ajusta automáticamente acorde a la demanda de calor.
- Circuladores de ACS, con dos bombas, una por circuito primario de ACS, modelo YONOS MAXO 40 (o equivalente) y una bomba de circuito secundario modelo MAGNA 3 25-60N del fabricante GRUNDFOS (o equivalente), ambas con CE clase A e integradas en el sistema de control.



Figura 3-18 Bomba de agua YONOS MAXO-Z [37]

Las exigencias pertinentes a estas instalaciones vienen reguladas por el DB-HE sección 2, documento al cual se remite el proyecto, pormenorizado en el Anejo 10 del mismo, Instalaciones de fontanería. En dicho anejo, apartado 8, encontramos detallados los sistemas de aislamiento térmico de las tuberías instaladas en la reforma, que se incluyen en esta memoria en el Anexo 4. En cumplimiento del RD 1027/2007, remitiéndose a la tabla 1.2.4.2.1 del Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios, las tuberías de agua caliente se aíslan en toda su longitud con coquilla de espuma elastomérica de 30 mm para las tuberías de hasta 35 mm de diámetro y de 25 mm para diámetros inferiores, y conductividad térmica máxima $0,037 \text{ W / m}\cdot\text{K}$, cumpliendo así la exigencia de espesor para aislantes de $0,040 \text{ W / m}\cdot\text{K}$ y obteniendo por tanto un nivel de aislamiento superior al mínimo requerido.

Mediante estos circuitos se tiene que alimentar el cuartel con una demanda media de ACS calculada en el proyecto de 2208 l de agua al día, una cantidad importante que repercute en gran medida al consumo energético del edificio.

Instalación Eléctrica

Un edificio con las capacidades y la carga como este tiene una necesidad de suministro eléctrico considerable. De ella dependen la mayoría de los equipos vitales del cuartel, cuya calidad repercute directamente en el consumo global, y cuyo uso continuo puede convertir esa diferencia en un gran gasto.

La nueva instalación empleada tras la reforma, según la memoria constructiva, no ha cambiado la alimentación trifásica de 400 V anterior, que llega a un nuevo cuadro denominado Cuadro General de Baja Tensión (CGTB) que la reparte a 6 cuadros eléctricos principales. Todas las líneas de alimentación de estos cuadros están formadas por cables unipolares del tipo RZ1 K (AS) 0,6/1KV (conductor de cobre electrolítico flexible clase V con un aislamiento de polietileno reticulado. Esta distribución alimenta a los principales puntos de consumo enumerados a continuación:

- Instalación de iluminación interior, a base de equipos LED

En la sección HE3: Condiciones de las instalaciones de iluminación los autores del proyecto incluyen la Figura 3-19 con las relaciones potencia-superficie-iluminación de los sistemas instalados en cada local.

Local tipo	VEEI [W/m ² /100lux]	Potencia específica [W/m ²]
Dormitorio	7,17	10,59
Estudio	9,35	13,54
Baño individual	1,57	2,69
Baños tipo B11,B12	1,48	3,93
Baños tipo B13	1,33	4,25
Pasillo	7,41	14,68

Figura 3-19 Tabla recopilación de consumos por superficie e iluminación según local [23]

- Tomas de corriente eléctrica, distribuidas como se indica en la Memoria Constructiva
- Equipos de renovación de aire en habitaciones, mediante recuperador de calor, con un total de cuatro máquinas para las que se considera una potencia unitaria de 2500 W.
- Extractores de aire independientes en cada baño, de potencia unitaria 400 W.
- Armarios de comunicaciones para la red informática, para los que se considera una potencia unitaria de 3000 W.
- Equipo de climatización para los locales donde se ubican los armarios de comunicaciones, con una potencia estimada de 3000 W.
- Alimentaciones ya existentes a ascensores, alumbrado exterior, bombas de saneamiento, Comedor y Pañol del Condestable.

Analizando además el anejo 9 – Instalaciones eléctricas, obtenemos la Figura 3-20, que proporciona las tensiones e intensidades calculadas para cada cuadro principal del edificio, y con la que se ha realizado el cálculo de carga total.

Cuadro	Potencia (W)	Intensidad (A)
P1S1	25042	38,05
P1S2	43622	66,28
P1S3	19410	29,49
P2S1	14446	21,95
P2S2	33043	50,20
P2S3	14446	21,95
SSGG	21600	32,82

Figura 3-20 Tabla de consumos calculados para cada cuadro principal [21]

Este cálculo, especificado en el mismo anejo y realizado con un coeficiente de simultaneidad global de 0,6, resulta en una intensidad total $I_t = 156,44$ A.

Ventilación Mecánica

Como último punto de este apartado, analizaremos los sistemas de ventilación, fundamentales en el cálculo de eficiencia energética al renovar el aire interior del edificio por aire exterior. Esta instalación supone un gasto no solo por el consumo eléctrico de los ventiladores, sino porque obliga a calentar el aire recién traído del exterior. En la reforma, el cuartel ha sido dotado de recuperadores de calor con una eficiencia del 89,9%, tal como viene especificado en el apartado Mediciones del Proyecto de Reforma, capítulo 16 Ventilación y Climatización. A su vez encontramos en el apartado 2.7.- SISTEMAS DE ACONDICIONAMIENTO E INSTALACIONES, de la Memoria Constructiva, el detalle de la instalación de ventilación mecánica, también incluido en el Anexo 4. Toda la superficie habitable está ventilada, con conductos contenidos en las falsas vigas para las habitaciones, contando además con extractores funcionando de forma permanente en los baños.

En estas secciones se especifica que serán cuatro los equipos de recuperación de calor a instalar, además de los sistemas de impulsión y extracción, y que no se recircula nada del aire extraído; y se detalla también en la sección dedicada a la eficiencia energética que la tasa de renovación de aire será de 1,09 ren/h (renovaciones por hora), definida la unidad como el número de veces que el volumen total de aire de un local es renovado por hora, y siendo estas calculadas a partir del volumen por planta contando con la capacidad de los equipos de ventilación.

3.3 Certificación

Una vez estudiada toda la información disponible del nuevo estado del edificio, recopilada en la sección 3.2, se procede a la certificación del mismo. Vista ya la interfaz del programa, a lo largo de este apartado iremos recorriendo punto por punto las distintas pestañas, cumplimentando la información necesaria para la calificación con todos los datos relativos al edificio.

Se vuelve a mencionar aquí el apartado de Datos Administrativos. Este se encuentra ya cumplimentado en la Figura 3-2, con los campos relativos al edificio (Nombre, dirección completa y referencia catastral), la información del cliente, en este caso con datos genéricos de la Escuela Naval Militar, y la información del técnico certificador, relleno con datos de ejemplo y pendiente de CIF y Razón Social.

A continuación, se empieza por los datos generales del edificio. En la Figura 3-21 pueden ver todos los campos del apartado, que se desglosan a continuación.

The screenshot shows the CE3X software interface. The title bar indicates the file path: C:\Users\araujo\Desktop\TFG\Info Marqués\MdV - AF Araujo Raña.cex. The menu bar includes Archivo, Librerías, Patrones de sombra, Resultados, Complementos, Ayuda, and Acerca de. The toolbar contains icons for file operations and analysis. The main window is divided into two sections: 'Datos generales' and 'Definición edificio'.

Datos generales

- Normativa vigente: CTE 2013
- Año construcción: 1943
- Tipo de edificio: Edificio completo
- Perfil de uso: Intensidad Media - 24h
- Provincia/Ciudad autónoma: Pontevedra
- Localidad: Marín
- Zona climática: C1
- HE-1: [dropdown]
- HE-4: [dropdown]

Definición edificio

- Superficie útil habitable: 4070 m²
- Altura libre de planta: 3 m
- Número de plantas habitables: 3
- Ventilación del inmueble: 1.09 ren/h
- Demanda diaria de ACS: 2208 l/día
- Masa de las particiones internas: Media
- ☐ Se ha ensayado la estanqueidad del edificio

Visualizations include a cross-section of the building, a floor plan, and a site map showing the building's location relative to the 'Escuela Naval Militar'.

Figura 3-21 Datos generales del Cuartel Marqués de la Victoria en CE3X [Elaboración propia]

Datos generales

- Normativa Vigente: Al ser un proyecto posterior al 2014, está regulado por el CTE de 2013.
- Tipo de edificio: por la extensión y alcance de las obras, trabajaremos con el edificio completo, no pudiendo limitarnos a un local particular dentro del mismo.
- En cuanto a los datos geográficos, son indispensables para la asignación de una zona climática, en consonancia con las reconocidas para el CTE del 2013, y que se corresponde con la zona C1 (y automáticamente asignado, zona II relativa a la aplicación del DB-HE4, que no se ha seguido en la realización del proyecto, tal como se mencionó en el punto 3.2.1)
- Se estima también en esta sección el perfil de uso del inmueble. Consiste en el horario y alcance de la demanda de recursos de este. Debido a su condición de alojamiento permanente, combinado con su uso como cocina y comedor para aproximadamente 550 personas, se considera un uso intermedio las 24 horas. Demanda de electricidad a lo largo de todo el día (iluminación, tomas de corriente eléctrica) con picos en horario de comida, y en momentos de menor exigencia, funcionamiento de calefacción, así como uso muy frecuente de ACS.
- Año de construcción: tomamos como referencia el año en el que fue transformado en la estructura actual, con la adición de tres las plantas superiores.

Definición edificio: parámetros básicos de la construcción y habitabilidad:

- Superficie útil habitable: 4070 m², como se expuso en el apartado 3.2.
- Altura libre de planta: 3 m, determinado por los falsos techos que limitan los 5 metros de separación entre forjados.
- Número de plantas habitables: 3, contando espacios habitables de la planta baja.

- Ventilación del inmueble: 1,09 ren/h (renovaciones/hora)
- Demanda diaria de ACS: 2208 l/día
- Masa de las particiones internas: Media. Este parámetro sirve para reflejar la tendencia del edificio a acumular la temperatura interna en su estructura, definido muchas veces como “Inercia térmica del edificio”. Es el caso de una pared de piedra o tabique de ladrillo que acumula calor por sus características materiales. Se suele estimar por los kg/m² de la tabiquería interna, y en el caso de tabiques de ladrillo con aislamiento térmico es habitual emplear una densidad media. No hay un estándar reglado para esta decisión, pero el manual de usuario de CE3X, accesible desde el propio programa y de acceso libre en internet, establece unos umbrales aproximados con densidades entre 200 y 500 kg/m². [27]
- En el caso de este proyecto, no viene reflejado que se haya ensayado la estanqueidad del edificio.

Envolvente Térmica

Completa la pestaña de Datos Generales, se procede a analizar la envolvente térmica. Los datos recogidos en el proyecto de reforma, incluyendo la Figura 3-23 Cerramientos opacos, junto a los planos adjuntos al mismo, permiten completar esta sección de la forma que vemos en la Figura 3-22.

The screenshot shows the CE3X software interface for thermal envelope analysis. The left sidebar lists building components under 'Edificio Objeto', including various facades (Fachada Sur, Oeste, Este, Norte) for different levels (P0, P1, P2) and roof types (Falso techo planta baja, Falso techo primera planta, Falso techo segunda planta). The main window is titled 'Envolvente térmica del edificio'. It features a 'Muro' (Wall) section with radio buttons for 'Cubierta', 'Muro', 'Suelo', 'Partición interior', 'Hueco/Lucernario', and 'Punto térmico'. The 'Muro' option is selected, and further sub-options are available: 'En contacto con el terreno', 'De fachada' (selected), and 'Medianería'. Below this, the 'Muro de fachada' section shows fields for 'Nombre' (Fachada Norte - P0), 'Zona' (P0), 'Orientación' (Norte), and 'Patrón de sombras' (Sin patrón). Dimensions are listed: Superficie (413.25 m2), Longitud (82.65 m), and Altura (5 m). The 'Parámetros característicos del cerramiento' section includes 'Propiedades térmicas' (Estimadas), 'Tipo de fachada' (Una hoja), 'Composición del muro' (Muro de piedra), and a checkbox for 'Tiene aislamiento térmico'. The 'Transmitancia térmica' is displayed as 2.94 W/m2K. A small 3D schematic of the building is shown on the right.

Figura 3-22 Datos de Envlovente térmica del Cuartel Marqués de la Victoria en CE3X [Elaboración propia]

En la Figura 3-22 se aprecian los campos y el método de trabajo de la sección de envolvente térmica. Al contrario que el *software* HULC, que exige crear un modelo 3D en un programa externo, CE3X permite crear la imagen conceptual del edificio para el cálculo por medio de un árbol de dependencias. En el proceso, partiendo del edificio, se crean las tres plantas y la cubierta, a las que luego se añadirán las particularidades de cada planta. Se puede apreciar, por ejemplo, que la P0 incluye suelo en contacto con el terreno. Todas las plantas incluyen características del falso techo por sus condiciones aislantes y la limitación que genera al espacio libre y la difusión de calor.

Debemos tener en cuenta que las características estimadas vienen de los datos proporcionados por parte del fabricante respecto a los aislamientos empleados, y están reflejadas directamente en el proyecto, asumiendo de forma conservadora que solo aísla dicho material. En el caso de las conocidas, son elementos montados o contruidos íntegramente en la reforma, y el proyectista proporciona en la misma sus datos completos aquí reflejados.

