Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

TRABAJO FIN DE GRADO

Análisis del consumo energético y del confort en el cuartel "Almirante Francisco Moreno" utilizando herramientas de simulación dinámica

Grado en Ingeniería Mecánica

ALUMNO: Héctor Acuña Ramírez

DIRECTOR: Lara Febrero Garrido

CURSO ACADÉMICO: 2019-2020

Universidade Vigo

Centro Universitario de la Defensa
en la Escuela Naval Militar

TRABAJO FIN DE GRADO

Análisis del consumo energético y del confort en el cuartel "Almirante Francisco Moreno" utilizando herramientas de simulación dinámica

Grado en Ingeniería Mecánica

Intensificación en Tecnología Naval

Cuerpo General

Universidade Vigo

RESUMEN

El presente Trabajo Fin de Grado (TFG) tiene como objetivo principal llevar a cabo el análisis del consumo energético y de las temperaturas interiores del cuartel Almirante Francisco Moreno para, finalmente, analizar la demanda energética y el grado de confort que presenta la habitabilidad del citado cuartel. Actualmente, este edificio viene acogiendo a los alumnos de la Escuela Naval Militar durante sus primeros cursos.

Por otra parte, significar que este TFG se valdrá de diferentes softwares de diseño y simulación dinámica, tales como *SketchUp*, *OpenStudio* y *EnergyPlus*, para poder conocer la demanda energética de este cuartel. Cuanto más realista sea el modelo creado, más exacta será la demanda energética obtenida. Esto daría la oportunidad de conocer cómo se comporta el edificio para, en un futuro trabajo, determinar estrategias óptimas de acondicionamiento.

En primer lugar, se definirá un modelo geométrico del citado cuartel que incluirá los materiales principales que componen la edificación, así como su sistema de generación de energía: la caldera de gas. Además, se incluirá un estudio lo más aproximado posible del uso real de sus instalaciones, por parte de los alumnos, durante el ejercicio de un año completo.

En segundo lugar, se analizarán los resultados alcanzados obteniendo como datos principales el consumo total de energía, las temperaturas y humedades interiores del edificio y el grado de confort que de todo ello se derive.

Para finalizar, se tendrán en cuenta todos los factores citados en los párrafos anteriores para proponer una serie de medidas que mejoren las condiciones actuales de habitabilidad y confort del cuartel de alumnos “Almirante Francisco Moreno”.

Por último, este TFG puede ser útil para sensibilizar de lo importante que es para España invertir en la mejora del parque edificatorio antiguo, al que pertenece el cuartel Almirante Francisco Moreno, al objeto de alcanzar el ahorro energético ansiado y contribuir a paliar la actual crisis climática.

PALABRAS CLAVE

Análisis energético, Eficiencia energética, Confort térmico, Simulación dinámica, OpenStudio

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar quiero agradecer a mi familia que me haya guiado durante toda mi vida hasta el punto en el que me encuentro: aun “instante” de ser Oficial de la Armada.

Mi más profundo agradecimiento y cariño a ti, Tere, por ser la piedra angular que me ha dado el aliento necesario para afrontar todo mi período de formación en la ENM. También quiero rogarte que no dejes nunca de hacerlo.

A la Promoción 420-150, porque sois mis hermanos, en especial a la Camareta J4 por perdonarme las horas nocturnas bajo el flexo.

Deseo expresar mi infinito agradecimiento a la Directora de este TFG, la Sra. Doña Lara Febrero Garrido, por guiarme durante la elaboración del mismo y; sobre todo, por su disposición pronta a ayudar y por tener listas las correcciones inmediatamente después de mandarle mis avances. También por su forma tan humana de trabajar.

Agradecer al TN Pedro Jesús Carrasco, que me haya aportado algún consejo sobre normativa en los primeros pasos, donde me sentía más perdido.

También quiero mostrar mi más honda gratitud al Destino de Mantenimiento de la ENM; al CC González Pastoriza y, en especial, a Ana, por su paciencia y generosidad a la hora de entregarme el Pliego de Condiciones, las facturas, la ficha de la caldera, los horarios de calefacción… En definitiva, por facilitarme el trabajo.

No podría olvidarme de destacar los buenos gestos de los, ahora, TN Javier Piñeiro y AN Rubén Magadán, que en su día también aportaron su granito de arena a la mejora de nuestro cuartel de aspirantes, por proporcionarme algunos datos que ellos consideraron relevantes en su día.

A ti Luisete. A ti te agradezco todo el tiempo que has compartido conmigo. Te agradezco tu amistad ejemplar y te pido que nos cuides desde arriba.

CONTENIDO

Contenido 1

Índice de figuras 4

Índice de tablas 7

Glosario de abreviaturas y acrónimos 8

1 Introducción 11

1.1 Introducción 11

1.2 Objetivos 14

1.3 Justificación 15

1.4 Estructura del TFG 17

2 Estado del arte 19

2.1 Marco legal: Normativa 20

2.2 Análisis energético en edificación 28

2.2.1 Certificación de eficiencia energética 28

2.2.2 Envolvente térmica 31

2.2.3 Cargas térmicas 34

2.2.4 La caldera de gas como sistema HVAC 35

2.3 Confort térmico 36

2.3.1 Factores que afecta al confort térmico 36

2.3.1 Índices de confort 37

2.4 Software de simulación 38

2.4.1 Software empleado 38

3 Desarrollo 41

3.1 Localización 41

3.2 Antecedentes 42

3.3 Descripción del edificio: Cuartel Almirante Francisco Moreno 43

3.3.1 Cerramientos: materiales de construcción 44

3.3.2 Infiltraciones y cerramientos: ventanas y puertas 45

3.3.3 Sistema de iluminación 46

3.3.4 Sistema de generación de energía térmica: caldera de gas 47

3.3.4.1 Regulación del sistema de calefacción 49

3.3.5 Consumos energéticos 49

3.4 Metodología para el análisis energético 51

3.4.1 Software SketchUp para modelado geométrico del cuartel 51

3.4.2 Software OpenStudio para simulación energética....54
3.4.2.1 Entorno climático....56
3.4.2.2 Materiales constructivos....56
3.4.2.3 Horarios....58
3.4.2.4 Cargas térmicas....59
3.4.2.5 Resumen de los elementos....61
3.4.2.6 HVAC: Caldera de gas....62
3.4.3 Software EnergyPlus en la simulación....62
4 Resultados....65
4.1 Validación de resultados....65
4.2 Análisis energético....66
4.2.1 Datos generales....70
4.3 Estudio del confort térmico....72
5 Conclusiones y líneas futuras....77
5.1 Conclusiones....77
5.1.1 Lecciones aprendidas y buenas prácticas....78
5.2 Evaluación de objetivos....79
5.3 Líneas futuras....79
6 Bibliografía....81
Anexo I: Etiqueta de certificación energética....85
Anexo II: Vistas generales y seccionadas del cuartel Almirante Francisco Moreno....86
Anexo III: Planos cuartel Almirante Francisco Moreno....90
Anexo IV: Descripción gráfica detallada del edificio....92
Anexo V: Descripción de infiltraciones y cerramientos: ventanas y puertas....93
Anexo VI: Sistema de alumbrado y electricidad....97
Anexo VII: Vistas del cuartel Almirante Francisco Moreno en entorno SketchUp....101
Anexo VIII: Calendario Académico curso 2017-2018....102
Anexo IX: Horario para DD. y CC. Alumnos 2017-2018....103
Anexo X: Tasas metabólicas para actividades típicas....104
Anexo XI: Parte de situación de alumnos del 4 al 5 de julio de 2018....105
Anexo XII: Parte de situación de alumnos del 14 al 15 de noviembre....106
Anexo XIII: Simulación en OpenStudio....107
Anexo XIV: Factores de emisión....109

Anexo XV: Resultados de la simulación.....110

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1 Fotografía aérea de la ENM. Fuente: Archivo ENM....14
Figura 1-2 Fotografía del cuartel Almirante Francisco Moreno. Fuente: Archivo ENM....14
Figura 2-1 Objetivos de la Directiva 2012/27/UE. Fuente: Elaboración propia....25
Figura 2-2 Normativa ISO-14.001 en el cuartel Almirante Francisco Moreno....26
Figura 2-3 Dependencia orgánica MINISDEF-SEDEF-DIGENIN. Fuente: Elaboración propia [12]....27
Figura 2-4 Calificaciones energéticas en emisiones de edificios acabados de nueva construcción VS los existentes. Fuente: IDAE [15]....31
Figura 2-5 Relación trinomio*"Envolvente térmica-Aislamiento térmico-Confort térmico".* Fuente: Elaboración propia....32
Figura 2-6 Mapa de zonas climáticas del CTE. Fuente: web construmática [19]....33
Figura 2-7 Gráfica que relaciona los índices PMV y PPD. Fuente: NTP-779 [30]....38
Figura 3-1 Localización de la ENM. Fuente: Elaboración en la web de Google Earth....42
Figura 3-2 Disposición del cuartel Almirante Francisco Moreno. Fuente: Elaboración propia en la web de Google Earth....43
Figura 3-3 Disposición de las plantas Primera y Segunda. Fuente: Archivo ENM....44
Figura 3-4 Ejemplo de infiltración en la ventana del Estudio 109 y la ventana de la Camareta 103B. Fuente: Elaboración propia....46
Figura 3-5 Sistema de calderas de gas natural del cuartel Almirante Francisco Moreno. Fuente: Archivo ENM....48
Figura 3-6 Histórico de consumos energéticos. Fuente: Elaboración propia según datos de facturación proporcionados por el Destino de Mantenimiento....50
Figura 3-7 Histórico de facturación cuartel Almirante Francisco Moreno. Fuente: Elaboración propia según datos de facturación....51
Figura 3-8 Modelado 3D del cuartel. Fuente. Elaboración propia en SketchUp....52
Figura 3-9 Geolocalización y orientación del edificio....52
Figura 3-10 Representación de las distintas zonas térmicas....53
Figura 3-11 Herramienta Surface Matching....53
Figura 3-12 Desplegable herramienta *Inspector*....54
Figura 3-13 Menú principal de OpenStudio. Fuente: Elaboración propia en OpenStudio....56
Figura 3-14 Definición de los cerramientos del cuartel....58
Figura 3-15 Ejemplo de la "*Schedule Set*" *Alas* con sus tipos de horarios....59
Figura 3-16 Resumen de la configuración del modelo en la pestaña "loads"....61
Figura 3-17 Sistema HVAC caldera de gas....62
Figura 4-1 Fuentes de consumo energético....67
Figura 4-2 Consumo de calefacción por zonas térmicas....67

Figura 4-3 Evolución horaria de la energía térmica 68
Figura 4-4 Incrementos de energía térmica por cargas positivas 69
Figura 4-5 Decrementos de energía térmica por cargas negativas 70
Figura 4-6 Relación de superficies 71
Figura 4-7 Relación de horas no confortables por zonas 72
Figura 4-8 Representación horaria de temperaturas por zonas 74
Figura 4-9 Representación diaria de la humedad relativa por zonas 75
Figura 0-1 Etiqueta Energética de Edificio Existente. Fuente: web Quetipos [39] 85
Figura 0-1 Ubicación cuartel Almirante Francisco Moreno. Fuente: Catastro [40] 86
Figura 0-2 Planta cuartel Almirante Francisco Moreno. Fuente: [16] 86
Figura 0-3 Sección transversal N-S de la Fachada Principal. Fuente: [16] 87
Figura 0-4 Sección transversal N-S de la Fachada Posterior. Fuente: [16] 87
Figura 0-5 Sección longitudinal W-E de las fachadas S y N, respectivamente. Fuente: [16] 88
Figura 0-6 Sección en planta cuartel Almirante Francisco Moreno. Fuente: [16] 89
Figura 0-1 Planos 1ª y 2º Plantas cuartel Almirante Francisco Moreno [16] 90
Figura 0-2 Plano Hall 1ª y 2ª Plantas cuartel Almirante Francisco Moreno [16] 91
Figura 0-1 Detalle de las fachadas Principal y Posterior. Fuente: Elaboración propia 92
Figura 0-2 Detalle de las fachadas Norte y Sur. Fuente: Elaboración propia 92
Figura 0-3 Detalle del Patio Interior y Fachada Principal. Fuente: Elaboración propia 92
Figura 0-1 Ventanas hall 1ª Planta. Fuente: Elaboración propia 93
Figura 0-2 Puertas de acceso a la Terraza. Fuente: Elaboración propia 93
Figura 0-3 Ventana hall 1ª Planta. Puerta de acceso a terraza y puerta de emergencia 1ª Planta. Fuente: Elaboración propia 94
Figura 0-4 Puerta de baño del Ala N1ª. Fuente: Elaboración propia 94
Figura 0-5 Ventana del baño de damas y ventana Camareta 110B. Fuente: Elaboración propia 94
Figura 0-6 Ventana Estudio 109 y ventana Camareta 103B. Fuente: Elaboración propia 95
Figura 0-7 Caja de persianas y persiana averiada Camareta 109B. Fuente: Elaboración propia 95
Figura 0-8 Sistema de puertas de emergencia de la cara norte. Fuente: Elaboración propia 96
Figura 0-9 Sistema de puertas de la Zona de Refrigerios. Fuente: Elaboración propia 96
Figura 0-10 Puerta Principal y puerta de emergencia cara oeste. Fuente: Elaboración propia 96
Figura 0-1 Luminarias baños y estudios. Fuente: [16] 97
Figura 0-2 Luminarias de pasillos y camaretas. Fuente: [16] 97
Figura 0-3 Alumbrado y electricidad planta baja. Fuente: Archivo ENM 98
Figura 0-4 Alumbrado y electricidad plantas 1ª y 2ª. Fuente: Archivo ENM 99
Figura 0-5 Leyenda alumbrado y electricidad. Fuente: Archivo ENM 100

Figura 0-1Vistas del cuartel Almirante Francisco Moreno en entorno SketchUp. Fuente: Elaboración propia 101

Figura 0-1 Calendario académico curso 2017-2018. Fuente: web CUD UVIGO [26].....102

Figura 0-1 Horario para DD. y CC. Alumnos. Fuente: LORI [18] 103

Figura 0-1 Pestaña "*properties*" dentro de "*spaces*".....107

Figura 0-2 Pestaña "*surfaces*" dentro de "*spaces*".....107

Figura 0-3 Pestaña "*subsurfaces*" dentro de "*spaces*" 108

Figura 0-4 Pestaña "*HVAC systems*" dentro de "*thermal zones*".....108

Figura 0-1 Evolución de ganancias y pérdidas por transmitancia en ventanas y pérdidas por infiltración.....110

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1 Resumen de la normativa y legislación aplicable a la edificación. Fuente: Elaboración propia 25

Tabla 3-1 Representación de los cerramientos del cuartel Almirante Francisco Moreno. Fuente: Elaboración propia según [8] 45

Tabla 3-2 Resumen de la potencia de las luminarias. Fuente: Elaboración propia según datos facilitados por el Destino de Mantenimiento 47

Tabla 3-3 Datos técnicos del sistema de calderas. Fuente: Elaboración propia según [33] 48

Tabla 3-4 Trasposición de la Tabla 3-1 a los materiales seleccionados en OpenStudio. Fuente: Elaboración propia [9] 57

Tabla 3-5 Número de alumnos promedio durante el 1er y 2º cuatrimestre. Fuente: Elaboración propia según Anexo XI: Parte de situación de alumnos del 4 al 5 de julio de 2018 y Anexo XII: Parte de situación de alumnos del 14 al 15 de noviembre.....60

Tabla 4-1 Relación de consumos y volúmenes por tipos de espacio 68

Tabla 4-2 Resumen de las cargas térmicas.....70

Tabla 4-3 Transmitancia de los cerramientos.....71

Tabla 4-4 Datos generales por zonas térmicas 72

Tabla 0-1 Tabla 5.2.1.2 representativa de tasas metabólicas para actividades típicas. Fuente: Norma ANSI/ASHRAE Estándar 55-2017 [42] 104

Tabla 0-1 Parte de situación de alumnos del 4-5 de julio. Fuente: Archivo ENM.....105

Tabla 0-1 Parte de situación de alumnos del 14-15 de noviembre. Fuente: Archivo ENM.....106

Tabla 0-1 Relación de factor de emisión en función del combustible. Fuente Web MITECO [22] 109

GLOSARIO DE ABREVIATURAS Y ACRÓNIMOS

- ACS — Agua Caliente Sanitaria
- ASHRAE — (*American Society of Heating Refrigeration and Air Conditioning Engineers*)
- ATECYR — Asociación Técnica Española de Climatología y Refrigeración
- BCL — *Building Component Library*
- BOE — Boletín Oficial del Estado
- BOD — Boletín Oficial de Defensa
- CA — Comunidad Autónoma
- CASI — Centro de Adiestramiento de Seguridad Interior
- CEE — Certificado de Eficiencia Energética
- CEEX — Certificación Energética de Edificios Existentes
- CENER — Centro Nacional de Energías Renovables
- CFC — Clorofluorocarbonos
- CMNUCC — Convención Marco de Naciones Unidas Contra el Cambio Climático
- COP — *Conference of the Parties* (Conferencia de las Partes o Países)
- CTE — Código Técnico de la Edificación
- CUD — Centro Universitario de la Defensa
- DANA — Depresión Aislada a Niveles Altos (Gota fría)
- DB — Documento Básico
- DB-HE — Documento Básico de Ahorro de Energía
- DIGENIN — Dirección General de Infraestructura
- DTIE — Documentos Técnicos de Instalaciones en Edificación
- DO — Diario Oficial
- DOUE — Diario Oficial de la Unión Europea
- ENM — Escuela Naval Militar
- FAS — Fuerzas Armadas
- GEI — Gases de Efecto Invernadero
- HVAC — *Heating Ventilation and Air Condition*
- IDAE — Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía
- INSHT — Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo
- IVE — Instalaciones Valencianas de Edificios
- JSE — Juan Sebastián De Elcano

- LOE Ley Orgánica de Edificación
- LORI Libro de Organización y Régimen Interior
- MINETUR Ministerio de Industria, Energía y Turismo[1]
- MINISDEF Ministerio de Defensa
- MITYC Ministerio de Industria, Turismo y Comercio
- MITECO Ministerio de Transición Ecológica y Reto Demográfico
- MITMA Ministerio de Transportes, Movilidad Y Agencia Urbana
- NBE Norma Básica de Edificación
- NDC *Nationally Determined Contribution*
- NTP Normas Técnicas de Prevención
- ONU Organización de Naciones Unidas
- PCI Poder Calorífico Inferior
- PMV *Predicted Mean Vote*
- PPD *Predicted Percentage of Dissatisfied*
- PNAEE Plan Nacional de Acción de Eficiencia Energética
- RAE Real Academia Española
- RD Real Decreto
- RITE Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios
- SATE Sistema de Aislamiento Térmico por el Exterior
- SEDEF Secretario de Estado de Defensa
- SINFRADEF Sistema de Gestión de Infraestructuras del Ministerio de Defensa
- TFUE Tratado de Funcionamiento de la Unión Europea
- UE Unión Europea
- UVIGO Universidad de Vigo
- ZC Zona Climática

[1] Ministerio derogado. En la actualidad la rama de Energía se encuadra en el MITECO.

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Introducción

La emergencia climática es una realidad que empeora a diario y tiene efectos negativos sobre las vidas de las personas de cualquier rincón del planeta, bien por olas de calor extremo, incendios de grandes masas forestales, inundaciones por gotas frías o DANAS (Depresiones Aisladas a Niveles Altos), polución atmosférica o sequías.

Es obvio que el cambio climático constituye un fenómeno global, tanto por sus causas como por sus efectos, y que para tratar de paliarlo se requiere de una respuesta multilateral basada en la cooperación de todos los países.

La respuesta a esta emergencia en el seno de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) es la Convención Marco sobre Cambio Climático (CMNUCC) adoptada en 1992, que es el foro internacional en que se llevan a cabo las negociaciones en materia de lucha contra el cambio climático y que ha sido ratificado por 195 países, entre ellos España.

Dentro de ese foro, significar la promulgación del Protocolo de Kioto (1997), donde se acordó reducir las emisiones de seis gases de efecto invernadero (GEI)[2], causantes del calentamiento global, y también una reducción de al menos un 5%, de sus emisiones en el periodo 2008-2012, en comparación con las emisiones de 1990; aunque en 2012[3] se amplió el periodo de vigencia del citado Protocolo hasta el 31 de diciembre de 2020.

La última Conferencia sobre el cambio climático, celebrada en Madrid en diciembre de 2019, llamada COP25[4], reunió a representantes de casi 200 países al objeto de encontrar vías para reforzar el cumplimiento de otro documento notable como el Acuerdo de París (2015), que fue el mayor reto vinculante frente a la crisis climática al establecer un plan de acción mundial para limitar el calentamiento global por debajo de los 2ºC [1].

La COP25 concluyó con la adopción del acuerdo llamado "Chile-Madrid Tiempo de Actuar", que sienta las bases para que en 2020 los países miembros presenten compromisos de reducción de emisiones

[2] Estos gases son: dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O), y los gases industriales fluorados: hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC) y el hexafluoruro de azufre (SF_6).

[3] En Qatar durante la decimoctava Conferencia de las Partes (COP 18).

[4] Del inglés Conference of the Parties (Conferencia de las Partes). Hacen referencia a los países que han suscrito la Convención Marco de Naciones Unidas contra el Cambio Climático (CMNUCC). La cifra que acompaña a las siglas representa el nº de reunión. Hasta ahora se han celebrado 25, contando la de Madrid.

NDC (*Nationally Determined Contribution*) más ambiciosos frente a la crisis climática. Además, manifiesta la urgente necesidad de que los nuevos compromisos de los países salven la brecha existente en los actuales, con respecto al objetivo de París, de evitar un aumento de la temperatura superior a 1,5º C [2].

Por otro lado, hay que tener en cuenta que las emisiones de CO_2 a la atmósfera no solo provienen de sectores como el del transporte pues, aunque la población no sea del todo consciente, el sector de la construcción comercial y residencial representa el 36% [3] de las emisiones[5] de CO_2, a la vez que genera el 30% de los residuos sólidos y el 20% de la contaminación de las aguas [4]. Así pues, la mitad del CO_2 emitido a la atmósfera se relaciona con la edificación y su ciclo de vida: construcción, uso y demolición. Por tanto, este sector debe desempeñar un papel importante en la mitigación de la crisis climática [4].

El problema del sector de la edificación también se aborda desde hace años a nivel europeo y así lo demuestra la Directiva ya derogada 2002/91/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, del 16 de diciembre de 2002, relativa a la eficiencia energética de los edificios, que sin duda impulsó a tomar medidas específicas de eficiencia energética en la edificación. Su sucesora, la Directiva 2010/31/ UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de mayo de 2010, casi corrobora el dato de emisiones citado anteriormente y calcula que el 40% del consumo total de energía en la Unión Europea (UE) corresponde a los edificios; y que el sector se encuentra en fase de expansión, por lo que hará aumentar el consumo de energía. Por ello, concluye la norma en que el uso de energía procedente de fuentes renovables y la reducción del consumo de energía en este sector, constituye una parte importante de las medidas necesarias para reducir la dependencia energética de la UE y las emisiones de gases de efecto invernadero.

Además, esta norma europea añade que la eficiencia energética de los edificios debe calcularse con una metodología que incluya no solo las características térmicas, sino también otros factores que desempeñan un papel importante, tales como:

- Instalaciones de calefacción.
- Instalaciones de aire acondicionado.
- Utilización de energía procedente de fuentes renovables.
- Elementos pasivos de calefacción y refrigeración.
- El efecto de las sombras.
- Instalaciones de agua caliente sanitaria.
- La calidad del aire interior.
- La adecuada iluminación natural.
- El diseño del edificio.

En España durante los años 70, década en la que se construyó el cuartel Almirante Francisco Moreno de la ENM, objeto de este Trabajo Fin de Grado (TFG), la eficiencia energética de los edificios dejaba mucho que desear, dado que las prioridades energéticas se centraban en la producción, más que en el ahorro de energía, y pocos eran los que hablaban de Cambio Climático.

La normativa energética en nuestro país tiene por precedente principal las Normas Básicas de Edificación[6] (NBE). Especialmente relevante fue la NBE CT-79. *Condiciones Térmicas de los Edificios*, que fijaba las exigencias en cuanto al aislamiento y resistencia térmica de los materiales que forman el cerramiento exterior de un edificio, con el fin de reducir su consumo energético; y la NBE CPI-96 "*Condiciones de Protección Frente a Incendios*".

[5] Las emisiones de CO_2 de un inmueble son aquellas que se producen para generar la energía necesaria para satisfacer los consumos de calefacción, refrigeración y agua caliente. Se expresa en términos de emisiones de dióxido de carbono arrojadas a la atmósfera y en unidades en kg de dióxido de carbono por metro cuadrado y año ($kgCO_2/m^2$año).

[6] Real Decreto 1650/1977, de 10 de junio, sobre Normativa de la Edificación.

Posteriormente la Ley 38/1999, de 5 de noviembre, de Ordenación de la Edificación (LOE), fue la respuesta al clamor social de mayor calidad y seguridad estructural en los edificios, de una adecuada protección contra incendios y de mejoras en el bienestar de las personas como la protección contra el ruido o el aislamiento térmico; sin perder de vista el equilibrio medioambiental de evidente relevancia desde el punto de vista del interés general; tal y como lo contemplaba la Directiva 85/384/CEE de la UE.

Finalmente, en 2006 ve la luz el Código Técnico de la Edificación (CTE)[7], documento que deroga toda la normativa anterior en materia de edificación para unificar en un solo documento todo el marco normativo. Así, la CPI-96 es sustituida por el Documento Básico SI. "*Seguridad en caso de Incendio*" del CTE; y la CT-79 es sustituida a su vez por el DB. HE "*Ahorro de Energía*", en el que se establecen limitaciones al consumo energético de un edificio y el rendimiento de sus instalaciones térmicas.

En lo que respecta a las Fuerzas Armadas, habría que destacar en primer lugar que el Ministerio de Defensa (MINISDEF) mediante la Directiva nº 107/97, de 2 de junio, puso de manifiesto la importancia de los temas medioambientales en el seno de las Fuerzas Armadas (FAS); por ello, ha desarrollado un sistema propio de gestión patrimonial y energética denominado SINFRADEF (Sistema de Gestión de Infraestructura del Ministerio de Defensa), que contiene información relevante sobre los consumos y la eficiencia energética de todos sus edificios. Por otro lado, en el año 2011 ve la luz la Instrucción 56/2011, de 3 de agosto, del Secretario de Estado de Defensa (SEDEF) sobre sostenibilidad ambiental y eficiencia energética en el ámbito del Ministerio de Defensa (MINSDEF)[8]. En ella, se pone de manifiesto el compromiso adquirido acerca de la adopción de medidas y acciones orientadas a alcanzar los objetivos prioritarios de ahorro y eficiencia energética en todas las bases, acuartelamientos y establecimientos militares.

En el ámbito de la Armada, significar que el cuartel de alumnos Almirante Francisco Moreno es uno de los edificios en los que residen los alumnos de la Escuela Naval Militar (ENM) durante los primeros años de su formación académica universitaria y como futuros oficiales de la Armada. Su construcción data del año 1977[9], que como ya se ha dicho anteriormente fue una época en la que la construcción, en general, no tenía referencias claras ni normativas concretas sobre edificación; y apenas se tenían en cuenta medidas algunas de eficiencia energética.

Los orígenes de Escuela Naval Militar (Figura 1-1) datan de 1717, cuando el Almirante Patiño crea la Real compañía de Guardias Marinas en Cádiz, bajo el reinado de Felipe V. Así nace la propia Marina de Guerra española como institución militar de carácter permanente. A lo largo de su historia, la Escuela Naval ha ido mudando su ubicación pasando por San Fernando, La Carraca, la Escuela Naval flotante en buques con base en Ferrol para acabar en la villa de Marín, en el seno de la Ría de Pontevedra.

[7] Publicado por Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo. BOE núm. 74 de 28 de marzo de 2006.

[8] Modificada por la Instrucción 59/2014, de 4 de diciembre.

El proyecto se firmó en 1994.

Figura 1-1 Fotografía aérea de la ENM. Fuente: Archivo ENM

La construcción del cuartel Almirante Francisco Moreno (1-2) se diseñó con la finalidad de acoger a los alumnos de la ENM. Por sus camaretas han pasado todos los actuales oficiales de la Armada incluido Su Majestad el Rey Felipe VI, además de oficiales de los Cuerpos Comunes. Durante los primeros cursos académicos el cuartel Almirante Francisco Moreno acoge a los alumnos más modernos y en la última etapa de formación pasan a vivir en el cuartel Marqués de la Victoria.

Figura 1-2 Fotografía del cuartel Almirante Francisco Moreno. Fuente: Archivo ENM

En la actualidad el cuartel se encuentra inmerso en un proceso de remodelación, en el que se está llevando a cabo una sustitución del mobiliario en las zonas de alojamiento de los alumnos. En consonancia con esta remodelación, se pretende valorar la viabilidad de la elaboración de un proyecto que incluya la posibilidad de mejoras de la propia infraestructura así como de alguno de sus elementos. La ENM está apostando por alargar la vida útil de su estructura, mejorar la habitabilidad y la optimización del gasto en energía. Las reformas han sido una preocupación constante durante todos los años de servicio del cuartel y se detallarán en el apartado 3.2.

A lo largo del presente trabajo se llevará a cabo un estudio sobre el consumo energético de esta edificación y el confort del mismo; y para ello se usarán softwares de simulación dinámica.

1.2 Objetivos

El objetivo principal que persigue este TFG es proporcionar un estudio previo que avale un futuro proyecto que mejore la eficiencia energética del cuartel Almirante Francisco Moreno, concretamente en sus zonas habitables, la Primera y Segunda Planta; así como el grado de confort térmico de los usuarios

y, además, que contribuya a disminuir las emisiones de CO_2 a la atmósfera. De llevarse a cabo, se reduciría necesariamente el gasto económico que genera.

Para ello se pretende calcular la demanda energética de este cuartel durante un año completo, y llegar a conocer cómo puede variar esa dicha demanda en función de la ubicación de los distintos espacios interiores del cuartel. Todo ello a partir de los programas informáticos de diseño y simulación dinámica que, además, nos permitan averiguar las necesidades de la caldera de gas para la generación de calor en el sistema de distribución de energía para calefacción, basado completamente en radiadores, con el fin de alcanzar una temperatura agradable para la habitabilidad y adquirir un confort adecuado.

Por otra parte, se pretende averiguar también cuáles son todos aquellos elementos que forman parte de la edificación y que, de alguna manera, puedan estar comprometiendo un gasto razonable de la energía que consume el edificio. A priori, se señalan las infiltraciones como amenaza principal de esta posible ineficiencia, teniendo en cuenta la avanzada edad de la edificación.

Derivado de este estudio se extraerán una serie de conclusiones a tener en cuenta en las futuras remodelaciones que sufra la estructura del cuartel Almirante Francisco Moreno, o algunos de sus elementos o partes, para lograr hacer del mismo una edificación lo más optimizada posible en términos globales de balance energético y de un adecuado confort.

Como objetivo secundario trataremos de repasar la normativa europea que durante los últimos treinta años ha tratado de mejorar la eficiencia energética del sector de la edificación en los Estados miembros; así como la normativa correspondiente a su transposición a la legislación española. Se trata de tener una idea global de qué normativa es la que regula la eficiencia energética de dicho sector en España y, si es posible, averiguar su grado de cumplimiento teniendo en cuenta la repercusión mediática que suponen las emisiones contaminantes y el consumo excesivo de recursos energéticos.

Como complemento del objetivo anterior, se expondrá la incidencia generada en el seno de las Fuerzas Armadas por la promulgación de la normativa especificada.

Por último, este TFG pretende sensibilizar de lo importante que es para España invertir en la mejora del parque edificatorio existente, que es muy antiguo, y al que pertenece el cuartel Almirante Francisco Moreno, al objeto de contribuir a lograr el perseguido ahorro energético y a paliar la deriva creciente de la actual crisis climática global

1.3 Justificación

El calentamiento global y el cambio climático del planeta, bien por causas naturales de los ciclos planetarios o bien a consecuencia de la acción explotadora de los seres humanos, son una realidad de la que nadie se puede escapar, por muy lejos que viaje. En este TFG no se entrará en hacer elucubraciones sobre las causas originarias de este enorme problema, simplemente, limitarse a constatar la realidad de que la Tierra se está calentando y, obviamente, la acción explotadora de sus recursos por parte del hombre y la contaminación que genera su estado del bienestar no ayudan en nada a solucionar tamaña problemática; más bien, la empeora con cada segundo que transcurre.

Las edificaciones o los edificios en general parece que no contaminan, dado que no somos plenamente conscientes de sus emisiones directas o indirectas a la atmósfera, pero nada más lejos de la realidad, pues generan una elevadísima cantidad de emisiones a la atmósfera. Aunque nadie sabe la cifra exacta de emisiones de los edificios en cada ciudad, puesto que cada una tiene sus características y singularidades propias; en general, se habla de que en los países desarrollados la edificación es responsable del 56% de las emisiones a la atmósfera que generan las ciudades; frente a un 13% de los coches [5].

Sin duda, se trata de una elevada cifra que no suele barajar el ciudadano de a pie. De tomar conciencia de ello, sería una fuente de reflexión popular puesto hay muchas cosas que se pueden hacer para paliar este problema global.

Lecuona Neumann[10] afirma que el reconocimiento de la importancia del edificio como agente consumidor de energía y emisor de contaminantes durante su vida operativa no está ampliamente difundido en nuestro país, o al menos no se han podido encontrar suficientes indicios de que ello esté bien establecido [6].

Según el Ministerio de Transición Ecológica y Reto Demográfico (MITECO), en el documento de 2018 titulado *El perfil Ambiental de España* [7], aproximadamente el 55% del parque edificado en España es anterior al año 1980 y aproximadamente el 21% cuenta con más de 50 años. Casi el 58% de nuestros edificios se construyó con anterioridad a la primera normativa que introdujo en España unos criterios mínimos de eficiencia energética (la norma básica de edificación NBE-CT-79 sobre condiciones térmicas de los edificios) [2].

En el año 2017 las emisiones provenientes de la combustión de combustibles fósiles en el sector residencial, comercial e institucional supusieron un 8% del total de las emisiones del inventario de gases de efecto invernadero de España. Además, el 61% de las emisiones se atribuyen a los consumos realizados en las viviendas, mientras que el 39% restante corresponde a las edificaciones institucionales y comerciales [2].

Así pues, es importante tomar medidas y progresar para conseguir un sector de la construcción que logre edificios energéticamente eficientes. Es algo que todo el mundo debería tener presente y que debe convertirse en una prioridad en los planes urbanísticos por parte de todas las administraciones.

Teniendo en cuenta que la COP25 ha adoptado el acuerdo llamado "Chile-Madrid Tiempo de Actuar", que sienta las bases para que este año de 2020 los países miembros presenten compromisos de reducción de emisiones NDC más ambiciosos frente a la crisis climática; y que manifiesta además la necesidad de adopción de nuevos compromisos de los países miembros para cumplir los objetivos de París de evitar un aumento de la temperatura superior a 1,5º C; es quizá el momento de afrontar la mejora energética del cuartel Almirante Francisco Moreno y que este TFG aporte su granito de arena para conseguir limitar su cantidad de emisiones contaminantes, lograr que sus instalaciones consuman la menor energía posible y que los alumnos que se alojan en el acuartelamiento alcancen el mayor grado de confort posible.

Además, en el ámbito de las FAS estas mejoras vendrían abaladas por la Instrucción 56/2011, de 3 de agosto, del SEDEF sobre sostenibilidad ambiental y eficiencia energética dado que en ella se pone de manifiesto por primera vez el compromiso por parte del MINISDEF de adoptar medidas y acciones orientadas a alcanzar los objetivos prioritarios de ahorro y eficiencia energética en todas las Bases, Acuartelamientos y Establecimientos militares españoles.

Desde la perspectiva de la ENM, la reducción del gasto energético daría la oportunidad a la ENM de destinar fondos a otras instalaciones y facilitar a los responsables la gestión del mantenimiento operativo de otro tipo de infraestructuras de la ENM. Además son muchos los proyectos que la ENM está llevando a cabo y los fondos son escasos. Las reformas de la cubierta del gimnasio GM Barrutia, el proyecto de reforma de la cimentación del muelle Gelmírez, la inminente remodelación del cuartel Marqués de la Victoria y el mantenimiento del sistema de tuberías del patio de aulas Álvaro de Bazán. Con todo esto, conviene optimizar el gasto energético a fin de reubicar los fondos presupuestarios de los que dispone la ENM. A la vista está que el parque edificatorio de la ENM, en consonancia con la Armada, ha padecido durante la última década una paralización en el mantenimiento de sus infraestructuras debido a la crisis económica del país.

[10] Catedrático en la Universidad Carlos III de Madrid Encomienda de Alfonso X El Sabio Miembro de la EU *Academy of Sciences.*

Otro aspecto a tener en cuenta es la necesidad de mejorar el confort en la habitabilidad del cuartel, puesto que en ocasiones los alumnos no solo han mostrado su disconformidad acerca del mismo sino que han llegado a afectar a su salud presentando cuadros gripales[11].

Hay que tener en cuenta que la ENM es el centro de formación por excelencia y la "casa madre" de todos los oficiales de la Armada; además de un referente importante para todos los marinos. Así pues, sería muy buen ejemplo que afrontara de una vez la mejora en cuanto a eficiencia energética de sus edificaciones y, dentro de las mismas, la del cuartel Almirante Francisco Moreno. Además, la ENM es un centro que persigue la mejora continua en todos los campos. Uno de ellos es el permanente esfuerzo por mantener el correcto estado de su infraestructura y la constante modernización de las mismas.

1.4 Estructura del TFG

El presente TFG se encuentra dividido en seis capítulos, incluido éste de introducción en el que se ha tratado de dar una visión global de la importancia que tiene mejorar y reestructurar el Cuartel Almirante Francisco Moreno, si se tiene en cuenta el alto grado de contaminación y de emisiones que genera este tipo de edificios de los años 70, cuando se construía sin directrices en favor del ahorro energético y con certificación energética muy baja; y teniendo en cuenta el compromiso de la UE y sus Estados miembro, de luchar para paliar la crisis climática en que nos encontramos inmersos y, por tanto, tratar de contribuir a la ralentización del cambio climático.

El Capítulo 2, Estado del arte, dado que la legislación medioambiental en España es muy densa, y mucho más si se tiene en cuenta la normativa que emana de la UE; comienza por dar una visión general de la normativa más relevante de los últimos treinta años, que guarde relación con la eficiencia energética en la edificación, la reducción de emisiones a la atmósfera en este sector y con la certificación energética de edificios. Además, se expone alguna normativa interna sobre el sostenimiento ambiental y su aplicación en cuarteles y establecimientos de las FAS. Seguidamente se expone de forma muy generalista en qué consiste la Certificación de Eficiencia Energética de un edifico en nuestro país. Al hablar de análisis energético, se abordan los parámetros fundamentales que se deberían tener en cuenta a la hora de realizar un análisis energético, encaminado a abrir un preámbulo donde introducir los parámetros que se utilizarán en el Capítulo 3 a la hora de desarrollar el TFG. Esto es, hablar acerca de la envolvente térmica de un edificio, así como de las cargas internas y las infiltraciones que afectan a la temperatura y humedad interiores y al consumo de energía. También se tiene en consideración dedicar un subapartado a lo referente en cuanto a sistemas de generación de energía, centrándose en la generación por caldera de gas natural, que es la que se utiliza en el cuartel. Seguidamente, se tratará de abordar el tema del confort térmico, concretamente basado en la temperatura y la humedad, así como nombrar las teorías más extendidas en este ámbito. Por último, y de forma somera, se dedicarán las últimas palabras de este capítulo a numerar los principales programas informáticos de simulación dinámica.