Nombre	Tipo	Superficie [m ²]	Transmitancia [W/m ² ·K]	Modo de obtención
Fachada Sur - P0	Fachada	364.59	2.94	Estimadas
Fachada Oeste - P0	Fachada	89.13	0.81	Estimadas
Fachada Este - P0	Fachada	425.61	2.94	Estimadas
Fachada Norte - P0	Fachada	362.48	2.94	Estimadas
Fachada Sur - P1	Fachada	349.23	0.34	Estimadas
Fachada Este - P1	Fachada	389.47	0.34	Estimadas
Fachada Oeste - P1	Fachada	395.23	0.34	Estimadas
Fachada Norte - P1	Fachada	371.01	0.34	Estimadas
Suelo con terreno	Suelo	1090.0	0.29	Por defecto
Falso techo primera planta	Partición Interior	1460.0	0.38	Conocidas
Falso techo planta baja	Partición Interior	1460.0	0.38	Conocidas
Fachada Sur - P2	Fachada	349.23	0.34	Estimadas
Fachada Este - P2	Fachada	389.47	0.34	Estimadas
Fachada Oeste - P2	Fachada	395.23	0.34	Estimadas
Fachada Norte - P2	Fachada	371.01	0.34	Estimadas
Falso techo segunda planta	Partición Interior	1460.0	0.38	Conocidas
Cubierta	Cubierta	1760.0	0.42	Estimadas

Figura 3-23 Tabla de cerramientos opacos del Cuartel Marqués de la Victoria en CE3X [23]

Una vez creado el árbol de dependencias global, hay que aportar toda la información relativa a la planta. Se añaden las cuatro fachadas, y se completan los datos requeridos, disponibles y recopilados en el apartado 3.2. Es necesario establecer en el árbol de dependencias un nivel más, como se puede ver la Figura 3-24.

Edificio Objeto

- P0
 - Fachada Sur - P0
 - Ventana Tipo 1
 - Ventana Tipo 2
 - PT Encuentro de fachada
 - PT Contorno de hueco-Ve
 - PT Contorno de hueco-Ve
 - Fachada Oeste - P0
 - Fachada Este - P0
 - Fachada Norte - P0
 - Suelo con terreno
 - Falso techo planta baja
- P1
 - Fachada Sur - P1
 - Fachada Este - P1
 - Fachada Oeste - P1
 - Fachada Norte - P1
 - Falso techo primera planta
- Cubierta

Envoltente térmica del edificio

- ☐ Cubierta
- ☐ Muro
- ☐ Suelo
- ☐ Partición interior
- ☒ Hueco/Lucernario
- ☐ Puente térmico

Hueco/Lucernario

Nombre: Ventana Tipo 2
Cerramiento asociado: Fachada Sur - P0
Orientación: Sur

Dimensiones
Longitud: 1.2 m
Altura: 2.4 m
Multiplicador: 2
Superficie: 5.76 m²
Porcentaje de marco: 20 %

Características
Permeabilidad del hueco: Estanco 50 m3/hm2
Absortividad del marco: a 0.7
☐ Dispositivo de protección solar
Patrón de sombras: Sin patrón
☐ Doble ventana

Parámetros característicos del hueco
Propiedades térmicas: Estimadas
Tipo de vidrio: Doble
Tipo de marco: Metálico sin RPT
U vidrio: 3.3 W/m²K
g vidrio: 0.75

Figura 3-24 Datos necesarios para el cálculo de ventanas en CE3X [Elaboración Propia]

En este nivel se incorporan los tipos de ventanas y puertas que forman parte de esta. Toda su información, junto a la de otros huecos, está disponible en la Figura 3-25. También se observa que,

dentro de cada fachada, y en la planta baja, hemos especificado una serie de secciones en color amarillo que comienza como PT. Estos apartados representan los Puentes Térmicos, tanto de los huecos (ventilación y renovación de aire, puertas, etc.) como los existentes entre la fachada y el forjado en las plantas superiores, y con las soleras en la P0, y vienen detallados en la Figura 3-12 localizada en el subapartado 3.2.2 Estructura y Envoltente.

Nombre	Tipo	Superficie [m²]	Transmitancia [W/m²·K]	Factor solar	Modo de obtención. Transmitancia	Modo de obtención. Factor solar
Ventana Tipo 1	Hueco	38.4	3.78	0.63	Estimado	Estimado
Ventana Tipo 2	Hueco	5.76	3.78	0.63	Estimado	Estimado
Puerta Oeste	Hueco	4.96	2.20	0.06	Estimado	Estimado
Ventana Tipo 3	Hueco	5.04	3.78	0.63	Estimado	Estimado
Ventana Tipo 4	Hueco	4.62	3.78	0.63	Estimado	Estimado
Ventana Tipo 3E	Hueco	7.56	3.78	0.63	Estimado	Estimado
Ventana Tipo 4E	Hueco	4.62	3.78	0.63	Estimado	Estimado
Puerta Este	Hueco	4.96	2.20	0.06	Estimado	Estimado
Puerta Comedor	Hueco	10.45	3.44	0.62	Estimado	Estimado
Ventana Tipo 1N	Hueco	15.36	3.78	0.63	Estimado	Estimado
Ventana Tipo 2N	Hueco	11.52	3.78	0.63	Estimado	Estimado
Ventana Tipo 5	Hueco	13.44	3.78	0.63	Estimado	Estimado
Ventana tipo 6	Hueco	53.76	3.78	0.63	Estimado	Estimado
Ventana tipo 7	Hueco	5.76	3.78	0.63	Estimado	Estimado
Ventana tipo 8	Hueco	11.52	3.78	0.63	Estimado	Estimado
Ventana tipo 9	Hueco	8.64	3.44	0.62	Estimado	Estimado
Ventana tipo 10	Hueco	4.32	3.78	0.63	Estimado	Estimado
Ventana tipo 11	Hueco	28.8	3.78	0.63	Estimado	Estimado
Ventana tipo 12	Hueco	7.68	3.78	0.63	Estimado	Estimado
Ventana tipo 13	Hueco	11.52	3.78	0.63	Estimado	Estimado
Ventana tipo 14	Hueco	24.0	3.78	0.63	Estimado	Estimado
Ventana tipo 15	Hueco	4.32	3.78	0.63	Estimado	Estimado
Ventana tipo 16	Hueco	30.72	3.78	0.63	Estimado	Estimado
Ventana tipo 17	Hueco	11.52	3.78	0.63	Estimado	Estimado
Ventana tipo 6-2	Hueco	53.76	3.78	0.63	Estimado	Estimado
Ventana tipo 7-2	Hueco	5.76	3.78	0.63	Estimado	Estimado
Ventana tipo 8-2	Hueco	11.52	3.78	0.63	Estimado	Estimado
Ventana tipo 9-2	Hueco	8.64	3.44	0.62	Estimado	Estimado
Ventana tipo 10-2	Hueco	4.32	3.78	0.63	Estimado	Estimado
Ventana tipo 11-2	Hueco	28.8	3.78	0.63	Estimado	Estimado
Ventana tipo 12-2	Hueco	7.68	3.78	0.63	Estimado	Estimado
Ventana tipo 13-2	Hueco	11.52	3.78	0.63	Estimado	Estimado
Ventana tipo 14-2	Hueco	24.0	3.78	0.63	Estimado	Estimado
Ventana tipo 15-2	Hueco	4.32	3.78	0.63	Estimado	Estimado
Ventana tipo 16-2	Hueco	30.72	3.78	0.63	Estimado	Estimado
Ventana tipo 17-2	Hueco	11.52	3.78	0.63	Estimado	Estimado

Figura 3-25 Tabla de datos de huecos en la Envoltente térmica del Cuartel Marqués de la Victoria en CE3X [23]

Con estos datos se logra cumplimentar los campos requeridos según el tipo de sistema a estudiar: Ventanas (Figura 3-24)(clasificadas por la librería como tipo, pero que cumplen las características vistas en la Tabla 3-2), superficie y número; y los datos de puentes térmicos (Figura 3-26).

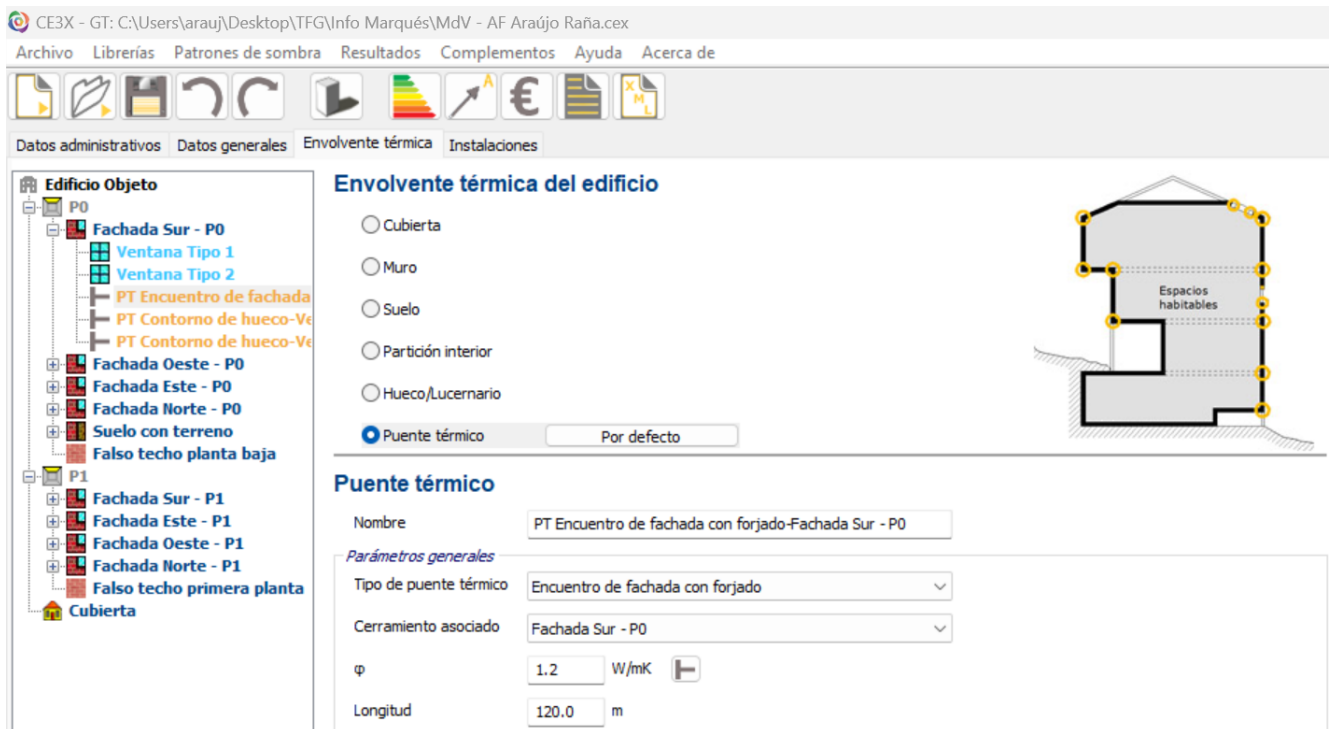


Figura 3-26 Datos necesarios para el cálculo de puentes térmicos en CE3X [Elaboración Propia]

Como último elemento del apartado envoltente térmica, es necesario incluir los datos de los falsos techos. Estos se crean como partición interior horizontal, en este caso superior, en contacto con un espacio No Habitable. Para el cálculo se exige simplemente la superficie total y la transmitancia térmica, para este caso conocida, obtenida a partir de la conductividad del aislamiento del falso techo (100mm de lana mineral, 0,036 W/m·K), siguiendo las directrices del DA DB-HE/1, 2.1.3 Particiones interiores en contacto con espacios no habitables, referencia completa en la bibliografía, y que resulta en una transmitancia de 0,384 W/m²·K, especificada junto a la superficie total por planta, como pueden ver en la Figura 3-27.



Figura 3-27 Datos necesarios para el cálculo de falsos techos en CE3X [Elaboración Propia]

Con esta información queda completado todo lo necesario para el bloque de envoltente térmica.

Instalaciones

A continuación se encuentra la pestaña Instalaciones, donde se puede ver una distribución similar a la de Envoltente. Todo se trabaja desde el árbol de dependencias, donde se han creado las plantas pertinentes para reflejar las instalaciones por planta, y después las instalaciones generales. En este caso, como se puede ver en la Figura 3-28, se analizan las instalaciones de alumbrado, calefacción y ACS, y aire primario.



Figura 3-28 Árbol de dependencias de instalaciones en CE3X [Elaboración Propia]

En cada instalación se introduce la información necesaria para los cálculos, visible en las Figuras 3-17, 3-18 y 3-19 y se trata en detalle a continuación. Los datos, recopilados en el apartado 3.2, han sido obtenidos del proyecto de reforma ya citado en otras ocasiones.

Para comenzar se cumplimenta la instalación de alumbrado. Para el mismo se ha realizado la división entre plantas debido a diferencias de instalación. Todas las plantas tienen una luminancia media de 100 lux. Sin embargo, para la P0, que incluye el comedor, con un gasto considerable, hay instalados 20000W para una superficie de 1090 m², mientras que las P1 y P2, con una superficie de 1490 m², cuentan con una potencia de 16500W. En estas potencias se incluye la alimentación de equipos auxiliares, tal como especifica el propio programa.

Figura 3-29 Instalación de alumbrado en CE3X [Elaboración Propia]

Tras el alumbrado, se procede con la instalación de calefacción y ACS, con su inclusión en el programa en la Figura 3-30. Como se vio en el subapartado 3.2.4 Instalaciones, calefacción y ACS, forma parte de un sistema conjunto, dependiente de la misma instalación de calderas de gas (recién instaladas) de la empresa Exinor. Con una demanda cubierta equivalente a la superficie habitable total, 4070 m² para ambas instalaciones, se emplea una potencia nominal de 550 kW (tenida en cuenta como carga media necesaria, con capacidad de sostener hasta 768 kW en cascada, con las potencias combinadas de ambas calderas), y se estima una carga media real y rendimiento de combustión de 0,2 y 90% respectivamente, valores estándar conservadores propuestos por el propio CE3X para cuando no existen datos suficientes como para aportar un valor conocido. Como instalación reciente que es, se considera bien aislada y mantenida, y se estima un UA (coeficiente global de pérdidas térmicas) del acumulador de 2,6 W/K, impuesto por el programa según las características previas de la instalación.