Ya en el Capítulo 3, se describe el desarrollo de este TFG que incluye una descripción del edificio, indicando su ubicación y antecedentes. Se expondrán las características de la edificación en general, sobre su morfología y, en particular, de sus elementos constructivos e infiltraciones. También recoge el sistema de generación de energía que incluye la caldera de gas. Por último, se expondrán los datos de los consumos energéticos de los últimos años para poder realizar comparaciones en el siguiente capítulo. Ya inmersos en las herramientas informáticas, el análisis energético para el año 2018 se llevará a cabo con los softwares de diseño y simulación dinámica SketchUp, OpenStudio y EnergyPlus, usualmente utilizados en el sector ingenieril para el análisis energético de infraestructuras.

[11] Testimonios de la Jefatura de Sanidad de la ENM.

En primer lugar, con el software SketchUp, se elaborará un modelo en 3D del edificio a partir de los planos[12] [8] centrándose en la representación de puertas y ventanas exteriores de las plantas principales, plantas 1ª y 2ª, definiendo los tipos de espacios según la finalidad de uso, dividiendo las plantas por zonas térmicas que contarán con diferentes propiedades. También se geolocalizará y orientará el edificio para posteriormente analizar cómo le afectarían las condiciones meteorológicas propias de la zona.

El modelo de SketchUp se exportará al software de simulación energética OpenStudio, apoyado por el programa EnergyPlus como herramienta de cálculo. En este proceso de simulación se introducirán datos extraídos del Pliego de Condiciones Técnicas [8] como el tipo de materiales que componen los cerramientos del edificio con sus determinadas propiedades térmicas, los espesores de cada capa, etc. Se implementará un modelo de horario que regulará el uso de las instalaciones y abarcará un año completo, definido mes a mes. También se añadirán cargas térmicas siendo la caldera de gas la principal y añadiendo otras secundarias como las cargas térmicas producidas por el sistema de iluminación interior, equipos electrónicos, así como el calor aportado por la presencia de los usuarios según el tipo de actividad que realice; e, importante, se representarán las infiltraciones principales que tiene el edificio. Por último, se representará la propia caldera de gas del cuartel como elemento HVAC ("*Heating, Ventilation and Air Condition*").

En el Capítulo 4, después de abandonar el programa OpenStudio, se validará la simulación del modelo comparándolo con los consumos reales. A continuación, se abordará una serie de interpretaciones a partir de los datos obtenidos mediante gráficas y tablas con objeto de extraer la demanda energética del modelo simulado por zonas y comprender cómo se comporta energéticamente el cuartel en las mismas. Por último, se inferirá la calidad del confort térmico en base a productos del programa y de las temperaturas y humedades de los espacios habitables, respaldado por la normativa vigente.

El Capítulo 5 resultará el verdadero valor añadido de este trabajo donde se reunirán todas conclusiones extraídas del análisis anterior.

El Capítulo 6 recoge la bibliografía empleada durante el trabajo.

[12] Planos incluidos en el Proyecto de edificio para cuartel de alumnos de la Escuela Naval Militar, aportado por la Sección de Mantenimiento de la ENM.

2 ESTADO DEL ARTE

En la plantilla die que deben mencionarse otros trabajos relacionados. Este se relaciona con el campo de este TFG y con el edificio

Existe un Trabajo Fin de Grado realizado durante el curso académico 2014-2015, titulado "*Certificación Energética del cuartel "Almirante Francisco Moreno"",* cuyo objetico fue dar a conocer la eficiencia energética de la citada edificación a través del proceso de certificación energética, mediante el uso de un programa informático denominado CE_3X, reconocido oficialmente por el Ministerio de Industria, Energía y Turismo para tal fin.

El proceso de certificación energética del referido edificio permitió clasificarlo con la letra D dado su consumo energético anual, como no podía ser de otra forma. Teniendo en cuenta que la escala de clasificación actual está basada en las emisiones de CO_2 a la atmósfera y son el resultado de la división entre las emisiones del cuartel y las de un edificio de similares características, que ofrece la librería del programa informático. Y que se corresponde con unos valores medios de emisiones relativos al parque edificatorio existente de similares características.

En este TFG, queda claro que, al objeto de mejorar la eficiencia energética de la edificación, es preciso acometer la reforma de su envolvente térmica de la siguiente manera:

- Sustitución de todas las ventanas de una sola hoja por unas de doble hoja verticales.
- Sustitución de los cristales monolíticos por vidrios bajo emisivos.
- Sustitución de los marcos de aluminio por otros de material PVC.

Significar que existe otro Trabajo Fin de Grado realizado durante el curso académico 2015-2016, titulado "*Análisis de la influencia de la envolvente en la demanda térmica y propuestas de mejora del cuartel "Almirante Francisco Moreno"",* cuyo objetico fue evaluar la influencia de la envolvente térmica del Cuartel en la demanda energética, y determinar cómo podría mejorarse dicha envolvente, de forma que se redujera la demanda energética pero manteniendo las mismas condiciones de confort.

Para llevar a cabo el análisis, se hizo uso del software de simulación Trnsys, con el que se realizó un estudio térmico del cuartel, definido de la forma lo más precisa posible mediante el programa de diseño gráfico SketchUp con su "*plug-in*" Trnsys3D. El trabajo, finalmente, ofrece tres propuestas diferentes de rehabilitación:

- Implantación de un sistema SATE (Sistema de Aislamiento Térmico por el Exterior) amortizable en 10 años que permitiría ahorros anuales del 50%.
- Implantación de un sistema de aislamiento de cámaras, como lana de roca, (amortizable en 16 años), que supondría una mejora en un 15- 20% anual
- Implantar un acristalamiento de doble hoja aislante, que supondría una inversión baja (amortizable en 2,3 años) con mejoras de eficiencia próximas a la solución anterior (aislamiento en cámara).

2.1 Marco legal: Normativa

La legislación medioambiental en España es muy densa, y mucho más si se tiene en cuenta la normativa que emana de la UE; por lo que este apartado va a centrarse en las normas más relevantes de los últimos treinta años que guarden relación con la eficiencia energética en la edificación, con la reducción de emisiones a la atmósfera en este sector y con la certificación energética de edificios. Además, se verán algunas normas relativas al sostenimiento ambiental y a su aplicación en bases, cuarteles y establecimientos de las FAS.

Se comenzará por mencionar una norma europea importante del año 1989, como fue la Directiva 89/106/CEE del Consejo [10], de 21 de diciembre de 1988, relativa a *la aproximación de las disposiciones legales, reglamentarias y administrativas de los Estados miembros sobre los productos de construcción*[13], que aún no incorpora los términos de eficiencia energética, "*pero exige que las obras de construcción y las instalaciones de* ***calefacción, refrigeración*** *y ventilación sean diseñadas y realizadas de tal forma que la cantidad de energía necesaria para su utilización sea reducida, teniendo en cuenta las condiciones climáticas del lugar y los ocupantes*". En cierto sentido, esta normativa comienza a introducir aspectos que puedan afectar el confort al referir sistemas de refrigeración y ventilación obligatorios.

Cinco años después, hablando ya de eficacia energética, ve la luz la Directiva 93/76/CEE del Consejo, de 13 de septiembre de 1993, relativa a *la limitación de las emisiones de dióxido de carbono mediante la mejora de la eficacia energética (SAVE),* que además de limitar las emisiones de CO_2, "*exige a los Estados miembros instaurar y aplicar programas de rendimiento energético en el sector de los edificios e informar sobre su aplicación*".

Consecuencia de las directiva anterior, ve la luz el RD 1751/1998, de 31 de julio, que *aprueba el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios* (RITE)[14] *y sus Instrucciones Técnicas Complementarias*. Reglamento que comenzó a introducir, ya en las instalaciones de agua caliente sanitaria (ACS) y climatización, parámetros de eficiencia. Por lo que empiezan a implementarse medidas concretas que inducen un determinado confort a los usuarios.

En 2002, se incorpora definitivamente el concepto de eficiencia energética con la promulgación de la Directiva 2002/91/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 16 de diciembre de 2002, *relativa a la eficiencia energética de los edificios.* Significar con respecto a esta directiva que:

- "*Alerta de que el sector de la vivienda y de los servicios, compuesto en su mayoría por edificios, absorbe más del 40% del consumo final de energía en la Comunidad y se encuentra*

[13] Directiva modificada por la Directiva 93/68/CEE (DO L 220 de 30.8.1993, p. 1).

[14] En 2007 se modifica este reglamento mediante RD 1027/2007, de 20 de julio, que aprueba el nuevo Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE). Así mismo, el RD 1826/2009, de 27 de noviembre, modifica de nuevo el Reglamento.

en fase de expansión, tendencia que previsiblemente hará aumentar el consumo de energía y, por lo tanto, las emisiones de dióxido de carbono".

- Expone la norma que, "*las medidas para fomentar la mejora de la eficiencia energética de los edificios deben tener en cuenta las condiciones climáticas y las particularidades locales, así como el entorno ambiental interior y la relación coste-eficacia*".

Reseñar la presencia de esta norma al implementar un modelo climatológico de la ciudad de Pontevedra en el software OpenStudio, tal y como se desarrollará en el apartado 3.4.2 del presente TFG.

- Por otro lado, incide en que "*la eficiencia energética de los edificios debe ser calculada con una metodología, que podrá ser diferente a escala regional, que comprenda no sólo el aislamiento térmico sino también factores como las instalaciones de calefacción y aire acondicionado, la utilización de fuentes de energía renovables y el diseño del edificio. La aplicación de un enfoque común en este proceso, a través de especialistas cualificados, permitirá armonizar los esfuerzos realizados por los Estados en el terreno del ahorro energético en el sector de la edificación*".

En 2006 se promulga la Directiva 2006/32/CE[15], sobre *la eficiencia del uso final de la energía y los servicios energéticos*, que actualiza el marco general de la eficiencia energética en la Unión; y fija un objetivo mínimo de ahorro energético del 9% para el año 2016[16].

- Esta norma dicta que "*a más tardar el 30 de abril de 2014, y luego cada tres años, los Estados miembros presentarán Planes Nacionales de Acción para la Eficiencia Energética en los que fijarán los mecanismos precisos para conseguir los objetivos fijados*".

- Resaltar que la Directiva, al hablar del ámbito de aplicación, implica a las fuerzas armadas de los Estados, "*siempre que su aplicación no dé lugar a conflicto alguno con la naturaleza y objetivos básicos de estas, y con la excepción del material utilizado exclusivamente para fines militares*".

Como consecuencia de la promulgación de la Directiva 2006/32 anterior, el entonces Ministerio de Industria, Energía y Turismo (MINETUR)[17], en colaboración con el Instituto para la Diversificación y el Ahorro de Energía (IDAE), elaboró el *Plan de Nacional de Acción de Eficiencia Energética* (PAEE) 2008-2012 con el objetivo general de este tipo de planes de mejorar de la eficiencia energética de las instalaciones térmicas y de iluminación de los edificios.

También en 2006, a consecuencia de la Directiva 2002/91/CE, vista anteriormente, ve la luz el RD 314/2006. De 17 de marzo, *que aprueba el Código Técnico de la Edificación* (CTE), documento que crea un marco normativo homologable al existente en otros países de nuestro entorno y armoniza la reglamentación nacional en la edificación con disposiciones de la UE vigentes en esta materia.

- Especial mención habría que hacer del Documento Básico (DB), que establece las reglas y procedimientos que permiten cumplir el *requisito básico de ahorro de energía* (DB-HE).

Significar que en España la doctrina legislativa relativa a la certificación energética de los edificios, se transpuso a nuestro ordenamiento jurídico cinco años después, con la promulgación del RD 47/2007, de 19 de enero, *que aprobó el Procedimiento básico para la certificación de eficiencia energética de*

[15] Que deroga la Directiva 93/76/CEE del Consejo, de 13 de septiembre de 1993 que limita ya las emisiones de dióxido de carbono a la atmósfera mediante la mejora de la eficacia energética,

[16] El Consejo Europeo de 17 de junio 2010, fijó como objetivo para 2020 ahorrar un 20% de consumo de energía primaria.

[17] En la actualidad las carteras de Energía y Medioambiente forman parte del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.

edificios de nueva construcción; aunque quedó pendiente de regulación la certificación energética de los edificios ya existentes.

Tres años después, la Directiva 2010/31/UE, de 19 de mayo, *relativa a la eficiencia energética de los edificios,* hace necesario derogar el RD 47/2007 para transponer a nuestro ordenamiento jurídico las modificaciones incluidas.

De este modo, se promulga el RD 235/2013, de 5 de abril, que aprobó *el Procedimiento Básico para la Certificación de la Eficiencia Energética de los Edificios*[18], que ya incluye el procedimiento de certificación de los edificios existentes.

- La norma "*obliga a poner a disposición del comprador o usuario de un edificio, un Certificado de Eficiencia Energética (CEE), con información objetiva sobre la eficiencia energética del edificio y unos valores de referencia como los requisitos mínimos de eficiencia energética*".
- Significar que los requisitos mínimos de eficiencia energética de los edificios no se incluyen en la citada norma, dado que los establece el CTE. De esta forma, añade, "*valorando y comparando la eficiencia energética de los edificios, se llegará a favorecer la promoción de edificaciones de mayor eficiencia energética con las consiguientes inversiones en ahorro de energía*".

En el año 2012, la Directiva 2012/27/UE[19] del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de octubre de 2012, *relativa a la eficiencia energética,* trata de actualizar el marco legal de la Unión en materia de eficiencia energética y fija como objetivo general de eficiencia energética llegar a 2020 con un ahorro del 20% en el consumo de energía primaria; y mejoras de la eficiencia energética más allá de 2020.

Con respecto a los edificios indica que:

- "*El ritmo de renovación tiene que aumentar ya que el parque inmobiliario existente constituye el sector con mayor potencial de ahorro de energía*".
- "*Son cruciales para alcanzar el objetivo de la Unión de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero entre un 80% y un 95% para 2050 respecto a 1990*".
- "*Los de propiedad estatal representan una parte considerable del parque inmobiliario y tienen una alta visibilidad ante la opinión pública. Por lo tanto conviene fijar un índice anual de renovación de edificios que las Administraciones centrales tengan en propiedad y ocupen, con objeto de mejorar su rendimiento energético*".

Poco después, la Directiva 2013/12/UE, de 25 de octubre de 2012, por la que se adapta la Directiva 2012/27/UE del *Parlamento Europeo y del Consejo relativa a la eficiencia energética, con motivo de la adhesión de la República de Croacia*, establece que "el consumo de energía de la UE en 2020 no puede ser superior a 1.483 Mtep[20] de energía primaria o 1.086 Mtep de energía final. Este objetivo supone una reducción de aproximadamente 400 Mtep con respecto al año 2007".

[18] BOE núm. 89 de 13 de abril 2013. RD corregido por BOE del 25 mayo.

[19] Esta Directiva modifica las Directivas 2009/125/CE y 2010/30/UE.; y deroga las Directivas 2004/8/CE y 2006/32/CE

[20] Millones de Toneladas Equivalentes de Petróleo

Ya en el año 2017, en línea con la estrategia de la UE para 2020, España plasmó en el Plan Nacional (PNAEE) 2017-2020 el objetivo de "*alcanzar un total de energía primaria consumida de 123 Mtep, lo que representa una reducción total del 25% respecto al tendencial*".

En ese mismo año, ve la luz el Real Decreto 564/2017, de 2 de junio de 2017, *por el que se modifica el RD 235/2013, de 5 de abril, por el que se aprueba el procedimiento básico para la certificación de la eficiencia energética de los edificios*[21].

Esta modificación tiene por objeto principal, "*garantizar las obligaciones sustantivas de la Directiva 2010/31/UE, del Parlamento Europeo y del Consejo, relativa a la eficiencia energética de los edificios ya vista, por lo que se considera necesario modificar algunos aspectos del RD 235/2013*". A estos efectos la nueva norma, al hablar de las *edificaciones exentas de certificado*, "*modifica los párrafos a) y d) del artículo 2.2 del procedimiento básico de certificación*".

Por otra parte, también modifica la disposición adicional segunda del RD 235/2013, relativa a *los edificios de consumo de energía casi nulo*, de la siguiente forma:

- "*A más tardar el 31 de diciembre de 2020, los edificios nuevos serán edificios de consumo de energía casi nulo, definidos en la disposición adicional cuarta del Real Decreto 56/2016, de 12 de febrero, por el que se transpone la Directiva 2012/27/UE, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de octubre de 2012, relativa a la eficiencia energética, en lo referente a auditorías energéticas, la acreditación de proveedores los de servicios y auditores energéticos y promoción de la eficiencia del suministro de energía*".
- "*Los edificios nuevos que vayan a estar ocupados y sean de titularidad pública, serán edificios de consumo de energía casi nulo después del 31 de diciembre de 2018*".
- "*Los requisitos mínimos que deben satisfacer esos edificios serán los que en cada momento se determinen en el Código Técnico de la Edificación*".

Significar que a la hora de la obtención del certificado y de la obligación de mostrar la correspondiente etiqueta en edificios protegidos oficialmente, el nuevo RD especifica:

- "La presentación o puesta a disposición de los compradores o arrendatarios del CEE de los edificios protegidos oficialmente que no estén excluidos del Procedimiento básico será exigible para los contratos de compraventa o arrendamiento transcurrido el plazo de tres meses desde la entrada en vigor del presente real decreto".
- "*Los edificios protegidos oficialmente, ocupados o no por una autoridad, y que no estén excluidos del procedimiento básico, deberán obtener un CEE y tendrán la obligación de exhibir su etiqueta transcurridos seis meses desde la entrada en vigor del presente RD*".

La Directiva 2018/844 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 30 de mayo de 2018, modifica la Directiva 2010/31/UE relativa a la *eficiencia energética de los edificios* y la Directiva 2012/27/UE relativa a la *eficiencia energética;* y añade como objetivo descarbonizar el parque inmobiliario, que es responsable de aproximadamente el 36% de todas las emisiones de CO_2 de la Unión, de aquí a 2050.

[21] BOE nº 134, 6 de junio de 2017.

Por último, dado que el cuartel objeto de estudio se ubica en Galicia, habrá que tener en cuenta el Decreto 128/2016, de 25 de agosto, *por el que se regula la certificación energética de edificios en la Comunidad Autónoma de Galicia*[22]. Esta norma, entre otras cosas, regula el Registro de Certificados de Eficiencia Energética de Edificios de la CA de Galicia, creado en el Decreto 42/2009, de 21 de enero, incluyendo en sus directrices la comunicación de los certificados de eficiencia energética, tanto de los edificios o partes de edificio de nueva construcción como existentes. Este registro será público, ofreciendo información sobre las características energéticas de los edificios cuyos certificados se encuentran registrados

La Tabla 2-1 contiene un resumen de la normativa citada anteriormente. (En rojo normativa ya derogada y en azul la modificada.)

Año	Directivas UE	Objeto	Legislación Española	Objeto
1988	89/106/CEE Derogada (2017)	Instalaciones calefacción, refrigeración y ventilación diseñadas para que energía necesaria para su utilización sea reducida		
1993	93/76/CEE Derogada (2006)	Limita emisiones de CO_2 a la atmósfera. Instaura programas de rendimiento energético en el sector de los edificios		
1998			RD 1751/1998	Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios-RITE[23] (mod 2007)
2002	2002/91/CE Derogada (2010)	Eficiencia energética de edificios		
2006	2006/32/CE Derogada (2012)	Eficiencia del uso final de la energía. Fija objetivo de ahorro energético del 9% para 2016. Fija Planes Nacionales de Acción para la Eficiencia Energética (PNAEE)		
2006			RD 314/2006	Aprueba el CTE. Mod 2019[24]
2007			PAEE 2008/2012	Mejorar eficiencia energética de las instalaciones térmicas e
2007			RD 47/2007	Procedimiento certificación de eficiencia energética de edificios nueva construcción
2010	2010/31/UE	Eficiencia energética de edificios		
2012	2012/27/UE	Ahorrar un 20% en consumo de Energía primaria en 2020. Reducir las emisiones GEI entre un 80% y un 95% en 2050 respecto a 1990 y Fijar un índice anual de renovación de edificios		
2013	2013/12/UE	El consumo de la UE en 2020 no puede superar 1.483 Mtep de energía primaria o 1.086 Mtep de energía final		
2013			RD 235/2013	Procedimiento de CEE de los Edificios. Obliga a CEE
2016			Decreto 128/2016,	Certificación energética de edificios en la CA de Galicia

[22] DOG Núm. 186, de 29 septiembre 2016.
[23] Modificado por RD 1027/2007, de 20 de julio.
[24] Su última modificación se efectúa por RD 732/2019, de 20 de diciembre.

2018	2018//844/UE	Modifica: Directivas 2010/31/UE y 2012/27/UE. Descarbonizar el parque inmobiliario, que es responsable de aproximadamente el 36% de todas las emisiones de CO_2		

Tabla 2-1 Resumen de la normativa y legislación aplicable a la edificación. Fuente: Elaboración propia

Finalmente, aunque no se ha hecho mención en el desarrollo cronológico anterior, hay que resaltar el Tratado de Lisboa (2009)[25], que modifica el Tratado de la Unión Europea y en el que "el Tratado constitutivo de la Comunidad Europea" pasó a llamarse "Tratado de Funcionamiento de la Unión Europea (TFUE)". Y que, el artículo 194 de este TFUE, establece la base jurídica para llevar a cabo la política energética de la UE que a partir de ese momento hace competente al órgano europeo para adoptar, entre otras, "*medidas a escala europea que fomenten la eficiencia energética y el ahorro energético, así como el desarrollo de energías nuevas y renovables*". Por tanto, se asigna al TFUE la competencia de aplicar Directiva 2012/27/UE, r*elativa a la eficiencia energética,* y obliga a los Estados miembros a cumplir los objetivos fijados para el año 2050 que vimos con anterioridad y queda reflejado en la Figura 2-1 [11].

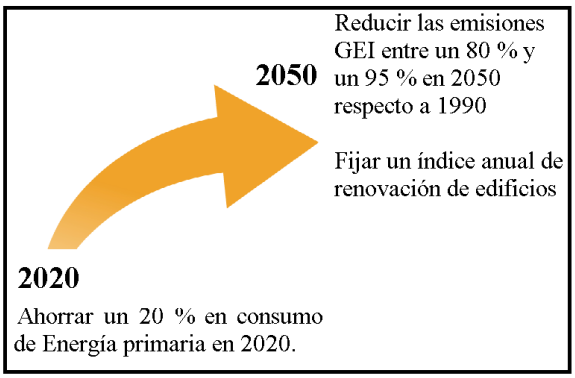


Figura 2-1 Objetivos de la Directiva 2012/27/UE. Fuente: Elaboración propia

Como ya se comentó, el sector de la edificación tanto en España como a nivel comunitario, es un sector clave debido a la importancia que reviste sus necesidades energéticas en términos de demanda y consumo energía final. Sin duda, el estado del bienestar, la mejora del nivel de vida, la búsqueda del confort, la mejora del equipamiento de electrodomésticos de las viviendas y el incremento del número de hogares motivado por el crecimiento demográfico, son factores muy importantes que demuestran el incremento del consumo energético en este sector y, de ahí, la preocupación por esta tendencia consumidora a la hora de afrontar las necesidades energéticas del sector y el reto citado para el año 2050.

Por otra parte, como se ya se ha comentado, a nivel de las FAS, los temas medioambientales son muy importantes desde hace años. Y así lo demuestra la Directiva 107/1997, de 2 de junio, del MINISDEF, *sobre protección del Medio Ambiente en el ámbito del departamento.* Esta norma específica literalmente que:

> "*La Política Medioambiental del Ministerio de Defensa estará basada en el concepto de Desarrollo Sostenible, debiendo ser compatible con la misión de las Fuerzas Armadas, y dirigida a alcanzar los objetivos e intenciones de la legislación vigente, en la conservación, protección y, cuando sea posible, en la recuperación de las condiciones medioambientales*".

Por otra parte, esta directiva es desarrollada años más tarde por la Instrucción 56/2011, de 3 de agosto, del Secretario de Estado de Defensa *sobre sostenibilidad ambiental y eficiencia energética en el ámbito del Ministerio de Defensa.* La norma "*fija los principios y objetivos ambientales, y estableciendo*

[25] DO C 306 de 17.12.2007, que entró en vigor el 1 de diciembre de 2009.

como herramienta fundamental del Ministerio de Defensa para conseguir estos objetivos la implantación de Sistemas de Gestión Ambiental (SGA) conforme a la norma ISO-14.001, que permitan evaluar el comportamiento ambiental de sus instalaciones". De esta instrucción habría que destacar:

- "*Que para atender a los principios y objetivos del MINISDEF en materia de sostenibilidad ambiental y eficiencia energética, el Ejército de Tierra, la Armada, el Ejército del Aire, los Órganos Directivos y Organismos Autónomos adscritos al Departamento emplearán parte de los recursos financieros, materiales y humanos con que se les dota; y deberán destinar, al menos, la doceava parte del total de sus recursos de inversión en infraestructura a actuaciones relacionadas con la sostenibilidad ambiental y la eficiencia energética*".
- "*Que como marco de referencia se tendrán en cuenta las disposiciones establecidas en materia de ahorro energético en el CTE para el proyecto, construcción y conservación de edificios*".

Que se adoptarán medidas y acciones orientadas a alcanzar los objetivos de ahorro y eficiencia energética marcados en:

- El artículo 85 de la Ley 21/2011, de 4 de marzo, *de Economía Sostenible*
- La Resolución de 14 de enero de 2010, de la SEDEF, *que publica el Acuerdo de Consejo de Ministros del 11 de diciembre de 2009, que aprueba el plan de activación de la eficiencia energética en los edificios de la Administración General del Estado.*
- La Instrucción 8/2009, de 9 de marzo, del SEDEF *por la que aprueba el Programa Permanente de Eficiencia y Economía del Gasto del Ministerio*".

Conviene mencionar el hecho de que la ENM, como instalación perteneciente al MINISDEF, está certificada con la norma ISO-14.001 y su implantación se hace visible en el mismo cuartel Almirante Francisco Moreno con la tenencia de carteles en numerosos espacios, tal como se aprecia en la Figura 2-2.

Figura 2-2 Normativa ISO-14.001 en el cuartel Almirante Francisco Moreno

Fuente: Elaboración propia

Significar que, debido a la crisis económica de la época, esta Instrucción sería modificada por la Instrucción 59/2014 del SEDEF, que solo pretende alargar los plazos en el cumplimiento de destinar, al menos, la doceava parte del total de sus recursos de inversión en infraestructura a actuaciones relacionadas con la sostenibilidad ambiental y la eficiencia energética.

Por otra parte, remarcar que el Real Decreto 1287/2010, de 15 de octubre, *por el que se desarrolla la estructura orgánica básica del Ministerio de Defensa,* crea un órgano denominado Subdirección

General de Sostenibilidad Ambiental y Eficiencia Energética, que depende directamente de la Dirección General de Infraestructura (DIGENIN)[26].

La Figura 2-3 establece su dependencia funcional de la citada subdirección general dentro del MINISDEF.

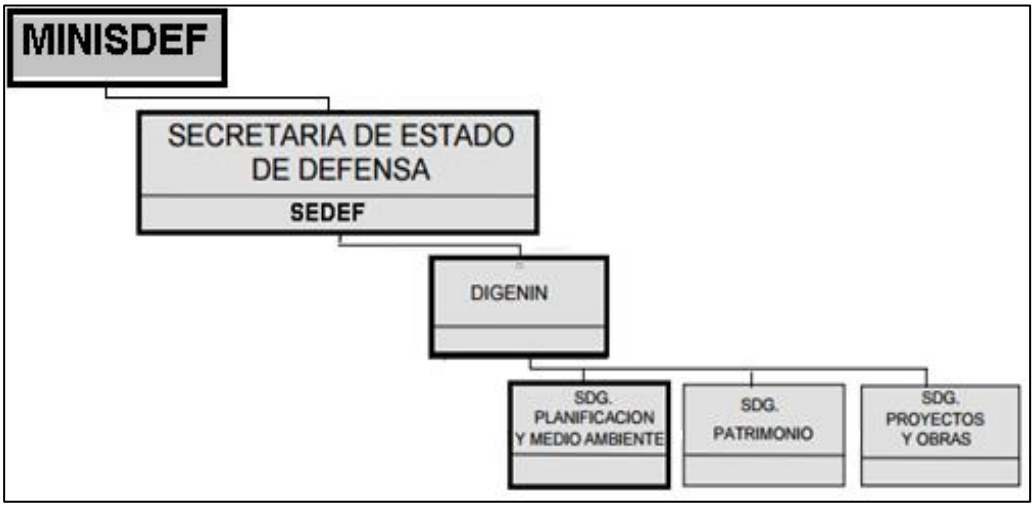


Figura 2-3 Dependencia orgánica MINISDEF-SEDEF-DIGENIN. Fuente: Elaboración propia [12]

Entre las funciones de esta Subdirección, que vienen determinadas en el artículo 7 del Real Decreto 1399/2018, de 23 de noviembre, *que desarrolla la estructura orgánica básica del Ministerio de Defensa*, habría que destacar las siguientes:

- "*Proponer, definir y desarrollar la política medioambiental del Departamento y dirigir y supervisar su ejecución".*
- "*Proponer, definir y desarrollar la política energética del Departamento y dirigir y supervisar su ejecución*".

Por otro lado, dentro de la página web del Ministerio de Defensa [13] se puede encontrar un portal medioambiental que especifica su compromiso con el medio ambiente con el siguiente texto:

> "*El Ministerio de Defensa, consciente de la importancia que tiene la protección del medio ambiente, viene acometiendo desde el año 1997, en que se aprobó la Directiva 107/97 sobre protección del Medio Ambiente, una serie de actuaciones y medidas que vinculan las misiones propias que tiene encomendadas con el objetivo de protección medioambiental que dispone el artículo 45 de la Constitución Española*".

En esa línea el Ministerio de Defensa ha escogido como herramienta fundamental de su política ambiental la implementación en sus instalaciones de Sistemas de Gestión Ambiental certificados de acuerdo con la norma UNE-EN ISO 14.001:2015.

Por otra parte, concretando ya en la Armada, también en su página web [14] hay un apartado dedicado al medioambiente y se ha creído oportuno rescatar el siguiente texto que, de alguna forma, tiene que ver con el desarrollo de este TFG:

[26] Dirección General de Infraestructura. Es el órgano directivo al que le corresponde la planificación y desarrollo de las políticas de infraestructura, medioambiental y energética del Departamento, así como la supervisión y dirección de su ejecución.

"La Armada ha venido realizando estudios en el campo de la utilización de las energías renovables. En particular, con el desarrollo de las instalaciones de energías renovables se reducirán significativamente las emisiones de CO_2 a la atmósfera. Entre las unidades de la Armada que se están beneficiando de los estudios de viabilidad se encuentran los:"

- *Estudios de viabilidad para la construcción de plantas de Cogeneración en la Escuela Naval de Marín*. Con la implantación de estas plantas se reducirían significativamente las emisiones de CO_2 a la atmósfera.

2.2 Análisis energético en edificación

Se podría decir que no tiene sentido hablar de análisis energético si no es con la finalidad de mejorar lo que se estudia. La certificación de eficiencia energética en España recoge todos los factores que se deben tener en cuenta a la hora de abordar un análisis energético. En el siguiente apartado se recogerán estos aspectos.

2.2.1 Certificación de eficiencia energética

Como se ha visto en el punto anterior, el RD 235/2013 aprueba el Procedimiento Básico para la CEE de los Edificios, y establece el "*procedimiento que debe cumplir la metodología para la obtención de la calificación de eficiencia energética, considerando los factores que presenten mayor incidencia en su consumo energético, y las condiciones técnicas y administrativas para las certificaciones de eficiencia energética de los edificios*".

Según esta norma, los certificados de eficiencia energética (CEE) pueden clasificarse, en función de si el edificio es de nueva construcción o ya existente y, así, se denominan:

- *CEE del edificio terminado.*
- *C*EE de edificio existente.

Este RD, según se especifica en su artículo 2, es de aplicación a:

a) Edificios de nueva construcción.

b) Edificios o partes de edificios existentes que se vendan o alquilen a un nuevo arrendatario, siempre que no dispongan de un certificado en vigor.

c) Edificios o partes de edificios en los que una autoridad pública ocupe una superficie útil total superior a 250 m^2 y que sean frecuentados habitualmente por el público.

Siguiendo ahora el artículo 2 del Real Decreto 564/2017, de 2 de junio, por el que se modifica el Real Decreto 235/2013, de 5 de abril, *que aprueba el procedimiento básico para la certificación de la eficiencia energética de los edificios*, quedan exentos de CEE:

a) "*Edificios protegidos oficialmente por ser parte de un entorno declarado o en razón de su particular valor arquitectónico o histórico, siempre que cualquier actuación de mejora de la eficiencia energética alterase de manera inaceptable su carácter o aspecto, siendo la autoridad que dicta la protección oficial quien determine los elementos inalterables"*.

b) "*Edificios o partes de edificios utilizados exclusivamente como lugares de culto y para actividades religiosas*".

c) "*Construcciones provisionales con un plazo previsto de utilización igual o inferior a dos años*".

d) "*Edificios industriales, de la Defensa y agrícolas no residenciales, o partes de los mismos, de baja demanda energética. Aquellas zonas que no requieran garantizar unas condiciones térmicas de confort, como las destinadas a talleres y procesos industriales, se considerarán de baja demanda energética*".

e) "*Edificios o partes de edificios aislados con una superficie útil total inferior a 50 m^2*".

f) "*Edificios que se compren para reformas importantes o demolición*".

g) "*Edificios o partes de edificios existentes de viviendas, cuyo uso sea inferior a cuatro meses al año, o bien durante un tiempo limitado al año y con un consumo previsto de energía inferior al 25 por ciento de lo que resultaría de su utilización durante todo el año, siempre que así conste mediante declaración responsable del propietario de la vivienda*".

El contenido mínimo del CEE, conforme al artículo 6 del Real Decreto 235/2013, es el siguiente:

a) "*Identificación del edificio o de la parte del mismo que se certifica, incluyendo su referencia catastral"*.

b) "*Indicación del procedimiento reconocido al que se refiere el artículo 4 utilizado para obtener la calificación de eficiencia energética*".

c) "*Indicación de la normativa sobre ahorro y eficiencia energética de aplicación en el momento de su construcción*".

d) "*Descripción de las características energéticas del edificio: envolvente térmica, instalaciones térmicas y de iluminación, condiciones normales de funcionamiento y ocupación, condiciones de confort térmico, lumínico, calidad de aire interior y demás datos utilizados para obtener la calificación de eficiencia energética del edificio*".

e) "*Calificación de eficiencia energética expresada mediante la etiqueta energética*".

f) "*Para los edificios existentes, documento de recomendaciones para la mejora de los niveles óptimos o rentables de la eficiencia energética de un edificio o de una parte de este, a menos que no exista ningún potencial razonable para una mejora de esa índole en comparación con los requisitos de eficiencia energética vigentes. Las recomendaciones incluidas en el certificado de eficiencia energética abordarán*":

i. "Las *medidas aplicadas en el marco de reformas importantes de la envolvente y de las instalaciones técnicas de un edificio, y*

ii. *Las medidas relativas a elementos de un edificio, independientemente de la realización de reformas importantes de la envolvente o de las instalaciones técnicas de un edificio*".

"*Las recomendaciones incluidas en el CEE serán técnicamente viables y podrán incluir una estimación de los plazos de recuperación de la inversión o de la rentabilidad durante su ciclo de vida útil*".

"*Contendrá información dirigida al propietario o arrendatario sobre dónde obtener información más detallada, incluida información sobre la relación coste-eficacia de las recomendaciones formuladas en el certificado*".

"*La evaluación de esa relación se efectuará sobre la base de una serie de criterios estándares, como la evaluación de ahorro energético, precios subyacentes de la energía y una previsión de costes preliminar*".

"*Por otro lado, informará de las actuaciones que se hayan de emprender para llevar a la práctica las recomendaciones*".

g) "*Descripción de las pruebas y comprobaciones llevadas a cabo, en su caso, por el técnico competente durante la fase de calificación energética".*

h) "Cumplimiento de los requisitos medioambientales exigidos a las instalaciones térmicas".

Es capital mencionar que estos factores energéticos del apartado d) constituirán la base procedimental para el análisis energético del presente TFG. Se definirán en los siguientes apartados del actual Capítulo 2 para más tarde implementarlos en el la simulación energética con los citados programas de simulación dinámica, a lo largo del Capítulo 3. También inferir en la importancia de la mención, en el apartado h), de cumplir con los requisitos medioambientales exigidos para las instalaciones térmicas, tal como dictaba el RITE y el PAEE previamente mencionados.

Por último, dado que el cuartel objeto de estudio se ubica en Galicia, habrá que tener en cuenta, especialmente a la hora de efectuar el registro del certificado, lo especificado en el Decreto 128/2016, de 25 de agosto, *por el que se regula la certificación energética de edificios en la Comunidad Autónoma de Galicia*.

Para terminar este apartado, y dar una idea de cómo se encuentra el estado de certificación de edificios en España, se han contrastado los datos facilitados por el IDAE en su 7º informe [15] de diciembre de 2018, "E*stado de la certificación energética de los edificios",* habría que mencionar que el número de certificados registrados en las Comunidades Autónomas (CCAA) asciende a 3.637.688 [15].

De estos, 58.252 corresponden a edificios nuevos acabados; y 3.579.436 a edificios existentes; es decir, que los certificados de los edificios existentes representan más del 98%. En Galicia, se registraron 145.626 certificados, de los que 2.542 fueron de edificios nuevos terminados y 143.084 de edificios existentes [15].

Significar que según el Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana (MITMA), en 2018 había unas 25.712.744 [16] viviendas, por lo que el dato total de viviendas certificadas, representa el 13% del parque español.

La parte izquierda de la Figura 2-4 que sigue a continuación, extraída de este mismo informe, corresponde a calificaciones energéticas en emisiones por Comunidad Autónoma (CA) de los edificios de nueva construcción acabados; y la de la derecha, a las Calificaciones energéticas en emisiones de los edificios existentes.

El citado informe concluye que la evolución de las calificaciones de los certificados para edificios nuevos, muestra una evolución en la que respecto de 2017 crecen las calificaciones A, B y C (especialmente las A y B), decreciendo las calificaciones D, E, F y G.

Este tipo de certificación en edificios de nueva construcción está muy condicionada por los requisitos establecidos en el CTE, y con la tendencia observada se deja entrever el objetivo prioritario de mejorar la eficiencia energética del parque edificatorio, representado en las calificaciones A y B.

En cambio, con respecto a las calificaciones de los certificados de los edificios existentes, con más de tres millones y medio de certificados en 5 años, los datos del informe indican que "España tiene un parque edificatorio asentado claramente en la calificación E, con una progresión muy lenta hacia calificaciones más altas".

Así pues, se aprecia que la mitad del citado parque edificatorio se encuentra en la categoría E. Respecto de años anteriores, señala el informe, se aprecia una pequeña evolución de las categorías G y F hacia la categoría E.