Edificio Objeto

- P0 Alumbrado P0
- P1 Alumbrado P1
- P2 Alumbrado P2
- Calefacción y ACS
- Aire primario

Instalaciones del edificio

☐ Equipo de ACS
☐ Equipo de sólo calefacción
☐ Equipo de sólo refrigeración
☐ Equipo de calefacción y refrigeración
☒ Equipo mixto de calefacción y ACS
☐ Equipo mixto de calefacción, refrigeración y ACS

☐ Contribuciones energéticas
☐ Equipos de iluminación
☐ Equipos de aire primario
☐ Ventiladores
☐ Equipos de bombeo
☐ Torres de refrigeración

Equipo mixto de calefacción y ACS

Nombre: Calefacción y ACS Zona: Edificio Objeto

Características

Tipo de generador: Caldera Condensación
Tipo de combustible: Gas Natural

Rendimiento medio estacional

Rendimiento estacional: Estimado según Instalación
Potencia nominal: 550 kW
Carga media real βcmb: 0.2
Rendimiento de combustión: 90.0 %

Demanda cubierta

	ACS	Calefacción
Superficie (m2)	4070.0	4070.0
Porcentaje (%)	100	100

Rendimiento medio estacional (ACS y Calefacción): 85.8 %

Aislamiento de la caldera: Bien aislada y mantenida

☒ Con Acumulación

Valor UA: Estimado UA: 2.6 W/K

Figura 3-30 Instalación de calefacción y ACS en CE3X [Elaboración Propia]

Edificio Objeto

- P0 Alumbrado P0
- P1 Alumbrado P1
- P2 Alumbrado P2
- Calefacción y ACS
- Aire primario

Instalaciones del edificio

☐ Equipo de ACS
☐ Equipo de sólo calefacción
☐ Equipo de sólo refrigeración
☐ Equipo de calefacción y refrigeración
☐ Equipo mixto de calefacción y ACS
☐ Equipo mixto de calefacción, refrigeración y ACS

☐ Contribuciones energéticas
☐ Equipos de iluminación
☒ Equipos de aire primario
☐ Ventiladores
☐ Equipos de bombeo
☐ Torres de refrigeración

Equipos de aire primario

Nombre: Aire primario Zona: Edificio Objeto

Características

Caudal de ventilación: 13308,9 m3/h
☒ ¿Tiene recuperador de calor?
 Rendimiento estacional: 89,9 %

Figura 3-31 Instalación de Aire primario en CE3X [Elaboración Propia]

Por último, la instalación de Aire Primario. Los apartados a cumplimentar en esta fase son sencillos. El primero, como se puede apreciar en la Figura 3-31, es el caudal de ventilación, a partir del que se calcula la ventilación del inmueble, y que se extrae de los planos del edificio y las características de la instalación de ventilación, como vimos en el subapartado 3.2.4. En este caso es, por tanto, de 13.308,9 m³/h (contando con una superficie de 4070 m², y un falso techo a 3 m). Además, como viene especificado en la memoria, la eficiencia del recuperador de calor es del 89,9% que, a falta de datos sobre funcionamiento parcial, periodos sin recuperación, desequilibrio de caudales o rendimiento real fuera de condiciones nominales, tomaremos como aproximación del rendimiento estacional.

Completadas todas las pestañas, se puede proceder a la elaboración del informe de certificación. El propio CE3X permite generar un informe completo con el formato legal adecuado, en el que es posible añadir campos personalizados por el técnico (figura 3-20).

Configuración del informe de certificación energética

¿Qué conjuntos desea incluir en el informe?

Conjuntos de medidas	Calificación

Opción 1

Opción 2

Opción 3

Pruebas, comprobaciones e inspecciones realizadas por el técnico certificador

Documentación

Proyecto de Reforma del Cuartel de Alumnos Marqués de la Victoria, Fase 2, AN INGENIERO Y ARQUITECTO Yeray Manuel Estévez Cerviño, ITA INGENIERO INDUSTRIAL José Mel Fraga,

Configuración del informe

Fecha elaboración certificado dd / mm / aaaa
02 / 03 / 2026

Fecha visita inmueble dd / mm / aaaa
07 / 01 / 2026

Figura 3-32 Generador de Informe en CE3X [Elaboración Propia]

En este caso no se incluyen todavía las propuestas de mejora, que se plantearán en el apartado 4 de esta memoria. Tampoco se ha completado el campo de pruebas, comprobaciones o inspecciones, por ser este un trabajo teórico basado en los datos del proyecto de reforma del año 2022. Con este informe creado, se procede al análisis de resultados y propuestas de mejora en el punto 4.

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1 Resultados

En el informe de certificación, adjunto en su totalidad en el Anexo 3, se proporcionan los resultados de eficiencia para todos los ámbitos competentes:

- Calificación energética del edificio en emisiones
- Calificación energética del edificio en consumo de energía primaria no renovable
- Calificación parcial de la demanda energética de calefacción y refrigeración

Las Figuras 4-1, 4-2 y 4-3 representan respectivamente estos campos, con un indicador global de la eficiencia con el formato de letras de la Etiqueta de eficiencia energética, e indicadores parciales referenciados a $\text{kgCO}_2/\text{m}^2 \cdot \text{Año}$ o $\text{kWh}/\text{m}^2 \cdot \text{Año}$ según corresponde.

INDICADOR GLOBAL		INDICADORES PARCIALES				
< 19.4 A 19.4-31.5 B 31.5-48.5 C 48.5-63.1 D 63.1-77.6 E 77.6-97.0 F ≥ 97.0 G	49.7 D	CALEFACCIÓN		ACS		
Emisiones calefacción [kgCO2/m² año]		A	Emisiones ACS [kgCO2/m² año]	D		
13.08			3.23			
REFRIGERACIÓN		ILUMINACIÓN				
Emisiones globales [kgCO2/m² año]		Emisiones refrigeración [kgCO2/m² año]	E	Emisiones iluminación [kgCO2/m² año]	G	
		4.55		28.79		

Figura 4-1 Calificación energética del edificio en emisiones en CE3X [Elaboración Propia]

INDICADOR GLOBAL		INDICADORES PARCIALES				
< 86.8A 86.8-141.0B 141.0-217.0C 217.0-282.1D 282.1-347.2E 347.2-433.9F ≥ 433.9G	273.9D	CALEFACCIÓN		ACS		
		Energía primaria calefacción [kWh/m² año]	B	Energía primaria ACS [kWh/m² año]	D	
		61.77		15.24		
		REFRIGERACIÓN		ILUMINACIÓN		
		Consumo global de energía primaria no renovable [kWh/m² año]	Energía primaria refrigeración [kWh/m² año]	E	Energía primaria iluminación [kWh/m² año]	G
			26.87		169.97	

Figura 4-2 Calificación energética del edificio en energía primaria en CE3X [Elaboración Propia]

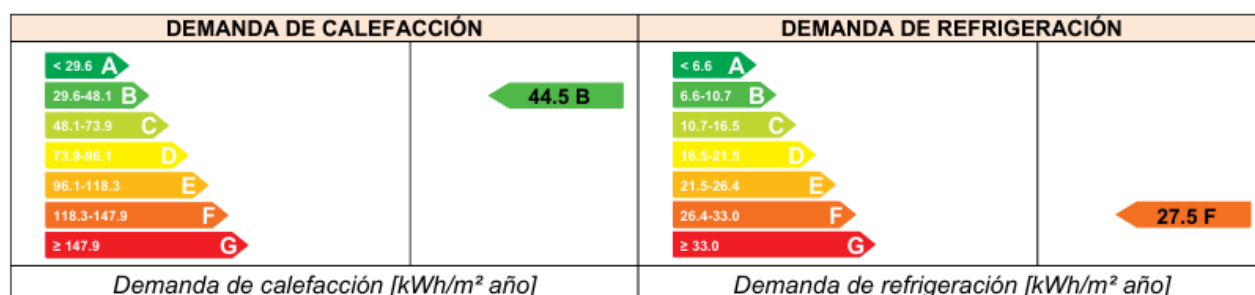


Figura 4-3 Calificación parcial de la demanda energética de calefacción y refrigeración en CE3X [Elaboración Propia]

El indicador global del edificio es de calificación D, motivado por el tramo de consumos y emisiones en el que se encuentra. Es coincidente en tramo con el certificado original de obra, sin embargo, como se puede ver en la Figura 4-4, dentro del mismo tramo, se encuentra varios puntos por encima.

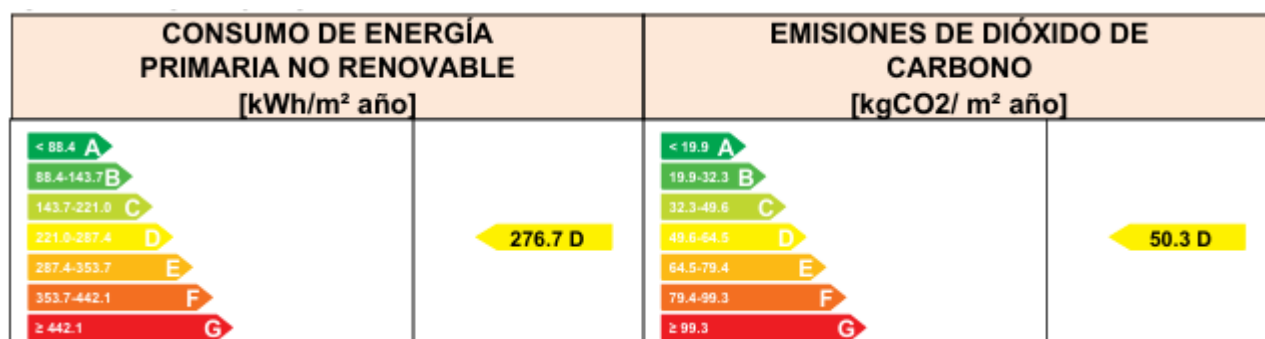


Figura 4-4 Parámetros globales de la Calificación Energética elaborada en el proyecto de reforma del año 2022. [21]

La calificación elaborada en este proyecto, empleando datos de la realidad construida, difiere del original muy poco, ya que el proyecto ha sido efectivamente trasladado a la obra de forma minuciosa. Concretamente, difiere, y es el cambio que motiva la variación en la calificación, en el cálculo de los metros cúbicos de renovación de aire, ya que, en el proyecto, de forma conservadora, se calculó con volumen superior de renovación a partir de la capacidad nominal de la ventilación mecánica como dispositivo. Sin embargo, tras la reforma y en estudios posteriores del proyecto, se establece la tasa de renovación de 1,09 ya mencionada en base al volumen del espacio habitable.

En cuanto a la valoración de su calificación, un estudio realizado por Idealista [31] en el año 2021, mediante el cruce de datos de sus anunciantes y la información del Catastro, establece la certificación energética media del parque inmobiliario español en la calificación E. Es necesario destacar que la Directiva EPBD (UE 2024/1275) de la Unión Europea, que establece los estándares de eficiencia energética y descarbonización de los edificios en la UE para 2050, establece para cada estado miembro la necesidad de forzar la remodelación de los edificios existentes, priorizando los menos eficientes, para reducir un 16% el consumo total respecto al año 2020. No se establece una calificación específica en dicha directiva, que permite a cada nación gestionarlo independientemente. En el caso de España, tampoco se establece una calificación mínima. Sin embargo, tras la última reforma y con una calificación de D, el Marqués de la Victoria se encuentra por encima de la media nacional, no siendo prioritaria su recalificación. Adicionalmente, como parte del patrimonio inmobiliario del MINISDEF y como edificio protegido, queda exento de obras que afecten a su fachada exterior, limitando el alcance de la obligatoriedad de las reformas.

4.1.1 Análisis de los resultados

Análisis General

Con estos resultados es posible inferir que la iluminación, seguida de lejos por la calefacción, son las dos instalaciones que más recursos consumen, y más CO₂ producen anualmente. Destaca frente al parque inmobiliario analizado en la introducción (Figura 2-2) en que su consumo eléctrico supera ampliamente a su consumo por calefacción. Esto está motivado por dos factores: su horario extendido de consumo de energía eléctrica, mucho más intenso y constante que en las viviendas unifamiliares y edificios residenciales objeto del estudio, y su gran inercia térmica, combinada con los intercambiadores de calor de la ventilación mecánica y el nuevo aislamiento, que hacen que el edificio pierda calor a un ritmo muy bajo hacia el exterior, y lo conserve más tiempo una vez que lo ha ganado. También se tiene en cuenta en los cálculos del programa que, por la zona climática del cuartel, la calefacción no tiene una demanda constante ni de la misma intensidad a lo largo del año, mientras que la iluminación, dependiente de la carga de uso del edificio definida en datos generales, sí. También se debe destacar que el cálculo de emisiones, que también es alto en comparación a la distribución media, se calcula en este programa con un factor de conversión predeterminado de 0,331 kgCO₂/kWh para la electricidad de red, recogido en el RD 390/2021, última normativa vigente respecto a la Calificación Energética. Teniendo en cuenta que actualmente se aplica un factor de conversión de 0.150 kg CO₂ por kWh [34], la comparación de estos resultados con los estándares actuales es imprecisa.

Instalaciones Térmicas

Dentro de las instalaciones térmicas, la eficiencia del propio sistema de calefacción es superior a la media del conjunto de la construcción. No beneficia de la misma forma a la refrigeración, debido a que su único mecanismo sería el sistema de ventilación mecánica con intercambiador de calor. Con una tasa de renovación de aire de 1,09, pasando por el recuperador de calor se favorece la conservación del calor interior en invierno, pero no es tan efectivo para la renovación del aire saturado en verano. Teniendo en cuenta la tabiquería, y no disponiendo de circuitos específicos de refrigeración (bombas de calor dedicadas o aerotermia), una vez que el edificio alcanza una elevada temperatura interior, a la que contribuye estar permanentemente habitado, bajar esa temperatura supondría un enorme gasto de energía. Aun así, debido a las particularidades de la zona climática en la que se encuentra el edificio, el requerimiento de refrigeración anual total es significativamente menor que el de calefacción, pese a su ineficiencia, debido a las temperaturas exteriores dominantes la mayor parte del año.