CCAA	A	B	C	D	E	F	G	
ANDALUCIA	796	2.829	1.600	1.415	432	21	29	7.122
ARAGÓN	24	78	43	40	16	0	0	201
ASTURIAS	42	48	71	94	121	2	2	380
BALEARES	43	191	319	208	210	8	8	987
CANARIAS	63	197	289	250	383	86	577	1.845
CATALUÑA	1.809	2.331	814	794	505	0	0	6.253
C LEON	395	331	197	93	36	1	0	1.053
C MANCHA	202	333	143	229	365	78	99	1.449
EXTREMADURA	623	1.602	973	1.135	2.895	0	0	7.228
GALICIA	1.108	525	332	303	240	16	18	2.542
MURCIA	39	318	211	311	823	127	176	2.005
NAVARRA	617	459	367	189	76	4	1	1.713
PAIS VASCO	498	452	236	360	162	21	10	1.739
RIOJA	72	63	47	33	28	0	0	243
VALENCIA	1.245	6.250	4.713	4.840	3.307	0	0	20.355
MADRID	964	1.261	540	192	69	1	2	3.029
CANTABRIA	43	13	9	6	16	0	1	88
CEUTA	0	1	3	5	7	0	4	20
TOTALES	8.583	17.282	10.907	10.497	9.691	365	927	58.252

CCAA	A	B	C	D	E	F	G	
ANDALUCIA	1.101	5.040	24.150	68.397	274.170	49.463	79.107	501.428
ARAGÓN	189	510	3.673	10.633	43.035	9.298	10.946	78284
ASTURIAS	225	277	1.700	5.979	17.501	5.199	10.405	41.286
BALEARES	255	959	3.274	8.560	38.292	12.590	31.579	95.509
CANARIAS	1.316	3.042	5.210	6.550	21.482	10.081	73.765	121.446
CATALUÑA	2.091	7.544	43.231	109.763	464.115	119.215	160.280	906.239
C LEON	1.283	1.048	6.609	19.882	62.502	12.164	14.906	118.394
C MANCHA	178	430	2.979	10.014	37.809	8.667	10.469	70.546
EXTREMADURA	31	128	998	3.599	14.415	2.919	3.342	25.432
GALICIA	626	1.325	8.041	20.905	68.285	19.478	24.424	143.084
MURCIA	48	328	2.193	7.780	44.312	10.351	16.027	81.039
NAVARRA	127	246	3.021	9.460	22.870	5.221	4.812	45.757
PAIS VASCO	184	182	1.183	17.372	72.431	23.891	23.474	138.717
RIOJA	137	164	1.303	4.604	16.138	2.562	2.003	26.911
VALENCIA	573	3.929	17.802	62.756	320.862	60.978	97.450	564.350
MADRID[4]	1.073	3.916	26.769	96.831	322.276	63.430	67.944	582.239
CANTABRIA	93	224	1.404	4.976	21.118	5.416	4.513	37.744
CEUTA	1	8	83	113	476	109	241	1.031
TOTALES	9.531	29.300	153.623	468.174	1.862.089	421.032	635.686	3.579.436

Figura 2-4 Calificaciones energéticas en emisiones de edificios acabados de nueva construcción VS los existentes. Fuente: IDAE [15]

La clasificación de los edificios según la etiqueta de eficiencia energética se lleva a cabo mediante dos indicadores en una escala de siete letras, que parte de la letra G (menor eficiencia) a la letra A (mayor). En el "Anexo I: Etiqueta de certificación energética" se detalla una reseña sobre dicha etiqueta.

Al referirnos al cuartel Almirante Francisco Moreno podríamos referir que la calificación de eficiencia energética alcanzada corresponde con la letra D, según el estudio mencionado al principio de este capítulo, realizado en el informe *Certificación energética del cuartel Almirante Francisco Moreno* [16]. Es conveniente relativizar esta clasificación puesto que es un trabajo didáctico (no oficial), al igual que el presente trabajo. Es un TFG de un alumno de la ENM dirigido por profesores de la Universidad de Vigo (UVIGO).

2.2.2 Envolvente térmica

De una forma amplia, la envolvente térmica de un edificio puede considerarse como una especie de carcasa que lo protege de la humedad, del aire y la temperatura exteriores, con objeto de lograr el adecuado confort para sus ocupantes. Una buena envolvente térmica es fundamental para lograr el deseado ahorro de energía y la reducción de las emisiones contaminantes de CO_2.

El Anejo C del DB-HE especifica una serie de "*consideraciones para la definición de la envolvente térmica*" que se citan a continuación:

En primer lugar, especifica que "*la envolvente térmica está compuesta por todos los cerramientos y particiones interiores, incluyendo sus puentes térmicos, que delimitan todos los espacios habitables del edificio o parte del edificio*".

No obstante, significar que a criterio del proyectista:

a) "*Podrá incluirse alguno o la totalidad de los espacios no habitables*".

b) Podrán excluirse espacios tales como:

i) *Espacios habitables que vayan a permanecer no acondicionados durante toda la vida del edificio, tales como escaleras, ascensores o, pasillos no acondicionados".*

ii) *"Espacios con grandes aberturas permanentes al exterior, de al menos 0,003 m^2 por m^2 de área útil de dicho espacio".*

Una envolvente térmica bien diseñada, con los materiales adecuados, proporcionará un buen aislamiento térmico al edificio y, al final, jugará un papel importante a la hora de obtener una buena calificación de eficiencia energética. Además, lograr un buen aislamiento térmico en el edificio, lleva consigo la mejora del confort térmico y acústico de sus viviendas.

La Figura 2-5 pretende representar la relación existente en el trinomio "Envolvente térmica-Aislamiento térmico-Confort térmico", pues para lograr un confort térmico satisfactorio de los inquilinos de una vivienda, es imprescindible un buen aislamiento térmico en la envolvente de la misma.

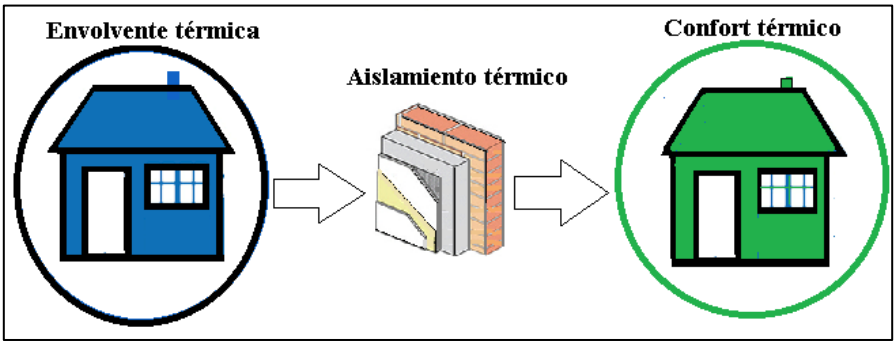


Figura 2-5 Relación trinomio *"Envolvente térmica-Aislamiento térmico-Confort térmico".* Fuente: Elaboración propia

Los elementos que componen la envolvente térmica del edificio, siguiendo la página web eco-logicos.es [18], a efectos didácticos, se clasifican según su situación en:

- Cubiertas: cerramientos superiores en contacto con el aire con inclinación menor de 60º.
- Suelos: cerramientos inferiores horizontales o ligeramente inclinados en contacto con el aire, el terreno o con un espacio no habitable.
- Fachadas: cerramientos exteriores en contacto con el aire cuya inclinación respecto de la horizontal sea mayor de 60º.
- Puentes térmicos: son todas aquellas zonas de la envolvente térmica en las que hay una disminución de su rendimiento o eficacia. Esta disminución puede deberse a varias causas como puede ser la disminución del espesor, distinta composición, confluencia de distintos tipos cerramiento, etc.
- Medianerías: cerramientos que lindan con otros edificios y que en esencia son una división común. Significar que si el edificio se construye con posterioridad, el cerramiento se considerará una fachada desde el punto de vista térmico.
- Cerramientos en contacto con el terreno: todos aquellos cerramientos, diferentes de los anteriores y que están en contacto con el terreno.
- Particiones interiores: son las que comprenden todos aquellos elementos constructivos, sean horizontales o verticales, que separan el interior del edificio en los diferentes recintos.

La Sección 3.1 del HE 1 (*Condiciones para el control de la demanda energética*) del DB-HE1, modificadas en 2019, al hablar de *Condiciones de la envolvente térmica* especifica que:

> "*Los edificios dispondrán de una envolvente térmica que limite las necesidades de energía primaria para alcanzar el bienestar térmico en función de la zona climática de su ubicación, del régimen de verano y de invierno, del uso del edificio y, en el caso de edificios existentes, del alcance de la intervención*".

Siguiendo con el HE1, en las condiciones a cumplir por la envolvente térmica[27] se tendrán en cuenta estas tres variables:

1. Transmitancia (U): Es la cantidad de energía térmica que atraviesa la envolvente térmica por unidad de tiempo.
2. Control solar (Qsol; jul): Es la capacidad para bloquear la radiación solar. Mide la relación entre las ganancias solares para el mes de julio (Qsol; jul) de los huecos pertenecientes a la envolvente térmica con sus protecciones solares móviles activadas, y la superficie útil de los espacios incluidos dentro de la envolvente.
3. Permeabilidad al aire (Q): Es la capacidad de disponer de una adecuada estanqueidad al aire. Particularmente, se refiere a los encuentros entre huecos y opacos, puntos de paso a través de la envolvente térmica y puertas de paso a espacios no acondicionados.

Por otro lado, según indica el DB-HE, la zona climática (ZC) donde se ubique el edificio determinará el comportamiento energético del mismo, dado que siempre existe una interacción con el exterior de intercambio de calor con el entorno, a través de la envolvente térmica.

Así, una vivienda en el sureste de España, desde el punto de vista térmico, no puede comportarse térmicamente de la misma forma que se comporta esa misma vivienda en el noroeste de la península y, por tanto, sus envolventes térmicas necesariamente tienen que ser distintas.

El CTE define zona climática, como "la zona para la que se determinan unas solicitaciones exteriores comunes a efectos de cálculo de la demanda energética". Se identifica mediante una letra, correspondiente a la zona climática de invierno, y un número, correspondiente a la zona climática de verano[28].

En la Figura 2-6, se observa que para Pontevedra corresponde la zona climática C1. Esta normativa cobrará protagonismo en la simulación energética del apartado 3.4.2.1.

Figura 2-6 Mapa de zonas climáticas del CTE. Fuente: web construmática [19]

[27] Última modificación del DB-HE1 del CTE llevada a cabo por RD 732/2019, de 20 de diciembre de 2019.

[28] Además de los que puedan establecer documentos reconocidos elaborados por las CC.AA., el Anejo B permite determinar la zona climática de cada localidad, y su clima de referencia

2.2.3 Cargas térmicas

Cuando se habla de carga térmica sobre un edificio, se trata de un fenómeno que tiende a modificar la temperatura interior del aire o su contenido en humedad. En este sentido se puede establecer una primera clasificación de las cargas térmicas, según su incidencia:

- Cargas térmicas sensibles: que originan una variación en la temperatura del aire.
- Cargas térmicas latentes: que originan una variación en la humedad absoluta del ambiente (contenido de agua en el aire).

Los componentes de la carga térmica, según la procedencia se pueden distinguir en:

- Cargas térmicas generadas en el interior del edificio:
  - Cargas generadas por las personas.
  - Cargas de iluminación.
  - Cargas generadas por equipos eléctricos, informáticos...
  - Otras cargas generadas en el interior.
- Cargas térmicas procedentes del ambiente exterior del edificio:
  - Cargas a través de cerramientos.
  - Cargas a través de superficies acristaladas, ventanas y claraboyas.
  - Cargas introducidas a través de la ventilación.
  - Cargas debidas a infiltración.

Carga por personas [20]

Las personas emiten calor continuamente, tanto sensible como latente (sudoración), y esta cantidad de calor depende de la actividad que se esté realizando en la vivienda o local.

Así pues, es preciso conocer la actividad que se realizará dentro el local y también el número promedio de personas que estarán ocupándolo.

Carga por Iluminación [20]

La iluminación es una fuente de calor sensible y depende, principalmente, del número de luces que hay presentes, la potencia consumida, el número de horas de encendido y el tipo de luminaria con la que se está tratando.

Carga por equipos eléctricos [20]

En un espacio interior, es probable que estén instalados diferentes aparatos o electrodomésticos, como pueden ser ordenadores, frigoríficos, cafeteras, hornos por microondas, etc. Todos ellos son, sin duda, fuentes de calor que, dependiendo de su potencia, tendrán más peso o menos en la ganancia de calor total del espacio. Así pues, es muy importante conocer qué tipo de aparatos pretenden utilizarse en la vivienda o local y el número de estos aparatos.

Carga por tabiques, particiones, techo y piso (divisiones interiores) [20]

Este tipo de carga considera los casos en el que el local o vivienda se encuentra en pisos intermedios de un edificio de varios niveles.

Carga por radiación a través de vidrios con el exterior [20]

La intensidad de la radiación solar disminuye bastante al atravesar la atmósfera, de forma que una parte considerable de ella se refleja hacia el espacio o es absorbida por diversas partículas atmosféricas, pero otra parte pasa a ser una importante carga térmica en una edificación

Carga por conducción, convección y radiación por paredes y techos en el exterior [20]

Se trata de una carga generada por los distintos tipos de transferencia de calor que se encuentran en contacto con la superficie de la pared o techo, y que provocan entrada o salida de calor en función de las condiciones exteriores.

Carga por infiltración y ventilación [20]

En una edificación existen dos maneras en que el aire puede entrar: infiltración y ventilación: El aire que pasa a través de aberturas en el edificio es la infiltración, normalmente ocurre a través de las rendijas de las ventanas y puertas, puertas abiertas etc. En la mayoría de los casos, por razones de higiene, confort y normativa, es necesario renovar el aire interior por aire exterior para así tratar la acumulación de malos olores, proliferación de bacterias, etc. este concepto sería la ventilación. Tanto infiltración como ventilación generan importantes ganancias de calor tanto sensible como latente, debido a las diferencias de temperatura y humedad que tiene el aire exterior con respecto al aire en el interior del espacio.

2.2.4 La caldera de gas como sistema HVAC

Un sistema de climatización HVAC (*Heating, Ventilating and Air Conditioning*) es, de una forma amplia, un sistema que dispone de ventilación, calefacción o refrigeración; este último en el sentido de acondicionamiento del aire. De esta manera, el edificio o vivienda se asegurará un mayor confort térmico en cualquier época del año y también un aire de calidad con la humedad adecuada. Para una buena climatización es necesario tener en cuenta, entre otros, los siguientes factores: [21]

- Calentamiento. Proceso de añadir energía térmica al aire con el fin de aumentar su temperatura.
- Enfriamiento. Proceso contrario, sustraer calor al aire con el fin de bajar su temperatura hasta umbrales de confort.
- Ventilación. Consiste en renovar el aire de un espacio cerrado, aportando aire del exterior, con objeto de asegurar su calidad.
- Humidificación/deshumidificación. Consiste en incrementar o reducir la humedad del aire manteniéndola en su intervalo de confort.
- Limpieza. Consiste en filtrar el aire para eliminar el polvo, los humos, el polen, etc. en general, eliminar todo tipo de partículas sólidas en suspensión en el aire.

En relación a la normativa de las instalaciones térmicas, de obligado cumplimiento, el CTE, en el punto 15.3 *Exigencia básica HE 2: Condiciones de las instalaciones térmicas*, especifica que "*Las instalaciones térmicas de las que dispongan los edificios serán apropiadas para lograr el* bienestar térmico *de sus ocupantes".* Esta exigencia se desarrolla actualmente en el reglamento RITE.

Y el artículo 1 del RITE [22], aclara que, como documento, "*Tiene por objeto establecer las exigencias de eficiencia energética y seguridad que deben cumplir las instalaciones térmicas en los edificios destinadas a atender la demanda de bienestar e higiene de las personas, durante su diseño y dimensionado, ejecución, mantenimiento y uso, así como determinar procedimientos de acreditación de su cumplimiento*".

En relación a su ámbito de aplicación, el artículo 2º especifica que "*se considerarán como instalaciones térmicas las instalaciones fijas de climatización (calefacción, refrigeración y ventilación) y de producción de agua caliente sanitaria, destinadas a atender la demanda de bienestar térmico e higiene de las personas".*

Por otra parte, el artículo 12 del RITE, a la hora de hablar de la *Eficiencia energética de las instalaciones térmicas,* especifica que:

"*Las instalaciones térmicas deben diseñarse y calcularse, ejecutarse, mantenerse y utilizarse de tal forma que se reduzca el consumo de energía convencional de las instalaciones térmicas y, como consecuencia, las emisiones de GEI y otros contaminantes atmosféricos, mediante la utilización de sistemas eficientes energéticamente, de sistemas que permitan la recuperación de energía y la utilización de energías renovables y de energías residuales*".

Por último, el artículo 29 señala que:

"*Las instalaciones térmicas se inspeccionarán a fin de verificar el cumplimiento reglamentario. La IT 4 determina las instalaciones objeto de inspección periódica, así como los contenidos, plazos, y los criterios de valoración y medidas a adoptar como resultado de las mismas, en función de las características de instalación. El órgano competente de la CA podrá acordar cuantas inspecciones crea necesarias, pudiendo ser iniciales, periódicas o por propia iniciativa, denuncia de terceros o resultados desfavorables apreciados en el registro de las operaciones de mantenimiento, con el fin de comprobar y vigilar el cumplimiento del RITE a lo largo de la vida de las instalaciones".*

2.3 Confort térmico

La 23ª edición del Diccionario de la Real Academia de la Lengua Española (RAE) [23] define la palabra "confort" de una forma sencilla: "*Bienestar o comodidad material*".

Pero lo cierto es que lograr el confort en un edificio, en este caso térmico, y que satisfaga a todos sus ocupantes por igual es casi una entelequia. Para tratar el tema del confort hay que tener en cuenta necesariamente las diferencias que existen entre las características personales (peso, edad, metabolismo, sexo, etc.) y psicológicas de cada ser humano; lo mismo de la disparidad de gustos, o la subjetividad de sus percepciones en este caso térmicas.

No obstante, aunque medir percepciones subjetivas humanas es sumamente complejo, hay normativas que hay que tratar de cumplir para lograr implementar con éxito unos estándares adecuados de confort térmico en las edificaciones. Aunque habrá que tener en cuenta que siempre se encontrarán algunos "insatisfechos", se alcanzará ese perseguido ahorro energético y también el deseado ahorro en emisiones contaminantes. En el ámbito nacional, destacan las normativas del CTE o el RITE, así como NTP (Normas Técnicas de Prevención) que publica Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT).

También existen algunos organismos como la ASHRAE (*American Society of Heating Refrigeration and Air Conditioning Engineers*), que hace poco ha redactado el documento ANSI/ASHRAE 55-2017, que es un estándar cuyo objetivo principal es considerar los factores ambientales térmicos en interiores y su repercusión en los ocupantes del recinto. La ASHRAE define este controvertido concepto como "*aquellas condiciones de la mente, que expresan satisfacción del ambiente térmico y se evalúan de una forma subjetiva*" [24]. El programa OpenStudio recoge parámetros de dicha normativa en los resultados de una simulación.

2.3.1 Factores que afecta al confort térmico

El estándar ANSI/ASHRAE 55-2017, así como otras normas, señala que el confort ambiental interior es complejo y que responde a la interacción de los siguientes factores que considera:

- Como factores ambientales: [25]

-Temperatura del aire (ºC). El rango de confortabilidad o confort comprende desde los 20°C en invierno a los 25°C en verano. 21ºC y 26ºC, respectivamente, según el RITE. Para obtener confort es importante, a su vez, que exista un gradiente térmico vertical. Es aconsejable que entre la cabeza y los pies no haya una diferencia superior a 3º C. Los cambios fuertes de temperatura son indeseables.

-Radiación térmica (Temperatura radiante media en ºC). Representa el calor emitido en forma de radiación por los elementos del entorno y se compone de las temperaturas superficiales ponderadas de todos los cerramientos. Es deseable que el valor no difiera mucho de la temperatura del aire.

-Humedad relativa (%). La evaporación de humedad de la piel depende de la humedad del aire principalmente. El aire seco absorbe la humedad y enfría el cuerpo. Una humedad relativa del aire de 30 a 40% como mínimo, y 60 a 70% como máximo, se considera saludable y confortable. El RITE establece entre 45% y 60% en verano y 40% y 50% en invierno.

-Velocidad del aire (m/s). El movimiento del aire influye de manera muy importante en la pérdida del calor del cuerpo, tanto por convección como por evaporación. En general son agradables movimientos de aire a velocidad de 0,1 a 0,2 m/s. La sensación agradable dependerá de la temperatura ambiente. Por otro lado, a temperaturas son superiores a 40°C, el viento siempre aumentará la sensación térmica de calor.

- Como factores personales relacionados con: [25]

-La actividad metabólica (met). Se refiere al calor emitido por las personas. Un met expresa la energía (calor) por unidad de superficie que desprende un cuerpo sentado sin realizar esfuerzos y por metro cuadrado de piel; y equivale a 58,2 W/m². En el "Anexo XIV: Factores de emisión" figura un extracto de la norma ANSI/ASHRAE 55-2017 como ejemplo.

-La vestimenta (su aislamiento) (clo). Se llega a tabular el nivel de aislamiento en función de la ropa que se vista, utilizando como unidad de referencia el "clo". Un clo "cero", se asocia a una persona desnuda y, luego, midiendo la resistencia térmica de las prendas en laboratorio, se determina el clo de vestimenta.

2.3.1 Índices de confort

Significar que hoy en día existen dos teorías diferentes relacionadas con la definición de confort térmico: la teoría del balance térmico y, por otro, la teoría adaptativa. [27]

Fanger, creador de la teoría del balance térmico. Se basa en el equilibrio entre el calor que pierde el cuerpo frente al que gana. Este método es el más aceptado por las normas y estándares actuales sobre confort térmico [28]. El programa OpenStudio también recoge estos parámetros como resultados en una simulación. Definió dos métodos de cuantificación del confort térmico:

- Índice PMV (Predicted Mean Vote): Voto medio previsto daría la estimación de la sensación térmica.
- Índice PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied): Porcentaje de insatisfechos, que proporcionaría información sobre el grado de incomodidad.

La NTP 501, sobre *Ambiente térmico* [29], define el bienestar general y considera como aceptable:

- Que el PPD (Porcentaje Estimado de Insatisfechos, sea inferior al 10%.
- Y esto se corresponde con un PMV (Voto Medio Estimado) que oscile entre los valores -0,5 y 0,5.

En la Figura 2-7 que sigue a continuación, se representa esa zona de bienestar general que se considera aceptable y que está relacionada directamente con los índices PMV y PPD.

Es conveniente recordar que un PMV igual a 0, es decir, neutralidad térmica, supone un PPD del 5%.

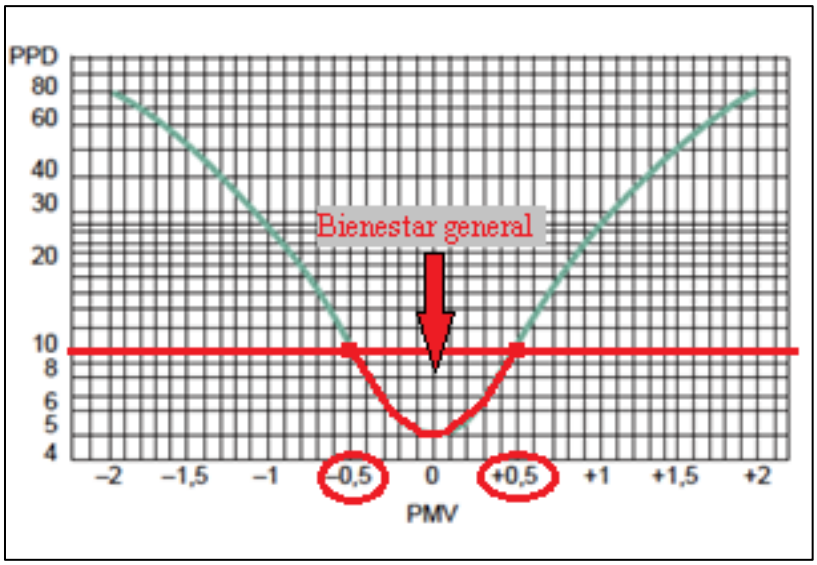


Figura 2-7 Gráfica que relaciona los índices PMV y PPD. Fuente: NTP-779 [30]

2.4 Software de simulación

Este apartado pretende ofrecer una somera reseña sobre distintos software de simulación energética dinámica. Existen numerosos programas que evalúan la calificación energética de los edificios. No obstante, hay que diferenciarlos de los programas que permiten realizar una simulación energética dinámica. La diferencia fundamental es que, estos últimos, dan como resultado un conjunto de datos que pueden ser evaluados para una toma de decisiones a nivel de proyecto. Destacan los siguientes:

DesignBuilder.

Permite la optimización térmica de edificios mediante simulaciones dinámicas. Obtiene los consumos de energía e incluso la cantidad de emisiones de CO_2 emitidas a la atmósfera. Permite también la implementación de sistemas de climatización. Además, incorpora índices para el análisis del confort térmico en base a la climatología del lugar, orientación del edificio, etc.

ECOTECT.

Es un programa más básico que el DesignBuilder pero que también permite analizar la eficiencia energética de un edificio, de forma pasiva. También incorpora la opción de importar datos climatológicos de cualquier parte del mundo. Este programa cuenta con la limitación de carecer de un motor de cálculo que permita analizar la dinámica de fluidos, útil para el estudio de ventilación, fachadas ventiladas y la sombra de vientos. Extrae consumos energéticos aproximados. En este sentido, DesignBuilder le saca ventaja a la hora de obtener resultados.

Además, todos ellos utilizan el Programa EnergyPlus como motor de cálculo.

Por último, SG SAVE, es un documento para utilizado para la certificación de edificios en España, basado en el CTE. Al igual que en este TFG, utiliza los tres programas que a continuación de mencionan [17].

2.4.1 Software empleado

Los softwares empleados han sido tres:

-SketchUp. Es un programa de diseño gráfico con el que se ha determinado la geometría del cuartel Almirante Francisco Moreno. Permite incorporar una extensión de OpenStudio para diseñar, dentro de SketchUp, algunos de los parámetros propios de la simulación.

-OpenStudio. Es el principal programa de simulación. En él se pueden implementar muchos de los factores mencionados en el presente capítulo, Estado del Arte. Ofrece prácticamente todas las ventajas referidas para los programas ECOCET y DesignBuilder.

-EnergyPlus. Del mismo modo que los programas de simulación citados, OpenStudio también necesita un motor de cálculo para realizar las operaciones necesarias para obtener los resultados requeridos.

Por último, en los próximos capítulos se detallarán más en profundidad las capacidades de estos programas.

3 DESARROLLO

Este capítulo comenzará con una introducción del cuartel Almirante Francisco Moreno. Se llevará a cabo una descripción general del edificio y se entrará en detalle en todos aquellos aspectos que aporten un valor añadido a la futura simulación de los diferentes softwares.

A continuación, se desarrollará la simulación energética de las plantas Primera y Segunda durante un año completo, que será el año 2018. Este es el ejercicio más reciente del cual se puede extraer un análisis energético puesto que, a raíz de las ya mencionadas remodelaciones llevadas a cabo en el año 2019, los alumnos tuvieron que deshabitar el citado edificio mientras se realizaban. Las dos plantas en cuestión representan las zonas donde habitan los alumnos, por lo que se excluyen todos los espacios ubicados en la Planta Baja del cuartel.

En primer lugar, se realizará un modelo 3D del edificio en el entorno del software SketchUp para luego exportar el citado modelo al programa de simulación dinámica OpenStudio. El capítulo culminará con la aportación de la herramienta de cálculo EnergyPlus. Se desarrollará paso a paso la metodología empleada.

3.1 Localización

El cuartel Almirante Francisco Moreno se ubica en el seno de la ENM (Figura 3-1), emplazada en la villa de Marín (Pontevedra). Las coordenadas geográficas de latitud y longitud se corresponden con 42º23´44.9´´N – 008º42´29.3´´W.

Figura 3-1 Localización de la ENM. Fuente: Elaboración en la web de Google Earth

3.2 Antecedentes

El proyecto de construcción del cuartel Almirante Francisco Moreno fue firmado por el arquitecto Alberto de Cominges Molins en septiembre de 1974 [8], por lo que es un edificio muy anterior a la implantación del CTE, con las carencias que eso supone. Desde su inauguración en 1977 ha sufrido distintas reformas con objeto de responder a las venideras necesidades del servicio y también a su modernización. Durante todo este tiempo ha sufrido distintas reformas estructurales, de las que se podrían destacar, como más importantes, las siguientes:

- 1987 – 1988: En esta primera reforma sufrieron una remodelación los baños y la escalera central situada en el hall.
- 2004: La segunda reforma tuvo lugar solamente en la parte norte, en interiores, se mejoraron las camaretas y las salas de estudio de las plantas 1ª y 2ª y, por la parte exterior, se retocó la fachada. Se modificó también el sistema de calefacción, fontanería y servicio de ACS. También se volvieron a implementar obras de mantenimiento en los baños.
- 2010: El nuevo modelo educativo impartido por el CUD trajo consigo una reestructuración de las zonas de estudio y se concibió la necesidad de construir un nuevo espacio, esta sería la biblioteca Gabriel Císcar y Císcar. Ocupó completamente la zona que antiguamente se conocía como Patio Sur. En este año tuvo lugar la sustitución de la antigua caldera de gasóleo por la actual, de gas natural (ver 3.3.4).
- 2019: Por último, el año pasado año se renovó todo el mobiliario de los estudios y camaretas.

El cuartel es un edificio antiguo y este hecho conlleva a que sus elementos constructivos, no lo hagan una construcción eficiente en cuanto a diseño, en comparación con las edificaciones más recientes del parque edificatorio español. Por otro lado, también hay que considerar su estado, ya que, es en este aspecto donde pueden encontrarse los principales focos de pérdidas de energía, tanto en su envolvente térmica como en elementos interiores.

3.3 Descripción del edificio: Cuartel Almirante Francisco Moreno

El presente apartado describe las características generales y particulares del cuartel Almirante Francisco Moreno.

El proyecto de construcción del cuartel tiene su base normativa en el Pliego de Condiciones Técnicas para Obras de Construcción de la Jefatura de Apoyo Logístico, aprobado por el Ministerio de Marina, vigente en l974. A partir de ese documento se redacta el Pliego de Condiciones Técnicas[29] para el proyecto de construcción del cuartel. En este documento se especifican detalles generales como que el edificio se ha levantado sobre "*un terreno de relleno con cimientos pilotados de hormigón armado. La estructura también es de hormigón armado*" [8]. Por lo que es un terreno ganado al mar, al igual que muchos de los terrenos de la ENM. Recoge también el tipo de materiales de construcción, que se verá en el apartado 3.3.1.

De forma complementaria al apartado 3.1 donde se representó la ubicación del edificio, la Figura 3-2 muestra la disposición del cuartel dentro de la Escuela Naval. Limita su cara norte con la Pista militar y la plataforma para helicópteros, al sur con la avenida Méndez Núñez, al oeste por el CASI (Centro de Adiestramiento de Seguridad Interior). En el "Anexo IV: Descripción gráfica detallada del edificio" se detalla con fotografías las fachadas mencionadas en la figura anterior: fachadas Norte, Sur, Oeste, y Este. Adicionalmente, dispone un Patio Interior en la cara oeste y un patio interior cubierto en la cara norte, denominado Patio Norte.

Figura 3-2 Disposición del cuartel Almirante Francisco Moreno. Fuente: Elaboración propia en la web de Google Earth

La Planta Baja consta fundamentalmente del Hall Principal; lugar de tránsito y un pequeño recinto para efectuar las guardias de Alumno de Cuartel y Brigadier de Guardia. El hall conecta con la gran Biblioteca Gabriel Císcar y Císcar y un cuarto de refrigerios dedicado al esparcimiento de los alumnos. En la parte norte tiene cabida un gimnasio y el Patio Norte. Además, la zona posterior del cuartel está destinada a los servicios propios de la edificación, como los cuartos de calefacción y electricidad, además de dar lugar a distintos pañoles[30] como el de limpieza, sábanas o trastos.

Las plantas Primera y Segunda son los espacios que se van a analizar en los apartados siguientes de este TFG. Cada planta se divide en dos alas que reciben el nombre de Ala Norte y Ala Sur, y existe un hall central entre ambas. Las plantas son idénticas en distribución y superficie, siendo cada una de ellas de 2374,26 m^2. Además, cada planta tiene 22 módulos y cada uno de ellos consta de un estudio para ocho personas y dos camaretas adyacentes con capacidad para cuatro alumnos o alumnas. Esta distribución otorga al cuartel una capacidad de 176 personas por planta y un total de 352 alumnos. Los

[29] Aportado por el Destino de Mantenimiento de la ENM.
[30] Un pañol es el homólogo a un pequeño almacén en el argot Armada.

estudios tienen una superficie de 20,95 m^2 y los dormitorios de 8,88 m^2. Además, cada planta dispone de dos baños, con duchas, lavabos e inodoros, y dos escaleras de emergencia. Los halls de ambas plantas se conectan entre sí a través de la escalera central, que nace del Hall Principal de la Planta Baja. En la Figura 3-3 distinguen las distintas zonas en las que se distribuyen las plantas Primera y Segunda.

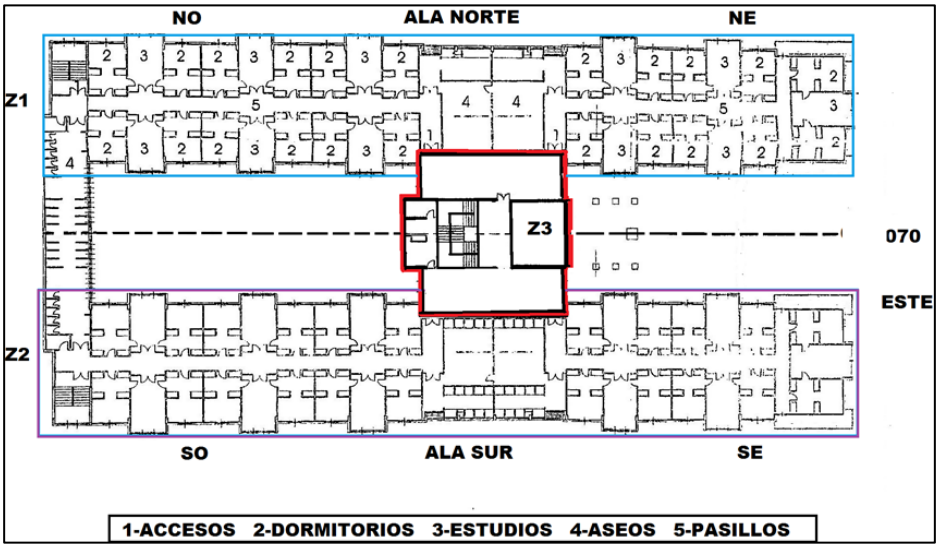


Figura 3-3 Disposición de las plantas Primera y Segunda. Fuente: Archivo ENM

Por otro lado, resultan características la ocupación y la actividad propia de este cuartel de alumnos. Hay que tener en cuenta que la mayoría de los alumnos residen en el cuartel en régimen de internado, debido a las normas redactadas en el Libro de Organización Régimen Interior [18] (LORI) aplicadas a los alumnos de los primeros cursos. En cuanto al tipo de actividad, significar que las principales, además de la de descansar en los períodos nocturnos, son las propias de la condición militar; esto es, limpiar el fusil, estudiar, "*speaches*"[31], arranchado[32] de taquillas y camaretas, entre otros, como puede ser el tiempo libre dedicado al esparcimiento.

La ocupación y la actividad serán unos factores importantes a tener en cuenta en el programa OpenStudio por lo que se detallarán con más profundidad en el apartado 3.4.2.

3.3.1 Cerramientos: materiales de construcción

Este apartado trata de definir parte de la envolvente térmica del cuartel a partir de la identificación de los materiales constructivos que componen los cerramientos. Para ello, se ha revisado el previamente mencionado Pliego de Condiciones Técnicas en el que detalla, literalmente, lo siguiente:

- Paredes exteriores

"*Los materiales que componen las fachadas del edificio, tendrán cámara de aire siendo de ladrillo macizo en la planta baja y de ladrillo hueco en las plantas 1ª y 2ª. Tendrán revestimiento de granito tipo "amarelho*[33]*" recibido con mortero de cemento*".

- Paredes interiores

"*Las paredes interiores, serán también de ladrillo macizo en la planta baja y ladrillo hueco en las plantas 1ª y 2ª. Los tabiques, serán sencillos de ladrillo hueco tomado con yeso. El hall principal de la planta baja, llevará parte de sus paredes chapadas en granito pulido*".

- Entresuelo

[31] Los "*speaches*" son charlas que los alumnos distinguidos imparten a sus subordinados.
[32] Arranchar, en el argot marino, significa ordenar.
[33] Se trata de "*una piedra dinámicamente vetada a gran escala con bandas anchas de amarillo "mantequilla", amarillo oro oscuro y puntos gris azul*". [38]

"*Los forjados de pisos y techos serán de tipo aligerado, compuestos de material cerámico hueco, suela cerámica pretensada y nervios de hormigón armado*".

- Ventanas

"*La cristalería será de luna securizada de 6 mm con marcos de ventanas y ventanales de aluminio. Las ventanas tienen dos hojas correderas*".

- Puertas exteriores

"La puertas exteriores de emergencia son de aluminio".

A modo de resumen, la Tabla 3-1 recoge la distribución de cerramientos, indicando los materiales constructivos. Los espesores también se han extraído del Pliego de Condiciones Técnicas.

Cerramiento	Material	Espesor (m)	Espesor total (m)
Pared exterior	Mortero	0,015	0,25
	Ladrillo hueco	0,05	
	Cámara aire	0,1	
	Ladrillo hueco	0,05	
	Mortero	0,015	
	Granito (revestido)	0,02	
Pared interior	Yeso	0,001	0,102
	Ladrillo hueco	0,1	
	Yeso	0,001	
Suelo interior	Terrazo	0,03	0,425
	Mortero	0,015	
	Hormigón armado	0,38	
Ventanas	Luna securizada	0,006	0,006
Puertas exteriores	Aluminio	0,026	0.026

Tabla 3-1 Representación de los cerramientos del cuartel Almirante Francisco Moreno. Fuente: Elaboración propia según [8]

Todos estos datos serán la base para seleccionar o diseñar los materiales constructivos y elaborar un "*construction set*" (conjunto de construcción) en OpenStudio. Así se puede apreciar en la Tabla 3-4 siendo esta una trasposición de los materiales recogidos en la tabla anterior.

3.3.2 Infiltraciones y cerramientos: ventanas y puertas

Las infiltraciones son un factor importante a tener en cuenta a la hora de buscar la eficiencia energética de un edificio. La envolvente térmica del cuartel puede estar viéndose comprometida por la naturaleza de los cerramientos. Depende del estado en el que se encuentren, ya sea por el uso que se haga de ellos (puertas, ventanas, etc.) o por el deterioro producido por el mero paso del tiempo. El "Anexo V: Descripción de infiltraciones y cerramientos: ventanas y puertas" detalla gráficamente las principales fuentes de infiltraciones que se han detectado en el cuartel.

Las ventanas son de cristal simple sin aislamientos y con marcos de aluminio. Las móviles suelen ser de doble hoja corredera. Cabe destacar el mal estado general de los marcos de las ventanas. En numerosas ocasiones están descuadradas y no cierran por completo, permitiendo el paso de aire. La Figura 3-4 es un claro ejemplo de ello. Este fenómeno aparece prácticamente en todos los espacios: camaretas, estudios, baños, halls, pasillos, etc. (Ver "Anexo V: Descripción de infiltraciones y cerramientos: ventanas y puertas").

Figura 3-4 Ejemplo de infiltración en la ventana del Estudio 109 y la ventana de la Camareta 103B. Fuente: Elaboración propia

También cabe mencionar las infiltraciones que se producen en las cajas de las persianas. Están hechas de madera, la cual carece de buenas propiedades aislantes. También se puede apreciar el estado de las persianas, que no bajan del todo y no se aprovechan como suplemento aislante durante las noches. (Ver Figura 0-7).

Por otro lado, también debe mencionarse el propio uso de las puertas en general. En primer lugar, están las puertas de la Planta Baja que permiten el acceso a las plantas superiores. Las puertas de los accesos exteriores (ver Figura 0-3) son de aluminio, suelen permanecer cerradas por normas internas [18]. Las puertas de emergencia de las dos escaleras interiores de la cara oeste, también de aluminio, sí acostumbran a permanecer abiertas (ver Figura 0-10). Esto supone una vía de aire importante. Continuando el recuento, y en menor importancia en cuanto a infiltraciones, están las puertas de cristal de apertura eléctrica de la planta baja: la puerta principal, la lateral norte y la del cuarto de refrigerios. Las puerta principal (ver Figura 0-10) de la Planta baja es eléctrica de tipo simple, no cuenta como un sistema de doble puerta que pueda reducir el flujo de aire que penetra en el edificio. Las dos puertas restantes de la Planta Baja (ver Figura 0-9) también son eléctricas pero sí cuentan con un sistema de doble puerta que frena la entrada de aire. No obstante, el conjunto de la cara norte carece de puerta interior; por lo que no cumple esta beneficiosa función de frenar el aire durante el tránsito de los usuarios. Por último, mencionar las puertas de los baños de la Primera y Segunda Planta, que tienen los mismos problemas que las ventanas anteriormente citadas: los marcos suelen estar descuadrados con huecos que permiten el paso de aire. (Ver Figura 0-4).

Además de todos estos datos objetivos, hay que considerar los testimonios de los alumnos que habitan o han habitado en el cuartel[34]. Se afirma que son frecuentes "silbidos" provocados por la entrada de aire.

En definitiva, se pueden presuponer grandes pérdidas por infiltraciones.

3.3.3 Sistema de iluminación

El sistema de iluminación (ver "Anexo VI: Sistema de alumbrado y electricidad") del cuartel consta de un cuadro principal de distribución ubicado en la planta baja; y de este cuadro parte un sistema de cableado que lleva el suministro eléctrico a los cuadros secundarios de las plantas Primera y Segunda.

Las plantas Primera y Segunda disponen cuatro cuadros secundarios cada una; dos de fuerza y otros dos de alumbrado. El objetivo de descentralizar el sistema de iluminación es permitir una mejor distribución del alumbrado. Además, en caso de emergencia, evitar que una avería de un cuadro derive en dejar todas las plantas sin alimentación. No obstante, existe un alumbrado autónomo de emergencia

[34] Entre ellos el propio redactor de este trabajo.

en que actúa en caso de que caiga el suministro o que éste descienda por debajo del umbral del 70% del valor nominal. Estas luminarias se encuentran distribuidas en los puntos más estratégicos del cuartel, tales como las escaleras, pasillos, camaretas, estudios, aseos o halls; tal y como se detalla el "Anexo VI: Sistema de alumbrado y electricidad".

Por último, la iluminación de los espacios se basa en la distribución de aparatos con dos barras de fluorescentes. La Tabla 3-2 recoge de forma simplificada la distribución de luminarias.

Iluminación de un ala				
Estancia	Tipo de luz	Nº de tubos	Potencia (W)	Potencia total (W)
Camaretas y estudios	Luminaria modelos MI-VR 2X58W de ilusol	148	8584	13108
Pasillos	Luminaria modelo DO-VE 2X58 de ilusol	44	2552	
Baños	Luminaria modelo 950 HYDRO DISANO 2x58W	34	1972	
Iluminación de un hall				
Estancia	Tipo de luz	Nº de tubos	Potencia (W)	Potencia total (W)
Hall	Luminaria modelos MI-VR 2X58W de ilusol	26	1508	1508
Potencia de iluminación total instalada				**55448**

Tabla 3-2 Resumen de la potencia de las luminarias. Fuente: Elaboración propia según datos facilitados por el Destino de Mantenimiento

En definitiva, la potencia total instalada referida al sistema de iluminación de las zonas relativas a las plantas Primera y Segunda asciende a 55448W.

Los datos señalados en este apartado aportarán la base para la simulación de cargas por iluminación en OpenStudio ("*lighting"*), en el apartado 3.4.2.

3.3.4 Sistema de generación de energía térmica: caldera de gas

El cuartel Almirante Francisco Moreno cuenta con un sistema de calderas de gas natural (ver Figura 3-5) para generar la energía térmica que luego se usará tanto para el sistema de calefacción como para el de ACS. Tal y como se detalló en el apartado introductorio de este capítulo (punto 3.2) referente a las reformas del cuartel, esta caldera sustituye en 2010 a la caldera de gasoil. El equipo se ubica en la planta baja de la cara posterior del edificio, concretamente en la Sala de Calderas.

Según el documento *Instalación receptora de gas natural de la Sala de Calderas de un edificio militar (F. Moreno-Biblioteca)* [33] aportado por el Destino de Mantenimiento, el sistema de calderas consta de dos calderas de gas natural con funcionamiento simultáneo de la marca BAXI ROCA modelo TECNO50-GM, modulante con dos etapas progresivas con una potencia total máxima de 1044 kW entre las dos.

Figura 3-5 Sistema de calderas de gas natural del cuartel Almirante Francisco Moreno. Fuente: Archivo ENM

En el diseño y cálculo de la instalación se han considerado las siguientes normas y reglamentos:

- Real decreto 919/2006, de 28 de julio, *por el que se aprueba el Reglamento técnico de distribución y utilización de combustibles gaseosos.*
- Ley 21/1992, de 16 de julio, de Industria.
- Normas UNE:
  -UNE 60601:2006. *Instalación de calderas de gas para calefacción y/o agua caliente de consumo calorífico nominal o superior a 70 kW.*
  -UNE 60670:2005. *Instalaciones receptoras de gas suministradas a una presión máxima de operación (MOP) inferior o igual a 4 bar.*
- Normas particulares de la empresa suministradora. En este caso Jócar Vigo Instalaciones, S.L.

Las calderas se ubican en una sala de 140 m^3 de volumen y donde se disponen los dos quemadores, los dos acumuladores de agua y el resto de instalación. La potencia nominal de cada caldera es de 580 kW que, al tener un funcionamiento simultáneo asciende a 1160 kW y, aplicando el cociente de simultaneidad, resultaría una potencia total máxima útil de 1044 kW. Puede actuar una sola o las dos a la vez. Adicionalmente, en la Tabla 3-3 se detallan los datos técnicos de la instalación. Algunos de estos datos serán la base para modelar la caldera de gas en OpenStudio, en el apartado 3.4.2.

Dato	PCI (Gas natural)	Pot. Nominal total	Coeficiente de simultaneidad	Pot. Útil total
Valor	9600 kcal/m^3	1160 kW	0,9	1044 kW
Dato	Pot. max. /caldera	Pot. min. /caldera	Caudal max./caldera	Caudal min./caldera
Valor	897 kcal/h	73,1 kcal/h	93,5 Nm^3/h	7,61 Nm^3/h[35]
Dato	Presión de alimentación	Presión garantizada en la red		
Valor	22 mbar	1 bar		

Tabla 3-3 Datos técnicos del sistema de calderas. Fuente: Elaboración propia según [33]

Todos estos datos serán la base para diseñar la caldera de gas natural en OpenStudio (apartado 3.4.2).

[35] Nm^3/h es una medida de volumen de un gas no condensable a 0ºC y nivel del mar, con humedad relativa igual a 0%.

3.3.4.1 Regulación del sistema de calefacción

En cuanto al uso normal de funcionamiento de las calderas es relevante mencionar que es prácticamente continuo. Hay que tener en cuenta que la mayoría de los alumnos vive en régimen de internado. A este hecho, se le debe añadir el tipo de actividad natural de la condición militar, puesto que los alumnos precisan del uso de las duchas varias veces al día.

Por otro lado, la regulación de la calefacción se regula con una centralita situada en la Sala de Calderas. El sistema carece de un termostato que le envíe información a la caldera de la temperatura de los espacios del cuartel, por lo que esa deficiencia acarrea pérdidas de eficiencia energética. La calefacción se activa en invierno según el siguiente horario:

- Entre semana:
  -Por la mañana: De 05:00h a 07:00h.
  -Por la tarde: De 17:00 a 24:00h.
- Fin de semana:
  -Por la mañana: De 05:00h a 09:00h.
  -Por la tarde: De 15:00h a 24:00h.

El periodo anual en el que se activa del sistema de calefacción es arbitrario y se regula en función de la climatología del año en cuestión. Según el Registro de Calefacción de la ENM, aportado por el Destino de Mantenimiento, en el año 2018 la calefacción cesó el 1 de mayo y se reactivó el 1 de noviembre. Por otro lado, se desactiva en los períodos en los que no hay alumnos en el cuartel; esto es, Navidad, Semana Santa, y el periodo vacacional de verano.

Todos estos datos serán la base para diseñar los horarios a la hora de simular el sistema de calefacción, la caldera de gas natural en OpenStudio (ver apartado 3.4.2).

3.3.5 Consumos energéticos

En este apartado se detallarán los periodos de facturación de los últimos años. El objetivo es obtener una idea general de cuánta energía se consume en el cuartel Almirante Francisco Moreno y contar con un patrón con el que poder comparar el consumo de 2018. La documentación ha sido facilitada por el Destino de Mantenimiento, a partir de las facturas de la compañía Gas Natural Fenosa[36].

Por un lado, en la Figura 3-6 se detalla el consumo energético de calefacción y ACS. Se han añadido los consumos de los años 2015 y 2016 puesto que figuraban en los documentos facilitados por el Destino de Mantenimiento, no siendo igual para la facturación económica durante esos años. En la Figura 3-7 se representa la facturación, medido en euros, de los consumos anteriores.

[36] Naturgy Energy Group, a partir del 27 de junio de 2018

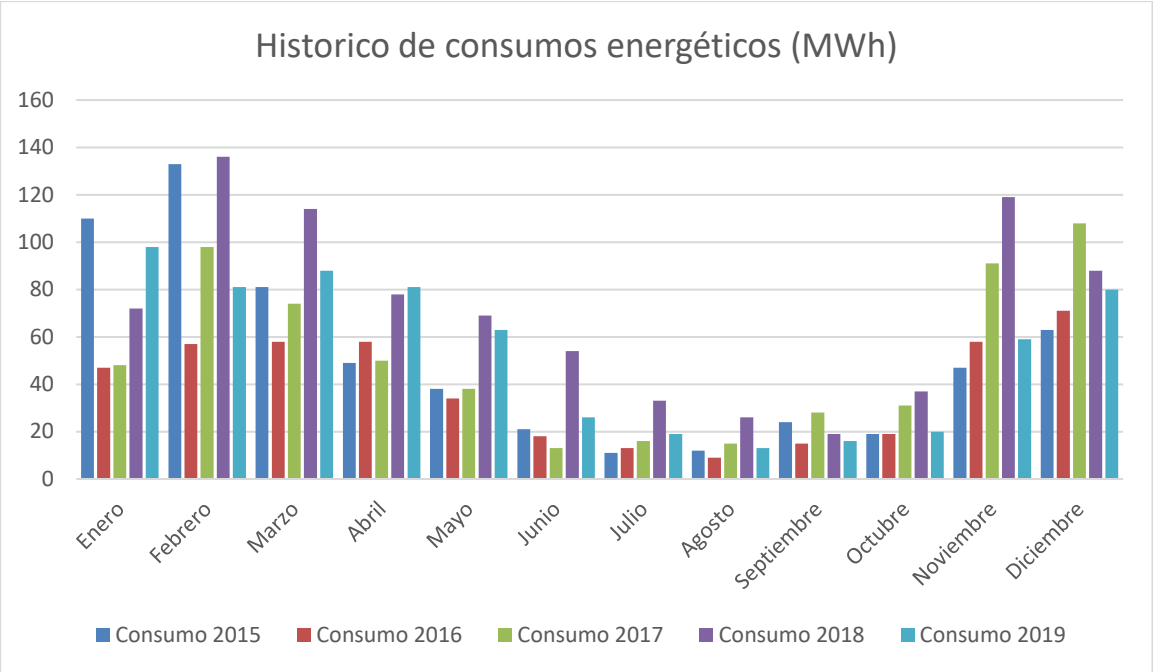


Figura 3-6 Histórico de consumos energéticos. Fuente: Elaboración propia según datos de facturación proporcionados por el Destino de Mantenimiento

Destacar que durante el año 2018 se obtuvo un consumo medio mensual de **70,4 MWh**, y un consumo anual total de **844,8 MWh**. A continuación, se detalla lo propio para el resto de años.

- 2015: 50,7 MWh/mes – 608 MWh/año.
- 2016: 38,1 MWh/mes – 457 MWh/ año.
- 2017: 50,8 MWh/mes – 610 MWh/ año.
- 2018: 70,4 MWh/mes – 845 MWh/ año.
- 2019: 53,7 MWh/mes – 644 MWh/ año.

El año 2018 fue un año de alto consumo. Todo depende de la cantidad de alumnos que vivan en el edificio en cada año y que no siempre se habitan todas las alas. Se comparara con la demanda real en el apartado 4.1.

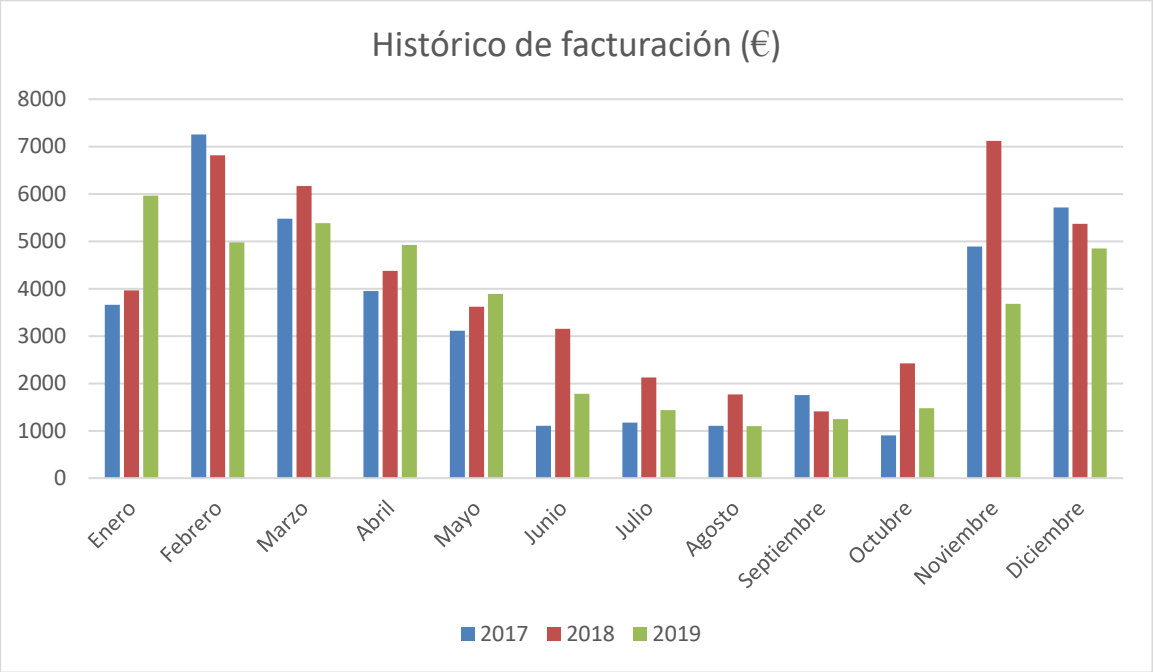


Figura 3-7 Histórico de facturación cuartel Almirante Francisco Moreno. Fuente: Elaboración propia según datos de facturación

Destacar que durante el año 2018 se obtuvo una facturación media de **4.026 euros**, y una facturación anual total de **48.319 euros**. Las facturaciones del resto de ejercicios son las siguientes:

- 2017: 40.092 €.
- 2018: 48.319 €.
- 2019: 40.715 €.

3.4 Metodología para el análisis energético

Este apartado no pretende ser un manual de utilización de los softwares empleados, sino más bien una guía detallada de aquellas prestaciones que se han tenido a bien seleccionar a partir de las posibilidades que ofrecen. También pretende complementar dicha guía incluyendo la justificación de las decisiones tomadas.

3.4.1 Software SketchUp para modelado geométrico del cuartel

En este apartado se detalla la realización del modelado geométrico del cuartel Almirante Francisco Moreno (ver Figura 3-8) con el programa SketchUp a partir de planos existentes que figuran en el "Anexo III: Planos cuartel Almirante Francisco Moreno".

Tal y como se refirió en apartados anteriores, las zonas que serán objeto de estudio son las plantas Primera y Segunda. Por este motivo, se representan con detalle, mientras que el resto de zonas, Planta Baja y Cubierta, se representan de forma representativa con dimensiones generales para dar una imagen de conjunto (ver Figura 3-8).

El programa tiene dos formas de representar espacios: espacio simple y espacio referido como zona térmica[37]. A las plantas Primera y Segunda se les otorga una zona térmica. Los espacios restantes, Planta Baja y Cubierta como espacios simples. Los espacios simples no son compatibles con OpenStudio y, por lo cual, no admiten simulación energética alguna.

[37] Una zona térmica es un espacio concreto de aire con unas propiedades determinadas que luego puede ser simulado.

A la hora de representar las ventanas, se toman las dimensiones resultantes a añadir los marcos. Es decir, tratar los marcos como una extensión más de las propias ventanas. El motivo es que los marcos no se van a representar en OpenStudio y es preferible tratarlos como parte de las ventanas que de la fachada, en cuanto a características térmicas y espesores.

Figura 3-8 Modelado 3D del cuartel. Fuente. Elaboración propia en SketchUp

En el "Anexo VII: Vistas del cuartel Almirante Francisco Moreno en entorno SketchUp" se detallan todas las vistas del modelo realizado.

3.4.1.1 Geolocalización

Es importante darle al modelo una localización puntual en el mapa y una orientación apropiada para que los fenómenos meteorológicos ejerzan su efecto con precisión de forma diferente para cada zona térmica. En la Figura 3-9 se aprecia cómo se ha aplicado la geolocalización del edificio.

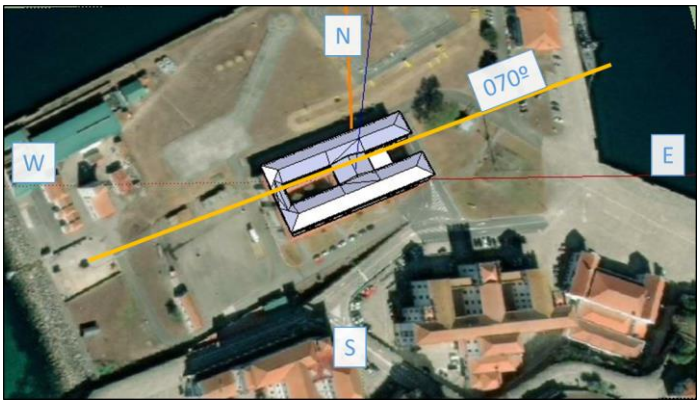


Figura 3-9 Geolocalización y orientación del edificio

3.4.1.2 Zonas térmicas

El "*plug-in"* de OpenStudio asociado a SketchUp permite crear y diseñar las diferentes zonas térmicas que posteriormente podrán ser simuladas en dicho programa. Se ha decidido agrupar las plantas Primera y Segunda en seis zonas representativas. Tres zonas por planta: Ala Sur, Ala Norte y Hall (ver

Figura 3-10). Cada una de esas zonas se pasará a considerar como un espacio de aire homogéneo e independiente de los demás. La clasificación de las zonas térmicas se justifica por compartir similares características dimensionales, de ubicación, contenidos y por uso y tipo de cerramientos.

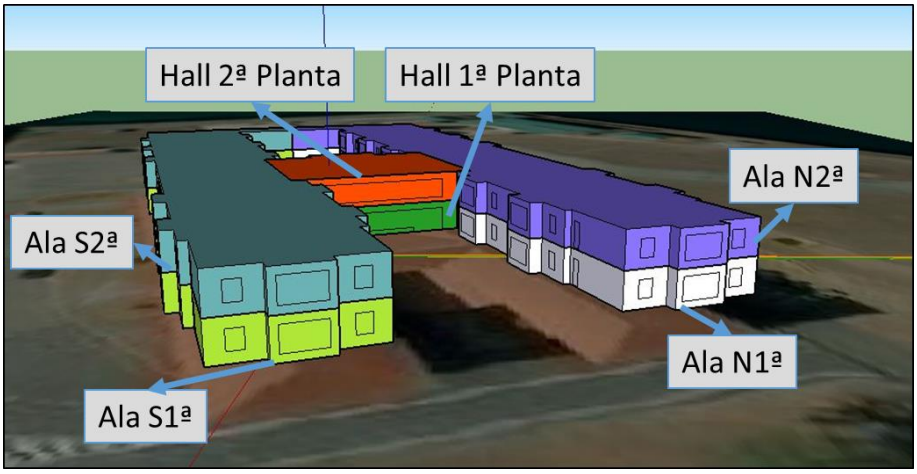


Figura 3-10 Representación de las distintas zonas térmicas

Como se ha podido comprobar, se hace una diferenciación entre las zonas térmicas de la Planta1ª y Planta 2ª y de las alas Norte y Sur. La acción de las condiciones meteorológicas, sobre todo viento, y por la acción del sol, además de la diferencia de altura, hacen que las seis zonas térmicas tengan propiedades térmicas distintas. Por otro lado, se obvian las paredes interiores dentro de las alas por dos motivos: la disposición de los habitáculos de estudio y camaretas es repetida y uniforme a lo largo de las alas (Ver Figura 3-3). Además, según el conocimiento de datos experimentales[38] se sabe que las puertas de los distintos espacios permanecen abiertas la mayor parte del tiempo debido a la naturaleza de las actividades de los usuarios, dando lugar a una masa de aire homogénea.

Al simular solamente las citadas dos plantas, el programa pensará que debajo de la Primera Planta hay terreno, cuando realmente estaría la Planta Baja. Además, puesto que la Planta Baja también está calefactada el flujo de calor entre plantas será prácticamente nulo, porque están a una temperatura similar. Por ello, se selecciona el suelo de la Primera Planta y se establece como una superficie adiabática que por la que no se perderá calor. Para el suelo del Ala N1ª se configura como "*outdoors*" (aire exterior) ya que se eleva sobre el Patio Norte.

Para que queden correctamente definidas las zonas térmicas es necesario decirle a cada zona con quien delimita. Para ello se utiliza la herramienta "*surface matching*" para intersecar y unir las zonas.

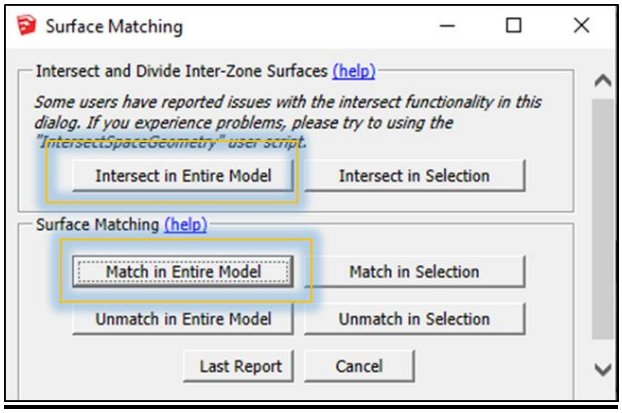


Figura 3-11 Herramienta Surface Matching

[38] Consideraciones de los usuarios.

Antes de pasar a OpenStudio se deberán realizar unas operaciones básicas dentro de SketchUp con la herramienta "OpenStudio *inspector*". Es una herramienta (ver Figura 3-12) propia de OpenStudio importada como "*plug-in"* a SketchUp y se utiliza para la gestión de atributos en espacios. A cada uno de los espacios geométricos que constituyen el edificio se les debe relacionar una *"thermal zone"* y un *"space type"* (tipo de espacio). Un "space type" es un tipo de espacio que lleva asociado un tipo actividad determinada como tipos de horarios, ocupación, uso del sistema de iluminación, etc. (se definirá mejor en el apartado 3.4.2). A partir de los espacios tipo disponibles en la biblioteca se han seleccionado los que más se pudiesen asemejar a las zonas de cuestión. Se han seleccionado los espacios tipo predefinidos "*office corridor*" para ambos halls y "*whole large office*" para las distintas ala. Esta decisión se adopta al considerar similitudes entre el hall y un "*corridor*" (pasillo) y las alas y una "*office*", al tener en cuenta el de entorno de trabajo de alumnos en los estudios. Hay que tener claro que esto es un modelo aproximado ya que, más tarde, en OpenStudio se podrán modificar todos aquellos parámetros en función de las necesidades del cuartel.

Otra operación útil es la capacidad de renombrar todos los elementos del modelo. Es una operación muy recomendada facilitar un mejor reconocimiento general de los elementos. Así pues, se le puede dar nombre al propio edificio (*Cuartel Almirante Francisco Moreno*) o nombrar las zonas térmicas (como se vio en la Figura 3-10), así como todas las superficies y subsuperficies. También se pueden configurar los "*stories*" (plantas), en nuestro caso *Planta primera* y *Planta Segunda.*

Destacar que, posteriormente en OpenStudio, se podrá volver a modificar todos estos parámetros cuando se desee. En definitiva, es una herramienta útil para comprobar el estado de todos los elementos.

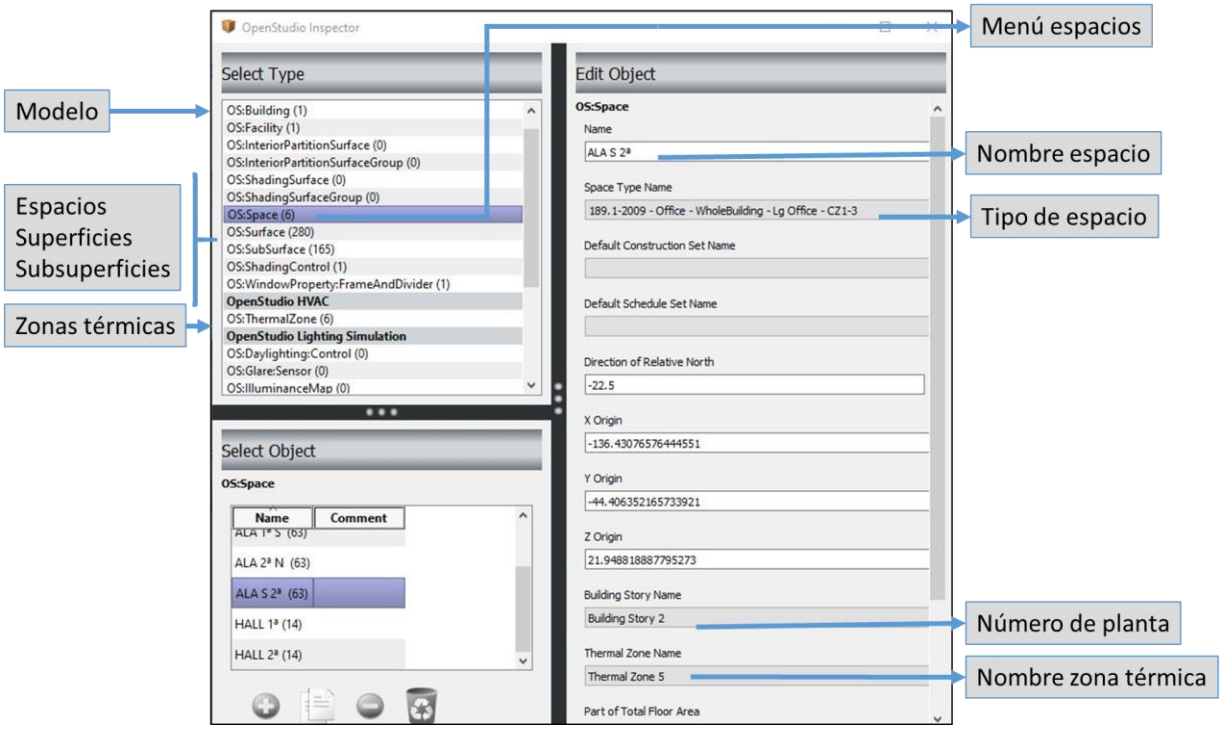


Figura 3-12 Desplegable herramienta *Inspector*

3.4.2 Software OpenStudio para simulación energética

Se exporta el archivo .skp[39] a OpenStudio[40] con la herramienta "*launch* Openstudio". En la barra vertical situada a la izquierda de la interfaz se encuentra el menú principal (Figura 3-13). Entre pestañas de OpenStudio destacan:

[39] La extensión de los archivos de SketchUp es .skp.
[40] La extensión de los archivos de OpenStudio es .osm.

- *"Weather and Design Days"*. Se utilizará para definir el entorno climático en el que se encuentra el edificio. Los ficheros tienen en cuenta datos como el viento, la temperatura del aire, radiación solar, etc.; en definitiva, la climatología.
- *"Schedules"*. Permite la posibilidad de crear horarios para tener en cuenta la ocupación del edificio y los efectos que de ella se puedan derivar.
- *"Constructions"*. Es un apartado básico en el que se determinan los cerramientos del edificio a partir de los materiales.
- *"Loads"*. Complementa al apartado "*schedules*" y empareja los horarios de las cargas internas con los propios valores de las mismas. Las cargas son factores que alteran el calor del interior del edificio. Las más importantes son la ocupación de personas, utilización de equipos, sistemas de iluminación y, por último, las infiltraciones.
- *"Space Type"*. Ofrece una visión general de los espacios del modelo. Refiere un resumen de las cargas internas, valores de cargas, horarios y los tipos de construcciones que se han seleccionado. Útil para la inspección del modelo.
- *"Geometry"*. Se puede ver la geometría 3D del modelado creado previamente en SketchUp.
- *"Facility"*. Incluye configuraciones por defecto para la construcción, pisos, sombreado y equipo exterior.
- *"Spaces"*. Resumen extenso de la configuración de las zonas térmicas en vigor. Detalla toda la configuración de las zonas térmicas del modelado: piso, tipo de espacio, modelos de construcción, horarios, cargas con sus valores, así como los cerramientos entendidos como "*surfaces"* (paredes, techos y suelos) y "*subsurfaces"* (ventanas y puertas) y sombras, si las hubiese.
- *"Thermal zones"*. Muestra la configuración de los HVAC que son los sistemas de climatización que afectan a cada zona térmica. Una zona térmica es un espacio isotermo. Cabe destacar que en el programa OpenStudio no es lo mismo zona térmica que tipo de espacio. Una zona térmica puede contener varios tipos de espacio, pero no al revés.
- *"HVAC Systems"*. En esta pestaña se configuran los HVAC que quieran incluir en el modelo, a una zona térmica. Como en todas las configuraciones de OpenStudio, hay modelos por defecto. pero también se pueden configurar desde cero.
- *"Output variables"*. Esta pestaña entraña la verdadera utilidad del programa ya que en ella se pueden seleccionar las salidas que se deseen obtener, dentro de una extensa lista que puede incluir más de cien variables. Deben seleccionarse las variables a reportar en función del tipo de análisis que se quiera hacer del edificio.
- *"Simulation settings"*. Es la pestaña que permite configurar las variables de simulación en cuanto a aspectos de cálculo que utiliza EnergyPlus. Para configurar sus parámetros ha de tenerse un conocimiento muy específico de lo que se busca y saber con precisión qué se está haciendo. Se modifican valores que usualmente son una "caja negra" para el usuario. Permite seleccionar tipos de algoritmos, frecuencias de cálculo, valores máximos y mínimos, tolerancias.
- *"Measures"*. Aparecen medidas de OpenStudio, EnergyPlus y Reporting. Es la pestaña donde se configura la sección de BCL ("*Building Component Library*") y que, a partir de ella, se pueden descargar e importar modelos de la biblioteca de forma on-line.
- *"Run simulation"*. En esta pestaña se inicia la simulación. Los programas comienzan a simular y finalizará si no se haya ningún error. La probabilidad de que el programa reporte error es muy elevada. Es muy recomendable correr el programa a lo largo del desarrollo del proyecto puesto que es la mejor manera de detectar errores y poder corregirlos. Fruto de la experiencia, se recomienda hacer periódicamente copias de seguridad del archivo .osm para facilitar la corrección de errores.
- *"Reports"*. Aquí finaliza la simulación, se representan todos los resultados mediante gráficas.

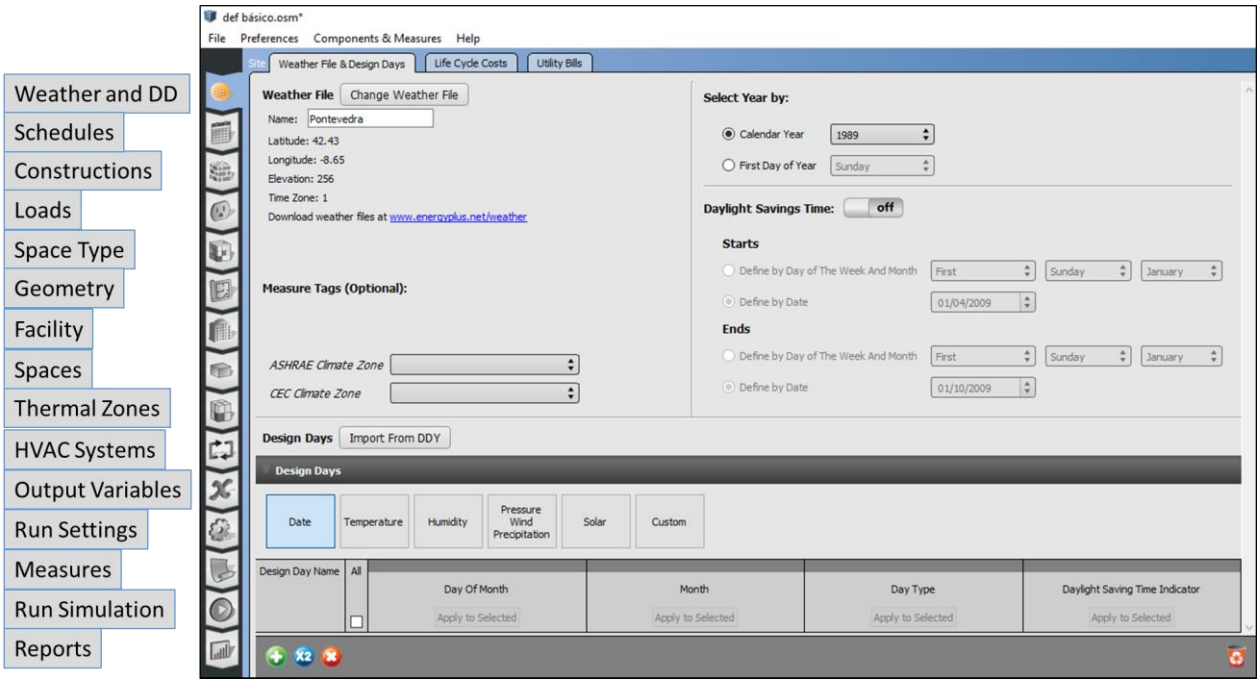


Figura 3-13 Menú principal de OpenStudio. Fuente: Elaboración propia en OpenStudio

En primer lugar, es conveniente comprobar que el archivo se ha importado correctamente por lo que debemos configurar todos los "*outputs*" en "*on*" y se le da a "*run*". Si la tarea se completa sin errores la comprobación se ha realizado con éxito. Es conveniente ir realizando periódicamente este procedimiento de confirmación durante el desarrollo del trabajo para prevenir errores y evitar retroceder durante la configuración de variables.

3.4.2.1 Entorno climático

Ya a la hora de comenzar a simular en OpenStudio, el primer paso es importar el archivo meteorológico de extensión ".epw" en la pestaña "*Weather and Design Days*", del entorno del edificio. El más específico disponible es el de Pontevedra. Se puede descargar directamente desde la página web de EnergyPlus [20]. A continuación, se selecciona el año que se desee simular; en este caso, el año 2018. Como se mencionó al inicio de este capítulo, se simula el ejercicio 2018 y no el 2019 puesto que durante este último período la actividad normal del cuartel se vio interrumpida.

Existe la opción diseñar desde cero días modelo para definir el entorno climatológico en función de lo que busque el usuario. No obstante, también se pueden importar. En el caso que concierne, es necesario haber definido un "design day" para luego poder implementar el sistema HVAC, que en este caso es una caldera de gas natural. Estos días modelo se basan en la normativa recogida en el DB-HE del CTE, vista en el apartado 2.2.2 del Estado del Arte. Y señala la zona climática referente a Pontevedra como Zona C1. Por lo tanto, se ha de importar un "design day" tipo C1. El archivo se puede descargar en la web de EnergyPlus [35].

3.4.2.2 Materiales constructivos

Un paso fundamental es la selección de materiales. OpenStudio ofrece la posibilidad de añadir distintos materiales constructivos en el edificio. Dispone de una biblioteca de materiales predefinidos, aunque también se pueden configurar desde cero. Para determinar la composición de un cerramiento en OpenStudio, es necesario seguir un proceso de tres etapas. En primer lugar, se eligen los "*materials*" (materiales), por ejemplo, *granito* y *ladrillo hueco*, después se asocian a una "*construction*" (construcción), por ejemplo, *muro exterior*, y por último, se asigna dicha construcción a un "*construction set*" (conjunto constructivo) a un edificio o parte de él, por ejemplo, *elementos constructivos cuartel*.

Para la selección de materiales se ha tenido en cuenta la Tabla 3-1 del apartado 3.3.1 en la que se detallan los tipos de materiales constructivos del cuartel, en base al Pliego de Condiciones Técnicas [8].

Una vez definidos qué materiales se van a emplear, lo que sigue es buscarlos en el programa. En el caso que concierne, se han tenido que importar materiales a la biblioteca BCL puesto que no estaban predefinidos por defecto en el programa. Para esto es necesario crear un usuario en la página OpenStudio [9] y buscar el material que más se adecue a partir de una extensa lista. Al realizar esta tarea conviene tener en cuenta que la página está en lengua inglesa y los materiales acostumbran a tener nombres técnicos y muy concretos. Por este motivo, es útil utilizar un buscador que disponga una herramienta de traducción de la página entera, por ejemplo Google Chrome.

La Tabla 3-4 representa la trasposición de los materiales de construcción de la Tabla 3-1 a los materiales seleccionados en OpenStudio y resume la composición definitiva de los cerramientos que se han definido en cuanto a tipo de material, disposición, espesores y propiedades térmicas y mecánicas.

	Nomenclatura OpenStudio	Conductivity (W/mk)	Density (kg/m^3)	Specific Heat (J/kgK)	Rough
Pared exterior	Poured concrete	0,97	1601	900	Medium Rough
	Brick - Fired Clay	0,67	1601	790	Medium Rough
	F04 Wall Air Space Resistance	Thermal Resistance	0,15 m^2K/W		
	Brick – Fired Clay	0,67	1601	790	Medium Rough
	Poured concrete	0,97	1601	900	Medium Rough
	Limestone, marble or granite	2,3	2242	790	Very Rough
Pared interior	Gypsum or Plaster Board	0,58	800	1090	MediumSmooth
	Brick - Fired Clay	0,67	1601	790	Medium Rough
	Gypsum or Plaster Board	0,58	800	1090	MediumSmooth
Suelo interior	Terrazzo	1,8	2560	790	Medium Rough
	Poured concrete	0,97	1601	900	Medium Rough
	Concrete HW	1,72	2243	837	Medium Rough
Ventanas	Theoretical Glass	0,05	136	750	Very Smooth
Puertas exteriores	F08 Metal Surface	0,026	43	1210	Medium Rough

Tabla 3-4 Trasposición de la Tabla 3-1 a los materiales seleccionados en OpenStudio. Fuente: Elaboración propia [9]

Por último, lo que resta es establecer el "*construction set*" (tipo de construcción) que recibe el nombre de *Elementos Constructivos Cuartel* tal y como se aprecia en la Figura 3-14. Se muestra un ejemplo de "*construction*" llamado *Pared Exterior* donde se puede apreciar los "*materials*" seleccionados y su disposición de afuera a dentro.