Iluminación y electricidad

Por otra parte, respecto a la iluminación, la instalación ha sido realizada, según se especifica en el apartado 3.2.4, con luces indirectas led de bajo consumo. Esto sin duda limita el consumo, pero el uso del edificio y la necesidad de corriente eléctrica para equipos auxiliares que tiene (tanto de iluminación como de bombas de agua, ventilación o carga de equipos), sumado a los requerimientos energéticos de la cocina, hacen de la energía eléctrica el punto clave de futuras políticas de ahorro y la base de las propuestas de mejora. Debemos tener en cuenta que, como cuartel, tiene dependencias que funcionan las 24h del día. Incluso con la instalación de alumbrado de bajo consumo, los locales de guardia, zonas comunes y alrededores están permanentemente iluminados, y los equipos de servicios básicos (extracción, internet/intranet, detección de incendios) funcionan 24h al día, lo que repercute en el consumo anual de forma muy importante.

4.1.2 Limitaciones del programa informático

En todos los proyectos es importante realizar un análisis de las debilidades del procedimiento empleado. Como tal, toda calificación energética es una aproximación, muy dependiente de factores como el mecanismo de obtención de datos o la precisión en la toma de los mismos. Pero una de las fuentes de imprecisión más determinante es el *software* que utilizamos. En el caso de CE3X, haber escogido este programa aporta muchas ventajas: soporte, compatibilidad, facilidad de uso... y algunas desventajas que no se pueden pasar por alto: CE3X no permite especificar las dimensiones de los

espacios no habitables (en este caso, entre los falsos techos y los forjados), sino que las infiere a partir de los datos generales y la estructura del edificio; además, no tiene datos dinámicos, por lo que no se pueden especificar horarios de apertura de ciertos huecos en la envolvente, de modo que el técnico tiene que estimar las pérdidas aumentando la ventilación de forma aproximada si lo cree conveniente. En este caso, no se ha realizado dicha aproximación, pero es necesario destacar la puerta principal del comedor como posible fuente de error, ya que dependiendo del día puede permanecer abierta o cerrada hasta el ocaso. Tampoco, en caso de un centro académico como la ENM, se pueden especificar intensidades de uso según periodos, de forma que se debe aproximar a una intensidad anual genérica. Como añadido, no proporciona las pérdidas segmentadas por elementos, por ejemplo, pérdidas por envolvente o pérdidas por huecos, lo que dificulta valorar las prioridades a la hora de realizar propuestas de mejora.

Por parte de la iluminación, y de importancia para este análisis de resultados, en CE3X se indica de forma muy ambigua qué potencia incluir en el programa para el cálculo del consumo. Como se puede ver en la Figura 4-5, la potencia instalada en los Equipos de iluminación incluye, de forma genérica, los equipos auxiliares. Esto es poco claro y no está determinado por ninguna normativa, de modo que queda a elección del técnico qué se incluye en este sumatorio. Con el objetivo de ser conservadores y lo más precisos posible, en este caso se ha introducido la potencia total derivada de los cuadros de corriente de cada planta, que incluyen todos los equipos del cuartel (tomas de corriente, equipos auxiliares...), pero otro técnico podría incluir únicamente la destinada a iluminación por demanda nominal de la instalación, y su calificación sería superior.

Edificio Objeto

- P0 Alumbrado P0
- P1 Alumbrado P1
- P2 Calefacción y ACS
- Aire primario

Instalaciones del edificio

- ☐ Equipo de ACS
- ☐ Equipo de sólo calefacción
- ☐ Equipo de sólo refrigeración
- ☐ Equipo de calefacción y refrigeración
- ☐ Equipo mixto de calefacción y ACS
- ☐ Equipo mixto de calefacción, refrigeración y ACS
- ☐ Contribuciones energéticas
- ☒ Equipos de iluminación
- ☐ Equipos de aire primario
- ☐ Ventiladores
- ☐ Equipos de bombeo
- ☐ Torres de refrigeración

Equipos de iluminación

Nombre: Alumbrado P0 Zona: P0

Características

Superficie zona: 1090.0 m2

☒ Sin control de la iluminación
☐ Con control de la iluminación

Eficiencia energética

☐ Zona de representación Actividad: Zonas comunes

Definir características: Conocido(ensayado/justificado)

Potencia instalada: 20000 W

Iluminancia media horizontal: 100

Seleccione la potencia eléctrica de la instalación de iluminación, incluyendo los equipos auxiliares.

Figura 4-5 Detalle de las Instalaciones de Iluminación en CE3X [Elaboración propia]

Como última limitación reseñable para este trabajo, volver a mencionar el factor de conversión kWh – CO₂, pues la imposibilidad de su edición provoca una desactualización muy considerable, que hoy representa un error de más del 100% en el cálculo de emisiones por parte de la instalación.

4.2 Propuestas de mejora

Tras el análisis de resultados, las propuestas de mejora en la eficiencia energética van encaminadas a tres cosas: la reducción del consumo de energía eléctrica, su provisión por medio de fuentes renovables, y las mejoras en pérdidas de calor.

Reducción del consumo de energía eléctrica

La reducción del consumo eléctrico se puede plantear mediante la regulación automática de iluminación por las noches (en aseos, cuartos de guardia y zonas comunes), la renovación de electrodomésticos de baja eficiencia energética en cocina o una programación de la ventilación de forma que no opere de forma continua. Teniendo en cuenta el coste de los sistemas de automatización, y que la sustitución del material de cocina se puede programar según su plan de vida útil, sería una medida cuya implementación supondría un esfuerzo bajo en comparación con sus beneficios a largo plazo en la reducción del consumo eléctrico.

Cobertura de la demanda por parte de fuentes renovables

La propuesta de generación basada en energías renovables, teniendo en cuenta la condición especial del edificio objeto de estudio, es limitada. Según la situación geográfica, orientación y distribución de la Escuela Naval Militar, la instalación más conservadora y probada consistiría en un sistema fotovoltaico instalado en otros edificios o espacios no protegidos de la Escuela, que deriven corriente eléctrica a un cuadro de reparto que también distribuya al Marqués.

La energía eléctrica aportada por un sistema fotovoltaico tiene un gasto asociado de energía consumida de 0 kWh/Año, que se refleja en el programa tal y como se ve en la Figura 4-6. Esto implica una reducción de las emisiones por iluminación a prácticamente 0 kgCO₂/m²·Año, que repercute en la certificación con una nueva calificación de B (Figura 4-7), y supone la propuesta de mejora con mayor beneficio esperado.

Generación electricidad mediante renovables / Cogeneración

Energía eléctrica generada para autoconsumo	683.760 kWh/año	Energía consumida	0 kWh/año
Calor recuperado para ACS		Tipo de combustible	

Figura 4-6 Introducción de aportación de energía por fuentes renovables en CE3X [Elaboración propia]

Sería necesario un estudio más profundo para establecer su tasa de retorno, pero podría suponer un gasto nulo o mínimo para el Ministerio de Defensa con el acceso a los fondos *Next Generation* de la Unión Europea, que tiene partidas presupuestarias específicas para instalaciones fotovoltaicas.

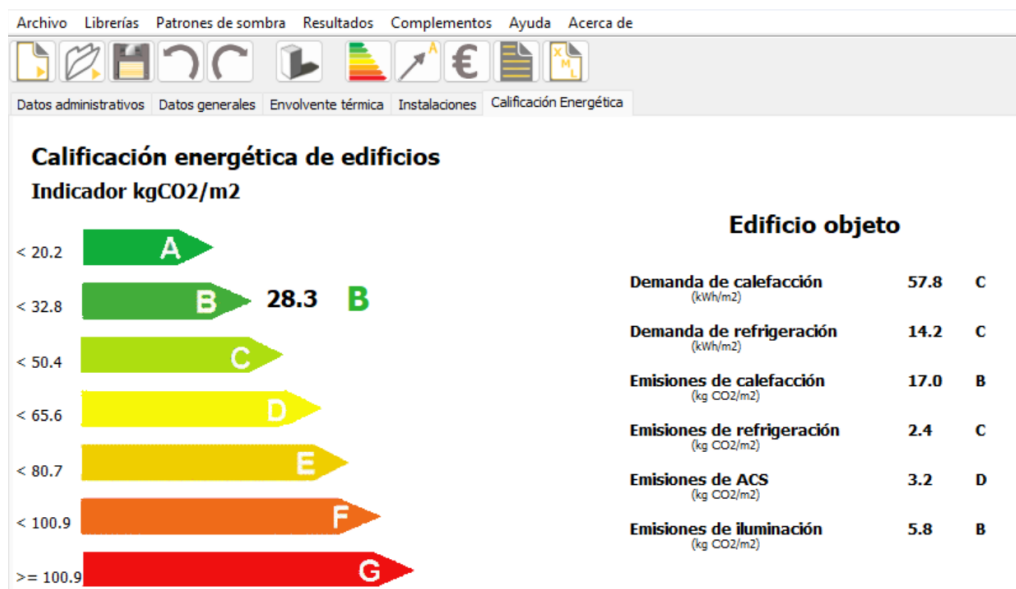


Figura 4-7 Calificación global de emisiones en CE3X con la implementación simulada de un sistema fotovoltaico ideal que cubre toda la demanda de energía eléctrica [Elaboración propia]

Posterior a estudio, se puede valorar si el sistema más idóneo es el fotovoltaico, teniendo en cuenta horas de sol e intensidad anual, patrón de sombras y eficiencia, y la instalación necesaria para cubrir la

demanda del cuartel o sus alternativas, así como si pueden resultar beneficiosos un sistema eólico (en cubiertas y canales de rachas), o mareomotriz en las instalaciones flotantes de la Escuela Naval.

Es asimismo razonable plantear para próximas reformas el estudio de rendimiento de una caldera de biomasa, cuya equivalencia de emisiones es de 0,018 kgCO₂/kWh, y permitiría además una instalación combinada de generación de energía eléctrica y calefacción/ACS con una adaptación de las calderas de gas actuales. Eso supondría una reducción radical de las emisiones respecto a las actuales, con una tasa de conversión ~18 veces menor.

Por último, es también de recibo mencionar que en otro trabajo de este curso académico se estudia la opción de la geotermia como fuente de energía para otras dependencias de la escuela, que en futuros proyectos se podría extender al cuartel para mejorar también la eficiencia de las instalaciones térmicas.

Mejoras frente a pérdidas de calor

Por otro lado, respecto a las pérdidas de calor es importante plantear los distintos supuestos que se podrían llevar a cabo en futuras reformas, de modo que se tenga en cuenta cuando se propongan. Trataremos estas propuestas en orden según el balance impacto – coste – facilidad de implementación que se ha estimado.

El primer caso a tratar es el aislamiento de la planta baja o P0. Las dos plantas superiores, tras la reforma, tienen una transmitancia térmica de 0,34 W/m²·K. Sin embargo, la planta baja solo ha sufrido reformas en la fachada Este, con una transmitancia térmica de 0,81 W/m²·K. Las otras tres fachadas tienen una transmitancia de 2,94 W/m²·K. Tal como se muestra en la Figura 3-23, estos tres cerramientos opacos ya suponen 1.152,68 m², un 27,11% del total de la fachada, de 4.251,69 m². Aplicando el mismo aislamiento que en la fachada Este (trasdosado interior con 100 mm de lana mineral), que respeta la protección histórica del edificio, se reduce notablemente el consumo, lo que se aprecia en la Figura 4-8, certificación simulada del edificio con la P0 reformada.

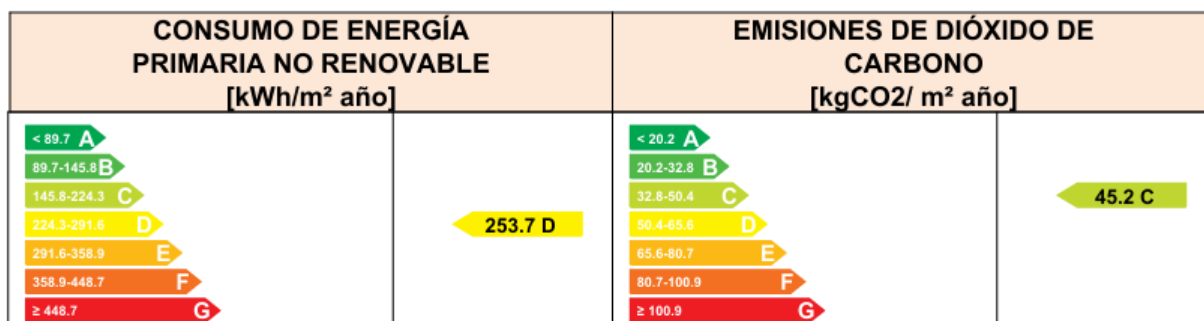


Figura 4-8 Certificación energética del Cuartel Marqués de la Victoria con la P0 aislada [Elaboración propia]

Simplemente con esta reforma la calificación asciende de D a C en emisiones de carbono, con una reducción de 4,5 kgCO₂/m²·Año de emisiones, y 20,2 kWh/m²·año de consumo. Esto constituye un ahorro de ~1€/m² de fachada [28-29] por año. Teniendo en cuenta los costes de instalación, que se pueden aproximar a un total de 85000€ [30], repercute en 20€/m² de fachada modificada.

Este coste, por tanto, se puede aproximar a una amortización en 20 años, por lo cual no se recomienda la inversión si no hay una intención específica de mejorar la calificación, ya que en 20 años es probable que surja la necesidad de otra reforma, el resultado neto sería el mismo, no aporta calidad de vida y puede resultar en coste de oportunidad.

Por otro lado, se estudia el cambio de todas las ventanas a sistemas con Rotura de Puente Térmico. En nuestra simulación, únicamente con ese cambio, la calificación, representada en la Figura 4-9, es de C para las emisiones y D para el consumo. Sin embargo, hay que destacar que la mejora se limita a 0,7 kgCO₂/m²·año, aunque implique cambio de tramo, y a 3,3 kWh/m²·año. Su repercusión en la eficiencia es mínima, debido a la limitada superficie en relación a la fachada, y su costo sería, teniendo en cuenta un precio unitario de ventana de 2.130,16€ [21], desproporcionado para el beneficio.