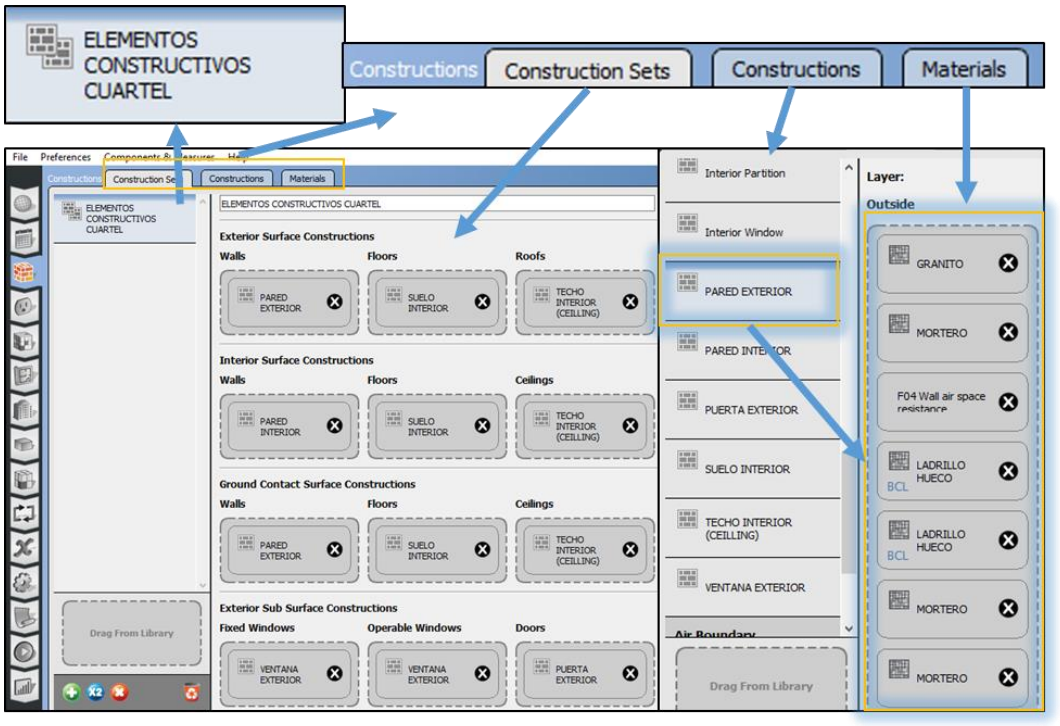


Figura 3-14 Definición de los cerramientos del cuartel

3.4.2.3 Horarios

Una vez definido el tipo de construcción que se le va a dar al modelado, se han de configurar los horarios de las cargas que habrá en el edificio; esto es, los horarios en los cuales los usuarios se encuentran en el cuartel y ejercen su influencia. También hay que tener en cuenta otros factores independientes de la actividad de los usuarios como pueden ser las infiltraciones ya que representan un factor clave a la hora de identificar las pérdidas de energía.

El programa ofrece diversos parámetros para definir los modelos de espacio. Los utilizados son los siguientes:

- *"People activity"* (actividad de los usuarios*)*. Refiere la cantidad de calor que emana de las personas en función del tipo de actividad que realice.
- *"Number of people"* (número de personas). Incluye un promedio de personas vinculado a un espacio y a un horario.
- "*Lighting"* (iluminación). Refiere el calor térmico que radia el sistema de iluminación.
- *"Electric equipment"* (equipos eléctricos). Refiere el calor que emana de los equipos eléctricos.
- *"Infiltration"* (infiltraciones*)*. Considera las principales infiltraciones que puedan tener lugar en el edificio.

El horario que enmarca el día a día del cuartel emana del *Horario para DD. y CC. Alumnos*[41] recogido en el LORI [18]. Por otro lado el período en el cual se acota el ejercicio se extrae directamente del *Calendario Académico*. El ejercicio 2018 se define conjuntamente entre los calendarios de los cursos 2017-2018 y 2018-2019. Al comprender períodos similares se elegirá simplemente el *Calendario Académico Curso 2017-2018*[42] aprobado por Resolución 455/10840/17, del Subsecretario de Defensa la Jefatura de Estudios de la ENM, como base.

[41] Figura en el Anexo IX: Horario para DD. y CC. Alumnos 2017-2018.
[42] Figura en el Anexo VIII: Calendario Académico curso 2017-2018.

En el apartado "*Schedules Sets*" (horarios tipo) se elaboran tres horarios estándar que se vincularán a tres espacios estándar; referidos a la actividad de las *Alas* y a la actividad de los *Halls* teniendo en cuenta los dos tipos de zonas térmicas que se escogieron desde el inicio; esto es; las cuatro alas y los dos halls. Señalar que se ha hecho una distinción para el ala de los alumnos que embarcan en el buque escuela Juan Sebastián De Elcano (JSE). Se ha considerado que no debe pasarse por alto esta ausencia (seis meses) de personal y se ha visto reflejado en la ocupación, por ejemplo, con un horario especial para esa ala en cuestión, entre otras consideraciones.

A su vez, cada horario se subdividirá en los períodos de entre semana y fin de semana y tendrá en cuenta todos los periodos vacacionales: Navidad, Semana Santa y las vacaciones de verano. Los tres "*Schedules Sets*"; *Ala JSE, Ala y Hall*, se clasifican según la Figura 3-15.

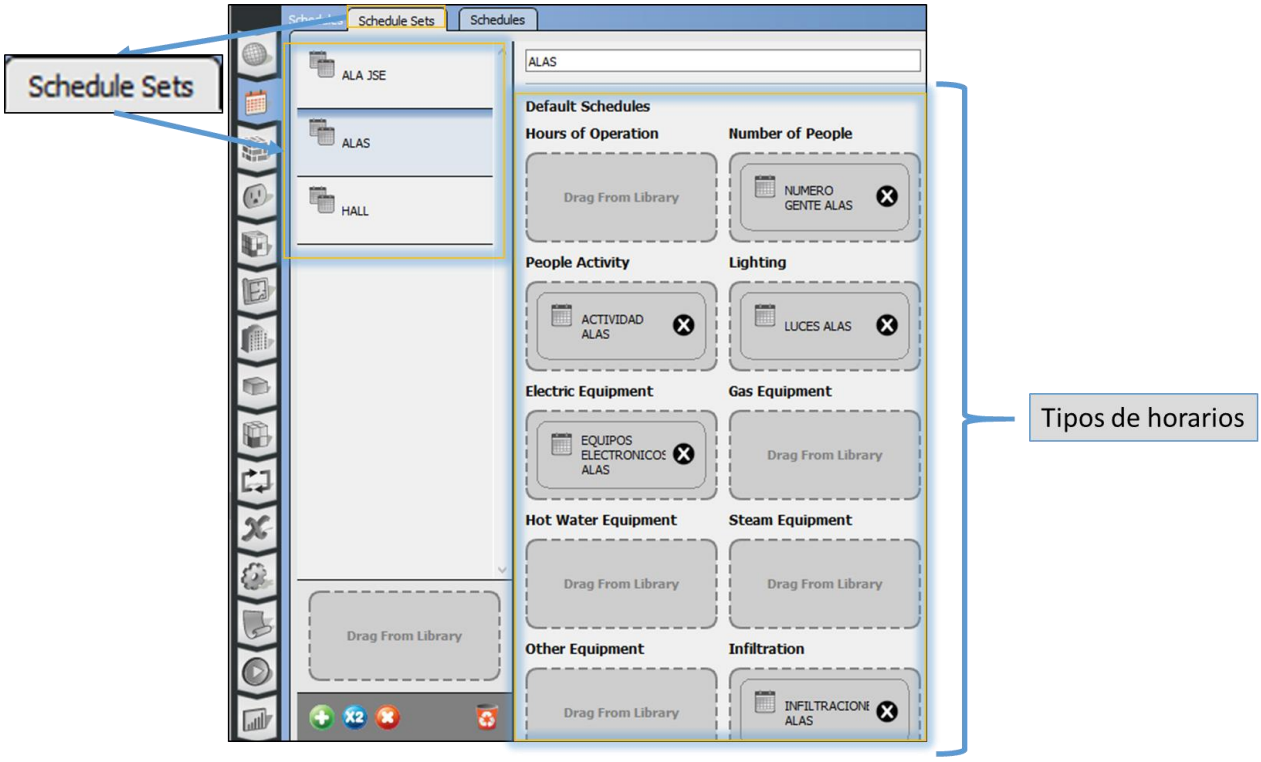


Figura 3-15 Ejemplo de la "*Schedule Set*" *Alas* con sus tipos de horarios

3.4.2.4 Cargas térmicas

Los horarios van asociados a cargas. Los horarios definen cuándo se activan las cargas. Así pues, en el apartado "loads", se termina por definir este binomio horario-carga.

Para determinar la actividad de los usuarios, "*people activity*", se utilizará como base la norma ANSI/ASHRAE Standard 55-2017, que se vio en el apartado 2.3.1 del Estado del Arte. Concretamente utilizando la Tabla 5.2.1.2 *Metabolic Rates for Typical Tasks* (tasas metabólicas para tareas típicas) puede seleccionarse el valor de calor que emana de los usuarios (ver "Anexo XIV: Factores de emisión").

La actividad que se realiza en las alas y en los halls, tal y como se reseñó en el apartado 3.3, es muy variada pero se puede tratar de concretar alguna. Para las alas, se puede definir dos tipos de actividades. La primera, y más clara, es durmiendo, puesto que es un cuartel donde los alumnos viven en régimen de internado. En el tiempo que están despiertos, realizan actividades del tipo: caminar, estudiar, limpiar el fusil, descansar, esparcimiento, arranchado de taquillas, etc. Con el afán de aunar todas esas actividades en una sola, de entre las opciones del estándar 55-2017 se decide seleccionar una actividad de tipo "actividades de oficina", concretamente "archivando de pie". Por otro lado, en el hall se determina la

actividad "caminar". Teniendo en cuenta el poco tiempo que tienen los alumnos para realizar sus tareas[43] se puede concluir una velocidad tabulada de "6,8 km/h" para los tránsitos por el hall. La relación de tasas metabólicas resulta:

- Alas:
  -Durmiendo ("*resting- sleeping*"): 40 W/m^2.
  -Administrativo ("*office activities- filing, standing*"): 85 W/m^2.
- Hall:
  -Caminando ("*walking on level surface*"): 220 W/m^2

Una vez establecidas la actividad de los usuarios, el siguiente factor a considerar es el de *"Number of people"*. Determinar la cantidad de alumnos presentes en cada momento en el cuartel a lo largo del año puede ser una tarea ardua. Por este motivo se tomarán como muestra dos momentos relevantes en un año académico; el primer y segundo cuatrimestre. La cantidad de alumnos en estos dos períodos se extraerá a partir de los *Partes Diarios de Situación de Alumnos* que refieren el estado del Batallón de Alumnos[44] del día en cuestión y que se rinden por la guardia de Brigadier[45]. Los ejemplos que sirven de apoyo son los partes de los días 13 a 14 de noviembre de 2018 y del 3 al 4 de julio de 2018 (ver "Anexo XI: Parte de situación de alumnos del 4 al 5 de julio de 2018").

La Tabla 3-5 relaciona la cantidad de alumnos promedio en el cuartel durante ambos cuatrimestres. A su vez, representa la cantidad máxima de alumnos en estos períodos estándar.

Primer cuatrimestre académico 2018-2019							
Brigada	1ª	11ª/12ª	2ª	3ª	4ª	5ª	Total
Nº Alumnos	80	47	56	71	69	86	409
	Residentes en cuartel Almirante Francisco Moreno						
Total	254						
Nº Alas ocupadas	4						
Promedio/ala	85						
Segundo cuatrimestre académico 2018-2019							
Brigada	1ª	11ª/12ª	2ª	3ª	4ª	5ª	Total
Nº Alumnos	56	43	70	69	74	77	389
	Residentes en cuartel Almirante Francisco Moreno			JSE			
Total	169						
Nº Alas ocupadas	3						
Promedio/ala	56						

Tabla 3-5 Número de alumnos promedio durante el 1er y 2º cuatrimestre. Fuente: Elaboración propia según Anexo XI: Parte de situación de alumnos del 4 al 5 de julio de 2018 y Anexo XII: Parte de situación de alumnos del 14 al 15 de noviembre

Al horario del sistema de iluminación se le añaden las cargas referidas a las luminarias. OpenStudio ofrece tres posibilidades para definirlas: potencia de luz, W/persona o W/m^2. En el apartado 3.3.3 se recogió la información acerca del sistema de iluminación, refiriendo la potencia total de las luminarias. En este caso 13108 W para las alas y 1508 para los halls. Su horario se corresponde, fundamentalmente, en los períodos comprendidos entre la diana, a 06:45h y "silencio", a 22:45h. 08:45h y 21:30h para el fin de semana.

[43] Basado en la experiencia del redactor de este TFG tras haber vivido en el cuartel.
[44] El Batallón de Alumnos es el conjunto de alumnos de la ENM.
[45] El brigadier es un alumno distinguido.

En cuanto a las cargas térmicas producidas por los equipos electrónicos, se debe tener en cuenta el uso de ordenadores portátiles, teléfonos móviles y tabletas, con sus cargadores, los cuadros de luz, etc. Realmente no deberían radiar una gran cantidad de energía puesto que no son equipos realmente potentes. Es complejo determinar un valor para la simulación por lo que se aprovechará el horario tipo propio de una "*whole office*". Aun así, la actividad del cuartel seguro que es menor que la de una oficina así que se multiplicará arbitrariamente el valor que ofrece OpenStudio, 5,81 W/m^2 por un coeficiente de 0,75 (1):

$$5{,}81\,\frac{W}{m^2}\cdot 0{,}75 = 4{,}36\,\frac{W}{m^2} \qquad (1)$$

El horario también estará basado en el Horario para DD. y CC. Alumnos [18], aplicado al tiempo en el que los alumnos se encuentran en el cuartel, fundamentalmente por las tardes entre semana y durante todo el día los fines de semana.

Las infiltraciones son un tema controvertido en esta simulación; se sabe que existen pero son complejas de definir. Resultaría prácticamente imposible medir los huecos del edificio por los que entra aire. Lejos de caer en supuestos arbitrarios, se decide determinarlas de la misma forma que las cargas por equipos electrónicos: por el espacio tipo oficina. El valor que determine el programa será de cierta entidad puesto que tiene en cuenta las condiciones climáticas exteriores.

3.4.2.5 Resumen de los elementos

En las pestañas "*spaces*" y "*thermal zones*" aparece el resumen de todas las configuraciones. La Figura 3-16 pertenece a la pestaña "*spaces*", concretamente "loads" y resume las cargas y horarios anteriormente determinados para algunos de los espacios: Ala N1ª, Ala S1ª y Ala N2ª.

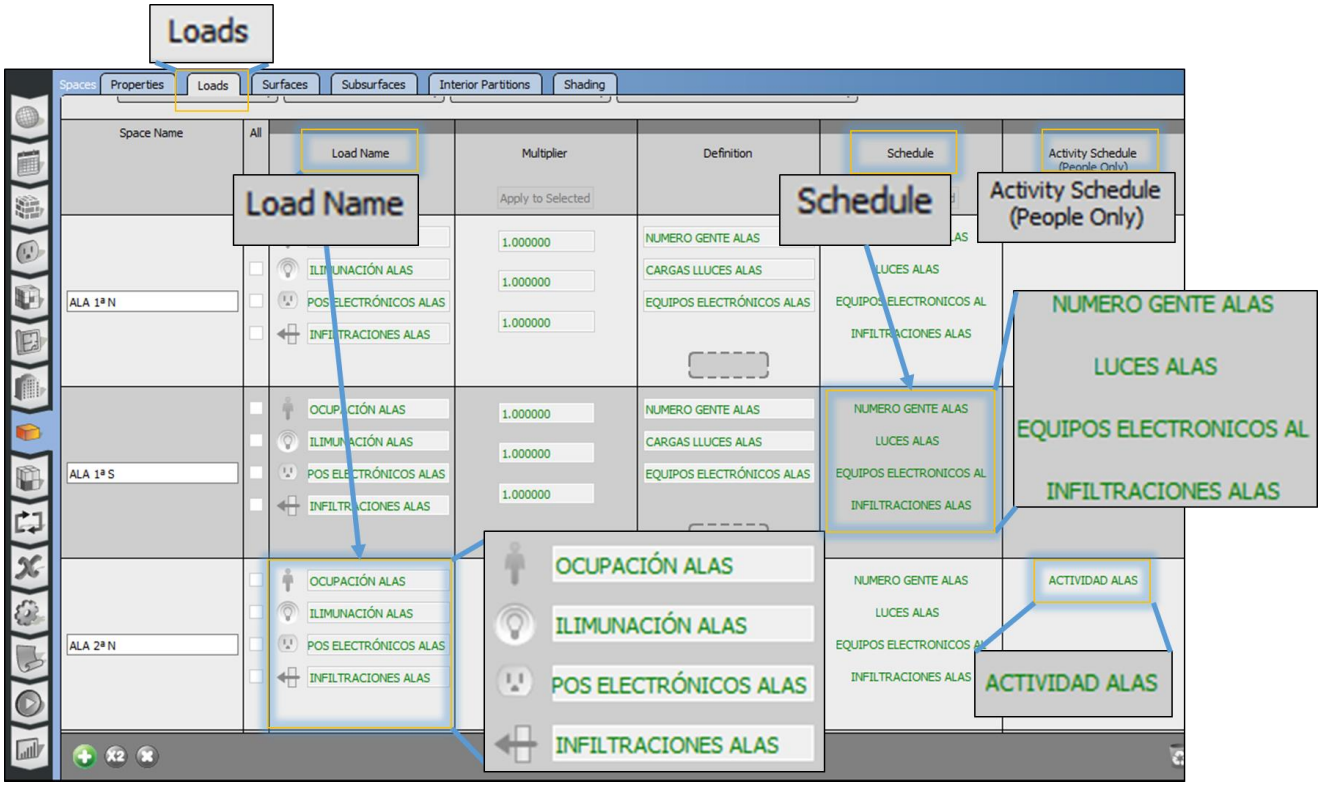


Figura 3-16 Resumen de la configuración del modelo en la pestaña "loads"

El programa dispone de gran variedad de interfaces donde se encuentra resumida toda la información del modelo (ver "Anexo XIII: Simulación en OpenStudio") También se permite la configuración dentro de ellos. Las pestañas "*properties*" (ver Figura 0-1) permite la asignación de conjuntos de construcción, conjuntos de horarios, zonas térmicas, plantas, etc. Las pestañas "*surfaces*", "*subsurfaces*" (ver Figura

0-2 Figura 0-3) permiten la configuración de condiciones de contorno exterior de superficies, fronteras entre paredes, exposición o no al sol o viento, tipo de pared (techo, muro, suelo, etc.), subsuperficies (ventana, puerta, etc.), control de sombras, etc.

En la pestaña "*thermal zones*" se resumen los parámetros HVAC. Aquí se pueden definir los parámetros de calefacción, refrigeración y control de la humedad. En el cuartel solamente hay un equipo HVAC de calefacción: la caldera de gas. La caldera tendrá que aportar la energía térmica para alcanzar la temperatura deseada dentro de las zonas térmicas.

Para establecer una temperatura hay que tener en cuenta los umbrales de confort térmico. Recogiendo las palabras escritas en el apartado 2 sobre el Estado del Arte, el estándar ANSI/ASHRAE 55-2017 determina un rango de temperaturas confortable entre 20ºC y 25ºC, en invierno y verano, respectivamente. El RITE, normativa nacional, determina los límites entre 21ºC y 26ºC. A pesar de que el programa OpenStudio es americano, se tomará como valores de referencia los de la normativa nacional puesto que el edificio se encuentra en suelo español. El RITE recomienda considerar la temperatura de diseño ideal para 23ºC [22]. El siguiente paso es asociar el horario *termostato* bajo el cual se desea que trabaje la caldera de gas. Se ha configurado el horario en base al apartado 3.3.4.1.

En definitiva, la Figura 0-4 del "Anexo XIII: Simulación en OpenStudio" muestra la configuración de la pestaña "*thermal zones*" con la configuración anterior.

3.4.2.6 HVAC: Caldera de gas

Lo último que hace falta para culminar con la simulación es la implementación de la caldera de gas. En la librería de OpenStudio no existe un HVAC predefinido como caldera de gas. Por ello, dentro del la pestañas "HVAC *systems*" se tiene que implementar desde cero. Los elementos necesarios son: la propia caldera de gas "*HW boiler*", una bomba "pump constant peed", un punto de control que regule el horario de la caldera "*setpoint manager scheduled*" al que se le asociará el horario *termostato* definido previamente. Por último, los radiadores "*baseboard*" asociados a cada zona térmica. En la Figura 3-17 se puede apreciar como resultaría la instalación.

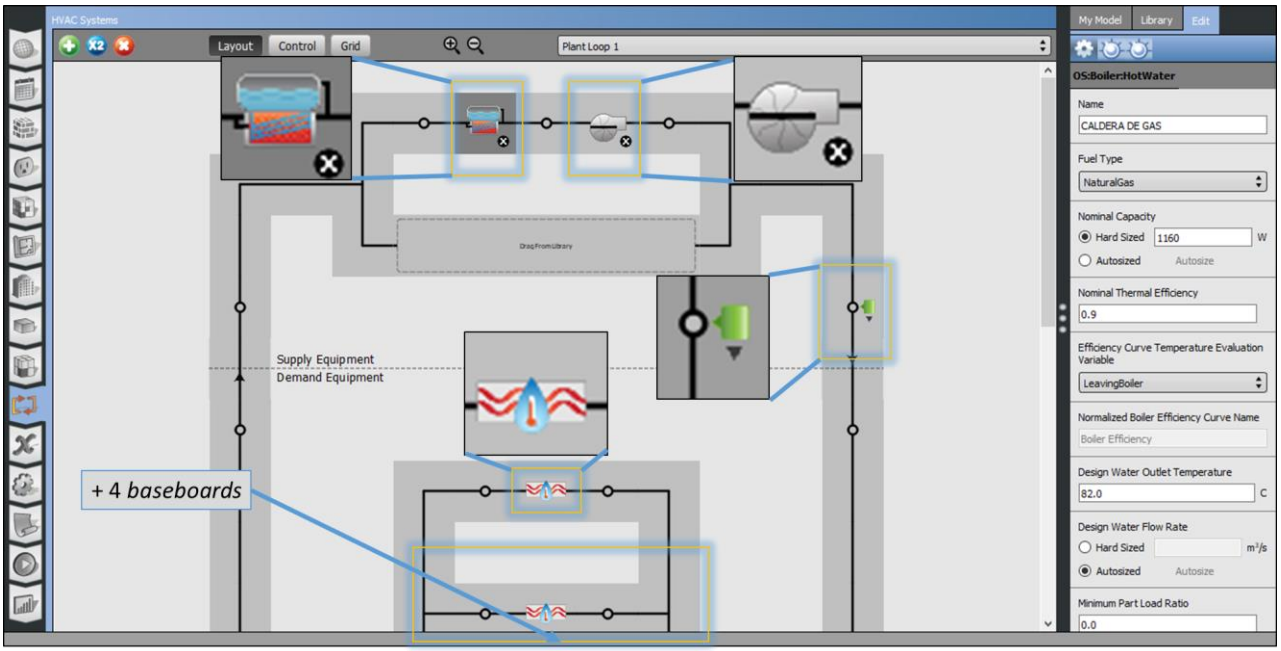


Figura 3-17 Sistema HVAC caldera de gas

3.4.3 Software EnergyPlus en la simulación

EnergyPlus no deja de ser un programa de apoyo para OpenStudio ya que es el motor de cálculo que le permite obtener resultados. Si bien es cierto, el programa puede hacer lo mismo que OpenStudio pero

con una interfaz más tosca y mucho menos intuitiva. Solamente se ha utilizado para identificación de errores a partir de archivos .idf exportados y para su corrección.

4 RESULTADOS

Los resultados se han extraído de las interfaces de OpenStudio "*results sumary*" y "*open Dview for detailed reports*". La primera ofrece gran cantidad de datos en formato texto; la segunda, permite extraer la representación en gráficos de los datos anteriores. Y del programa xEsoView[46] para visualización de resultados. Esta última extensión ha sido la más usada y debe descargarse previamente desde la web de software abierto SourceForge [22]; también permite la visualización de gráficas (ver Figura 4-8).

4.1 Validación de resultados

Antes de analizar los resultados obtenidos y sacar conclusiones, es preciso contrastar si entran dentro de unos parámetros racionales: los consumos deben ser del mismo orden de magnitud que los facturados. Para ello pueden utilizarse los consumos reales del año 2018 representados en la Figura 3-6, visto en el Capítulo 3. La figura señala un consumo medio de 70,4MWh; y un total de 844,8 MWh anual. Hay que tener en cuenta que esta facturación refiere el consumo total de la caldera; es decir, toda la energía necesaria para proveer el servicio de ACS y de calefacción a todo el cuartel. Esto incluye las plantas Primera y Segunda (objeto de estudio de este TFG) y la Planta Baja: el Hall Principal y la biblioteca Císcar y Císcar, entre otros espacios.

Llegados a este punto aparece un contratiempo, no es posible comparar directamente el consumo total facturado con la demanda energética simulada. La demanda del cuartel Almirante Francisco Moreno que se ha llevado a cabo en el programa OpenStudio solo contempla la energía referida al consumo energético por calefacción de las plantas Primera y Segunda. Teniendo esto en cuenta, es necesario realizar un cálculo aproximado a fin de obtener un valor de energía facturada que solo contemple el consumo de calefacción de dichas plantas.

Se sabe que la calefacción se apaga durante el periodo comprendido entre el 1 de mayo y 1 de noviembre, por lo que el consumo de energía durante esos meses (seis) se corresponde únicamente al uso de la caldera para ACS. Si se extrae el consumo medio durante esos meses sin calefacción y, en consecuencia, se multiplica por doce, se obtendría el consumo total anual de ACS del cuartel entero. El consumo medio de esos meses asciende a 39,6 MWh y 475,2 MWh totales anuales. El consumo anual de calefacción se entiende como la diferencia entre el consumo total facturado menos el referido a ACS:

$$844{,}8\ MWh - 475{,}2\ MWh = 369{,}6\ MWh \qquad (2)$$

[46] Lee archivos con extensión .eso.

Una vez obtenido el consumo anual de calefacción, hay que considerar que el cuartel tiene tres plantas, de aproximado volumen. Debido a esto, de los 369,6 MWh se podría hacer un cálculo aproximado que relacione un consumo de 123,2 MWh por planta y, finalmente, 246,4 MWh en dos plantas: Primera y Segunda.

El programa OpenStudio ha concluido con una demanda energética de calefacción de 926,87 GJ. En definitiva, tomando como medida de referencia "GJ", se concluyen los consumos energéticos de calefacción de las plantas Primera y Segunda como:

- Consumo facturado aproximado: 887,04 GJ.
- Demanda energética OpenStudio: 926,87 GJ.
-

Se concluye este resultado como favorable, en términos de mismo orden de magnitud, y es válido proceder al análisis de los resultados obtenidos.

4.2 Análisis energético

Este apartado tiene por objeto abordar una interpretación de los resultados obtenidos.

La demanda energética anual del modelo simulado del cuartel asciende a 926,87 GJ. Es un valor coherente con los datos facturados y, además, es algo mayor que el consumo equivalente real. Por lo que podría decirse que su eficiencia es incluso mayor de la que se le presuponía desde un primer momento, cuando se consideraba el año en que se construyó. No obstante, tampoco se puede asegurar este hecho puesto que el dato con el que se compara la demanda obtenida, como ya se especificó, es un valor aproximado. Lo que sí se puede afirmar es que el edificio no es excesivamente ineficiente.

La cifra económica relacionada con la demanda energética sería de 10.909 euros; tomando como precio unitario del gas natural 11,77 €/GJ[47].

La huella de CO_2 derivada del consumo de calefacción por la quema de 926,87 GJ (257,46 MWh) de gas natural es de 52.265 kg de CO_2; según el FE (Factor de Emisión) tomado como 0,203 kgCO_2/kWh. Este dato se puede extraer de la página oficial del MITECO [22].

La Figura 4-1 recoge las distintas fuentes de consumo simuladas; esto es, equipos electrónicos, sistema de iluminación y calefacción. La caldera de gas del cuartel (ver apartado 3.3.4) deberá asumir la cifra ya mencionada para calefacción. Por otro lado, se revela el alto consumo (43%) requerido por el sistema de iluminación, compuesto principalmente por luminarias halógenas. Si bien es cierto, hay que tener en cuenta la amplia superficie a la que se tiene que dar suministro. Por otro lado, también hay que considerar el uso que se le da a las luminarias, puesto que determina la cantidad de horas que están encendidas consumiendo energía. Hay que tener en cuenta que la ENM es un centro académico exigente y que sus alumnos, sobre todo en los primeros años de formación, no tienen como una de sus principales preocupaciones diarias el ahorro de energía del cuartel. Esto se traduce en horas de desperdicio eléctrico en iluminación cuando los usuarios dejan las luces encendidas al abandonar las instalaciones.

[47]Precio unitario extraído de la factura de enero de 2018, aportada por el Destino de Mantenimiento.

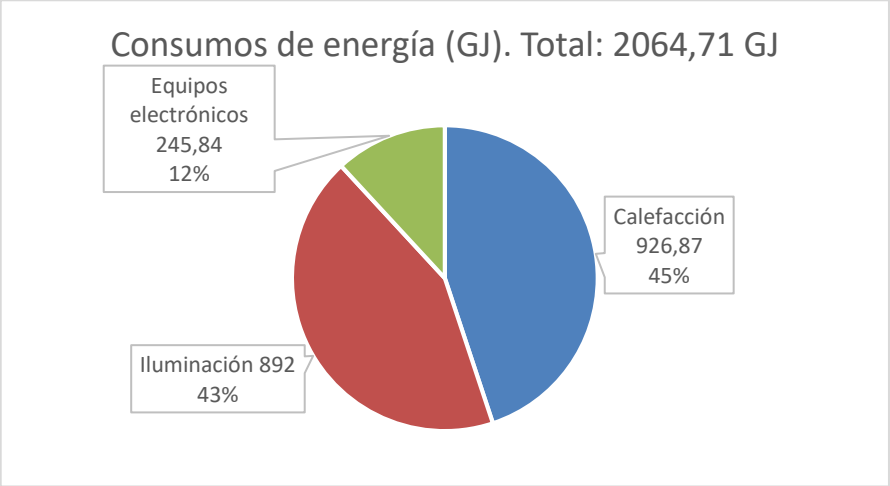


Figura 4-1 Fuentes de consumo energético

A la hora de analizar el consumo de calefacción por zonas. En la Figura 4-2 se pueden identificar considerables variaciones en función de las mismas. Las zonas térmicas de la Segunda Planta tienen un consumo objetivamente más elevado que las de la Primera Planta; así, la Tabla 4-1 recoge un 60,28% del consumo total de la Segunda Planta, frente al 39,72% de la Primera. Se debe tener en cuenta que la Primera Planta limita inferiormente con la Planta Baja, que está calefactada y no absorbe calor; recordar que se determinó el suelo de la Primera Planta como superficie adiabática en el apartado 3.4.2.5. De esta forma se eliminó la perdida de calor por transmitancia entre plantas. La Planta Segunda limita superiormente con la Cubierta, que no está calefactada, y supone un foco de pérdida de calor.

Además, destacar las zonas referidas a los halls como las menos consumidoras. Esto es lógico ya que tienen menos volumen que las alas. Si se relativiza el consumo en términos de porcentajes (Tabla 4-1) los halls representan un 21,59% del volumen total, frente al 78,41% de las alas. En cuanto al consumo, los halls consumen un 18,76% frente al 81,24% de las alas. Con esto, se puede inferir que los halls ocupan un 21,59% del volumen pero consumen un 18,76% del total de calefacción. Se concluye favorablemente que los halls son más eficientes que las alas. Este hecho denota la influencia de los efectos meteorológicos sobre el cuartel, puesto que los cerramientos de los halls, bien son interiores o bien se encuentran a resguardo de dichos fenómenos.

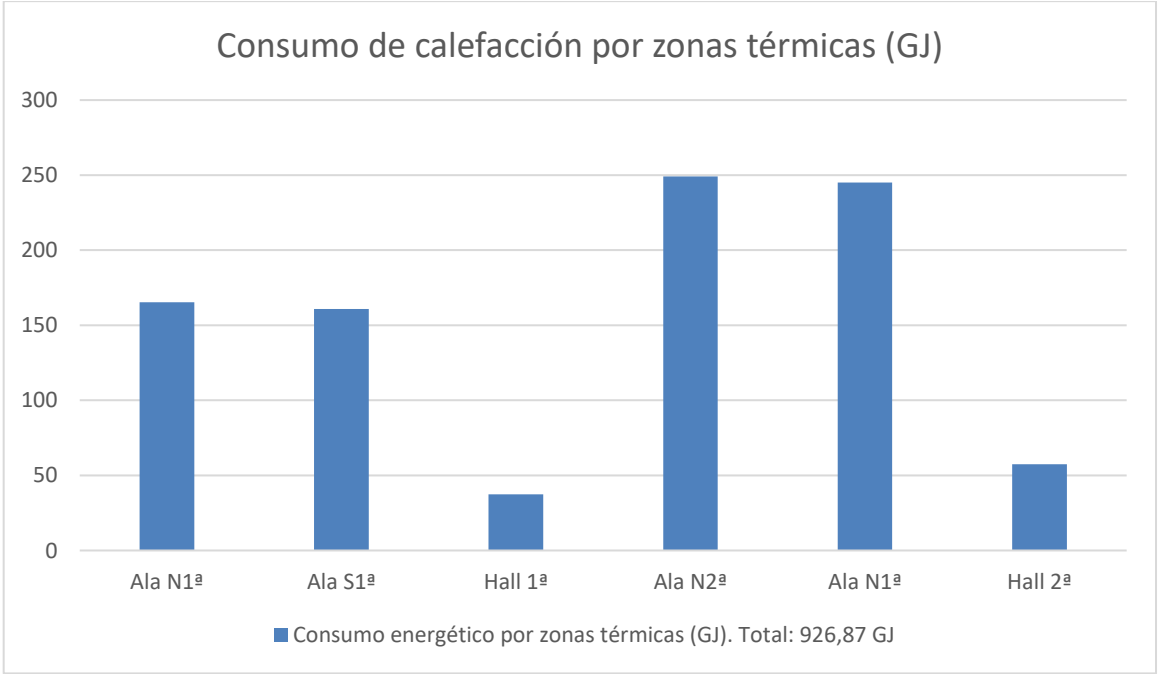


Figura 4-2 Consumo de calefacción por zonas térmicas

	Volumen medio (m3)	% Volumen	Consumo medio (GJ)	% Consumo	Observación
Halls	817,75	21,59%	47,37	18,76%	Halls tienen menor consumo relativo que las alas
Alas	2970,39	78,41%	205,1	81,24%	
Total	3788,14		252,47		
Segunda Planta	Mismo volumen		183,88	60,28%	La Primera Planta consume relativamente menos energía
Primera planta			121,16	39,72%	
Total			305,04		

Tabla 4-1 Relación de consumos y volúmenes por tipos de espacio

El Figura 4-3 representa la evolución horaria de energía térmica del aire de las zonas térmicas. Se aprecia como en los halls la energía se acota entre límites más pequeños que en las alas, donde fluctúa más. El aire de las alas es más inestable y da lugar a picos de máximos y mínimos más grandes. La línea azul representa un umbral tomado como referencia de 40 MJ.

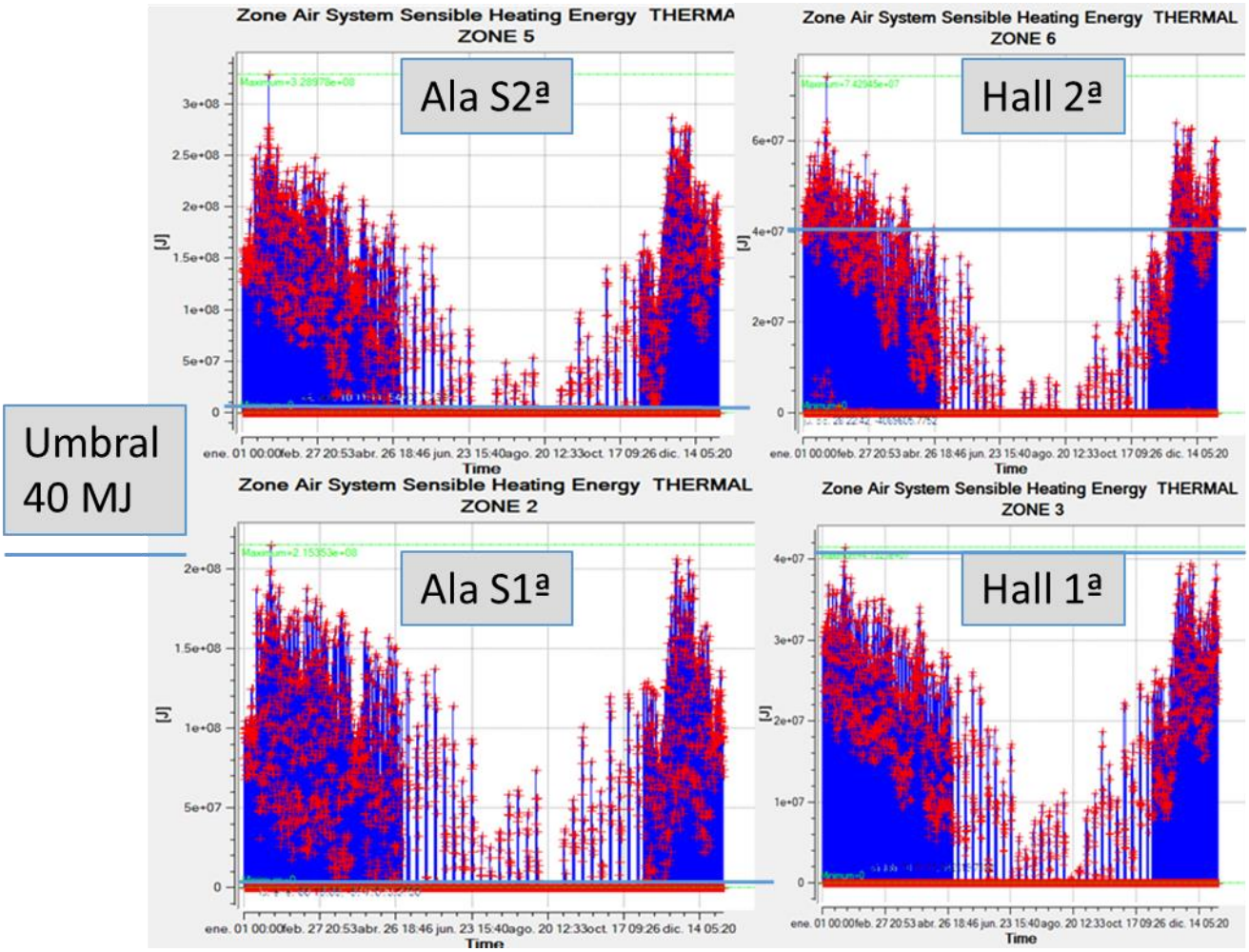


Figura 4-3 Evolución horaria de la energía térmica

Las cargas térmicas son un factor importante a la hora de analizar la demanda energética de un espacio. Pueden ser favorables y ayudar a la calefacción a mantener una temperatura elevada, o negativas, y ejercer actuar de forma opuesta. Por otro lado, en verano las cargas positivas pueden ejercer un efecto de sobrecalentamiento del aire y las cargas negativas pasan a adquirir una consideración beneficiosa. En general, las cargas positivas son favorables para el edificio.

La Figura 4-4 representa las distintas cargas contempladas en el modelo simulado. Destaca la carga por iluminación, siendo más del doble que la siguiente más influyente: la carga de calor metabólico de los usuarios. El sistema de iluminación visto en el apartado 3.3.3, constituido por luminarias halógenas, destaca por su uso más que por sus datos técnicos. Su uso prolongado deriva en ser la carga térmica más reseñable.

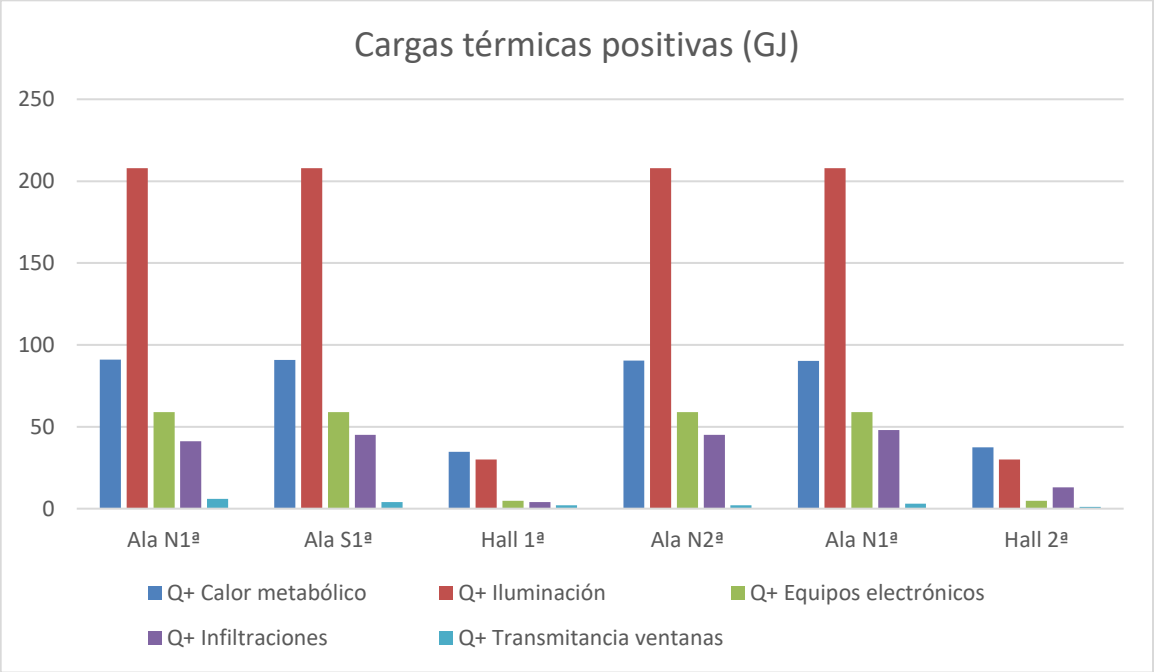


Figura 4-4 Incrementos de energía térmica por cargas positivas

Por otro lado, las cargas térmicas negativas (ver Figura 4-5) son uno de los factores fundamentales a tener en cuenta a la hora de buscar mejorar la eficiencia térmica de una edificación. En este caso, el calor se pierde fundamentalmente a través de las fachadas. Representan una cantidad de 1.426,2 GJ perdidos al año. Este fenómeno de transmitancia se debe a la composición de los materiales de los cerramientos. Los materiales se han introducido directamente en el modelo en base del Pliego de Condiciones Técnicas por lo que son datos objetivos; no son supuestos ni aproximaciones. En consecuencia de ello, hay que tratar el resultado obtenido como un valor fiable sobre cómo se está comportando realmente el edificio. La Tabla 4-3 recoge el valor de transmitancia por tipo de cerramiento: pared exterior, interior, ventana, etc. En relación a esto, es cierto que es complicado reducir esta carga; ello supondría la modificación de la propia estructura si se optase por cambiar algún material, o supondría disminuir el volumen interior de los espacios, en caso de añadir nuevas capas de cerramientos. La opción de operar desde el exterior llevaría de la mano lidiar con la capa de granito de la fachada.

La segunda carga más relevante es la que constituye las infiltraciones. Son el enemigo principal de la eficiencia energética. En el modelo simulado, refieren casi tantas pérdidas como las causadas por la transmitancia. Su valor es más complicado de determinar que el de la transmitancia puesto que residen en las imperfecciones, a veces inapreciables, de la estructura; es decir, de todos aquellos elementos que componen la envolvente térmica. Depende también del estado en el que se encuentren los cerramientos, ya sea por el uso que se haga de ellos (puertas, ventanas, etc.) o por el deterioro producido por el mero paso del tiempo. En el apartado 3.3.2 se mencionaron aspectos que pueden ser fuente de infiltraciones.

Es necesario mencionar la necesidad de relativizar el valor obtenido, ya que es un valor supuesto. El resultado es fruto de una operación tipo "caja negra" en la que el programa ha utilizado el modelo que se le ha indicado: "infiltraciones tipo oficina" para extraer un valor; en función del entorno climático. La verdadera toma de conciencia que hay que realizar sobre estas infiltraciones, es que representan un

valor ajeno al estado real del edificio, pues en ningún momento arrojan información sobre cómo se encuentra el edificio. El estado real de los cerramientos es malo. Por eso, no debe subestimarse ese valor; de hecho, sería más prudente sobreestimarlo.

En definitiva, con el dato de infiltraciones en una mano y el juicio subjetivo de cómo están los cerramientos en base al estudio in situ que se ha realizado, se puede extraer un valor más aproximado y al alza respecto el obtenido.

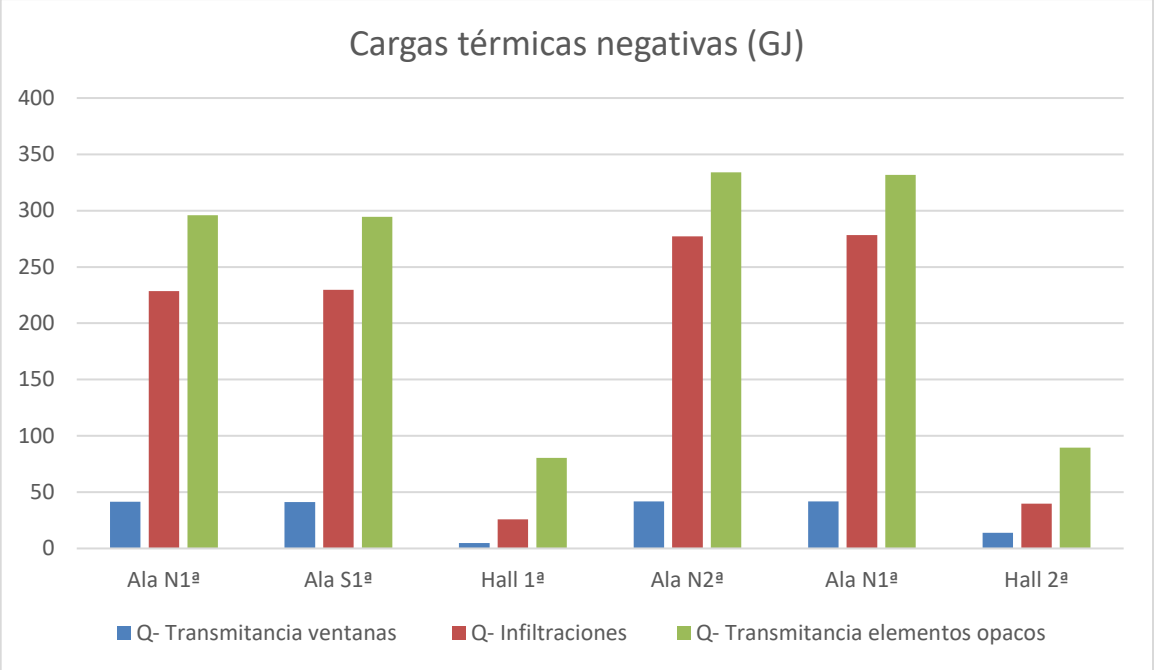


Figura 4-5 Decrementos de energía térmica por cargas negativas

La tabla Tabla 4-2 recoge numerados los valores de las cargas térmicas anteriores. Destacar el valor de las cargas negativas totales, 2.691,2 GJ frente a las positivas, 973 GJ. A veces, el concepto "positivo" o "negativo" es relativo puesto que el flujo de aire hacia o desde el exterior en verano puede llegar a ser confortable. En términos generales, las cargas térmicas negativas deben evitarse.

Cargas térmica	Calor metabólico	Iluminación	Equipos electrónicos	Transmitancia ventanas	Infiltraciones
Valor total (GJ)	435	892	246	198	5
Cargas térmica	Transmitancia ventanas	Infiltraciones	Transmitancia elementos opacos	**Positivas totales**	**Negativas totales**
Valor total (GJ)	-185	-1.080	-1426,2	1776	-2691,2

Tabla 4-2 Resumen de las cargas térmicas

En el "Anexo XV: Resultados " se recoge la evolución de las ganancias y pérdidas de energía por transmitancia de las ventanas. Y también la evolución de las pérdidas por infiltraciones. Todos estos parámetros varían en función de la época del año.

4.2.1 Datos generales

La Figura 4-6 representa la relación entre los distintos tipos de superficies que componen los cerramientos.

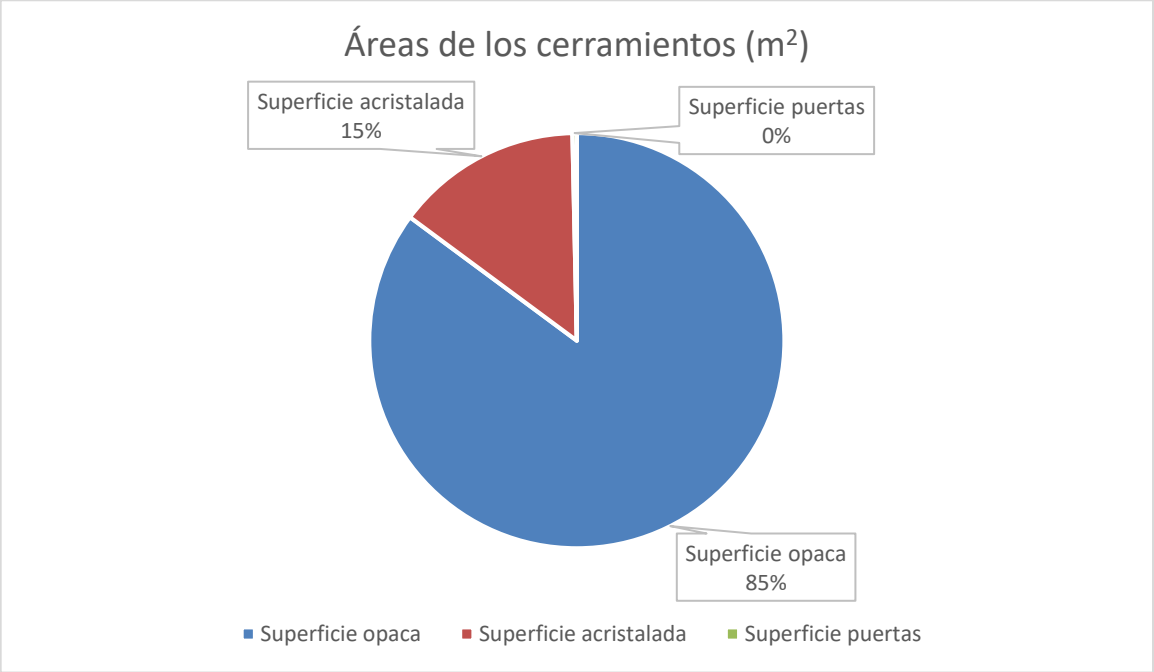


Figura 4-6 Relación de superficies

La Tabla 4-3 representa valores de transmitancia totales obtenidos para cada tipo de superficie, a partir de la suma de sus capas.

Construcción	Pared exterior	Techo	Suelo interior	Pared interior	Puerta exterior	Ventana exterior
Transmitancia U (W/m^2K)	1,99	2,59	2,42	2,60	1,00	3,24

Tabla 4-3 Transmitancia de los cerramientos

La tabla Tabla 4-4 muestra datos generales característicos de cada zona térmica. Cabe apreciar la diferencia de superficie sobre suelo del Ala N1ª; que se encuentra por encima del patio norte. El término "suelo" es referido a la superficie inferior, en el caso simulado, ha sido suelo adiabático. La superficie acristalada del Hall de la Segunda Planta de menor puesto que el de la Primera Planta dispone de una puerta de cristal que da a la terraza.

	Área (m^2)	Volumen (m^3)	Superficie sobre suelo (m^2)	Superficie acristalada (m^2)	Personas ($pers./m^2$)	Iluminación interior (W/m^2)	Equipos electrónicos (W/m^2)	Infiltraciones (ren./hora)
Ala N1ª	1042,24	2970,39	320,12	96,16	12.26	81,56	12577	0,128
Ala S1ª	1042,38	2970,78	573,1	96,16	12.26	81,54	12575	0,127

Hall 1ª	286,93	817,75	95,85	10,4	1.13	0.885	5256	0,077
Ala N2ª	1042,24	2970,39	580,12	96,6	12.26	81,56	12577	0,358
Ala N1ª	1042,38	2970,78	573,1	96,22	12.26	81,54	12575	0,356
Hall 2ª	286,93	817,75	95,85	31,28	1.13	0.885	5256	0,307
Total	4743,1	13517,83	2238,14	426,4	5.59			

Tabla 4-4 Datos generales por zonas térmicas

4.3 Estudio del confort térmico

OpenStudio permite extraer parámetros de confort. Basado en la normativa ASHRAE 55-2004[48] se han extraído 5.665h no confortables, respecto de 8.760h, para los usuarios. Eso supone un total de un 64.66% de horas en las que los usuarios no han tenido buenas condiciones de confort térmico; en otras palabras, solamente un 35,34% del tiempo de horas confortables Hay que comprender que el programa OpenStudio extrae este indicador de confort como si fuese un modelo de caja negra; se obtiene un dato sin informar por qué es así.

Como se vio en el capítulo Estado del Arte, el confort es un concepto subjetivo de cada usuario y uno de los parámetros que lo determinan es el tipo de vestimenta que usan o utilizan los mismos. Independientemente del tipo de ropa, se extrae del Figura 4-7 que las zonas menos confortables son las de la Segunda Planta. Si lo comparamos con la demanda energética por zonas (ver Figura 4-2), tiene sentido porque también son las zonas más demandantes.

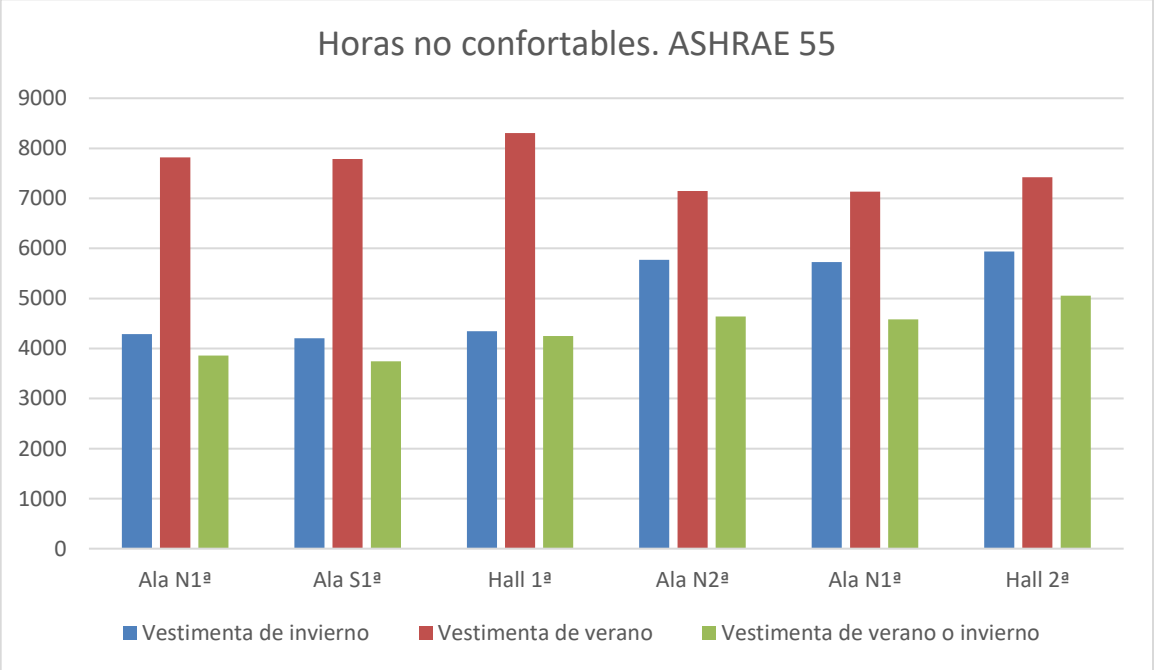


Figura 4-7 Relación de horas no confortables por zonas

Hay más parámetros para medir el grado de confort tales como la temperatura y humedad. La Figura 4-8 representa la evolución de las temperaturas interiores de las distintas zonas a lo largo del año. Para considerar si una zona es o no confortable en base a la temperatura, es necesario basarlo en unos límites.

[48] ASHRAE 55 se actualizó por última vez en 2017.

El RITE, según se vio, establecía los umbrales de 21ºC en invierno y 26ºC en verano. Además, recordar que se estableció la temperatura de la calefacción en 23ºC.

Es reseñable la cantidad de horas en que la temperatura se encuentra por debajo de los 20ºC. La temperatura llega a caer hasta los 12ºC en las alas de la Segunda Planta en los días más fríos de invierno. Las temperaturas más altas alcanzan picos de 40ºC en el Hall de la Primera Planta. Por otro lado, Las temperaturas mínimas sostenidas son las que se reflejan en la gráfica: mínima sostenida de 14ºC en las alas de la Segunda Planta. Las más altas están en torno a 30ºC en ambas alas de la Segunda Planta. En términos generales, las zonas más frías y las más cálidas son las de la Segunda Planta.

En los periodos en los que la calefacción está activada, la temperatura asciende a los 23ºC pero rápidamente decae hasta entrar en umbrales no confortables. Hay que considerar que hay relativamente bastante tiempo en el que los usuarios no están confortables a causa de la temperatura. Las alas de la Segunda Planta son las menos confortables.

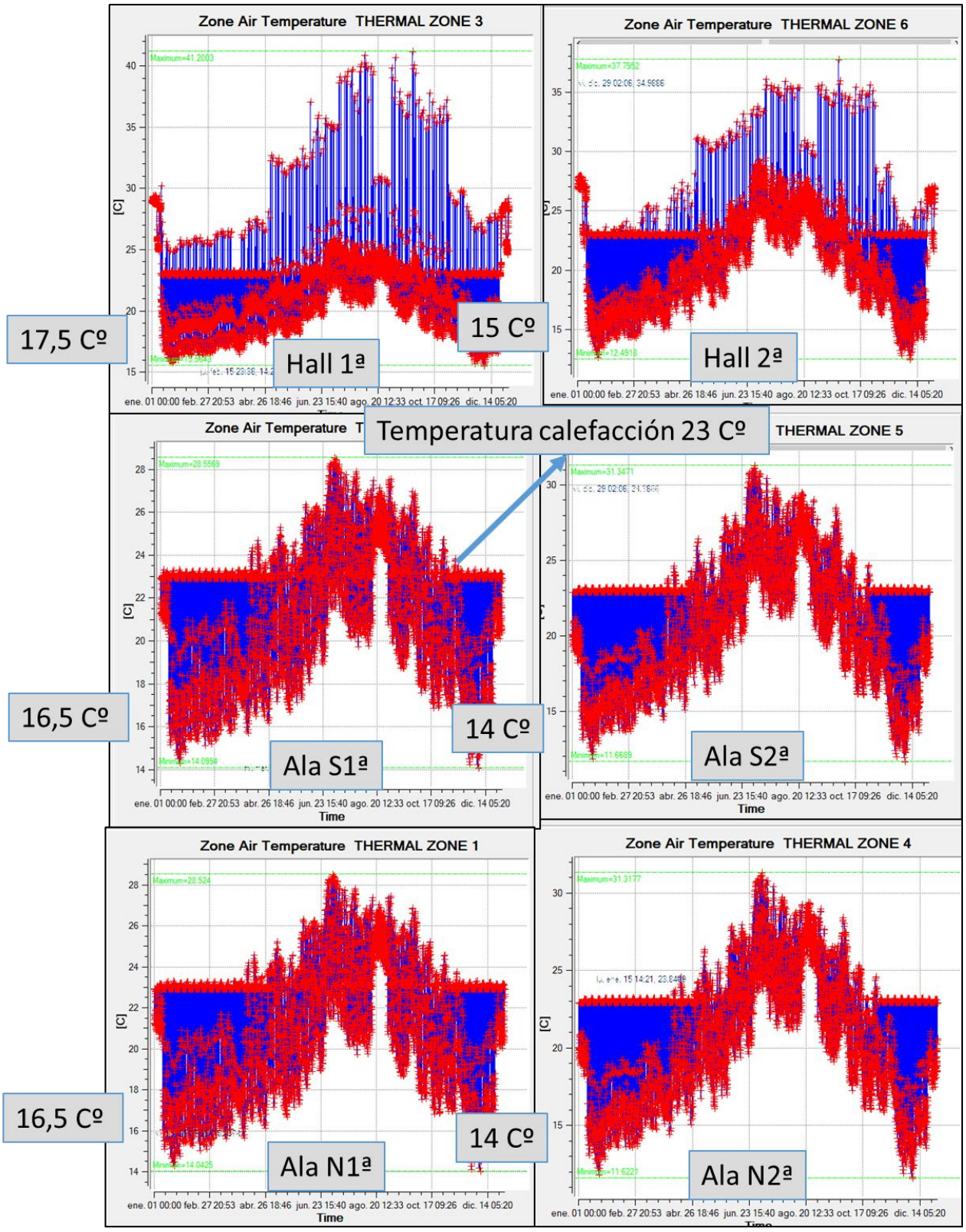


Figura 4-8 Representación horaria de temperaturas por zonas

La humedad relativa es otro de los factores a tener en cuenta a la hora de determinar la confortabilidad de un espacio. La Figura 4-9 recoge la evolución de valores de humedad relativa durante el año. Al igual que se vio con la temperatura, el RITE también recoge umbrales de confort y en el Capítulo 2 se vieron que eran: 45 a 60% en verano y 40 a 50% en invierno. Esto límites se han referenciado en la figura para conseguir una comprensión más rápida.

En verano prácticamente todos los espacios son confortables, sobre todo los de la Primera Planta. El único espacio que se puede determinar como no confortable es el Hall de la Primera Planta. En invierno las alas son confortables, sobre todo las de la Segunda Planta. Sin embargo los halls son considerablemente inconfortables.

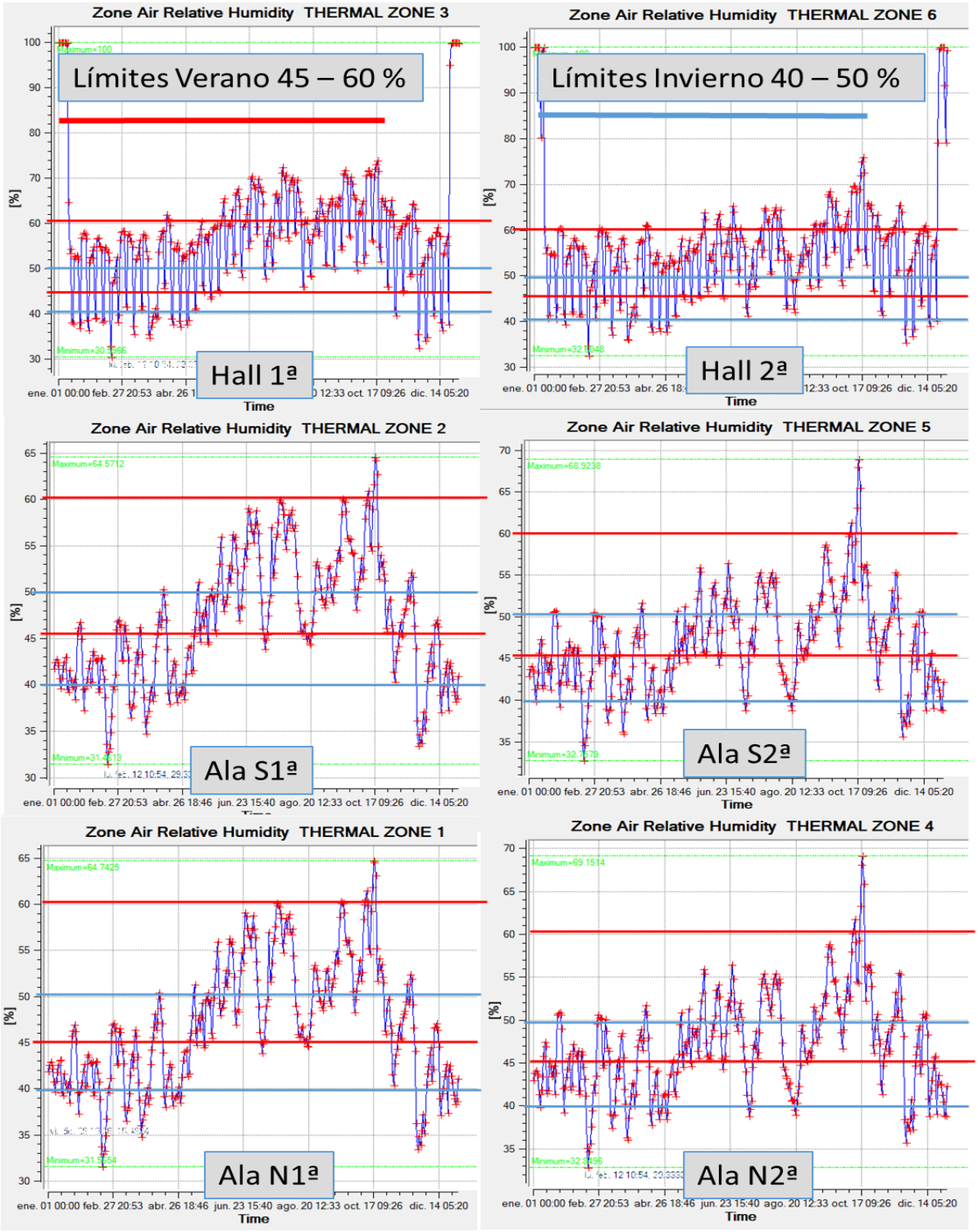


Figura 4-9 Representación diaria de la humedad relativa por zonas

5 CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

5.1 Conclusiones

En primer lugar, habría que tener en cuenta que se ha llevado a cabo una simulación que, por definición, supone una aproximación de la realidad. Así pues, los datos son meramente orientativos pero sustanciales; y se pueden extraer las siguientes conclusiones:

En el cuartel Almirante Francisco Moreno, no hay una demanda energética excesiva, lo cual es bueno porque indica que el edificio no es energéticamente tan ineficiente como podía preverse en una primera impresión. Así se entiende que la demanda energética obtenida en la simulación que ha resultado ser de 926,87 GJ, en comparación con el consumo real aproximado de 887,04 GJ. Con esto se extrae que el modelo real consume incluso menos que el simulado.

La huella de las emisiones de CO_2 del cuartel Almirante Francisco Moreno ascendió a 52.265 kg de CO_2 en el año simulado; que es una cantidad considerable; y no puede quedar en segundo plano que España necesita mejorar la eficiencia energética y reducir las emisiones de GEI en el sector de la edificación. Además, debe cumplirse lo ordenado en la Directiva 201/27/UE para el año 2050, de reducir entre un 80% y un 95% las emisiones GEI respecto a 1990. Y también, lo marcado en la Directiva 2018/844/UE, sobre "*descarbonizar el parque inmobiliario*", que es el responsable del 36% de las emisiones de CO_2 de la Unión.

Se han revelado datos concluyentes respecto a las distintas zonas térmicas, pues no todas demandan la misma cantidad de energía. A pesar de ser idénticas, la Segunda Planta demanda un 60,28 % de energía frente al 39,72% de la Primera. Así pues, las zonas más demandantes de energía se ubican en la Segunda Planta y, debido a su contacto con la cubierta sin calefactar del edificio, son las más frías durante el invierno y las más calientes en verano; por lo que se concluye que son las zonas más inestables.

Del estudio sobre el "confort térmico, a pesar de su subjetividad, se deduce que es pobre ya que el programa lo cuantifica como un 35,34% del tiempo total como confortable. Es decir, los usuarios tienen sensaciones no confortables durante más de la mitad del tiempo, en un año.

También se extraen conclusiones del confort a partir de las temperaturas obtenidas, en base a los umbrales definidos por el RITE de 21Cº en invierno y 26Cº en verano; y es que ha resultado ser bastante mejorable; sobre todo, durante los picos de temperaturas alcanzadas en las plantas objeto de estudio tanto en verano como en invierno. Significar que en el momento en el que se desactiva la calefacción, las temperaturas llegan a caer rápidamente hasta alcanzar valores demasiado bajos en invierno; y esto afecta negativamente al confort de los usuarios

En cuanto a la influencia de la humedad relativa sobre el confort, no ha resultado ser un parámetro demasiado preocupante en base a las recomendaciones del RITE de mantener sus valores dentro de los límites de 45 a 60% en verano y 40 a 50% en invierno; tan solo repercute levemente en los halls y durante breves períodos del año.

Del estudio simulado del sistema de iluminación del cuartel, es bastante significativo que la cantidad de energía que necesita, anualmente, representa el 43% del consumo total del modelo simulado.

En cuanto a la envolvente térmica del edificio, se deduce que lo más preocupante es el estado en el que se encuentran los cerramientos. Significar que con el programa OpenStudio no se pueden determinar las infiltraciones, pero se sobreentienden que sus valores son elevados a raíz del estudio llevado a cabo sobre el estado actual de ventanas y puertas. También se ha observado que las ventanas son de cristal simple, sin cámara de aire y con una transmitancia demasiado elevada. Por tanto, la envolvente térmica del cuartel se está viendo comprometida por la naturaleza de los cerramientos y por el deterioro producido por el paso del tiempo.

Se ha repasado la normativa ambiental del sector de la edificación, tanto nacional como de la Unión Europea, y se han constatado los grandes retos ambientales de España, así como la importancia de los temas medioambientales en el seno de las FAS. El sector de la edificación desempeña un papel clave para cumplir esos retos y España tiene un parque edificatorio asentado en la calificación E, con una progresión lenta hacia calificaciones más altas. En diciembre de 2018 solo el 13% del parque edificatorio tenía asignada una calificación energética.

Por último, este TFG puede ser de utilidad para sensibilizar de lo importante que es para un país como España, energéticamente dependiente del exterior, invertir en la mejora del parque edificatorio antiguo, al que pertenece el cuartel Almirante Francisco Moreno, con objeto de aumentar el ahorro energético y económico, y contribuir a paliar la actual crisis climática.

5.1.1 Lecciones aprendidas y buenas prácticas

En este apartado se pretenden recoger una serie de conclusiones operativas aplicables a los softwares utilizados.

Se recomienda utilizar el programa de CAD Autocad para realizar el diseño geométrico del edificio y luego exportar el archivo a SketchUp para continuar con las operaciones que se solo se pueden hacer en este programa. AutoCAD es una herramienta informática más desarrollada que SketchUp; además, es más intuitiva y fiable. Una de las principales ventajas de AutoCAD es la posibilidad de volver atrás, si se comete un error.

Tanto en SketchUp como en OpenStudio es altamente recomendable guardar los avances de forma progresiva puesto que no existe un comando que permita la opción de volver atrás después de realizar una operación.

Antes de realizar una simulación en OpenStudio se recomienda haber guardado previamente una copia de seguridad del archivo sin errores. El programa realiza la función de autoguardado tras simular. Si la simulación ha concluido en ese error, entonces el archivo se guardará con eso error. En definitiva, teniendo en cuanta el párrafo anterior, sin la opción de disponer de un comando que permita volver atrás, un archivo con errores resulta un archivo que no podrá volver a utilizarse.

Antes de ejecutar la simulación en el programa OpenStudio, es recomendable activar solamente los "*outputs*" que se deseen analizar. De lo contrario la CPU del ordenador trabajará muy lenta a la hora de realizar los cálculos y también lo hará en el momento de contrastar los resultados.

Cuando se desee importar elementos de la biblioteca BLC de OpenStudio desde la web oficial, hay que tener en cuenta que se encuentra en inglés. Algunos componentes (como materiales) acostumbran a tener nombres muy técnicos que pueden dificultar la selección. Se recomienda el empleo de buscadores

que dispongan de la posibilidad de traducir la página por la que se esté navegando. Google Crome es un buscador recomendable.

5.2 Evaluación de objetivos

Una vez finalizado el presente trabajo se evalúa la consecución de los objetivos fijados y se concluye que se han alcanzado satisfactoriamente. En general, los objetivos conseguidos fueron:

1. Realizar un estudio sobre el análisis del consumo energético y del confort del año 2018 mediante herramientas de simulación dinámica. Concretamente, de los espacios habitables: plantas Primera y Segunda, del cuartel Almirante Francisco Moreno.
2. Obtener la demanda energética, enfocada en la calefacción y teniendo en cuenta las cargas térmicas que modifican la temperatura interior de los espacios habitables.
3. Realizar un estudio de confort térmico de la habitabilidad del cuartel.
4. En particular, los objetivos conseguidos fueron:

En particular, los objetivos conseguidos fueron:

1. Seleccionada con éxito la división de las zonas térmicas interiores del cuartel.
2. Se han identificados elementos que están comprometiendo la eficiencia energética del edificio, tal y como han resultado ser las infiltraciones.
3. Se han propuesto una seria de líneas de acción que ayuden a mejorar tanto la eficiencia energética como el confort del edificio.
4. Detallados, paso a paso, los procedimientos y metodología empleados de los softwares empleados.
5. Realizado un estado del arte detallado en cuanto a la normativa en la edificación en materia de eficiencia energética, certificación energética y reducción de emisiones a la atmósfera; desde el ámbito de la UE en general hasta el de la Armada en particular.
6. Se ha inferido la importancia que tiene sensibilizar a la población de la mejora del parque edificatorio existente, al que pertenece el cuartel Almirante Francisco Moreno, al objeto de perseguir el ahorro energético y paliar la deriva creciente de la actual crisis climática global.

En definitiva, se ha conseguido añadir al cuaderno de bitácora del cuartel Almirante Francisco Moreno un estudio previo, a nivel de proyecto, que oriente y avale la valoración de futuras reformas, a fin de mejorar tanto la eficiencia energética como el confort de su habitabilidad.

5.3 Líneas futuras

A continuación se proponen una serie de líneas de acción en las que poder basarse en futuros trabajos.

- Implementación de equipos de acondicionamiento del aire.

En base a las conclusiones extraídas anteriormente, sería oportuno implantar en el cuartel un sistema de acondicionamiento del aire, tanto en verano como en invierno. Con ello, se mejoraría el confort en general; y de la Segunda Planta, la más cálida, en particular; y también se corregirían las elevadas temperaturas que se registran en ambas plantas durante el verano. Reseñar que no sería necesario implantar un sistema deshumidificación, puesto que los niveles de humedad entran dentro de los estándares normativos.

Además, resulta recomendable la implementación de un termostato para cada una de las seis zonas o, como mínimo, por cada planta. En lugar de operar la caldera de gas con una centralita ajena a las necesidades reales de cada zona y en cada momento; así se ha venido haciendo hasta ahora. Sería más confortable disponer de un sistema de sensores ubicados en las distintas plantas que activasen la caldera cuando la temperatura bajase del umbral de los 21ºC. Sobre todo en la Segunda Planta.

- Reforma de los cerramientos

Para la mejora de la eficiencia energética, resulta capital la sustitución de algunos de los elementos que componen la envolvente térmica. Sobre todo la sustitución de los marcos de las ventanas, que se encuentran descuadrados. También mejorar la transmitancia de las ventanas incorporando otras con cámara de aire. Recuperar la puerta eléctrica de la cara norte de la Planta Baja (ver Figura 0-8) para contar con un sistema de doble puerta eficaz, como el de la Zona de Refrigerios. También, acoplar un mecanismo de cierre automático para todas las puertas exteriores, sobre todo para las de las escaleras de emergencia de la cara oeste. Considerar labores de información y concienciación acerca de la importancia de mantener las puertas y ventanas del cuartel cerradas; así como imponer normas más estrictas que regulen el uso de las puertas que comunican con el exterior.

- Mejora del sistema de iluminación

Se considera una buena línea de acción renovar por completo el sistema de iluminación existente en los espacios interiores del cuartel con el objeto de sustituir las actuales luminarias constituidas por tubos fluorescente por otras de tipo LED, de mayor eficiencia. Además de esto, también se considera recomendable realizar un estudio que mejore el uso que se le da al sistema de alumbrado de los espacios interiores del cuartel. Implementando una instalación de iluminación por sensores de presencia. Hay que tener en cuenta que la ENM es un centro académico exigente y que sus alumnos, sobre todo en los primeros años de formación, no tienen como una de sus principales preocupaciones el ahorro de energía del cuartel. Esto se traduce en horas de desperdicio eléctrico en iluminación cuando los usuarios abandonan las instalaciones y dejan las luces encendidas. Se puede añadir otra línea de acción con labores de información y concienciación a los alumnos; acompañadas de normas más estrictas que regulen el uso.

.

6 BIBLIOGRAFÍA

[1] COP, «Decisión I/CP-21: Aprobación del Acuerdo de París,» 2015.

[2] Ministerio de Transición Ecológica , «web MITECO,» [En línea]. Available: https://www.miteco.gob.es/es/cop25/cop25/. [Último acceso: 18 02 2020].

[3] Parlamento Europeo y del Consejo, «Directiva 2018/844/UE,» 2018.

[4] G. Buildings, «Construcción y emisiones de CO2 a la atmósfera,» [En línea]. Available: https://growingbuildings.com/construccion-y-emisiones-co2-a-la-atmosfera/. [Último acceso: 19 02 2020].

[5] El Periódico verde, «Econoticias,» [En línea]. Available: https://www.ecoticias.com/co2/190140/Los-coches-contaminan-pero-viviendas-edificios-hacen-mas. [Último acceso: 19 02 2020].

[6] A. L. Neumann, «Investigación e impacto ambiental de los edificios.Vol 57, No 498,» 2005.

[7] MITECO, «Web Miteco,» [En línea]. Available: https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/mitigacion-politicas-y-medidas/edificacion.aspx. [Último acceso: 28 02 2020].

[8] A. d. C. Molins, «Proyecto de Edificio para Cuartel de Alumnos en la Escuela Naval Militar,» Vigo, 1974.

[9] OpenStudio, «Documentación de usuario OpenStudio,» [En línea]. Available: http://nrel.github.io/OpenStudio-user-documentation/. [Último acceso: 29 01 2020].

[10] Diario Oficial, «L 40 de 11.2, p12,» 1989.

[11] DOUE, «Versiones consolidadas del Tratado de la Unión Europea y del Tratado de Funcionamiento de la Unión Europea, 30 de marzo,» 2010.

[12] Ministerio de Hacienda y Administraciones Pública, «Informe sobre el funcionamiento de los servicios de la Administración del Estado en 2014,» 2014.

[13] MINISDEF, «Portal Medioambiental del MINISDEF,» [En línea]. Available: https://www.defensa.gob.es/comun/slider/2019/08/130819-portal-medio-ambiente.html. [Último acceso: 22 02 2020].

[14] Armada Española, «Web Armada Española,» [En línea]. Available: http://www.armada.mde.es/ArmadaPortal/page/Portal/ArmadaEspannola/conocenosmedioambiente/prefLang-es/. [Último acceso: 22 02 2020].