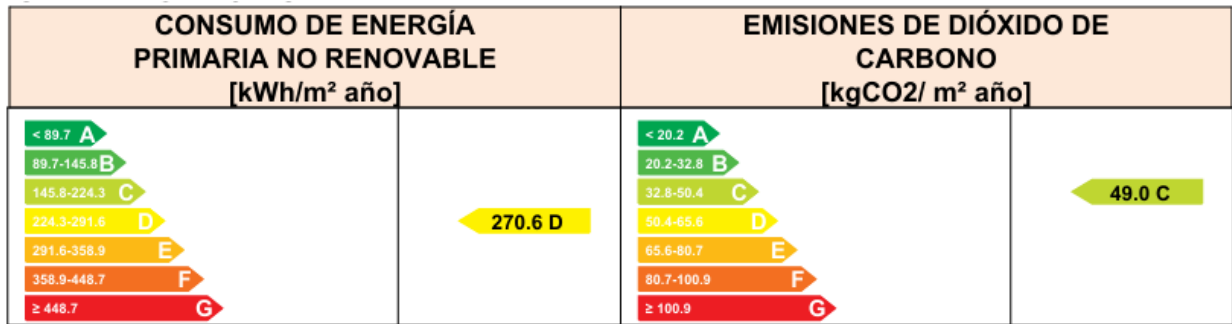


Figura 4-9 Certificación energética del Cuartel Marqués de la Victoria - ventanas y lucernarios con RPT [Elaboración propia]

Por último, una situación más a tener en cuenta es la estructura del suelo. Como se menciona en el apartado 3.2, esta es completamente desconocida, pero se determina como suelo en contacto con el terreno, y así se ha tenido en cuenta para la elaboración del CE. Los suelos, si no están correctamente aislados, son un punto muy importante de pérdida de calor. En este caso no se puede estudiar su composición, y en general la viabilidad de una reforma en el suelo, que incluiría la modificación de los muros de carga de la P0, es muy baja. Sin embargo, el estudio de su composición exacta con las técnicas actuales es una línea de acción interesante a tener en cuenta a futuros, ya que permitiría determinar exactamente la pérdida de calor real del edificio por el terreno, y obtener un valor de eficiencia energética mucho más preciso.

Se presenta a continuación, en la Figura 4-10, una gráfica resumen de los consumos y calificaciones de las propuestas planteadas. En ella se ve claramente la diferencia entre la situación actual, las propuestas de aislamiento, y la provisión de energía eléctrica mediante un sistema fotovoltaico. Hay que destacar que esta simulación con de energía solar ha sido ideal, pero su potencial hace interesante que se lleve a cabo un estudio más en profundidad, tal y como se refleja en las líneas futuras.

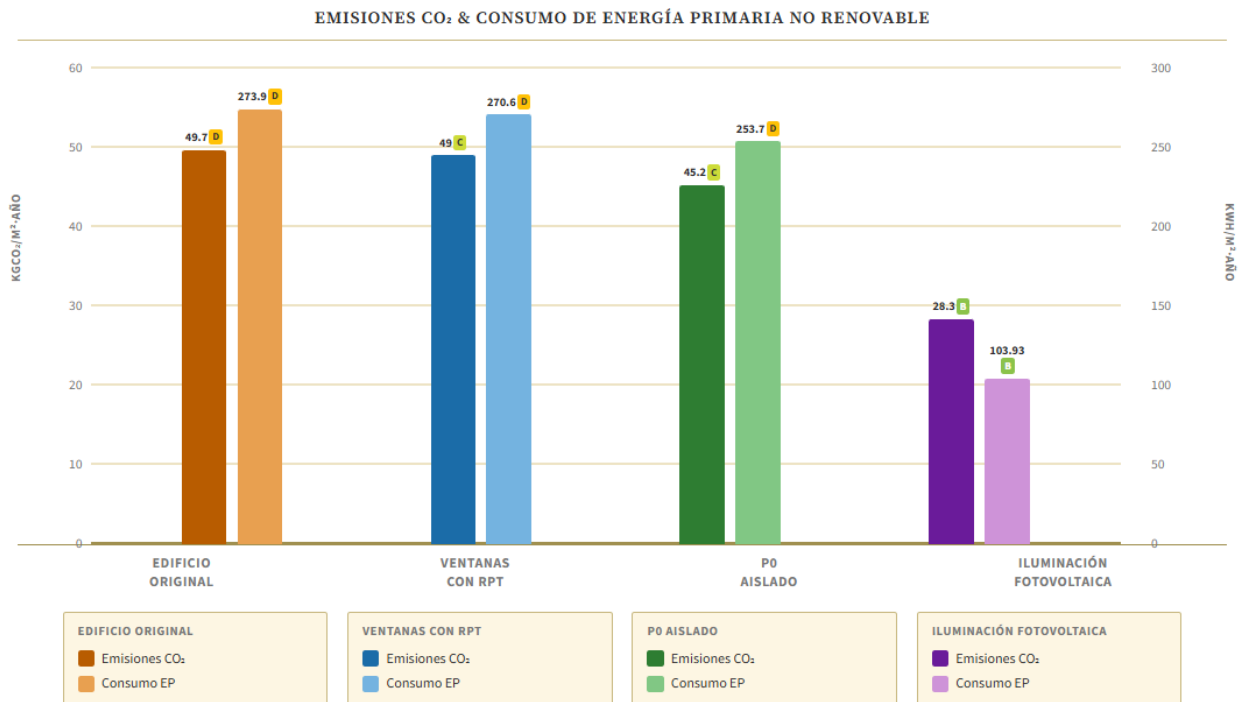


Figura 4-10 Gráfica resumen de las distintas calificaciones en función de las propuestas planteadas para una segunda reforma [Elaboración Propia]

5 CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

5.1 Conclusiones

A lo largo de este trabajo se ha logrado elaborar un Certificado Energético completo, con su correspondiente Calificación Energética, empleando herramientas y procedimientos oficiales. Esto ha permitido entender el alcance de la reforma del año 2022 y su impacto en la eficiencia energética del edificio, así como comparar la situación actual del edificio terminado con la calificación esperada en el desarrollo del proyecto. También ha permitido comprender la influencia concreta de los distintos elementos constructivos en el ahorro energético. Tras la obtención de todos los resultados, se han analizado los factores que han influenciado la calificación, y se han realizado distintas propuestas de mejora en base a dichos factores, con la aplicación de simulaciones para una mejor capacidad de recomendación, y con las que se ha determinado el potencial de la implementación de las energías renovables para la eficiencia energética.

Como reflexiones, de este trabajo se puede extraer la importancia de la energía y su uso correcto y optimizado para la política de un país, y el impacto que esto impacta en todas sus ramas, incluido el Ministerio de defensa, que no se ha hecho a un lado a la hora de participar estas decisiones y que efectivamente ha tomado acción con iniciativas como una reforma que, en gran medida, se orienta a mejorar la eficiencia energética del cuartel. También se percibe que la aplicación de técnicas y materiales modernos es una parte clave para el ahorro, que debe ser tomada en cuenta no solo para obras nuevas, sino para la infraestructura actual, integrado en su ciclo de vida. Y, por último, que no todo lo que se plantea es viable o rentable, de modo que se debe elaborar un análisis de todos los factores antes de llevar nada a cabo.

5.2 Líneas Futuras

- Estudio para la implementación de un sistema fotovoltaico en el recinto de la Escuela Naval Militar y su comparativa con alternativas renovables basado en las particularidades climáticas, regionales y geográficas.
- Empleo de la geotermia para las instalaciones de calefacción, y su posible alcance en combinación con otras edificaciones.
- Revisión de equipos de alto consumo y proyecto de sustitución presupuestado para las dependencias de cocina de la Escuela Naval Militar, y su aporte a la eficiencia energética global del edificio.
- Estudio geotécnico del suelo sobre el que asienta el Cuartel Marqués de la Victoria y análisis de su influencia en las pérdidas de calor del edificio.

6 BIBLIOGRAFÍA

- [1] ONU, Estado Mundial de los Edificios en Construcción, 07 de marzo del 2024. Disponible: Estado Mundial de los Edificios y la Construcción | UNEP - UN Environment Programme.
- [2] Parlamento Europeo, «Directiva 2012/27/UE Relativa a la Eficiencia Energética», Bruselas, 2012. Disponible: Directiva 2012/27/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, d... .
- [3] «Web del MITECO», [En línea]. Disponible: <https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/mitigacion-politicas-y-medidas/edificacion.html> [Último acceso: 27 de enero de 2026].
- [4] IDAE, Estudio de consumo y gasto energético de los hogares españoles, Madrid, septiembre de 2025. Disponible: Estudio de consumo y gasto energético de los hogares españoles | Idae
- [5] MITECO, Balance energético de España 2023, Madrid, 16 de diciembre del 2024. Disponible: Balances energéticos.
- [6] MITECO, «Orden TED/296/2023, de 27 de marzo, por la que se establecen las obligaciones de aportación al Fondo Nacional de Eficiencia Energética en el año 2023», BOE, Madrid, 30 de marzo de 2023. Disponible: BOE-A-2023-8052 Orden TED/296/2023, de 27 de marzo, por la que se establecen las obligaciones de aportación al Fondo Nacional de Eficiencia Energética en el año 2023.
- [7] Parlamento europeo, «Directiva 2010/31/UE Relativa a la eficiencia energética de los edificios», Bruselas, 19 de mayo de 2010. Disponible: BOE.es - DOUE-L-2010-81077 Directiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de mayo de 2010, relativa a la eficiencia energética de los edificios.
- [8] Ministerio de la Presidencia, Relaciones con las Cortes y Memoria Democrática, «Real Decreto 390/2021, de 1 de junio, por el que se aprueba el procedimiento básico para la certificación de la eficiencia energética de los edificios», BOE, Madrid, 2 de junio de 2021. Disponible: BOE-A-2021-9176 Real Decreto 390/2021, de 1 de junio, por el que se aprueba el procedimiento básico para la certificación de la eficiencia energética de los edificios.
- [9] «Web del MITECO», [En línea]. Disponible: <https://www.miteco.gob.es/es/energia/eficiencia/certificacion-energetica/documentos->

- reconocidos/procedimientos-certificacion-proyecto-terminados.html [Último acceso: 6 de Febrero de 2026]
- [10] Ministerio de Vivienda y Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, Opción Simplificada para la Calificación de Eficiencia Energética de Edificios de Viviendas, Madrid, 19 de enero de 2007. Disponible: Certificación de eficiencia energética de los edificios.
- [11] Juaneda, Luis, Estudio comparativo sobre el procedimiento simplificado y el procedimiento general en la certificación energética de edificios residenciales ya existentes, Escola Tècnica Superior d'Enginyeries Industrial i Aeronàutica de Terrassa, Otoño de 2015. Disponible: upcommons.upc.edu/server/api/core/bitstreams/84558d96-ad48-4c3f-84869b1ec504a61/content
- [12] «Web Del Toro & Antúnez Arquitectos, Sustentable y sostenible», [En línea]. Disponible: <https://blog.deltoroantunez.com/2021/10/programa-para-certificado-energetico.html> [Último acceso: 13 de enero de 2026].
- [13] «Web del United States Green Building Council (USGBC)», [En línea]. Disponible: <https://www.usgbc.org/projects> [Último acceso: 21 de enero de 2026].
- [14] Martínez, Miriam, Auditoría energética de un edificio terciario, Universidad de Cantabria, Escuela Politécnica de Ingeniería de Minas y Energía, Julio de 2023
- [15] Yanislava Georguieva, Certificación energética de un edificio de viviendas existente y propuestas de mejora, Universitat Politècnica De València, Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño, curso 2023/2024.
- [16] Penas López, Daniel, Estudio y análisis de la certificación energética en Europa aplicada a un edificio de viviendas y apartamento, Universidade de Coruña, Escola universitaria de Arquitectura Técnica, Convocatoria 2015
- [17] «Web del MINISDEF», [En línea]. Disponible: Mejora de la eficiencia energética del Hospital Central de la Defensa 'Gómez Ulla' Centro Sanitario de Vida y Esperanza - Ministerio de Defensa de España [Último acceso: 18 de Marzo de 2026]
- [18] «Web del MINISDEF», [En línea]. Disponible: Proyecto intervención en mejora de eficiencia energética y la envolvente térmica mediante la sustitución de las carpinterías y vidrios en conjunto histórico de edificios Academia General Militar C11.I4.P61.S2.01 MDEF124 | Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia Gobierno de España. [Último acceso: 18 de Marzo de 2026]
- [19] «Web del MINISDEF», [En línea]. Disponible: Política Medioambiental del Ministerio de Defensa - Medio Ambiente [Último acceso: 18 de Marzo de 2026]
- [20] «Web de la Asociación de Empresas Contratistas con las Administraciones Públicas», [En línea]. Disponible: Infodefensa entrevista al general de división Juan Emilio Muñoz sobre los 250 millones que recibirá Defensa de Europa para 165 proyectos de eficiencia energética y su relación con la futura base logística del Ejército de Tierra - Aesmide [Último acceso: 18 de Marzo de 2026]
- [21] Ministerio de Defensa, «Resolución 164/1999», B.O.D. núm. 128 de 2 Julio, por la que se aprueba la «Instrucción sobre Edificios de Alojamiento y Vestuario para Tropa y Marinería.

- [22] Xunta de Galicia, Catálogo de Patrimonio Cultural de la Consellería de Medio Ambiente e Ordenación do Territorio. Disponible: Catálogo del Patrimonio Cultural de Galicia | Cultura de Galicia.
- [23] Yeray Manuel Estévez Cerviño, José Mel Fraga, Memoria Descriptiva del Proyecto de Remodelación del Cuartel Marqués de la Victoria, octubre del 2022.
- [24] Ministerio de Vivienda y Agenda Urbana, Documento Básico sobre Ahorro Energético (DB-HE), 20 de diciembre de 2022. Disponible: DccHE.pdf.
- [25] Ministerio de Fomento, Documento Básico sobre Seguridad en caso de Incendio (DB-SI2), 20 de diciembre de 2019. Disponible: Seguridad en caso de incendio.
- [26] Exinor S.L. Reforma de sala de calderas para cambio de combustible en el edificio del cuartel Marques de la Victoria. Escuela Naval de Marin. Diciembre del 2020.
- [27] Efinovatic, Manual de usuario del programa para la elaboración de la calificación energética de los edificios. Disponible: efinovatic.es.
- [28] «Calculadora energética de costes, web del Consejo General de la Arquitectura Técnica en España», [En línea]. Disponible: Calculadora Energética [Último acceso: 10 de marzo de 2026]
- [29] «Web TarifaLuzHora», [En línea]. Disponible: Precio kWh España a 10 Marzo 2026: Evolución y Comparativa [Último acceso: 10 de marzo de 2026].
- [30] «Web de Knauf», [En línea]. Disponible: Aislamiento térmico y acústico para trasdosado | Knauf Insulation [Último acceso: 10 de marzo de 2026].
- [31] «Web de Idealista», [En línea]. Disponible: Radiografía del parque inmobiliario español: una vivienda de 45 años con un certificado energético E — idealista/news [Último acceso: 24 de marzo de 2026].
- [32] «Web de KPMG», [En línea]. Disponible: Energy Institute 2025 Statistical Review of World Energy [Último acceso: 24 de marzo de 2026].
- [33] IDAE - Consumo por usos del sector residencial - 16ª edición - marzo 2025. Disponible: Informe Web - Consumo por usos del sector residencial - 16ª edición - Marzo 2025
- [34] «Web de Red Eléctrica Española», [En línea]. Disponible: Emisiones de CO2 equivalente | Red Eléctrica [Último acceso: 25 de marzo de 2026].
- [35] «Web del Catastro», [En línea]. Disponible: Sede Electrónica del Catastro - Fondo mapa de España [Último acceso: 4 de febrero de 2026].
- [36] «Web de Ygnis», [En línea]. Disponible: Página oficial de YGNIS [Último acceso: 23 de febrero de 2026].
- [37] «Web de Wilo», [En línea]. Disponible: Página oficial de WILO [Último acceso: 23 de febrero de 2026].

ANEXO I: IMPLICACIONES SOCIALES, ECONÓMICAS, Y AMBIENTALES

Las implicaciones sociales, económicas y ambientales de este proyecto son muy claras. En la introducción se trata la energía como un factor de decisión política, de presencia internacional y de dependencia, pero todo esto tiene un solo objetivo en una nación: Asegurar el bienestar de sus habitantes, garantizar su seguridad y constituir un estado de derecho sólido y no afectado por actores externos.

Es por este motivo que destaco dos posturas de presentación para las implicaciones sociales, económicas y ambientales:

La del mundo civil, muy clara, en la que un marco legal, desarrollado en el estado del arte, promueve la construcción eficiente impuesta a las empresas, con el objetivo de favorecer la vida diaria y la economía de la gente de a pie y fomentar el progreso del parque inmobiliario nacional hacia una tecnología más moderna, contención de las emisiones y mejores infraestructuras en cuanto a calidad de vida y consumo.

Aquí el beneficio es directo. Más ahorro a largo plazo, mayor bienestar poblacional, progreso tecnológico de la industria. Esto, combinado con otras políticas, repercute en ciudades menos contaminadas, mejor calidad de vida y mayor vida útil de los inmuebles, con necesidad de remodelación menos frecuente, y más barata (cambio de superficies o revestimientos clave, sin modificaciones estructurales o derribos.), porque se ha construido con un diseño inteligente y con previsión de futuro.

Y por el otro lado encontramos la postura tratada como principal en este trabajo, por ser la que más relación directa tiene con el entorno y situación del edificio. La militar, que utiliza la eficiencia energética como punto de palanca que permite que, debido al ahorro y el mejor mantenimiento de las dependencias clave, se puedan realizar las funciones de defensa nacional con mayor diligencia, recursos y capacidades. Se beneficia de su mejor imagen pública, al tiempo que aumenta la moral de todos sus efectivos, que podrán residir en mejores condiciones, y facilitan el mantenimiento y buena conservación de repuestos, recambios y materiales, evitando humedades, temperaturas extremas o degradación con un coste y consumo muchísimo menor. Esto es especialmente importante en silos y polvorines, y además contribuye a la seguridad de todo el entorno, al contribuir a mantener las condiciones de seguridad óptimas para combustibles y explosivos.

ANEXO II: REFLEXIONES ÉTICAS Y SOCIALES

Las reflexiones éticas están sumamente ligadas a la información presentada en el Anexo 1. Y es que la certificación de eficiencia energética establece los estándares constructivos que aseguran una vivienda digna.

El consumo es el cuello de botella normativo que permite abarcar mucho legislando poco, pues para una buena eficiencia se requieren buenos aislamientos, sistemas modernos, diseño inteligente y mucha planificación, que obligan a que todo lo demás vaya acorde en cuanto a calidad. Una mala estructura no va a ser eficiente solo por unas buenas instalaciones, y viceversa. Por ello las empresas se ven forzadas a establecer unos estándares de calidad que. En paralelo, garantizan que el usuario final va a disponer de la calidad de vida adecuada.

Es indispensable destacar que, además, la iniciativa de la eficiencia energética no surge como una política estratégica, pese a que las circunstancias y el desarrollo histórico la han convertido en una. Surge, ni más ni menos, como una reacción política a la recién adquirida conciencia de que nuestras actividades tienen un impacto sobre el resto del planeta. Surge en un contexto en el que la extinción de especies alcanzaba su pico más alto, la deforestación causaba estragos y las industrias no tenían freno. Por estas razones, se llegó a la conclusión de que era necesario atajar la causa del problema y, en este caso, la causa de que se sobreexplotaran los recursos era, y es, aunque cada vez menos, que consumimos en exceso. Por tanto, reducir la necesidad de materias primas, energía y combustible, o cambiar la perspectiva hacia un sistema y una sociedad renovable, se volvió el punto de referencia primero para la comunidad científica y, más tarde, para los gobiernos. Esto se aprecia especialmente en los países más desarrollados, y tiene su explicación en la Pirámide de Marshlow. La preocupación por el entorno y el medio ambiente se encuentra en la cúspide de la pirámide, y cuando una sociedad se preocupa por asentar las bases, no puede fijarse en algo tan elevado. Por eso, desde el punto de vista global, garantizar un estado de seguridad y bienestar a nivel mundial contribuye a progresar en el camino hacia la eficiencia y la sostenibilidad.

ANEXO III: INFORME DE CERTIFICACIÓN ENERGÉTICA

En este anexo se incluye el certificado de eficiencia energética completo elaborado con el programa CE3X, cumpliendo el formato oficial del mismo, y que incluye la calificación, global y segmentada, tanto de emisiones como de consumo, la información del técnico certificador (simulada), y los datos del edificio que determinan la calificación, como la información de instalaciones y envolvente térmica, dispuestas en tablas. Se incluye también la documentación adjunta, en este caso, el Proyecto de reforma.

CERTIFICADO DE EFICIENCIA ENERGÉTICA DE EDIFICIOS

IDENTIFICACIÓN DEL EDIFICIO O DE LA PARTE QUE SE CERTIFICA:

Nombre del edificio	Cuartel de Alumnos Marqués de la Victoria		
Dirección	Plaza de España s/n		
Municipio	Marín	Código Postal	36920
Provincia	Pontevedra	Comunidad Autónoma	Galicia
Zona climática	C1	Año construcción	1943
Normativa vigente (construcción / rehabilitación)	CTE 2013		
Referencia/s catastral/es	4239030NG2943N0001IZ		

Tipo de edificio o parte del edificio que se certifica:

☐ Edificio de nueva construcción	☒ Edificio Existente
☐ Vivienda ☐ Unifamiliar ☐ Bloque ☐ Bloque completo ☐ Vivienda individual	☒ Terciario ☒ Edificio completo ☐ Local

DATOS DEL TÉCNICO CERTIFICADOR:

Nombre y Apellidos	Pablo Araújo Raña	NIF(NIE)	39514429S
Razón social	-	NIF	-
Domicilio	Plaza de España s/n		
Municipio	Marín	Código Postal	36920
Provincia	Pontevedra	Comunidad Autónoma	Galicia
e-mail:	pararan@mde.es	Teléfono	-
Titulación habilitante según normativa vigente	Ingeniero Industrial		
Procedimiento reconocido de calificación energética utilizado y versión:	CEXv2.3		

CALIFICACIÓN ENERGÉTICA OBTENIDA:

CONSUMO DE ENERGÍA PRIMARIA NO RENOVABLE [kWh/m² año]	EMISIONES DE DIÓXIDO DE CARBONO [kgCO2/ m² año]
 273.9 D	 49.7 D

El técnico abajo firmante declara responsablemente que ha realizado la certificación energética del edificio o de la parte que se certifica de acuerdo con el procedimiento establecido por la normativa vigente y que son ciertos los datos que figuran en el presente documento, y sus anexos:

Fecha: 02/03/2026

Firma del técnico certificador

Anexo I. Descripción de las características energéticas del edificio.

Anexo II. Calificación energética del edificio.

Anexo III. Pruebas, comprobaciones e inspecciones realizadas por el técnico certificador.

Registro del Órgano Territorial Competente:

ANEXO I

DESCRIPCIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS ENERGÉTICAS DEL EDIFICIO

En este apartado se describen las características energéticas del edificio, envolvente térmica, instalaciones, condiciones de funcionamiento y ocupación y demás datos utilizados para obtener la calificación energética del edificio.

1. SUPERFICIE, IMAGEN Y SITUACIÓN

Superficie habitable [m²]	4070.0
Imagen del edificio	Plano de situación
	

2. ENVOLVENTE TÉRMICA

Cerramientos opacos

Nombre	Tipo	Superficie [m ²]	Transmitancia [W/m ² ·K]	Modo de obtención
Fachada Sur - P0	Fachada	364.59	2.94	Estimadas
Fachada Oeste - P0	Fachada	89.13	0.81	Estimadas
Fachada Este - P0	Fachada	425.61	2.94	Estimadas
Fachada Norte - P0	Fachada	362.48	2.94	Estimadas
Fachada Sur - P1	Fachada	349.23	0.34	Estimadas
Fachada Este - P1	Fachada	389.47	0.34	Estimadas
Fachada Oeste - P1	Fachada	395.23	0.34	Estimadas
Fachada Norte - P1	Fachada	371.01	0.34	Estimadas
Suelo con terreno	Suelo	1090.0	0.29	Por defecto
Falso techo primera planta	Partición Interior	1460.0	0.38	Conocidas
Falso techo planta baja	Partición Interior	1460.0	0.38	Conocidas
Fachada Sur - P2	Fachada	349.23	0.34	Estimadas
Fachada Este - P2	Fachada	389.47	0.34	Estimadas
Fachada Oeste - P2	Fachada	395.23	0.34	Estimadas
Fachada Norte - P2	Fachada	371.01	0.34	Estimadas
Falso techo segunda planta	Partición Interior	1460.0	0.38	Conocidas
Cubierta	Cubierta	1760.0	0.42	Estimadas

Huecos y lucernarios

Nombre	Tipo	Superficie [m ²]	Transmitancia [W/m ² ·K]	Factor solar	Modo de obtención. Transmitancia	Modo de obtención. Factor solar
Ventana Tipo 1	Hueco	38.4	3.78	0.63	Estimado	Estimado
Ventana Tipo 2	Hueco	5.76	3.78	0.63	Estimado	Estimado
Puerta Oeste	Hueco	4.96	2.20	0.06	Estimado	Estimado
Ventana Tipo 3	Hueco	5.04	3.78	0.63	Estimado	Estimado
Ventana Tipo 4	Hueco	4.62	3.78	0.63	Estimado	Estimado
Ventana Tipo 3E	Hueco	7.56	3.78	0.63	Estimado	Estimado
Ventana Tipo 4E	Hueco	4.62	3.78	0.63	Estimado	Estimado
Puerta Este	Hueco	4.96	2.20	0.06	Estimado	Estimado
Puerta Comedor	Hueco	10.45	3.44	0.62	Estimado	Estimado
Ventana Tipo 1N	Hueco	15.36	3.78	0.63	Estimado	Estimado
Ventana Tipo 2N	Hueco	11.52	3.78	0.63	Estimado	Estimado
Ventana Tipo 5	Hueco	13.44	3.78	0.63	Estimado	Estimado
Ventana tipo 6	Hueco	53.76	3.78	0.63	Estimado	Estimado
Ventana tipo 7	Hueco	5.76	3.78	0.63	Estimado	Estimado
Ventana tipo 8	Hueco	11.52	3.78	0.63	Estimado	Estimado
Ventana tipo 9	Hueco	8.64	3.44	0.62	Estimado	Estimado
Ventana tipo 10	Hueco	4.32	3.78	0.63	Estimado	Estimado
Ventana tipo 11	Hueco	28.8	3.78	0.63	Estimado	Estimado
Ventana tipo 12	Hueco	7.68	3.78	0.63	Estimado	Estimado
Ventana tipo 13	Hueco	11.52	3.78	0.63	Estimado	Estimado
Ventana tipo 14	Hueco	24.0	3.78	0.63	Estimado	Estimado
Ventana tipo 15	Hueco	4.32	3.78	0.63	Estimado	Estimado
Ventana tipo 16	Hueco	30.72	3.78	0.63	Estimado	Estimado
Ventana tipo 17	Hueco	11.52	3.78	0.63	Estimado	Estimado
Ventana tipo 6-2	Hueco	53.76	3.78	0.63	Estimado	Estimado
Ventana tipo 7-2	Hueco	5.76	3.78	0.63	Estimado	Estimado
Ventana tipo 8-2	Hueco	11.52	3.78	0.63	Estimado	Estimado
Ventana tipo 9-2	Hueco	8.64	3.44	0.62	Estimado	Estimado
Ventana tipo 10-2	Hueco	4.32	3.78	0.63	Estimado	Estimado
Ventana tipo 11-2	Hueco	28.8	3.78	0.63	Estimado	Estimado
Ventana tipo 12-2	Hueco	7.68	3.78	0.63	Estimado	Estimado
Ventana tipo 13-2	Hueco	11.52	3.78	0.63	Estimado	Estimado
Ventana tipo 14-2	Hueco	24.0	3.78	0.63	Estimado	Estimado
Ventana tipo 15-2	Hueco	4.32	3.78	0.63	Estimado	Estimado
Ventana tipo 16-2	Hueco	30.72	3.78	0.63	Estimado	Estimado
Ventana tipo 17-2	Hueco	11.52	3.78	0.63	Estimado	Estimado