[15] IDAE, «Estado de la certificación energética de los edificios. 7º Informe,» Diciembre 2018. [En línea]. Available: https://energia.gob.es/desarrollo/EficienciaEnergetica/CertificacionEnergetica/Documentos/Documentos%20informativos/informe-seguimiento-certificacion-energetica.pdf. [Último acceso: 28 02 2020].

[16] MITMA, «Estimación del parque de viviendas,» [En línea]. Available: https://www.fomento.gob.es/BE2/?nivel=2&orden=33000000. [Último acceso: 05 03 2020].

[17] J. J. P. Paredes, «Certificación energética del cuartel Almirante Francisco Moreno,» 2015.

[18] Eco-Lógicos, «Qué es la envolvente térmica de un edificio, casa o vivienda y sus elementos,» [En línea]. Available: http://eco-logicos.es/2012/03/que-es-la-envolvente-termica-de-un-edificio-casa-o-vivienda-y-sus-elementos/. [Último acceso: 01 03 2020].

[19] Construmática, «Metaportal de Arquitectura, Ingeniería y Construcción,» [En línea]. Available: https://www.construmatica.com. [Último acceso: 01 03 2020].

[20] Negriza, «Cómo hacer un cálculo de cargas térmicas de calefacción y refrigeración,» [En línea]. Available: https://nergiza.com/como-hacer-un-calculo-de-cargas-termicas-de-calefacccion-y-refrigeracion/. [Último acceso: 01 03 2020].

[21] SolerPalau, «Blog de ventilación eficiente,» 25 08 2017. [En línea]. Available: https://www.solerpalau.com/es-es/blog/hvac-que-es. [Último acceso: 02 30 2020].

[22] RITE, «RD 1027/2007, Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios,» 2007.

[23] RAE, «Definición de "confort",» [En línea]. Available: https://dle.rae.es/confort.. [Último acceso: 01 03 2020].

[24] F. F. García, «Clima y confortabilidad humana. Apectos metodológicos,» 1994.

[25] A. M. Blender, «El confort térmico,» 10 03 2015. [En línea]. Available: http://www.arquitecturayenergia.cl/home/el-confort-termico/. [Último acceso: 01 30 2020].

[26] Á. S. d. V. Quintero y Jefe Departamento Servicios y Agricultura, «Bienestar térmico en un espacio climatizado,» IDAE, 2016.

[27] F. J. C. d. Valle, «Tésis doctoral "Zona variable de confort térmico",» Universitat Politécnica de Catalunya, Bacelona, 2002.

[28] P. O. Fanger, «Assessment of man´s thermal comfort in practice,» British Journal of Industrial Medicine, Dinamarca, 1973.

[29] A. H. Calleja, «NPT501: Ambiente térmico: inconfort térmico local,» Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo.

[30] A. H. Calleja, «Bienestar térmico para ambientes confortables,» Instituto de Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, 2007.

[31] Efinovatic, «Web Efinovatic,» [En línea]. Available: http://www.efinovatic.es/energyPlus/. [Último acceso: 29 02 2020].

[32] ENM, «Libro de Organización y Régimen Interior».

[33] M. V. González, Instalación receptora de gas natural de la sala de calderas de un edificio militar (F.Moreno - Biblioteca), Vigo: Jócar Vigo Instalaciones, S.L., 2007.

[34] EnergyPlus, «Web EnergyPlus,» [En línea]. Available: https://energyplus.net/weather. [Último acceso: 19 02 2020].

[35] Web EnergyPlus, «Datos meteorológicos por ubicación,» [En línea]. Available: https://energyplus.net/weather-location/europe_wmo_region_6/ESP//ESP_Pontevedra.080440_SWEC. [Último acceso: 07 03 2020].

[36] RITE, «Catálogo de elementos construcctivos del CTE,» 2010. [En línea]. Available: http://www.anape.es/pdf/Catalogo%20de%20Elementos%20Constructivos%20CAT-EC-v06.3_marzo_10.pdf. [Último acceso: 05 03 2020].

[37] SourceForge, «Descarga xEsoView,» 19 11 2006. [En línea]. Available: http://xesoview.sourceforge.net/. [Último acceso: 03 03 2020].

[38] MITECO, «Factores de emisión,» abril 2019. [En línea]. Available: https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/mitigacion-politicas-y-medidas/factores_emision_tcm30-479095.pdf. [Último acceso: 01 03 2020].

[39] Consultora Quetipos , «web quetipos. Etiqueta eficiencia energética,» 22 2020 2020. [En línea]. Available: http://www.quetipos.com/en/etiqueta-de-eficiencia-energetica/.

[40] Ministerio de Hacienda y Aministraciones Públicas, «Referencia catastral del inmueble 4239048NG2943N0001TZ,» Marín, 2014.

[41] «CUD UVIGO,» [En línea]. Available: https://cud.uvigo.es/. [Último acceso: 19 02 2020].

[42] ANSI/ASHRAE Standar 55-2017, Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy, Standing Standard Project Committee (SSPC), 2017.

[43] AUREA, «Consultora energética,» [En línea]. Available: https://ecoeficiente.es/climas-he2013-en-epw/. [Último acceso: 01 02 2020].

[44] H. Roberts y G. Robinson, ISO 14001 EMS Manual de Sistema de Gestión Medioambiental, Thomson Paraninfo.

[45] E. B. Brucat, Gas natural. Características, distribución y aplicaciones industriales, Barcelona: Editores técnicos asociados S.A., 1987.

[46] «Web de La Moncloa,» [En línea]. Available: http://www.lamoncloa.gob.es. [Último acceso: 13 enero 2015].

[47] J. Rodríguez y V. Fernández, Cómo redactar el estado del arte de un trabajo, Editorial Genios, 2010.

[48] P. Martínez y A. García, Cómo escribir una buena memoria de TFG, Publicaciones del 2000, 2013.

[49] A. Pérez, Cómo escribir una bibliografía, Nuevas publicaciones.

[50] sadc, *sadcasdc*, c, asdc.

[51] R. Wilson, «Web Ralph Wilson,» 2020. [En línea]. Available: https://www.ralphwilson.com.mx/granito-amarelo-1878. [Último acceso: 28 02 2020].

[52] Aurea, «Web Ecoeficiente,» 14 07 2014. [En línea]. Available: https://ecoeficiente.es/climas-he2013-en-epw/. [Último acceso: 01 03 2020].

[53] Armada Española, «Portal de la Armada Española,» 14 Enero 2010. [En línea]. Available: http://www.armada.mde.es/. [Último acceso: 07 02 2020].

[54] Consultoría Certificante, «Certificante.com,» [En línea]. Available: https://certificante.com/blogs/certificado-energetico/14227137-energia-primaria-y-energia-final-en-el-certificado-energetico. [Último acceso: 22 02 2020].

[55] Secretaría General Departamento de Planificación y, «7º Informe final IDAE,» 16 7 2011. [En línea]. Available: https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_Informe_SPAHOUSEC_ACC_f68291a3.pdf.

ANEXO I: ETIQUETA DE CERTIFICACIÓN ENERGÉTICA

El modelo de etiqueta de eficiencia energética de edificios puede encontrarse en la página oficial de certificación del MITECO y debe ser incluida, tal como establece el artículo 12 del Real Decreto 235/2013, "*en toda oferta, promoción y publicidad dirigida a la venta o arrendamiento del edificio o unidad del edificio*".

Figura 0-1 Etiqueta Energética de Edificio Existente. Fuente: web Quetipos [39]

ANEXO II: VISTAS GENERALES Y SECCIONADAS DEL CUARTEL ALMIRANTE FRANCISCO MORENO

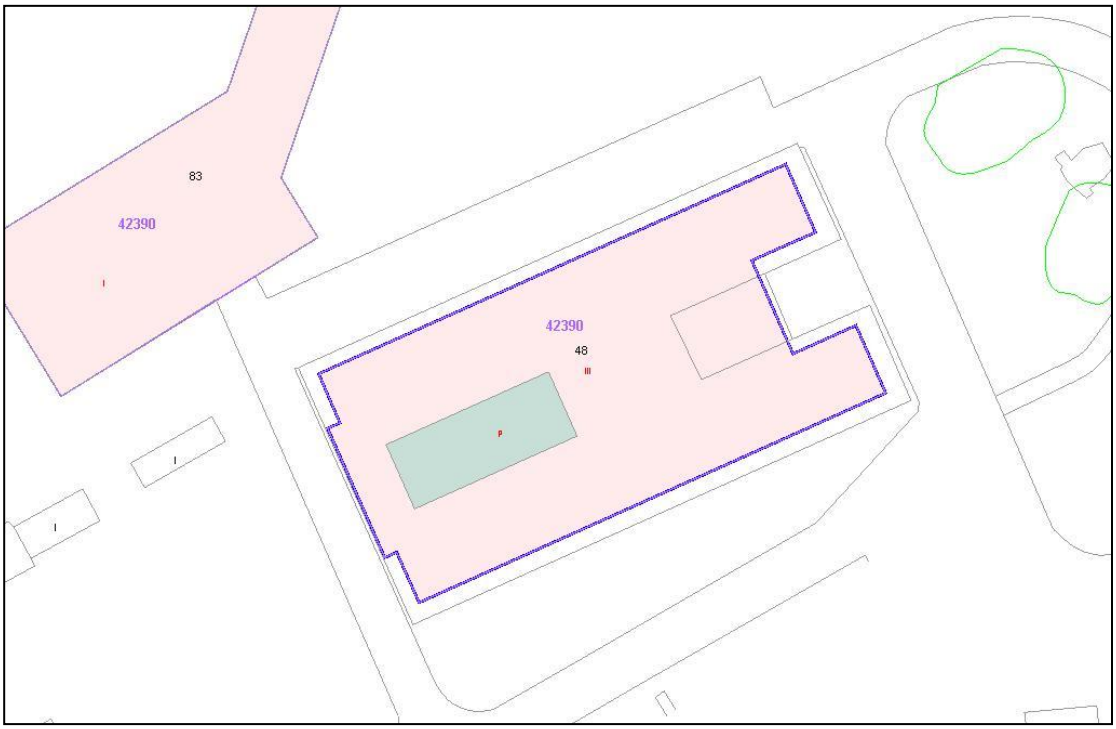


Figura 0-1 Ubicación cuartel Almirante Francisco Moreno. Fuente: Catastro [40]

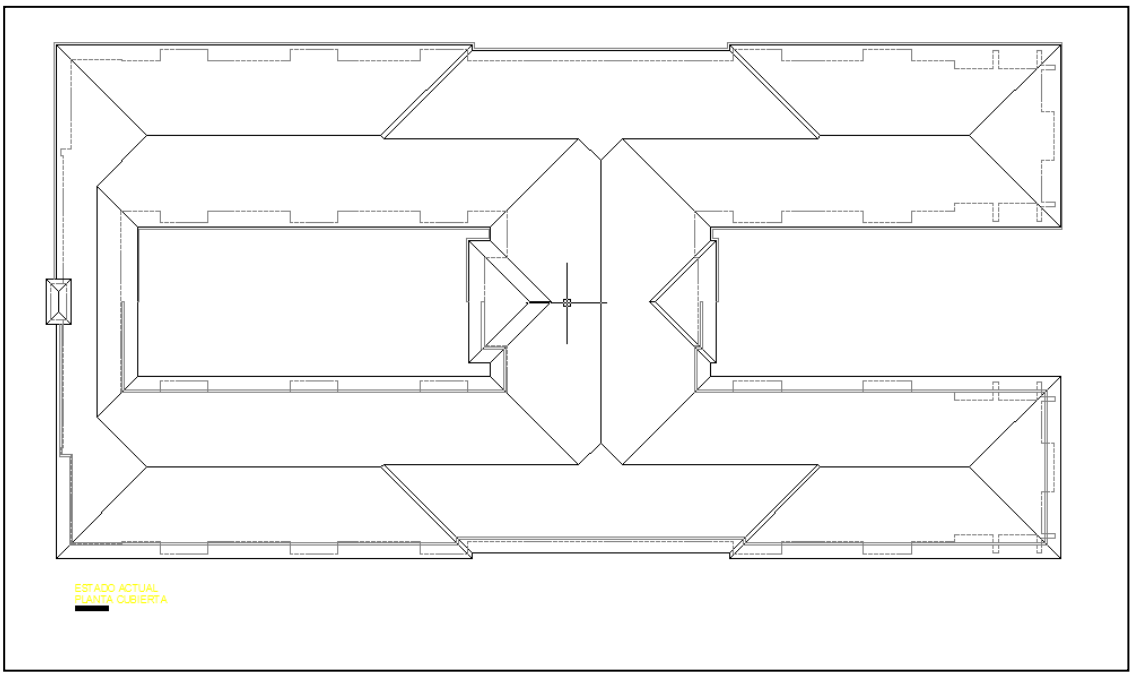


Figura 0-2 Planta cuartel Almirante Francisco Moreno. Fuente: [16]

Figura 0-3 Sección transversal N-S de la Fachada Principal. Fuente: [16]

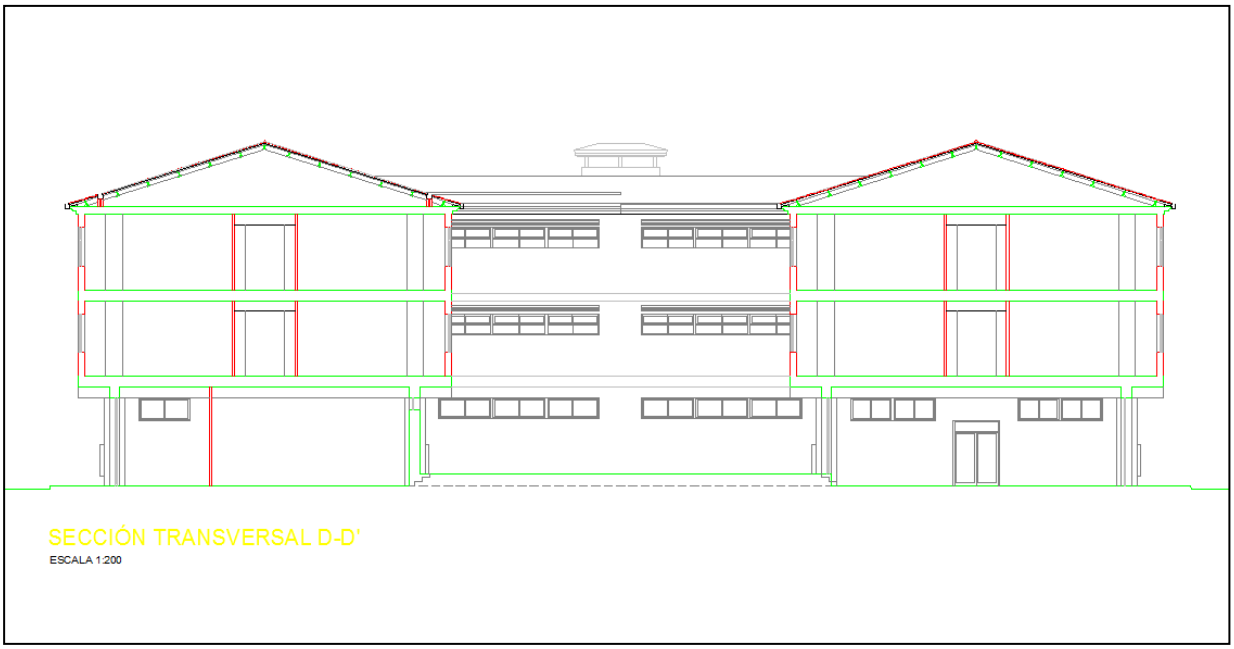


Figura 0-4 Sección transversal N-S de la Fachada Posterior. Fuente: [16]

Figura 0-5 Sección longitudinal W-E de las fachadas S y N, respectivamente. Fuente: [16]

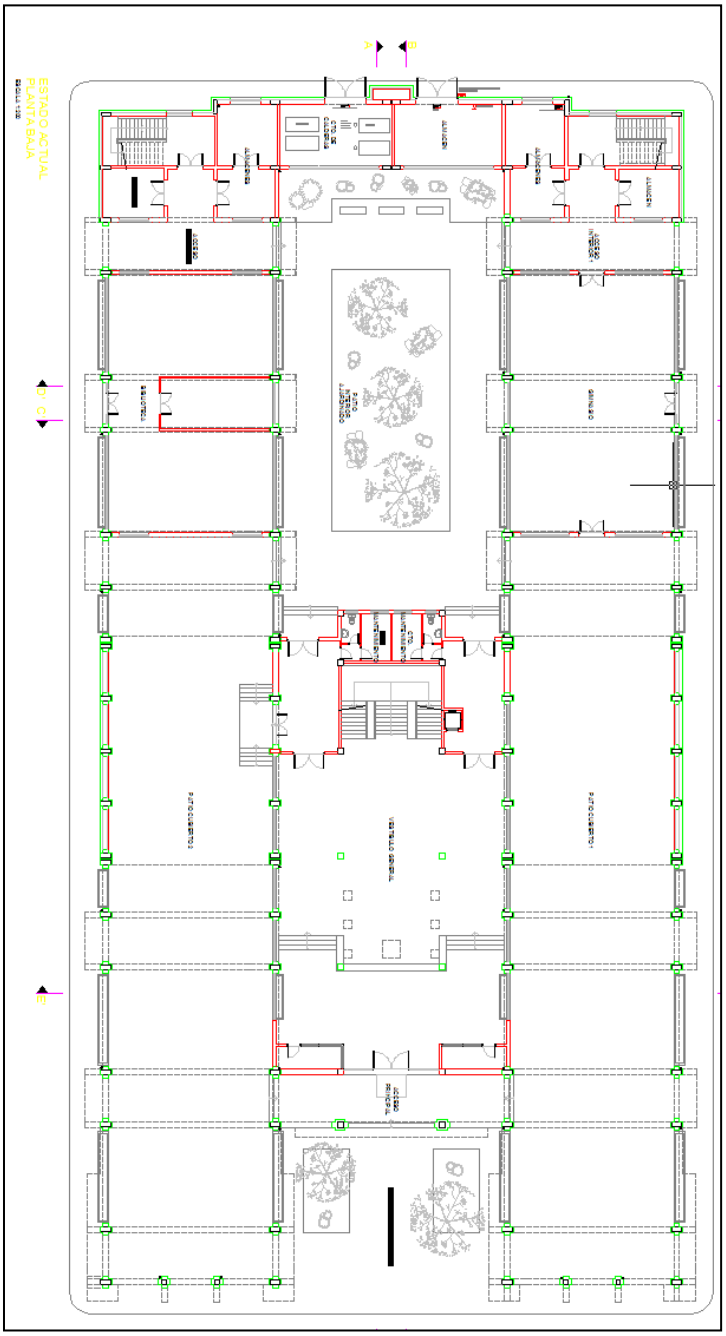


Figura 0-6 Sección en planta cuartel Almirante Francisco Moreno. Fuente: [16]

ANEXO III: PLANOS CUARTEL ALMIRANTE FRANCISCO MORENO

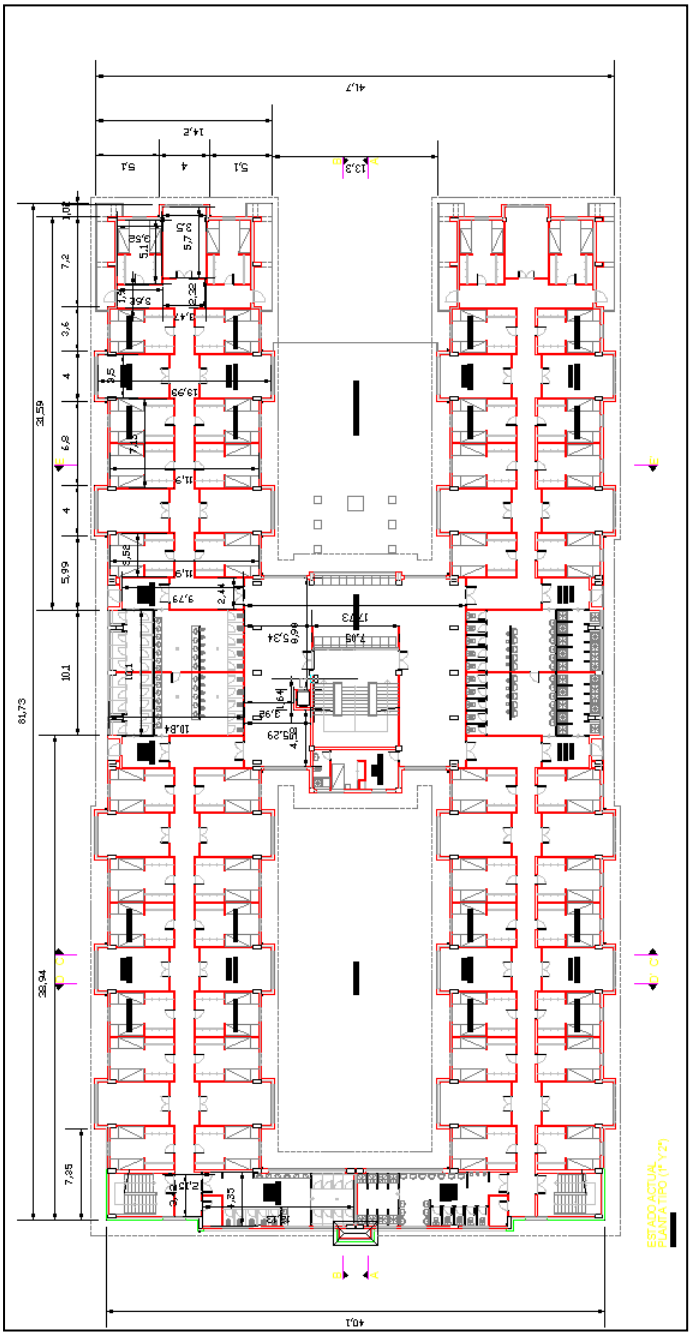


Figura 0-1 Planos 1ª y 2º Plantas cuartel Almirante Francisco Moreno [16]

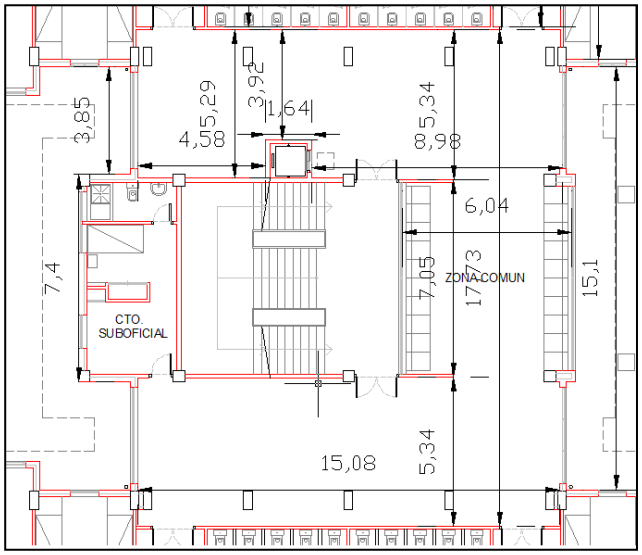


Figura 0-2 Plano Hall 1ª y 2ª Plantas cuartel Almirante Francisco Moreno [16]

ANEXO IV: DESCRIPCIÓN GRÁFICA DETALLADA DEL EDIFICIO

Figura 0-1 Detalle de las fachadas Principal y Posterior. Fuente: Elaboración propia

Figura 0-2 Detalle de las fachadas Norte y Sur. Fuente: Elaboración propia

Figura 0-3 Detalle del Patio Interior y Fachada Principal. Fuente: Elaboración propia

ANEXO V: DESCRIPCIÓN DE INFILTRACIONES Y CERRAMIENTOS: VENTANAS Y PUERTAS

Figura 0-1 Ventanas hall 1ª Planta. Fuente: Elaboración propia

Figura 0-2 Puertas de acceso a la Terraza. Fuente: Elaboración propia

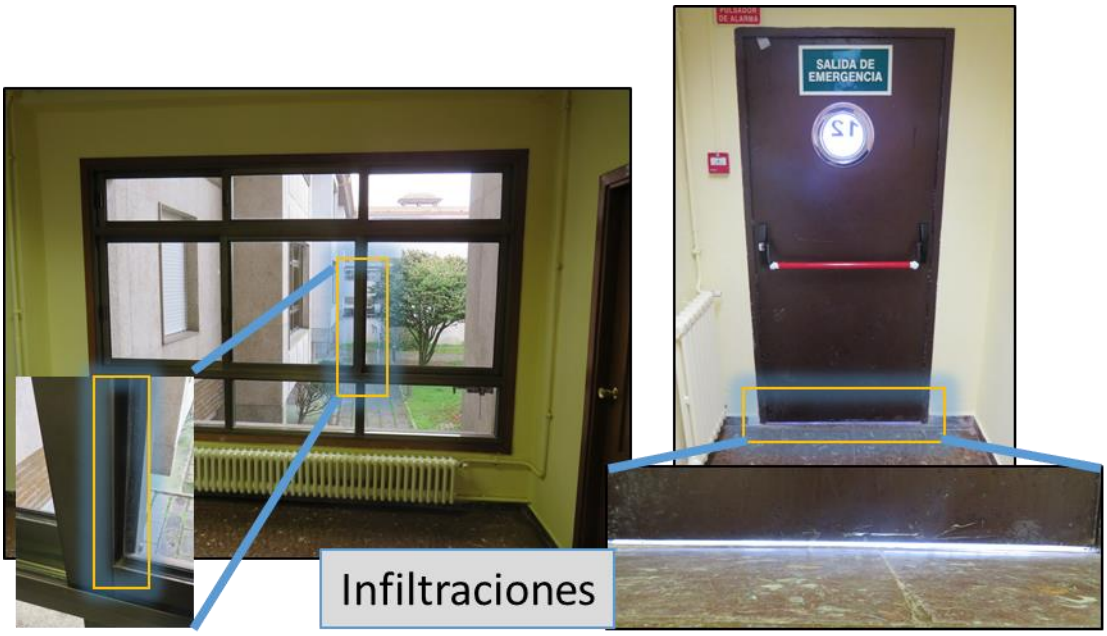


Figura 0-3 Ventana hall 1ª Planta. Puerta de acceso a terraza y puerta de emergencia 1ª Planta. Fuente: Elaboración propia

Figura 0-4 Puerta de baño del Ala N1ª. Fuente: Elaboración propia

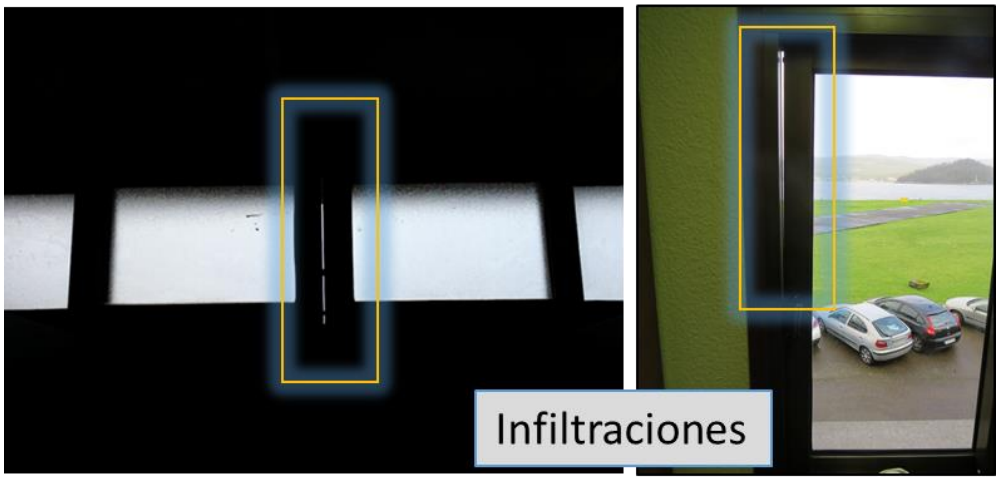


Figura 0-5 Ventana del baño de damas y ventana Camareta 110B. Fuente: Elaboración propia

Figura 0-6 Ventana Estudio 109 y ventana Camareta 103B. Fuente: Elaboración propia

Figura 0-7 Caja de persianas y persiana averiada Camareta 109B. Fuente: Elaboración propia

Figura 0-8 Sistema de puertas de emergencia de la cara norte. Fuente: Elaboración propia

Figura 0-9 Sistema de puertas de la Zona de Refrigerios. Fuente: Elaboración propia

Figura 0-10 Puerta Principal y puerta de emergencia cara oeste. Fuente: Elaboración propia

ANEXO VI: SISTEMA DE ALUMBRADO Y ELECTRICIDAD

Figura 0-1 Luminarias baños y estudios. Fuente: [16]

Figura 0-2 Luminarias de pasillos y camaretas. Fuente: [16]

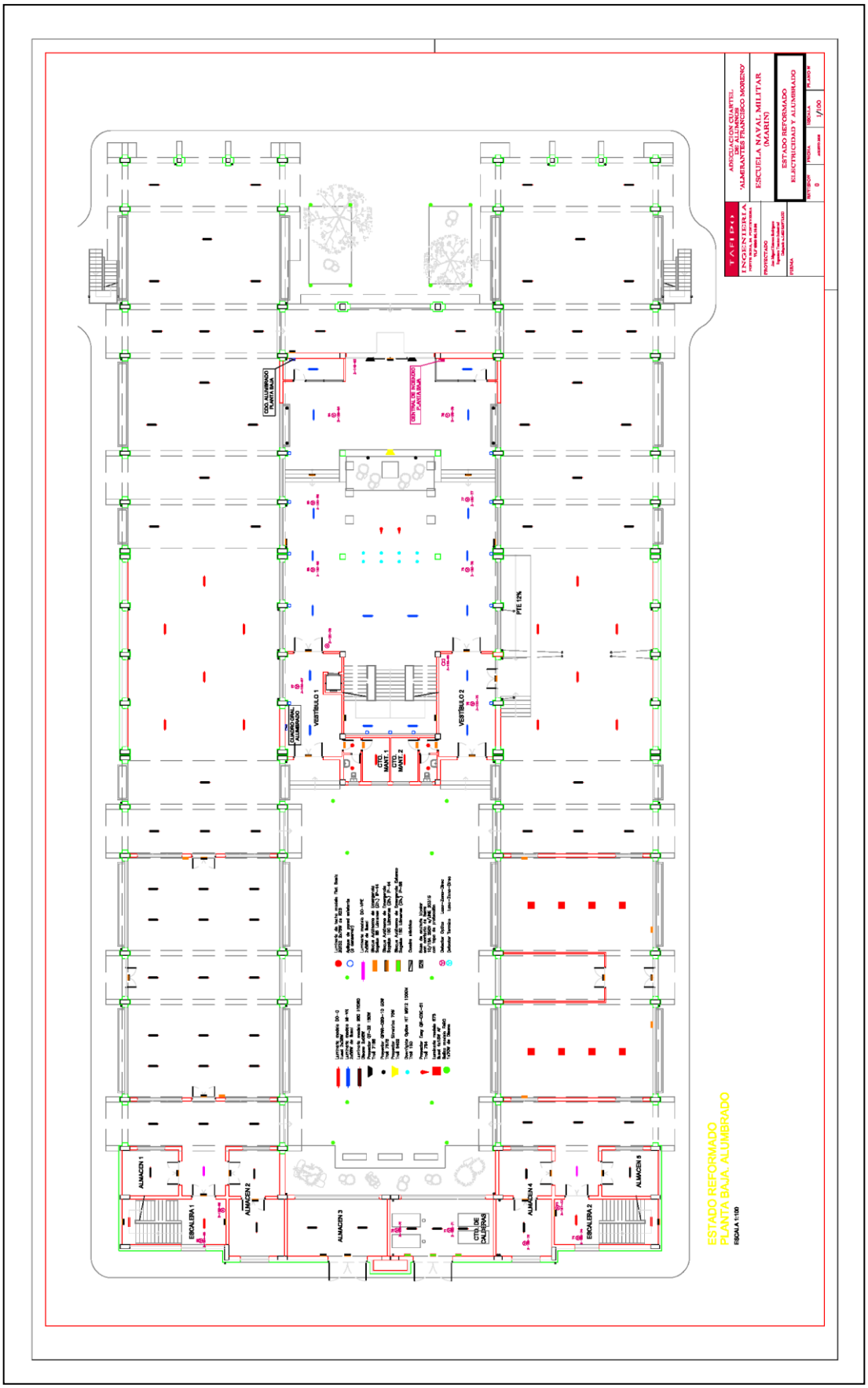


Figura 0-3 Alumbrado y electricidad planta baja. Fuente: Archivo ENM

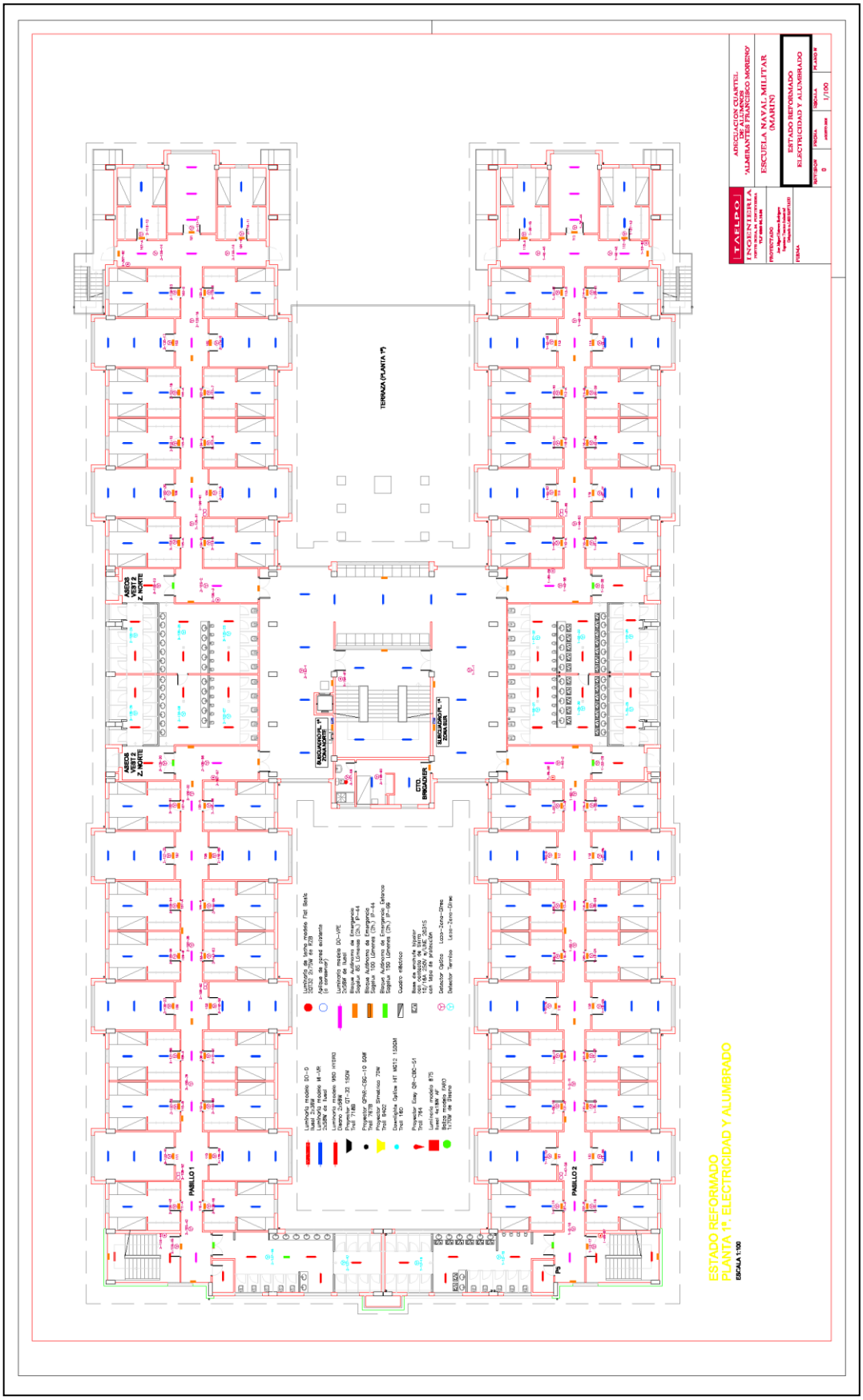


Figura 0-4 Alumbrado y electricidad plantas 1ª y 2ª. Fuente: Archivo ENM

Figura 0-5 Leyenda alumbrado y electricidad. Fuente: Archivo ENM

ANEXO VII: VISTAS DEL CUARTEL ALMIRANTE FRANCISCO MORENO EN ENTORNO SKETCHUP

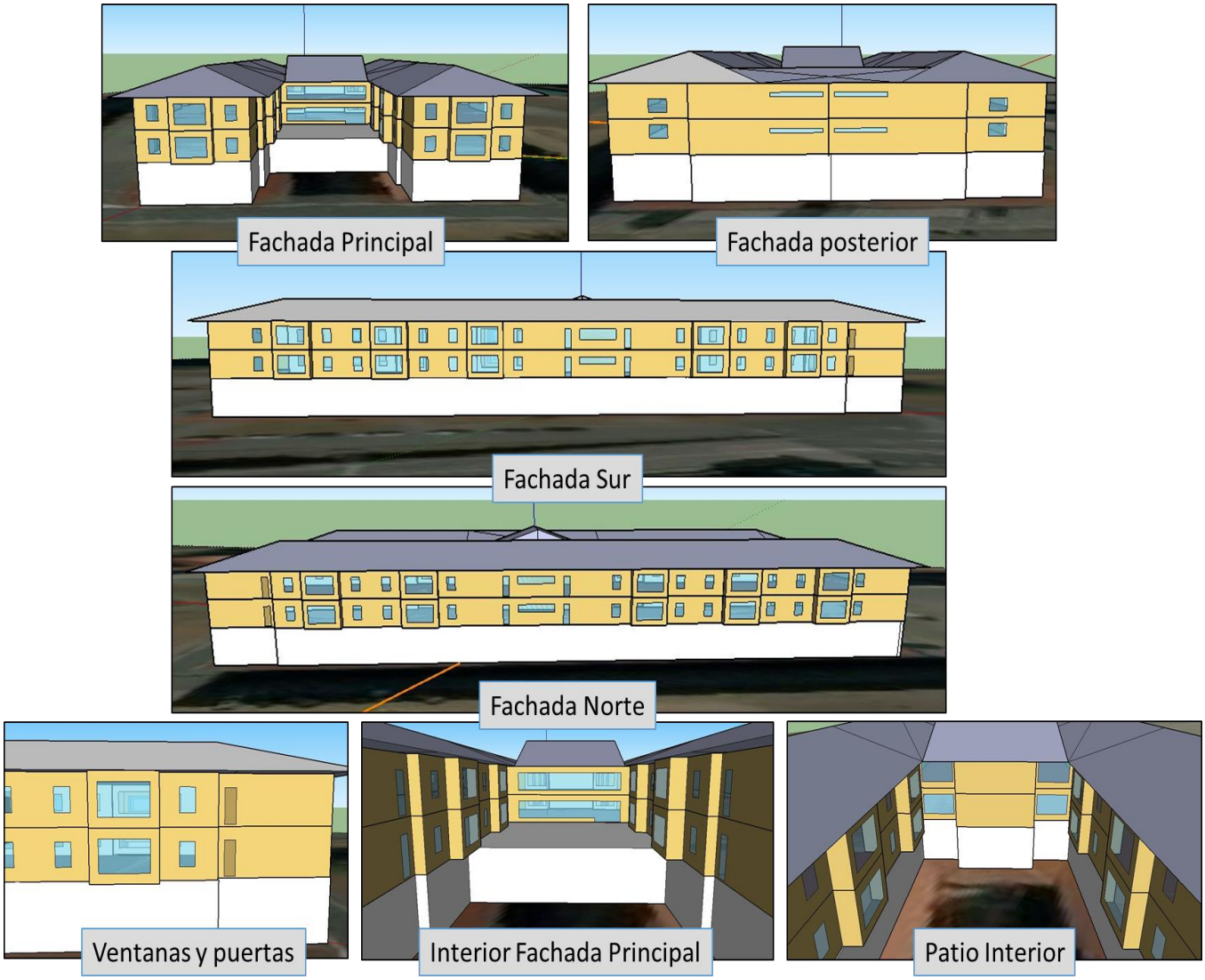


Figura 0-1Vistas del cuartel Almirante Francisco Moreno en entorno SketchUp. Fuente: Elaboración propia