3. INSTALACIONES TÉRMICAS

Generadores de calefacción

Nombre	Tipo	Potencia nominal [kW]	Rendimiento Estacional [%]	Tipo de Energía	Modo de obtención
Calefacción y ACS	Caldera Condensación	550	85.8	Gas Natural	Estimado
TOTALES	Calefacción				

Generadores de refrigeración

Nombre	Tipo	Potencia nominal [kW]	Rendimiento Estacional [%]	Tipo de Energía	Modo de obtención
TOTALES	Refrigeración				

Instalaciones de Agua Caliente Sanitaria

Demanda diaria de ACS a 60° (litros/día)	2208.0
---	--------

Nombre	Tipo	Potencia nominal [kW]	Rendimiento Estacional [%]	Tipo de Energía	Modo de obtención
Calefacción y ACS	Caldera Condensación	550	85.8	Gas Natural	Estimado
TOTALES	ACS				

4. INSTALACIÓN DE ILUMINACIÓN (sólo edificios terciarios)

Espacio	Potencia instalada [W/m²]	VEEI [W/m²·100lux]	Iluminación media [lux]	Modo de obtención
P1	11.07	11.07	100.00	Conocido
P2	11.07	11.07	100.00	Conocido
P0	18.35	18.35	100.00	Conocido
TOTALES	13.02			

5. CONDICIONES DE FUNCIONAMIENTO Y OCUPACIÓN (sólo edificios terciarios)

Espacio	Superficie [m²]	Perfil de uso
Edificio	4070.0	Intensidad Media - 24h

ANEXO II

CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DEL EDIFICIO

Zona climática	C1	Uso	Intensidad Media - 24h
----------------	----	-----	------------------------

1. CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DEL EDIFICIO EN EMISIONES

INDICADOR GLOBAL		INDICADORES PARCIALES				
< 19.4A 19.4-31.5B 31.5-48.5C 48.5-63.1D 63.1-77.6E 77.6-97.0F ≥ 97.0G	49.7D	CALEFACCIÓN		ACS		
		Emisiones calefacción [kgCO2/m² año]	A	Emisiones ACS [kgCO2/m² año]	D	
		13.08		3.23		
		REFRIGERACIÓN		ILUMINACIÓN		
		Emisiones globales [kgCO2/m² año]	Emisiones refrigeración [kgCO2/m² año]	E	Emisiones iluminación [kgCO2/m² año]	G
			4.55		28.79	

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

	kgCO2/m² año	kgCO2/año
Emisiones CO2 por consumo eléctrico	33.34	135709.29
Emisiones CO2 por otros combustibles	16.31	66374.65

2. CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DEL EDIFICIO EN CONSUMO DE ENERGÍA PRIMARIA NO RENOVABLE

Por energía primaria no renovable se entiende la energía consumida por el edificio procedente de fuentes no renovables que no ha sufrido ningún proceso de conversión o transformación.

INDICADOR GLOBAL		INDICADORES PARCIALES				
< 86.8A 86.8-141.0B 141.0-217.0C 217.0-282.1D 282.1-347.2E 347.2-433.9F ≥ 433.9G	273.9 D	CALEFACCIÓN		ACS		
		Energía primaria calefacción [kWh/m² año]	B	Energía primaria ACS [kWh/m² año]	D	
		61.77		15.24		
		REFRIGERACIÓN		ILUMINACIÓN		
		Consumo global de energía primaria no renovable [kWh/m² año]	Energía primaria refrigeración [kWh/m² año]	E	Energía primaria iluminación [kWh/m² año]	G
			26.87		169.97	

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

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

DEMANDA DE CALEFACCIÓN		DEMANDA DE REFRIGERACIÓN	
< 29.6 A 29.6-48.1 B 48.1-73.9 C 73.9-96.1 D 96.1-118.3 E 118.3-147.9 F ≥ 147.9 G	44.5 B	< 6.6 A 6.6-10.7 B 10.7-16.5 C 16.5-21.5 D 21.5-26.4 E 26.4-33.0 F ≥ 33.0 G	27.5 F
Demanda de calefacción [kWh/m² año]		Demanda de refrigeración [kWh/m² año]	

ANEXO III

PRUEBAS, COMPROBACIONES E INSPECCIONES REALIZADAS POR EL TÉCNICO CERTIFICADOR

Se describen a continuación las pruebas, comprobaciones e inspecciones llevadas a cabo por el técnico certificador durante el proceso de toma de datos y de calificación de la eficiencia energética del edificio, con la finalidad de establecer la conformidad de la información de partida contenida en el certificado de eficiencia energética.

Fecha de realización de la visita del técnico certificador	07/01/2026
---	------------

COMENTARIOS DEL TÉCNICO CERTIFICADOR

DOCUMENTACION ADJUNTA

Proyecto de Reforma del Cuartel de Alumnos Marqués de la Victoria, Fase 2, AN INGENIERO Y ARQUITECTO Yeray Manuel Estévez Cervera, ITA INGENIERO INDUSTRIAL José Mel Fraga.

Proyecto de Reforma De Sala De Calderas Para Cambio De Combustible En El Edificio Del Cuartel Marques De La Victoria. Escuela Naval De Marin. Exinor S.L.

ANEXO IV: EXTRACTOS DE LA MEMORIA CONSTRUCTIVA

Este anexo tiene como objetivo facilitar la búsqueda de información por parte del lector en la documentación original de la que han sido extraídos los datos relativos a las características constructivas del edificio. En él se citan textualmente fragmentos o apartados del Proyecto de reforma del Marqués de la Victoria del año 2022 o su información complementaria respecto a instalaciones y materiales.

Artículos 155 y 156C dentro del Capítulo VI del PGOM en vigor de Marín:

Artículo 155 “Condiciones especiales para las acciones sobre bienes catalogados”, cito textualmente: “En los elementos catalogados explícitamente quedan prohibidos los derribos parciales o totales que afecten a la envolvente del edificio, las modificaciones o aperturas de huecos o aquellos cambios de la mencionada envolvente que modifique la composición general, salvo que sea para eliminar elementos añadidos que no sean los originales, quedando exceptuados aquellos que se relacionan en el artículo 158 de las presentes Normas Urbanísticas. Las acciones permitidas en los bienes catalogados son las tendientes a su conservación, restauración, consolidación y rehabilitación. (...) Con el principio de rehabilitación se entienden aquellas obras encaminadas a mejorar y adecuar las condiciones de habitabilidad y que impliquen una redistribución de la ordenación espacial, conservando las características estructurales y la composición exterior de la envolvente del edificio (fachadas y cubiertas) o elemento. Dentro de este principio, se consideran aquellas obras encaminadas a la conservación que impliquen alguna sustitución parcial o total de algún elemento estructural, con aportación de elementos nuevos de diseño o naturaleza material diferente a los sustituidos.”

Artículo 156 C: “En las construcciones y/o elementos con grado de Protección Ambiental, se permiten las acciones tendentes a la conservación, restauración, consolidación, rehabilitación y reestructuración de conformidad con lo dispuesto en el artículo 155. Además de las acciones señaladas en el apartado anterior de este artículo, excepcionalmente se permiten para las construcciones las modificaciones de la distribución y orden en sus aspectos interiores, por motivos higiénico-sanitarios (habitabilidad), así como la sustitución o reposición estructural y la de algunos elementos de fachadas y cubiertas.”

Apartado 1.8.- PRESTACIONES DEL EDIFICIO de la Memoria Descriptiva del Proyecto de Reforma del Cuartel de Alumnos Marqués de la Victoria:

“Las exigencias de aplicación en lo referente al ahorro energético (DB HE) serán las HE1, HE2 y HE3. Las exigencias HE4 y HE5, referidas a la contribución mínima de energías renovables, obligarían a la incorporación de equipos para aprovechamiento de energía solar térmica y fotovoltaica, respectivamente; entrando en colisión con las condiciones de protección urbanística del edificio, que forma parte de un conjunto arquitectónico catalogado por parte de la Consellería de Medio Ambiente e Ordenación do Territorio y el Concello de Marín. El epígrafe 1.6 y el Anejo 4 detallan estas condiciones de protección, en base a las cuales se omite la aplicación de las secciones HS4 y HS5 del CTE.”

“Cerramientos exteriores.- La solución empleada para los cerramientos exteriores difiere entre la planta baja (muros de mampostería de granito enfoscados interior y exteriormente con mortero de cemento, con un espesor total de cerramiento de 780 mm) y las dos plantas superiores (muro de carga de ladrillo hueco de espesor aproximado 350 mm, cámara de aire de 100 mm y hoja interior de rasilla de ladrillo de 30 mm de espesor, enfoscados interior y exteriormente con

mortero de cemento, con un espesor total de cerramiento del orden de 550 mm). En ambos casos, carecen de un aislamiento térmico efectivo.

En planta baja, las actuaciones sobre el cerramiento exterior se limitan, exclusivamente, a la zona de habitaciones. En esta zona, todo el cerramiento exterior será trasdosado con paneles de yeso laminado de alta dureza y con características acústicas, cortafuegos e hidrófugas (tipo DFH1IR según norma UNE EN 520) de 15 mm de espesor, montados sobre una estructura de perfiles de acero galvanizado modulada a 400 mm de separación entre montantes verticales, y con un aislamiento térmico de lana mineral de 45 mm de espesor. Con esta configuración se obtendrá un valor de transmitancia térmica del cerramiento de $U = 0,50 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$.

En las plantas primera y segunda, se mejorará el aislamiento de los cerramientos mediante la inyección de espuma de poliuretano de baja densidad (12-18 kg/m³) y conductividad térmica 0,038 W/m·K en el interior de la cámara existente (de 100 mm de espesor), obteniéndose un valor de transmitancia térmica del cerramiento de $U = 0,257 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$. Para la inyección se realizarán taladros en la hoja interior del cerramiento, con las separaciones precisas para asegurar el relleno de todo el espacio de la cámara, lo que será comprobado como parte del control de calidad de la obra (según se detalla en el correspondiente anejo). Se tendrán en cuenta la presencia de elementos que interrumpan la continuidad de la cámara, como es el caso de los pilares de refuerzo de la estructura, insertados en ella.

Será necesaria la apertura de huecos en los cerramientos exteriores, para la colocación de las puertas de acceso a la escalera exterior en plantas primera y segunda (ampliando ventanas existentes) y para la colocación de las rejillas de impulsión / extracción de los equipos de renovación de aire.”

“Carpinterías exteriores. - Las carpinterías exteriores del edificio son de aluminio con doble acristalamiento, sin ruptura de puente térmico, que datan de la anterior reforma de los años 2000-2001. No está prevista su sustitución general, aunque sí la de determinadas unidades:

- Ventanas de pasillos y zonas comunes que se encuentran a una distancia menor de 2,00 m de otras pertenecientes a diferente sector de incendio, lo que se según DB-SI2 incumple las condiciones necesarias para evitar la propagación exterior del fuego. Esta situación se da en varias unidades en plantas baja, primera y segunda (10 ventanas de 1600x2400 mm, 6 ventanas de 1200x2400 mm, 3 ventanas de 1300x2400 mm, 2 ventanas de 2000x2400 mm). Todas ellas se sustituirán por ventanas fijas cortafuegos, con ruptura de puente térmico y acristaladas con vidrio cortafuegos EW60 según UNE EN 13501-1, lacadas en color verde RAL6005.

- Puertas cortafuegos de acceso a escalera exterior (dos unidades), de acero galvanizado, EI2 30-C5, de dos hojas lisas de 203x80x6,3 cm (1600x2000 mm de paso), lacadas en color verde RAL6005.

- Puertas de acceso a las terrazas exteriores (cuatro unidades), acristaladas, con rotura de puente térmico, de dos hojas practicables de apertura hacia el exterior, de dimensiones totales 1800x2600mm, lacadas en color verde RAL6005.

- Puertas exteriores de acceso al edificio, acristaladas, con rotura de puente térmico, de dos hojas practicables de apertura hacia el exterior, con barra antipánico, de dimensiones totales 1800x2600mm, lacadas en color verde RAL6005. Se colocarán dos unidades en las salidas de emergencia del comedor, sustituyendo a las actuales, y una en el acceso a la escalera lateral izquierda. Sobre las dos puertas de salida del comedor se colocarán sendos ventanales fijos de 1800x1000 mm, con doble acristalamiento y ruptura de puente térmico.”

“...ha sido renovada ya por completo en la primera fase del proyecto, no realizándose nuevas actuaciones sobre la misma. El aislamiento térmico requerido a la misma se aporta por medio de la colocación de paneles de lana mineral de 100 mm de espesor y conductividad térmica $0,036 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ sobre el falso techo de la segunda planta, dado que el espacio por encima de este falso techo no es habitable (careciendo incluso de forjado). Tal y como se detalla en el capítulo 3 de la memoria, con esta solución se obtiene un valor de transmitancia térmica de la cubierta de $U = 0,275 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$.

Los pasos de chimeneas a la cubierta, para extracción de aire interior y para ventilación de bajantes de aguas residuales, ya han sido realizados en la anterior actuación, para evitar los trabajos en cubierta en esta fase de obra.”

Apartado 2.5 Sistema de Compartimentación, de la Memoria Descriptiva del Proyecto de Reforma del Cuartel de Alumnos Marqués de la Victoria:

“Divisiones interiores. - Con carácter general, las divisiones interiores del edificio se adaptarán a las prestaciones requeridas en cuanto a aislamiento térmico y acústico y comportamiento frente al fuego. Se detallan a continuación los tipos de divisiones contemplados:

- Trasdoso directo de muros de carga existentes, formado por aislamiento térmico constituido por un panel semirrígido de lana de roca de 40 mm de espesor, tabique de ladrillo hueco sencillo de medidas $24 \times 11,5 \times 5 \text{ cm}$ recibido con mortero de cemento, con banda elástica perimetral, revestido mediante guarnecido maestreado con yeso negro y enlucido con yeso blanco de 15 mm de espesor medio. Se aplicará este trasdosado a los muros de separación entre habitaciones y baños (B11, B12, B13, B14, B15, B21, B22, B23, B24, B25) y a los que separan la Sala de Lectura del vestíbulo P14, las habitaciones de segunda planta del vestíbulo P24, y las habitaciones de planta baja del local anexo. También se empleará este trasdosado en la división entre la Cocina y el Comedor, para conseguir la sectorización entre ambos.

- Trasdoso autoportante en los muros de carga interiores que separan los pasillos P11, P13, P21 y P22 de las habitaciones, empleando el mismo tipo de solución que ya se ha indicado para el trasdosado de cerramientos exteriores en la planta baja (trasdosado con paneles de yeso laminado de alta dureza y con características acústicas, cortafuegos e hidrófugas, tipo DFH1IR según norma UNE EN 520, de 15 mm de espesor, montados sobre una estructura de perfiles de acero galvanizado modulada a 400 mm de separación entre montantes verticales, y con un aislamiento térmico de lana mineral de 45 mm de espesor).

- Partición interior vertical de doble hoja de fábrica de ladrillo hueco doble cerámico de 7 cm de espesor, en piezas de dimensiones aprox. de $30 \times 15 \times 7 \text{ cm}$, recibidas con mortero de cemento, apoyadas sobre bandas elásticas EEPS de 10 mm de espesor, con capa intermedia de aislamiento térmico acústico de paneles rígidos de lana mineral de 40 mm de espesor conforme a UNE-EN 13162:2013; revestido por ambas caras mediante guarnecido maestreado con yeso negro y enlucido con yeso blanco de 15 mm de espesor medio. Se utilizará esta partición en las separaciones entre pasillos y locales (habitaciones, baños o paños), en todas las zonas de actuación.

- Partición interior vertical de fábrica de ladrillo hueco doble cerámico de 7 cm de espesor, en piezas de dimensiones aprox. de $24 \times 11,5 \times 7 \text{ cm}$, recibidas con mortero de cemento, revestido por ambas caras mediante guarnecido maestreado con yeso negro y enlucido con yeso blanco de 15 mm de espesor medio. Se empleará esta partición en todas las divisiones interiores entre locales, así como en el patinillo de subida de instalaciones de fontanería y calefacción desde la planta baja (que pasa por la habitación H111).

- Cegado de huecos en muros existentes, empleando fábrica de ladrillo hueco doble cerámico de 7 cm de espesor, para respetar las condiciones de sectorización. Los únicos huecos existentes en los muros que delimiten sectores de incendio serán los de las puertas cortafuegos, y los necesarios para el paso de instalaciones (en este caso, debidamente sellados con mortero ignífugo).

- Falso pilar a 2 caras de 500x500 mm, con división interior de 500 mm, autoportante, formado todo ello por placa de yeso laminado de alta dureza y con características acústicas, cortafuegos e hidrófugas (tipo DFH1IR según norma UNE EN 520) de 15 mm de espesor, atornillada a una estructura metálica de acero galvanizado Z1 de perfiles de canales horizontales y montantes verticales de 48 mm, dotados de trampilla de registro. Estos falsos pilares se ubicarán en cada local, en general detrás de la puerta de acceso, del modo que se indica en los planos de distribución. Su cometido será el de servir para el paso de instalaciones al interior, desde la distribución general de los diferentes servicios en la pasarela de mantenimiento. La división interior del pilar servirá para separar las instalaciones eléctricas y de comunicaciones de las de agua y calefacción. El cuadro eléctrico de cada local irá, por lo general, empotrado en el falso pilar. Los pasos de instalaciones, bien se realicen por la parte superior (en locales de las plantas baja y primera) o por la inferior (en la planta segunda) estarán debidamente sellados con mortero ignífugo para mantener las condiciones de sectorización.”

“Falsos techos. - Además de su función delimitadora del espacio habitable, los falsos techos formarán parte de la sectorización de locales frente al riesgo de incendio, y permitirán la colocación de aislamientos térmicos que reduzcan el consumo energético del edificio.

La altura libre entre el suelo y la cara inferior del forjado superior, en las zonas de actuación, es del orden de 5,00 m. Con carácter general, se colocarán los falsos techos a una altura del suelo de 3,00 m; para ello se requerirá que el techo remate directamente contra las carpinterías exteriores, quedando por encima de él un paño ciego que será revestido interiormente con un vinilo opaco. Se emplearán los siguientes tipos de falso techo:

- Falso techo continuo de placas de yeso laminado cortafuego EI-60, formado por 2 placas de yeso laminado tipo DF según UNE EN 520 de 15 mm de espesor cada una, atornilladas a una estructura de perfiles de chapa de acero galvanizado a base de maestras primarias en C de 60x27x0,6 mm, separadas entre ejes entre 800 mm, y suspendidas del forjado mediante cuelgues de 2,00 m de alto colocados cada 700 mm, y maestras secundarias fijadas perpendicularmente a las primarias y a distinto nivel mediante piezas de caballete modulados a ejes a 400 mm; con aislamiento termo-acústico de lana mineral de 100 mm de espesor y conductividad térmica 0,036 W/m·K. Este tipo será el empleado por defecto en todos los locales, salvo en aquellos en los que se señale lo contrario. En los dormitorios, el falso techo tendrá un escalón del orden de 500 mm de altura a lo largo del cerramiento exterior, formando un cajón en el que se alojarán los conductos de impulsión del sistema de renovación de aire. El conducto quedará por debajo de la doble placa y el aislamiento térmico. En dormitorios, estudios y pasillos se realizará un foseado perimetral para alojamiento de los equipos de iluminación indirecta, sin que ello suponga interrupción o menoscabo de las características de sectorización y aislamiento del falso techo. Se dispondrán trampillas de registro con marco de acero y dimensiones 800x800 mm, que mantengan la condición EI60 y permitan el acceso a la pasarela de mantenimiento o a elementos ocultos por el techo.

- Falso techo continuo de placas de yeso laminado cortafuego EI-90, formado por 3 placas de yeso laminado tipo DF según UNE EN 520 de 12.5 mm de espesor cada una, atornilladas a una estructura de perfiles de chapa de acero galvanizado a base de maestras primarias en C de 60x27x0,6 mm, separadas entre ejes 800 mm, y suspendidas del forjado o elemento portante mediante cuelgues de 2,00 m de longitud colocados cada 700 mm, y maestras secundarias fijadas

perpendicularmente a las primarias y a distinto nivel mediante piezas de caballete modulados a ejes 400 mm; con aislamiento termo-acústico de lana mineral de 100 mm de espesor y conductividad térmica $0,036 \text{ W/m}\cdot\text{K}$. Este tipo será el empleado en los locales de Riesgo Especial Bajo (paños y locales técnicos situados en las plantas primera y segunda).

- Falso techo suspendido registrable de placas de yeso laminado tipo KNAUF Danoline Corridor R o equivalente, de dimensiones rectangulares $1500 \times 400 \text{ mm}$ y $9,5 \text{ mm}$ de espesor de placa; instaladas sobre perfilera de aluminio lacado, con aislamiento termo-acústico de lana mineral de 100 mm de espesor y conductividad térmica $0,036 \text{ W/m}\cdot\text{K}$. Se utilizará este techo en los baños B12 y B15 y en el vestíbulo P14, sobre los cuales se instalarán los equipos de renovación de aire. Se requiere en estos casos un falso techo desmontable para permitir el mantenimiento y sustitución de los equipos, que irán colocados sobre una estructura metálica independiente (descrita conjuntamente con la pasarela de mantenimiento).

- Falsa viga a 2 caras de $1000 \times 600 \text{ mm}$, autoportante, formada por una placa de yeso laminado de $12,5 \text{ mm}$ de espesor, atornillada a una estructura metálica de acero galvanizado Z1, con foseado para alojamiento de luz indirecta. Se utilizarán en los laterales de la Sala de Lectura de la primera planta, único local en el que no se colocará falso techo, para ocultar los pasos de instalaciones en el sentido longitudinal. Dispondrán de trampillas de registro para acceder a las instalaciones.

- Falsa viga a 2 caras de $500 \times 500 \text{ mm}$, autoportante, formada por una placa de yeso laminado de $12,5 \text{ mm}$ de espesor, atornillada a una estructura metálica de acero galvanizado Z1, con foseado para alojamiento de luz indirecta. Se utilizarán para ocultar pasos de instalaciones y conductos; en el caso de los dormitorios, esta pieza cerrará el cajón en el que se aloja el conducto de impulsión de aire, de modo que el aspecto final del local sea el de un falso techo continuo. Dispondrá de trampilla de registro para acceder a las instalaciones. - Falso techo continuo de placas de yeso laminado cortafuego EI-60, formado por 2 placas de yeso laminado tipo DF según UNE EN 520 de 15 mm de espesor cada una, atornilladas a una estructura de perfiles de chapa de acero galvanizado atornillada a la cara inferior de la losa de hormigón. Se utilizará esta solución para el forrado de las losas de las escaleras, mejorando su resistencia al fuego. Se realizará un foseado perimetral para alojamiento de luz indirecta.”

Apartado 2.2.1 Grupo Térmico, de la Memoria de la Reforma De Sala De Calderas Para Cambio De Combustible En El Edificio Del Cuartel Marques De La Victoria. Escuela Naval De Marin. De la empresa Exinor S.L.

“El grupo térmico quedará compuesto por dos calderas de condensación a gas monobloc, con potencia equivalente a la de los equipos sustituidos, que serán de la casa YGNIS una de ellas modelo VARMAX 275 con potencia térmica útil (a $50/30^\circ\text{C}$) de 290 kW ; y la segunda de ellas modelo VARMAX 450 con potencia térmica útil (a $50/30^\circ\text{C}$) de 478 kW .

Intercambiador térmico de alta eficiencia asegura la máxima transmisión de calor. Esto significa eficiencia energética, cuidado del medio ambiente y mayor duración de los equipos. Se ahorra en consumo y se alarga la vida útil de la caldera. Se instalarán dos intercambiadores de placas desmontables, Modelo M6/15 del fabricante ALFA LAVAL, o equivalente.”

Apartado 2.2.2 Grupo Térmico, de la Memoria de la Reforma De Sala De Calderas Para Cambio De Combustible En El Edificio Del Cuartel Marques De La Victoria. Escuela Naval De Marin. De la empresa Exinor S.L.

“

- Circuladores de calefacción

3 nuevas bombas de circuito primario de calefacción, instalando una bomba modelo YONOS MAXO del fabricante WILO o equivalente, de eficiencia energética clase A, integrada en sistema de control de manera que su funcionamiento se ajuste de forma automática en función de la demanda de calor.

- Circuladores del grupo térmico ACS

Dos bombas una para cada circuito primario de ACS, instalando una bomba modelo YONOS MAXO 40 del fabricante WILO o equivalente, de eficiencia energética clase A, integrada en sistema de control de manera que su funcionamiento se ajuste de forma automática en función de la demanda de calor. Una bomba de circuito secundario de ACS, modelo MAGNA 3 25-60N del fabricante GRUNDFOS o equivalente, de eficiencia energética clase A, integradas en sistema de control de manera que su funcionamiento se ajuste de forma automática en función de la demanda de calor.”

ANEJO 8

INSTALACIÓN DE VENTILACIÓN

REJILLAS IMPULSION Y EXTRACCION

Para las conexiones de los conductos con las estancias se consideran rejillas de impulsión tipo KOOLAIR 20 SH-H-O-MM de 200X100 y KOOLAIR 20-45-H-O-MM 200X100 para el retorno, o equivalentes.

COMPUERTAS DE REGULACIÓN

Con el fin de optimizar el caudal disponible para cada área, se plantea la instalación de compuertas de regulación tipo KOOLAIR REGULACION CRR o equivalente, de distintas medidas para los distintos ramales:

- 4 ud de compuertas de 400x300
- 2 ud de compuertas de 350x300
- 4 ud de compuertas de 300x250
- 4 ud de compuertas de 250x200
- 14 ud de compuertas de 200x200
- 9 ud de compuertas de 200x150
- 2 ud de compuertas de 150x150

TOMAS DE AIRE EXTERIOR 1000X600

Para las tomas de aire exteriores se plantean 8 unidades tipo KOOLAIR TAE 20-TA 1000X600 o equivalentes, que se instalarán en las fachadas laterales del edificio.

CONDUCTOS DE CHAPA Para la extracción de los aseos se propone la instalación de conducto de chapa de diámetros variables Ø200 y Ø300, dotados también de compuertas cortafuegos. BOCA DE EXTRACCIÓN Para la extracción de los aseos con el exterior se plantea la instalación de una boca de extracción para cada inodoro, circular tipo KOOLAIR BOCA EXTRACCION Ø100 o equivalente.

Anejo 10

“8.- AISLAMIENTO TÉRMICO DE TUBERÍAS

La tabla 1.2.4.2.1 del Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RD 1027/2007) los espesores mínimos de aislamiento para tuberías y accesorios que transportan fluidos calientes y discurren por el interior de los edificios. Para tuberías de agua de temperatura inferior a 60°C, los espesores mínimos requeridos de aislamiento (para un material aislante de referencia de conductividad 0,040 W / m·K) son de 30 mm para las tuberías de hasta 35 mm de diámetro y de 25 mm para diámetros inferiores. Las tuberías de agua caliente (tanto en las conducciones principales como en las de retorno) se aíslan en toda su longitud con coquilla de espuma elastomérica de los espesores indicados, y conductividad térmica máxima 0,037 W / m·K, obteniendo por tanto un nivel de aislamiento superior al mínimo exigido.”