ANEXO VIII: CALENDARIO ACADÉMICO CURSO 2017-2018

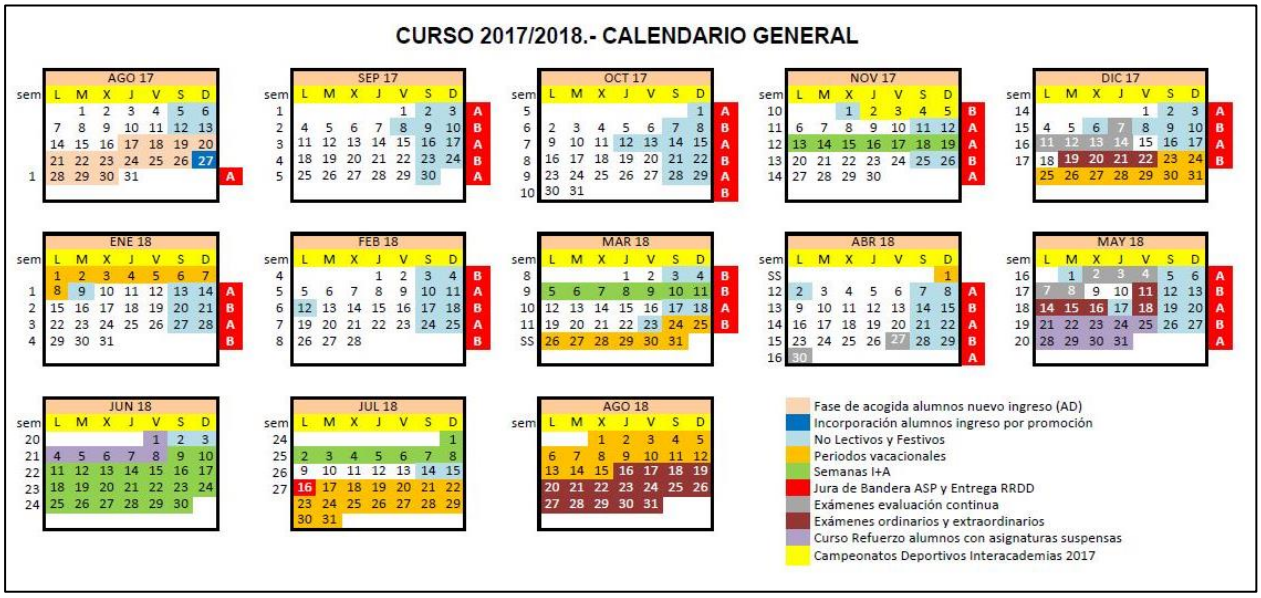
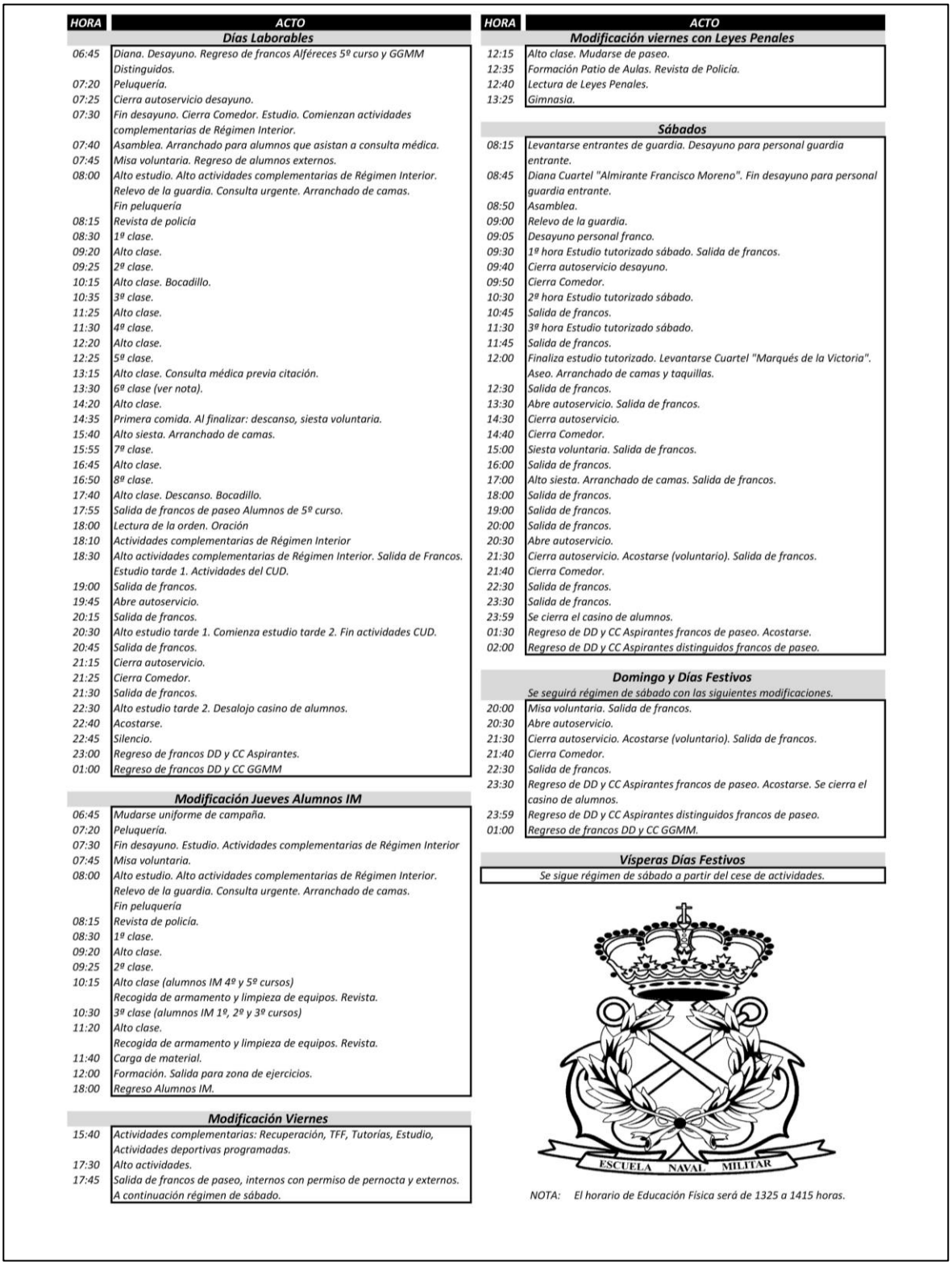


Figura 0-1 Calendario académico curso 2017-2018. Fuente: web CUD UVIGO [26]

ANEXO IX: HORARIO PARA DD. Y CC. ALUMNOS 2017-2018



HORA	ACTO
	Días Laborables
06:45	Diana. Desayuno. Regreso de francos Alféreces 5º curso y GGMM Distinguidos.
07:20	Peluquería.
07:25	Cierra autoservicio desayuno.
07:30	Fin desayuno. Cierra Comedor. Estudio. Comienzan actividades complementarias de Régimen Interior.
07:40	Asamblea. Arranchado para alumnos que asistan a consulta médica.
07:45	Misa voluntaria. Regreso de alumnos externos.
08:00	Alto estudio. Alto actividades complementarias de Régimen Interior. Relevo de la guardia. Consulta urgente. Arranchado de camas. Fin peluquería
08:15	Revista de policía
08:30	1ª clase.
09:20	Alto clase.
09:25	2ª clase.
10:15	Alto clase. Bocadillo.
10:35	3ª clase.
11:25	Alto clase.
11:30	4ª clase.
12:20	Alto clase.
12:25	5ª clase.
13:15	Alto clase. Consulta médica previa citación.
13:30	6ª clase (ver nota).
14:20	Alto clase.
14:35	Primera comida. Al finalizar: descanso, siesta voluntaria.
15:40	Alto siesta. Arranchado de camas.
15:55	7ª clase.
16:45	Alto clase.
16:50	8ª clase.
17:40	Alto clase. Descanso. Bocadillo.
17:55	Salida de francos de paseo Alumnos de 5º curso.
18:00	Lectura de la orden. Oración
18:10	Actividades complementarias de Régimen Interior
18:30	Alto actividades complementarias de Régimen Interior. Salida de Francos. Estudio tarde 1. Actividades del CUD.
19:00	Salida de francos.
19:45	Abre autoservicio.
20:15	Salida de francos.
20:30	Alto estudio tarde 1. Comienza estudio tarde 2. Fin actividades CUD.
20:45	Salida de francos.
21:15	Cierra autoservicio.
21:25	Cierra Comedor.
21:30	Salida de francos.
22:30	Alto estudio tarde 2. Desalojo casino de alumnos.
22:40	Acostarse.
22:45	Silencio.
23:00	Regreso de francos DD y CC Aspirantes.
01:00	Regreso de francos DD y CC GGMM

	Modificación Jueves Alumnos IM
06:45	Mudarse uniforme de campaña.
07:20	Peluquería.
07:30	Fin desayuno. Estudio. Actividades complementarias de Régimen Interior
07:45	Misa voluntaria.
08:00	Alto estudio. Alto actividades complementarias de Régimen Interior. Relevo de la guardia. Consulta urgente. Arranchado de camas. Fin peluquería
08:15	Revista de policía.
08:30	1ª clase.
09:20	Alto clase.
09:25	2ª clase.
10:15	Alto clase (alumnos IM 4º y 5º cursos) Recogida de armamento y limpieza de equipos. Revista.
10:30	3ª clase (alumnos IM 1º, 2º y 3º cursos)
11:20	Alto clase. Recogida de armamento y limpieza de equipos. Revista.
11:40	Carga de material.
12:00	Formación. Salida para zona de ejercicios.
18:00	Regreso Alumnos IM.

	Modificación Viernes
15:40	Actividades complementarias: Recuperación, TFF, Tutorías, Estudio, Actividades deportivas programadas.
17:30	Alto actividades.
17:45	Salida de francos de paseo, internos con permiso de pernocta y externos. A continuación régimen de sábado.

HORA	ACTO
	Modificación viernes con Leyes Penales
12:15	Alto clase. Mudarse de paseo.
12:35	Formación Patio de Aulas. Revista de Policía.
12:40	Lectura de Leyes Penales.
13:25	Gimnasia.
	Sábados
08:15	Levantarse entrantes de guardia. Desayuno para personal guardia entrante.
08:45	Diana Cuartel "Almirante Francisco Moreno". Fin desayuno para personal guardia entrante.
08:50	Asamblea.
09:00	Relevo de la guardia.
09:05	Desayuno personal franco.
09:30	1ª hora Estudio tutorizado sábado. Salida de francos.
09:40	Cierra autoservicio desayuno.
09:50	Cierra Comedor.
10:30	2ª hora Estudio tutorizado sábado.
10:45	Salida de francos.
11:30	3ª hora Estudio tutorizado sábado.
11:45	Salida de francos.
12:00	Finaliza estudio tutorizado. Levantarse Cuartel "Marqués de la Victoria". Aseo. Arranchado de camas y taquillas.
12:30	Salida de francos.
13:30	Abre autoservicio. Salida de francos.
14:30	Cierra autoservicio.
14:40	Cierra Comedor.
15:00	Siesta voluntaria. Salida de francos.
16:00	Salida de francos.
17:00	Alto siesta. Arranchado de camas. Salida de francos.
18:00	Salida de francos.
19:00	Salida de francos.
20:00	Salida de francos.
20:30	Abre autoservicio.
21:30	Cierra autoservicio. Acostarse (voluntario). Salida de francos.
21:40	Cierra Comedor.
22:30	Salida de francos.
23:30	Salida de francos.
23:59	Se cierra el casino de alumnos.
01:30	Regreso de DD y CC Aspirantes francos de paseo. Acostarse.
02:00	Regreso de DD y CC Aspirantes distinguidos francos de paseo.

	Domingo y Días Festivos
	Se seguirá régimen de sábado con las siguientes modificaciones.
20:00	Misa voluntaria. Salida de francos.
20:30	Abre autoservicio.
21:30	Cierra autoservicio. Acostarse (voluntario). Salida de francos.
21:40	Cierra Comedor.
22:30	Salida de francos.
23:30	Regreso de DD y CC Aspirantes francos de paseo. Acostarse. Se cierra el casino de alumnos.
23:59	Regreso de DD y CC Aspirantes distinguidos francos de paseo.
01:00	Regreso de francos DD y CC GGMM.

Vísperas Días Festivos
Se sigue régimen de sábado a partir del cese de actividades.

NOTA: El horario de Educación Física será de 1325 a 1415 horas.

Figura 0-1 Horario para DD. y CC. Alumnos. Fuente: LORI [18]

ANEXO X: TASAS METABÓLICAS PARA ACTIVIDADES TÍPICAS

Table 5.2.1.2 Metabolic Rates for Typical Tasks

Activity	Metabolic Rate		
	Met Units	W/m^2	$Btu/h\text{-}ft^2$
Resting			
Sleeping	0.7	40	13
Reclining	0.8	45	15
Seated, quiet	1.0	60	18
Standing, relaxed	1.2	70	22
Walking (on level surface)			
0.9 m/s, 3.2 km/h, 2.0 mph	2.0	115	37
1.2 m/s, 4.3 km/h, 2.7 mph	2.6	150	48
1.8 m/s, 6.8 km/h, 4.2 mph	3.8	220	70
Office Activities			
Reading, seated	1.0	55	18
Writing	1.0	60	18
Typing	1.1	65	20
Filing, seated	1.2	70	22
Filing, standing	1.4	80	26
Walking about	1.7	100	31
Lifting/packing	2.1	120	39
Driving/Flying			
Automobile	1.0 to 2.0	60 to 115	18 to 37
Aircraft, routine	1.2	70	22
Aircraft, instrument landing	1.8	105	33
Aircraft, combat	2.4	140	44
Heavy vehicle	3.2	185	59
Miscellaneous Occupational Activities			
Cooking	1.6 to 2.0	95 to 115	29 to 37
House cleaning	2.0 to 3.4	115 to 200	37 to 63
Seated, heavy limb movement	2.2	130	41
Machine work			
sawing (table saw)	1.8	105	33
light (electrical industry)	2.0 to 2.4	115 to 140	37 to 44
heavy	4.0	235	74

Tabla 0-1 Tabla 5.2.1.2 representativa de tasas metabólicas para actividades típicas. Fuente: Norma ANSI/ASHRAE Estándar 55-2017 [42]

ANEXO XI: PARTE DE SITUACIÓN DE ALUMNOS DEL 4 AL 5 DE JULIO DE 2018

	1ª	2ª	3ª	11ª	4ª	5ª	TOTAL
CORRESPONDEN	**56**	**70**	**69**	**43**	**74**	**77**	389
EMBARCADOS/P. CAMPO	0	0	69	0	0	0	69
EMBARCADOS FIN DE CURSO	0	0	0	0	17	72	89
COMISIÓN	0	0	0	0	8	0	8
FRANCOS	0	0	0	0	0	0	0
REBAJADOS EN DOMICILIO	0	0	0	0	0	0	0
PERMISO	1	0	0	0	0	0	1
OTRAS ESCUELAS	0	0	0	9	0	0	9
HOSP. EXTERIOR	0	0	0	0	0	0	0
FALTOS	0	0	0	0	0	0	0
OTROS	0	0	0	0	0	0	0
AUSENTE	1	0	69	9	25	72	176
PRESENTES ENM	55	70	0	34	49	5	213
ALUMNOS EXTRANJEROS	8	1	0	0	2	0	11
REB. ZULU	0	0	0	0	0	0	0
REB. CAMARETA	1	1	0	0	1	0	3
REB. EJ./INST./FORMACIÓN	4	4	0	0	2	0	10
REB. PARCIALES	2	0	0	0	2	0	4
OTROS REBAJES	0	0	0	0	0	0	0
FUERZA EN REVISTA	40	64	0	34	42	5	185

Tabla 0-1 Parte de situación de alumnos del 4-5 de julio. Fuente: Archivo ENM

ANEXO XII: PARTE DE SITUACIÓN DE ALUMNOS DEL 14 AL 15 DE NOVIEMBRE

	1ª	11ª	2ª	3ª	4ª	5ª	TOTAL
CORRESPONDEN	**80**	**47**	**56**	**71**	**69**	**86**	409
EMBARCADOS/P. CAMPO	0	0	0	0	0	66	66
EMBARCADOS FIN DE CURSO	0	0	0	0	0	0	0
COMISIÓN	0	0	0	6	0	0	6
FRANCOS	0	0	0	0	0	0	0
REBAJADOS EN DOMICILIO	0	0	0	0	0	0	0
PERMISO	1	0	0	0	0	0	1
OTRAS ESCUELAS	0	0	0	0	0	0	0
HOSP. EXTERIOR	0	0	0	0	0	0	0
FALTOS	0	0	0	0	0	0	0
OTROS	0	0	0	0	0	0	0
AUSENTE	1	0	0	6	0	66	73
PRESENTES ENM	79	47	56	65	69	20	336
ALUMNOS EXTRANJEROS	9	0	1	2	2	0	14
REB. ZULU	0	0	0	0	0	0	0
REB. CAMARETA	1	0	1	0	1	0	3
REB. EJ./INST./FORMACIÓN	3	0	4	0	2	0	9
REB. PARCIALES	0	1	0	0	2	0	3
OTROS REBAJES	0	0	0	0	0	0	0
FUERZA EN REVISTA	66	46	50	63	62	20	307

Tabla 0-1 Parte de situación de alumnos del 14-15 de noviembre. Fuente: Archivo ENM

ANEXO XIII: SIMULACIÓN EN OPENSTUDIO

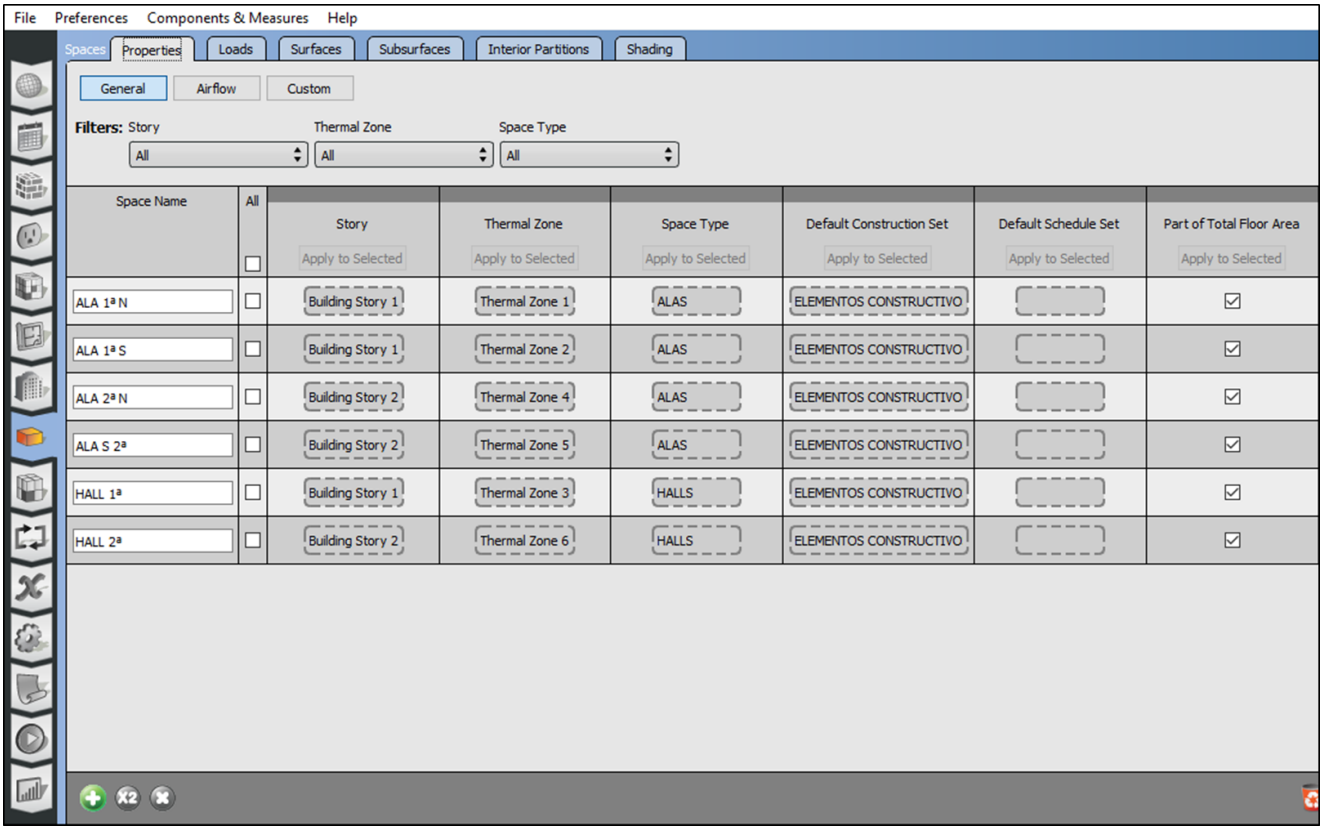


Figura 0-1 Pestaña "*properties*" dentro de "*spaces*"

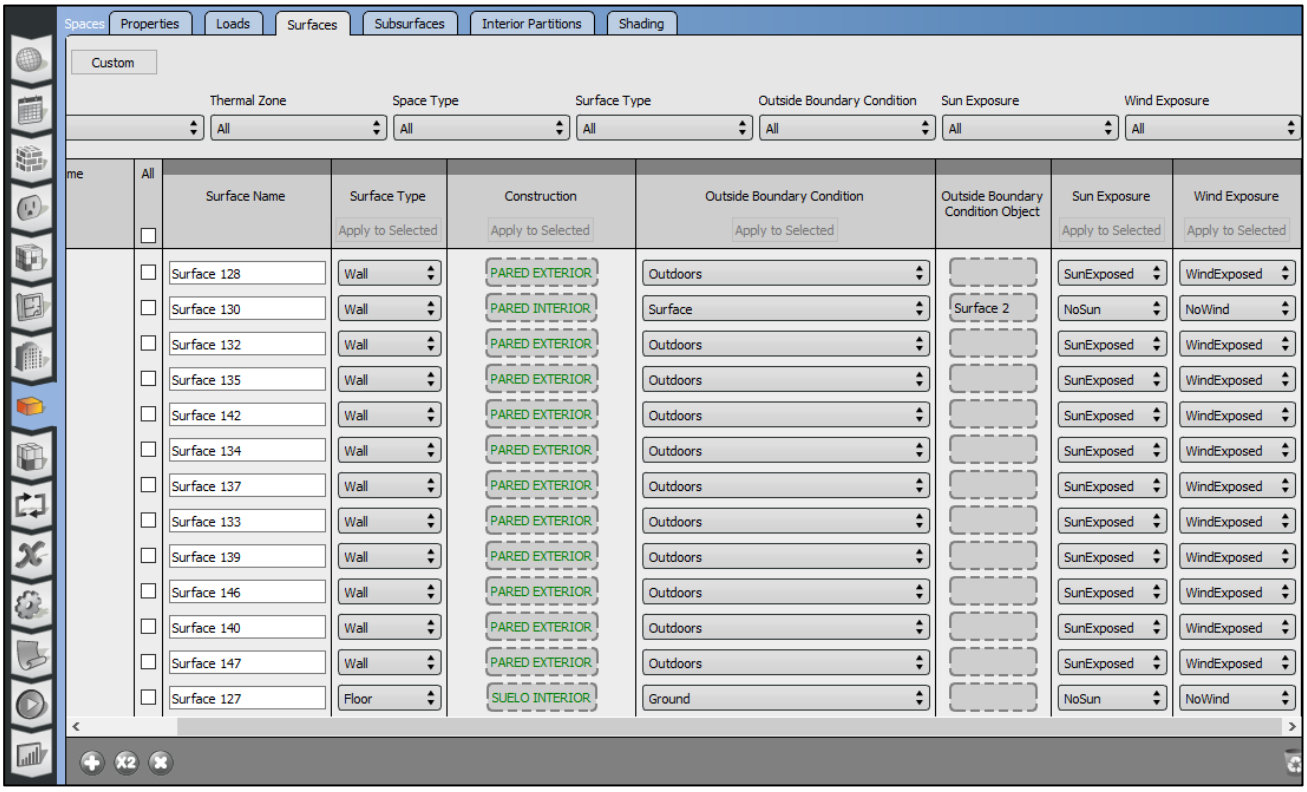


Figura 0-2 Pestaña "*surfaces*" dentro de "*spaces*"

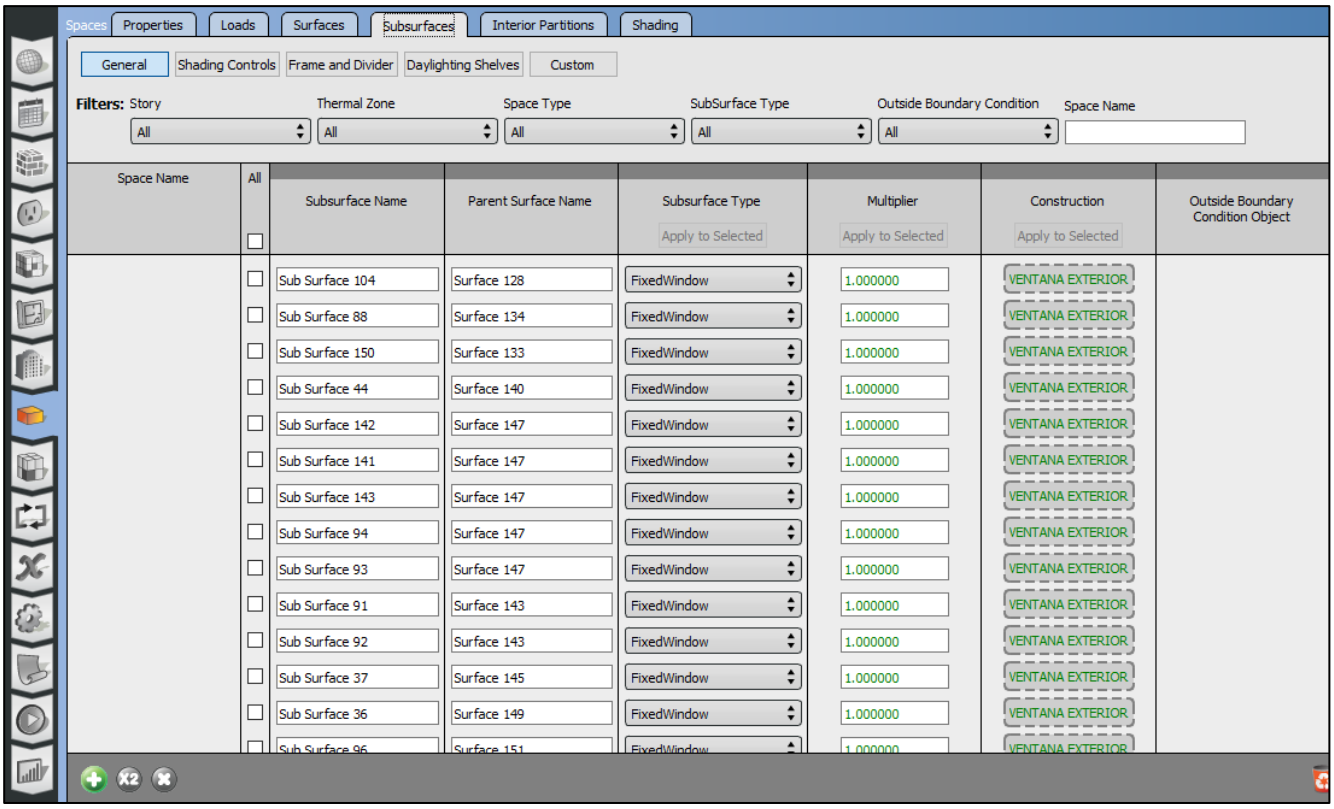


Figura 0-3 Pestaña "*subsurfaces*" dentro de "*spaces*"

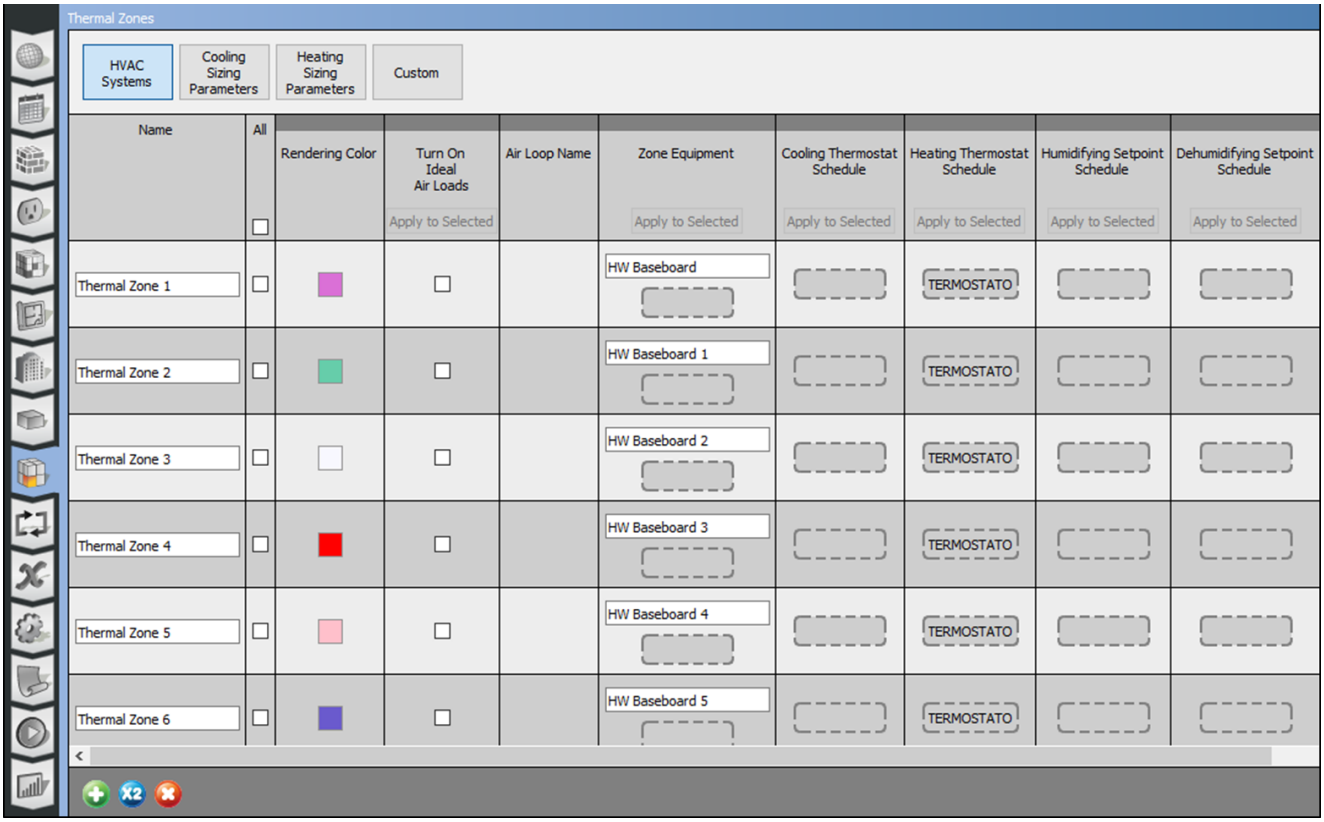


Figura 0-4 Pestaña "*HVAC systems*" dentro de "*thermal zones*"

ANEXO XIV: FACTORES DE EMISIÓN

	Combustible (Unidades FE)	Factores de emisión (FE)											
		2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Vehículos (A)	Gasolina ($kgCO_2/l$)	2,295	2,295	2,295	2,295	2,205	2,201	2,205	2,205	2,205	2,196	2,180	2,157
	Gasóleo A o B ($kgCO_2/l$)	2,653	2,653	2,653	2,653	2,493	2,467	2,544	2,544	2,544	2,539	2,520	2,493
	E10 ($kgCO_2/l$)	2,065	2,065	2,065	2,065	2,065	2,065	2,065	2,065	2,065	2,065	2,065	2,065
	E85 ($kgCO_2/l$)	0,344	0,344	0,344	0,344	0,344	0,344	0,344	0,344	0,344	0,344	0,344	0,344
	E100 ($kgCO_2/l$)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	B7 ($kgCO_2/l$)	2,467	2,467	2,467	2,467	2,467	2,467	2,467	2,467	2,467	2,467	2,467	2,467
	B10 ($kgCO_2/l$)	2,387	2,387	2,387	2,387	2,387	2,387	2,387	2,387	2,387	2,387	2,387	2,387
	B30 ($kgCO_2/l$)	1,857	1,857	1,857	1,857	1,857	1,857	1,857	1,857	1,857	1,857	1,857	1,857
	B100 ($kgCO_2/l$)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	GNL ($kgCO_2/kWh$)*	0,202	0,202	0,202	0,202	0,202	0,202	0,202	0,202	0,202	0,202	0,203	0,203
	GNC ($kgCO_2/kWh$)*	0,202	0,202	0,202	0,202	0,202	0,202	0,202	0,202	0,202	0,202	0,203	0,203
	GLP ($kgCO_2/l$)	1,671	1,671	1,671	1,671	1,671	1,671	1,671	1,671	1,671	1,671	1,671	1,671
Equipos de combustión fija (B)	Gas natural ($kgCO_2/kWh$)*	0,202	0,202	0,202	0,202	0,202	0,202	0,202	0,202	0,202	0,202	0,203	0,203
	Gasóleo C ($kgCO_2/l$)	2,868	2,868	2,868	2,868	2,868	2,868	2,868	2,868	2,868	2,868	2,868	2,868
	Gasóleo B ($kgCO_2/l$)	2,653	2,653	2,653	2,653	2,493	2,467	2,544	2,544	2,544	2,539	2,520	2,493
	Gas butano ($kgCO_2/kg$)	2,964	2,964	2,964	2,964	2,964	2,964	2,964	2,964	2,964	2,964	2,964	2,964
	Gas propano ($kgCO_2/kg$)	2,938	2,938	2,938	2,938	2,938	2,938	2,938	2,938	2,938	2,938	2,938	2,938
	Fuelóleo ($kgCO_2/kg$)	3,127	3,127	3,127	3,127	3,127	3,127	3,127	3,127	3,127	3,127	3,127	3,127
	GLP genérico ($kgCO_2/l$)	1,671	1,671	1,671	1,671	1,671	1,671	1,671	1,671	1,671	1,671	1,671	1,671
	Carbón nacional ($kgCO_2/kg$)	2,297	2,297	2,297	2,299	2,299	2,299	2,299	2,299	2,299	2,006	2,227	2,227
	Carbón de importación ($kgCO_2/kg$)	2,527	2,527	2,527	2,579	2,579	2,579	2,579	2,579	2,579	2,430	2,444	2,444
	Coque de petróleo ($kgCO_2/kg$)	3,169	3,169	3,169	3,169	3,169	3,169	3,169	3,169	3,169	3,169	3,169	3,169

Tabla 0-1 Relación de factor de emisión en función del combustible. Fuente Web MITECO [22]

ANEXO XV: RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN

En este apartado se recogen algunas gráficas menos importantes que las mencionadas en el apartado Resultados.

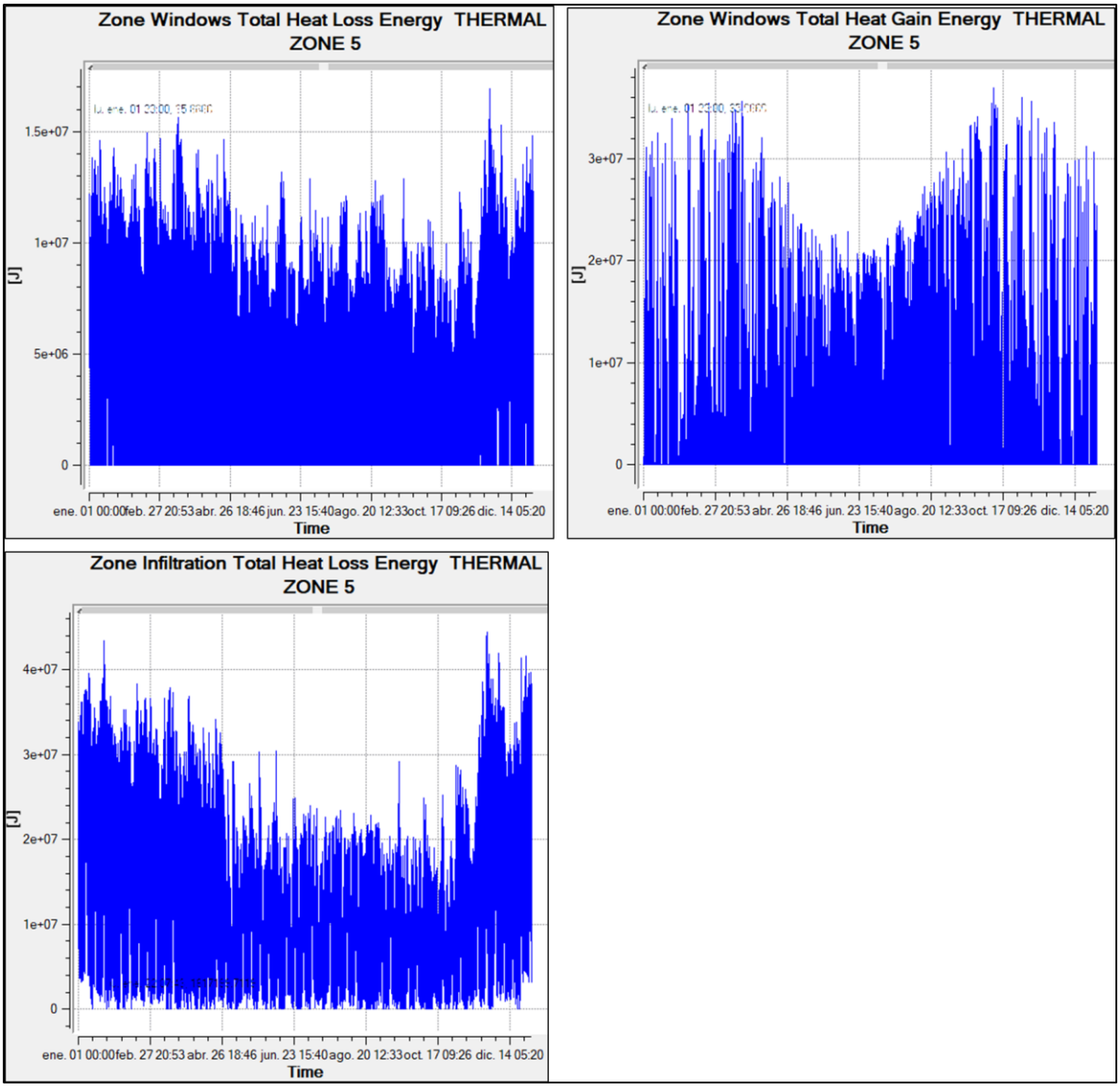


Figura 0-1 Evolución de ganancias y pérdidas por transmitancia en ventanas y pérdidas por infiltración